

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE**

*DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE*

**TESI DI LAUREA**

in  
**ARCHITETTURA TECNICA**

**INTERVENIRE SUL PATRIMONIO ESISTENTE IN  
MURATURA SECONDO LE LINEE GUIDA DEL  
MINISTERO DEI BENI CULTURALI.  
IL CASO DI STUDIO DELL'EX MACELLO DI IMOLA**

CANDIDATO

**GABRIELE BACCILIERI**

RELATORE:

**Chiar.mo Prof. Ing. GIOVANNI MOCHI**

Anno Accademico [2011/12]

Sessione II

*A Nicola ed a tutte le persone a cui voglio bene*



## **SOMMARIO**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. ITER NORMATIVO DELLE LINEE GUIDA</b>	<b>2</b>
<b>3. CONOSCENZA DEL MANUFATTO SECONDO LE LINEE GUIDA</b>	<b>5</b>
3.1 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	6
<b>4. DISPOSIZIONI NORMATIVE</b>	<b>8</b>
4.1 Requisiti di sicurezza e stati limite previsti nelle NTC08 e nelle Linee guida	8
4.2 Azione sismica – Stato limite di salvaguardia della vita, stato limite di danno e di operatività	10
4.3 Stato Limite Ultimo STR	11
4.4 Livelli di valutazione della sicurezza sismica	11
4.4.1 LV1: analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati	11
4.4.2 LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali di collasso)	13
4.4.3 LV3: valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto	13
4.5 Modelli di valutazione per tipologie	14
4.5.1 Modello meccanico semplificato (LV1) per palazzi e ville	17
<b>5. CASO DI STUDIO DELL'EX MACELLO DI IMOLA</b>	<b>23</b>
5.1 Evoluzione storica del Macello	24
5.1.1 Introduzione	24
5.1.2 Primo progetto	28
5.1.3 Progetto definitivo	30
5.1.4 Modifiche del dopoguerra	32
5.1.5 Il declino dell'edificio	33
5.1.6 Il teatro dei cavalieri	35
5.1.7 Cosa rimane oggi	41
5.2 Caratteristiche strutturali	44
5.2.1 Sistema costruttivo	44
5.2.2 Strutture di fondazione	44
5.2.3 Strutture di elevazione	44
5.2.4 Strutture orizzontali e di copertura	50

5.2.5	<i>Degrado strutturale</i>	57
5.2.6	<i>Analisi dei carichi</i>	64
5.3	<i>Rilievo topografico dello stato di fatto</i>	68
<b>6.</b>	<b><i>VALUTAZIONE SISMICA PER PALAZZI E VILLE – MODELLO MECCANICO SEMPLIFICATO (LV1) TRAMITE FOGLI EXCEL</i></b>	<b>69</b>
6.1	<i>Conoscenza del manufatto</i>	69
6.2	<i>Definizione dell'azione sismica</i>	72
6.3	<i>Definizione parametri geometrici murature</i>	79
6.4	<i>Analisi dei carichi</i>	91
6.5	<i>Massa sismica</i>	92
6.6	<i>Frazione di massa partecipante</i>	94
6.7	<i>Periodo di vibrazione</i>	94
6.8	<i>Resistenza a taglio dell'edificio</i>	94
6.9	<i>Indici di rischio</i>	114
<b>7.</b>	<b><i>VALUTAZIONE SISMICA PER PALAZZI E VILLE – MODELLO MECCANICO SEMPLIFICATO (LV1) TRAMITE IL SISTEMA INFORMATIVO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO (SIVARS)</i></b>	<b>116</b>
<b>8.</b>	<b><i>CONFRONTO VALORI OTTENUTI TRA FOGLI EXCEL E SIVARS</i></b>	<b>127</b>
<b>9.</b>	<b><i>MODELLO DI VALUTAZIONE DI DETTAGLIO (LV3) TRAMITE SOFTWARE 3MURI</i></b>	<b>134</b>
9.1	<i>Descrizione del modello</i>	134
9.2	<i>Verifica secondo l'analisi statica non lineare di tutto l'edificio</i>	136
9.3	<i>Verifica secondo l'analisi statica non lineare di una parte dell'edificio</i>	142
<b>10.</b>	<b><i>VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA - MECCANISMI DI COLLASSO LOCALI (LV2)</i></b>	<b>144</b>
10.1	<i>Ribaltamento in presenza di ammorsamento</i>	144

<i>10.1.1 Ribaltamento intera facciata con formazione di cerniera a livello del terreno</i>	<i>145</i>
<i>10.1.2 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del primo piano</i>	<i>149</i>
<i>10.1.3 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del secondo piano</i>	<i>150</i>
<i>10.1.4 Ribaltamento di una porzione di facciata al secondo piano</i>	<i>151</i>
<i>10.1.5 De - foliazione della parte esterna della muratura al secondo piano</i>	<i>152</i>
<i>10.2 Inserimento di strutture di ritegno in acciaio</i>	<i>154</i>
<i>10.2.1 Ribaltamento intera facciata con formazione di cerniera a livello del terreno</i>	<i>154</i>
<i>10.2.2 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del primo piano</i>	<i>156</i>
<i>10.2.3 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del secondo piano</i>	<i>157</i>
<i>10.2.4 Ribaltamento di una porzione di facciata al secondo piano</i>	<i>159</i>
<b>11. CONCLUSIONI</b>	<b>161</b>

## ***1. PREMESSA***

Nella presente relazione è riportata la valutazione della sicurezza sismica dell'Ex Macello comunale di Imola condotta con riferimento ai metodi proposti dalle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, armonizzate con il D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni.

Nell'ottica di fornire un'esemplificazione dell'iter procedurale proposto dalle Linee Guida la verifica è stata condotta secondo i diversi livelli di valutazione del rischio (LV1-LV2-LV3).

In particolare per quanto riguarda il livello di valutazione LV3 si è adottato l'approccio dell'analisi statica non lineare in accordo a quanto previsto al punto 7.3.4.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) e al punto C8.7.1.4 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617. Per la verifica è stato utilizzato il codice di calcolo Tremuri®, che opera nell'ambito dell'approccio di modellazione tridimensionale a telaio equivalente.

Le NTC dedicano al problema della valutazione delle strutture esistenti il capitolo 8 che definisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti.

Le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale –allineamento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni, recepiscono integralmente il documento approvato dal Consiglio superiore dei lavori pubblici nell'Assemblea Generale del 23 luglio 2010, prot.n. 92, contenente l'allineamento della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione de rischio sismico del patrimonio culturale del 12 ottobre 2007 alle nuove Norme tecniche per le costruzioni 2008.

## **2. ITER NORMATIVO DELLE LINEE GUIDA**

Con l'entrata in vigore dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, che obbliga ad effettuare le verifiche sismiche sugli edifici strategici e rilevanti stabilendo norme per la valutazione e adeguamento dei manufatti esistenti, si pone la necessità di dare concreta applicazione alla prevenzione sismica del patrimonio culturale, fino ad allora affrontata con discontinuità, anche a causa della possibilità di deroga concessa dalla normativa vigente.

In questo contesto si definisce nel maggio 2005 un'intesa istituzionale tra il Dipartimento della protezione civile e il Ministero per i beni e le attività culturali – Dipartimento per i beni culturali e paesaggistici, intesa finalizzata all'elaborazione di linee guida per l'applicazione della normativa tecnica in ragione delle peculiari esigenze del patrimonio culturale, così come previsto all'art. 3 dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3 maggio 2005.

Si forma così un gruppo di lavoro interdisciplinare che, sotto il coordinamento dell'arch. Roberto Cecchi e del prof. Gian Michele Calvi, licenzia qualche mese più tardi un documento contenente le Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale; scopo del lavoro è quello di definire un percorso di conoscenza idoneo a valutare la sicurezza sismica degli edifici tutelati, in relazione alle proprie specifiche caratteristiche storico-costruttive, ai fini dell'individuazione dei più idonei interventi di miglioramento strutturale.

Nel marzo del 2006 il quadro di riferimento scientifico è definito ed il percorso metodologico tracciato; inizia a questo punto un lungo iter istituzionale necessario per dare validità applicativa agli indirizzi contenuti nelle Linee guida. Il primo passaggio necessario è quello di sottoporre il documento all'esame del Consiglio superiore dei lavori pubblici che approva il testo nell'assemblea del 21 luglio 2006 con una serie di modifiche, necessarie a rendere il contenuto delle Linee guida allineato con le Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 14 settembre 2005.

Una volta definito il documento tecnico in coerenza con la normativa esistente, è stato necessario affrontare a livello istituzionale alcuni chiarimenti in ordine

all'attribuzione delle competenze su una materia che di per sé coinvolge l'amministrazione statale a diversi livelli: il Ministero per i beni e le attività culturali in primis, in quanto titolare di funzioni e compiti in materia di tutela del patrimonio culturale; il Dipartimento della protezione civile, competente nel campo della prevenzione del rischio sismico; il Ministero delle infrastrutture per l'elaborazione di normativa tecnica nel settore delle costruzioni.

In questo quadro istituzionale complesso si decide di emanare le Linee guida attraverso una Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, che nel marzo 2007 è sottoposta al parere della Conferenza Unificata dove viene approvata nella seduta del 20 settembre 2007; il 12 ottobre 2007 è così firmata dal Presidente del Consiglio dei Ministri, registrata dalla Corte dei Conti il 20 dicembre 2007 ed infine pubblicata nel supplemento ordinario n. 25 della gazzetta ufficiale n. 24 del 29 gennaio 2008.

Nel tempo intercorso tra l'approvazione delle Linee guida da parte del Consiglio superiore dei lavori pubblici e la pubblicazione in gazzetta della Direttiva vengono emanate le nuove Norme Tecniche per le costruzioni (decreto del Ministro delle infrastrutture del 14 gennaio 2008, pubblicato in G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, supplemento ordinario n. 30). Sotto un profilo metodologico il contenuto della Direttiva è già perfettamente coerente con gli indirizzi delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni; per il controllo di alcuni aspetti specifici è prevista, in fase di prima applicazione, l'istituzione di una cabina di regia Stato-regioni finalizzata a valutare le eventuali modifiche necessarie per armonizzare la Direttiva con le nuove Norme Tecniche; la cabina di regia si avvarrà della consulenza di un gruppo di lavoro interdisciplinare appositamente istituito in seno al Consiglio superiore dei lavori pubblici.

Il Gruppo di lavoro congiunto, istituito con lettera del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.85 del 5 febbraio 2008, ha operato a supporto della Cabina di regia con il compito di individuare ed approfondire, in armonia con le nuove Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. del 14.1.2008, le problematiche connesse alla concreta applicazione della Direttiva 12 ottobre 2007. La Cabina di regia istituita, ai sensi della Direttiva 12 ottobre 2007, con Decreto del Capo dipartimento della protezione Civile rep.n.3430 dell'8 luglio 2008 ha,

quindi, dato seguito ad un procedimento per il necessario allineamento dei due strumenti normativi.

L'allineamento alle nuove norme sulle costruzioni ha inciso prevalentemente sul 2° capitolo "Requisiti di sicurezza e conservazione" ed in particolare sul paragrafo 2.3 (Stati limite di riferimento per i beni culturali) e sul paragrafo 2.4 ( Livelli di sicurezza sismica).

Per gli altri capitoli della Direttiva, si è trattato principalmente di un lavoro di affinamento, per evitare ripetizioni di concetti, e di aggiornamento, per rendere coerenti le formule riportate nella Direttiva del 2007 con quelle descritte nelle nuove norme tecniche per le costruzioni.

Il documento licenziato "Schema di direttiva del Presidente del Consiglio inerente l'allineamento delle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" alle nuove norme tecniche sulle costruzioni" di cui al d.m. 14 gennaio 2008 è stato trasmesso l'8.02.2010 dal Presidente della Cabina di regia all'esame del Consiglio superiore dei lavori pubblici, per l'acquisizione del parere di competenza.

Il Consiglio superiore dei lavori pubblici ha istituito una apposita Commissione relatrice per l'esame del documento e gli approfondimenti necessari.

L'istruttoria condotta dalla Commissione relatrice ha comportato alcune modifiche al testo trasmesso dalla Cabina di regia.

Il testo definitivo è stato poi approvato nell'assemblea del 23 luglio 2010.

### **3. CONOSCENZA DEL MANUFATTO SECONDO LE LINEE GUIDA**

Secondo quanto previsto al punto 4 delle Linee Guida (ed al punto 8.5.1 delle NTC2008) è necessario, per la corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione, ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

La conoscenza della costruzione storica in muratura è un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale, sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento. Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche se nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all'invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi; tuttavia, in relazione alla necessità di impedire perdite irrimediabili, l'esecuzione di una completa campagna di indagini può risultare troppo invasiva sulla fabbrica stessa.

Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto. La conoscenza può infatti essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche, e delle indagini sperimentali. Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte l'edificio, a seconda della tipologia dell'intervento previsto.

Lo studio delle caratteristiche della fabbrica è teso alla definizione di un modello interpretativo che consenta, nelle diverse fasi della sua calibrazione, sia un'interpretazione qualitativa del funzionamento strutturale, sia l'analisi strutturale per una valutazione quantitativa.

Il grado di attendibilità del modello sarà strettamente legato al livello di approfondimento ed ai dati disponibili. Da questo punto di vista vengono introdotti diversi livelli di conoscenza, ad approfondimento crescente, al quale saranno legati fattori di confidenza da utilizzare nell'analisi finalizzata sia alla valutazione dello stato attuale sia a seguito degli eventuali interventi.



Il percorso della conoscenza può essere ricondotto alle seguenti attività:

1. l'identificazione della costruzione,
2. la sua localizzazione in relazione a particolari aree a rischio,
3. il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante.

L'analisi consiste in:

- un primo rilievo schematico del manufatto e nell'identificazione di eventuali elementi di pregio (apparati decorativi fissi, beni artistici mobili) che possono condizionare il livello di rischio;
- il rilievo geometrico della costruzione nello stato attuale, inteso come completa descrizione stereometrica della fabbrica, compresi gli eventuali fenomeni fessurativi e deformativi;
- l'individuazione della evoluzione della fabbrica, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria all'attuale;
- l'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente, nell'accezione materica e costruttiva, con una particolare attenzione rivolta alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi ed alla connessioni tra gli elementi;
- l'identificazione dei materiali, del loro stato di degrado, delle loro proprietà meccaniche;
- la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel tempo ed ai relativi dissesti.

### **3.1 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA**

Secondo quanto espresso al punto 4.2 delle Linee Guida, identificata la costruzione, in relazione all'approfondimento del rilievo geometrico e delle indagini materico-costruttiva, meccanica e sul terreno e le fondazioni, viene assunto dal progettista un fattore di confidenza  $FC$ , compreso tra 1 e 1.35, che consente di graduare l'attendibilità del modello di analisi strutturale e tenerne conto nella valutazione dell'indice di sicurezza sismica (o della vita nominale).

Il fattore di confidenza si applica in modo diverso in funzione dei modelli per la valutazione della sicurezza sismica, che possono essere così classificati:

- modelli che considerano la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali;
- modelli che considerano l'equilibrio limite dei diversi elementi della costruzione, pensando il materiale muratura come rigido e non resistente a trazione (creazione di un cinematismo di blocchi rigidi, attraverso l'introduzione di opportune sconnessioni).

Nel primo caso il fattore di confidenza si applica in genere alle proprietà dei materiali, in particolare riducendo le resistenze. I valori di partenza delle caratteristiche meccaniche, a cui eventualmente applicare il fattore di confidenza, saranno definiti in funzione del livello di conoscenza relativo alle proprietà meccaniche dei materiali, utilizzando gli intervalli riportati nelle Tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 della Appendice al capitolo C8 della Circolare ed operando con analogia metodologica.

Nel secondo caso, ossia di modelli di corpo rigido, nei quali la resistenza del materiale non viene tenuta in conto, il fattore di confidenza si applica direttamente alla capacità della struttura, ovvero riducendo l'accelerazione corrispondente ai diversi stati limite.

## 4. DISPOSIZIONI NORMATIVE

### 4.1 Requisiti di sicurezza e stati limite previsti nelle NTC08 e nelle Linee guida

Come già espresso in premessa, la verifica di sicurezza di un edificio esistente deve seguire le direttive impartite dal capitolo 8 del DM 14 gennaio 2008 e dal C8 e appendice C8A della Circolare applicativa, le quali guidano il progettista sia nella definizione del livello di acquisizione dati da raggiungere per una certa tipologia di edificio e sia sui requisiti di sicurezza da rispettare e le modalità di analisi da applicare.

Per la valutazione della sicurezza secondo le NTC2008 si adottano i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$ , e definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove

- $R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;
- $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive

grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

La norma impone che nella valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti in muratura si effettui la verifica degli stati limite definiti al § 3.2.1 delle NTC, con le precisazioni riportate al § 8.3.

Per i manufatti architettonici di interesse storico artistico, l'acquisizione di un sufficiente livello di sicurezza e protezione nei riguardi del rischio sismico è garantita attraverso il rispetto di tre stati limite: due fanno riferimento agli stati limite definiti dalle NTC, mentre uno è specifico per i beni culturali.

Gli Stati Limite Ultimi, SLU, sono motivati dalla volontà di salvaguardare la costruzione e l'incolumità degli occupanti nel caso di terremoti rari e di forte intensità; essi sono differenziati in Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV, e Stato Limite di prevenzione del Collasso, SLC.

Gli Stati Limite di Esercizio, SLE, hanno l'obiettivo di limitare i danni per terremoti meno intensi ma più frequenti, per ragioni economiche e funzionali, e sono differenziati in Stato Limite di Operatività, SLO, e Stato Limite di Danno, SLD).

Gli stati limite da considerare per i beni culturali sono, di norma, SLV e SLD, per la cui definizione si rimanda al punto 3.2.1 delle NTC.

Inoltre possono sussistere ragioni di tutela di specifiche opere d'arte (affreschi, stucchi, ecc.), per la protezione delle quali è opportuno introdurre uno specifico Stato Limite di danno ai beni Artistici, SLA, così definito: a seguito di un terremoto di livello opportuno (in genere quello preso in considerazione per lo stato limite di danno), 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.) subiscono danni di modesta entità, tali da poter essere restaurati senza una significativa perdita del valore culturale.

In conclusione:

- la valutazione nei riguardi dello SLV è richiesta per ciascun manufatto tutelato, anche se non soggetto ad uso, in quanto garantisce non solo la

salvaguardia degli occupanti ma anche la conservazione stessa del manufatto;

- la valutazione nei riguardi dello SLD è richiesta, a livello complessivo, per i manufatti tutelati di cui si vuole sostanzialmente garantire la funzionalità dopo il terremoto, in relazione al loro uso;
- la valutazione nei riguardi dello SLA è richiesta, esclusivamente a livello locale, nelle parti della costruzione in cui sono presenti elementi di particolare valore storico artistico; gli organi di tutela possono richiedere un livello di protezione sismica differenziato, in relazione alla rilevanza storico-artistica di tali elementi, prendendo in considerazione nei casi più significativi anche l'azione sismica per lo SLV.

#### ***4.2 Azione sismica – Stato limite di salvaguardia della vita, stato limite di danno e di operatività***

In ottemperanza a quanto previsto al § 7.3.6 e § 7.3.7 delle NTC 08, i fini della valutazione della sicurezza nei riguardi dell'azione sismica occorre, verificare la costruzione per lo stato di salvaguardia della vita umana (SLV) per lo stato limite di danno (SLD) e per lo stato limite di operatività (SLO) così definiti:

(SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

(SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

(SLO) a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

#### ***4.3 Stato Limite Ultimo STR***

Per valutare la sicurezza nei riguardi degli effetti prodotti dall'azione dei carichi verticali permanenti e variabili si sottopone la struttura alla combinazione delle azioni definita per lo stato limite di resistenza della struttura STR.

Per lo Stato limite di salvaguardia della vita e lo Stato limite di esercizio l'azione sismica sarà definita nel seguito.

#### ***4.4 Livelli di valutazione della sicurezza sismica***

Per la valutazione della capacità sismica della costruzione nelle linee guida sono stati introdotti e precisati tre livelli di valutazione, corrispondenti alle diverse condizioni nelle quali si esegue l'analisi della sicurezza sismica:

- valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale (LV1);
- progettazione di interventi locali o di riparazione (LV2);
- progettazione di interventi di miglioramento sismico che coinvolgono il comportamento dell'intero manufatto (LV3);

##### ***4.4.1 LV1: analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati***

La conoscenza del livello di rischio cui è soggetto il patrimonio architettonico tutelato è prerogativa imprescindibile per la sua conservazione nel tempo e per una fruizione in sicurezza. La valutazione della sicurezza sismica può essere condotta con riferimento a metodi semplificati che siano tuttavia in grado di stimare l'indice di sicurezza sismica, dato dal rapporto tra il periodo di ritorno  $T_{SL}$

dell'azione sismica che porta al generico stato limite (SL = SLV, SLD, SLA) ed il corrispondente periodo di ritorno di riferimento  $T_{R,SL}$ .

Particolarmente significativo è l'indice di sicurezza sismica riferito allo SLV:

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

Un valore di  $I_{S,SLV}$  maggiore di 1 indica che il manufatto è idoneo a sopportare l'azione sismica di riferimento nel sito, definita con criteri coerenti a quelli adottati dalle NTC per l'adeguamento delle costruzioni non tutelate, in funzione della vita nominale e della classe d'uso; al contrario se  $I_{S,SLV} < 1$ , la sicurezza del manufatto è inferiore a quella sopra descritta.

Siccome l'indice di sicurezza sismica è basato sui periodi di ritorno della capacità e della domanda, esso fornisce una percezione temporale delle eventuali vulnerabilità sismiche del manufatto.

Nel § 2.4 è anche definito un fattore di accelerazione,

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

basato sul rapporto tra le accelerazioni di picco al suolo, corrispondenti alla capacità ed alla domanda attese nel sito; questo è un parametro strettamente meccanico, che può essere utile per una percezione fisica della carenza in termini di resistenza e, più in generale, di capacità strutturale.

I metodi semplificati LV1 possono in alternativa fornire come risultato la vita nominale per la quale il manufatto presenta un indice di sicurezza uguale a 1 (tenendo conto anche delle condizioni d'uso). In questo caso, la vita nominale rappresenta il periodo di tempo nel quale la costruzione può essere usata con lo stesso livello di sicurezza prescritto per le nuove costruzioni. L'indice di sicurezza sismica o, in alternativa, la vita nominale sono parametri utili a stabilire delle priorità di intervento. Interventi di miglioramento sismico per la mitigazione del rischio saranno eventualmente progettati, se risulteranno necessari, a valle di una valutazione più approfondita (LV2 o LV3).

L'interpretazione qualitativa del funzionamento sismico viene in genere basata su una lettura per macroelementi, ovvero individuando parti architettoniche

caratterizzate da un comportamento in una certa misura autonomo rispetto al resto della costruzione. Su ciascun macroelemento possono essere individuati uno o più possibili meccanismi di collasso, valutando la maggiore o minore vulnerabilità in relazione alla presenza di presidi antisismici di tipo tradizionale (catene metalliche, contrafforti, ammorsamenti, ecc.) o moderno; deve anche essere considerata la maggiore vulnerabilità eventualmente indotta da trasformazioni, dissesti ed interventi di consolidamento non corretti.

#### ***4.4.2 LV2: valutazione su singoli macroelementi (meccanismi locali di collasso)***

Questo livello di valutazione si applica nei casi in cui sono previsti interventi di restauro che interessano singole parti della costruzione. La valutazione della sicurezza sismica nell'ambito di progetti di intervento su singoli elementi può essere eseguita facendo riferimento a modelli locali, riferiti a porzioni strutturalmente autonome della costruzione (macroelementi); tali modelli possono essere sviluppati mediante modelli non lineari ad elementi finiti, ed analisi limite.

#### ***4.4.3 LV3: valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto***

Questo livello di valutazione considera la sicurezza sismica della costruzione nel suo complesso, ovvero l'accelerazione del suolo che porta allo stato limite ultimo la costruzione nel suo complesso o singole sue parti significative (macroelementi). Il livello LV3 deve essere adottato nella progettazione di interventi che modifichino il funzionamento accertato della costruzione e, comunque, quando il restauro riguarda un edificio di tipo strategico, per l'importanza sociale di conoscere in modo attendibile la sicurezza di tali strutture. La verifica complessiva della risposta sismica del manufatto non richiede necessariamente il ricorso ad un modello globale della costruzione, ma è possibile procedere alla scomposizione della struttura in parti (macroelementi), a condizione che venga valutata la ripartizione delle azioni sismiche tra i diversi sistemi strutturali, in ragione delle diverse rigidità e dei collegamenti tra le stesse; tale ripartizione



può essere operata anche in modo approssimato, purché venga garantito l'equilibrio nei riguardi della totalità delle azioni orizzontali. La valutazione può quindi essere eseguita con gli stessi metodi utilizzati al livello LV2, ma sistematicamente su ciascun elemento della costruzione. Confrontando i valori ottenuti nei diversi macroelementi si può evidenziare l'inutilità di alcuni interventi:

- se il margine di miglioramento è modesto rispetto all'impatto dell'intervento sulla conservazione;
- per l'eccessiva sicurezza fornita ad alcuni macroelementi rispetto agli altri.

#### ***4.5 Modelli di valutazione per tipologie***

Le Linee Guida, colmando l'assenza nelle vigenti NTC, forniscono indicazioni esemplificative specifiche per l'analisi e la valutazione della risposta sismica nel caso delle più diffuse tipologie di manufatti tutelati.

- Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi;
- Chiese, luoghi di culto ed altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi;
- Torri, campanili ed altre strutture a prevalente sviluppo verticale;
- Ponti in muratura, archi trionfali ed altre strutture ad arco.

L'ex Macello di Imola rientra nella prima tipologia in quanto presenta sviluppo planimetrico complesso, costituite da un sistema di pareti portanti perimetrali ed interne, disposte secondo diverse direzioni, e da un sistema di orizzontamenti intermedi, che spesso svolgono anche una funzione di collegamento. Poiché esiste una evidente analogia con quello che viene genericamente identificato con il termine edificio, nel caso dell'edilizia ordinaria non tutelata, è previsto che la modellazione complessiva dei palazzi e delle ville, quindi, possa essere in genere eseguita con gli stessi modelli globali previsti dalle NTC per gli edifici esistenti in muratura; in molti casi, proprio la cura costruttiva, la qualità dei materiali e la regolarità dell'impianto strutturale, aspetti che solitamente caratterizzano queste

costruzioni, rendono maggiormente realistica l'adozione di un modello a telaio equivalente. Per la descrizione della parete in muratura come telaio equivalente si può fare riferimento alle indicazioni delle NTC. È peraltro evidente che la validità di ogni specifica indicazione dovrà essere verificata con riferimento alla singolarità del bene culturale in esame.

Per esempio, in presenza di un piano nobile di interpiano elevato e molto differente rispetto agli altri, la formula approssimata per il calcolo del periodo proprio di vibrazione non garantisce risultati attendibili: si consiglia in tal caso di procedere ad una valutazione più accurata, con metodi approssimati o con una vera e propria analisi modale. La stessa cosa può verificarsi in presenza di logge o porticati, che interessino una parte significativa a livello planimetrico; in tali situazioni la stessa modellazione a telaio equivalente potrebbe risultare piuttosto approssimativa. In questi casi, l'analisi globale può essere utile per una valutazione complessiva della sicurezza della costruzione, ma ciò non esime da una verifica di dettaglio delle logge e dei porticati attraverso modelli locali (macroelementi).

Relativamente ai metodi di verifica suggeriti per i singoli elementi, è opportuno considerare che le indicazioni per gli edifici non tutelati di tipologia residenziale sono in alcuni casi largamente cautelative, perché dettate da una limitata conoscenza sperimentale. Ad esempio, il modello di resistenza delle travi murarie orizzontali di accoppiamento (zone poste tra le aperture di due piani successivi) non considera la resistenza a trazione che si realizza nella muratura su un piano verticale, in virtù dell'ingranamento tra i blocchi. Modelli alternativi di comportamento delle travi di accoppiamento possono essere adottati, purché adeguatamente giustificati.

Un altro aspetto determinante è la definizione dello spostamento ultimo per ciascun elemento, che secondo le NTC è una frazione della sua altezza; i valori suggeriti sono stati verificati sperimentalmente in un certo campo di possibile variazione, ma non è detto che sia corretto estrapolare questa regola ad ogni possibile situazione (ad esempio per maschi murari molto bassi o nelle travi di accoppiamento, in presenza di piccole aperture, i valori suggeriti sono certamente troppo bassi). Anche in questo caso, è possibile adottare valori alternativi, purché giustificati. Nel caso di strutture portanti orizzontali formate da elementi voltati,

in funzione della tipologia delle volte, delle caratteristiche del materiale, del loro spessore e del tipo di connessione alle imposte, potrà essere valutato un valore opportuno per la rigidità da attribuire al solaio equivalente. Per quest'ultimo è consentito ipotizzare un comportamento elastico lineare, purché sia definita una deformazione angolare ultima nel piano, funzione della tipologia di volta. Nel caso in cui la struttura presenti tipologia particolare, non riconducibile alla schematizzazione a telaio equivalente, dovrà essere adottato un opportuno modello. Una possibilità è quella di creare un modello strutturale globale agli elementi finiti, con un legame costitutivo non lineare che rappresenti il comportamento della muratura (per esempio, esso dovrà essere in grado di cogliere la limitata resistenza a compressione e a trazione, il degrado delle caratteristiche meccaniche in fase non lineare, eventualmente anche la dissipazione energetica che si realizza a seguito di azioni cicliche). In particolare, in presenza di alcuni elementi architettonici (grandi atri, logge, chiostri, ecc.), la modellazione complessiva del manufatto può essere eseguita schematizzando queste parti in modo approssimato, ed operando verifiche su modelli locali di dettaglio per sottostrutture.

Se l'edificio non è isolato, ma risulta parzialmente inglobato o appartiene ad una schiera, le interazioni con le altre costruzioni potranno essere tenute in considerazione, a seconda che la posizione risulti sfavorevole (edificio di testa o d'angolo) o favorevole (edificio intercluso), tramite l'applicazione di forze sismiche aggiuntive, che potrebbero essere trasmesse dalle costruzioni adiacenti, o tramite l'inserimento di vincoli orizzontali di opportuna rigidità (utili suggerimenti sono con tenuti al punto C8A.3 dell'Appendice alla Circolare). Nel comportamento sismico dei palazzi e delle ville, l'analisi dei meccanismi locali risulta di fondamentale importanza ed in nessun caso l'analisi globale può sostituirsi a questi. Gli edifici storici, anche quando realizzati con materiali e tecniche di buona qualità, spesso non presentano sistematici collegamenti a livello di piano (catene, cordoli); inoltre, i criteri di proporzionamento geometrico che venivano adottati (distanza tra i muri di spina, distanza delle aperture dai cantonali, ecc.) non sempre sono sufficienti a prevenire ogni possibile meccanismo locale.

Sulla base dell'osservazione diretta sul manufatto o considerando situazioni analoghe (rilevate a seguito di eventi sismici su manufatti simili), si devono individuare i meccanismi potenzialmente attivabili nella costruzione e valutarne la vulnerabilità sismica. Un possibile strumento è l'analisi limite dell'equilibrio, ed in particolare le procedure formulate al punto C8A.4 della Circolare, secondo le metodologie di analisi cinematica lineare o cinematica non lineare.

L'analisi dei meccanismi locali può tuttavia essere condotta anche con modelli non lineari ad elementi finiti, attraverso un'analisi incrementale fino a collasso.

#### ***4.5.1 Modello meccanico semplificato (LV1) per palazzi e ville***

Nel caso di palazzi e ville che non presentino una tipologia costruttiva particolare, il modello meccanico semplificato proposto nelle Linee Guida consente una valutazione quantitativa del periodo di ritorno cui corrisponde il raggiungimento dello SLV (e della relativa accelerazione di picco al suolo), nell'ipotesi che questo si verifichi per rottura delle pareti nel proprio piano, nell'ambito di un comportamento complessivo del manufatto. Nel caso in cui l'edificio risultasse particolarmente vulnerabile nei riguardi di qualche meccanismo locale significativo (per carenza di collegamenti), si dovrà valutare l'accelerazione orizzontale che porta allo SLV quel macroelemento e confrontarla con quella ottenuta dal modello nel seguito illustrato.

Con riferimento alla condizione che porta al raggiungimento dello SLV è possibile ricavare il valore dell'ordinata dello spettro di risposta elastico:

$$S_{e,SLV} = \frac{qF_{SLV}}{e * M}$$

dove:

- $F_{SLV}$  è la resistenza a taglio dell'edificio;
- $q$  è il coefficiente di struttura, per il quale sulla base delle NTC e della relativa Circolare può essere assunto un valore compreso tra 3 e 3.6, per edifici con numero di piani maggiore o uguale a due e regolari in elevazione, mentre negli altri casi  $q$  deve essere compreso tra 2.25 e 2.8; si

osserva che i palazzi tutelati sono spesso caratterizzati da una buona qualità costruttiva, che giustifica l'assunzione dei valori proposti dalle NTC, ma nel caso di edifici caratterizzati da un meccanismo di collasso nei maschi murari, con fasce di piano rigide e resistenti, è opportuno attribuire al coefficiente di struttura i valori più bassi tra quelli appena indicati;

- $M$  è la massa sismica totale;
- $e^*$  è la frazione di massa partecipante sul primo modo di vibrazione.

In base al valore dell'ordinata dello spettro di risposta si determina il tempo di ritorno  $T_{SLV}$  dell'azione sismica corrispondente, mediante un procedimento iterativo che utilizza i dati disponibili in appendice delle NTC relativi ai 9 tempi di ritorno ivi riportati.

Al tempo di ritorno  $T_{SLV}$  così valutato sono associati i corrispondenti valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C$ , attraverso quali sono definiti tutti i parametri dello spettro. Il valore dell'accelerazione, riferita a suolo rigido (categoria di sottosuolo C), che porta al raggiungimento dello stato limite ultimo che in quel sito può essere calcolato come:

$$a_{SLV} = \begin{cases} \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} & T_B \leq T_1 \leq T_C \\ \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} \frac{T_1}{T_C} & T_C \leq T_1 \leq T_D \end{cases}$$

dove:

- $T_1$  è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura;
- $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  sono i periodi caratteristici dello spettro di risposta, definito al punto 3.2.3.2 delle NTC;
- $S = S_S \cdot S_T$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche.

Si ritiene che i manufatti di questa tipologia strutturale abbiano sempre periodo fondamentale inferiore a  $T_D$  (in ogni caso la seconda relazione fornisce un valore cautelativo). Se la struttura ha periodo inferiore a  $T_B$  si suggerisce comunque di utilizzare la prima relazione. La resistenza a taglio dell'edificio viene ottenuta come la minore tra quelle valutate secondo due direzioni perpendicolari, scelte in

genere secondo gli assi prevalenti dei muri portanti, prendendo in esame l'eventualità del collasso ai diversi piani della costruzione. Il modello consiste nel considerare, per ciascuna direzione, i pannelli murari portanti verticali e nell'ipotizzare che il collasso avvenga quando la tensione tangenziale media raggiunge un'opportuna quota parte della resistenza a taglio del materiale muratura. Considerando, a titolo di esempio, la direzione  $x$  ed un generico piano  $i$  dell'edificio:

$$F_{SLV,xi} = \frac{\mu_{xi} \cdot \xi_{xi} \cdot \zeta_{xi} \cdot A_{xi} \cdot \tau_{di}}{\beta_{xi} \cdot \kappa_i}$$

in cui:

- $A_{xi}$  è l'area resistente a taglio dei muri dell' $i$ -esimo piano, posti secondo la direzione  $x$  (è opportuno considerare anche i pannelli aventi inclinazione compresa tra  $\pm 45^\circ$ , considerando un'area efficace ridotta dal coefficiente  $\cos \alpha$ );
- $\tau_{di}$  è il valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura nei maschi murari del piano  $i$ :

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

dove:

- $\tau_{0d}$  è valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura (valutato tenendo conto del fattore di confidenza FC);
- $\sigma_{0i}$  è la tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri all' $i$ -esimo piano;
- $k_i$  è il rapporto tra la risultante delle forze sismiche al piano  $i$ -esimo e la forza sismica totale;
- $\beta_{xi}$  è un coefficiente di irregolarità in pianta al piano  $i$ -esimo, associato alla eccentricità  $e$ , del centro delle rigidità rispetto al baricentro delle masse (la cui entità può essere stimata), ed alla distanza, tra il baricentro delle rigidità e la parete in direzione  $x$  più esterna:

$$\beta_{xi} = 1 + 2 \frac{e_{yi}}{d_{yi}} \leq 1,25$$

Nel caso in cui siano state rilevate tutte le pareti portanti, il coefficiente di irregolarità in pianta può essere valutato in modo più accurato; note per la generica parete  $k$ , in direzione  $x$ , l'area resistente in pianta  $A_{xi, k}$ , il modulo di taglio della muratura  $G_{M, k}$  e la posizione  $y_k$  rispetto al sistema di riferimento, è possibile valutare il baricentro delle rigidezze:

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

Il coefficiente di irregolarità in pianta vale quindi:

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

- $\mu_{xi}$  è un coefficiente che considera l'omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari, che può essere così valutato:

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

dove:

- $N_{mxi}$  è il numero di maschi murari in direzione  $x$ , al piano  $i$ ;
- $A_{xi, j}$  è l'area del generico maschio in direzione  $x$  al piano  $i$  (la sommatoria è estesa a tutti i maschi del piano  $(\sum_j A_{xi, j} = A_{xi})$ ).
- $\zeta_i$  è un coefficiente legato al tipo di rottura prevista in prevalenza nei maschi murari dell' $i$ -esimo piano; esso vale 1 nel caso di collasso per taglio, mentre può essere assunto pari a 0.8 nel caso di collasso per pressoflessione (maschi snelli, poco caricati verticalmente o in presenza di fasce deboli);
- $\zeta_x$  è un coefficiente legato alla resistenza delle fasce murarie di piano nelle pareti disposte in direzione  $x$ ; esso vale 1 nel caso di fasce resistenti

(rottura dei maschi murari verticali), mentre può assumere un valore minore (fino a 0.8) nel caso di fasce deboli, non in grado di bloccare la rotazione alle estremità dei maschi murari.

La massa  $M$  da considerare per la valutazione dell'azione sismica allo stato limite ultimo è quella associata ai carichi gravitazionali

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

dove:

- $G_k$  sono i carichi permanenti (al loro valore caratteristico), computati sull'intero edificio;
- $Q_{kj}$  sono i carichi variabili accidentali (al loro valore caratteristico) al piano j-esimo;
- $g$  è l'accelerazione di gravità;
- $\psi_{2j}$  è un coefficiente di combinazione che tiene conto della probabilità che i carichi variabili al piano j-esimo siano presenti in occasione del sisma;
- $N$  è il numero di piani.

Infine, per valutare la frazione di massa partecipante al moto dinamico  $e^*$  e il coefficiente  $k_i$  è necessario ipotizzare una forma modale. Indicato con  $\phi$ , il vettore che rappresenta lo spostamento dei diversi piani secondo la forma assunta come modo di collasso (adimensionalizzato al valore unitario in sommità dell'edificio), i due coefficienti sono dati da:

$$e^* = \frac{\left( \sum_1^N m_j \phi_j \right)^2}{M \sum_1^N m_j \phi_j^2}$$

$$k_i = \frac{\sum_1^N m_j \phi_j}{\sum_1^N m_j \phi_j}$$



La valutazione dell'accelerazione allo stato limite ultimo va eseguita secondo i seguenti passi:

- calcolo della resistenza secondo le due direzioni in pianta ed ai diversi piani;
- identificazione del piano e della direzione più vulnerabile all'azione sismica, come minimo tra i valori sopra indicati;
- valutazione dell'accelerazione a SLV dell'edificio, per il piano e la direzione di maggiore debolezza.

## **5. CASO DI STUDIO DELL'EX MACELLO DI IMOLA**

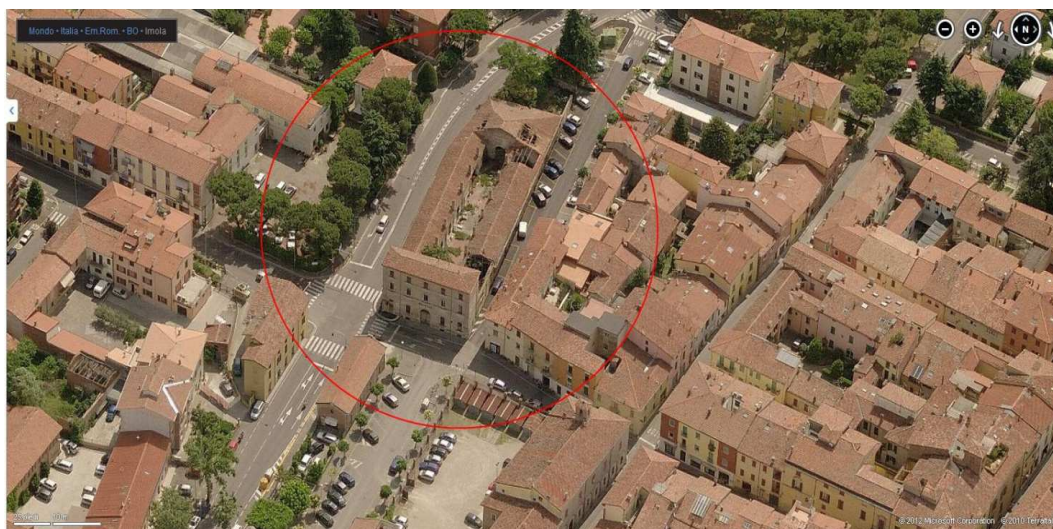
Ai margini del centro storico di Imola è facilmente distinguibile un edificio ormai abbandonato da decenni e in crescente stato di degrado. Si tratta dell'ex macello comunale, che occupa un intero isolato e ed è posto in un punto strategico della città, tra due importanti arterie stradali, la circonvallazione vecchia e la via Selice, che collega la zona industriale al centro storico.

E' un edificio con una larga storia che incomincia dalla seconda metà del settecento con un glorioso teatro, denominato Teatro dei Cavalieri, ad impianto innovativo, progettato e realizzato dall'insigne architetto imolese Cosimo Morelli, poi trasformato, dopo qualche passaggio di proprietà e controversie giuridiche, a macello comunale.

Lo stesso macello godette un momento di gloria quando i progetti delle facciate e in particolare della pianta, che è caratterizzata da un allestimento con macchinari all'avanguardia, vengono presentati all'Esposizione Universale di Parigi del 1876. L'attività di macello e pelatoio restò in funzione per più di un secolo, fino al 1978, quando l'amministrazione decise di costruire in altro sito una nuova struttura, in sostituzione di quella precedente ormai obsoleta.

Negli ultimi decenni è stato lasciato nel completo stato di abbandono e in stato di decadimento.

Il 26 aprile 2005 è stato sottoposto a tutte le disposizioni di tutela da parte del Ministero per i beni e le attività culturali ed il 31 gennaio 2011 è stato acquistato all'asta da un privato cittadino imolese.





## *5.1 Evoluzione storica del Macello*

### *5.1.1 Introduzione*

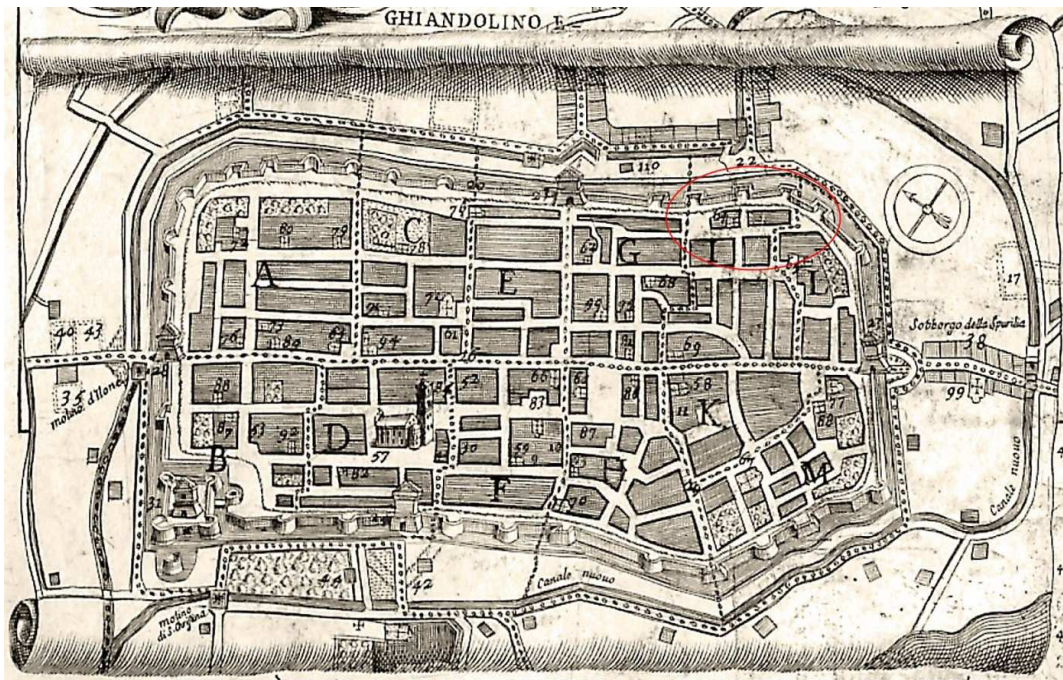
Nel corso della storia sono diverse le riproduzioni cartografiche della città di Imola.

Come ben noto, la mappa più antica di Imola risale al 152, dovuta a Leonardo da Vinci, che sperimenta per la prima volta metodi scientifici di rilevamento, inscrivendo la planimetria in un cerchio che divide in spicchi in modo da restringere i punti di riferimento per la rappresentazione grafica.





