

Fiume Mincio

Opere idrauliche di II categoria

MN-E-394-M

CUP: **B64H15000070002**

CIG:



**Regione
Lombardia**

Progetto Definitivo / Esecutivo

Lotto A

ELABORATO

RELAZIONI DI CALCOLO

**Valutazione di vulnerabilità sismica dei manufatti esistenti
Edificio di contenimento della paratoia principale**

UBICAZIONE OPERE

Comune di Mantova

Località Ponte dei Mulini

DATA: Agosto 2018

AGG. -

SCALA:

-

COMMITTENTE

AIPO - Ufficio operativo di Mantova

Vicolo Canove, 26 - 46100 Mantova

tel. + 39 0376320461

fax. + 39 0376320464

e-mail: ufficio-mn@agenziapo.it

Raggruppamento temporaneo d'impresa

POLARIS - STUDIO ASSOCIATO



HYDRODATA S.p.a.



ENGEO S.r.l.



SAP S.r.l.



Legale rappresentante
della Capogruppo R.T.I.



Responsabile unico del procedimento

Ing. Ivano Galvani

Il Coordinatore alla Progettazione

Ing. Marcello Moretti

Assistente

Dott. Paolo Michelini

Lavori di ripristino funzionale del manufatto a sostegno del Lago Superiore
denominato "Vasarone", a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012

2.c.1.2

SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Valutazione del livello di conoscenza	4
2.1. Analisi storico critica	4
2.2. Rilievo	5
2.3. Caratterizzazione meccanica dei materiali	5
2.4. Livelli di conoscenza e relativi fattori di confidenza	5
3. Descrizione dell'edificio	6
4. Azione sismica	7
4.1. Inquadramento sismico	7
4.2. Definizione dell'azione sismica	8
4.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	8
4.4. Vita nominale	9
4.5. Classe d'uso e Vita utile	9
4.6. Suolo	10
4.7. Condizioni topografiche	10
4.8. Fattore di struttura	11
4.9. Spettri di progetto utilizzati	11
4.9.1. Spettro in risposta sismica locale SLV	11
4.9.2. Spettro in risposta sismica locale SLO	12
5. Modalità di verifica	13
5.1. Stato limite di esercizio	13
5.2. Stato limite ultimo	13
6. Analisi dei carichi	14
6.1. Esempi di carichi – masse applicati	14
6.2. Condizioni elementari di carico	16
6.3. Combinazione delle azioni	17
7. Metodi di analisi e criteri di verifica	18
7.1. Descrizione dei criteri di modellazione	18
7.2. Materiali	18
7.2.1. Murature	18
7.3. Legno e calcestruzzo	19
7.4. Valutazione dell'indicatore di rischio sismico	19
8. Modellazione e verifiche degli elementi sismoresistenti	21

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

8.1. Verifiche sugli elementi sismoresistenti.....	21
8.1.1. Tassi di sfruttamento globali a pressoflessione nel piano	22
8.1.2. Tassi di sfruttamento globali a pressoflessione fuori dal piano	23
8.1.3. Tassi di sfruttamento globali a taglio nel piano	23
8.1.4. Indicatori di rischio globali della struttura	24
8.1.5. Verifiche agli Stati limite di esercizio	24
8.1.6. Verifiche cinematismi di collasso	24
8.2. Verifiche restituite dal software di calcolo.....	27
9. Conclusioni.....	33

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

1. Premessa

Nella presente relazione è riportata la verifica di vulnerabilità sismica condotta sull'edificio di contenimento della paratoia principale posta a regolazione dei livelli idrici tra il Lago Superiore e il Lago di Mezzo mediante il nodo idraulico denominato "Vasarone". L'immobile è ubicato in località Ponte dei Mulini in Comune di Mantova.

Lo scopo della presente relazione è quello di eseguire le verifiche di resistenza e di spostamento in combinazione sismica e valutare, con opportuni algoritmi di calcolo, il rapporto tra l'azione sismica che genera il superamento delle soglie di capacità (di resistenza e di spostamento) dell'immobile e l'azione sismica di progetto richieste, non dalla normativa vigente, D.M. 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni, entrata in vigore il 22.03.2018, bensì ai sensi dell'art. 2 del D.M. 17 Gennaio 2018 che recita "Art. 2 - Ambito di applicazione e disposizioni transitorie 1. Nell'ambito di applicazione del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui all'art. 1, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all'ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi. Con riferimento alla seconda e alla terza fattispecie del precedente periodo, detta facoltà è esercitabile solo nel caso in cui la consegna dei lavori avvenga entro cinque anni dalla data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui all'art. 1. Con riferimento alla terza fattispecie di cui sopra, detta facoltà è esercitabile solo nel caso di progetti redatti secondo le norme tecniche di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008....", la normativa di riferimento risulta essere il D.M. 14 Gennaio 2008.