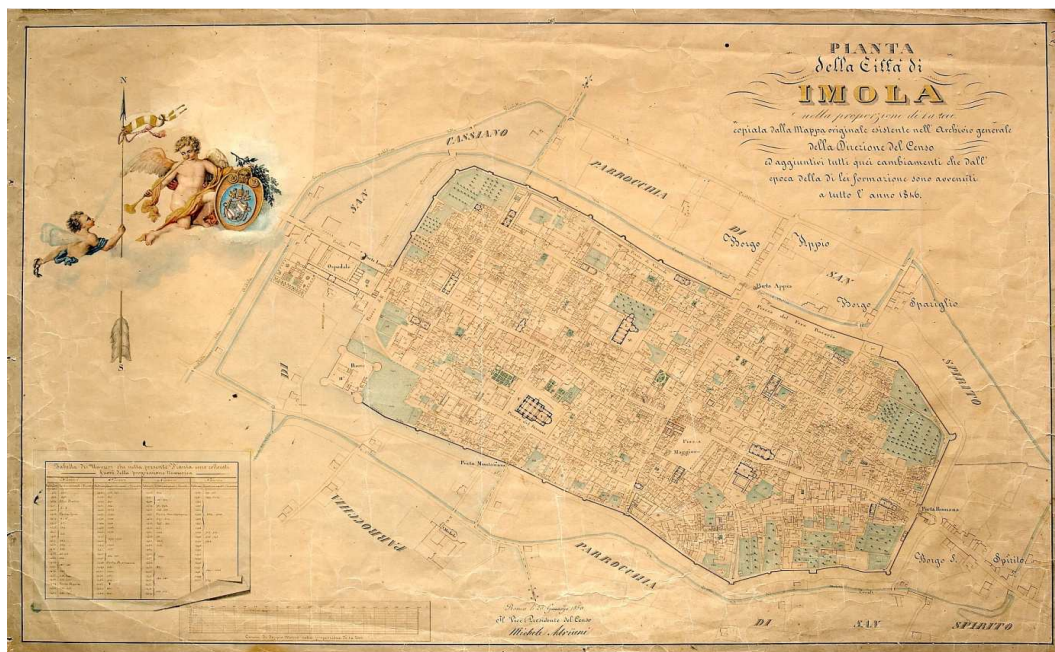
Presso l'archivio catastale imolese sono consultabili le cartografie che illustrano lo sviluppo della città. Riporto le più significative per capire come, e dove, sia nato e si sia trasformato il Macello Comunale, iniziando con una mappa del 1705:





Notiamo come la parte di nostro interesse, cioè la parte Nord-Est della città dove ora c'è il macello, non subisce modifiche, rimane sempre poco edificata perché gli angoli della città erano sempre dei punti fondamentali per la sua difesa.

Nella carta Gregoriana del 1846 si può invece notare come nella parte Nord della città, le mura abbiano avuto delle modifiche.



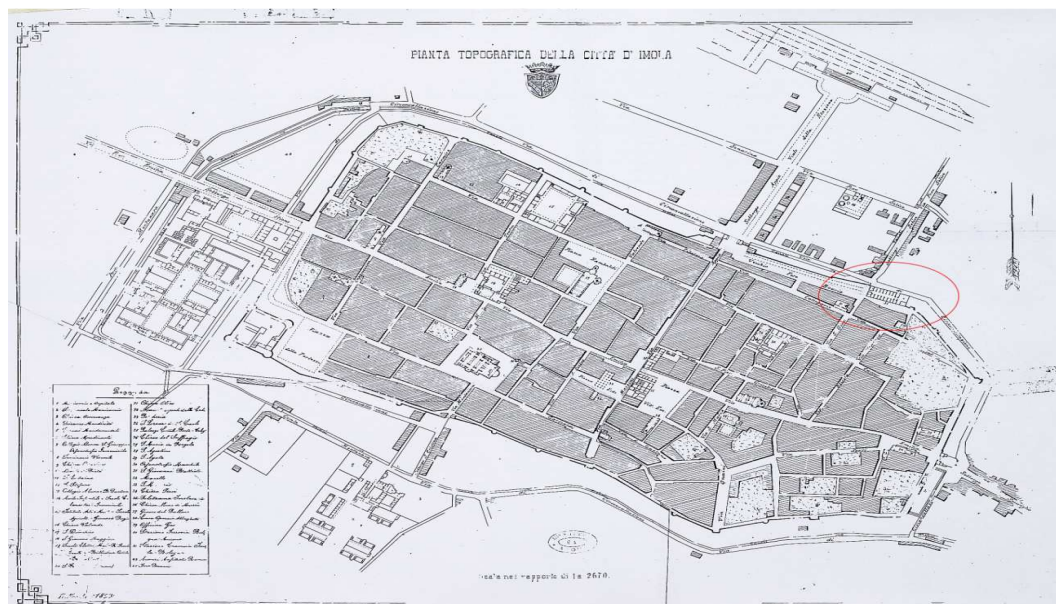
Nel 1770 venne progettato un ampliamento della cinta muraria in prossimità di Porta Appia per la costruzione di un Ospedale che poi verrà realizzato, ed è in questa occasione che il Foro Boario sarà trasferito lungo le nuove mura.



*Ingrandimento della Mappa del 1846 – Nell'ellisse l'ex Teatro dei Cavalieri*

Il primo macello venne costruito nel 1768 presso Porta Appia, poi venne spostato dalla parte opposta del Foro Boario, dove trovava posto il Teatro dei Cavalieri progettato da Cosimo Morelli prima di essere distrutto da un incendio.

In questa carta del 1893 si può vedere anche la divisione interna del nuovo macello inaugurato a fine 1800.



Prima di costruire il nuovo macello sulle rovine del Teatro dei Cavalieri, passano diversi anni; infatti, dopo l'incendio, l'edificio subisce un'involuzione, poiché passa nelle mani di diversi privati prima di essere trasformato in macello pubblico. Si tratta di cinquant'anni mai ricostruiti prima d'ora, che costituiscono l'anello di giunzione tra la struttura settecentesca e l'adattamento ottocentesco.

Nel 1863, il proprietario del vecchio teatro, che lo adibì ad altre attività (come commerciali e d'uso abitazione), decise di mettere in vendita il fabbricato.

Il comune di Imola vaglia l'ipotesi di acquistarlo per potervi installare il nuovo macello pubblico, rendendo necessaria la chiusura del vecchio mattatoio di Porta Appia, per fare posto alla stazione ferroviaria. La vicinanza con il Foro Boario ed il facile collegamento tra canali dei due edifici porta la Giunta municipale all'acquisto.

La ripetuta collocazione del macello presso le mura era una pratica diffusa, serviva per ridurre i percorsi degli animali, che ovviamente arrivavano dalle

campagne, per motivi igienici e anche per una più facile operazione di riscossione daziaria.

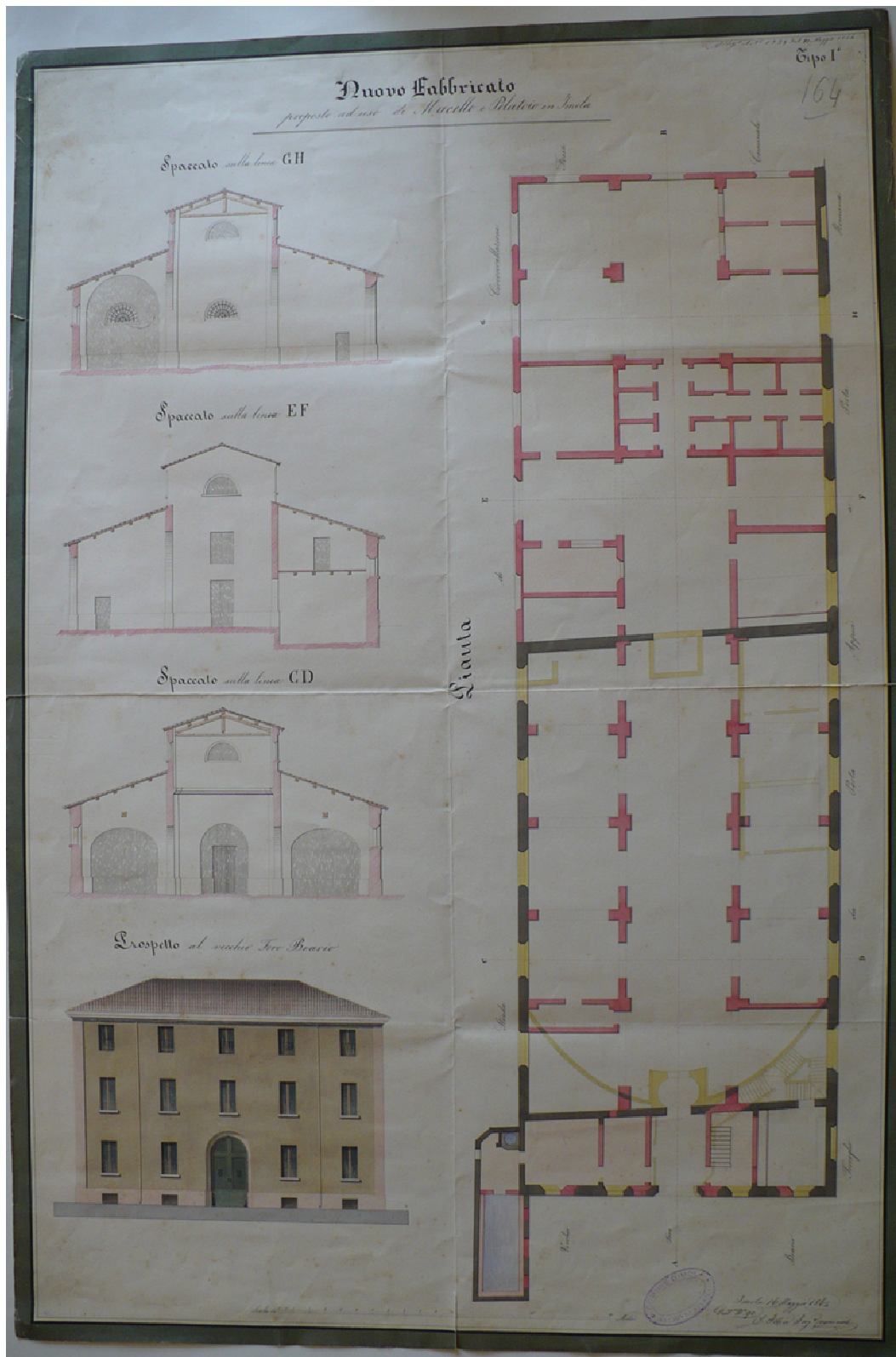
### ***5.1.2 Primo progetto***

Il primo progetto del macello a cura dell'Ingegnere Felici si compone di quattro tavole: nella prima, denominata "Nuovo fabbricato proposto ad uso di Macello e Pelatoio" sono disegnati la pianta, tre sezioni trasversali e il prospetto principale.

Molto interessante è la pianta, suddivisa in tre colori. Purtroppo manca la legenda, ma si desume facilmente che con il colore rosa siano stati indicati i lavori di nuova costruzione, in giallo tutti i lavori di nuova demolizione con successivi adattamenti e in nero i muri perimetrali da mantenere.

I cambiamenti sostanziali rispetto alla struttura settecentesca, le cui parti sopravvissute all'incendio erano state adattate ad abitazione solo nel blocco prospiciente via Selice, riguardano l'abbattimento delle scale d'accesso ai palchetti che avevano mantenuto la concavità ellittica del teatro, e lo sfalsamento delle finestre in facciata nonché l'affiancamento di una vasca di raccolta per l'acqua.

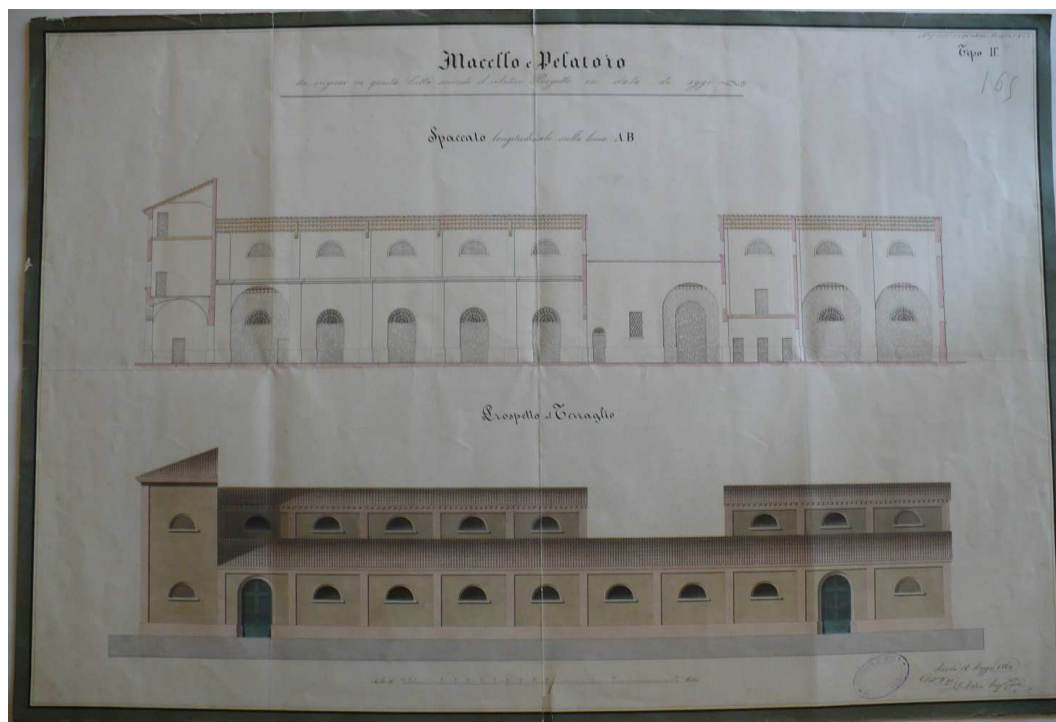




*Primo progetto dell'Ing. Felici del Macello e Pelatoio Comunale di Imola - Pianta, prospetto principale e sezioni trasversali*



La seconda, presentata come “Macello e Pelatoio da erigersi in questa città secondo il relativo progetto in data di oggi” è composta dalla sezione longitudinale e da un prospetto laterale.



*Primo progetto dell'Ing. Felici del Macello e Pelatoio Comunale di Imola - Prospetto e sezione longitudinale*

### ***5.1.3 Progetto definitivo***

La stesura definitiva, che per stile e rappresentazione non sembra opera dell'Ing. Felici, ha in comune con la precedente la suddivisione in pianta, le piastrelle lungo le stalle e le lunette sui prospetti laterali; viceversa mantiene la posizione originale delle finestre del fronte principale, cosa che si può vedere dal disegno e verificare in sito grazie alla caduta dell'intonaco e della comparsa della muratura in mattoni, che presenta semplici archi di scarico e non finestre tamponate, come al contrario risulta su via Macello in corrispondenza del primo piano.

Le tavole in questione sono due: la prima, “Ortografia del pubblico macello e pelatoio in Imola”, rappresenta il prospetto principale che, se si esclude l’indicazione dei colori di finitura, appare fedele alla realtà.



*Progetto definitivo del Macello e Pelatoio Comunale di Imola - Prospetto principale*

La seconda è la “Sciografia del pubblico macello e pelatoio in Imola”, con due sezioni trasversali ed una longitudinale che ci permettono di conoscere la copertura, oggi inesistente, della navata centrale, illustra inoltre alcuni strumenti da macello, i canali di scolo ed una finestra arcuata nel vano d’ingresso di cui oggi rimane la sagoma tamponata dietro con una cornice lignea della stessa forma.



*Progetto definitivo del Macello e Pelatoio Comunale di Imola – Sezioni*

#### **5.1.4 Modifiche del dopoguerra**

L'espansione attorno alle mura della città, e quindi in prossimità del nostro edificio, avverrà solo nel secondo dopoguerra quando, nel 1946, dopo una prima fase di ricostruzione, Imola sarà fra le prime città a dotarsi di un Piano Regolatore. Il P.R.G. programma la nuova espansione lungo la Via Emilia e colloca il nuovo quartiere industriale a Nord della città.

La via Selice, importante asse viario costruito dai romani per collegare la città al mare, rasenta il macello e diventa un asse di collegamento tra la zona residenziale periferica e il centro urbano, e fuori dell'abitato prosegue come strada provinciale e successivamente statale. Inoltre, grazie alla demolizione delle vecchie mura, avvenuta nei primi anni del novecento, scompare la cesura tra luoghi produttivi e residenziali.

Il declino del pubblico macello inizia proprio in questo periodo, quando sostanziali cambiamenti, resi necessari dopo gli eventi bellici, ne stravolgono la composizione originale.

Nel 1947, l'allora direttore del macello pubblica un libro di protesta sulle condizioni igieniche e sull'arretratezza dei macchinari.

La produzione non può essere aumentata a causa degli spazi ristretti e non riesce a soddisfare le crescenti richieste dei cittadini sempre più numerosi, inoltre, gli strumenti impiegati, non possono competere con la concorrenza che nel frattempo era stata al passo dei progressi scientifici, tecnici e meccanici.

L'anno successivo si rinnova l'interno della macelleria e delle stalle con materiali più adeguati ed operando qualche modifica sulla suddivisione degli spazi.

Le celle di Nord-est vengono trasformate in cinque stalle di sosta dove gli animali restano in osservazione.

La macellazione bovina veniva effettuata nella parte terminale dell'edificio, ricostruita sulla circonvallazione con un taglio obliquo del muro, che altera l'originaria forma rettangolare.

La macellazione suina si svolgeva invece in un locale a sud-Ovest, ottenuto dall'unificazione di tre celle con l'abbattimento dei muri divisorii.

L'entrata e l'uscita delle carni non era più differenziata poiché erano stati adottati diversi orari e diversi giorni per immettere il bestiame vivo o farlo uscire già macellato. Ciò comporta la chiusura di tutti gli accessi laterali e la costruzione della tettoia in fondo all'edificio adibita a tripperia.

Il locale di bassa macelleria viene trasferito nel blocco principale con l'apertura di un accesso su Via Selice che deturpa l'ordine neoclassico della facciata.

### ***5.1.5 Il declino dell'edificio***

Avvicinandosi ai giorni nostri, comincia l'involuzione del fabbricato.

Negli anni settanta resta attiva la sola macelleria, mentre nel decennio successivo le stalle diventano deposito comunale ed il secondo piano viene dato in affitto ad un circolo d'arte.

Quando l'evidente fatiscenza dell'esterno mette in allarme il Comune, viene effettuato un controllo di stabilità della struttura che porta allo sgombrò di tutti i locali nel 1978.



Ad oggi la struttura risulta veramente pericolante, addirittura una porzione di copertura è crollata.

In questa foto aerea del 1999 si può notare che la copertura del macello è ancora intatta:



Questa foto aerea del 2011, invece, mette in evidenza il crollo della copertura:



### *5.1.6 Il teatro dei Cavalieri*

Il periodo che va tra la metà del Settecento e la metà dell'Ottocento è segnato dalla rivoluzione teatrale che interessa l'Europa.

La realizzazione di un teatro pubblico modifica il ruolo dello spettacolo, che assume maggiore valore politico e sociale, e diventa piazza e luogo pubblico di notevoli dimensioni. Viceversa le sale precedenti erano spazi di modeste dimensioni, appannaggio della classe nobiliare che partecipava a rappresentazioni di tipo salottiero all'interno dei propri palazzi.

La nuova tipologia racchiude e sintetizza le diversificazioni sociali e le trasformazioni storiche in atto, ripartendo gli spazi tra le varie classi: i nobili mantenevano i loro palchi riservati (che in Italia rimangono a lungo un'appendice del palazzo signorile), alla borghesia spettava la platea, mentre il proletariato doveva accontentarsi dei posti più lontani sul loggione o nelle prime file delle vie adiacenti. Questa caratterizzazione dell'impianto consente maggiori sperimentazioni, sia da un punto di vista progettuale che di inserimento urbanistico; infatti l'edificio teatrale risulta una novità nel tessuto urbano e spesso più che uniformarsi al contesto, preferisce mantenere la sua diversità, caratterizzandosi come un nuovo elemento di qualificazione architettonica e di caratterizzazione territoriale, come in passato era stato per palazzi nobiliari e chiese.

Cosimo Morelli è stato uno dei maggiori interpreti del cambiamento, modella teatri più funzionali, con una progettazione scevra dai canoni europei, basata sulla distribuzione di spazi diversi attorno ad un fulcro principale (che vuole essere la citazione delle tipiche piazze nostrane attorno alle quali si svolge la vita cittadina), su una composizione più razionale e più legata alle esigenze di un pubblico diversificato.

Tra il 1755 e il 1780, a ridosso delle antiche mura di Imola, viene costruito il teatro dei Cavalieri Associati, ad opera di Cosimo Morelli (1732-1812).

L'architetto è descritto in tutte le fonti come uno dei maggiori precettisti italiani del suo secolo, il quale concorre anche per il progetto per la Fenice di Venezia e

diventa famoso proprio per la realizzazione di numerosi teatri in varie città quali Macerata, Jesi, Forlì e Ferrara.

Numerose sono le particolarità del teatro imolese. L'ubicazione periferica a Nord della città, sull'area dell'ex Foro Boario (il mercato del bestiame), apparentemente non disponibile a nessuna motivazione urbanistica, ma cela la lungimiranza dell'architetto sull'espansione urbana e la parsimoniosa scelta di utilizzare la cinta muraria della città per una parete dell'edificio.

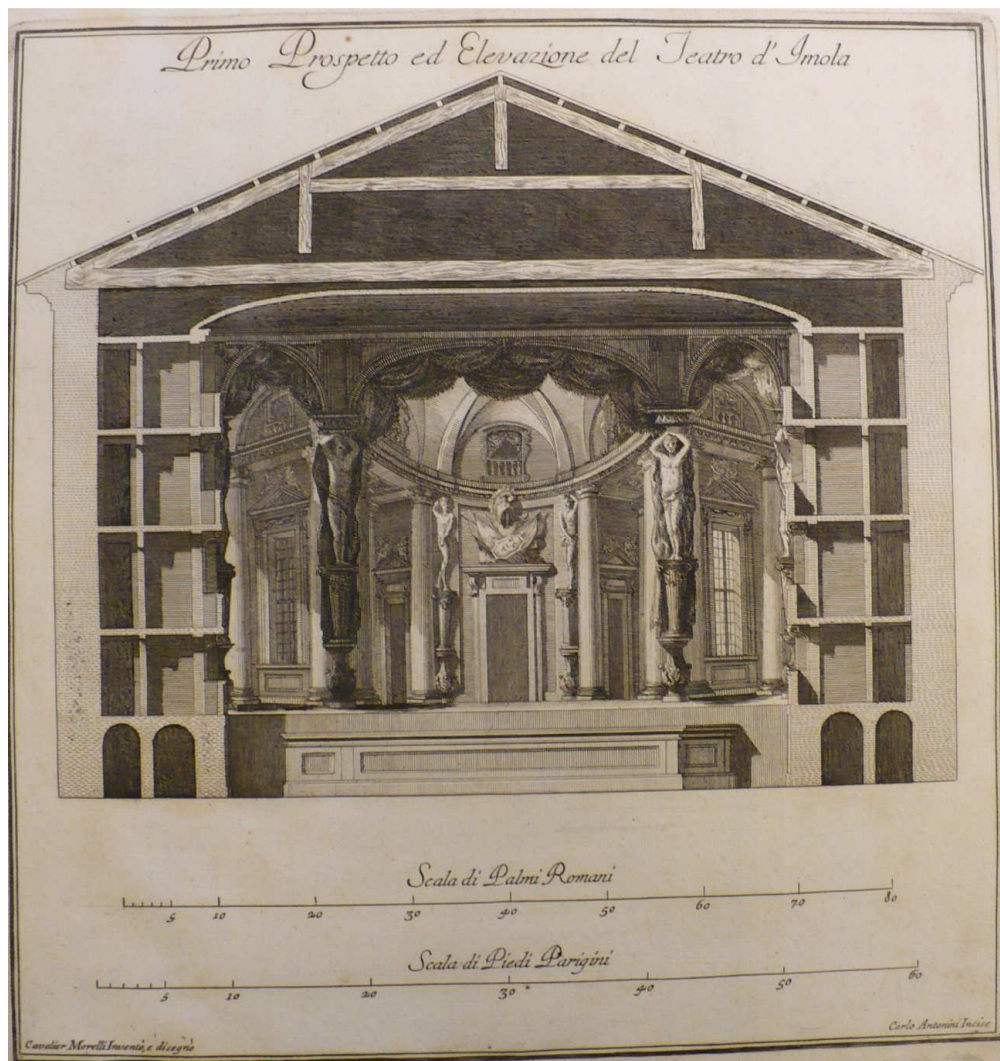
L'autore ne pubblica il progetto esaltandone la tipologia innovativa, messa a confronto con i più celebri teatri d'Italia e proposta come modello da seguire, lontano da tutti gli altri esempi dell'epoca.

I Cavalieri Associati da cui prende il nome sono sedici accademici Filopatridi, che finanziano l'opera ottenendo gratuitamente il terreno dal comune. Di essi faceva parte lo stesso Morelli che offre i disegni e segue la costruzione. Nel maggio 1780 l'edificio viene ultimato, ma l'apertura viene rimandata all'anno successivo.

Nel frattempo l'architetto pubblica il suo progetto e ne descrive le qualità.

Si tratta di un edificio autonomo, sviluppato longitudinalmente, con pochi locali accessori, quali la biglietteria e il caffè, ed una sala composta da tre ordini sovrapposti, divisi in diciassette palchi riservati ai nobili, e da un loggione. La pianta ellittica ed il proscenio "a tre bocche" sono tra le sperimentazioni più ardite, assieme ai palchi "a fascia" e all'allestimento simultaneo di tre scene diverse.

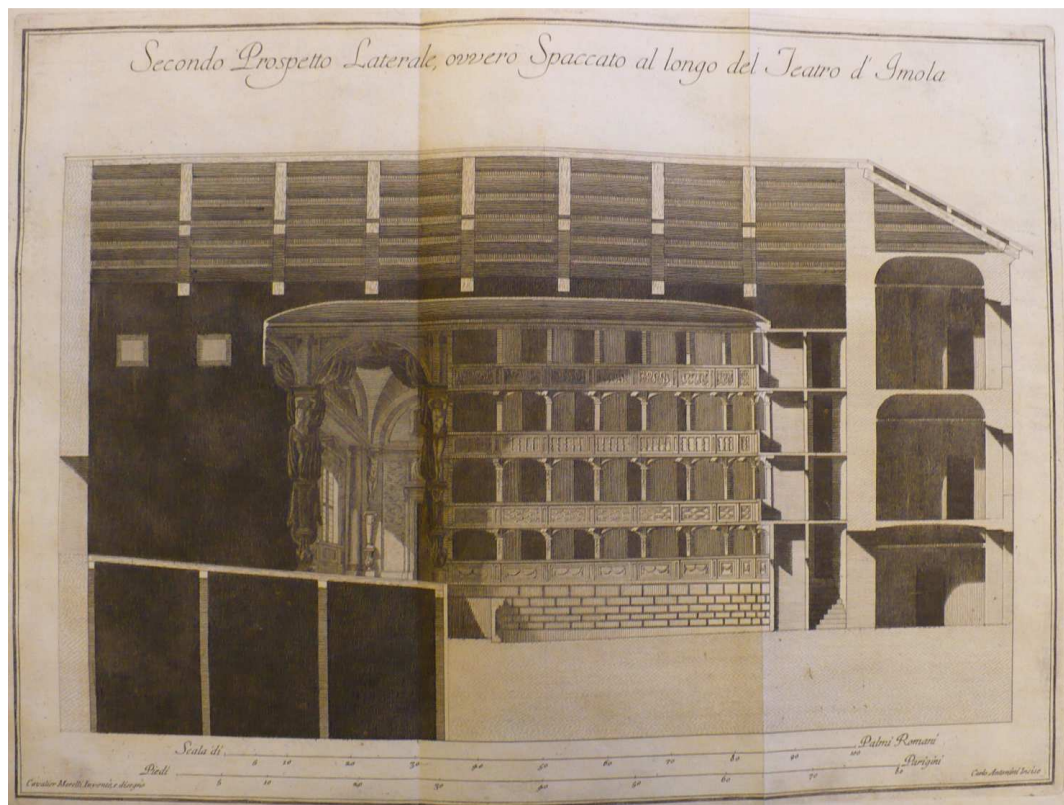




*Progetto del Teatro dei Cavalieri – Sezione trasversale*

La differenza fondamentale con altri palcoscenici consisteva nella composizione delle tre bocche, che non erano una rigida struttura architettonica, ma solo un apparato scenico delimitato non più da colonne ma da cariatidi che, come spiega Morelli, potevano essere “ levate e sostenute per aria”, per consentire una dilatazione dello spazio scenico, oppure “ si potrà tenere chiuse le bocche laterali per potere sentire con più facilità qualche aria di impegno o recitar commedia”





*Progetto del Teatro dei Cavalieri – Sezione longitudinale*

In più, eliminato il proscenio si otteneva la sutura della sala e del palco in un ambiente unitario, grazie alla collocazione dell'orchestra in platea, al soffitto omogeneo a volta ribassata ed al profilo dei palchi, con parapetti continui e indifferenziati, sporgenti rispetto ai sostegni verticali.

Ciò accentuava l'orizzontalità della sala dilatandone lo spazio. L'architetto precisa che "finito il teatro e volendo fare un veglione si potrà abbassare tutto il palcoscenico fino al piano della platea; abbassati li tre teloni formano una specie di Sala Regia ad imitazione del Colosseo".

Inoltre, se in tutti i teatri barocchi, l'attore o il cantante dovevano mettersi nel punto più esterno del palcoscenico per farsi vedere e sentire da tutti, nel teatro morelliano non era necessario poiché la forma ellittica favoriva una visione prospettica da tutti i punti ed un'acustica migliore, dato che la voce non poteva perdersi tra le quinte sceniche.

Nella stesura della pianta, Morelli indica le due diverse possibilità di allestimento scenico: a destra descrive " la pianta del luogo magnifico che forma una bocca

sola e serve a tutte e tre” mentre a sinistra disegna la soluzione a tre bocche che in realtà non si compone di tre scene differenti, ma piuttosto di tre luoghi diversi di un’unica visione panoramica. Sala e palco risultavano saldati poiché laddove si interrompeva il giro dei palchi, la concavità continuava sul palcoscenico delineata dalle cariatidi disposte lungo la curva dell’ellisse. Davanti ai sipari lo spazio continuava sotto la volta della platea per più di quattro metri, arrestandosi all’altezza dei palchetti con un fronte dal taglio rettilineo. Delle tre bocche di scena, quella centrale aveva dimensioni maggiori e insieme raggiungevano un’ampiezza di 15 metri, notevole per un teatro così piccolo. Le dimensioni infatti erano contenute; nelle incisioni sono espresse in palmi romani e in piedi parigini che tradotti in metri corrispondono a 17, 60 di fronte, 29, 40 metri di profondità, 11, 50 metri di altezza della cornice. Il vano d’ingresso, di 4 x 11, 50 metri era fiancheggiato da due piccoli ambienti, mentre la zona della sala era formata da un rettangolo di 12, 80 per 16 metri comprendenti anche corridoi e servizi. Anche la zona del palcoscenico risultava regolare di 16 per 10, 70 metri.

A Imola la sala teatrale cambia forma e significato: non è più una quinta architettonica ispirata ad una facciata o ad un cortile di palazzo, ma diventa una razionale architettura di interni, dove attori e spettatori si equivalgono. Se il Rinascimento aveva inventato il teatro moderno con la scena “all’italiana” evidenziando la cesura tra palco e cavea, solo molto tempo dopo il senso dell’evento teatrale viene interpretato come atto pubblico, in una sala che vuole essere estratta dall’interno di un palazzo e collocata nel tessuto cittadino. Ancor più interessante risulta il fatto che la maggiore sperimentazione si ha in un teatro di provincia e non in una grande città. Non a caso l’attenzione dell’architetto viene rivolta solo alla progettazione degli interni mentre nessun rilievo dell’aspetto esterno ci è pervenuto, probabilmente perché non era stato ancora definito al momento della stampa del “trattato”.

La delusione più grossa però, doveva ancora arrivare: infatti nella notte del 5 febbraio 1797 un incendio distrugge per sempre il capolavoro imolese.

Erano stati gli stessi attori ad appiccare il fuoco per vendicarsi della popolazione che già da principio frequentava poco il teatro per la scomoda posizione periferica.



### *5.1.7 Cosa rimane oggi*

Il fabbricato oggi appare come un “sobrio” edificio ottocentesco composto essenzialmente da tre parti: il blocco a tre piani degli uffici e delle abitazioni, prospiciente via Selice, le due navate che ospitavano le stalle e che all’esterno rasentano via Macello e viale De Amicis, e infine il retro che è delimitato da un recinto affiancato a sua volta da un prato. Il prospetto principale, di stampo neoclassico, è suddiviso in tre ordini delineati da fasce marcapiano. Il livello basamentario, percorso da una zoccolatura sporgente di pochi centimetri, imposta l’asse di simmetria sul portone ligneo, sormontato da una lunetta a tutto sesto con inferriata in ferro battuto e incorniciato da una modanatura con concio di chiave in risalto.



*Foto del prospetto principale*

Le due finestre sulla destra lasciano trasparire, tra le grate, la non corrispondenza dell’interno poiché una è attraversata dal solaio e l’altra è in parte murata per nascondere il primo pianerottolo del vano scale. A sinistra invece, l’ordine di facciata è stato rotto dall’aggiunta di una porta, in luogo dell’ultima finestra, che

serviva come accesso diretto al punto di vendita e che ingloba superiormente con la sua cornice l'unica parte superstite dell'apertura originale.

Ciò ha portato anche alla chiusura della rispettiva bocca di lupo, che dava luce all'interrato e che era posta lungo il basamento in corrispondenza della finestra sovrastante.

E' rimasta la scritta "MACELLO" con caratteri a rilievo, sopra al portone in ghisa, ormai arrugginiti. Il primo piano è scandito da cinque finestre arcuate con luce a tutto sesto, a differenza degli altri due livelli dove le loro cornici terminano con archi ribassati. Le cinque aperture al piano superiore sono inoltre caratterizzate da parapetti in ghisa, traforati con motivi romboidali e circolari.

Tutte le modanature sono intonacate ed evidenziano con maggior rilievo il concio di chiave; proseguono sotto i davanzali dove diventano bugne quadripartite a punta di diamante.

Ciò rappresenta l'elemento comune tra i vari livelli.

Le persiane, di cui sono ancora visibili gli agganci sulle pareti, sono state eliminate per motivi di sicurezza.

Numerosi sono i fenomeni degradanti, primi fra tutti l'alterazione delle superfici e la caduta degli strati di rivestimento.

Verticalmente la facciata è scandita dai pilastri angolari e dai due pluviali che hanno la base in ghisa e proseguono in lamiera di zinco.

Dalla strada abbiamo tre accessi: il principale, costituito dal grande portone bugnato, immette nell'atrio sormontato da una volta a vela; a sinistra rimane l'accesso posticcio della macelleria mentre su via Macello (a destra) si apre l'ingresso secondario in corrispondenza del vano scale.

A questo primo fabbricato si affianca la struttura che ospitava le stalle, caratterizzata da lunette con grate a raggiera. Ogni vano è individuato esternamente da pilastri in rilievo che si raccordano al basamento ed al cornicione. Le prime due campate sono quelle rimaste senza tetto.

L'ingresso al cortile avviene dal centro tramite una saracinesca che interrompe il susseguirsi regolare delle finestre.





*Foto dell'interno*



*Foto dell'interno*

## ***5.2 Caratteristiche strutturali***

### ***5.2.1 Sistema costruttivo***

Nonostante l'intero edificio alla stato attuale sia stato edificato o riedificato in epoche diverse vi è una discreta omogeneità nel costruito con schemi strutturali ricorrenti tra i vari edifici.

Tutti i corpi di fabbrica in esame sono realizzati con una struttura portante costituita da setti verticali di elementi artificiali in laterizio pieno.

Le coperture sono del tipo a falda con struttura in legno e manto in coppi; in alcune parti dell'edificio, inoltre, al di sotto della copertura, è presente un solaio laterocemento che svolge la funzione di "controsoffitto".

### ***5.2.2 Strutture di fondazione***

Le strutture di fondazione dell'edificio non sono state indagate nell'ambito della presente tesi, tuttavia, in base alla documentazione analizzata, essa è costituita dal proseguimento delle murature di elevazione in laterizio pieno per non meno di due metri sotto il piano campagna, ed uno spessore che a partire da quello della muratura di elevazione presenta una modesta risega con un aumento di circa 30 cm al piede.

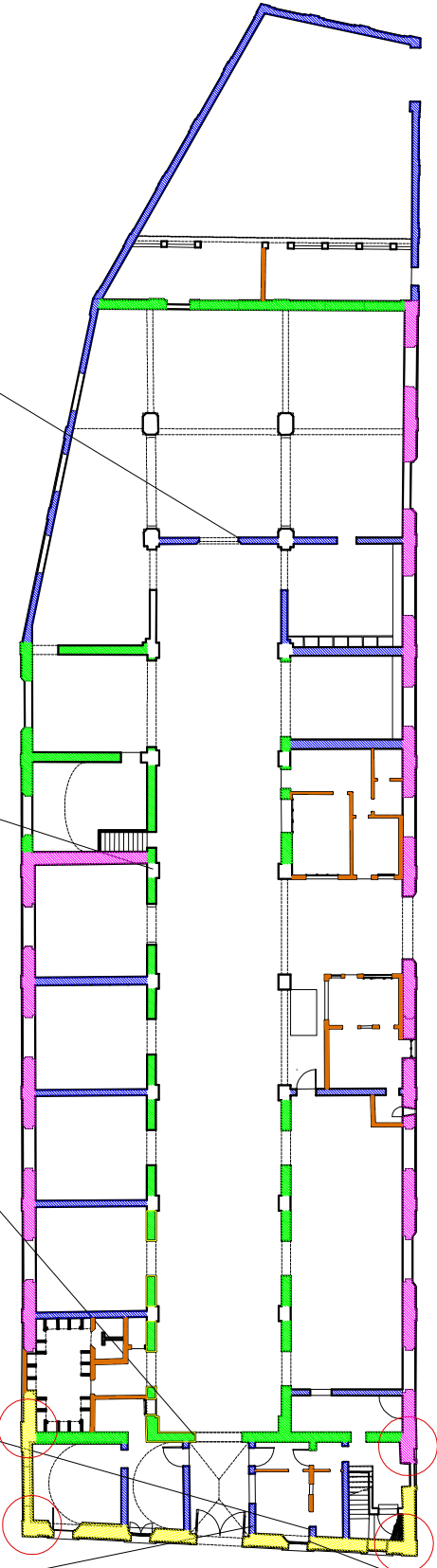
### ***5.2.3 Strutture di elevazione***

Le strutture portanti di elevazione sono costituite da maschi murari in elementi artificiali in laterizio pieno, ad eccezione della facciata e delle due pareti esterne ortogonali ad essa (di fatto le 3 pareti esterne dell'edificio che si eleva in altezza per 3 piani) dove un' apparente muratura piena a 5 teste, maschera l'effettiva presenza di una muratura a sacco.









A fronte di una buona omogeneità tra gli schemi strutturali dei vari edifici, non altrettanto si può affermare a proposito della fattura e dello stato di conservazione delle murature, principalmente a causa delle diverse epoche di costruzione delle varie parti del complesso edilizio e delle successive modifiche apportate.

Si riportano di seguito le tavole riportanti le tipologie di murature rilevate:

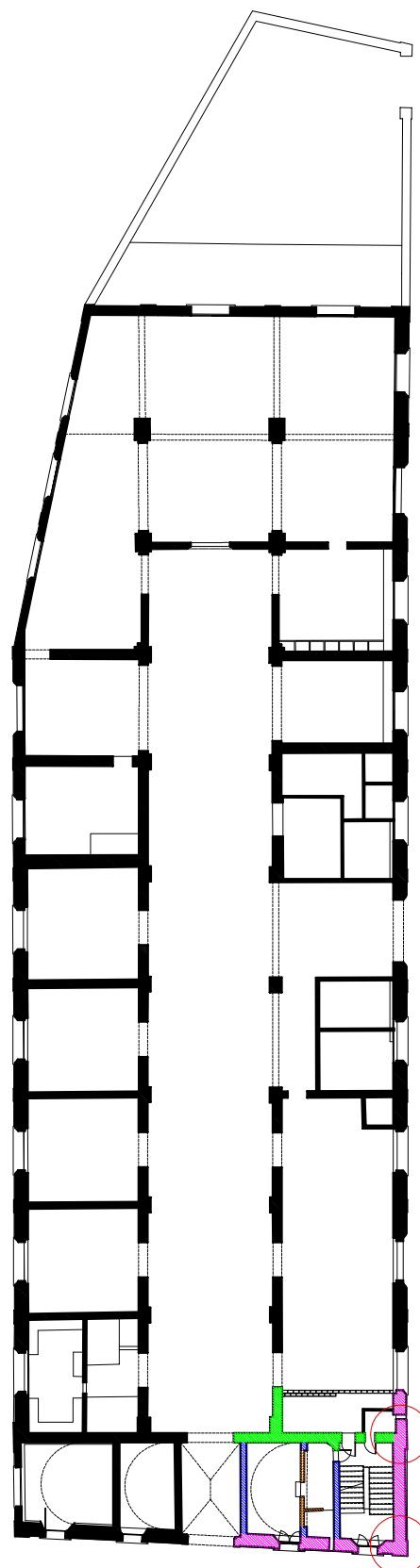












PIANO TERRA

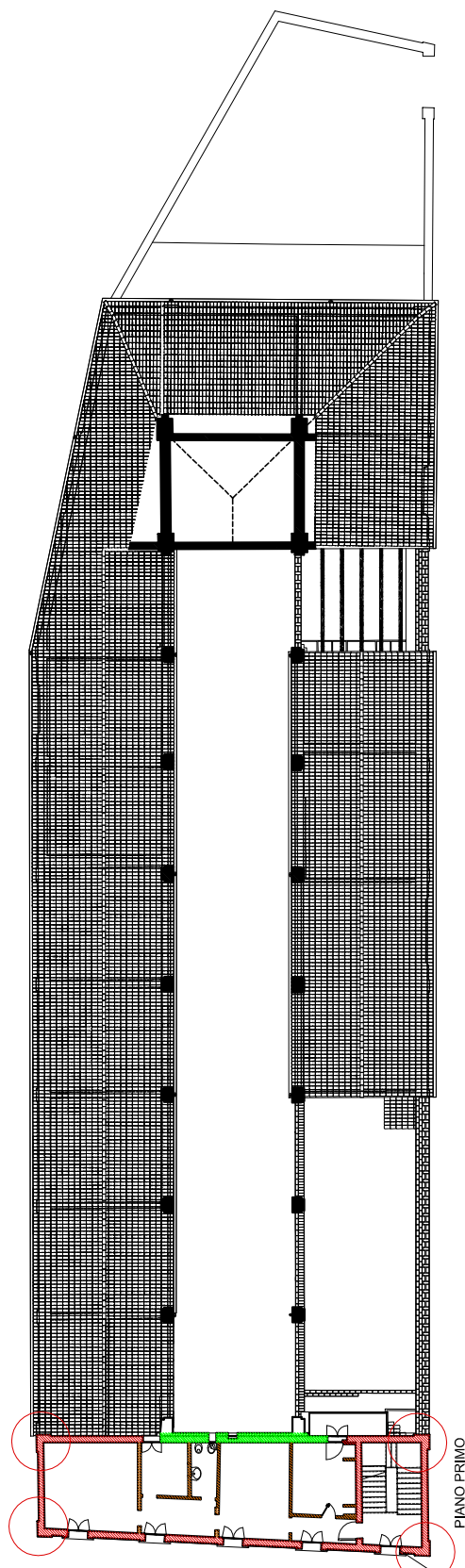
- MURATURA A 1 TESTA RICOPERTA DA CANNICCIATO 
- CANTONALE IN MATTONI 
- MURATURA A 3 TESTE 
- MURO AD UNA TESTA CONCATENAMENTO A CORTINA 
- MURATURA A 2 TESTE 
- MURATURA A 5 TESTE 
- MURATURA A SACCO 
- MURATURA A 2 TESTE, CONCATENAMENTO A BLOCCO 





PIANO AMMEZZATO

- MURATURA A 1 TESTA RICOPERTA DA CANNICCIATO 
- CANTONALE IN MATTONI 
- MURATURA A 3 TESTE 
- MURO AD UNA TESTA CONCATENAMENTO A CORTINA 
- MURATURA A 2 TESTE 
- MURATURA A 5 TESTE 
- MURATURA A 2 TESTE, CONCATENAMENTO A BLOCCO 
- MURATURA A SACCO 



PIANO PRIMO

MURATURA A 1 TESTA  
RICOPERTA DA  
CANNICCIATO



CANTONALE IN MATTONI



MURATURA A 3 TESTE



MURO AD UNA TESTA  
CONCATENAMENTO A  
CORTINA



MURATURA A 2 TESTE



MURATURA A SACCO

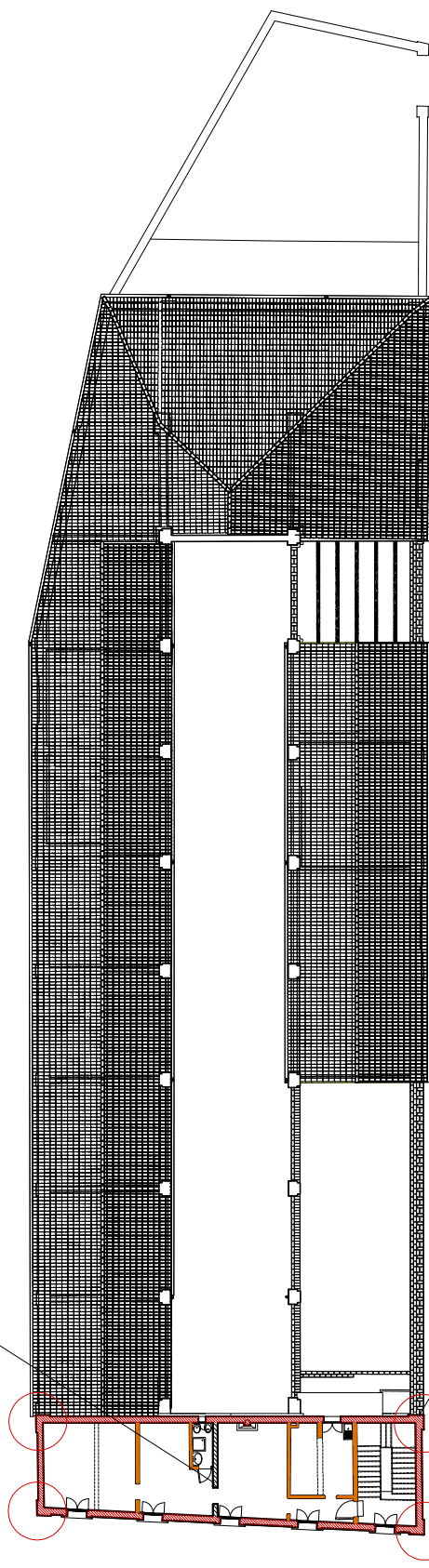


MURATURA A 5 TESTE



MURATURA A 2 TESTE,  
CONCATENAMENTO A  
BLOCCO





PIANO SECONDO

- MURATURA A 1 TESTA  
RICOPERTA DA  
CANNICCIATO
- CANTONALE IN MATTONI
- MURATURA A 3 TESTE
- MURO AD UNA TESTA  
CONCATENAMENTO A  
CORTINA
- MURATURA A 2 TESTE
- MURATURA A 5 TESTE
- MURATURA A 1 TESTA  
RICOPERTA DA  
CANNICCIATO
- CANTONALE IN MATTONI
- MURATURA A 3 TESTE
- MURO AD UNA TESTA  
CONCATENAMENTO A  
CORTINA
- MURATURA A 2 TESTE
- MURATURA A 5 TESTE
- MURATURA A SACCO
- MURATURA A 2 TESTE,  
CONCATENAMENTO A  
BLOCCO



#### *5.2.4 Strutture orizzontali e di copertura*

Le strutture orizzontali di solaio delle varie parti dell'edificio, risultano in parte facilmente desumibili da una semplice osservazione diretta, come nel seguente caso:



in altri casi, invece, è stato necessario sfruttare piccoli pertugi o aperture per meglio indagare, come nel caso del “sottotetto” compreso tra la copertura lignea ed il “controsoffitto” in laterocemento:



Ma anche nel caso del solaio del primo piano, che era letteralmente nascosto dal controsoffitto in canniccato, se non per una piccola fessura:



attraverso la quale è stata constatata la presenza di una doppia orditura di travi lignee:

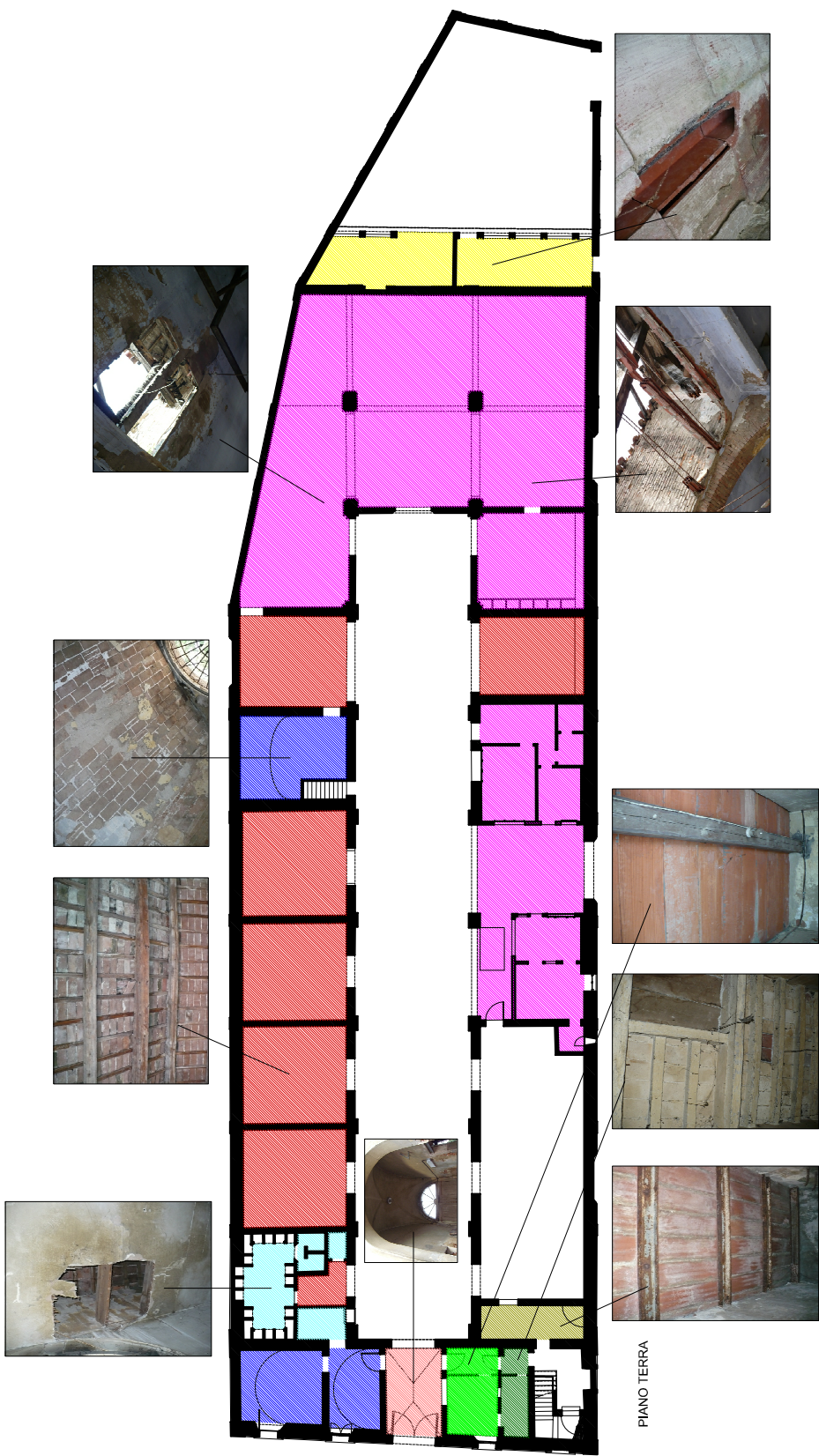


Infine, un altro caso in cui, proprio il degrado, ha permesso una miglior comprensione della tipologia di solaio presente in copertura:




Si riportano di seguito le tavole riportanti le tipologie di orizzontamenti rilevati:







PIANO TERRA


- 


DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO E TAVELLE + CONTROSOFFITTO IN CANNICCIATO (+ INTONACO)




SOLAI IN LATERIZIO CON TRAVETTI IN PRECOMPRESSO
- 


VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO




TRAVE LIGNEA (15X13 CM) + TAVELLONI (6X100X25 CM)
- 


VOLTA A CROCIERA IN LATERIZIO




TRAVE LIGNEA (10X10 CM) + TAVELLE (14X28 CM)
- 


TRAVETTI IN ACCIAIO SU CUI POGGIANO TAVELLONI (6X100X25 MM)




PROFILATO IN ACCIAIO A "C" + TAVELLONI (6X100X25 CM)
- 

TRIPLO IMPALCATO IN LEGNO (+ COPPI) A CUI E' APPESO IL CANNICCIATO E L'INTONACO

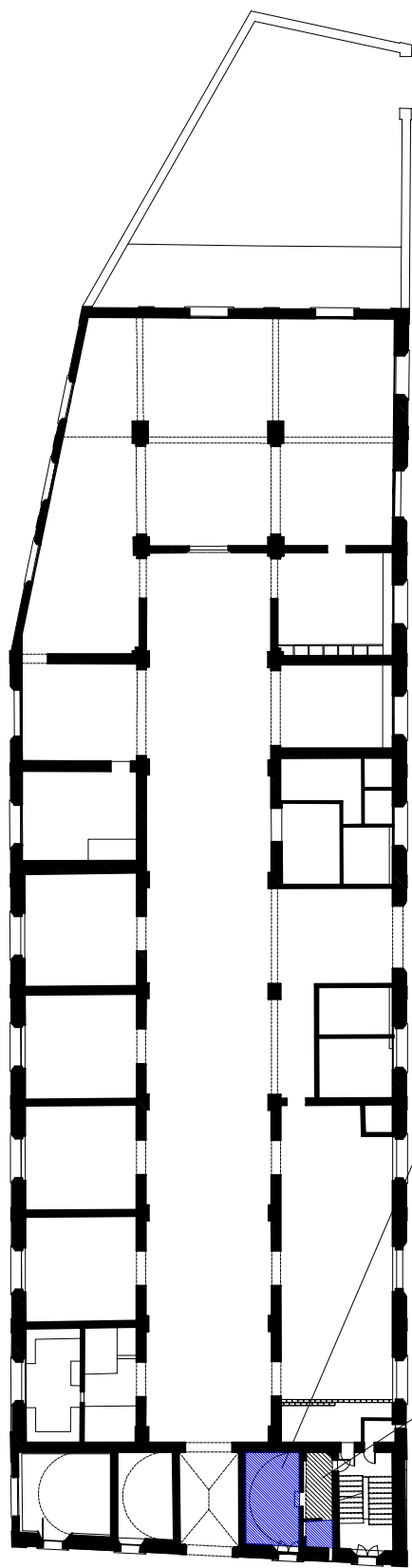


SOLAI IN LATEROCEMENTO
- 

TRAVE LIGNEA (20X20 CM) + TRAVICELLI LIGNEI (4X8 CM) + TAVELLE (4X28X14 CM) + COPPIE SOITTOCOPPI







PIANO AMMEZZATO

DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO E TAVELLE + CONTROSOFFITTO IN CANNICCIATO (+ INTONACO)



VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO



VOLTA A CROCIERA IN LATERIZIO



TRAVETTI IN ACCIAIO SU CUI POGGIANO TAVELLONI (6X100X25 MM)



TRIPLO IMPALCATO IN LEGNO (+ COPPI) A CUI E' APPESO IL CANNICCIATO E L'INTONACO



TRAVE LIGNEA (20X20 CM) + TRAVICELLI LIGNEI (4X8 CM) + TAVELLE (4X28X14 CM) + COPPIE SOITTOCOPPI



SOLAIO IN LATERIZIO CON TRAVETTI IN PRECOMPRESSO



TRAVE LIGNEA (15X13 CM) + TAVELLONI (6X100X25 CM)



TRAVE LIGNEA (10X10 CM) + TAVELLE (14X28 CM)

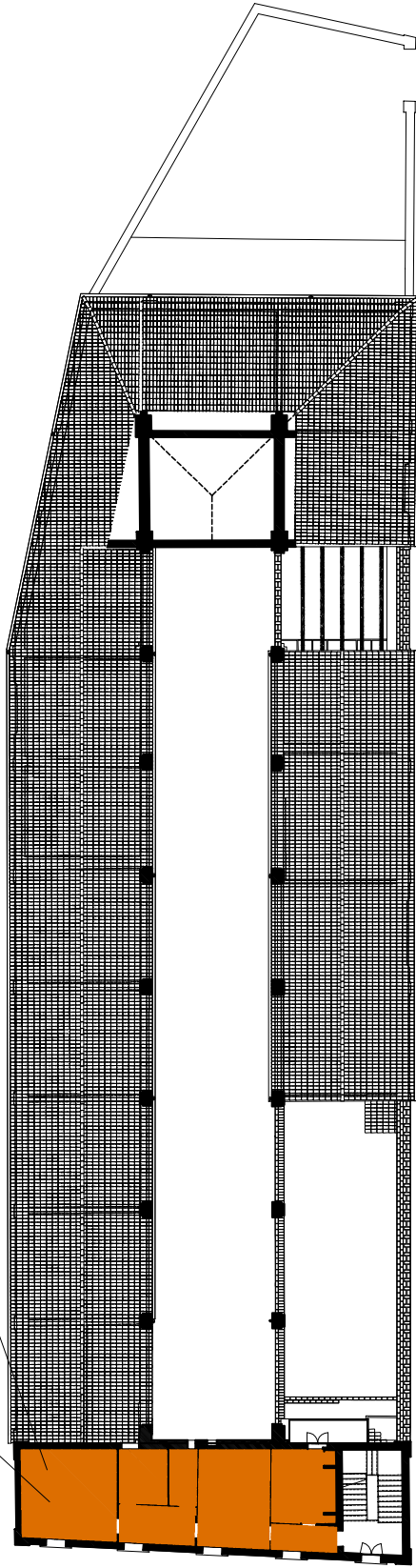


PROFILATO IN ACCIAIO A "C" + TAVELLONI (6X100X25 CM)



SOLAIO IN LATEROCEMENTO





PIANO PRIMO

DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO E TAVELLE + CONTROSOFFITTO IN CANNICCIATO (+ INTONACO)



VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO



VOLTA A CROCIERA IN LATERIZIO



TRAVETTI IN ACCIAIO SU CUI POGGIANO TAVELLONI (6X100X25 MM)



TRIPLO IMPALCATO IN LEGNO (+ COPPI) A CUI E' APPESO IL CANNICCIATO E L'INTONACO



TRAVE LIGNEA (20X20 CM) + TRAVICELLI LIGNEI (4X8 CM) + TAVELLE (4X28X14 CM) + COPPIE SOITTOCOPPI



SOLAI IN LATERIZIO CON TRAVETTI IN PRECOMPRESSO



TRAVE LIGNEA (15X13 CM) + TAVELLONI (6X100X25 CM)



TRAVE LIGNEA (10X10 CM) + TAVELLE (14X28 CM)

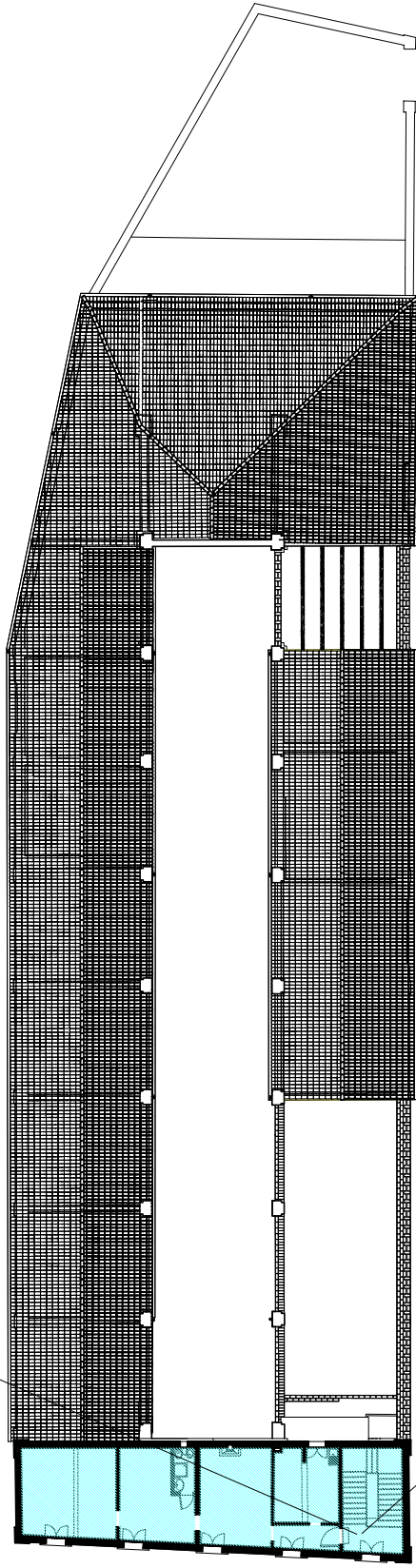


PROFILATO IN ACCIAIO A 'C' + TAVELLONI (6X100X25 CM)














SOLAI IN LATEROCEMENTO





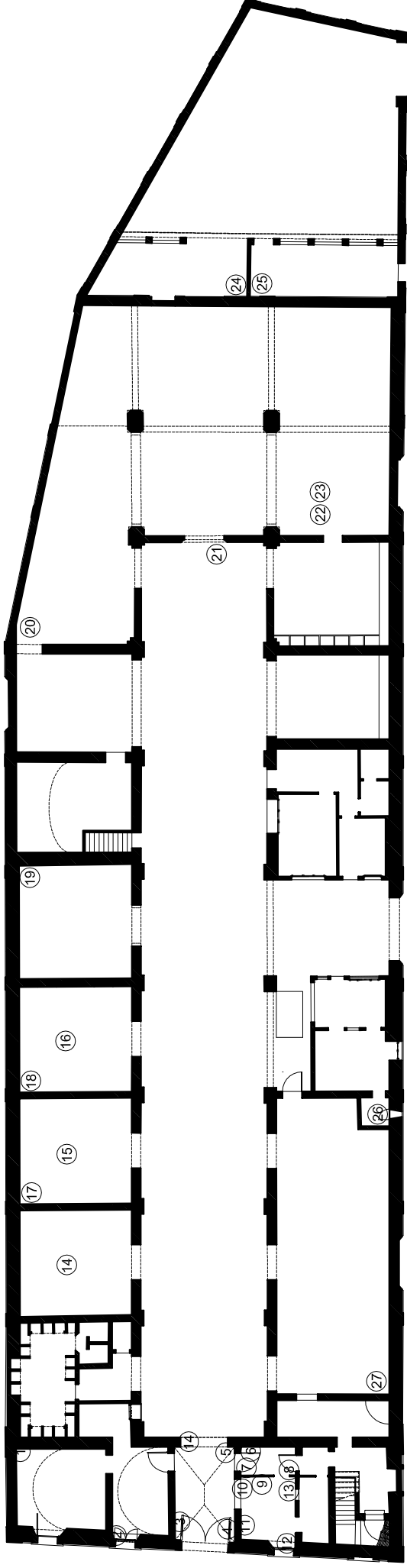
PIANO SECONDO

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
|  | DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO E TAVELLE + CONTROSOFFITTO IN CANNICCIATO (+ INTONACO) |    | TRAVE LIGNEA (20X20 CM) + TRAVICELLI LIGNEI (4X8 CM) + TAVELLE (4X28X14 CM) + COPPIE SOITTOCOPPI |
|  | VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO   |    | TRIPLO IMPALCATO IN LEGNO (+ COPPI) A CUIE' APPESO IL CANNICCIATO E L'INTONACO                   |
|  | TRAVE LIGNEA (15X13 CM) + TAVELLONI (6X100X25 CM)                                |  | TRAVETTI IN ACCIAIO SU CUI POGGIANO TAVELLONI (6X100X25 MM)                                      |
|  | SOLAI IN LATERIZIO CON TRAVETTI IN PRECOMPRESSO                                  |    | SOLAI IN LATEROCEMENTO   |
|  | VOLTA A CROCIERA IN LATERIZIO  |  | PROFILATO IN ACCIAIO A "C" + TAVELLONI (6X100X25 CM)   |
|  | TRAVE LIGNEA (10X10 CM) + TAVELLE (14X28 CM)                                     |   |  |

### ***5.2.5 Degrado strutturale***

I corpi di fabbrica in oggetto della presente relazione sono costituiti da edifici storici di antica costruzione, oggetto di vari interventi di ampliamento, ristrutturazione o consolidamento, che ne hanno in parte modificato l'impianto originario. È quindi da ritenersi inevitabile il manifestarsi di stati fessurativi e/o dissesti a carico delle strutture portanti di elevazione, nonché forme di degrado dei materiali.

Di seguito si riportano le tavole riportanti i danni strutturali rilevabile nelle varie parti dell'ex macello:



PIANO TERRA

CREPE



TRAVI IN ACCIAIO CHE POTREBBERO SVOLGERE LA FUNZIONE DI TIRANTI

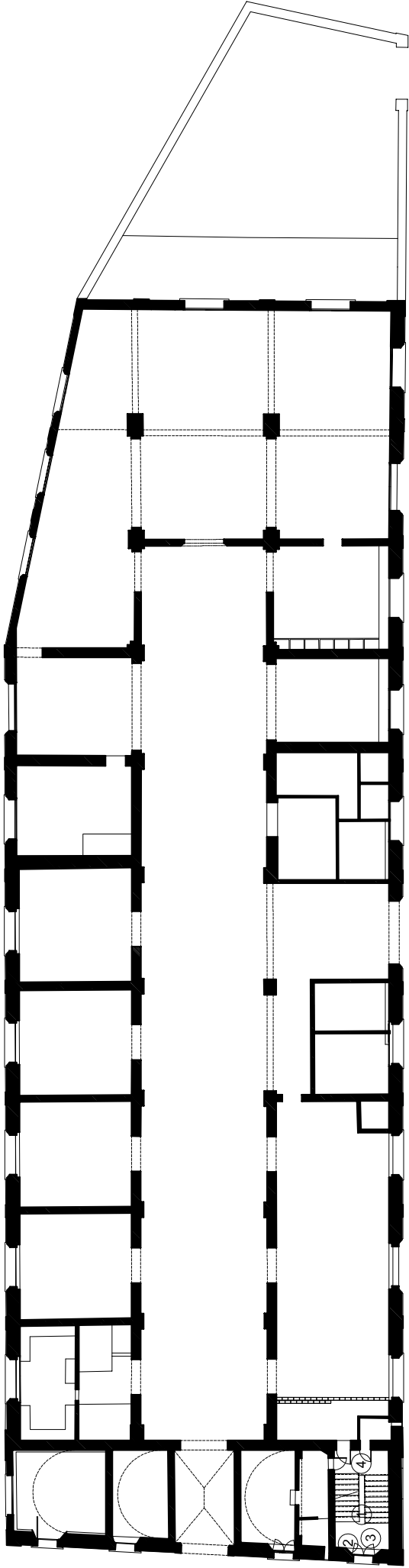


PARETI NON AMMORSATE TRA LORO



IRREGOLARITA' E DEGRADO NELLE MURATURE E SOLAI



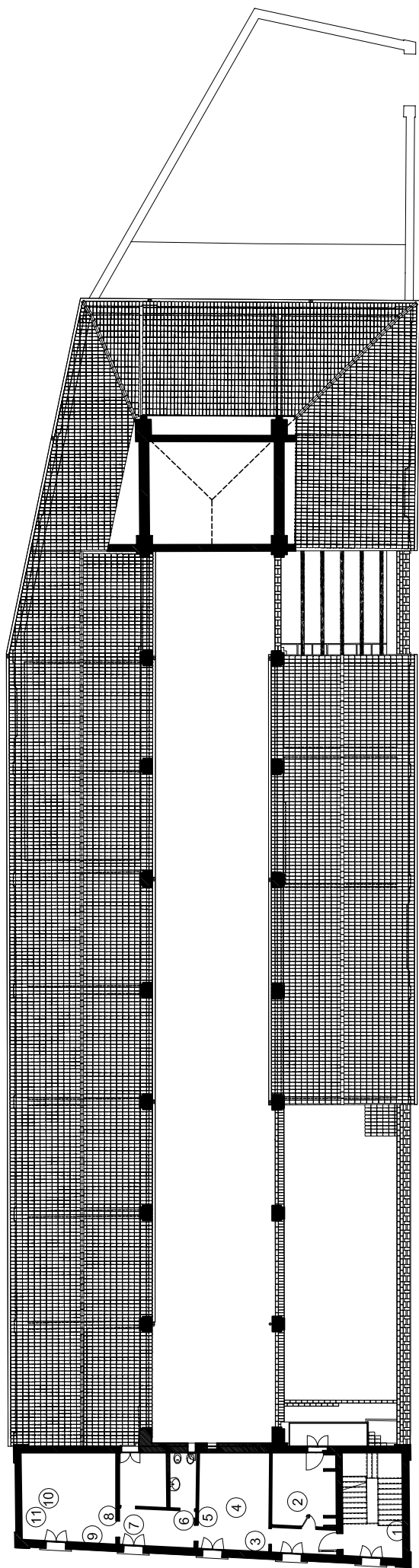


PIANO AMMEZZATO

CREPE







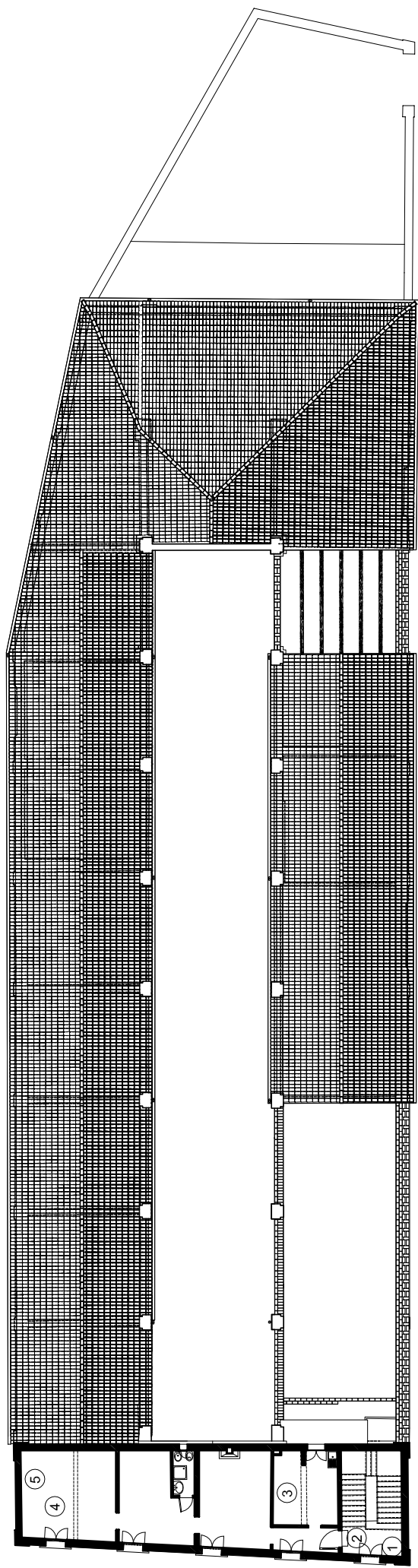
PIANO PRIMO

CREPE



DISTACCO TRA SOLAIO E PARETE VERTICALE





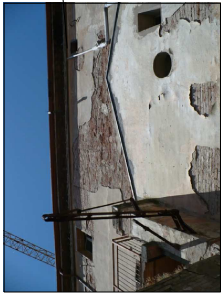
PIANO SECONDO

CONTROSOFFITTO DETERIORATO

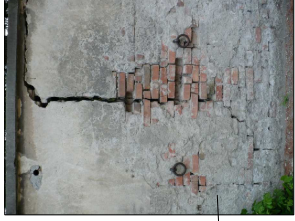


PAVIMENTO CHE CEDE

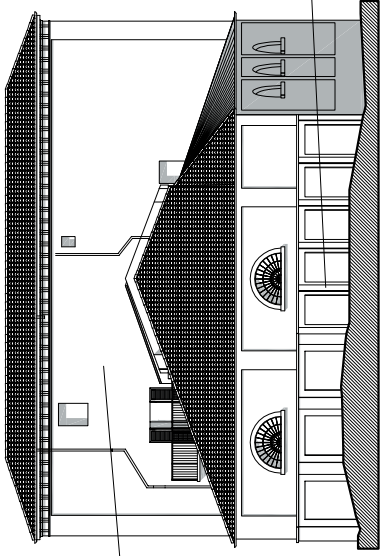




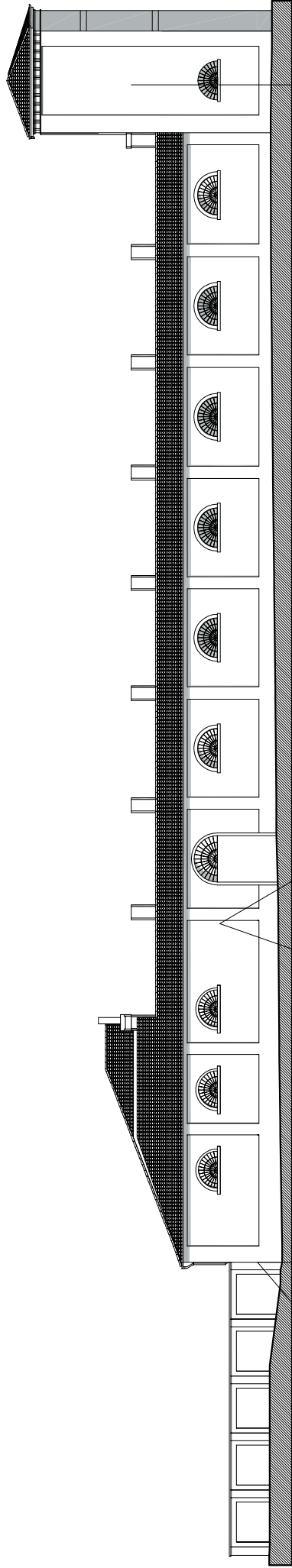
MURATURA DI RIPIEPIIMENTO  
NON AMMORSATA



CREPA



prospetto via Baviera Maghinardo



prospetto viale De Amicis



CREPA



CREPA



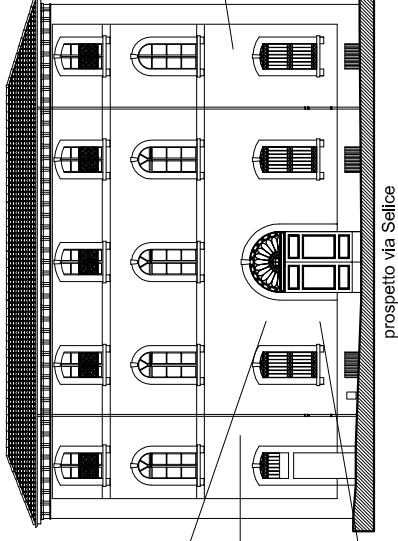
MURATURE NON AMMORSATE



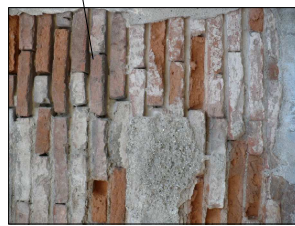
APERTURE TAMPONATE



CREPA



prospetto via Selice



DEGRADO MALTA E DIATONI

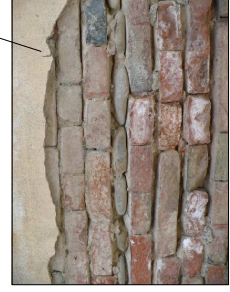


PERICOLO DI CROLLO

MURATURE SCARSAMENTE AMMORSATE



DEGRADO MALTA ED ELEMENTI DI TIPO DIVERSO



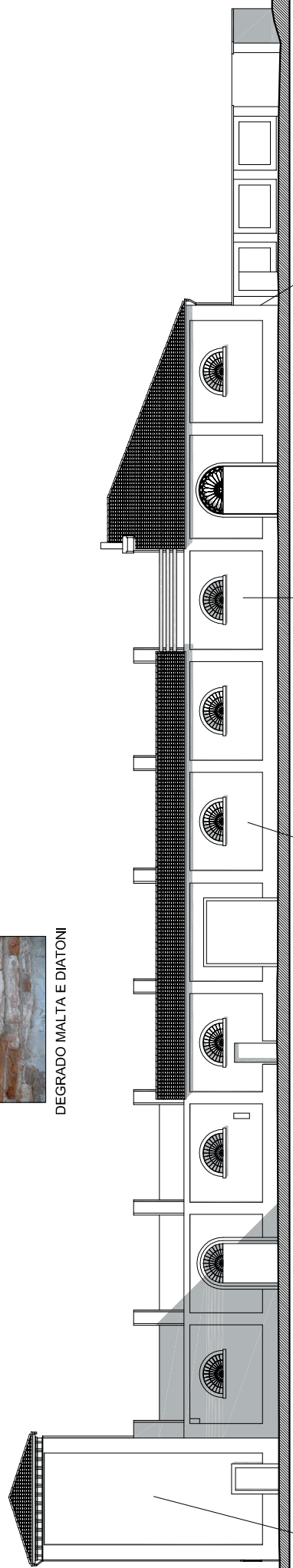
DEGRADO MALTA ED ELEMENTI DI TIPO DIVERSO



CREPA



CREPA



prospetto via Macello



APERTURE TAMPONATE

### 5.2.6 Analisi dei carichi

L'analisi dei carichi è stata effettuata tramite informazioni ricavate mediante sopralluoghi effettuati in situ.

<b>SOLAIO DI COPERTURA: SOLAIO CON CAPRIATE IN LEGNO E TAVELLONI</b>					
	Dimensioni (m)			P.Unit.	Peso
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo
Catena capriata lignea	0,20	0,20	4,00	8,0	0,08 kN/m <sup>2</sup>
Corrente capriata lignea	0,20	0,20	4,00	8,0	0,08 kN/m <sup>2</sup>
Puntone ligneo	0,20	0,20	4,00	8,0	0,04 kN/m <sup>2</sup>
Monaco ligneo	0,20	0,20	4,00	8,0	0,08 kN/m <sup>2</sup>
Terzere	0,20	0,20	2,00	8,0	0,16 kN/m <sup>2</sup>
Travi lignee di sostegno a singola orditura	0,40	0,40	1,25	8,0	1,02 kN/m <sup>2</sup>
Tavellone in laterizio superiore	1,00	0,04	1,00	7,0	0,28 kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,74 kN/m<sup>2</sup></b>
Copertura in coppo tradizionale				0,7	0,70 kN/m <sup>2</sup>
incannicciato ed intonaco intradosso				0,5	0,50 kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>1,20 kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,06 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>3,00 kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO SECONDO PIANO (DOPPIO IMPALCATO IL LEGNO E TAVELLE + CONTROSOFFITTO IN CANNICCIATO)</b>					
	Dimensioni (m)			P.Unit.	Peso
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32 kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09 kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72 kN/m <sup>2</sup>
Travi lignee di sostegno a singola orditura	0,40	0,40	1,25	8,0	1,02 kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>2,15 kN/m<sup>2</sup></b>
Pavimentazione	1,00	0,02	1,00	20,0	0,40 kN/m <sup>2</sup>
Massetto di allettamento	1,00	0,045	1,00	21,0	0,95 kN/m <sup>2</sup>
incannicciato ed intonaco intradosso				0,5	0,50 kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>1,85 kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,00 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>4,00 kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO PRIMO PIANO (DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO + VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,13</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Pavimentazione	1,00	0,02	1,00	20,0	0,40	kN/m <sup>2</sup>
Massetto di allettamento	1,00	0,045	1,00	21,0	0,95	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>2,07</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,00	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>3,20</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO PRIMO PIANO (DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO + VOLTA A CROCIERA IN LATERIZIO)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,13</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Pavimentazione	1,00	0,02	1,00	20,0	0,40	kN/m <sup>2</sup>
Massetto di allettamento	1,00	0,045	1,00	21,0	0,95	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>2,07</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,00	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>3,20</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>



<b>SOLAIO PRIMO PIANO (DOPPIO IMPALCATO IN LEGNO + TAVELLE)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,13</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Pavimentazione	1,00	0,02	1,00	20,0	0,40	kN/m <sup>2</sup>
Massetto di allettamento	1,00	0,045	1,00	21,0	0,95	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>1,35</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,02	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>2,50</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO PRIMO PIANO (COPERTURA LIGNEA CON TRAVI A VISTA)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,13</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Copertura in coppo tradizionale				0,7	0,70	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>0,70</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,07	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>1,90</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO PRIMO PIANO (VOLTA A BOTTE IN LATERIZIO + COPERTURA LIGNEA)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>1,13</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Copertura in coppo tradizionale				0,7	0,70	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>1,42</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,05	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>2,60</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>SOLAIO PRIMO PIANO (SOLAIO IN LATERIZIO CON TRAVETTI IN PRECOMPRESSO + COPERTURA LIGNEA)</b>						
	Dimensioni (m)			P.Unit	Peso	
	larghezza	spessore	passo	kN/m <sup>3</sup>	Complessivo	
Travi lignee principali	0,20	0,25	1,25	8,0	0,32	kN/m <sup>2</sup>
Travicelli lignei	0,04	0,08	0,30	8,0	0,09	kN/m <sup>2</sup>
Pianelle in laterizio	1,00	0,04	1,00	18,0	0,72	kN/m <sup>2</sup>
Solaio laterocemento con travetti precompressi					2,80	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso proprio (G1)</b>					<b>3,93</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Copertura in coppo tradizionale				0,7	0,70	kN/m <sup>2</sup>
Intonaco intradosso	1,00	0,03	1,00	20,0	0,60	kN/m <sup>2</sup>
<b>Pesi permanenti e portati (G2)</b>					<b>1,30</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Arrotondamenti e varie					0,07	kN/m <sup>2</sup>
<b>Gk Solaio</b>					<b>5,30</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>



I sovraccarichi variabili Q per gli edifici sono forniti dal DM 14 gennaio 2008 alla tabella 3.1.II

Il carico da neve è definito nel DM 14 gennaio 2008 al paragrafo 3.3 con la seguente formula:

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

dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;
- $q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico neve al suolo;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione;
- $C_t$  è il coefficiente termico;

Il carico agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Il carico da neve dipende da altezza del suolo dal livello del mare e dalla zona.

Zona Neve = I Mediterranea

$C_E$  (coeff. di esposizione al vento) = 1,00

Valore caratteristico del carico al suolo

$(q_{sk} \cdot C_E) = 1,50 \text{ kN/mq}$

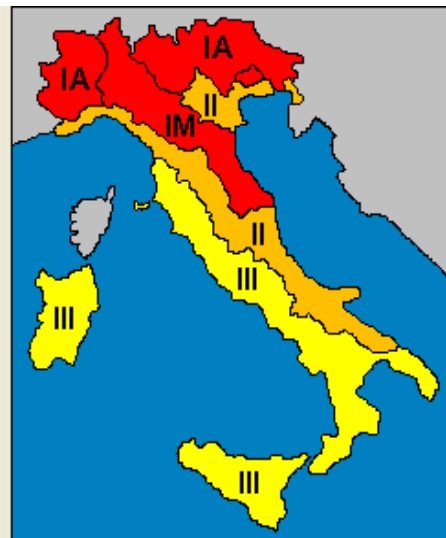
Copertura a due falde:

Angolo di inclinazione della falda 1 =  $18,0^\circ$

$\mu_1(\alpha_1) = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 1,20 \text{ kN/mq}$

Angolo di inclinazione della falda 2 =  $18,0^\circ$

$\mu_2(\alpha_2) = 0,80 \Rightarrow Q_2 = 1,20 \text{ kN/mq}$



### 5.3 Rilievo topografico dello stato di fatto

Si allegano (in allegato alla presente relazione) le seguenti tavole:

- Tavola 1/5: PIANTA PIANO INTERRATO + PIANTA PIANO TERRA

- Tavola 2/5: PIANTA PIANO AMMEZZATO + PIANTA PIANO PRIMO
- Tavola 3/5: PIANTA PIANO SECONDO + PIANTA COPERTURA
- Tavola 4/5: SEZIONI
- Tavola 5/5: PROSPETTI

## **6. VALUTAZIONE SISMICA PER PALAZZI E VILLE – MODELLO MECCANICO SEMPLIFICATO (LV1) TRAMITE FOGLI EXCEL**

L'utilizzo di fogli di calcolo Excel in linea con quanto proposto dalle Linee Guida (§2.1) nei modelli di valutazione semplificata (LV1), consente la determinazione di parametri sintetici in grado di ordinare il campione di manufatti esaminato in funzione della propensione al danneggiamento in relazione ad un evento sismico. L'analisi territoriale adottata dalle Linee Guida ha come output liste di priorità che possono essere redatte in riferimento a tre diversi parametri, l'indice di sicurezza  $I_S$ , il fattore di accelerazione  $f_a$  o la vita nominale  $V_N$ .

Le graduatorie di rischio che si possono ottenere permettono valutazioni leggermente differenti. In particolare l'analisi di rischio in termini di  $V_N$  si differenzia da quelle ottenibili tramite gli altri due indici di rischio in quanto non risente del tempo di ritorno di progetto scelto, in quanto la pericolosità viene introdotta nella valutazione della capacità strutturale e non nella definizione della domanda sismica.

L'indice di sicurezza  $I_S$  è, invece, calcolato come rapporto tra la capacità e la domanda in termini di periodi di ritorno dell'azione sismica mentre  $f_a$  è dato dal rapporto tra la capacità e la domanda in termini di accelerazione.

### **6.1 Conoscenza del manufatto**

Quando si opera su un campione vasto di manufatti, nell'ambito di un'analisi di tipo territoriale, il livello di conoscenza (Linee Guida - §2), normalmente, non può essere molto dettagliato.

La necessità di operare su un numero elevato di edifici, spesso in tempo limitato, impedisce quegli approfondimenti che sarebbero sicuramente necessari trattandosi di manufatti monumentali, al fine di garantire il massimo livello di affidabilità delle nostre analisi. Se un livello di conoscenza elevato dovrebbe essere un requisito qualificante di ogni valutazione di maggior dettaglio, in un'analisi di tipo territoriale è plausibile accettare un livello di conoscenza inferiore, in relazione di approfondimenti che richiedono normalmente indagini diagnostiche, che esulano, di fatto, da una valutazione su larga scala. Fatto salva tale considerazione generale, la possibilità di diversificare il livello di conoscenza anche in un'analisi di tipo territoriale è definita all'interno dei modelli di valutazione LV1 tramite l'utilizzo del fattore di confidenza  $F_c$  (Linee Guida – §4.2 – Eq. 4.1), come accade anche per le analisi di maggior dettaglio LV2 o LV3.

Esso è stato ottenuto attraverso l'assegnazione dei fattori di confidenza parziali ( $F_{ck}$ , con  $k=1, 2, 3, 4$ ), associati alle quattro categorie d'indagine ed al livello di approfondimento in esse raggiunto.

Rilievo geometrico	identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo  $F_{c1} = 0.05$	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)  $F_{c2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili  $F_{c3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni  $F_{c4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi  $F_{c1} = 0$	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)  $F_{c2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{c3} = 0.06$	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{c4} = 0.03$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche)  $F_{c2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{c3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{c4} = 0$

Con riferimento al livello di conoscenza acquisito, si possono definire i valori medi dei parametri meccanici ed i fattori di confidenza secondo quanto segue:

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $F_C=1$ ;
- il livello di conoscenza LC2 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $F_C=1.2$ ;
- il livello di conoscenza LC1 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è  $F_C=1.35$ .

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i valori medi dei parametri meccanici possono essere definiti come segue:

- LC1
  - Resistenze: i minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione
  - Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta
- LC2
  - Resistenze: medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione
  - Moduli elastici: valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta
- LC3
  - caso a), nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali di resistenza
    - Resistenze: media dei risultati delle prove
    - Moduli elastici: media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione

- caso b), nel caso siano disponibili due valori sperimentali di resistenza
  - Resistenze: se il valore medio delle resistenze è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione si assumerà il valore medio dell'intervallo, se è maggiore dell'estremo superiore dell'intervallo si assume quest'ultimo come resistenza, se è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore medio sperimentale
  - Moduli elastici: vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).
- caso c), nel caso sia disponibile un valore sperimentale di resistenza
  - Resistenze: se il valore di resistenza è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, oppure superiore, si assume il valore medio dell'intervallo, se il valore di resistenza è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore sperimentale
  - Moduli elastici: vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

Nel nostro caso di studio abbiamo:

$F_c = 1 + \sum_{k=1}^3 F_{ck}$	Fattore di confidenza		
	Rilievo geometrico completo	F <sub>c1</sub>	0,05
	Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	F <sub>c2</sub>	0,06
	Proprietà meccaniche dei materiale	F <sub>c3</sub>	0,12
	Terreno e fondazioni	F <sub>c4</sub>	0
			1,230

## 6.2 Definizione dell'azione sismica

Secondo quanto previsto nelle Linee Guida al punto 2.4, l'azione sismica di riferimento è valutata in relazione ad una vita di riferimento  $V_R$  così definita:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $V_N$  è la vita nominale a cui viene riferita la valutazione della sicurezza e per la quale viene eventualmente progettato un intervento di miglioramento sismico; in particolare essa può essere messa in relazione alle caratteristiche del bene

culturale, anche sulla base della conoscenza del manufatto ottenuta con la metodologia sviluppata dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali;

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
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	$\geq 100$

$C_U$  è il coefficiente d'uso definito, al variare della classe d'uso (Linee Guida – §2.4; D.M. 14 gennaio 2008 – 2.4.1 e 2.4.2; Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 – C2.4.1 e C2.4.2) assegnata sulla base delle caratteristiche del bene e del tipo d'uso (Classe I – uso saltuario o non utilizzato; Classe II – uso frequente con normali affollamenti; Classe III – uso molto frequente e/o con affollamenti significativi; Classe IV – edificio strategico e uso molto frequente e/o con affollamenti significativi):

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Nel nostro caso risulta:

$$V_R = 50 \cdot 0.7 = 35 \text{ anni}$$

In relazione quindi al periodo di riferimento  $V_R$  ed allo stato limite considerato, a cui è associata una determinata probabilità di superamento  $P_{VR}$  nella vita di riferimento, può essere valutato il periodo di ritorno di riferimento dell'azione sismica  $T_R$ :



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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite sono riportate nelle Tab. 3.2.I delle NTC:

**Tabella 3.2.I** – 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%

In cui gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

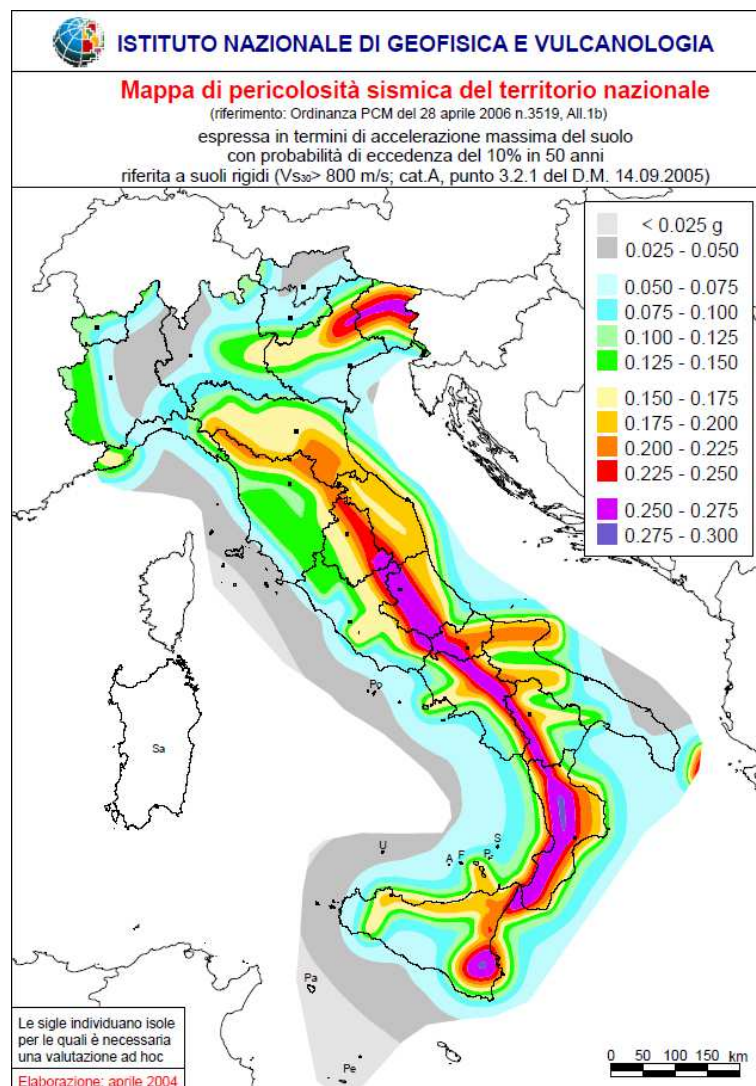
Gli *stati limite ultimi* sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni

verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per la stima del valore dell'accelerazione di riferimento del sito  $a_g$ , il D.M. 14 gennaio 2008 ha adottato i valori di pericolosità definiti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (GdL MPS, 2004: <http://zonesismiche.mi.ingv.it>) per l'intero territorio nazionale.



Nell'Allegato A alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) sono fornite le indicazioni necessarie per ottenere i parametri dell'azione sismica per una generica coordinata geografica ed un generico periodo di ritorno.

Nella tabella che segue sono riportati i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  per il sito in esame con riferimento ai periodi di ritorno prima individuati:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T^*_c$ [s]
SLO	30	0,066	2,406	0,260
SLD	35	0,071	2,406	0,263
SLV	332	0,180	2,430	0,293
SLC	682	0,229	2,445	0,305

dove:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella tabella che segue sono inoltre riportati i valori dei coefficienti  $S_S$  e  $C_C$ , dipendenti dalla tipologia di suolo (il suolo da noi ipotizzato risulta di categoria C) e dallo stato limite considerato, necessari per la definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione così come previsto dal D.M. 14 gennaio 2008:

Categoria 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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Il coefficiente topografico  $S_T$  è desunto dalla Tab. 3.2.VI delle NTC 2008, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

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

Con riferimento alla condizione che porta al raggiungimento delle condizioni limite ultime (SLV), il modello meccanico semplificato, prevede la valutazione dell'ordinata dello spettro di risposta elastico sulla base della seguente equazione:

$$S_{e,SLV} = \frac{qF_{SLV}}{e * M}$$

dove:

- $F_{SLV}$  è la resistenza a taglio dell'edificio;
- $q$  è il coefficiente di struttura, per il quale sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni della relativa Circolare può essere assunto un valore compreso tra 3 e 3.6, per edifici con numero di piani maggiore o uguale a due e regolari in elevazione, mentre negli altri casi  $q$  deve essere compreso tra 2.25 e 2.8. Nel caso in esame è stato assunto pari a 2,8;
- $M$  è la massa sismica totale;
- $e^*$  è la frazione di massa partecipante sul primo modo di vibrare.

In base al valore dell'ordinata dello spettro di risposta si determina il tempo di ritorno  $T_{SLV}$  dell'azione sismica corrispondente, mediante un procedimento iterativo che utilizza i dati disponibili in Appendice del D.M. 14 gennaio 2008.

Al tempo di ritorno  $T_{SLV}$  così valutato sono associati i corrispondenti valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$ , attraverso i quali sono definiti tutti i parametri dello spettro. Il valore dell'accelerazione che porta al raggiungimento dello stato limite ultimo può, quindi, essere calcolato come:

$$a_{SLV} = \begin{cases} \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} & T_B \leq T_1 \leq T_C \\ \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} \frac{T_1}{T_C} & T_C \leq T_1 \leq T_D \end{cases}$$

dove:

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

Parametri indipendenti						
STATO LIMITE	SLV		SLD		SLO	
$a_g$ [g]	0,180		0,071		0,066	
$F_0$	2,430		2,406		2,406	
$T_c^*$ [s]	0,293		0,263		0,260	
$S_S$	1,438		1,438		1,438	
$C_C$	1,574		1,574		1,574	
$S_T$	1,000		1,000		1,000	
Categoria suolo	C		C		C	
Categoria Topografica	T1		T1		T1	
Parametri dipendenti						
STATO LIMITE	SLV		SLD		SLO	
S	1,607		1,800		1,800	
$\eta$	0,303	$\eta = 1/q$	1,000	$\eta = 1$	1,000	$\eta = 1$
$a_g \cdot S$	0,289		0,128		0,119	
$T_B$ [s]	0,154		0,138		0,136	
$T_C$ [s]	0,461		0,414		0,409	
$T_D$ [s]	2,320		2,320		2,320	

La resistenza a taglio (Linee Guida – Eq. 5.3) dell'edificio viene ottenuta come la minore tra quelle valutate secondo due direzioni perpendicolari, scelte secondo gli assi prevalenti dei muri portanti. Il modello consiste nel considerare, per ciascuna direzione, i pannelli murari portanti verticali e nell'ipotizzare che il collasso

avvenga quando la tensione tangenziale media raggiunge un'opportuna quota parte della resistenza a taglio del materiale muratura.

Con riferimento al manufatto in esame sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione del modello LV1 per le due direzioni di analisi x e y.

### 6.3 Definizione parametri geometrici murature

Inizialmente si è redatto un foglio Excel contenente tutte le informazioni relative alle singole pareti murarie dell'edificio:

Descrizione	$f_{m,medio}$	$\tau_{0,medio}$	$E_{medio}$	$G_{medio}$	PESO sp.	$A_{m,m} [m^2]$		
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		p.terra	p.primo	p.secondo
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3,5	0,081	1600	533	18,00	124,24	16,99	17,54
Tabella CSA.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte. $f_m$ = resistenza media a compressione della muratura, $\tau_0$ = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura								
Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	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> )		
	Min-max	min-max	min-max	min-max				
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19			
	180	3,2	1050	350				
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20			
	300	5,1	1440	480				
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21			
	380	7,4	1980	660				
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenute, ecc.)	140	2,8	900	300	16			
	240	4,2	1260	420				
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780	22			
	800	12,0	3200	940				
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18			
	400	9,2	1800	600				
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15			
	800	32	5600	1400				
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12			
	600	40,0	5400	1620				
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11			
	400	13,0	3600	1080				
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12			
	200	12,5	1600	400				
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14			
	440	24,0	3520	880				



Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscela leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con spessore di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Nel caso in esame i coefficienti correttivi sono tutti stati assunti pari all'unità.

n	p	mm	sf	l (m)	h (m)	s (m)	X <sub>g</sub> (m)	Y <sub>g</sub> (m)	mt	τ <sub>0,medio</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	τ <sub>0,medio</sub> *A [kN]	τ <sub>0,medio,i</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	A (m <sup>2</sup> )	A <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	A <sub>x</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>x</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	ΣA <sub>x</sub> <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	A <sub>y</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>y</sub> <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	ΣA <sub>y</sub> <sup>2</sup> (m <sup>4</sup> )	A <sub>x</sub> + A <sub>y</sub>	A <sub>m,m</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>s,f</sub> (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	V <sub>m,m</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>s,f</sub> (m <sup>3</sup> )	P <sub>tot</sub> [kN]
1	1	√		1,53	5,16	0,64	0,43	0,81	6,00	81,30	79,61		0,98	0,96	0,05		0,00	0,98		0,96	1,03	0,98		5,05	5,05		90,95
2	1	√		3,03	5,16	0,64	0,585	4,013	6	81,30	157,66		1,94	3,76	0,10		0,01	1,94		3,75	2,03	1,94		10,01	10,01		180,11
3	1	√		2,31	5,16	0,64	0,703	7,766	6	81,30	120,19		1,48	2,19	0,07		0,01	1,48		2,18	1,55	1,48		7,63	7,63		137,31
4	1	√		2,33	5,16	0,64	0,951	12,410	6	81,30	121,23		1,49	2,22	0,07		0,01	1,49		2,22	1,56	1,49		7,69	7,69		138,50
5	1	√		2,94	5,16	0,75	1,191	16,110	6	81,30	179,27		2,21	4,86	0,11		0,01	2,20		4,85	2,31	2,21		11,38	11,38		204,80
6	1	√		1,58	5,16	0,75	1,344	19,230	6	81,30	96,34		1,19	1,40	0,06		0,00	1,18		1,40	1,24	1,19		6,11	6,11		110,06
7	1	√		3,91	5,16	0,46	3,623	19,811	6	81,30	146,23		1,80	3,23	1,80		3,23	0,02		0,00	1,81	1,80		9,28	9,28		167,05
8	1	√		4,55	5,16	0,29	5,865	17,422	6	81,30	107,28		1,32	1,74	0,00		0,00	1,32		1,74	1,32	1,32		6,81	6,81		122,56
9	1	√		2,87	5,16	0,32	3,025	14,880	6	81,30	74,67		0,92	0,84	0,92		0,84	0,00		0,00	0,92	0,92		4,74	4,74		85,30
10	1	√		0,32	5,16	0,32	5,563	14,880	6	81,30	8,33		0,10	0,01	0,10		0,01	0,00		0,00	0,10	0,10		0,53	0,53		9,51
11	1	√		3,26	5,16	0,31	2,934	11,721	6	81,30	82,16		1,01	1,02	1,01		1,02	0,01		0,00	1,02	1,01		5,21	5,21		93,86
12	1	√		2,48	5,16	0,48	6,053	12,520	6	81,30	96,78		1,19	1,42	0,00		0,00	1,19		1,42	1,19	1,19		6,14	6,14		110,56
13	1	√		0,32	5,16	0,31	5,654	11,752	6	81,30	8,06		0,10	0,01	0,10		0,01	0,00		0,00	0,10	0,10		0,51	0,51		9,21
14	1	√		1,53	5,16	0,31	1,859	8,369	6	81,30	38,56		0,47	0,22	0,47		0,22	0,00		0,00	0,48	0,47		2,45	2,45		44,05
15	1	√		2,48	5,16	0,48	6,053	7,652	6	81,30	96,78		1,19	1,42	0,00		0,00	1,19		1,42	1,19	1,19		6,14	6,14		110,56
16	1	√		0,40	5,16	0,31	4,380	8,388	6	81,30	10,08		0,12	0,02	0,12		0,02	0,00		0,00	0,13	0,12		0,64	0,64		11,52
17	1	√		0,32	5,16	0,31	5,655	8,394	6	81,30	8,06		0,10	0,01	0,10		0,01	0,00		0,00	0,10	0,10		0,51	0,51		9,21
18	1	√		3,05	5,16	0,24	5,933	4,888	6	81,30	59,51		0,73	0,54	0,00		0,00	0,73		0,54	0,73	0,73		3,78	3,78		67,99
19	1	√		0,42	5,16	0,32	5,603	5,290	6	81,30	10,93		0,13	0,02	0,13		0,02	0,00		0,00	0,14	0,13		0,69	0,69		12,48
20	1	√		0,50	5,16	0,32	1,235	5,313	6	81,30	13,01		0,16	0,03	0,16		0,03	0,00		0,00	0,16	0,16		0,83	0,83		14,86
21	1	√		3,88	5,16	0,30	2,848	3,623	6	81,30	94,63		1,16	1,35	1,16		1,35	0,01		0,00	1,17	1,16		6,01	6,01		108,11
22	1	√		0,22	5,16	0,30	5,702	3,649	6	81,30	5,37		0,07	0,00	0,07		0,00	0,00		0,00	0,07	0,07		0,34	0,34		6,13
23	1	√		1,71	5,16	0,24	5,933	1,709	6	81,30	33,37		0,41	0,17	0,00		0,00	0,41		0,17	0,41	0,41		2,12	2,12		38,12

24	1	√	2,76	5,16	0,62	2,105	0,409	6	81,30	139,12	1,71	2,93	1,71	2,93	0,01	0,00	1,73	1,71	8,83	8,83	158,94
25	1	√	1,35	5,16	0,73	5,331	0,455	6	81,30	80,12	0,99	0,97	0,99	0,97	0,01	0,00	0,99	0,99	5,09	5,09	91,53
109	1	√	2,42	4,86	0,65	7,367	19,727	6	81,30	127,62	1,57	2,46	1,57	2,46	0,01	0,00	1,58	1,57	7,63	7,63	137,32
110	1	√	3,67	4,86	0,65	12,240	19,712	6	81,30	193,68	2,38	5,68	2,38	5,67	0,01	0,00	2,39	2,38	11,58	11,58	208,40
111	1	√	3,68	4,86	0,65	17,905	19,725	6	81,30	194,21	2,39	5,71	2,39	5,71	0,01	0,00	2,40	2,39	11,61	11,61	208,97
112	1	√	3,67	4,86	0,65	23,583	19,739	6	81,30	193,94	2,39	5,69	2,39	5,69	0,01	0,00	2,40	2,39	11,59	11,59	208,68
113	1	√	3,67	4,86	0,65	29,220	19,712	6	81,30	193,94	2,39	5,69	2,39	5,69	0,01	0,00	2,40	2,39	11,59	11,59	208,68
114	1	√	3,65	4,86	0,65	35,160	19,771	6	81,30	192,88	2,37	5,63	2,37	5,63	0,01	0,00	2,38	2,37	11,53	11,53	207,55
115	1	√	3,47	4,86	0,53	40,442	19,817	6	81,30	149,52	1,84	3,38	1,84	3,38	0,01	0,00	1,85	1,84	8,94	8,94	160,88
116	1	√	1,95	4,86	0,53	45,442	19,844	6	81,30	84,02	1,03	1,07	1,03	1,07	0,01	0,00	1,04	1,03	5,02	5,02	90,41
117	1	√	3,52	4,86	0,30	48,615	19,448	6	81,30	85,85	1,06	1,12	1,03	1,07	0,22	0,05	1,25	1,06	5,13	5,13	92,38
118	1	√	2,29	4,86	0,30	53,081	18,540	6	81,30	55,85	0,69	0,47	0,67	0,45	0,14	0,02	0,81	0,69	3,34	3,34	60,10
119	1	√	2,29	4,86	0,30	57,215	17,679	6	81,30	55,85	0,69	0,47	0,67	0,45	0,14	0,02	0,81	0,69	3,34	3,34	60,10
120	1	√	3,85	4,86	0,30	62,109	16,696	6	81,30	93,90	1,16	1,33	1,13	1,28	0,24	0,06	1,37	1,16	5,61	5,61	101,04
121	1	√	4,67	4,86	0,29	6,150	17,052	6	81,30	110,10	1,35	1,83	0,01	0,00	1,35	1,83	1,36	1,35	6,58	6,58	118,47
122	1	√	5,64	4,86	0,32	12,278	16,570	6	81,30	144,49	1,78	3,16	0,01	0,00	1,78	3,16	1,79	1,78	8,64	8,64	155,47
123	1	√	5,66	4,86	0,32	17,942	16,574	6	81,30	147,20	1,81	3,28	0,01	0,00	1,81	3,28	1,82	1,81	8,80	8,80	158,39
124	1	√	5,67	4,86	0,31	23,590	16,579	6	81,30	143,00	1,76	3,09	0,01	0,00	1,76	3,09	1,77	1,76	8,55	8,55	153,87
125	1	√	5,69	4,86	0,40	29,273	16,582	6	81,30	185,04	2,28	5,18	0,02	0,00	2,28	5,18	2,29	2,28	11,06	11,06	199,10
126	1	√	5,84	4,86	0,59	35,531	16,435	6	81,30	280,13	3,45	11,87	0,03	0,00	3,45	11,87	3,47	3,45	16,75	16,75	301,42
127	1	√	4,51	4,86	0,50	40,667	17,323	6	81,30	183,33	2,26	5,09	0,02	0,00	2,25	5,08	2,27	2,26	10,96	10,96	197,27
128	1	√	4,53	4,86	0,47	46,125	16,007	6	81,30	173,17	2,13	4,54	0,00	0,00	2,13	4,54	2,13	2,13	10,35	10,35	186,34
129	1	√	3,48	5,09	0,45	63,718	14,435	6	81,30	127,32	1,57	2,45	0,01	0,00	1,57	2,45	1,58	1,57	7,96	7,96	143,36
130	1	√	0,89	4,86	0,65	6,701	13,441	6	81,30	47,03	0,58	0,33	0,58	0,33	0,00	0,00	0,58	0,58	2,81	2,81	50,61
131	1	√	0,63	7,46	0,46	8,317	13,537	6	81,30	23,56	0,29	0,08	0,29	0,08	0,00	0,00	0,29	0,29	2,16	2,16	38,91

132	1	√	3,85	4,86	0,46	12,327	13,520	6	81,30	143,98		1,77	3,14	1,77		3,14	0,00	0,00	1,77	1,77		8,61	8,61	154,93
133	1	√	3,85	4,86	0,46	17,968	13,515	6	81,30	143,98		1,77	3,14	1,77		3,14	0,00	0,00	1,77	1,77		8,61	8,61	154,93
134	1	√	3,85	4,86	0,46	23,608	13,511	6	81,30	143,98		1,77	3,14	1,77		3,14	0,00	0,00	1,77	1,77		8,61	8,61	154,93
135	1	√	3,93	4,86	0,46	29,225	13,507	6	81,30	146,97		1,81	3,27	1,81		3,27	0,00	0,00	1,81	1,81		8,79	8,79	158,15
136	1	√	2,86	4,86	0,46	34,633	13,503	6	81,30	106,96		1,32	1,73	1,32		1,73	0,00	0,00	1,32	1,32		6,39	6,39	115,09
137	1	√	4,32	4,86	0,46	39,023	13,499	6	81,30	161,56		1,99	3,95	1,99		3,95	0,00	0,00	1,99	1,99		9,66	9,66	173,84
138	1	√	0,31	4,86	0,50	40,654	13,883	6	81,30	12,60		0,16	0,02	0,16		0,02	0,00	0,00	0,16	0,16		0,75	0,75	13,56
139	1	√	1,10	4,86	0,61	46,101	13,379	6	81,30	54,55		0,67	0,45	0,67		0,45	0,00	0,00	0,67	0,67		3,26	3,26	58,70
140	1	√	2,49	4,86	0,33	47,938	13,427	6	81,30	66,80		0,82	0,68	0,82		0,68	0,00	0,00	0,82	0,82		3,99	3,99	71,88
141	1	√	1,06	7,46	0,68	51,747	13,499	6	81,30	58,60		0,72	0,52	0,72		0,52	0,00	0,00	0,72	0,72		5,38	5,38	96,79
142	1	√	2,03	9,11	0,32	51,698	12,007	6	81,30	52,81		0,65	0,42	0,00		0,00	0,65	0,42	0,65	0,65		5,92	5,92	106,52
143	1	√	1,10	7,46	0,78	57,640	13,555	6	81,30	69,76		0,86	0,74	0,86		0,74	0,00	0,00	0,86	0,86		6,40	6,40	115,21
144	1	√	2,02	9,11	0,32	51,705	8,158	6	81,30	52,55		0,65	0,42	0,00		0,00	0,65	0,42	0,65	0,65		5,89	5,89	106,00
145	1	√	2,34	4,86	0,46	7,627	6,678	6	81,30	87,51		1,08	1,16	1,08		1,16	0,00	0,00	1,08	1,08		5,23	5,23	94,16
146	1	√	3,83	4,86	0,46	12,338	6,649	6	81,30	143,23		1,76	3,10	1,76		3,10	0,00	0,00	1,76	1,76		8,56	8,56	154,12
147	1	√	3,83	4,86	0,46	17,958	6,653	6	81,30	143,23		1,76	3,10	1,76		3,10	0,00	0,00	1,76	1,76		8,56	8,56	154,12
148	1	√	2,30	4,60	0,46	22,652	6,689	6	81,30	86,02		1,06	1,12	1,06		1,12	0,00	0,00	1,06	1,06		4,87	4,87	87,60
149	1	√	0,77	7,46	0,61	29,218	6,737	6	81,30	38,19		0,47	0,22	0,47		0,22	0,00	0,00	0,47	0,47		3,50	3,50	63,07
150	1	√	2,34	4,86	0,54	35,786	6,660	6	81,30	102,73		1,26	1,60	1,26		1,60	0,00	0,00	1,26	1,26		6,14	6,14	110,54
151	1	√	0,50	4,86	0,54	38,823	6,651	6	81,30	21,95		0,27	0,07	0,27		0,07	0,00	0,00	0,27	0,27		1,31	1,31	23,62
152	1	√	1,65	4,86	0,46	40,878	6,671	6	81,30	61,71		0,76	0,58	0,76		0,58	0,00	0,00	0,76	0,76		3,69	3,69	66,40
153	1	√	1,11	4,86	0,46	46,093	6,675	6	81,30	41,51		0,51	0,26	0,51		0,26	0,00	0,00	0,51	0,51		2,48	2,48	44,67
154	1	√	1,08	7,46	0,78	51,726	6,676	6	81,30	68,49		0,84	0,71	0,84		0,71	0,00	0,00	0,84	0,84		6,28	6,28	113,12
155	1	√	1,10	7,46	0,78	57,636	6,676	6	81,30	69,76		0,86	0,74	0,86		0,74	0,00	0,00	0,86	0,86		6,40	6,40	115,21
156	1	√	10,93	5,09	0,45	63,677	6,418	6	81,30	399,87		4,92	24,19	0,03		0,00	4,92	24,19	4,95	4,92		25,04	25,04	450,63

157	1	√	3,05	4,86	0,24	6,173	4,888	6	81,30	59,51	0,73	0,54	0,00	0,00	0,73	0,54	0,73	0,73	3,56	3,56	64,04	
158	1	√	1,00	4,86	0,31	8,327	5,916	6	81,30	25,20	0,31	0,10	0,00	0,00	0,31	0,10	0,31	0,31	1,51	1,51	27,12	
159	1	√	0,31	4,86	0,33	23,609	6,273	6	81,30	8,32	0,10	0,01	0,00	0,00	0,10	0,01	0,10	0,10	0,50	0,50	8,95	
160	1	√	2,53	4,86	0,33	47,908	6,741	6	81,30	67,88	0,83	0,70	0,00	0,00	0,83	0,70	0,83	0,83	4,06	4,06	73,04	
161	1	√	5,56	4,86	0,32	51,698	3,502	6	81,30	144,52	1,78	3,16	0,00	0,00	1,78	3,16	1,78	1,78	8,64	8,64	155,50	
162	1	√	2,55	4,86	0,24	6,173	1,298	6	81,30	49,76	0,61	0,37	0,00	0,00	0,61	0,37	0,61	0,61	2,97	2,97	53,54	
163	1	√	3,62	4,86	0,31	8,322	2,535	6	81,30	91,23	1,12	1,26	0,00	0,00	1,12	1,26	1,12	1,12	5,45	5,45	98,17	
164	1	√	3,54	4,86	0,33	23,622	3,356	6	81,30	94,97	1,17	1,36	0,00	0,00	1,17	1,36	1,17	1,17	5,68	5,68	102,19	
165	1	√	5,72	4,86	0,49	41,330	3,583	6	81,30	227,87	2,80	7,86	0,00	0,00	2,80	7,86	2,80	2,80	13,62	13,62	245,19	
166	1	√	5,72	4,86	0,44	46,058	3,585	6	81,30	204,62	2,52	6,33	0,00	0,00	2,52	6,33	2,52	2,52	12,23	12,23	220,17	
167	1	√	2,19	4,86	0,65	7,423	0,388	6	81,30	115,73	1,42	2,03	1,42	2,03	0,01	0,00	1,44	1,42	6,92	6,92	124,53	
168	1	√	3,64	4,86	0,65	12,341	0,408	6	81,30	192,36	2,37	5,60	2,37	5,60	0,02	0,00	2,39	2,37	11,50	11,50	206,98	
169	1	√	3,62	4,86	0,65	17,695	0,360	6	81,30	191,30	2,35	5,54	2,35	5,54	0,02	0,00	2,37	2,35	11,44	11,44	205,84	
170	1	√	3,62	4,86	0,65	23,455	0,415	6	81,30	191,30	2,35	5,54	2,35	5,54	0,02	0,00	2,37	2,35	11,44	11,44	205,84	
171	1	√	4,06	4,86	0,65	28,436	0,413	6	81,30	214,55	2,64	6,96	2,64	6,96	0,02	0,00	2,66	2,64	12,83	12,83	230,86	
172	1	√	3,04	4,86	0,65	35,119	0,422	6	81,30	160,65	1,98	3,90	1,98	3,90	0,02	0,00	1,99	1,98	9,60	9,60	172,86	
173	1	√	3,63	4,86	0,65	40,443	0,420	6	81,30	191,83	2,36	5,57	2,36	5,57	0,02	0,00	2,38	2,36	11,47	11,47	206,41	
174	1	√	3,65	4,86	0,65	46,048	0,425	6	81,30	192,88	2,37	5,63	2,37	5,63	0,02	0,00	2,39	2,37	11,53	11,53	207,55	
175	1	√	3,41	4,86	0,65	51,592	0,420	6	81,30	180,20	2,22	4,91	2,22	4,91	0,02	0,00	2,24	2,22	10,77	10,77	193,90	
176	1	√	3,83	4,86	0,65	57,664	0,367	6	81,30	202,40	2,49	6,20	2,49	6,20	0,02	0,00	2,51	2,49	12,10	12,10	217,78	
177	1	√	2,37	4,86	0,65	62,619	0,295	6	81,30	125,24	1,54	2,37	1,54	2,37	0,01	0,00	1,55	1,54	7,49	7,49	134,76	
178	1	√	2,00	2,68	0,65			6			1,30								1,30	3,48	3,48	62,71
179	1	√	2,00	0,79	0,65			6			1,30								1,30	1,03	1,03	18,49
180	1	√	2,00	2,68	0,65			6			1,30								1,30	3,48	3,48	62,71
181	1	√	2,00	0,79	0,65			6			1,30								1,30	1,03	1,03	18,49

182	1	√	2,00	2,68	0,65			6					1,30					1,30	3,48		3,48	62,71
183	1	√	2,00	0,79	0,65			6					1,30					1,30	1,03		1,03	18,49
184	1	√	2,00	2,68	0,65			6					1,30					1,30	3,48		3,48	62,71
185	1	√	2,00	0,79	0,65			6					1,30					1,30	1,03		1,03	18,49
186	1	√	2,00	2,68	0,65			6					1,30					1,30	3,48		3,48	62,71
187	1	√	2,00	0,79	0,65			6					1,30					1,30	1,03		1,03	18,49
188	1	√	2,39	3,05	0,39			6					0,93					0,93	2,84		2,84	51,17
189	1	√	2,39	0,49	0,39			6					0,93					0,93	0,46		0,46	8,22
190	1	√	1,94	3,15	0,30			6					0,58					0,58	1,83		1,83	33,00
191	1	√	1,94	0,73	0,30			6					0,58					0,58	0,42		0,42	7,65
192	1	√	1,94	3,15	0,30			6					0,58					0,58	1,83		1,83	33,00
193	1	√	1,94	0,73	0,30			6					0,58					0,58	0,42		0,42	7,65
194	1	√	1,94	3,15	0,30			6					0,58					0,58	1,83		1,83	33,00
195	1	√	1,94	0,73	0,30			6					0,58					0,58	0,42		0,42	7,65
196	1	√	0,80	1,69	0,47			6					0,38					0,38	0,64		0,64	11,44
197	1	√	0,80	2,64	0,47			6					0,38					0,38	0,99		0,99	17,87
198	1	√	1,79	1,50	0,46			6					0,82					0,82	1,24		1,24	22,23
199	1	√	1,79	1,50	0,46			6					0,82					0,82	1,24		1,24	22,23
200	1	√	1,79	1,50	0,46			6					0,82					0,82	1,24		1,24	22,23
201	1	√	1,79	1,50	0,46			6					0,82					0,82	1,24		1,24	22,23
202	1	√	1,79	1,50	0,46			6					0,82					0,82	1,24		1,24	22,23
203	1	√	0,80	3,02	0,46			6					0,37					0,37	1,11		1,11	20,00
204	1	√	2,05	2,25	0,33			6					0,68					0,68	1,52		1,52	27,40
205	1	√	1,79	1,35	0,46			6					0,82					0,82	1,11		1,11	20,01
206	1	√	1,79	1,35	0,46			6					0,82					0,82	1,11		1,11	20,01



207	1	√	1,79	1,35	0,46		6		0,82								0,82	1,11	1,11	20,01
208	1	√	1,74	1,30	0,54		6		0,94								0,94	1,22	1,22	21,99
209	1	√	1,74	1,52	0,54		6		0,94								0,94	1,43	1,43	25,71
210	1	√	2,00	5,24	0,32		6		0,64								0,64	3,35	3,35	60,36
211	1	√	2,05	2,10	0,33		6		0,68								0,68	1,42	1,42	25,57
212	1	√	1,07	1,12	0,31		6		0,33								0,33	0,37	0,37	6,69
213	1	√	1,07	3,29	0,31		6		0,33								0,33	1,09	1,09	19,64
214	1	√	0,79	2,13	0,48		6		0,38								0,38	0,81	0,81	14,54
215	1	√	0,98	2,13	0,32		6		0,31								0,31	0,67	0,67	12,02
216	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
217	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
218	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
219	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
220	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
221	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
222	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
223	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
224	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
225	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
226	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
227	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
228	1	√	2,00	2,82	0,65		6		1,30								1,30	3,67	3,67	65,99
229	1	√	2,00	0,97	0,65		6		1,30								1,30	1,26	1,26	22,70
230	1	√	2,40	2,81	0,71		6		1,70								1,70	4,79	4,79	86,19
231	1	√	2,40	0,79	0,71		6		1,70								1,70	1,35	1,35	24,23

232	1	√	2,00	2,82	0,65			6				1,30								1,30	3,67		3,67	65,99
233	1	√	2,00	0,97	0,65			6				1,30								1,30	1,26		1,26	22,70
26	1	√	1,00	2,84	0,53			6				0,53								0,53	0,53		0,53	9,54
27	1	√	1,00	1,29	0,53			6				0,53								0,53	0,53		0,53	9,54
28	1	√	1,00	1,62	0,63			6				0,63								0,63	0,63		0,63	11,34
29	1	√	1,00	1,33	0,63			6				0,63								0,63	0,63		0,63	11,34
30	1	√	1,00	1,62	0,63			6				0,63								0,63	0,63		0,63	11,34
31	1	√	1,00	1,33	0,63			6				0,63								0,63	0,63		0,63	11,34
32	1	√	1,00	1,32	0,75			6				0,75								0,75	0,75		0,75	13,50
33	1	√	0,94	2,62	0,32			6				0,30								0,30	0,28		0,28	5,09
34	1	√	0,92	2,62	0,31			6				0,29								0,29	0,26		0,26	4,72
35	1	√	0,92	2,62	0,31			6				0,29								0,29	0,26		0,26	4,72
36	1	√	0,80	2,62	0,32			6				0,26								0,26	0,20		0,20	3,69
37	1	√	0,80	2,62	0,33			6				0,26								0,26	0,21		0,21	3,80
38	1	√	0,79	2,62	0,24			6				0,19								0,19	0,15		0,15	2,70
39	1	√	1,15	2,62	0,24			6				0,28								0,28	0,32		0,32	5,71
			Tot.	10464,61	81,30	190,40	245,34	78,57	6172,83	137,35	51,77	2679,99	107,99	130,34	128,72	61,69	758,00	649,67	108,33	13644,06				

40	2	√	1,54	3,95	0,41	0,258	0,801	6	81,30	51,33		0,63	0,40	0,03		0,00	0,63		0,40	0,66	0,63		2,49	2,49	44,89
41	2	√	3,03	3,95	0,33	0,428	4,034	6	81,30	81,29		1,00	1,00	0,05		0,00	1,00		1,00	1,05	1,00		3,95	3,95	71,09
42	2	√	3,03	3,95	0,33	0,632	8,062	6	81,30	81,29		1,00	1,00	0,05		0,00	1,00		1,00	1,05	1,00		3,95	3,95	71,09
43	2	√	3,00	3,95	0,33	0,832	12,069	6	81,30	80,49		0,99	0,98	0,05		0,00	0,99		0,98	1,04	0,99		3,91	3,91	70,39
44	2	√	2,94	3,95	0,33	1,032	16,029	6	81,30	78,88		0,97	0,94	0,05		0,00	0,97		0,94	1,02	0,97		3,83	3,83	0,00
45	2	√	1,58	3,95	0,41	1,183	19,242	6	81,30	52,67		0,65	0,42	0,03		0,00	0,65		0,42	0,68	0,65		2,56	2,56	46,06
46	2	√	4,39	3,95	0,28	3,612	19,921	6	81,30	99,93		1,23	1,51	1,23		1,51	0,01		0,00	1,24	1,23		4,86	4,86	87,40

47	2	√	5,45	3,95	0,33	5,993	17,138	6	81,30	146,22		1,80	3,23	0,00	0,00	1,80	3,23	1,80	1,80	7,10	7,10	127,87	
48	2	√	3,46	3,95	0,16	4,083	14,862	6	81,30	45,01		0,55	0,31	0,55	0,31	0,00	0,00	0,55	0,55	2,19	2,19	39,36	
49	2	√	0,36	3,95	0,16	1,341	14,862	6	81,30	4,68		0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,23	0,23	4,10	
50	2	√	2,46	3,95	0,48	6,052	12,552	6	81,30	96,00		1,18	1,39	0,00	0,00	1,18	1,39	1,18	1,18	4,66	4,66	83,95	
51	2	√	3,89	3,95	0,48	6,053	8,970	6	81,30	151,80		1,87	3,49	0,00	0,00	1,87	3,49	1,87	1,87	7,38	7,38	132,76	
52	2	√	1,78	3,95	0,33	5,976	6,132	6	81,30	47,76		0,59	0,35	0,00	0,00	0,59	0,35	0,59	0,59	2,32	2,32	41,76	
53	2	√	4,21	3,95	0,33	5,993	2,328	6	81,30	112,95		1,39	1,93	0,00	0,00	1,39	1,93	1,39	1,39	5,49	5,49	98,78	
54	2	√	4,09	3,95	0,30	3,769	3,631	6	81,30	99,76		1,23	1,51	1,23	1,51	0,01	0,00	1,24	1,23	4,85	4,85	87,24	
55	2	√	0,29	3,95	0,30	0,743	3,606	6	81,30	7,07		0,09	0,01	0,09	0,01	0,00	0,00	0,09	0,09	0,34	0,34	6,19	
56	2	√	5,38	3,95	0,33	3,019	0,220	6	81,30	144,34		1,78	3,15	1,78	3,15	0,02	0,00	1,79	1,78	7,01	7,01	126,23	
57	2	√	1,00	0,98	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	8,14
58	2	√	1,00	0,62	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	8,14
59	2	√	0,83	1,93	0,30			6				0,25							0,25	0,21		0,21	4,55
60	2	√	1,00	0,98	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
61	2	√	1,00	0,62	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
62	2	√	1,00	0,98	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
63	2	√	1,00	0,62	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
64	2	√	1,00	0,98	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
65	2	√	1,00	0,62	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
66	2	√	1,00	0,98	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
67	2	√	1,00	0,62	0,37			6				0,37							0,37	0,37		0,37	6,66
68	2	√	0,88	0,89	0,33			6				0,29							0,29	0,26		0,26	4,61
69	2	√	0,88	1,53	0,33			6				0,29							0,29	0,26		0,26	4,60
70	2	√	0,40	1,61	0,48			6				0,19							0,19	0,08		0,08	1,38
71	2	√	0,40	1,54	0,48			6				0,19							0,19	0,08		0,08	1,38

72	2	√	0,89	0,94	0,33			6			0,29								0,29	0,26	0,26	4,71			
73	2	√	0,89	1,16	0,33			6			0,29								0,29	0,26	0,26	4,71			
74	2	√	0,83	1,93	0,16			6			0,13								0,13	0,11	0,11	1,32			
<b>Tot.</b>									<b>1381,47</b>	<b>81,30</b>	<b>22,63</b>	<b>21,62</b>	<b>5,19</b>	<b>26,97</b>	<b>6,50</b>	<b>12,09</b>	<b>146,23</b>	<b>15,12</b>	<b>17,29</b>	<b>16,99</b>	<b>5,63</b>	<b>72,32</b>	<b>67,12</b>	<b>5,20</b>	<b>1235,98</b>

75	3	√	1,54	2,80	0,41	0,258	0,801	6	81,30	51,33		0,63	0,40	0,03	0,00	0,63	0,40	0,66	0,63	1,77	1,77	38,89	
76	3	√	3,03	2,80	0,33	0,428	4,034	6	81,30	81,29		1,00	1,00	0,05	0,00	1,00	1,00	1,05	1,00	2,80	2,80	61,59	
77	3	√	3,03	2,80	0,33	0,632	8,062	6	81,30	81,29		1,00	1,00	0,05	0,00	1,00	1,00	1,05	1,00	2,80	2,80	61,59	
78	3	√	3,00	2,80	0,33	0,832	12,069	6	81,30	80,49		0,99	0,98	0,05	0,00	0,99	0,98	1,04	0,99	2,77	2,77	60,98	
79	3	√	2,94	2,80	0,33	1,032	16,029	6	81,30	78,88		0,97	0,94	0,05	0,00	0,97	0,94	1,02	0,97	2,72	2,72	59,76	
80	3	√	1,58	2,80	0,41	1,183	19,242	6	81,30	52,67		0,65	0,42	0,03	0,00	0,65	0,42	0,68	0,65	1,81	1,81	32,65	
81	3	√	4,392	2,80	0,35	3,612	19,921	6	81,30	126,40		1,55	2,42	1,55	2,42	0,01	0,00	1,57	1,55	4,35	4,35	78,36	
82	3	√	8,409	2,80	0,33	5,993	15,519	6	81,30	225,61		2,77	7,70	0,00	0,00	2,77	7,70	2,77	2,77	7,77	7,77	139,86	
83	3	√	3,155	2,80	0,16	4,235	14,862	6	81,30	41,04		0,50	0,25	0,50	0,25	0,00	0,00	0,50	0,50	1,41	1,41	25,44	
84	3	√	0,600	2,80	0,16	1,469	14,864	6	81,30	7,80		0,10	0,01	0,10	0,01	0,00	0,00	0,10	0,10	0,27	0,27	4,84	
85	3	√	3,361	2,80	0,25	4,132	10,831	6	81,30	68,31		0,84	0,71	0,84	0,71	0,00	0,00	0,84	0,84	2,35	2,35	42,35	
86	3	√	0,630	2,80	0,25	1,274	10,831	6	81,30	12,80		0,16	0,02	0,16	0,02	0,00	0,00	0,16	0,16	0,44	0,44	7,94	
87	3	√	6,115	2,80	0,33	5,976	8,259	6	81,30	164,06		2,02	4,07	0,00	0,00	2,02	4,07	2,02	2,02	5,65	5,65	101,70	
88	3	√	4,059	3,51	0,18	3,785	3,571	6	81,30	59,40		0,73	0,53	0,73	0,53	0,01	0,00	0,74	0,73	2,57	2,57	46,17	
89	3	√	0,300	3,51	0,18	0,743	3,542	6	81,30	4,39		0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,19	0,19	3,41	
90	3	√	4,297	2,80	0,33	5,993	2,378	6	81,30	115,28		1,42	2,01	0,00	0,00	1,42	2,01	1,42	1,42	3,97	3,97	71,47	
91	3	√	5,382	2,80	0,40	3,019	0,220	6	81,30	175,02		2,15	4,63	2,15	4,63	0,02	0,00	2,17	2,15	6,03	6,03	108,50	
92	3	√	1,000	0,08	0,37			6				0,37								0,37	0,03	0,03	0,65
93	3	√	1,000	1,09	0,37			6				0,37								0,37	0,40	0,40	7,26
94	3	√	1,000	0,08	0,37			6				0,37								0,37	0,03	0,03	0,53

95	3	√	1,000	1,09	0,37			6												0,37									0,37	0,40		0,40	7,26
96	3	√	1,000	0,08	0,37			6												0,37									0,37	0,03		0,03	0,53
97	3	√	1,000	1,09	0,37			6												0,37									0,37	0,40		0,40	7,26
98	3	√	1,000	0,08	0,37			6												0,37									0,37	0,03		0,03	0,53
99	3	√	1,000	1,09	0,37			6												0,37									0,37	0,40		0,40	7,26
100	3	√	1,000	0,08	0,37			6												0,37									0,37	0,03		0,03	0,53
101	3	√	1,000	1,09	0,37			6												0,37									0,37	0,40		0,40	7,26
102	3	√	0,860	0,86	0,16			6												0,14									0,14	0,12		0,12	2,13
103	3	√	0,400	1,14	0,33			6												0,13									0,13	0,15		0,15	2,71
104	3	√	0,400	1,14	0,33			6												0,13									0,13	0,15		0,15	2,71
105	3	√	0,860	0,86	0,25			6												0,22									0,22	0,18		0,18	3,33
106	3	√	0,880	0,64	0,33			6												0,29									0,29	0,19		0,19	3,35
107	3	√	0,880	1,01	0,33			6												0,29									0,29	0,29		0,29	5,28
108	3	√	0,860	0,86	0,18			6												0,15									0,15	0,13		0,13	2,40
			Tot.	1426,07	81,30	22,59	27,11	6,35	40,37	8,59	11,48	131,84	18,51	17,84	17,54	5,05	53,05	49,67	3,38									1006,50					

n = numero parete

A = area pareti

p = piano

Am,m = Area maschi murari

mm = maschio murario

As,f = Area fasce sopra e sotto finestra

sf = sopra/sotto finestra

V = volume

l = lunghezza, h = altezza, s = spessore

Vm,m = Volume maschi murari

Xg, Yg = coordinate baricentro

Vs,f = Volume fasce sopra/sotto finestre

mt = tipo muratura

## 6.4 Analisi dei carichi

In funzione di quanto previsto dalle NTC 2008 (tab. 3.1.II) sono stati determinati i valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici:

n	p	P <sub>pr</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>perm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>var</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	h [cm]	A [m <sup>2</sup> ]	G <sub>ki,(pesi propri)</sub> [kN]	G <sub>ki,(pesi perm)</sub> [kN]	Q <sub>ki,(var)</sub> [kN]
5	1	1,13	2,07	2,00	21	18,20	20,57	37,67	36,4
6	1	1,13	2,07	2,00	21	12,55	14,18	25,98	25,1
7	1	1,13	2,07	2,00	21	14,45	16,33	29,91	28,9
8	1	1,13	1,37	2,00	21	21,32	24,09	29,21	42,64
13	1	1,13	0,77	1,20	34	32,78	37,04	25,24	39,336
14	1	1,13	0,77	1,20	34	30,21	34,14	23,26	36,252
15	1	1,13	0,77	1,20	34	30,22	34,15	23,27	36,264
16	1	1,13	0,77	1,20	34	30,28	34,22	23,32	36,336
17	1	1,13	0,77	1,20	34	32,75	37,01	25,22	39,3
18	1	1,13	1,47	1,20	21	26,68	30,15	39,22	32,016
19	1	1,13	0,77	1,20	34	29,14	32,93	22,44	34,968
20	1	3,93	1,37	1,20	35	225,45	886,02	308,87	270,54
21	1	1,13	0,77	1,20	34	24,37	27,54	18,76	29,244
22	1	3,93	1,37	1,20	35	36,60	143,84	50,14	43,92
23	1	3,93	1,37	1,20	35	28,52	112,08	39,07	34,224
24	1	3,93	1,37	1,20	35	33,20	130,48	45,48	39,84
Tot.						626,72	1614,75	767,06	805,28

n	p	P <sub>pr</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>perm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>var</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	h [cm]	A [m <sup>2</sup> ]	G <sub>ki,(pesi propri)</sub> [kN]	G <sub>ki,(pesi perm)</sub> [kN]	Q <sub>ki,(var)</sub> [kN]
1	2	2,15	1,35	2,00	63	21,75	46,76	29,36	43,5
2	2	2,15	1,35	2,00	63	18,4	39,56	24,84	36,8
3	2	2,15	1,35	2,00	63	17,86	38,40	24,11	35,72
4	2	2,15	1,35	2,00	63	16,89	36,31	22,80	33,78
Tot.						74,90	161,04	101,12	149,80

n	p	P <sub>pr</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>perm</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	P <sub>var</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	h [cm]	A [m <sup>2</sup> ]	G <sub>ki,(pesi propri)</sub> [kN]	G <sub>ki,(pesi perm)</sub> [kN]	Q <sub>ki,(var)</sub> [kN]
9	3	1,74	1,26	1,20	43	21,75	37,85	27,41	26,10
10	3	1,74	1,26	1,20	43	18,19	31,65	22,92	21,83
11	3	1,74	1,26	1,20	43	18,00	31,32	22,68	21,60
12	3	1,74	1,26	1,20	43	16,95	29,49	21,36	20,34
Tot.						74,89	130,31	94,36	89,87



	[kN]
<b>Carichi totali agenti sul piano terra</b>	16686,85
<b>Carichi totali agenti sul piano primo</b>	2801,20
<b>Carichi totali agenti sul piano secondo</b>	1258,13

### 6.5 Massa sismica

La massa  $M$  ( $kNs^2/m$ ) da considerare per la valutazione dell'azione sismica allo stato limite ultimo è quella associata ai carichi gravitazionali:

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

dove :

- $G_k$  sono i carichi permanenti (al loro valore caratteristico), computati sull'intero edificio;
- $Q_{kj}$  sono i carichi variabili accidentali (al loro valore caratteristico) al piano j-esimo;
- $g$  è l'accelerazione di gravità;
- $\psi_{2j}$  è un coefficiente di combinazione che tiene conto della probabilità che i carichi variabili al piano j-esimo siano presenti in occasione del sisma;
- $N$  è il numero di piani.

<b>Massa sismica totale [kN s<sup>2</sup>/m]</b>				
1701,00				
<b>Gk (carichi propri) computati sull'intero edificio (SOLAI)</b>			m <sup>2</sup>	TOT [kN]
Solaio piano tipo [kN/m <sup>2</sup> ]				
a) prima elevazione			626,72	1614,75
b) seconda elevazione			74,9	161,04
d) terza elevazione - copertura			74,89	130,31
			Tot.	291,34
<b>Gk (carichi permanenti) computati sull'intero edificio</b>			m <sup>2</sup>	TOT [kN]
Solaio piano tipo [kN/m <sup>2</sup> ]				
a) prima elevazione			626,72	767,06
b) seconda elevazione			74,90	101,12
d) terza elevazione - copertura			74,89	94,36
			Tot.	195,48
<b>Gk (carichi propri) computati sull'intero edificio (MURATURE)</b>			m <sup>3</sup>	TOT [kN]
a) piano terra			190,40	13644,06
b) piano primo			22,63	1235,98
c) piano secondo			22,59	1006,50
			Tot.	15886,54
<b>Qki (carichi variabili accidentali)</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]	ψ <sub>2j</sub>	m <sup>2</sup>	TOT [kN]
carico accidentale uffici vari [kN/m <sup>2</sup> ]				
a) prima elevazione		0,30	626,72	241,58
b) seconda elevazione		0,30	74,90	44,94
carico accidentale copertura [kN/m <sup>2</sup> ]				
d) terza elevazione - copertura		0,30	74,89	26,96
carico accidentale copertura, neve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,20			
d) terza elevazione - copertura		0,00	74,89	0,00
			Tot.	313,48
				TOT [kN]
<b>TOTALE [kN]</b>				<b>16686,85</b>
ψ <sub>2i</sub> (coefficiente di combinazione per neve)			0	0
coefficiente di combinazione per cat. A: ambienti ad uso residenziale)			0,3	94,05
g [m/s <sup>2</sup> ]			9,81	

## 6.6 Frazione di massa partecipante

$e^* = \frac{N + 1 - k}{N}$ $e^* = 0.75 + 0.25N^{-0.75}$	<b>Collasso per Piano Debole</b>		<b>1,00</b>	0,67	0,33
	N (totale dei piani)	3			
	k (numero del piano)	1			
	k (numero del piano)	2			
	k (numero del piano)	3			
<b>Collasso Uniforme</b>		0,86			

Per il piano più basso (piano 1 di calcolo) vengono considerate l'ipotesi di collasso uniforme e di piano debole; per ognuno dei piani sovrastanti (da 1 a N, N = numero di piani), si considera l'ipotesi di piano debole.

## 6.7 Periodo di vibrazione

$T$  è il periodo di vibrazione:

$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$	<b>Periodo del Modo di vibrare principale nella direzione in esame [s]</b>		<b>0,332</b>
	H (altezza della costruzione dal piano di fondazione) [m]	12,48	
	$C_1$ (coefficiente di tipo di struttura: costruzione in muratura)	0,05	

## 6.8 Resistenza a taglio dell'edificio

La resistenza a taglio dell'edificio viene ottenuta come la minore tra quelle valutate secondo due direzioni perpendicolari, scelte in genere secondo gli assi prevalenti dei muri portanti, prendendo in esame l'eventualità del collasso ai diversi piani della costruzione. Il modello consiste nel considerare, per ciascuna direzione, i pannelli murari portanti verticali e nell'ipotizzare che il collasso avvenga quando la tensione tangenziale media raggiunge un'opportuna quota parte della resistenza a taglio del materiale muratura. Considerando, a titolo di esempio, la direzione x ed un generico piano i dell'edificio:

$$F_{SLV,xi} = \frac{\mu_{xi} \cdot \xi_{xi} \cdot \zeta_{xi} \cdot A_{xi} \cdot \tau_{di}}{\beta_{xi} \cdot \kappa_i}$$

dove:

- $A_{ki}$  è l'area resistente a taglio dei muri dell'i-esimo piano, posti secondo la direzione  $k$  (è opportuno considerare anche i pannelli aventi inclinazione compresa tra  $\pm 45^\circ$ , considerando un'area efficace ridotta dal coefficiente  $\cos\alpha$ ):

$A_{xi}$ (area resistente a taglio dei muri dell'i-esimo piano secondo la direzione x) [m <sup>2</sup> ]	
a) piano terra	78,57
b) piano primo	5,19
c) piano secondo	6,35

$A_{yi}$ (area resistente a taglio dei muri dell'i-esimo piano secondo la direzione y) [m <sup>2</sup> ]	
a) piano terra	51,77
b) piano primo	12,09
c) piano secondo	11,48

- $k_i$  è stato introdotto nell'ultima revisione alla Direttiva-NTC2008, definito come il rapporto tra la risultante delle forze sismiche al piano i-esimo e la forza sismica totale.

Tale coefficiente è stato aggiunto per tenere conto che la resistenza a taglio al piano i-esimo dovrebbe essere confrontata con la forza sismica al piano i-esimo, variabile con l'altezza (in modo analogo a quanto previsto nella verifica dei meccanismi di collasso quando interessano una porzione della costruzione posta ad una certa quota, cfr. Circolare 2009, come definito al paragrafo 3.2.1)

$$k_i = \frac{\sum_i^N m_j \phi_j}{\sum_1^N m_j \phi_j}$$

In cui  $m_j$  è la massa del piano i-esimo;  $\phi_j$  è lo spostamento orizzontale al piano j-esimo.

Per collasso uniforme:  $\phi_j = \frac{h_j}{h_N}$  e dunque:

$$\kappa_i = \frac{\sum_i^N m_j \frac{h_j}{h_N}}{\sum_1^N m_j \frac{h_j}{h_N}}$$

che, nel caso di masse tutte uguali:

$$\kappa_i = \frac{\sum_i^N \frac{h_j}{h_N}}{\sum_1^N \frac{h_j}{h_N}} .$$

Se inoltre tutte le altezze di interpiano sono uguali ad  $h$ :  $h_j = jh$  e  $h_N = Nh$  si ha:

$$\kappa_i = \frac{\sum_i^N j}{\sum_1^N j} = 1 - \frac{i(i-1)}{N(N+1)}$$

$\kappa_i$ (rapporto tra la risultante delle forze sismiche al piano $i$ -esimo e la forza sismica totale)	
a) piano terra (collasso uniforme)	1,00
a) piano terra (collasso per piano debole)	1,00
b) piano primo (collasso per piano debole)	0,83
c) piano secondo (collasso per piano debole)	0,50

Per il collasso per piano debole  $i$ ,  $\kappa_i$  assume valore unitario: al denominatore, infatti, gli spostamenti  $\phi_j$  per  $j < i$  sono supposti nulli, e quindi le sommatorie al numeratore e denominatore vengono a coincidere.

- $\tau_{di}$  è il valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura nei maschi murari del piano  $i$ :

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

$\tau_{0d}$  è valore di calcolo della resistenza a taglio della muratura (valutato tenendo conto del fattore di confidenza FC);  $\sigma_{0i}$  è la tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri all'i-esimo piano:

Descrizione	$f_{m,medio}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{0,medio}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_{medio}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$G_{medio}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Peso sp. [kN/m <sup>3</sup> ]	$A_{m,m}$ [m <sup>2</sup> ]			
						p.terra	p.primo	p.secondo	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3,5	0,081	1600	533	18,00	128,72	16,99	17,54	
						$\tau_{0,medio,i}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	81,30	81,30	81,30

Resistenza a taglio della muratura nei maschi murari al piano i-esimo [kN/m <sup>2</sup> ]		p.terra	p.primo	p.secondo	$\gamma_M$
$\tau_s$ (resistenza media a taglio della muratura) [kN/m <sup>2</sup> ]		81,30	81,30	81,30	2,00
$\tau_{sx}$ (resistenza a taglio della muratura) [kN/m <sup>2</sup> ]		33,05	33,05	33,05	
$\sigma_s$ (tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri all'i-esimo piano) [kN/m <sup>2</sup> ]					
$\tau_{di} = \tau_{0d} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0i}}{1.5 \tau_{0d}}}$					
<i>a) piano terra</i>		62,55			$\sigma_{00}$ [kN/r] 128,03
<i>b) piano primo</i>		68,28			$\sigma_{01}$ [kN/r] 162,05
<i>c) piano secondo</i>		51,44			$\sigma_{02}$ [kN/r] 70,54

- $\xi_{xi}$  è un coefficiente legato al tipo di rottura prevista in prevalenza nei maschi murari dell'i-esimo piano; esso vale 1 nel caso di collasso per taglio, mentre può essere assunto pari a 0.8 nel caso di collasso per pressoflessione (maschi snelli, poco caricati verticalmente o in presenza di fasce deboli):

$$\xi_{xi} = 1$$

- $\beta_{xi}$  è un coefficiente di irregolarità in pianta al piano i-esimo, associato alla eccentricità  $e_{yi}$ , del centro delle rigidezze rispetto al baricentro delle masse (la cui entità può essere stimata), ed alla distanza  $d_{yi}$ , tra il baricentro delle rigidezze e la parete in direzione x più esterna:

$$\beta_{xi} = 1 + 2 \frac{e_{yi}}{d_{yi}} \leq 1,25$$

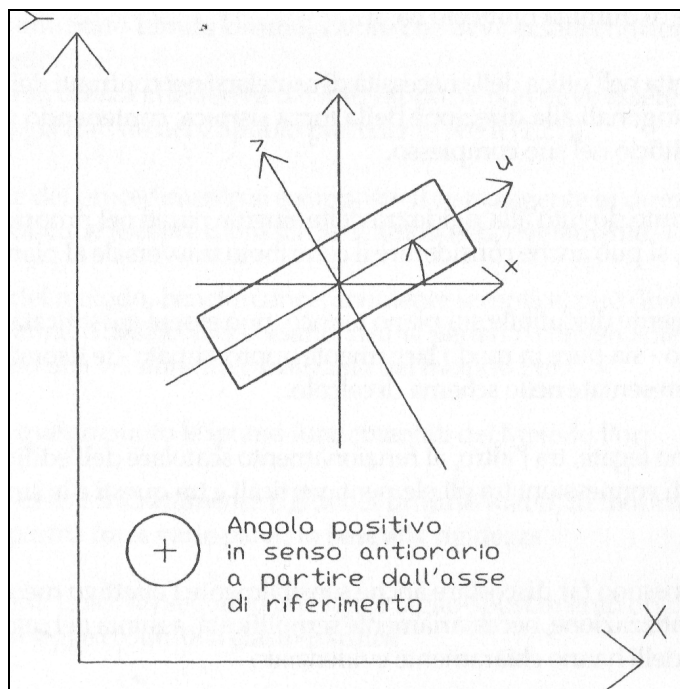
$$\beta_{yi} = 1 + 2 \frac{e_{xi}}{d_{xi}} \leq 1,25$$



Coefficiente di irregolarità in pianta al piano i-esimo: parametri per il calcolo		Piano terra	Piano primo	Piano secondo
$e_i$ (eccentricità del centro delle rigidezze rispetto al baricentro delle masse)	[m]			
a) piano terra	18,64			
b) piano primo	9,76			
c) piano secondo	8,32			
$d_{yi}$ (distanza tra baricentro delle rigidezze e la parete più esterna)	[m]	1,25	1,25	1,25
a) piano terra	10,20			
b) piano primo	13,17			
c) piano secondo	11,62			

Coefficiente di irregolarità in pianta al piano i-esimo: parametri per il calcolo		Piano terra	Piano primo	Piano secondo
$e_i$ (eccentricità del centro delle rigidezze rispetto al baricentro delle masse)	[m]			
a) piano terra	21,91			
b) piano primo	7,85			
c) piano secondo	7,59			
$d_{xi}$ (distanza tra baricentro delle rigidezze e la parete più esterna)	[m]	1,25	1,25	1,25
a) piano terra	31,86			
b) piano primo	4,46			
c) piano secondo	3,91			

$$K = \frac{GA}{1,2h} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{1,2} \cdot \frac{G}{E} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2}$$



DIREZIONE	PIANO	NUMERAZIONE PARETI	m,m	Angolo di rotazione $\alpha$ [gradi]	$\cos(\alpha)$	$\cos^2(\alpha)$	$\sin(\alpha)$	$\sin^2(\alpha)$	AREA RESISTENTE [m <sup>2</sup> ]	$A_x=A*\cos(\alpha)$ [m <sup>2</sup> ]	$A_y=A*\sin(\alpha)$ [m <sup>2</sup> ]	DISTANZA DA x [m]	DISTANZA DA y [m]	$A*Y_g$ [m <sup>3</sup> ]	$A*X_g$ [m <sup>3</sup> ]	BARICENTRO DELLE MASSE $G_x$ [m]	BARICENTRO DELLE MASSE $G_y$ [m]
x,y	1	1	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,98	0,05	0,98	0,81	0,43	0,79	0,42	9,95	28,28
x,y	1	2	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,94	0,10	1,94	4,01	0,59	7,78	1,14		
x,y	1	3	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,48	0,07	1,48	7,77	0,70	11,48	1,04		
x,y	1	4	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,49	0,07	1,49	12,41	0,95	18,51	1,42		
x,y	1	5	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	2,21	0,11	2,20	16,11	1,19	35,52	2,63		
x,y	1	6	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,19	0,06	1,18	19,23	1,34	22,79	1,59		
x,y	1	7	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,80	1,80	0,02	19,81	3,62	35,63	6,52		
x,y	1	8	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,32	0,00	1,32	17,42	5,87	22,99	7,74		
x,y	1	9	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,92	0,92	0,00	14,88	3,03	13,67	2,78		
x,y	1	10	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	14,88	5,56	1,52	0,57		
x,y	1	11	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,01	1,01	0,01	11,72	2,93	11,85	2,96		
x,y	1	12	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,19	0,00	1,19	12,52	6,05	14,90	7,20		
x,y	1	13	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,10	0,10	0,00	11,75	5,65	1,17	0,56		
x,y	1	14	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,47	0,47	0,00	8,37	1,86	3,97	0,88		
x,y	1	15	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,19	0,00	1,19	7,65	6,05	9,11	7,20		
x,y	1	16	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,12	0,12	0,00	8,39	4,38	1,04	0,54		
x,y	1	17	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,10	0,10	0,00	8,39	5,66	0,83	0,56		
x,y	1	18	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,73	0,00	0,73	4,89	5,93	3,58	4,34		
x,y	1	19	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,13	0,13	0,00	5,29	5,60	0,71	0,75		
x,y	1	20	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,16	0,16	0,00	5,31	1,23	0,85	0,20		
x,y	1	21	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,16	1,16	0,01	3,62	2,85	4,22	3,31		
x,y	1	22	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,07	0,07	0,00	3,65	5,70	0,24	0,38		

x,y	1	23	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,41	0,00	0,41	1,71	5,93	0,70	2,43
x,y	1	24	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,71	1,71	0,01	0,41	2,10	0,70	3,60
x,y	1	25	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,99	0,99	0,01	0,45	5,33	0,45	5,25
x,y	1	109	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	1,57	1,57	0,01	19,73	7,37	30,97	11,56
x,y	1	110	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,38	2,38	0,01	19,71	12,24	46,96	29,16
x,y	1	111	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,39	2,39	0,01	19,73	17,91	47,12	42,77
x,y	1	112	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,39	2,39	0,01	19,74	23,58	47,09	56,26
x,y	1	113	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,39	2,39	0,01	19,71	29,22	47,02	69,70
x,y	1	114	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,37	2,37	0,01	19,77	35,16	46,91	83,42
x,y	1	115	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	1,84	1,84	0,01	19,82	40,44	36,45	74,38
x,y	1	116	v	-0,29	1,00	1,00	-0,01	0,00	1,03	1,03	0,01	19,84	45,44	20,51	46,96
x,y	1	117	v	-11,78	0,98	0,96	-0,20	0,04	1,06	1,03	0,22	19,45	48,62	20,54	51,34
x,y	1	118	v	-11,78	0,98	0,96	-0,20	0,04	0,69	0,67	0,14	18,54	53,08	12,74	36,47
x,y	1	119	v	-11,78	0,98	0,96	-0,20	0,04	0,69	0,67	0,14	17,68	57,22	12,15	39,31
x,y	1	120	v	-11,78	0,98	0,96	-0,20	0,04	1,16	1,13	0,24	16,70	62,11	19,28	71,74
x,y	1	121	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	1,35	0,01	1,35	17,05	6,15	23,09	8,33
x,y	1	122	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	1,78	0,01	1,78	16,57	12,28	29,45	21,82
x,y	1	123	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	1,81	0,01	1,81	16,57	17,94	30,01	32,49
x,y	1	124	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	1,76	0,01	1,76	16,58	23,59	29,16	41,49
x,y	1	125	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	2,28	0,02	2,28	16,58	29,27	37,74	66,63
x,y	1	126	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	3,45	0,03	3,45	16,44	35,53	56,63	122,43
x,y	1	127	v	90,43	-0,01	0,00	1,00	1,00	2,26	0,02	2,25	17,32	40,67	39,06	91,70
x,y	1	128	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,13	0,00	2,13	16,01	46,13	34,10	98,25
x,y	1	129	v	89,65	0,01	0,00	1,00	1,00	1,57	0,01	1,57	14,44	63,72	22,61	99,78
x,y	1	130	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,58	0,58	0,00	13,44	6,70	7,78	3,88

x,y	1	131	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,00	13,54	8,32	3,92	2,41
x,y	1	132	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,77	1,77	0,00	13,52	12,33	23,94	21,83
x,y	1	133	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,77	1,77	0,00	13,52	17,97	23,94	31,82
x,y	1	134	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,77	1,77	0,00	13,51	23,61	23,93	41,81
x,y	1	135	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,81	1,81	0,00	13,51	29,23	24,42	52,83
x,y	1	136	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,32	1,32	0,00	13,50	34,63	17,76	45,56
x,y	1	137	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,99	1,99	0,00	13,50	39,02	26,83	77,55
x,y	1	138	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	13,88	40,65	2,15	6,30
x,y	1	139	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,67	0,00	13,38	46,10	8,98	30,93
x,y	1	140	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,82	0,82	0,00	13,43	47,94	11,03	39,39
x,y	1	141	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,72	0,72	0,00	13,50	51,75	9,73	37,30
x,y	1	142	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,65	0,00	0,65	12,01	51,70	7,80	33,58
x,y	1	143	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,86	0,86	0,00	13,56	57,64	11,63	49,46
x,y	1	144	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,65	0,00	0,65	8,16	51,71	5,27	33,42
x,y	1	145	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,08	1,08	0,00	6,68	7,63	7,19	8,21
x,y	1	146	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,76	1,76	0,00	6,65	12,34	11,71	21,74
x,y	1	147	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,76	1,76	0,00	6,65	17,96	11,72	31,64
x,y	1	148	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,06	1,06	0,00	6,69	22,65	7,08	23,97
x,y	1	149	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,47	0,47	0,00	6,74	29,22	3,16	13,72
x,y	1	150	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,26	1,26	0,00	6,66	35,79	8,42	45,22
x,y	1	151	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,27	0,27	0,00	6,65	38,82	1,80	10,48
x,y	1	152	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,76	0,76	0,00	6,67	40,88	5,06	31,03
x,y	1	153	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,51	0,51	0,00	6,68	46,09	3,41	23,54
x,y	1	154	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,84	0,84	0,00	6,68	51,73	5,62	43,57
x,y	1	155	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,86	0,86	0,00	6,68	57,64	5,73	49,45

x,y	1	156	v	89,65	0,01	0,00	1,00	1,00	4,92	0,03	4,92	6,42	63,68	31,57	313,20		
x,y	1	157	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,73	0,00	0,73	4,89	6,17	3,58	4,52		
x,y	1	158	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,31	0,00	0,31	5,92	8,33	1,83	2,58		
x,y	1	159	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,10	0,00	0,10	6,27	23,61	0,64	2,42		
x,y	1	160	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,83	0,00	0,83	6,74	47,91	5,63	40,00		
x,y	1	161	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,78	0,00	1,78	3,50	51,70	6,23	91,90		
x,y	1	162	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,61	0,00	0,61	1,30	6,17	0,79	3,78		
x,y	1	163	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,12	0,00	1,12	2,54	8,32	2,84	9,34		
x,y	1	164	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,17	0,00	1,17	3,36	23,62	3,92	27,60		
x,y	1	165	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,80	0,00	2,80	3,58	41,33	10,04	115,84		
x,y	1	166	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,52	0,00	2,52	3,59	46,06	9,02	115,92		
x,y	1	167	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,42	1,42	0,01	0,39	7,42	0,55	10,57		
x,y	1	168	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,37	2,37	0,02	0,41	12,34	0,97	29,20		
x,y	1	169	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,35	2,35	0,02	0,36	17,70	0,85	41,64		
x,y	1	170	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,35	2,35	0,02	0,42	23,46	0,98	55,19		
x,y	1	171	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,64	2,64	0,02	0,41	28,44	1,09	75,04		
x,y	1	172	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,98	1,98	0,02	0,42	35,12	0,83	69,40		
x,y	1	173	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,36	2,36	0,02	0,42	40,44	0,99	95,43		
x,y	1	174	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,37	2,37	0,02	0,43	46,05	1,01	109,25		
x,y	1	175	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,22	2,22	0,02	0,42	51,59	0,93	114,35		
x,y	1	176	v	-0,50	1,00	1,00	-0,01	0,00	2,49	2,49	0,02	0,37	57,66	0,91	143,55		
x,y	1	177	v	-0,50	1,00	1,00	-0,01	0,00	1,54	1,54	0,01	0,29	62,62	0,45	96,46		
									TOTALE AREA	TOTALE A <sub>x</sub>	TOTALE A <sub>y</sub>	Min		TOTALE	TOTALE		
									128,72	78,57	51,77	0,29	0,43	1280,22	3639,80		
												Max					

19,84	63,72
R <sub>y</sub> -Min	
9,34	31,43
R <sub>y</sub> -Max	
10,20	31,86
Max( R <sub>y</sub> -Min ;  R <sub>y</sub> -Max )	
10,20	31,86

b [m]	t [m]	Altezza deformata h [m]	H [m]	Tipo muratura	G (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	MOMENTO D'INERZIA J <sub>x</sub> = b*t <sup>3</sup> /12	MOMENTO D'INERZIA J <sub>y</sub> = t*b <sup>3</sup> /12	K <sub>u</sub> [kN/m]	K <sub>v</sub> [kN/m]	K <sub>x</sub> [kN/m]	K <sub>y</sub> [kN/m]	K <sub>x</sub> *y [kN]	K <sub>y</sub> *x [kN]	CENTRO DELLE RIGIDENZE R <sub>y</sub> [m]	CENTRO DELLE RIGIDENZE R <sub>x</sub> [m]
1,53	0,64	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0334	0,1910	20273,84	4425,67	4465,67	20233,83	3594,87	8662,10	9,64	31,86
3,03	0,64	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0662	1,4836	92474,49	8764,55	8975,88	92263,16	36022,89	54001,63		
2,31	0,64	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0505	0,6574	53354,35	6681,89	6799,71	53236,53	52808,60	37409,31		
2,33	0,64	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0509	0,6746	54355,89	6739,74	6859,95	54235,68	85132,61	51594,40		
2,94	0,75	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,1034	1,5883	102313,08	13422,97	13647,37	102088,68	219863,20	121597,82		
1,58	0,75	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0555	0,2465	25753,13	7213,70	7260,51	25706,33	139616,61	34557,02		
3,91	0,46	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0317	2,2914	104364,15	4308,86	104356,53	4316,48	2067438,44	15638,62		
4,55	0,29	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0092	2,2764	83698,32	1277,80	1277,80	83698,32	22261,44	490890,67		
2,87	0,32	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0078	0,6304	41665,90	1080,26	41665,90	1080,26	619967,83	3268,00		
0,32	0,32	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0009	0,0009	120,45	120,45	120,45	120,45	1792,19	669,99		
3,26	0,31	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0081	0,8950	51307,47	1116,51	51303,65	1120,33	601335,20	3286,61		
2,48	0,48	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0229	0,6101	46538,98	3097,53	3097,53	46538,98	38782,30	281677,18		



0,32	0,31	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0008	0,0008	116,68	109,60	116,68	109,60	1371,20	619,67
1,53	0,31	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0038	0,0925	9820,14	524,01	9819,43	524,72	82178,84	975,55
2,48	0,48	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0229	0,6101	46538,98	3097,53	3097,53	46538,98	23701,67	281677,18
0,40	0,31	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0010	0,0017	226,16	137,00	226,15	137,00	1896,96	600,07
0,32	0,31	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0008	0,0008	116,68	109,60	116,68	109,60	979,41	619,77
3,05	0,24	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0035	0,5675	35111,53	487,23	487,23	35111,53	2381,38	208299,17
0,42	0,32	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0011	0,0020	269,67	158,09	269,66	158,09	1426,59	885,73
0,50	0,32	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0014	0,0033	450,59	188,20	450,57	188,22	2394,08	232,39
3,88	0,30	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0087	1,4603	67201,36	1205,34	67196,33	1210,37	243418,71	3446,64
0,22	0,30	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0005	0,0003	36,96	68,34	36,96	68,34	134,88	389,67
1,71	0,24	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0020	0,1000	10013,97	273,17	273,17	10013,97	466,73	59407,91
2,76	0,62	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0548	1,0863	74759,10	7281,76	74753,97	7286,90	30581,85	15337,47
1,35	0,73	5,16	5,16	6	533000	1600000	0,0438	0,1497	16779,46	5704,78	16778,62	5705,62	7625,88	30414,97
2,42	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0553	0,7629	67535,77	8684,58	67534,26	8686,09	1332248,35	63990,41
3,67	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0839	2,6666	146302,32	13179,71	146298,91	13183,12	2883844,13	161361,33
3,68	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0841	2,6885	146963,51	13215,67	146960,08	13219,09	2898787,57	236687,85
3,67	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0840	2,6775	146632,89	13197,69	146629,47	13201,10	2894319,06	311321,63
3,67	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0840	2,6775	146632,89	13197,69	146629,47	13201,10	2890360,06	385736,26
3,65	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0835	2,6340	145310,96	13125,76	145307,58	13129,15	2872876,13	461620,91
3,47	0,53	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0431	1,8454	108820,93	6904,79	108818,32	6907,40	2156452,61	279349,07
1,95	0,53	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0242	0,3275	34670,08	3880,21	34669,29	3881,00	687977,38	176360,48
3,52	0,30	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0079	1,0904	63111,95	1306,76	60535,97	3882,74	1177303,64	188759,50
2,29	0,30	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0052	0,3002	27900,93	850,14	26773,48	1977,59	496380,24	104972,38
2,29	0,30	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0052	0,3002	27900,93	850,14	26773,48	1977,59	473328,28	113147,73
3,85	0,30	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0087	1,4267	73184,25	1429,27	70193,58	4419,95	1171951,95	274518,57

4,67	0,29	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0095	2,4613	95161,94	1567,43	1572,70	95156,67	26817,64	585213,54
5,64	0,32	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0147	4,7144	134682,75	2421,32	2428,77	134675,30	40244,78	1653543,35
5,66	0,32	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0155	4,8301	137341,06	2544,45	2552,04	137333,47	42297,56	2464037,11
5,67	0,31	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0141	4,7190	133553,26	2322,02	2329,41	133545,87	38619,37	3150347,11
5,69	0,40	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0303	6,1407	172977,10	4954,88	4964,34	172967,64	82318,73	5063281,74
5,84	0,59	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,1000	9,7929	264122,97	15875,04	15889,03	264108,99	261136,14	9384056,56
4,51	0,50	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0470	3,8222	155849,53	7569,15	7577,50	155841,18	131265,00	6337593,12
4,53	0,47	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0392	3,6457	147561,58	6344,60	6344,60	147561,58	101558,06	6806277,92
3,48	0,45	4,86	5,09	6	533000	1600000	0,0264	1,5804	92849,26	3750,85	3754,18	92845,94	54191,57	5915957,30
0,89	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0204	0,0382	5698,56	3200,53	5698,56	3200,53	76594,30	21446,74
0,63	0,46	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0051	0,0096	1511,70	233,14	1511,70	233,14	20463,95	1938,99
3,85	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0312	2,1876	112215,85	5060,01	112215,85	5060,01	1517158,33	62374,76
3,85	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0312	2,1876	112215,85	5060,01	112215,85	5060,01	1516597,25	90918,29
3,85	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0312	2,1876	112215,85	5060,01	112215,85	5060,01	1516148,39	119456,76
3,93	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0319	2,3268	115981,03	5165,15	115981,03	5165,15	1566555,83	150951,65
2,86	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0232	0,8968	66737,71	3758,87	66737,71	3758,87	901159,29	130180,80
4,32	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0350	3,0905	134395,82	5677,73	134395,82	5677,73	1814209,12	221561,96
0,31	0,50	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0032	0,0012	204,62	520,27	204,62	520,27	2840,73	21151,22
1,10	0,61	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0208	0,0677	9553,66	3293,22	9553,66	3293,22	127818,45	151820,95
2,49	0,33	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0075	0,4246	36498,34	1226,87	36498,34	1226,87	490063,24	58813,70
1,06	0,68	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0278	0,0675	9637,11	1247,18	9637,11	1247,18	130091,33	64537,68
2,03	0,32	4,86	9,11	6	533000	1600000	0,0055	0,2231	22912,16	140,15	140,15	22912,16	1682,75	1184512,84
1,10	0,78	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0435	0,0865	12216,16	1935,55	12216,16	1935,55	165590,03	111565,33
2,02	0,32	4,86	9,11	6	533000	1600000	0,0055	0,2198	22661,17	139,46	139,46	22661,17	1137,69	1171695,98
2,34	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0190	0,4912	44767,13	3075,44	44767,13	3075,44	298954,89	23456,35

3,83	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0311	2,1536	111275,56	5033,73	111275,56	5033,73	739871,20	62106,11
3,83	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0311	2,1536	111275,56	5033,73	111275,56	5033,73	740316,31	90395,65
2,30	0,46	4,86	4,60	6	533000	1600000	0,0187	0,4664	43176,39	3552,05	43176,39	3552,05	288806,88	80460,95
0,77	0,61	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0146	0,0232	3559,74	657,73	3559,74	657,73	23981,94	19217,55
2,34	0,54	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0307	0,5766	52552,72	4917,13	52552,72	4917,13	350001,10	175964,30
0,50	0,54	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0066	0,0056	906,28	1050,67	906,28	1050,67	6027,69	40790,09
1,65	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0134	0,1722	20351,64	2168,58	20351,64	2168,58	135765,82	88647,07
1,11	0,46	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0090	0,0524	7381,67	1458,86	7381,67	1458,86	49272,67	67243,26
1,08	0,78	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0427	0,0819	11627,13	1900,36	11627,13	1900,36	77622,75	98298,12
1,10	0,78	4,86	7,46	6	533000	1600000	0,0435	0,0865	12216,16	1935,55	12216,16	1935,55	81555,08	111557,58
10,93	0,45	4,86	5,09	6	533000	1600000	0,0830	48,9657	426125,00	11753,45	11768,92	426109,54	75532,91	27133377,20
3,05	0,24	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0035	0,5675	39240,43	582,57	582,57	39240,43	2847,59	242231,15
1,00	0,31	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0025	0,0258	3749,11	409,24	409,24	3749,11	2421,06	31218,81
0,31	0,33	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0009	0,0008	135,05	152,74	152,74	135,05	958,16	3188,37
2,53	0,33	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0076	0,4453	37692,41	1246,58	1246,58	37692,41	8403,19	1805768,14
5,56	0,32	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0152	4,5711	133988,33	2498,13	2498,13	133988,33	8748,45	6926928,94
2,55	0,24	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0029	0,3316	27849,56	487,06	487,06	27849,56	632,21	171915,31
3,62	0,31	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0090	1,2255	68357,30	1481,45	1481,45	68357,30	3755,47	568869,43
3,54	0,33	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0106	1,2200	70090,90	1744,23	1744,23	70090,90	5853,62	1655687,22
5,72	0,49	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0561	7,6419	213390,14	9048,50	9048,50	213390,14	32420,79	8819414,64
5,72	0,44	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0406	6,8621	191615,64	6596,72	6596,72	191615,64	23649,23	8825433,11
2,19	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0501	0,5689	54959,75	7875,46	54956,17	7879,04	21322,99	58486,14
3,64	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0833	2,6124	144650,35	13089,80	144640,33	13099,82	59013,25	161664,89
3,62	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0828	2,5696	143329,82	13017,88	143319,89	13027,80	51595,16	230526,99
3,62	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0828	2,5696	143329,82	13017,88	143319,89	13027,80	59477,76	305567,15

4,06	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0929	3,6250	172547,74	14600,16	172535,71	14612,19	71257,25	415512,31		
3,04	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0696	1,5218	105639,90	10932,14	105632,68	10939,36	44608,68	384179,21		
3,63	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0831	2,5909	143989,96	13053,84	143979,99	13063,81	60471,60	528339,78		
3,65	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0835	2,6340	145310,96	13125,76	145300,90	13135,83	61752,88	604878,69		
3,41	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0780	2,1478	129530,75	12262,70	129521,82	12271,63	54386,21	633117,93		
3,83	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0877	3,0432	157237,21	13773,06	157226,28	13783,99	57654,88	794839,81		
2,37	0,65	4,86	4,86	6	533000	1600000	0,0542	0,7211	64959,39	8522,76	64955,09	8527,05	19129,28	533955,59		
									TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE		
									7218193,31	456540,80	4187847,13	3486886,98	40367632,22	111080458,93		

DIREZIONE	PIANO	NUMERAZIONE PARETI	m,m	Angolo di rotazione	cos( $\alpha$ )	cos <sup>2</sup> ( $\alpha$ )	sen( $\alpha$ )	sen <sup>2</sup> ( $\alpha$ )	AREA RESISTENTE	A <sub>x</sub> =A*cos( $\alpha$ ) [m <sup>2</sup> ]	A <sub>y</sub> =A*sen( $\alpha$ ) [m <sup>2</sup> ]	DISTANZA DA x	DISTANZA DA y	A*Y <sub>g</sub>	A*X <sub>g</sub>	BARICENTRO DELLE MASSE G <sub>x</sub>	BARICENTRO DELLE MASSE G <sub>y</sub>
x,y	2	40	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,63	0,03	0,63	0,80	0,26	0,51	0,16	9,45	3,63
x,y	2	41	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,00	0,05	1,00	4,03	0,43	4,03	0,43		
x,y	2	42	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,00	0,05	1,00	8,06	0,63	8,06	0,63		
x,y	2	43	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,99	0,05	0,99	12,07	0,83	11,95	0,82		
x,y	2	44	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,97	0,05	0,97	16,03	1,03	15,55	1,00		
x,y	2	45	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,65	0,03	0,65	19,24	1,18	12,46	0,77		
x,y	2	46	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,23	1,23	0,01	19,92	3,61	24,49	4,44		
x,y	2	47	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,80	0,00	1,80	17,14	5,99	30,82	10,78		

x,y	2	48	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,55	0,55	0,00	14,86	4,08	8,23	2,26		
x,y	2	49	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	14,86	1,34	0,86	0,08		
x,y	2	50	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,18	0,00	1,18	12,55	6,05	14,82	7,15		
x,y	2	51	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,87	0,00	1,87	8,97	6,05	16,75	11,30		
x,y	2	52	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,59	0,00	0,59	6,13	5,98	3,60	3,51		
x,y	2	53	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,39	0,00	1,39	2,33	5,99	3,23	8,33		
x,y	2	54	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,23	1,23	0,01	3,63	3,77	4,46	4,62		
x,y	2	55	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00	3,61	0,74	0,31	0,06		
x,y	2	56	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,78	1,78	0,02	0,22	3,02	0,39	5,36		
									TOTALE AREA	TOTALE A <sub>x</sub>	TOTALE A <sub>y</sub>	Min		TOTALE	TOTALE		
									16,99	5,19	12,09	0,22	0,26	160,52	61,70		
									Max								
									19,92	6,05							
									R <sub>y</sub> -Min								
									13,17	1,34							
									R <sub>y</sub> -Max								
									6,53	4,46							
									Max( R <sub>y</sub> -Min ;  R <sub>y</sub> -Max )								
									13,17	4,46							

b	t	Altezza deformata h	H	Tipo muratura	G (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	MOMENTO D'INERZIA $J_x = b \cdot t^3 / 12$	MOMENTO D'INERZIA $J_y = t \cdot b^3 / 12$	$K_u$ [kN/m]	$K_v$ [kN/m]	$K_x$ [kN/m]	$K_y$ [kN/m]	$K_x \cdot y$ [kN]	$K_y \cdot x$ [kN]	CENTRO DELLE RIGIDENZE $R_y$	CENTRO DELLE RIGIDENZE $R_x$
1,54	0,41	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0088	0,1248	25120,65	2652,56	2709,28	25063,93	2170,67	6453,96	13,39	1,59
3,03	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0091	0,7650	76394,84	2757,59	2943,48	76208,94	11874,01	32617,43		
3,03	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0091	0,7650	76394,84	2757,59	2943,48	76208,94	23730,35	48164,05		
3,00	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0090	0,7425	75154,23	2730,28	2913,12	74971,40	35158,40	62376,20		
2,94	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0088	0,6988	72677,53	2675,68	2852,40	72500,81	45721,05	74820,83		
1,58	0,41	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0091	0,1348	26633,51	2721,45	2781,82	26573,14	53527,79	31436,03		
4,39	0,28	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0080	1,9741	112856,23	2457,40	112847,82	2465,81	2248041,50	8906,51		
5,45	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0163	4,4517	176498,75	4960,01	4960,01	176498,75	85004,70	1057757,00		
3,46	0,16	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0012	0,5523	45712,16	365,77	45712,16	365,77	679374,17	1493,43		
0,36	0,16	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0001	0,0006	188,17	38,06	188,17	38,06	2796,59	51,03		
2,46	0,48	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0227	0,5955	77388,42	6706,24	6706,24	77388,42	971379,40	40586,17		
3,89	0,48	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0359	2,3546	163237,44	10604,58	10604,58	163237,44	1464239,84	64189,55		
1,78	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0053	0,1551	27904,73	1619,97	1619,97	27904,73	171111,80	9680,93		
4,21	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0126	2,0520	125543,37	3831,50	3831,50	125543,37	292264,96	22962,16		
4,09	0,30	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0092	1,7104	109595,74	2808,56	109587,60	2816,69	397942,12	10585,47		
0,29	0,30	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0007	0,0006	186,33	199,14	186,33	199,14	671,92	147,96		
5,38	0,33	3,95	3,95	6	533000	1600000	0,0161	4,2823	173652,96	4896,31	173640,11	4909,16	38203,65	14781,95		
									TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE		
									1365139,90	54782,68	487028,08	932894,50	6523212,93	1487010,66		

DIREZIONE	PIANO	NUMERAZIONE PARETI	m,m	Angolo di rotazione	cos( $\alpha$ )	cos <sup>2</sup> ( $\alpha$ )	sen( $\alpha$ )	sen <sup>2</sup> ( $\alpha$ )	AREA RESISTENTE	A <sub>x</sub> =A*cos( $\alpha$ ) [m <sup>2</sup> ]	A <sub>y</sub> =A*sen( $\alpha$ ) [m <sup>2</sup> ]	DISTANZA DA x	DISTANZA DA y	A*Y <sub>g</sub>	A*X <sub>g</sub>	BARICENTRO DELLE MASSE G <sub>x</sub>	BARICENTRO DELLE MASSE G <sub>y</sub>
x,y	3	75	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,63	0,03	0,63	0,80	0,26	0,51	0,16	9,67	3,53
x,y	3	76	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,00	0,05	1,00	4,03	0,43	4,03	0,43		
x,y	3	77	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	1,00	0,05	1,00	8,06	0,63	8,06	0,63		
x,y	3	78	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,99	0,05	0,99	12,07	0,83	11,95	0,82		
x,y	3	79	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,97	0,05	0,97	16,03	1,03	15,55	1,00		
x,y	3	80	v	87,12	0,05	0,00	1,00	1,00	0,65	0,03	0,65	19,24	1,18	12,46	0,77		
x,y	3	81	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	1,55	1,55	0,01	19,92	3,61	30,97	5,62		
x,y	3	82	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,77	0,00	2,77	15,52	5,99	43,06	16,63		
x,y	3	83	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	14,86	4,24	7,50	2,14		
x,y	3	84	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	14,86	1,47	1,43	0,14		
x,y	3	85	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,84	0,84	0,00	10,83	4,13	9,10	3,47		
x,y	3	86	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	10,83	1,27	1,71	0,20		
x,y	3	87	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	2,02	0,00	2,02	8,26	5,98	16,67	12,06		
x,y	3	88	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	0,73	0,73	0,01	3,57	3,79	2,61	2,77		
x,y	3	89	v	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	3,54	0,74	0,19	0,04		
x,y	3	90	v	90,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,42	0,00	1,42	2,38	5,99	3,37	8,50		
x,y	3	91	v	0,50	1,00	1,00	0,01	0,00	2,15	2,15	0,02	0,22	3,02	0,47	6,50		
									TOTALE AREA	TOTALE A <sub>x</sub>	TOTALE A <sub>y</sub>	Min		TOTALE	TOTALE		
									17,54	6,35	11,48	0,22	0,26	169,65	61,87		
												Max					



19,92	5,99
R <sub>y</sub> -Min	
11,62	1,83
R <sub>y</sub> -Max	
8,08	3,91
Max( R <sub>y</sub> -Min ;  R <sub>y</sub> -Max )	
11,62	3,91

b	t	Altezza deformata h	H	Tipo muratura	G (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	MOMENTO D'INERZIA J <sub>x</sub> = b*t <sup>3</sup> /12	MOMENTO D'INERZIA J <sub>y</sub> = t*b <sup>3</sup> /12	K <sub>u</sub> [kN/m]	K <sub>v</sub> [kN/m]	K <sub>x</sub> [kN/m]	K <sub>y</sub> [kN/m]	K <sub>x</sub> *y [kN]	K <sub>y</sub> *x [kN]	CENTRO DELLE RIGIDENZE R <sub>y</sub>	CENTRO DELLE RIGIDENZE R <sub>x</sub>
1,54	0,41	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0088	0,1248	52229,02	7181,36	7295,09	52115,30	5844,82	13419,69	11,84	2,08
3,03	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0091	0,7650	128219,48	7558,33	7862,94	127914,88	31719,10	54747,57		
3,03	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0091	0,7650	128219,48	7558,33	7862,94	127914,88	63391,03	80842,20		
3,00	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0090	0,7425	126462,88	7483,50	7783,86	126162,51	93943,41	104967,21		
2,94	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0088	0,6988	122946,43	7333,83	7625,69	122654,57	122232,19	126579,52		
1,58	0,41	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0091	0,1348	54898,98	7367,89	7487,88	54778,99	144081,87	64803,55		
4,39	0,35	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0162	2,4992	221628,41	13427,81	221612,56	13443,66	4414743,71	48558,52		
8,41	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0252	16,3518	427051,94	20976,24	20976,24	427051,94	325530,32	2559322,26		
3,16	0,16	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0011	0,4187	65709,69	930,95	65709,69	930,95	976577,35	3942,58		
0,60	0,16	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0002	0,0029	2161,43	177,04	2161,43	177,04	32127,49	260,08		
3,36	0,25	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0044	0,7910	111757,74	3720,82	111757,74	3720,82	1210448,12	15374,42		

0,63	0,25	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0008	0,0052	3853,51	697,45	3853,51	697,45	41737,35	888,55		
6,12	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0183	6,2881	302502,62	15253,86	15253,86	302502,62	2498369,13	91157,08		
4,06	0,18	2,80	3,51	6	533000	1600000	0,0020	1,0031	102375,15	866,91	102367,42	874,64	365581,67	3281,24		
0,30	0,18	2,80	3,51	6	533000	1600000	0,0001	0,0004	340,16	64,07	340,16	64,07	1204,85	47,61		
4,30	0,33	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0129	2,1819	201221,82	10718,86	10718,86	201221,82	478505,49	64238,15		
5,38	0,40	2,80	2,80	6	533000	1600000	0,0287	5,1965	317634,56	23386,29	317612,15	23408,70	69879,60	70603,21		
									TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE	TOTALE		
									2369213,31	134703,55	918282,03	1585634,83	10875917,51	3303033,41		

- $\mu_{xi}$  è un coefficiente che considera l'omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari, che può essere così valutato:

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

dove:  $N_{mxi}$  è il numero di maschi murari in direzione  $x$ , al piano  $i$ ;  $A_{xi,j}$  è l'area del generico maschio in direzione  $x$  al piano  $i$  (la sommatoria è estesa a tutti i maschi del piano):

$\mu_{xi} = 1 - 0.2 \sqrt{\frac{N_{mxi} \sum_j A_{xi,j}^2}{A_{xi}^2} - 1}$	Coefficiente di omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari		$\mu_{xi} \geq 0.8$	
	$\mu_{xi}$ (numero dei maschi murari in direzione $x$ al piano $i$ )	n.		
	a) piano terra	64	0,87	VERO
	b) piano primo	6	0,87	VERO
	c) piano secondo	8	0,83	VERO

$\mu_{yi} = 1 - 0.2 \sqrt{\frac{N_{myi} \sum_j A_{yi,j}^2}{A_{yi}^2} - 1}$	Coefficiente di omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari		$\mu_{yi} \geq 0.8$	
	$\mu_{yi}$ (numero dei maschi murari in direzione $y$ al piano $i$ )	n.		
	a) piano terra	32	0,89	VERO
	b) piano primo	11	0,93	VERO
	c) piano secondo	9	0,90	VERO

- $\zeta_{xi}$  è un coefficiente legato alla resistenza delle fasce murarie di piano nelle pareti disposte in direzione  $x$ ; esso vale 1 nel caso di fasce resistenti (rottura dei maschi murari verticali), mentre può assumere valore minore (fino a 0.8) nel caso di fasce deboli, non in grado di bloccare la rotazione alle estremità dei maschi murari

$$\zeta_{xi} = 1$$

Definiti tutti i coefficienti, è possibile combinarli per determinare la resistenza a taglio di un generico piano  $i$  dell'edificio nelle due direzioni  $x$  e  $y$  ed ottenere l'accelerazione al suolo di collasso nelle due direzioni:

		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(collasso piano debole)	PIANO SECONDO(collasso Piano Debole)	min	
<b>Accelerazione al suolo di collasso in direzione x [m/s<sup>2</sup>]</b>						<b>0,015</b>	
	$a_{SLV}$	0,191	0,164	0,015	0,016		→
q (coefficiente di struttura EDIFICI REGOLARI IN ELEVAZIONE)	2,80	$S_{e,SLV}$	6,548	5,629	0,503		0,543
M (massa sismica totale)	1701,00		0,86	<b>1,00</b>	0,67		0,33
e* (frazione di massa partecipante secondo il modo di collasso)							
Fsu (resistenza a taglio dell'edificio)		3419,70	3419,70	204,83	108,82		
S	1,44						
F <sub>0</sub>	2,43						

		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(collasso piano debole)	PIANO SECONDO(collasso Piano Debole)	min	
<b>Accelerazione al suolo di collasso in direzione y [m/s<sup>2</sup>]</b>						<b>0,031</b>	
	$a_{SLV}$	0,129	0,111	0,036	0,031		→
q (coefficiente di struttura EDIFICI REGOLARI IN ELEVAZIONE)	2,80	$S_{e,SLV}$	4,427	3,806	1,252		1,058
M (massa sismica totale)	1701,00		0,86	<b>1,00</b>	0,67		0,33
e* (frazione di massa partecipante secondo il modo di collasso)							
Fsu (resistenza a taglio dell'edificio)		2311,92	2311,92	509,71	212,01		
S	1,44						
F <sub>0</sub>	2,43						

## 6.9 Indici di rischio

I valori di periodo di ritorno e di accelerazione per i quali viene effettivamente raggiunto lo SLV, se confrontati con i valori di riferimento dell'azione sismica, forniscono infine un'indicazione del livello di sicurezza sismica della struttura.

In particolare si può calcolare l'indice di sicurezza  $I_s$  (Linee Guida – Eq. 2.3) ed il fattore di accelerazione  $f_a$  (Linee Guida – Eq. 2.5) (Linee Guida – §2.4).

Quest'ultimo è definito nella Direttiva-NTC2008 dal rapporto tra l'accelerazione al suolo  $a_{SLV}$  che porta al raggiungimento dello stato limite SLV e l'accelerazione di riferimento  $a_{g, SLV}$ , riferite alla categoria di sottosuolo:

<b>CALCOLO DEL FATTORE DI ACCELERAZIONE <math>f_a</math>SLV (DIREZIONE X)</b>		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(collasso piano debole)	PIANO SECONDO(collasso Piano Debole)
		1,060	0,911	0,081	0,088
$a_g$ (accelerazione di riferimento nel sito) [m/s <sup>2</sup> ] ( $a_g = 0,180$ g)	1,77				
<b>CALCOLO DEL FATTORE DI ACCELERAZIONE <math>f_a</math>SLV (DIREZIONE Y)</b>		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(collasso piano debole)	PIANO SECONDO(collasso Piano Debole)
		0,716	0,616	0,203	0,171
$a_g$ (accelerazione di riferimento nel sito) [m/s <sup>2</sup> ] ( $a_g = 0,180$ g)	1,77				
<b>I.R.</b>					
		0,081			
min $f_{a,SLV}$ in direzione x o y					

L'indice di rischio sismico è stato calcolato anche in termini di tempo di ritorno come:

$I_{SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}}$	$I_{S,SLV}$	0,048
	$I_{S,SLV}$	

	anni
$T_{R,SLV}$	332
$T_{SLV}$	16

E' stato, infine, calcolato anche l'indice di sicurezza sismica  $I_S$ , secondo quanto previsto dalle "vecchie" Linee Guida del 2006:

$$I_S = \frac{a_{SLU}}{\gamma_1 S a_g}$$

$I_S = \frac{a_{SLU}}{\gamma_1 S a_g}$	<b>INDICE DI SICUREZZA SISMICA <math>I_S</math></b>		<b>0,009</b>
	$a_{SU}$ (accelerazione al suolo di collasso) [m/s <sup>2</sup> ]	0,015	
	$a_g$ (accelerazione di riferimento nel sito) [m/s <sup>2</sup> ] ( $a_g = 0,180$ g)	1,77	
	S (coefficiente di profilo stratigrafico del sottosuolo, Categoria suolo C)	1,4376	
	$\gamma_1$ (coefficiente di importanza: categoria di rilevanza MEDIA, categoria d'uso SALTUARIO O NON UTILIZZATO)	0,65	

## **7. VALUTAZIONE SISMICA PER PALAZZI E VILLE – MODELLO MECCANICO SEMPLIFICATO (LVI) TRAMITE IL SISTEMA INFORMATIVO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO (SIVARS)**

Il sistema per la valutazione del rischio sismico (SIVARS) rappresenta lo strumento informativo predisposto dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali per l'applicazione degli indirizzi contenuti nelle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale". Realizzato in seguito all'entrata in vigore della "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale" del 12 ottobre 2007, il SIVARS risulta attualmente allineato alle disposizioni previste dalle nuove Linee Guida armonizzate con le Norme Tecniche per le costruzioni (NTC - D.M. 14 gennaio 2008).

Il sistema informativo, a disposizione di tutti gli enti che ne facciano richiesta ([www.benitutelati.it](http://www.benitutelati.it)), gestisce l'intero percorso metodologico previsto nelle Linee Guida e consente di ottenere, in modo guidato, la valutazione della sicurezza sismica dei beni tutelati secondo il primo livello di verifica LV1.

Attraverso un iter metodologico definito nell'allegato A delle Linee Guida, il SIVARS consente di organizzare le informazioni conoscitive e tutti i dati necessari all'implementazione delle verifiche, allo scopo di ottenere la valutazione della sicurezza sismica del bene.

E' importante sottolineare che le informazioni raccolte all'interno del SIVARS, oltre a essere utilizzate ai fini della valutazione degli indici di sicurezza sismica dei singoli beni, consentono inoltre di creare un quadro conoscitivo della reale consistenza del patrimonio architettonico e del suo stato di conservazione.

Per accedere alla fase di attivazione dei monitoraggi sismici, è necessario che sia completata la procedura di verifica dell'interesse culturale (SITAP) tramite la quale viene creato il record identificativo del manufatto analizzato all'interno della banca dati dei beni tutelati. Conclusa questa fase, l'attivazione di un monitoraggio sismico consente di andare a definire tutte quelle grandezze che

permettono di ottenere la valutazione della sicurezza sismica del bene nel suo stato attuale.

Identificato il monitoraggio sismico in base alla data di attivazione (data monitoraggio) e/o al nome e ruolo dell'autore del monitoraggio, la prima operazione richiesta è la definizione del periodo di riferimento che risulta necessario per la valutazione dell'azione sismica così come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - D.M. 14 gennaio 2008).

Definendo la vita nominale  $V_N$  e la classe d'uso  $C_U$  del bene (NTC, § 2.4; Linee Guida, §2.4), viene valutato il periodo di riferimento  $V_R$  e conseguentemente il periodo di ritorno dell'azione sismica di riferimento al fine della verifica nei confronti dello stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

Tramite la localizzazione geografica del bene, viene successivamente identificata la “pericolosità sismica di base” del sito. Così come definito nell'Allegato A alle NTC, sono caricati all'interno del SIVARS i valori dei seguenti parametri di riferimento su suolo rigido orizzontale:

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

definiti per l'intero territorio nazionale su un reticolo di lato pari a circa 5 km e necessari per definire le forme spettrali per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (NTC, § 3.2).



Denominazione del Bene: Ex Macello Comunale

**Note integrative** .... eventuali note integrative per descrivere l'area rilevata

**Sistema di riferimento** WGS84

Modifica le eventuali Note integrative

**Note**

E' stato già definito il poligono d'ingombro. Le informazioni derivate dal territorio sono le seguenti:

Centroide dell'ingombro (WGS84)	Longitudine: <b>11,7189344278175</b> Latitudine: <b>44,3547627364446</b>
Centroide dell'ingombro (UTM-ED50-f32)	Coordinata X: <b>716687,007</b> Coordinata Y: <b>4914872,485</b>
Fattori di Pericolosità Sismica [m/s <sup>2</sup> ]	Pga SLU: <b>2,011</b> Pga SLD: <b>0,804</b>
Fattori di Pericolosità Sismica [g]	Pga SLU: <b>0,205</b> Pga SLD: <b>0,082</b>

Accedi in visualizzazione o elimina per ridefinire....




Figura 1. Maschera di rilievo dell'ingombro geografico

La maschera di rilievo dell'ingombro geografico (Figura 1) consente di definire la posizione del fabbricato sul territorio italiano tramite l'ausilio della cartografia tecnica regionale. Una volta visualizzata l'area in cui sorge il fabbricato si definisce la posizione con gli strumenti grafici messi a disposizione e vengono calcolati automaticamente tutti i dati relativi alle coordinate geografiche ed alla pericolosità sismica riferita alle coordinate del bene, individuata tramite interpolazione tra i punti del reticolo di riferimento così come indicato nell'Allegato A alle NTC.

Le successive schede di monitoraggio sono riferite alla definizione del fattore di confidenza (Linee Guida, § 4.2) e dei fattori di sensibilità. Il valore del fattore di confidenza, utilizzato nella definizione dei parametri meccanici di progetto dei maschi murari, è dedotto in funzione del livello di conoscenza che è possibile

ottenere rispetto a: rilievo geometrico, identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica, proprietà meccaniche dei materiali, conoscenza del terreno e delle fondazioni.

**Schede di Monitoraggio**  
 Dati del Monitoraggio  
 Valutazione Culturale  
 Rilievo Ingombro Geografico  
 Fattori di Confidenza  
 Fattori di Sensibilità  
 Caratter. Geografiche  
 Caratter. di Accessibilità  
 Rilievi semplificati  
 Altra Documentazione  
 Stampa Report Modulo B  
 Morfologia degli Elementi  
 Struttura dei piani  
 Rilievo Elementi Strutturali  
 Associazione tra Elementi O-V  
 Codifica Elementi Strutturali  
 Report Relazioni di Carico  
 Definizione delle Vulnerabilità  
 Report Vulnerabilità definite  
 Sintesi delle Vulnerabilità  
 Stampa Report Modulo C  
 Stato di Conservazione  
 Danno Strutturale  
 Stampa Report Modulo D

**Caratteristiche dimensionali:**  
 ATTENZIONE! È stata definita la **Struttura dei Piani** quindi Modificare con cautela i dati di **Altezza di gronda e Numeri dei Piani**.  
 Superficie coperta (m<sup>2</sup>)   
 Altezza di gronda (m)   
 Numero piani entrotterra  Si evidenzia che il rilievo dei piani interrati non deve entrare nel **Rilievo Elementi Strutturali**.  
 Numero piani seminterrati  Si evidenzia che il rilievo dei piani seminterrati può entrare nel **Rilievo Elementi Strutturali** a descrizione del rilevatore.  
 Numero piani fuori terra   
 Attenzione: in presenza di un SOTTOTETTO calpestabile incrementare di UNO il Numero piani fuori terra.

**Caratteristiche di struttura:**  
 Fattore di struttura  valore compreso tra 2.25 e 3  
 Valori consigliati: 3 per edifici regolari in elevazione, 2.25 per gli altri casi. Vedi OPCM 3274 ss.mm. punto 4.3.1  
**Ipotesi di Collasso**  
 collasso per piano debole  collasso di tipo uniforme  
 Numero dei Prospetti   
 Numero dei Prospetti con aperture Disallineate

Usare il punto come separatore decimale

**Localizzazione:**  
 Ambito territoriale

**Caratteristiche orografiche:**  
 Orografia   
 Fattore di inclinazione (°)   
 Fattore di dislivello (m)   
 Amplificazione topografica

**Caratteristiche Geomorfologiche:**  
 Categoria del suolo di fondazione   
 Caratteristica

Figura 2. Maschera fattori di sensibilità

Nella scheda dei fattori di sensibilità (Figura 2) è necessario inserire tutte quelle informazioni contenute nel Modulo B delle Linee Guida tra cui: le caratteristiche dimensionali (superficie coperta, altezza di gronda, numero di piani entrotterra, seminterrati e fuori terra), la definizione del fattore di struttura  $q$  e del coefficiente legato alla resistenza delle fasce murarie di piano per le due direzioni d'analisi (Linee Guida, § 5.4.2), la localizzazione del bene, le caratteristiche orografiche del sito e la classificazione del terreno di fondazione (NTC, § 3.2.2), il contesto edilizio (eventuale appartenenza ad un bene complesso e l'interazione con i beni adiacenti), lo stato di utilizzo e l'eventuale affollamento.

Per poter calcolare gli indici di sicurezza sismica è necessario avere a disposizione un rilievo minimo dell'edificio, costituito dalle planimetrie di tutti i livelli della

struttura considerati nella valutazione della vulnerabilità sismica. E', in ogni caso, auspicabile l'inserimento di tutti gli elaborati di rilievo (sezioni, prospetti, modelli 3D) e di tutta l'altra documentazione a disposizione, come ad esempio documentazione fotografica, relazioni tecniche, al fine di creare una banca dati il più possibile esaustiva del bene analizzato (Figura 3).

Completata questa prima fase di compilazione, è possibile stampare il report del Modulo B che consente di avere una visione d'insieme di tutti i dati inseriti ed individuare eventuali anomalie o incongruenze.

Nella fase successiva viene definita la morfologia di tutti gli elementi strutturali resistenti che concorrono alla definizione della resistenza sismica della struttura.

The screenshot shows a web application interface. On the left is a sidebar with a green background containing several navigation links: [Schede di Monitoraggio](#), [Dati del Monitoraggio](#), [Valutazione Culturale](#), [Rilievo Ingombro Geografico](#), [Fattori di Confidenza](#), [Fattori di Sensibilità](#), [Caratter. Geografiche](#), [Caratter. di Accessibilità](#), [Rilievi semplificati](#), [Altra Documentazione](#), [Stampa Report Modulo B](#), and [Morfologia degli Elementi](#). The main content area has a blue header with a 'Guida alla compilazione' link. Below the header is a 'Didascalia' field with a dropdown arrow. Underneath, it says 'Tipo di file consentiti: GIF - JPG - PNG - BMP - TIFF: Allegare solo FILE dei formati indicati' and has an 'Aggiungi' button. A note reads: 'Per Allegare il file, dopo aver aggiunto una Didascalia, clicca sul pulsante di "Allega Documento"'. Below this is the section 'Schizzi di Prospetti e Sezioni del Manufatto:' followed by a table:

Didascalia	File allegato	Data Upload	comandi
Pianta PT	Pianta PT con assi .jpg	22/08/2012	[view] [refresh] [delete]
Pianta P1	Pianta P1 con assi .jpg	22/08/2012	[view] [refresh] [delete]
Pianta P2	Pianta P2 con assi .jpg	22/08/2012	[view] [refresh] [delete]

Figura 3. Maschera rilievi semplificati e inserimento altra documentazione

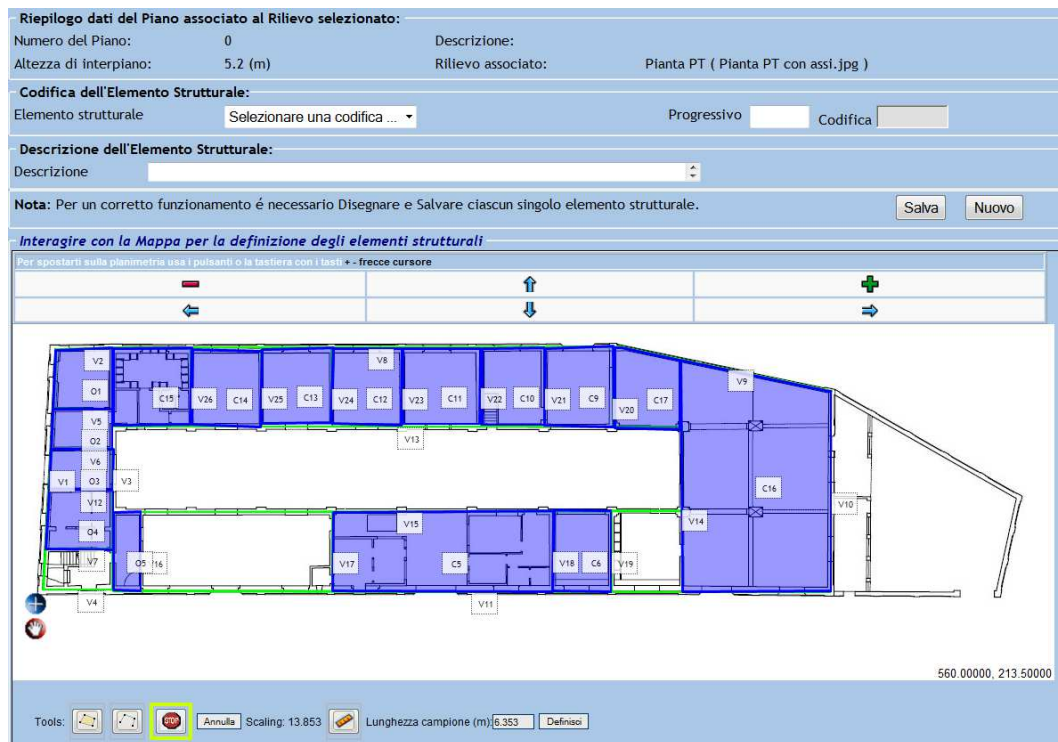


Figura 4. Maschera rilievo elementi strutturali

C17-0	32,076 (m <sup>2</sup> )		
O1-0	23,289 (m <sup>2</sup> )		
O2-0	16,123 (m <sup>2</sup> )		
O3-0	16,262 (m <sup>2</sup> )		
O4-0	25,927 (m <sup>2</sup> )		
O5-0	14,066 (m <sup>2</sup> )		
V1-0	23,762 (m)		
V2-0	5,647 (m)		

Figura 5. Maschera con alcuni elementi strutturali rilevati

Individuata la struttura dei piani (altezza d'interpiano di ogni livello), la successiva scheda del SIVARS (Rilievo elementi strutturali, Figura 4) permette di identificare graficamente gli elementi resistenti verticali (pareti - V), orizzontali (orizzontamenti - O, coperture - C) e i collegamenti verticali (scale - S). Tale operazione è gestita in maniera semi-automatica, richiedendo all'operatore di

compiere delle semplici operazioni di individuazione degli elementi strutturali, direttamente sui rilievi precedentemente inseriti.

Definita una lunghezza di riferimento che consente di creare una correlazione tra i pixel dell'immagine e le dimensioni reali degli elementi, tramite la "rilucidatura" sono automaticamente valutate le loro dimensioni geometriche (Figura 5).

**Dati della Parete:**

Lunghezza della parete (m)

Spessore della parete (m)

Percentuale di carico

Elemento	Descrizione	Carico %	
C9-0		25	<input type="button" value="✖"/>
C17-0		25	<input type="button" value="✖"/>

Orientamento della parete (gradi sessagesimali)  *approssimazione al grado*

Baricentro

Coordinata X       Coordinata Y

*Coordinate del Baricentro espresse in METRI e riferite al sistema cartesiano con origine nell'angolo BOTTOM-LEFT dell'immagine di EIDOTIPO*

Numero aperture

Lunghezza totale aperture (m)

Altezza Soprafinestra (m)

Altezza Sottofinestra (m)

**Valutazioni dimensionali:**

Massa (Kg) <input type="text" value="25515.36"/>	Massa X (Kg) <input type="text" value="0"/>	Massa Y (Kg) <input type="text" value="25515.4"/>
	Snellezza X <input type="text" value=""/>	Snellezza Y <input type="text" value="0.897"/>
	N° Maschi X <input type="text" value="0"/>	N° Maschi Y <input type="text" value="1"/>
Area netta (m <sup>2</sup> ) <input type="text" value="2.726"/>	Area netta X (m <sup>2</sup> ) <input type="text" value="0"/>	Area netta Y (m <sup>2</sup> ) <input type="text" value="2.726"/>

**Tipologia dell'Elemento Strutturale:**

Tipologia

Note integrative

Figura 6. Codifica elementi strutturali – pareti verticali

Dati dell'elemento strutturale:			
Area di Superficie (m <sup>2</sup> )		14.07	
Peso proprio (kN/m <sup>2</sup> )		2.5	
Sovraccarico variabile (kN/m <sup>2</sup> )		0	
Coeff. di combinazione		0	
Baricentro	Coordinata X	9.24	Coordinata Y
			25.91
Coordinate del Baricentro espresse in METRI e riferite al sistema cartesiano con origine nell'angolo BOTTOM-LEFT dell'immagine di EIDOTIPO			
Valutazioni dimensionali:			
Massa (Kg)		3517.5	
Tipologia dell'Elemento Strutturale:			
Tipologia	Solaio ligneo misto		
Note integrative			
<input type="button" value="Modifica"/>			

Figura 7. Codifica elementi strutturali – orizzontamenti

Una volta identificati gli elementi strutturali, è necessario definire come gli orizzontamenti trasmettano il carico alle pareti sottostanti. Per ogni elemento orizzontale, si richiede la percentuale di carico trasmessa a ciascuna delle pareti portanti, definita in funzione dell'orditura dei solai o della tipologia delle volte.

La definizione delle caratteristiche tipologiche e dimensionali di tutti gli elementi strutturali individuati in fase di rilievo, viene effettuata nella maschera codifica degli elementi strutturali (Figura 6, Figura 7). Per ciascun elemento strutturale, pareti verticali, orizzontamenti, coperture e collegamenti verticali, sono richieste tutte quelle informazioni non deducibili dalla fase di rilievo. Per le pareti verticali (Figura 6) è necessario definire lo spessore, il numero e la lunghezza delle aperture, l'altezza del sotto-finestra e sopra-finestre e la tipologia della muratura. La definizione di quest'ultimo parametro è, in particolare, effettuato sulla base della classificazione proposta nella tabella C8A.2.1 della Circolare n° 617 del 02-02-2009 (Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008); le caratteristiche di resistenza sono assunte di conseguenza sulla base dei valori proposti nella tabella tenendo in considerazione il livello di conoscenza raggiunto sulla struttura. Per gli orizzontamenti (Figura 7), i collegamenti verticali e le coperture, è invece necessario definire la tipologia strutturale, il peso proprio, i sovraccarichi variabili

legati alla destinazione d'uso (NTC, Tabella 3.1.II) e il coefficiente di combinazione dei carichi  $\Psi_{2j}$  (NTC, Tabella 2.5.I).

Le maschere successive permettono di catalogare la vulnerabilità sismica e l'eventuale danno strutturale. Gli indicatori di vulnerabilità devono essere definiti singolarmente per ciascun elemento strutturale identificando, quando necessario, gli altri elementi strutturali coinvolti.

Facendo riferimento, ad esempio, alla vulnerabilità legate alla carenza di collegamento tra pareti ortogonali, è richiesta l'identificazione degli elementi verticali coinvolti, e/o alla presenza di elementi strutturali spingenti identificando l'elemento orizzontale che dà origine alla vulnerabilità.

Una corretta definizione degli indicatori di vulnerabilità, consente di validare l'attendibilità della valutazione della sicurezza sismica effettuata con i modelli proposti per il livello di valutazione LV1.

Con riferimento alla tipologia palazzi, il modello è, infatti, basato sull'ipotesi di un comportamento scatolare della struttura con rottura delle pareti nel proprio piano, che può non essere garantito in presenza di carenze di collegamento tra le pareti che possono attivare dei meccanismi di collasso locali fuori dal piano. Queste modalità di collasso, molto frequenti per gli edifici in muratura, possono essere favorite dalla presenza di elementi strutturali spingenti che sono correttamente censiti e catalogati nel SIVARS.

Così come esplicitamente citato nelle Linee Guida (Linee Guida, § 5.4.2), nel caso in cui l'edificio risultasse particolarmente vulnerabile nei riguardi di qualche meccanismo locale significativo, il corrispondente valore di accelerazione orizzontale che porta al raggiungimento dello SLV, deve essere confrontato con quello ottenuto tramite l'applicazione del modello semplificato globale. La procedura implementata all'interno del SIVARS sottolinea la necessità di verificare la sicurezza nei confronti di eventuali meccanismi locali qualora le vulnerabilità inserite siano in numero significativo rispetto alla consistenza degli elementi strutturali resistenti.

Completata anche questa fase di compilazione, è possibile stampare il report del Modulo C che contiene tutte le informazioni inserite connesse sia ai fattori di sensibilità, sia agli elementi strutturali individuati, sia alla vulnerabilità riscontrata.



Come per l'identificazione della vulnerabilità sismica, anche l'eventuale danno strutturale deve essere inserito singolarmente per ciascun elemento, sulla base del riconoscimento del meccanismo di danno, della valutazione dell'estensione e dell'individuazione delle cause che lo possono avere determinato (ad esempio: eventi sismici, frane o alluvioni, eventi antropici).

La stampa del report del Modulo D consente di avere una sintesi di tutte le informazioni inserite relative ai meccanismi di danno attivati nei diversi elementi strutturali.

Sulla base delle informazioni inserite, è valutata l'accelerazione che porta la struttura al raggiungimento dello stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Così come previsto dal modello semplificato proposto nelle Linee Guida (Linee Guida, § 5.4.2), la valutazione è effettuata con riferimento alle due direzioni prevalenti dei muri portanti, prendendo in esame l'eventualità del collasso ai diversi piani della costruzione. Nella maschera di calcolo dell'indice di sicurezza (Figura 8), sono calcolati tutti i parametri e i risultati intermedi a livello di ogni singolo piano che vengono utilizzati nel calcolo. Sono di conseguenza valutati gli indici di sicurezza sismici  $I_{s,SLV}$  e  $f_{a,SLV}$  così come previsto nelle Linee Guida (Linee Guida, §2.4).

Il SIVARS consente, pertanto, di processare in modo guidato tutte le informazioni necessarie alla valutazione della sicurezza sismica dei beni monumentali secondo l'approccio definito nelle Linee Guida per il primo livello di verifica LV1. Come già sottolineato le informazioni raccolte all'interno del sistema informativo, non solo permettono di valutare gli indici di sicurezza sismica dei singoli beni, utili per definire graduatorie di rischio sismico sulle quali programmare a livello territoriale un piano di mitigazione del rischio sismico, ma consentono di creare un quadro conoscitivo della consistenza del patrimonio architettonico vincolato e del suo stato di conservazione attraverso una serie di verifiche successive nel tempo che sono alla base di ogni piano di manutenzione e monitoraggio e conseguentemente di tutela preventiva del bene architettonico.

**Caratteristiche dell'immobile:**

Superficie coperta (m <sup>2</sup> )	110,95	Altezza di gronda (m)	12,48
Numero piani seminterrati	0	Numero piani fuori terra	3

**Parametri di Calcolo**

Massa sismica totale (kg)	2495595,109	C(T)	2,5
Periodo dell'Edificio (s)	0,332	Fattore di Importanza	0,65
Probabilità di Eccedenza	0,25	<input type="button" value="Calcola Parametri dell'intero Modello"/>	

**Riepiloghi dei Piani**

**Strutturazione del Piano 0**

Numero del Piano	0	Altezza di interpiano	5,2 (m)	Descrizione
		Tipologia Elemento:	C	Numerosità: 11
		Tipologia Elemento:	O	Numerosità: 5
		Tipologia Elemento:	V	Numerosità: 26

Area in X (m <sup>2</sup> ):	109,195	Area in Y (m <sup>2</sup> ):	68,601	N° Maschi X:	60	N° Maschi Y:	33
Centro rig. X (m):	30,714	Centro rig. Y (m):	31,91	Bar.Masse X (m):	32,016	Bar.Masse Y (m):	32,144
Eccentricità X (m):	1,302	Eccentricità Y (m):	0,234	Dist. piano X (m):	35,625	Dist. piano Y (m):	10,535
B <sub>x</sub> :	1,04	B <sub>y</sub> :	1,09	μ <sub>x</sub> :	0,89	μ <sub>y</sub> :	0,84
ξ <sub>x</sub> :	1	ξ <sub>y</sub> :	1	σ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	138920,314	τ <sub>dx</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	83049,803
τ <sub>dy</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	83049,803	F <sub>SLU</sub> X (N):	7760648,734	F <sub>SLU</sub> Y (N):	4390579,459	A <sub>SLU-i</sub> (m/s <sup>2</sup> ):	1,97

**Strutturazione del Piano 1**

Numero del Piano	1	Altezza di interpiano	4 (m)	Descrizione
		Tipologia Elemento:	O	Numerosità: 2
		Tipologia Elemento:	V	Numerosità: 6

Area in X (m <sup>2</sup> ):	5,896	Area in Y (m <sup>2</sup> ):	10,654	N° Maschi X:	12	N° Maschi Y:	11
Centro rig. X (m):	5,634	Centro rig. Y (m):	30,953	Bar.Masse X (m):	5,462	Bar.Masse Y (m):	32,238
Eccentricità X (m):	0,172	Eccentricità Y (m):	1,285	Dist. piano X (m):	2,821	Dist. piano Y (m):	11,324
B <sub>x</sub> :	1,21	B <sub>y</sub> :	1,07	μ <sub>x</sub> :	0,8	μ <sub>y</sub> :	0,91
ξ <sub>x</sub> :	0,8	ξ <sub>y</sub> :	0,8	σ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	167699,741	τ <sub>dx</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	88505,289
τ <sub>dy</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	88505,289	F <sub>SLU</sub> X (N):	276007,766	F <sub>SLU</sub> Y (N):	641548,534	A <sub>SLU-i</sub> (m/s <sup>2</sup> ):	0,186

**Strutturazione del Piano 2**

Numero del Piano	2	Altezza di interpiano	2,8 (m)	Descrizione
		Tipologia Elemento:	C	Numerosità: 4
		Tipologia Elemento:	V	Numerosità: 7

Area in X (m <sup>2</sup> ):	6,76	Area in Y (m <sup>2</sup> ):	11,045	N° Maschi X:	14	N° Maschi Y:	9
Centro rig. X (m):	5,624	Centro rig. Y (m):	31,239	Bar.Masse X (m):	5,382	Bar.Masse Y (m):	32
Eccentricità X (m):	0,242	Eccentricità Y (m):	0,761	Dist. piano X (m):	2,896	Dist. piano Y (m):	10,991
B <sub>x</sub> :	1,13	B <sub>y</sub> :	1,11	μ <sub>x</sub> :	0,8	μ <sub>y</sub> :	0,83
ξ <sub>x</sub> :	1	ξ <sub>y</sub> :	1	σ <sub>0</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	68938,884	τ <sub>dx</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	67981,254
τ <sub>dy</sub> (N/m <sup>2</sup> ):	67981,254	F <sub>SLU</sub> X (N):	325347,454	F <sub>SLU</sub> Y (N):	561448,604	A <sub>SLU-i</sub> (m/s <sup>2</sup> ):	0,438

**Indice di Sicurezza**

Indice di Sicurezza I <sub>s</sub> :	0,114	<input type="button" value="Calcola l'Indice di Sicurezza"/>
Data di calcolo:	13/09/2012	<input type="button" value="Memorizza il valore calcolato"/>

Figura 8. Maschera calcolo degli indici di sicurezza

126

## 8. CONFRONTO VALORI OTTENUTI TRA FOGLI EXCEL E SIVARS

Tra i valori ottenuti con i fogli Excel ed il sistema informativo SIVARS sono emerse importanti differenze che troviamo riassunte in tabella:

VALORE	EXCEL	SIVARS	DIFFERENZA
<i>DATI VARI</i>			
Massa sismica totale (kN)	16686,85	24956	50%
S (Coff. sottosuolo e condizioni topografiche)	1,44	1,25	15%
Parametro Tb	0,15	0,15	3%
Parametro Tc	0,46	0,5	8%
Parametro Td	2,32	2	16%

VALORE	EXCEL	SIVARS	DIFFERENZA
<i>PIANO TERRA</i>			
Area in X (m <sup>2</sup> )	78,57	109,20	39%
Area in Y (m2)	51,77	68,60	33%
Centro rig. X (m)	31,86	30,71	4%
Bx	1,25	1,04	20%
βY	1,25	1,09	15%
μX	0,87	0,89	2%
μY	0,89	0,84	6%
ξX	1,00	1,00	0%
ξy	1,00	1,00	0%
σ0 (kN/m2)	128,03	138,92	9%
τdx (kN/m2)	62,55	83,05	33%
τdy (kN/m2)	62,55	83,05	33%
FSLU X (kN)	3419,70	7760,65	127%
FSLU Y (kN)	2311,92	4390,58	90%

VALORE	EXCEL	SIVARS	DIFFERENZA
<i>PIANO PRIMO</i>			
Area in X (m <sup>2</sup> )	5,19	5,90	14%
Area in Y (m2)	12,09	10,65	14%
βx	1,25	1,21	3%
βy	1,25	1,07	17%
μx	0,87	0,80	9%
μy	0,93	0,91	2%
ξx	1,00	0,80	25%
ξy	1,00	0,80	25%
σ0 (kN/m2)	162,05	167,70	3%
τdx (kN/m2)	68,28	88,51	30%
τdy (kN/m2)	68,28	88,51	30%
FSLU X (kN)	204,83	276,01	35%
FSLU Y (kN)	509,71	641,55	26%

VALORE	EXCEL	SIVARS	DIFFERENZA
<i>PIANO SECONDO</i>			
Area in X (m <sup>2</sup> )	6,35	6,76	6%
Area in Y (m <sup>2</sup> )	11,48	11,05	4%
Bx	1,25	1,13	11%
βY	1,25	1,11	13%
μX	0,83	0,8	4%
μY	0,9	0,83	8%
εX	1	1	0%
εY	1	1	0%
σ0 (kN/m <sup>2</sup> )	70,54	68,94	2%
τdx (kN/m <sup>2</sup> )	51,44	67,98	32%
τdy (kN/m <sup>2</sup> )	51,44	67,98	32%
FSLU X (kN)	108,82	325,35	199%
FSLU Y (kN)	212,01	561,45	165%

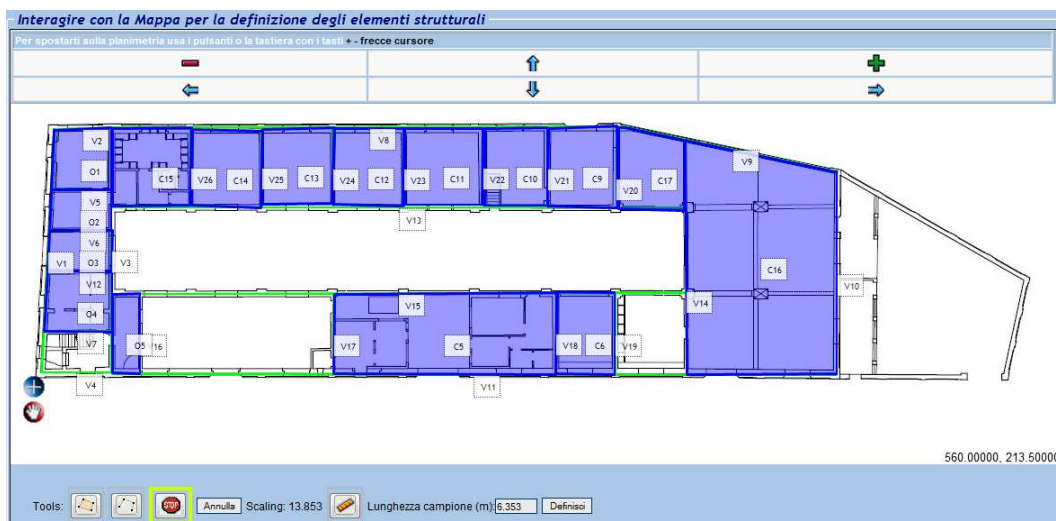
  

VALORE	EXCEL	SIVARS	DIFFERENZA
<i>INDICE DI SICUREZZA</i>			
Indice di Sicurezza I <sub>s</sub>	0,009	0,114	1167%

Le differenze delle aree lungo x e lungo y, dovute al non preciso metodo di individuazione delle murature da parte del SIVARS, produce piccole differenze nel primo e secondo piano (dove sono pochi gli elementi resistenti) con una differenza massima del 14 %.

Tale differenza aumenta al piano terra dove il numero degli elementi verticali aumenta e quindi anche la differenza delle aree inserite in Excel rispetto a quelle calcolate dal SIVARS.

Infatti, mentre nei fogli Excel l'operatore inserisce in modo analitico le singole misure (lunghezza, spessore e altezza) degli elementi verticali e le aree dei solai, nel SIVARS queste informazioni vengono fornite per via grafica tramite la "rilucidatura" dei suddetti elementi su un'immagine .jpeg; dopodiché, definita una lunghezza di riferimento che consente di creare una correlazione tra i pixel dell'immagine e le dimensioni reali degli elementi, tramite la "rilucidatura" sono automaticamente valutate le loro dimensioni geometriche in m e m<sup>2</sup>.



Questa differenza tra le aree di muratura, va ad influenzare anche il valore finale di massa sismica che risulta superiore nel caso del SIVARS; a questo bisogna aggiungere il fatto che mentre in Excel vedo quali valori di resistenza media a taglio e compressione, E ed G e peso specifico vengono associati alla mia tipologia di muratura, nel SIVARS posso solo inserire la tipologia di muratura senza sapere quale valore del range indicato dalla NTC 08 viene scelto.

Descrizione	$f_{m,medio}$	$\tau_{0,medio}$	$E_{medio}$	$G_{medio}$	PESO sp.	$A_{m,m} [m^2]$		
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		p.terra	p.primo	p.secondo
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3,5	0,081	1600	533	18,00	124,24	16,99	17,54
<p>Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; <math>f_m</math> = resistenza media a compressione della muratura, <math>\tau_0</math> = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura</p>								
Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	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> )		
	Min-max	min-max	min-max	min-max				
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19			
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20			
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21			
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenute, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16			
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22			
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18			
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15			
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12			
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11			
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12			
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14			

I coefficienti  $\beta$ ,  $\mu$  e  $\xi$  sono molto simili nei due casi.

Anche il valore  $\sigma_0$  della tensione verticale media è quasi coincidente nei 2 casi.

I valori di  $\tau_{dx}$  e  $\tau_{dy}$  sono diversi in tutti e 3 i piani con variazioni dell'ordine del 30%.

Questo accade perché le resistenze a taglio della muratura nelle due direzioni x ed y dipendono sempre da quale valore di resistenza media a taglio della muratura ( $\tau_{0,medio}$ ) viene scelto all'interno del range concesso dalle NTC 08, ma anche dall'area delle murature (e qui ricadiamo nel problema precedentemente esposto). La resistenza a taglio della muratura varia, inoltre, anche in funzione di  $\gamma_M$  (il coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura) che nel SIVARS non è presente da nessuna parte.

Tale valore (come riportano nel paragrafo § 11.10.1 delle NTC 08), può variare tra 2 e 3 a seconda del tipo di malta e della classe di esecuzione.

Estremizzando la situazione, nel caso che i due modelli di calcolo eseguiti (Excel e SIVARS) utilizzino uno il valore 2 (come effettivamente avviene) e l'altro il valore 3, si instaurerebbe già una differenza tra i valori di  $\tau_{dx}$  e  $\tau_{dy}$  del 50% (superiore al 30% attualmente presente).

Passando ad esaminare i valori di  $F_{SLV,xi}$  e  $F_{SLV,yi}$ , notiamo che le differenze sono molto elevate; questo principalmente per 2 motivi.

Il primo è che nel calcolo delle resistenze a taglio dell'edificio:

$$F_{SLV,xi} = \frac{\mu_{xi} \cdot \xi_{xi} \cdot \zeta_{xi} \cdot A_{xi} \cdot \tau_{di}}{\beta_{xi} \cdot \kappa_i}$$

compaiono dei valori già affetti da differenze da un metodo all'altro, differenze che riguardano soprattutto le aree e i  $\tau_{0,medio}$ .

Il secondo motivo, più rilevante, è causato dal fatto che il SIVARS considera il valore del coefficiente  $k_i$  sempre uguale ad 1.

Infatti eseguendo di nuovo i calcoli utilizzando i valori di Excel e  $k_i = 1$  in tutti e 3 i piani, le differenze percentuali dei 2 valori (Excel e SIVARS) si riducono del



150% (la differenza passa da un 199% ad un accettabile 49%) nel caso dell'ultimo piano (dove k vale 0.5) e del 27% nel caso del primo piano (dove avevo k=0.83).

Se poi ulteriormente rieseguo i calcoli utilizzando i valori di  $\tau_{dx}$  e  $\tau_{dy}$  del SIVARS e sempre  $k_i=1$  ottengo gli stessi valori nei due metodi (a prova del fatto che le formule utilizzate sono le stesse, ma che mentre in Excel utilizzo un giusto valore di  $k_i$ , in SIVARS viene sempre considerato uguale ad 1).

Infatti, guardando poi su Internet, si trova che la resistenza a taglio col SIVARS viene calcolata così:

$$F_{SLU,xi} = \frac{\mu_{xi} \xi_{xi} A_{xi} \tau_{dxi}}{\beta_{xi}}$$

Questo accade perché il SIVARS non è ancora allineato con le NTC 08, ma ancora “ancorato” alle precedenti Norme Tecniche per le costruzioni approvate con il Decreto ministeriale del 14/09/2005, dove, appunto, il valore della resistenza a taglio veniva calcolata senza utilizzare il coefficiente  $k_i$ .

Nonostante l'uniformazione del coefficiente  $k$  nelle fasi di calcolo, in tutti e 3 i piani il valore della resistenza a taglio dell'edificio è maggiore nel caso del SIVARS; questo perché nel calcolo analitico del valore di resistenza, i valori delle aree delle murature e dei coefficienti  $\tau_{dx}$  e  $\tau_{dy}$  sono al numeratore, ed essendo maggiori nel caso del SIVARS rendono anche maggiore il valore finale della resistenza a taglio.

Un altro aspetto molto importante, quanto fondamentale per capire dove nascono le differenze tra i due approcci di valutazione dell'LV1, è vedere come viene calcolato il valore dell'accelerazione al suolo di collasso.

Con i fogli di calcolo Excel, la calcoliamo con questa formula:

$$a_{SLV} = \begin{cases} \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} & T_B \leq T_1 \leq T_C \\ \frac{S_{e,SLV}(T_1)}{SF_0} \frac{T_1}{T_C} & T_C \leq T_1 \leq T_D \end{cases}$$

dove il valore dell'ordinata dello spettro di risposta elastico è calcolato nel seguente modo:



$$S_{e,SLV} = \frac{qF_{SLV}}{e^*M}$$

In SIVARS viene, invece, utilizzata questa formula:

**Accelerazione al suolo che porta al raggiungimento delle condizioni limite di collasso**

$$a_{SLU} = \frac{qF_{SLU}}{e^*MC(T)}$$

$F_{SLU}$  è la resistenza a taglio dell'edificio;

$q$  è il coefficiente di struttura, che può essere assunto pari a 3, per edifici regolari in elevazione, e 2.25 negli altri casi;

$e^*$  è la frazione di massa partecipante secondo il modo di collasso;

$M$  è la massa sismica totale;

$C(T)$  è lo spettro normalizzato ottenuto come rapporto fra lo spettro di risposta elastico (punto 3.2.3 dell'OPCM) e l'accelerazione massima del terreno che tiene conto delle caratteristiche del sito ( $a_g S$ ).

In pratica il valore dell'accelerazione al suolo di collasso del SIVARS, altro non è che il valore di  $S_{e,SLV}$  calcolato con Excel semplicemente diviso per  $C(T)$  che altro non è che il valore  $F_0$  di Excel.

Ricalcolando quindi il tutto con i valori di  $F_{SLV}$ , e Massa sismica del SIVARS ottengo gli stessi valori dell'accelerazione di collasso tra i due modelli.

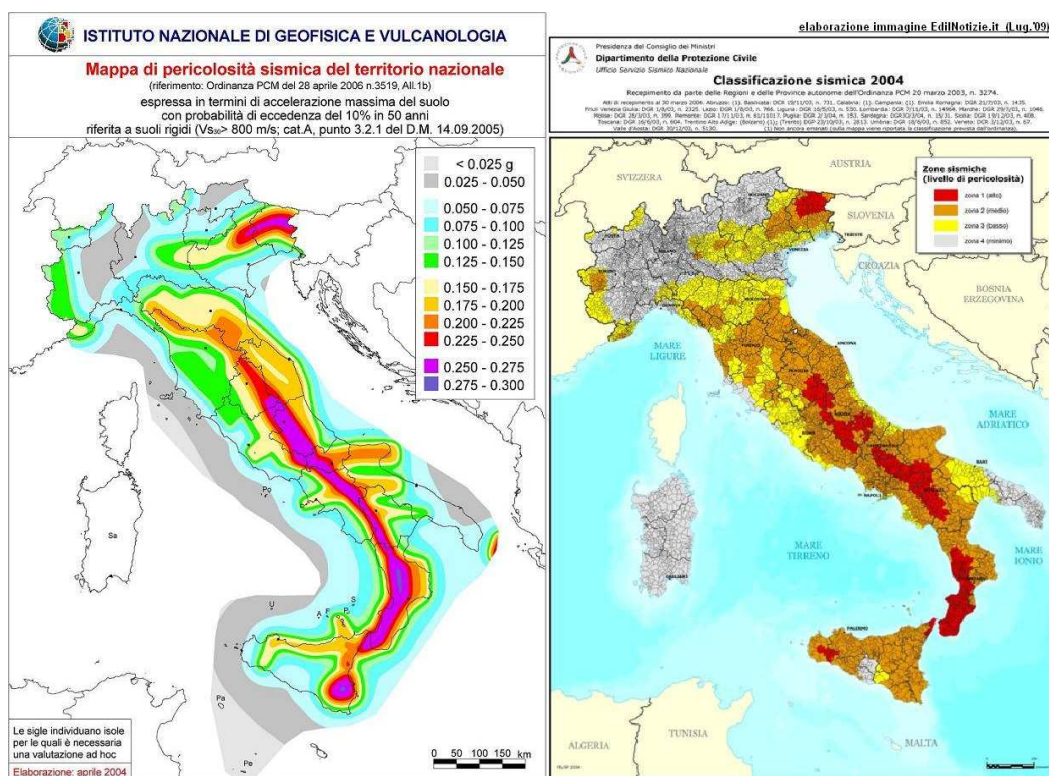
		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(Collasso piano debole)	PIANO SECONDO(Collasso Piano Debole)	min
<b>Accelerazione al suolo di collasso in direzione x [m/s<sup>2</sup>]</b>						<b>0,181</b>
	$a_{SLU}$	3,975	3,417	0,181	0,434	
q (coefficiente di struttura EDIFICI REGOLARI IN ELEVAZIONE)	2,80	$S_{e,SLU}$ 9,937	8,542	0,453	1,085	
M (massa sismica totale)	2543,83	0,86	1,00	0,67	0,33	
$e^*$ (frazione di massa partecipante secondo il modo di collasso)						
$F_{su}$ (resistenza a taglio dell'edificio)		7760,65	7760,65	276,01	325,35	
S	1,25					
$F_0$	2,50					

		PIANO TERRA(collasso globale)	PIANO TERRA(collasso piano debole)	PIANO PRIMO(Collasso piano debole)	PIANO SECONDO(Collasso Piano Debole)	min
<b>Accelerazione al suolo di collasso in direzione y [m/s<sup>2</sup>]</b>						<b>0,422</b>
	$a_{SLU}$	2,248	1,933	0,422	0,749	
q (coefficiente di struttura EDIFICI REGOLARI IN ELEVAZIONE)	2,80	$S_{e,SLU}$ 5,619	4,833	1,054	1,873	
M (massa sismica totale)	2543,83	0,86	1,00	0,67	0,33	
$e^*$ (frazione di massa partecipante secondo il modo di collasso)						
$F_{su}$ (resistenza a taglio dell'edificio)		4390,58	4390,58	641,55	561,45	
S	1,25					
$F_0$	2,50					

E' stato inoltre ricalcolato anche l'Indice di sicurezza sismica (utilizzando la formula del SIVARS che altro non è che quella proposta dalle Linee Guida del 2006) ottenendo valori quasi identici:

$I_s = \frac{a_{SLU}}{\gamma_1 S a_g}$	INDICE DI SICUREZZA SISMICA $I_s$	
	$a_{su}$ (accelerazione al suolo di collasso) [m/s <sup>2</sup> ]	0,181
$a_g$ (accelerazione di riferimento nel sito) [m/s <sup>2</sup> ] ( $a_g = 0,180$ g)	1,77	
S (coefficiente di profilo stratigrafico del sottosuolo, Categoria suolo C)	1,4376	
$\gamma_1$ (coefficiente di importanza: categoria di rilevanza MEDIA, categoria d'uso SALTUARIO O NON UTILIZZATO)	0,65	

Un'ulteriore verifica che si potrebbe eseguire per vedere quanto il SIVARS è legato alla precedente Normativa Tecnica è quella di provare ad inserire nel foglio Excel appena modificato, il valore di  $a_g$  (accelerazione di riferimento nel sito) che viene indicato nel vecchio D.M. 2005.



Come è possibile vedere nella mappa, il comune di Imola si trova nella Zona 2, confinante con un comune della Zona 3: il valore di  $a_g$  da scegliere varia tra 0.175g e 0.200g che quindi poco si discosta dal 0.180g indicato dalle NTC 2008.

## **9. MODELLO DI VALUTAZIONE DI DETTAGLIO (LV3) TRAMITE SOFTWARE 3MURI**

Al fine di ottenere una valutazione della vulnerabilità sismica del manufatto nello stato attuale, si riporta l'analisi del bene anche secondo il livello di valutazione LV3. In particolare si è adottato l'approccio dell'analisi statica non lineare in accordo a quanto previsto al punto 7.3.4.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) e al punto C8.7.1.4 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617.

Per la verifica è stato utilizzato il codice di calcolo 3Muri, che opera nell'ambito dell'approccio di modellazione tridimensionale a telaio equivalente.

### **9.1 Descrizione del modello**

Il modello di riferimento (adottato nel codice di calcolo impiegato) è a telaio equivalente tridimensionale; la struttura portante, con riferimento sia ai carichi verticali sia a quelli orizzontali, è identificata da pareti e solai. Le pareti sono gli elementi portanti, mentre i solai, oltre a distribuire i carichi verticali sulle pareti, sono considerati come elementi di irrigidimento nel piano, da cui dipende la distribuzione tra le varie pareti delle azioni orizzontali. Il ruolo degli orizzontamenti è di rilevante interesse determinando il grado di accoppiamento e la modalità di distribuzione delle azioni sugli elementi resistenti.

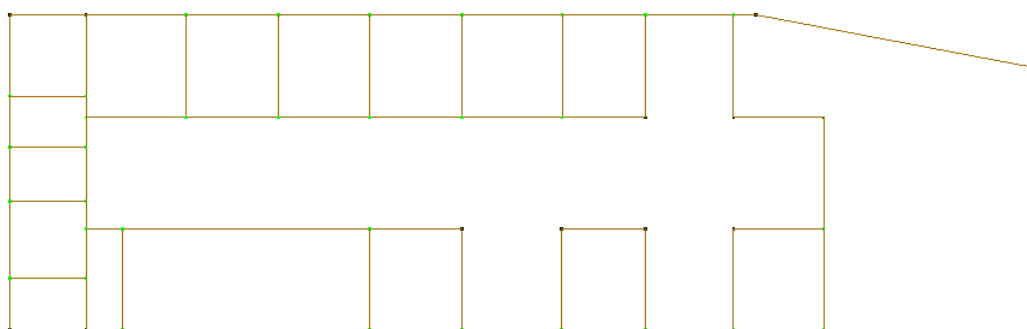
Secondo la rappresentazione a telaio, ipotizzando un comportamento delle pareti nel piano, ciascuna parete dell'edificio è suddivisa in maschi (pannelli murari) e fasce (travi di collegamento in muratura), collegati da porzioni rigide (nodi). L'osservazione dei danni dovuti al sisma mostra, infatti, che solo raramente (nel caso di geometria molto irregolare o aperture molto ridotte) si riscontrano fessure in queste aree della parete pertanto, la deformazione di queste regioni è considerata trascurabile rispetto alle deformazioni non lineari del macroelemento che governano la risposta sismica.

Gli elementi in muratura sono modellati come elementi trave caratterizzati da sei gradi di libertà con un legame a resistenza limitata e degrado della rigidità in

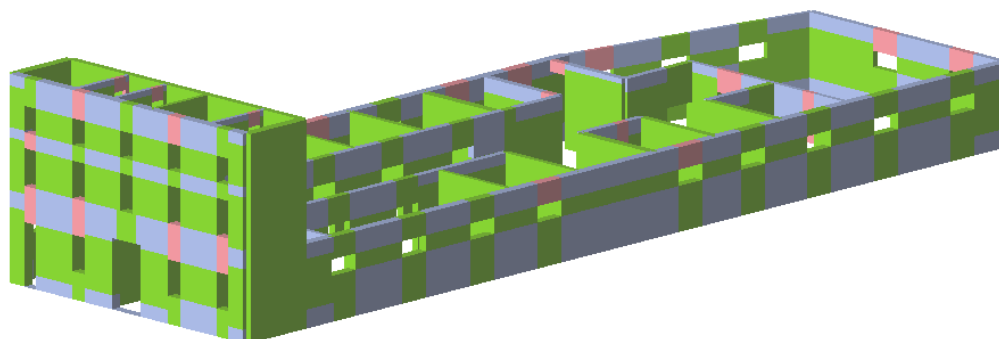
fase non lineare. I meccanismi di rottura sono quello per presso-flessione e taglio con fessurazione diagonale (trattandosi di edificio esistente), computati secondo i criteri previsti nel D.M. 14 gennaio 2008 (p.to 7.8.2.2). Il collasso dell'elemento è fissato poi, nel caso di analisi statica non lineare, in corrispondenza del raggiungimento del valore ultimo di spostamento, determinato in termini di drift seguendo i limiti previsti per il meccanismo di rottura associato, pari a 0,4% per il meccanismo a taglio e 0,6% per quello a presso-flessione.

Con particolare riferimento al manufatto in oggetto, le caratteristiche meccaniche della muratura sono state assegnate sulla base del livello di conoscenza acquisito per la struttura in oggetto.

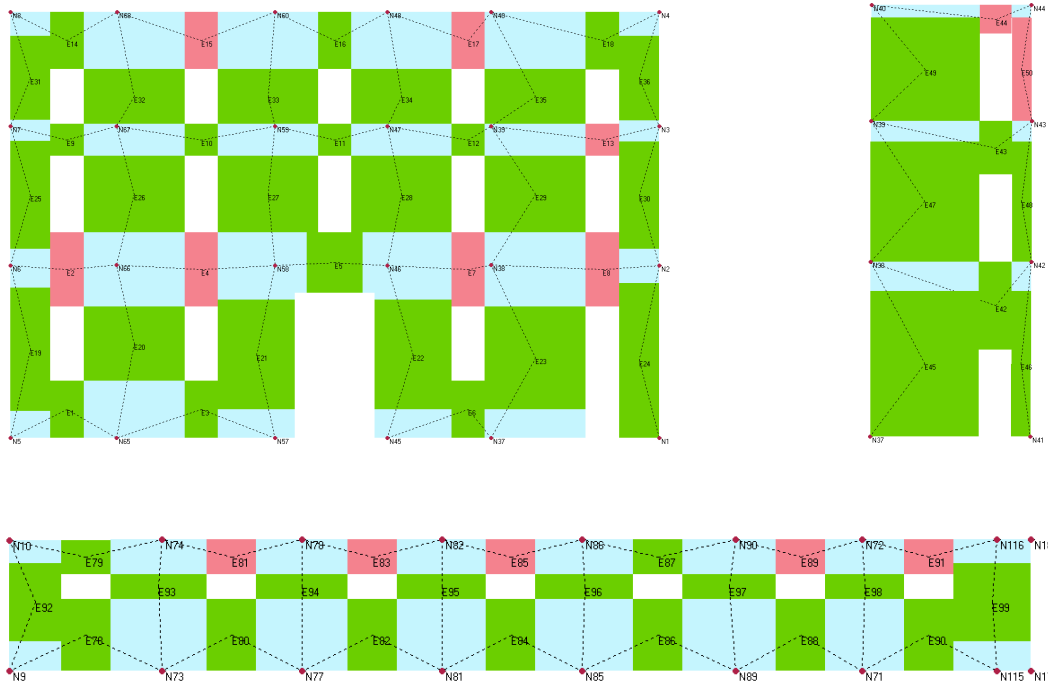
E [N/m <sup>2</sup> ]	G [N/m <sup>2</sup> ]	Peso specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	f <sub>k</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Resistenza taglio [N/m <sup>2</sup> ]
1,50E+09	5,00E+08	1,84E+03	2,67E+06	187	6,33E+04



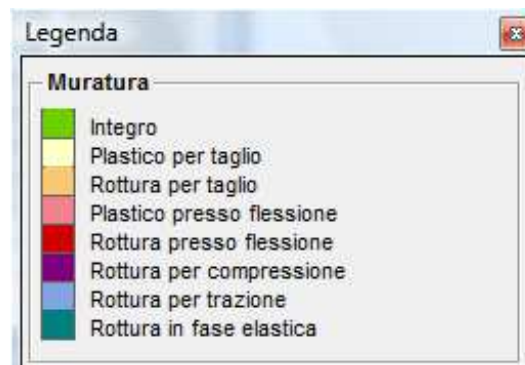
*Schematizzazione in pianta degli elementi resistenti verticali*



*Schematizzazione a telaio equivalente del modello (vista tridimensionale del modello)*



*Schematizzazione a telaio equivalente del modello (alcune pareti)*



## ***9.2 Verifica secondo l'analisi statica non lineare di tutto l'edificio***

Al fine di eseguire la verifica sismica dell'edificio in esame si è operato secondo il metodo dell'analisi statica non lineare (punto 7.3.4.1 – D.M. 14 gennaio 2008 e punto C7.3.4.1 e C8.7.1.4 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617).

Il risultato dell'analisi statica non lineare consiste in una curva che riporta, per ogni passo dell'analisi, in ascisse lo spostamento di un nodo di controllo ed in ordinate il taglio alla base complessivo. Essa deve essere poi trasformata nella curva di capacità, tenendo conto delle caratteristiche di massa e di rigidezza dell'oscillatore equivalente ad un unico grado di libertà. Tale curva ha lo scopo di

rappresentare l'evoluzione del comportamento della struttura in ambito non lineare; la verifica è poi conseguenza del confronto tra tale curva rappresentativa della capacità offerta dalla struttura con la curva della domanda rappresentata dall'azione sismica di progetto.

I criteri adottati per la conversione della curva di capacità nella bilineare equivalente e quelli utilizzati per il calcolo della risposta sismica attesa, sono conformi a quanto indicato ai punti C7.3.4.1 e C8.7.1.5 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617.

Sono state considerate due distribuzioni di forze (C8.7.1.4 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 e 7.3.4.1 – D.M. 14 gennaio 2008):

- distribuzione proporzionale alle forze statiche previste al punto 7.3.3.2 del D.M. 14 gennaio 2008 (distribuzione proporzionale alle masse per le altezze);
- distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione.

Lo spostamento ultimo della curva è computato in corrispondenza del passo dell'analisi in cui si verifica il decadimento del taglio di base del 15% rispetto al valore di picco (C7.3.4.1 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617). La conversione della curva di capacità nella bilineare equivalente è operata tramite l'imposizione delle condizioni specificate in C7.3.4.1 della Circolare 2 febbraio 2009, n° 617.

Il ramo elastico iniziale è definito dalla retta che, passando per l'origine interseca la curva del sistema reale in corrispondenza del 60% del valore di picco; il plateau della bilineare è determinato sulla base del principio di equivalenza delle aree tra i diagrammi del sistema reale e quello equivalente fino al punto in corrispondenza dello spostamento ultimo.

Il sistema equivalente risulta così determinato in termini di periodo ( $T^*$ ), rigidezza ( $k^*$ ), resistenza ( $F_y^*$ ), massa ( $m^*$ ) e spostamento ultimo ( $d_u^*$ , assunto uguale a quello della struttura originaria).

La verifica agli Stati Limite Ultimi prevede, infine, il confronto tra lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, e lo spostamento massimo  $d_u^*$  offerto dalla struttura corrispondente con il decadimento della curva di capacità di un valore pari al 15% di quello massimo, con l'ulteriore limitazione che il fattore  $q^*$  risulti inferiore a 3. La verifica agli Stati Limite di Esercizio prevede, invece, il

confronto tra lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato come per  $D_{max}$  assumendo  $a_g$ ,  $SDL$ , e lo spostamento massimo allo SLD,  $\Delta d$ , corrispondente al minimo valore tra quello di taglio massimo e quello che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (0,005).

La normativa (D.M. 14 gennaio 2008 p.to 7.2.6), inoltre, impone di tenere in conto, oltre all'eccentricità propria della struttura frutto del disallineamento del baricentro delle masse e di quello delle rigidezze, di un'eccentricità accidentale del centro delle masse computata, per ogni direzione, come il 5% della massima dimensione dell'edificio in direzione perpendicolare al sisma. In definitiva ne risultano 24 diverse analisi conseguenza della combinazione tra distribuzione di forze, direzione e verso considerati ed eccentricità accidentale aggiuntiva.

Si riportano in Tabella i dati riassuntivi relativi alle 24 analisi condotte sull'edificio con riferimento ad un'azione sismica valutata per una vita di riferimento pari a 35 anni. Per ciascuna analisi, in Tabella, sono, in particolare, elencati i valori della capacità di spostamento corrispondenti ai tre stati limite considerati, la corrispondente domanda di spostamento  $D_{max}$  e gli indicatori di rischio valutati secondo l'OPCM 3362 dell'8 luglio 2004. Il parametro  $Alfa u$ , valutato come il rapporto tra la capacità ultima dell'edificio (per lo stato limite di salvaguardia della vita) e l'azione sismica di riferimento, assume un significato paragonabile all'indice di sicurezza  $f_a$  (definito come il rapporto tra l'accelerazione che porta al raggiungimento dello SLV e l'accelerazione di riferimento del sito) che si ottiene applicando il livello di valutazione LV1.

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Ecc. [m]	Dmax SLV [m]	Du SLV [m]	q* SLV	Dmax SLD [m]	Dd SLD [m]	Dmax SLO [m]	Do SLO [m]	Alfa u	Alfa e
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0,00E+00	2,17E-02	4,74E-03	11,909	8,09E-03	4,23E-03	7,51E-03	4,23E-03	0,232	0,538
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	0,00E+00	2,56E-02	4,81E-03	17,301	9,69E-03	4,81E-03	9,02E-03	4,81E-03	0,173	0,425
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	0,00E+00	1,80E-02	9,65E-03	2,450	5,92E-03	9,65E-03	5,51E-03	9,65E-03	0,589	1,49C
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	0,00E+00	2,39E-02	1,10E-02	3,376	8,90E-03	1,10E-02	8,26E-03	1,10E-02	0,483	1,227
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	0,00E+00	4,34E-02	2,35E+01	2,241	1,66E-02	6,72E-01	1,54E-02	1,96E-02	1,339	3,457
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0,00E+00	2,27E-01	3,21E+01	0,077	6,98E-02	6,77E-01	6,39E-02	6,77E-01	38,980	9,702
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	0,00E+00	2,09E-02	3,56E+01	2,727	5,97E-03	5,64E-01	5,32E-03	5,64E-01	1,100	2,722
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0,00E+00	2,27E-01	4,38E+01	0,034	6,98E-02	1,54E+00	6,39E-02	1,54E+00	87,217	22,615
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	9,73E-01	2,21E-02	4,66E-03	12,165	8,25E-03	4,62E-03	7,66E-03	4,62E-03	0,224	0,573
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	-9,73E-01	2,42E-02	4,83E-03	11,071	9,13E-03	4,79E-03	8,49E-03	4,79E-03	0,209	0,531
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	9,73E-01	2,63E-02	4,74E-03	17,483	9,96E-03	4,60E-03	9,27E-03	4,60E-03	0,172	0,42C
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	-9,73E-01	2,47E-02	4,85E-03	17,137	9,33E-03	4,19E-03	8,68E-03	4,19E-03	0,175	0,433
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	9,73E-01	1,80E-02	9,00E-03	2,545	5,95E-03	8,82E-03	5,50E-03	8,82E-03	0,554	1,375
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	-9,73E-01	1,79E-02	1,01E-02	2,460	5,90E-03	8,87E-03	5,49E-03	8,87E-03	0,611	1,39C
15	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	9,73E-01	2,41E-02	9,82E-03	3,458	9,05E-03	1,01E-02	8,40E-03	1,01E-02	0,428	1,107
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-9,73E-01	2,43E-02	1,16E-02	3,329	9,18E-03	1,00E-02	8,52E-03	1,00E-02	0,494	1,091
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	3,17E+00	1,13E-02	8,31E-03	1,762	2,72E-03	2,02E-03	2,53E-03	2,02E-03	0,826	0,744
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-3,17E+00	2,27E-01	1,31E+01	0,035	6,98E-02	6,52E+00	6,39E-02	6,52E+00	57,691	93,477
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	3,17E+00	1,63E-02	8,09E-03	2,413	3,95E-03	6,30E-03	3,68E-03	6,30E-03	0,607	1,305
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-3,17E+00	2,27E-01	6,12E+00	0,070	6,98E-02	6,12E+00	6,39E-02	6,12E+00	26,983	87,665
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	3,17E+00	1,19E-02	2,30E-02	1,838	2,81E-03	4,15E-03	2,62E-03	4,15E-03	1,631	1,40C
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-3,17E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,00E+00	0,00E+00	1,08E-02	7,17E-03	0,000	0,00C
23	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	3,17E+00	1,63E-02	8,04E-03	2,368	3,99E-03	6,35E-03	3,72E-03	6,35E-03	0,606	1,31E
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-3,17E+00	2,27E-01	1,88E+01	0,040	6,98E-02	9,85E+00	6,39E-02	8,32E-01	75,521	41,173



Come si può osservare in Tabella, la struttura risulta in 16 casi su 24 (66%) verificata nei confronti degli stati limite di danno e di operatività (SLD e SLO) ma solo in 8 casi su 24 (33%) verificata nei confronti dello stato limite di salvaguardia della vita.

Dai risultati delle analisi è emerso come la direzione di maggior debolezza sia quella longitudinale (direzione x), dove l'area di muratura resistente risulta effettivamente minore rispetto alla direzione trasversale all'edificio (direzione y).

Questa valutazione conferma quanto già ottenuto dall'applicazione del modello semplificato LV1 proposto nelle Linee Guida per la tipologia Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi. Se si confronta il valore dell'indice  $f_a$  ottenuto dall'applicazione del modello LV1 con il coefficiente di rischio *Alfa u* si osserva come quest'ultimo sia superiore al precedente, ma si mantiene la differenza tra le direzioni x ed y: il carattere semplificato della valutazione LV1, giustifica il risultato a favore di sicurezza tramite l'approccio territoriale.

E, inoltre, possibile visualizzare in dettaglio l'analisi svolta grazie alla seguente finestra riassuntiva:

Dettaglio verifiche

**Verifiche**

**NT 08 - Verifica SLV**

Dmax 2,17E-02 [m] > Du 4,74E-03 [m]  
 $q^*$  11,91 > 3  
**La verifica NON è soddisfatta**

**NT 08 - Verifica SLD**

Dmax 8,09E-03 [m] > Dd 4,23E-03 [m]  
**La verifica NON è soddisfatta**  
 Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

**NT 08 - Verifica SLO**

Dmax 7,51E-03 [m] > Do 4,23E-03 [m]  
**La verifica NON è soddisfatta**

**Vulnerabilità Sismica**

	$TR_C$	$TR_D$	$\alpha_{TR}$	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{PGA}$
SLV	< 30	332	< 0,090	5,92E-01	2,55E+00	0,232
SLD	< 30	35	< 0,857	5,65E-01	1,05E+00	0,539
SLO	< 30	30	< 1,000	5,63E-01	9,72E-01	0,579

Mostra PGA su roccia      Dettagli ...

**Parametri di Analisi**

$T^*$  0,363 [s]      Duttilità disponibile 3,24  
 $m^*$  646.677,23 [kg]       $\Gamma$  0,84  
 $w$  2.393.474,77 [kg]       $F^*y$  3,38E-01 [N]  
                                   $d^*y$  1,74E-03 [m]  
                                   $d^*u$  5,64E-03 [m]

**Analisi**

Normativa NT 08  
 Carico sismico Masse  
 Direzione sisma + Ux  
 Nodo controllo 52  
 Media nodi di livello 3  
 Eccentricità 0  
 Versione 2.0.10 - Cod. 4

**Modello**

Nome EEEE  
 Pareti 31  
 Livelli 3  
 Nodi 3D 116  
 Nodi 2D 48  
 Materiali 2  
 Elementi 198  
 Travi 0  
 Pilastrini 0  
 Vincoli 65  
 Setti travi 0  
 Setti pareti 0

OK

Nel riquadro denominato “Parametri di Analisi” compaiono i seguenti fattori:

$T^*$ : Periodo del sistema equivalente

$m^*$ : massa del sistema equivalente

$W$ : massa totale

*Duttilità disponibile*: rapporto tra spostamento ultimo e spostamento limite elastico

$G$ : fattore di partecipazione modale [C.7.3.5]


$F^*y$ : forza di plasticizzazione del sistema equivalente [C.7.3.4]

$d^*y$ : spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente [C.7.3.4]

$d^*u$ : spostamento ultimo del sistema equivalente

Mentre nel riquadro della “Vulnerabilità sismica” è riportato un riassunto dei parametri di verifica richiesti da ciascuna norma.

Vulnerabilità Sismica						
	$TR_C$	$TR_D$	$\alpha_{TR}$	$PGA_C$ [m/s <sup>2</sup> ]	$PGA_D$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{PGA}$
SLV	< 30	332	< 0,090	5,92E-01	2,55E+00	0,232
SLD	< 30	35	< 0,857	5,65E-01	1,05E+00	0,539
SLO	< 30	30	< 1,000	5,63E-01	9,72E-01	0,579

Mostra PGA su roccia Dettagli ... 

$$\alpha_{PGA} = PGA_C / PGA_D ; \alpha_{TR} = TR_C / TR_D$$

$PGA_C$ : Accelerazione di capacità limite per ciascuno degli stati limite (indipendente dallo spettro sismico).

$PGA_D$ : Accelerazione spettrale per ciascuno degli stati limite (dipendente dallo spettro sismico).

$TR_C$ : Periodo di ritorno dell'azione sismica di capacità limite per ciascuno degli stati limite.

$TR_D$ : Periodo di ritorno spettrale per ciascuno degli stati limite.

Se la casella "Mostra PGA su roccia" è selezionata, tutte le accelerazioni (PGA) sono valutate, per convenzione, su suolo rigido(A).

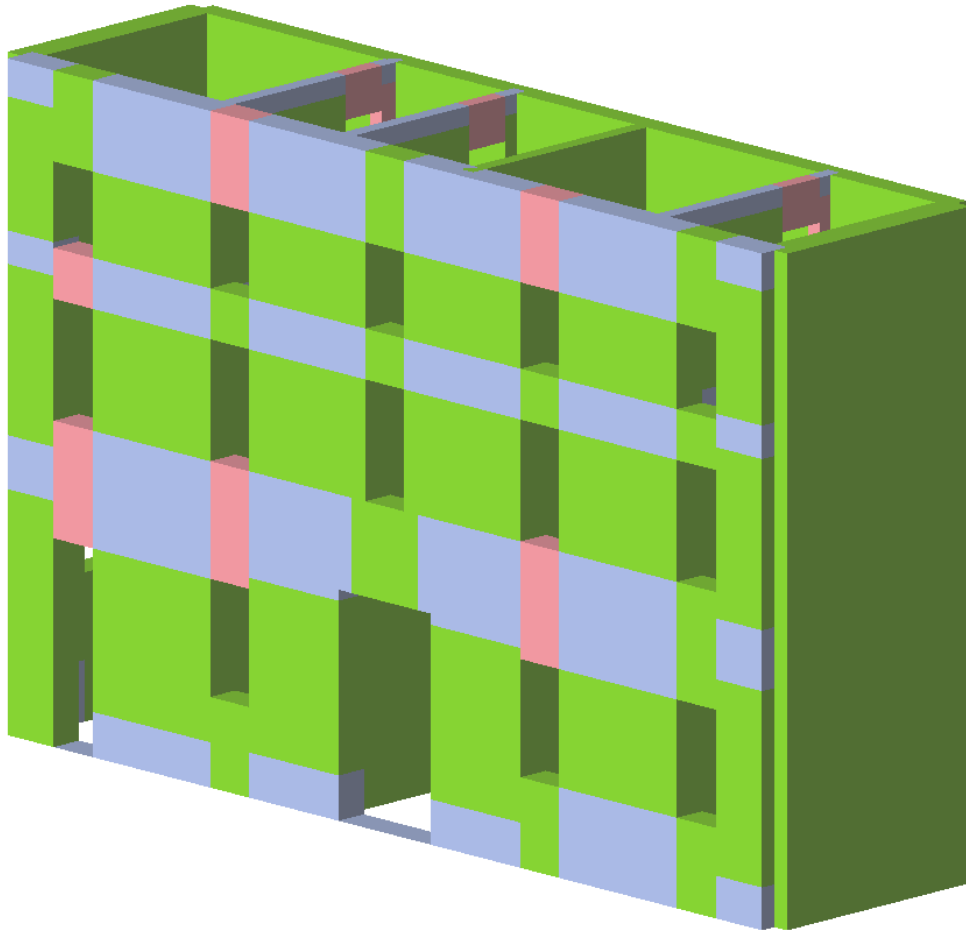
Alcune schede tecniche richiedono il calcolo delle suddette accelerazioni sul suolo di riferimento, in tal caso sarà necessario moltiplicare il valore calcolato dal programma per il fattore  $S$  ( $S = S_S \cdot S_T$ ), definito nei parametri dello spettro.

Il prodotto tra accelerazione e fattore  $S$  si ottiene togliendo la selezione dalla casella "Mostra PGA su roccia".

Il rapporto  $\alpha_{PGA} = PGA_C / PGA_D$ , altro non è che l'indice di rischio calcolato con il modello di valutazione LV3; infatti l'indicatore di rischio ( $I_R$ ) da attribuire alla struttura è dato dal rapporto tra l'accelerazione al suolo che la struttura è in grado di assorbire e quella richiesta dalla normativa perché la struttura stessa possa essere definita adeguata sismicamente.

### *9.3 Verifica secondo l'analisi statica non lineare di una parte dell'edificio*

Visto che l'intero edificio dell'ex macello di Imola presenta una struttura non omogenea sia in pianta che in elevazione, si è svolta l'analisi statica non lineare solamente sulla parte dell'intero edificio che si eleva per 3 piani:



Il dettaglio dell'analisi svolta è il seguente:

**Verifiche**

**NT 08 - Verifica SLV**  
 Dmax 3,80E-02 [m] > Du 3,99E-03 [m]  
 q\* 21,95 > 3  
**La verifica NON è soddisfatta**

**NT 08 - Verifica SLD**  
 Dmax 1,43E-02 [m] > Dd 3,94E-03 [m]  
**La verifica NON è soddisfatta**  
 Valore limite per raggiungimento Valore di Picco

**NT 08 - Verifica SLO**  
 Dmax 1,34E-02 [m] > Do 3,94E-03 [m]  
**La verifica NON è soddisfatta**

**Vulnerabilità Sismica**

	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
SLV	< 30	332	< 0,090	2,68E-01	2,55E+00	0,105
SLD	< 30	35	< 0,857	2,88E-01	1,05E+00	0,275
SLO	< 30	30	< 1,000	2,87E-01	9,72E-01	0,295

Mostra PGA su roccia Dettagli ...

**Parametri di Analisi**

T*	0,573 [s]	Duttilità disponibile	2,31
m*	593.247,62 [kg]	Γ	0,91
w	839.677,39 [kg]	F*y	1,35E-01 [N]
		d*y	1,89E-03 [m]
		d*u	4,37E-03 [m]

**Analisi**

Normativa	NT 08
Carico sismico	Masse
Direzione sisma	+ Ux
Nodo controllo	32
Media nodi di livello	3
Eccentricità	0
Versione	2.0.10 - Cod. 4

**Modello**

Nome	SOLO PARTE SU 3 PIANI
Pareti	8
Livelli	3
Nodi 3D	48
Nodi 2D	12
Materiali	2
Elementi	77
Travi	0
Pilastrini	0
Vincoli	13
Setti travi	0
Setti pareti	0

OK

Come si può notare dal riquadro della “Vulnerabilità sismica, Il rapporto  $\alpha_{PGA} = PGA_C / PGA_D$ , nonché l'indice di rischio calcolato con il modello di valutazione LV3 ( $I_R$ ), risulta inferiore a quello calcolato sull'intero edificio.

Questo a dimostrazione del fatto che la parte “debole” dell'ex macello di Imola (nonché la situazione rilevante che devo considerare) è proprio la parte di edificio che si eleva in altezza per 3 piani e contenente la facciata principale.

## ***10. VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA - MECCANISMI DI COLLASSO LOCALI (LV2)***

Negli edifici esistenti in muratura sono spesso assenti sistematici elementi di collegamento tra le pareti, a livello degli orizzontamenti; ciò comporta una possibile vulnerabilità nei riguardi di meccanismi locali, che possono interessare non solo il collasso fuori dal piano di singoli pannelli murari, ma più ampie porzioni dell'edificio.

“3Muri ML” è un modulo di calcolo interno al programma 3Muri, dedicato alla valutazione della sicurezza dell'edificio nei confronti di tali meccanismi locali di danno, come prescritto nelle Normative Tecniche al paragrafo 8.7.1.

La comodità dell'utilizzo di “3Muri ML” è anche quella di riutilizzare tutti i dati già inseriti per il modello globale.

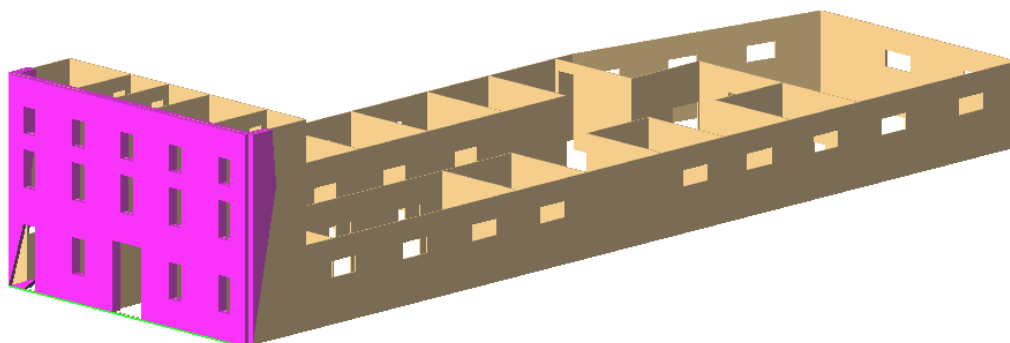
### ***10.1 Ribaltamento in presenza di ammorsamento***

A titolo di esempio in questo paragrafo si prende in considerazione il meccanismo di collasso relativo alla facciata principale lungo via Selice, in quanto risulta essere l'elemento più debole delle valutazioni fin qui svolte.

Come tipologia di cinematismo si considera il ribaltamento in presenza di ammorsamento; tale cinematismo prevede il ribaltamento composto di un cuneo diagonale coinvolgente più piani.

In particolare andremo a considerare la facciata principale, e considereremo alcune porzioni di questa ma anche (essendo la facciata principale costituita da muratura a sacco) la de-foliazione della parte esterna della muratura.

### ***10.1.1 Ribaltamento intera facciata con formazione di cerniera a livello del terreno***



Il meccanismo del ribaltamento in presenza di ammassamento si manifesta attraverso la rotazione rigida delle pareti soggette ad azione sismica attorno a cerniere cilindriche orizzontali ed il trascinarsi di porzioni di muratura appartenenti alle pareti di controvento. Il meccanismo è favorito dalla presenza di coperture spingenti e dalla scadente fattura delle pareti di controvento.

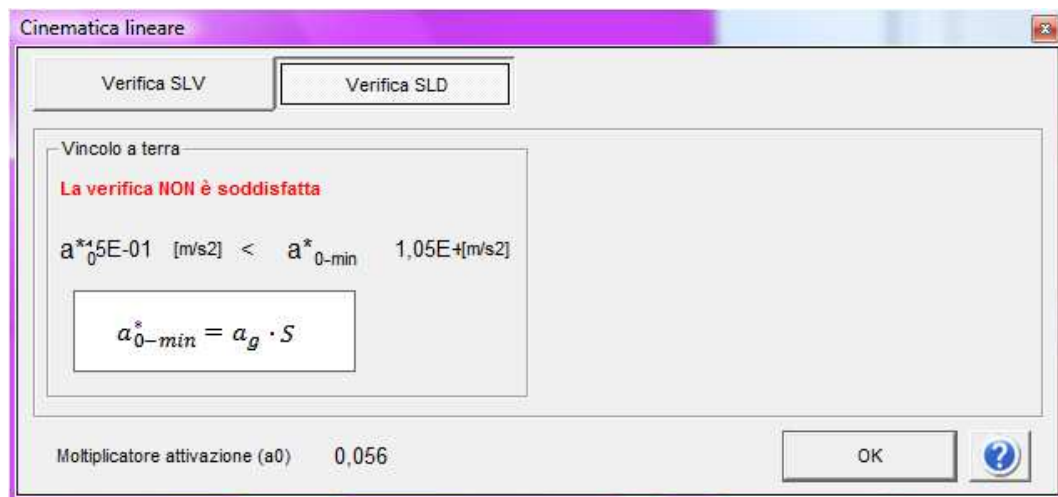
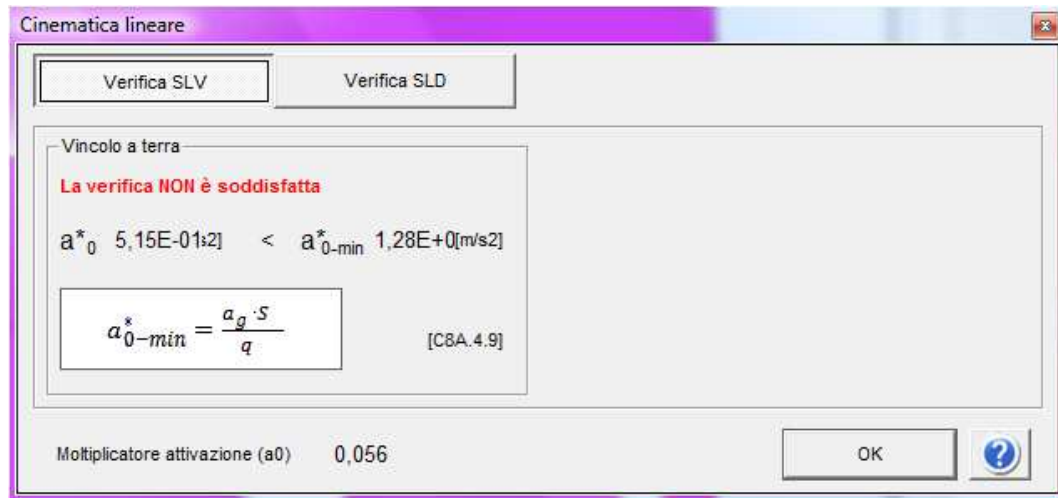
La Circolare 2009 (punto C8A.4) suggerisce di effettuare le verifiche con riferimento ai meccanismi locali di danno e collasso (nel piano e fuori piano) tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, basato sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematico. L'analisi ha lo scopo di valutare le condizioni di equilibrio limite dei macroelementi sollecitati dal sisma, assumendo le seguenti ipotesi: resistenza della muratura nulla a trazione ed infinita a compressione, assenza di scorrimento tra i blocchi.

All'interno della sezione "3Muri ML" è necessario, quindi, procedere alle seguenti fasi:

1. Definire il tipo di cinematico
2. Inserire i blocchi interessati dal particolare tipo di cinematico
3. Definire le condizioni vincolari
4. Definire i carichi che gravano sui blocchi cinematici
5. Definire la direzione del sisma
6. Procedere con il calcolo



A calcolo terminato viene mostrata la finestra dei risultati:



dove:

- $a_0^*$ : accelerazione sismica spettrale di attivazione del meccanismo
- $a_g$ : funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento come definiti al § 3.2 delle NTC;
- $S$ : coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- $q$ : fattore di struttura, assunto uguale a 2.0
- $Se(T_1)$ : spettro elastico definito nel § 3.2.3.2.1 delle NTC, funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (in questo caso 63%) e

del periodo di riferimento  $V_R$  come definiti al § 3.2. delle NTC, calcolato per il periodo T1;

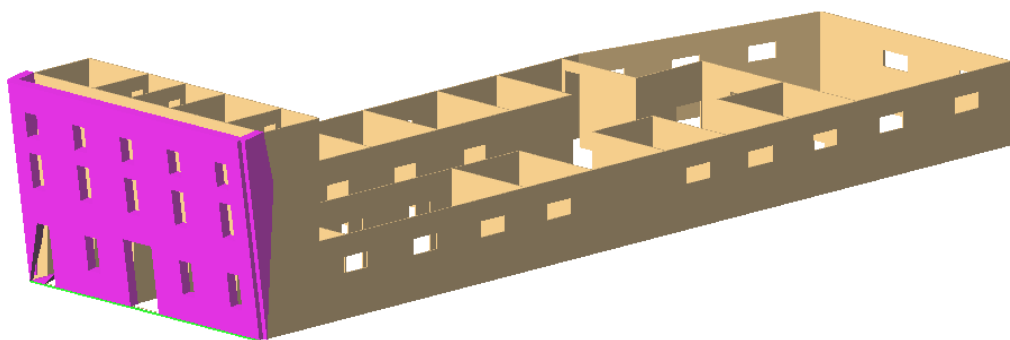
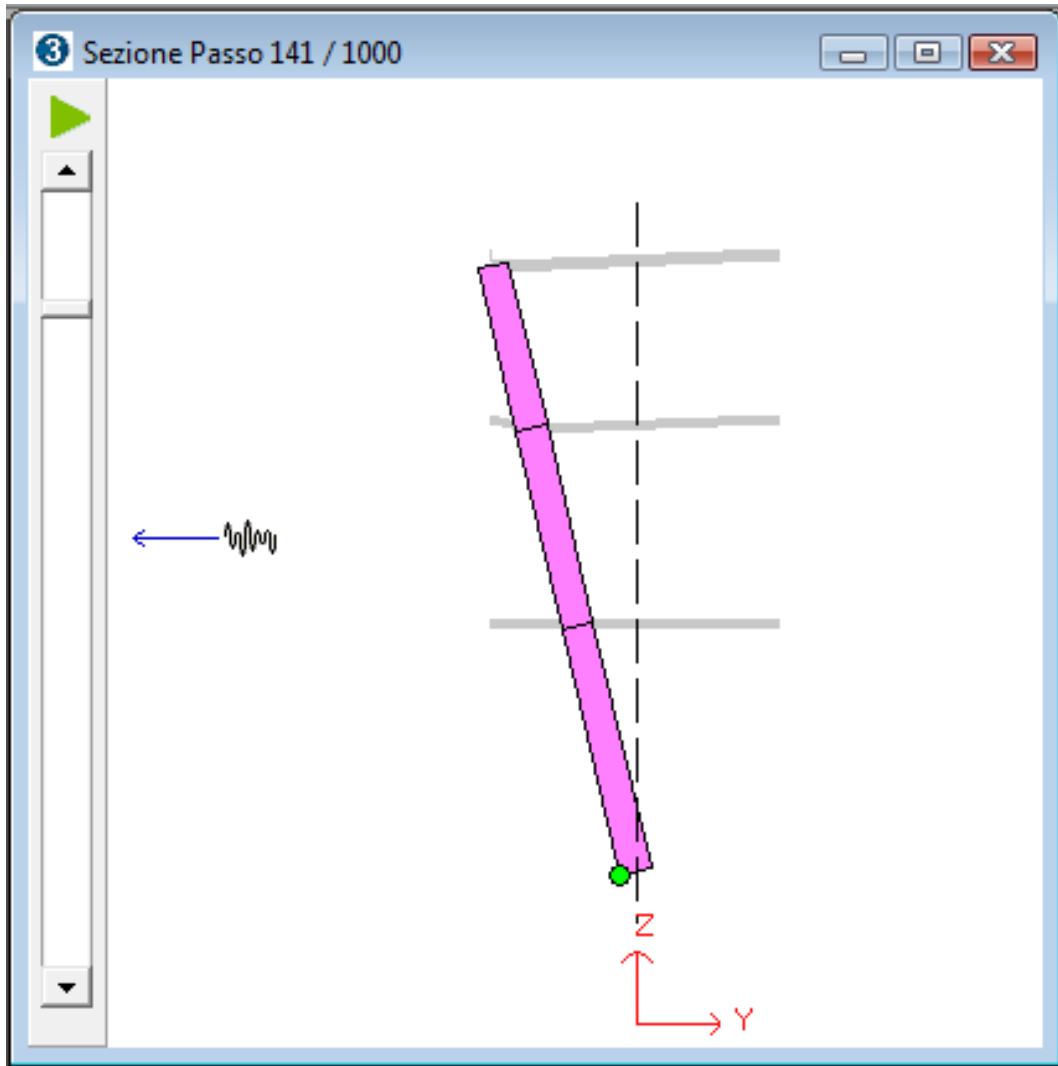
- $\psi(Z)$ : primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\psi(Z)=Z/H$ , dove H è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;
- $\gamma$ : coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\gamma = 3N/(2N+1)$ , con N numero di piani dell'edificio);
- $a_0$ : moltiplicatore orizzontale dei carichi che corrisponde all'attivazione del meccanismo.

La porzione di edificio considerata non è verificata in relazione al cinematiso implementato (infatti l'accelerazione che porta all'attivazione del meccanismo è minore di quella imposta dalla Normativa); la capacità del sistema analizzato è circa il 40% della domanda richiesta dalla normativa nel caso di verifica allo SLV e di circa il 49% nel caso di verifica allo SLD.

Nel caso di:

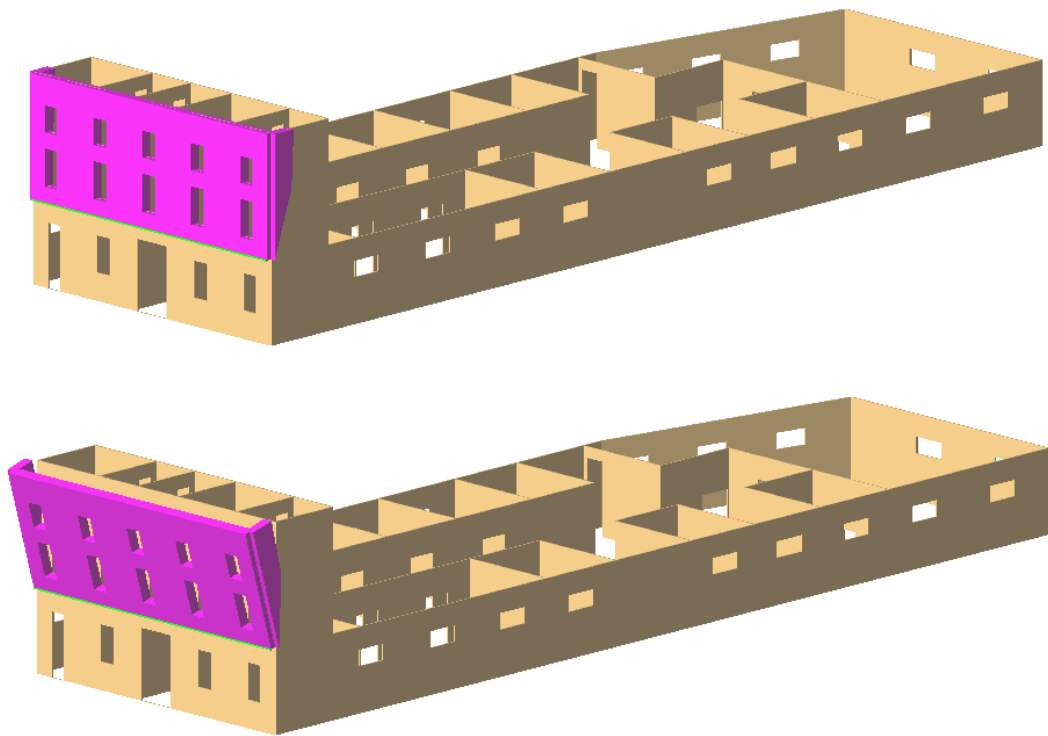
- Vincolo a Terra deve essere condotta solo la verifica [C8A.4.9] della circolare delle NTC;
- Vincolo in Quota devono essere condotte entrambe le verifiche [C8A.4.9] e [C8A.4.10] della circolare delle NTC.

A calcolo terminato, la finestra che mostra la sezione, permette di vedere un filmato con l'andamento progressivo della deformata:



### 10.1.2 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del primo piano

In tutti i prossimi casi, verranno riportati solamente le immagini tridimensionali e le finestre dei risultati.



Cinematica lineare

Verifica SLV      Verifica SLD

Vincolo a terra

**La verifica NON è soddisfatta**

$a^*_0$  7,84E-01[s<sup>2</sup>] <  $a^*_{0-min}$  1,28E+0[m/s<sup>2</sup>]

$$a^*_{0-min} = \frac{a_g \cdot S}{q} \quad [C8A.4.9]$$

Vincolo in quota

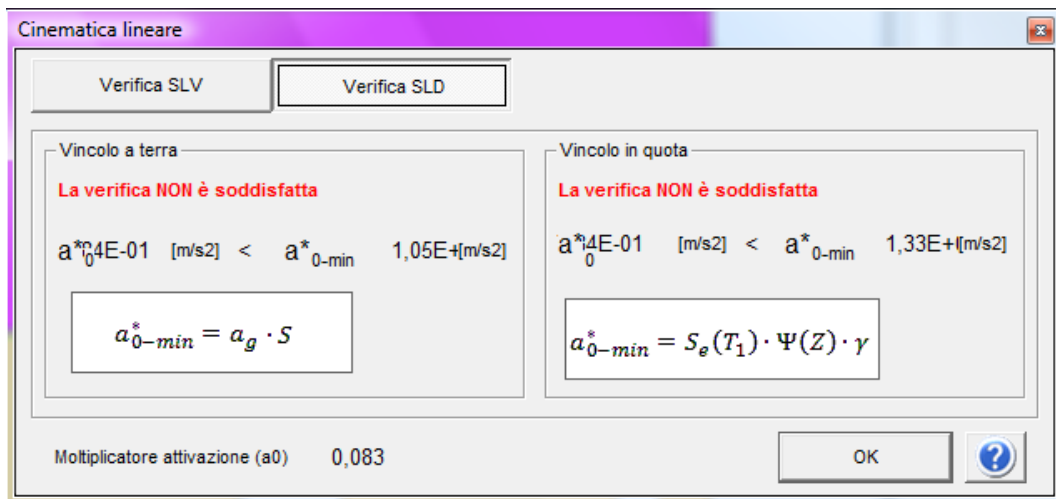
**La verifica NON è soddisfatta**

$a^*_0$  7,84E-01[s<sup>2</sup>] <  $a^*_{0-min}$  1,64E[m/s<sup>2</sup>]

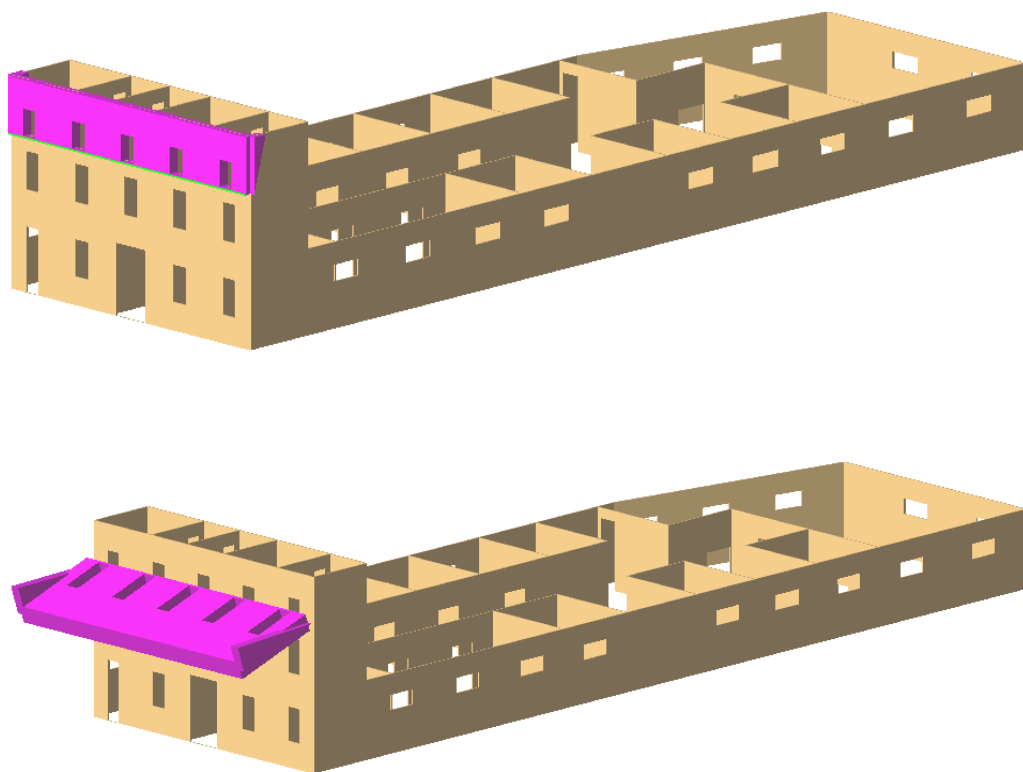
$$a^*_{0-min} = \frac{S_g(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q} \quad [C8A.4.10]$$

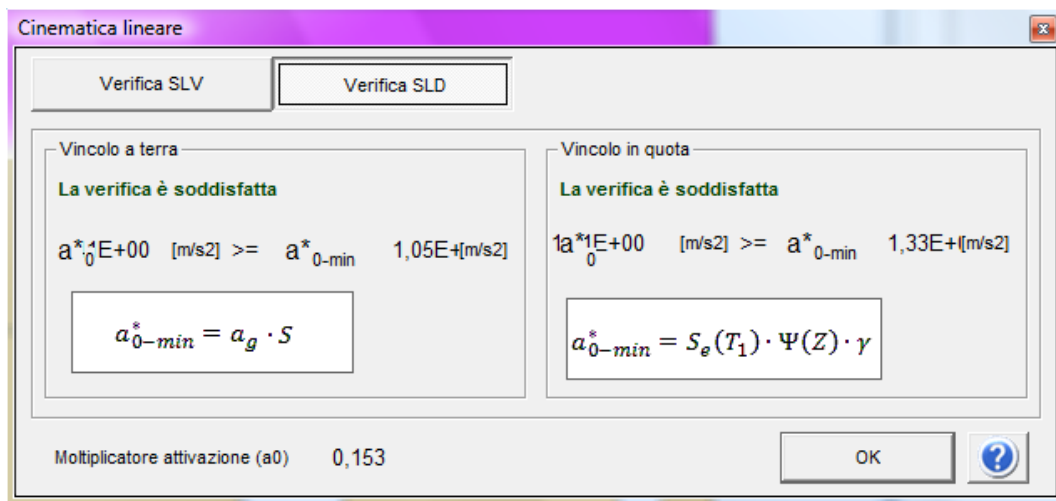
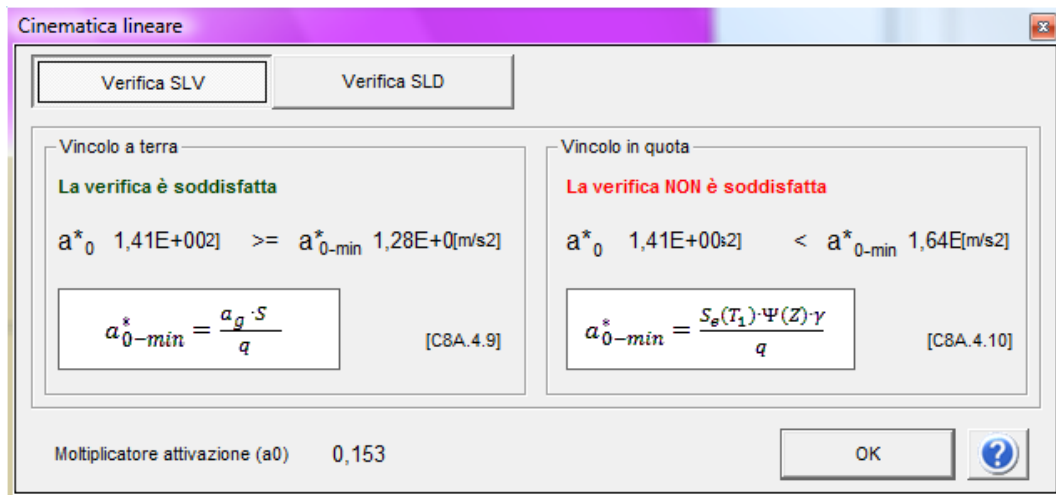
Moltiplicatore attivazione (a0)      0,083

OK      ?

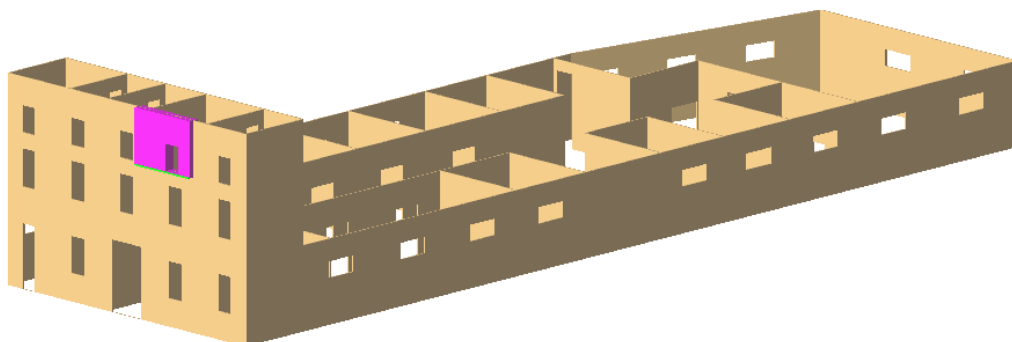


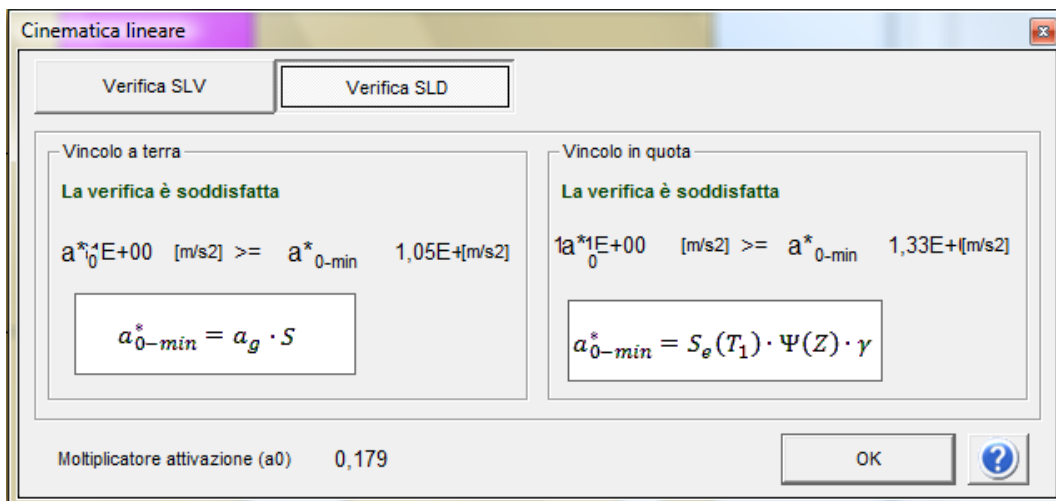
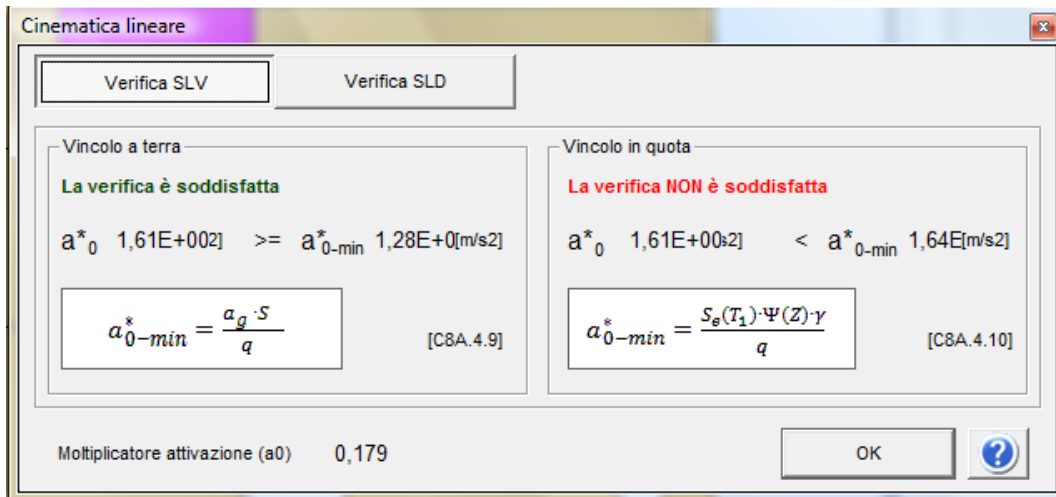
### 10.1.3 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del secondo piano





**10.1.4 Ribaltamento di una porzione di facciata al secondo piano**

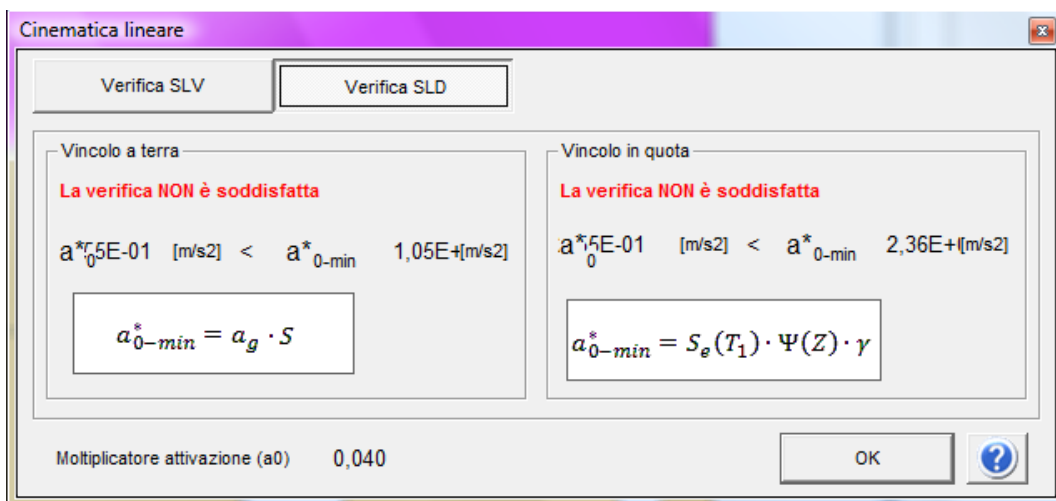
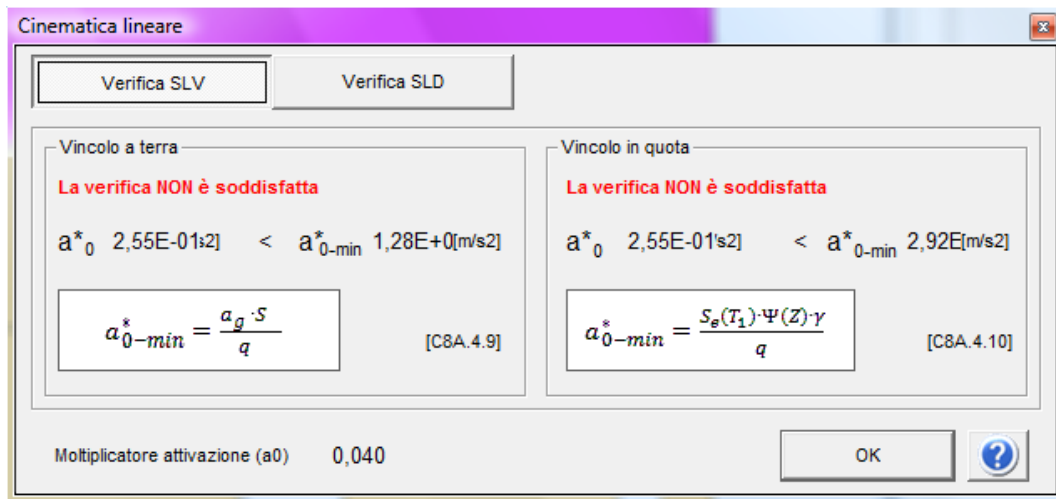




### 10.1.5 De - foliazione della parte esterna della muratura al secondo piano

Consideriamo ora il caso in cui la parte esterna della muratura del secondo piano tenda a staccarsi e a cadere; questo può avvenire perché (avendo delle murature a sacco) l'ammorsamento tra la fila di teste di mattoni rivolte esternamente ed il riempimento della muratura a sacco, viene meno.

Il meccanismo di collasso è simile a quelli appena visti, ma mentre in quelli precedenti è l'intera parete a collassare, qui è solo la parte esterna della stessa.



Come si può notare dai risultati, il moltiplicatore di attivazione è più basso rispetto al caso del ribaltamento dell'intera parete del secondo piano. Questo significa che, per il tipo di muratura che stiamo esaminando, è più probabile che avvenga la de-foliazione piuttosto che l'intero ribaltamento.

Consideriamo, comunque, che la de-foliazione potrebbe essere il principio di un possibile ribaltamento dell'intero maschio murario.

Situazioni analoghe si riscontrano anche andando a considerare la de-foliazione di parte di muratura del secondo piano, ma anche l'intera facciata o solo la parte di facciata che interessa il primo e secondo piano.

Per ovviare al problema della de-foliazione della parete, oltre all'inserimento di tiranti, è opportuno anche un buon ammorsamento trasversale del singolo maschio murario; ciò è possibile tramite interventi di bonifica delle murature come



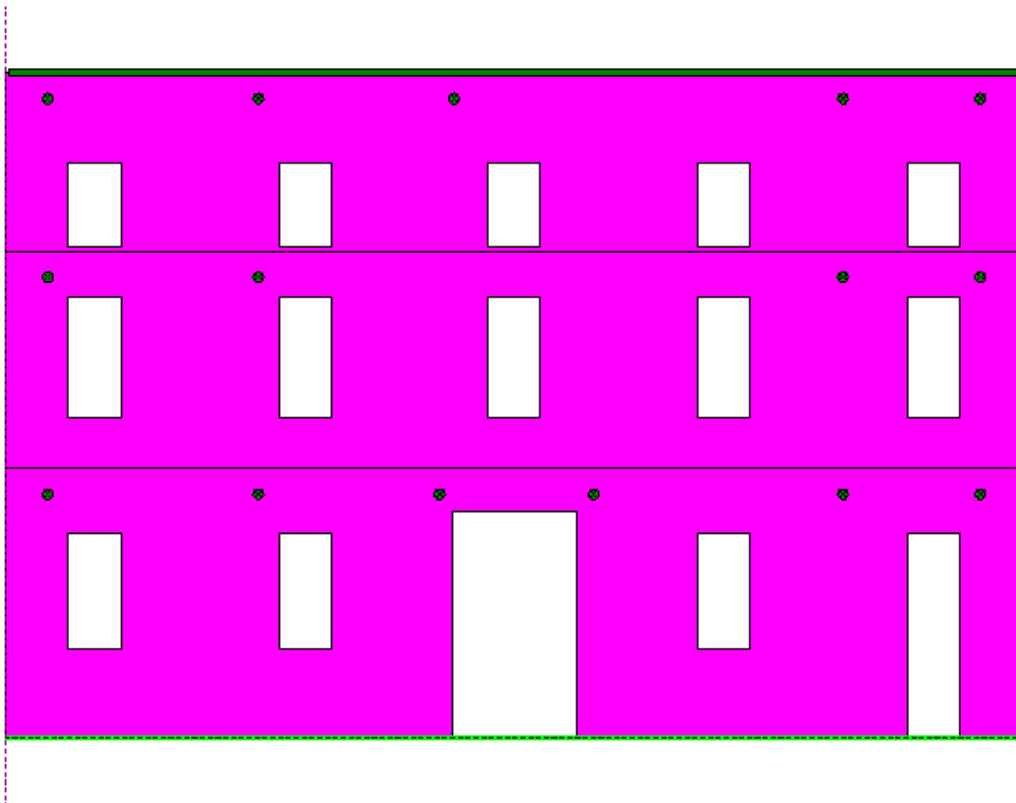
l'intervento di scuci e cuci e tramite l'inserimento di diatoni trasversalmente al maschio murario.

### ***10.2 Inserimento di strutture di ritegno in acciaio***

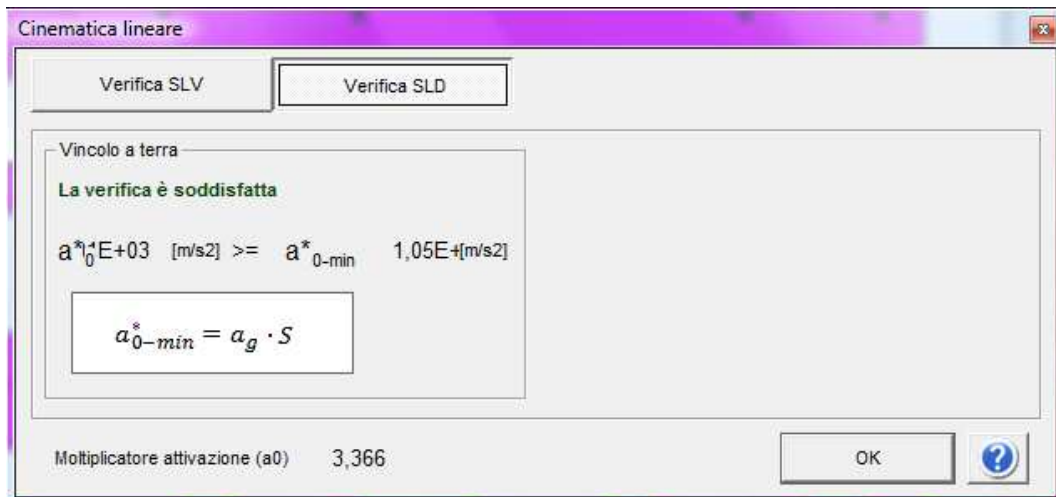
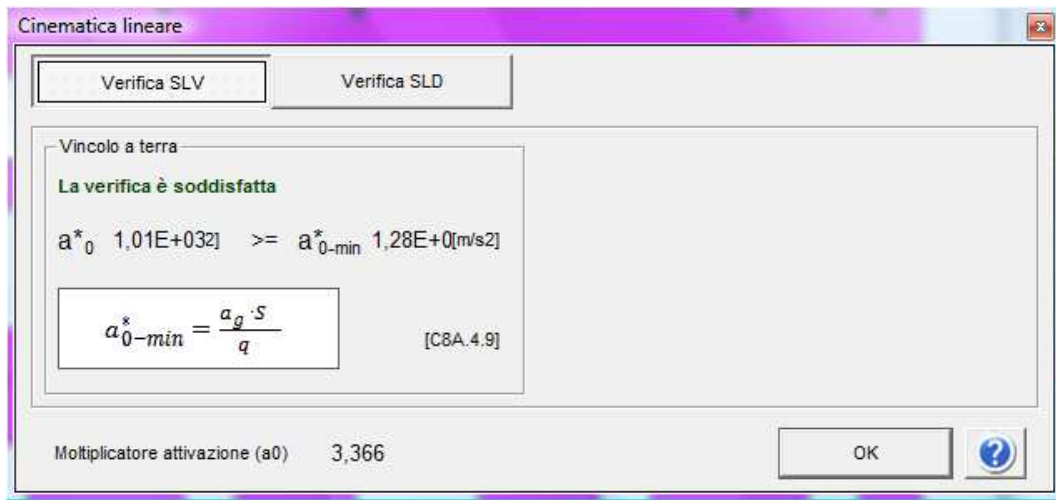
Per ovviare al problema del ribaltamento della parete sono stati inseriti dei tiranti con tondino d'acciaio del diametro di 20 mm ( $\sigma_{\text{acciaio}}: 155 \text{ N/mm}^2$ ) che trasmettono una tensione di 48695 N l'uno.

Di seguito per ogni caso sopra esaminato, riportiamo i risultati.

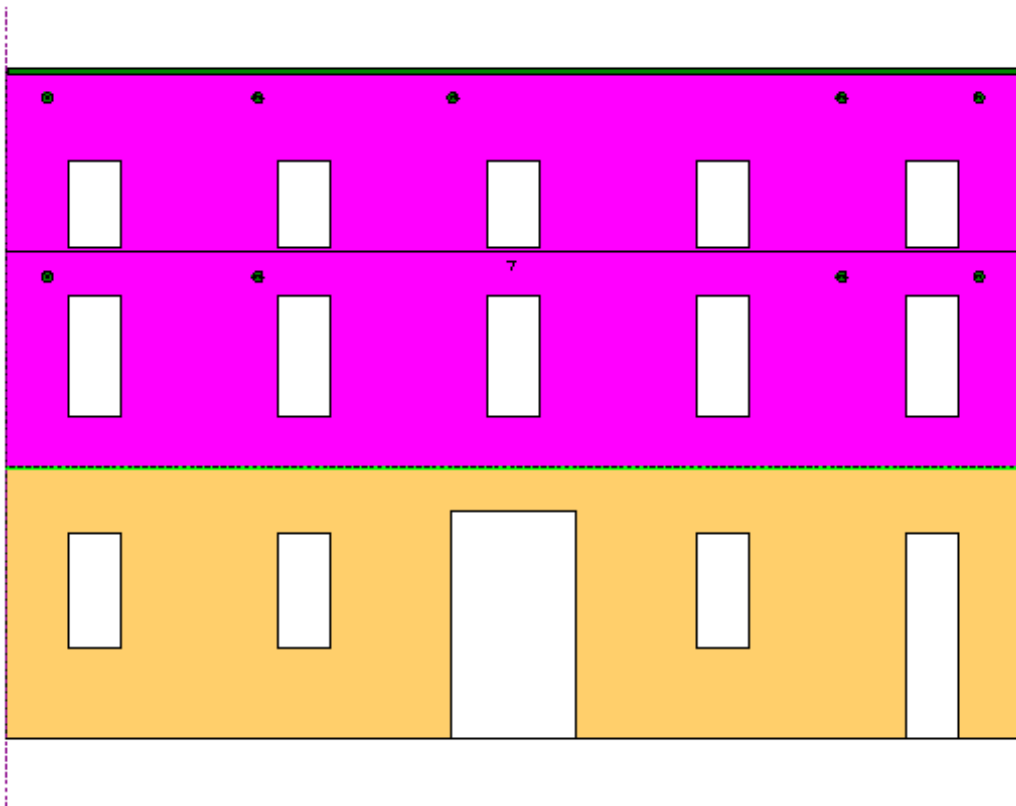
#### ***10.2.1 Ribaltamento intera facciata con formazione di cerniera a livello del terreno***



A calcolo terminato viene mostrata la finestra dei risultati:



**10.2.2 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del primo piano**



Cinematica lineare

Verifica SLV      Verifica SLD

Vincolo a terra  
**La verifica è soddisfatta**  
 $a^*_{0} \ 3,53E+01[2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 1,28E+0[m/s^2]$

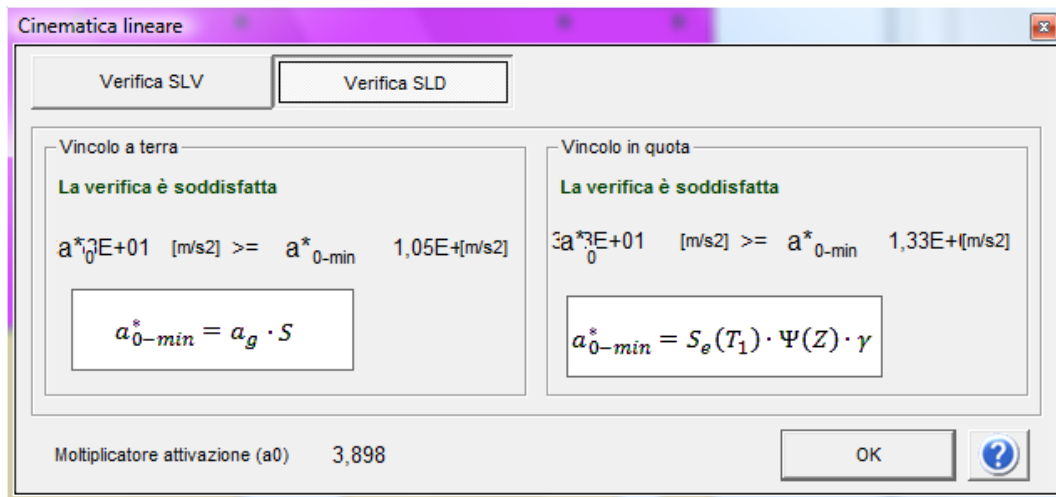
$$a^*_{0-min} = \frac{a_g \cdot S}{q} \quad [C8A.4.9]$$

Vincolo in quota  
**La verifica è soddisfatta**  
 $a^*_{0} \ 3,53E+01[2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 1,64E[m/s^2]$

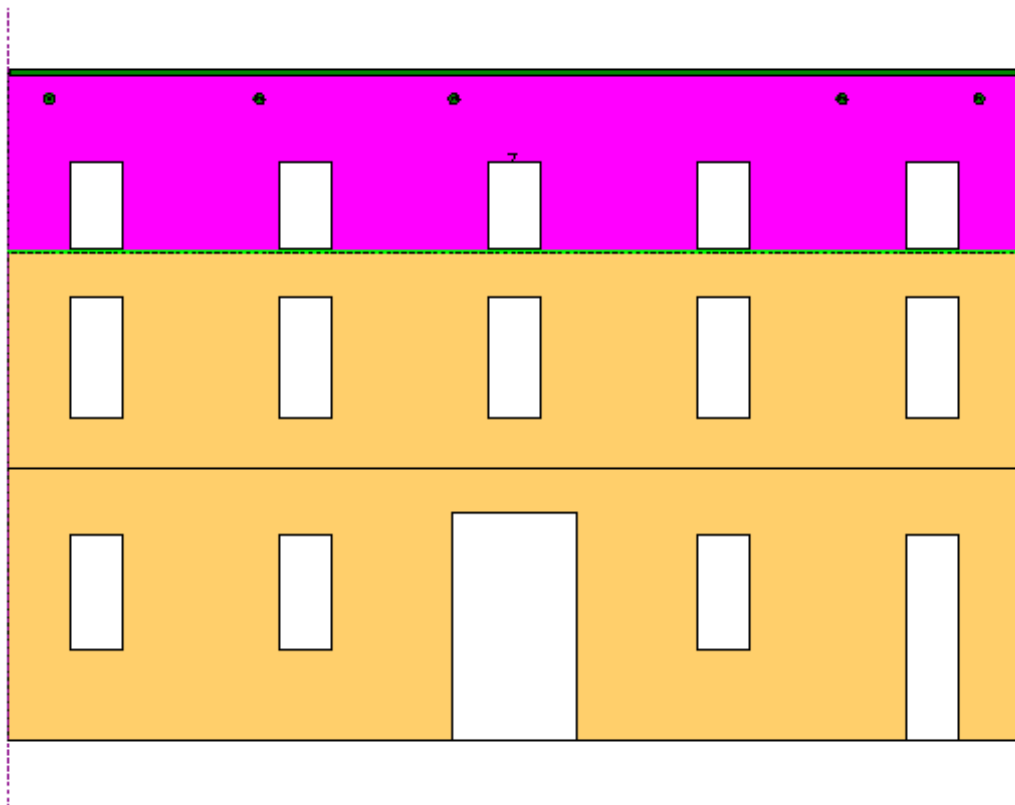
$$a^*_{0-min} = \frac{S_e(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q} \quad [C8A.4.10]$$

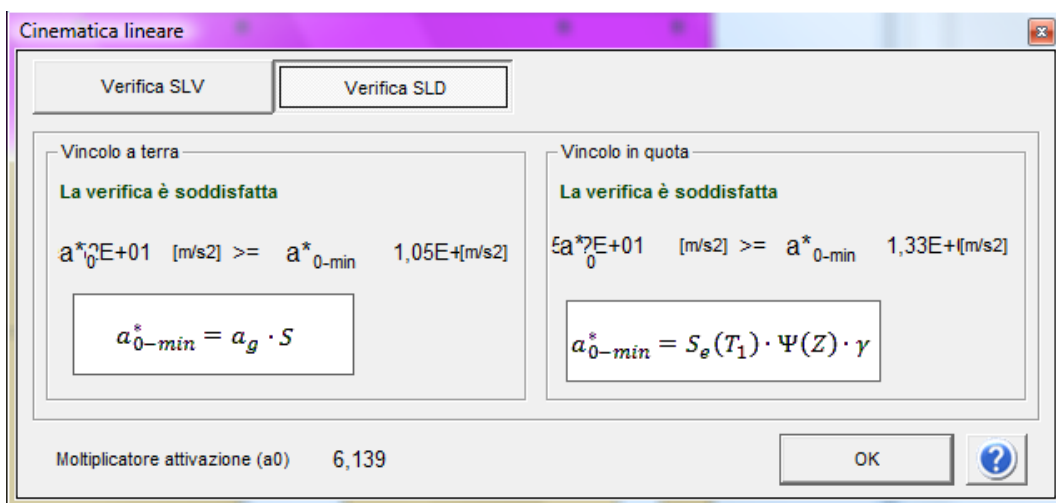
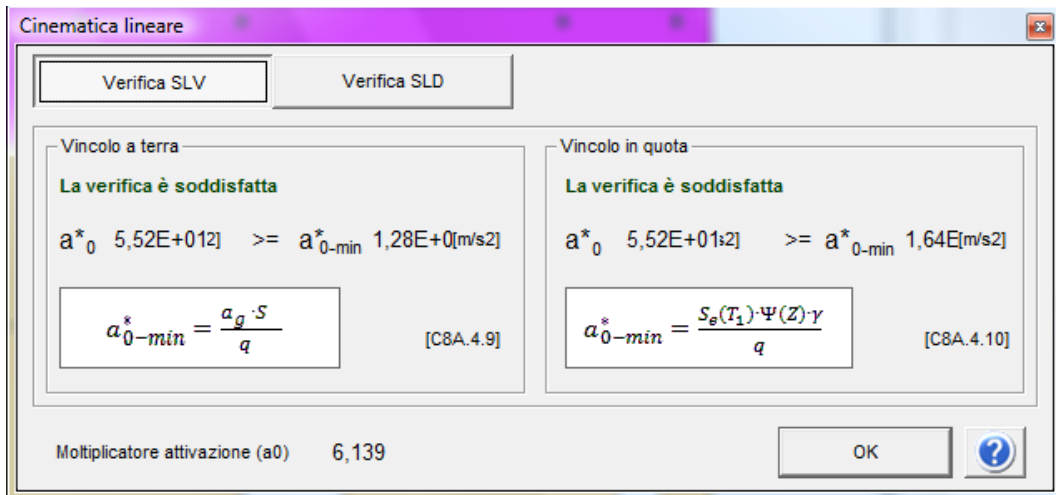
Moltiplicatore attivazione (a0)    3,898

OK    ?

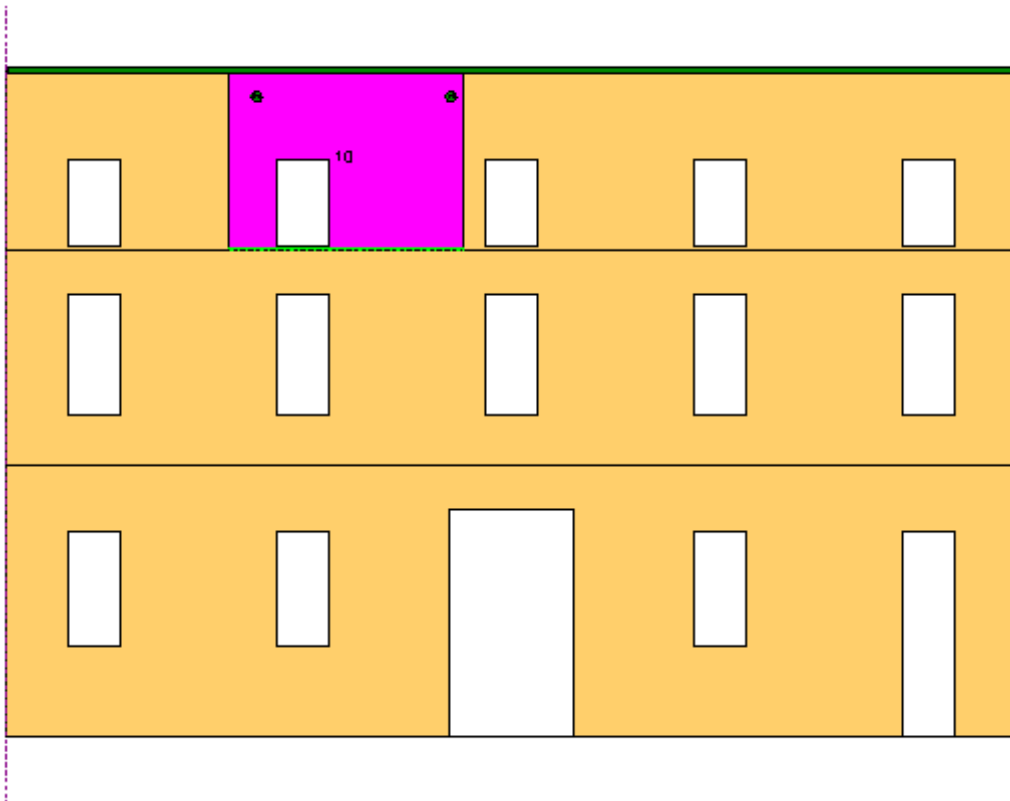


### 10.2.3 Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del secondo piano





### 10.2.4 Ribaltamento di una porzione di facciata al secondo piano



Cinematica lineare

Verifica SLV      Verifica SLD

Vincolo a terra  
**La verifica è soddisfatta**  
 $a^*_{0} \ 9,81E+01[2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 1,28E+0[m/s^2]$   

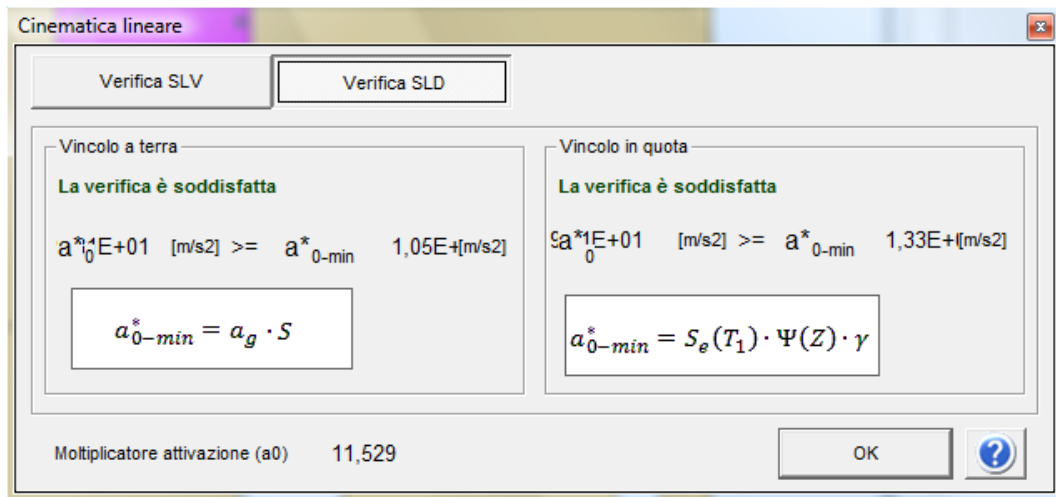
$$a^*_{0-min} = \frac{a_g \cdot S}{q} \quad [C8A.4.9]$$

Vincolo in quota  
**La verifica è soddisfatta**  
 $a^*_{0} \ 9,81E+01[2] \ \geq \ a^*_{0-min} \ 1,64E[m/s^2]$   

$$a^*_{0-min} = \frac{S_g(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q} \quad [C8A.4.10]$$

Moltiplicatore attivazione (a0)      11,529

OK      ?



Come si può infine osservare da questa tabella riassuntiva, in tutti i casi esaminati l'inserimento di tiranti rende simicamente sicura e stabile la facciata dell'ex macello (o a seconda dei casi, parte di essa).

Si può infatti vedere come la differenza del moltiplicatore di attivazione ( $a_0$ ) sia molto evidente tra prima dell'intervento e dopo l'inserimento delle strutture di ritegno o in acciaio.

	$a_0^*$ (m/s <sup>2</sup> )	$a_{0-min}^*$ SLV (m/s <sup>2</sup> )	$a_{0-min}^*$ SLD (m/s <sup>2</sup> )	Capacità sistema SLV	Capacità sistema SLD	Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	Tiranti inseriti	$a_0$ con tiranti
<i>Ribaltamento intera facciata con cerniera a livello del terreno</i>	0,515	1,28	1,05	40%	49%	0,056	15	3,366
<i>Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del 1° piano</i>	0,784	1,64	1,33	48%	59%	0,083	9	3,898
<i>Ribaltamento facciata con formazione di cerniera a livello del 2° piano</i>	1,41	1,64	1,33	86%	106%	0,153	5	6,139
<i>Ribaltamento di una porzione di facciata al secondo piano</i>	1,61	1,64	1,33	98%	121%	0,179	2	11,53

## ***11. CONCLUSIONI***

La sicurezza sismica dell'Ex Macello comunale di Imola è stata valutata sia sulla base del modello di valutazione LV1 proposto per la tipologia "Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi" all'interno delle Linee Guida, sia adottando un metodo di verifica corrispondente ad un livello di valutazione LV3.

Lo stesso modello di valutazione LV1 è stato svolto tramite fogli di calcolo Excel e tramite l'applicativo informatico del ministero dei beni Culturali: il SIVARS.

Dal confronto tra i risultati, è emerso come il SIVARS sovrastimi la sicurezza degli edifici in esame: questo è causato sia dall'utilizzo di un procedimento non molto preciso per l'individuazione delle murature e solai (basato su un riconoscimento grafico e non analitico), ma soprattutto dal fatto che è un modello di valutazione non è ancora allineato con le NTC 08.

E' risultato, infatti, che alcune formule importanti (quelle utilizzate per il calcolo della resistenza a taglio dell'edificio, dell'accelerazione al suolo di collasso e dell'Indice di sicurezza sismica) siano ancora "ancorate" alle precedenti Linee Guida del 2006, che a loro volta sono un'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni approvate con il Decreto Ministeriale del 14/09/2005.

La valutazione di dettaglio (LV3) è stata svolta utilizzando il codice di calcolo 3Muri, che opera nell'ambito dell'approccio di modellazione tridimensionale a telaio equivalente.

In entrambi i casi, dalle analisi effettuate è emerso che l'indice di sicurezza sismica è notevolmente inferiore ad 1 e ciò indica che il manufatto non è idoneo a sopportare l'azione sismica di riferimento nel sito; in particolare si è appurato come la direzione x (longitudinale allo sviluppo della struttura) rappresenti la direzione di maggiore debolezza della struttura, direzione lungo la quale l'area di muratura resistente risulta effettivamente minore rispetto alla direzione trasversale all'edificio (direzione y).



In particolare, come ci si poteva aspettare, risulta più debole la parte di edificio che si eleva su 3 piani; infatti i valori ottenuti su un'analisi eseguita solamente su questa parte risultano più bassi di quelli calcolati sull'intero edificio.

In pratica l'analisi LV1 sull'edificio ci dice quali problematiche presenta l'edificio e ci dice se la qualità dell'organizzazione muraria è idonea oppure no, inoltre il carattere semplificato di tale valutazione, giustifica il risultato a favore di sicurezza tramite l'approccio territoriale.

L'analisi LV3, invece, è un sistema più sofisticato e approfondito e, come ci si aspettava, fornisce risultati più precisi e valori più alti dell'analisi LV1.

Al fine di valutare la possibilità di ridurre la vulnerabilità del manufatto è stata svolta l'analisi LV2 che va a considerare i possibili meccanismi di collasso locale che possono interessare l'edificio. È stata quindi svolta l'analisi considerando il ribaltamento della facciata principale e di parti di essa.

In virtù delle verifiche non soddisfatte, è stata svolta l'analisi del miglioramento apportato in relazione alla realizzazione di un intervento di miglioramento sismico tradizionale, tramite l'inserimento di strutture di ritegno in acciaio (tiranti) e di bonifica della muratura.

Tale esemplificazione consente di evidenziare come interventi concepiti in funzione della tutela del manufatto architettonico permettano il conseguimento di un livello di sicurezza adeguato, mettendo in luce l'assenza di contrapposizione tra sicurezza e conservazione.

## **RINGRAZIAMENTI**

*5 Ottobre 2011 – 5 Ottobre 2012*

*Un anno fa il giorno più brutto della mia vita, oggi la laurea.*

*A volte i progetti che il Signore fa per noi ci appaiono strani ed inconcepibili, la nostra Fede a volte vacillante ed il nostro modo di pensare ci limitano nel vedere l'opera di Dio.*

*Ma se abbiamo fiducia in Lui sono sicuro (e mi è già capitato molte volte) che il Suo progetto sarà sempre quello giusto, anche se per seguirlo dobbiamo passare attraverso difficili prove; prove che riusciamo a superare grazie alla Fede e all'aiuto delle persone che il Signore ci mette accanto in questo stupendo, ma a volte difficile cammino, che è la vita.*

*Tornando ad oggi, posso dire che finalmente si è concluso un cammino durato ben 7 anni. Sono stati anni in cui è successo un po' di tutto, ma alla fine eccomi qua con la corona d'alloro in testa ed un pezzo di carta in mano...*

*Speriamo che possa servire a qualcosa, soprattutto perché dopo 20 anni passati a studiare (devo dire, però, che mi riusciva bene...) ora dovrò iniziare a lavorare sul serio.*

*Sono stati anni molto belli e, limitandoci solamente all'aspetto universitario, devo dire che sono stati utili alla mia formazione professionale ma anche utili all'affinazione della mia capacità di ingegnarmi e di riuscire a cavarmela in ogni situazione.*

*Non sono mancati, infatti, in questo periodo momenti di sconforto di fronte ad esami difficili ed a tempi che inesorabilmente si allungavano sempre di più.*

*Ma poi, un po' alla volta, grazie alla determinazione, la Fede e l'aiuto di tante persone sono giunto all'ambito traguardo.*

*Ora potrò finalmente scrivere sul campanello: Ing. Gabriele Baccilieri.*

*Ma veniamo al dunque, siamo nel paragrafo dei ringraziamenti e allora ringraziamo tutte queste persone a cui accennavo nelle righe precedenti.*

*Innanzitutto ringrazio la mia famiglia, e con famiglia intendo tutti i 6 membri della mia famiglia “allargata”: Anna, Francesca, mamma, Michele, papà e Riccardo.*

*Li ringrazio perché ognuno di loro (naturalmente in modo diverso) mi ha dato la determinazione, la forza e l’aiuto per arrivare fino a qui; senza di loro (a parte che non sarei quello che sono) oggi sicuramente sarebbe un giorno diverso e chissà se sarei già laureato oppure no, sicuramente sarei meno felice di quello che sono.*

*Ringrazio anche Chiara, Michele, Paolo e Patrizia (e anche Cecilia) perché mi hanno dato la possibilità di studiare e preparare gli esami, donandomi parte del loro prezioso tempo e sostegno.*

*Ringrazio anche gli amici che hanno reso più belli e, a volte anche più leggeri, tutti questi anni di università.*

*Un ringraziamento va anche ai miei compagni di università, o meglio colleghi, che oramai sono tutti ingegneri in carriera (...) che mi hanno aiutato a rendere meno monotone le giornate in facoltà e che mi hanno accompagnato nell’inesorabile iter degli esami; in particolare Irene e Veronica grazie alle quali mi è anche stato concesso il lusso di seguire le lezioni e prendere appunti, senza però essere a lezione...*

*Per quanto riguarda, poi, la redazione di questa tesi di laurea ci sono un bel po’ di persone da ringraziare.*

*Innanzitutto desidero ringraziare, prima di tutti, il prof. Giovanni Mochi, per la costante disponibilità e cortesia avute nei miei confronti e per le preziose indicazioni grazie alle quali sono stato guidato nell’elaborazione di questa tesi.*

*Importante è stata anche la collaborazione con lo “Studio Tecnico associato Bellini Pezzoli”, nelle figure dell’Ing. Pezzoli e Arch. Bellini, ma anche l’Ing. Scarsi e l’Ing. Marchesani.*

*Grazie anche all’Ingegnere, nonché amico, Filippo Loreti.*

*Voglio infine ringraziare lo staff dello S.T.A.Data che mi ha concesso la licenza gratuita a tempo, del software 3Muri con cui è stata svolta una parte di questa tesi.*

*Penso di avere ringraziato tutti, e nel caso mi fossi dimenticato di qualcuno, penso che sia più importante la mia riconoscenza personale nei suoi confronti, piuttosto che una pagina in fondo ad un malloppo di fogli che chissà se qualcuno leggerà mai...*

**GRAZIE ANCORA A TUTTI!!!**