Il coefficiente (iPGA) con cui si riassumerà l'esito della verifica sarà un valore che se superiore all'unità indicherà che l'edificio è in grado di resistere ad una azione sismica di intensità pari o superiore a quella di progetto, se invece risulterà inferiore all'unità, il suddetto valore espresso in forma percentuale, darà un indicatore di quanto è vulnerabile l'edificio stesso.

L'evoluzione normativa statale e regionale ha portato ad una riclassificazione totale del territorio italiano in merito al rischio sismico. Le N.T.C. 2008 identificano un reticolo di punti su tutto il territorio nazionale per i quali sono definiti dei parametri per la determinazione dell'azione sismica e obbligano ad eseguire il calcolo strutturale considerando anche questa azione.

La capacità di un edificio di resistere ad azioni orizzontali di origine sismica è demandata ad alcuni elementi detti primari o sismoresistenti. Nel caso di specie gli elementi sismoresistenti sono identificati nei maschi murari ricompresi nelle pareti dell'edificio; in particolare un maschio murario è quell'elemento continuo da cielo a terra non comprensivo di aperture, vincolato al suolo ed avente caratteristiche meccaniche/geometriche tali da poter resistere sia ad azioni verticali che orizzontali. Gli elementi orizzontali quali travi e solai hanno il solo scopo di trasferire le azioni verticali e inerziali sismiche agli elementi sismoresistenti.

Per poter eseguire le verifiche di cui sopra è necessario avere le seguenti informazioni relative all'edificio:

- destinazione d'uso;
- geometria delle strutture e caratteristiche meccaniche dei materiali che le compongono;
- azione sismica di progetto.

Nel seguito vengono illustrate la metodologia di calcolo e i risultati della verifica di vulnerabilità sismica.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

2. Valutazione del livello di conoscenza

L'edificio oggetto di verifica è definito, ai sensi della normativa vigente, come **edificio esistente** e nomato dai Capitoli 8 delle N.T.C. 2008 e della circolare 617/2009.

Per poter eseguire le verifiche richieste vengono introdotti ulteriori coefficienti di sicurezza parziali, oltre a quelli già previsti per edifici nuovi, per considerare che le geometrie e i materiali siano conosciuti con diversi gradi di accuratezza.

La norma definisce un livello di conoscenza "LC" in base all'acquisizione delle seguenti informazioni:

- documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- prove in-situ e in laboratorio.

I livelli di conoscenza sono 3 (LC1, LC2 e LC3) ai quali corrispondono altrettanti coefficienti di sicurezza definiti fattori di confidenza "FC" (1.35, 1.25, 1) col quale decurtare i valori meccanici dei materiali.

Di seguito sono descritte le valutazioni effettuate per giungere al livello di conoscenza.

2.1. Analisi storico critica

Il manufatto di scarico denominato "Vasarone" è l'opera principale di regolazione dei livelli del Lago Superiore (17.50÷17.80 mslm) e scarico delle acque del Mincio nel Lago di Mezzo e Inferiore (14.20/14.50÷17.50 mslm) ed è opera strategica per la sicurezza della città di Mantova nel contesto dell'articolato complesso "sistema della difesa idraulica della città di Mantova", opera realizzata dall'ex Genio Civile poi Magistrato per il Po.

L'opera di sbarramento idraulico fu ideata dall'ingegnere bergamasco A. Pitentino, realizzato inizialmente tra il 1188 e il 1198 conclusosi nel 1230, era dotato di 12 mulini azionati dal salto d'acqua e coperti nel 1417. L'opera generò nelle varici del Mincio il lago Superiore ed i laghi di Mezzo e Inferiore. L'opera, restaurata nel 1600 e tra il 1744-1758 da Maria Teresa d'Austria, sopravvisse fino al 1944 quando un bombardamento aereo distrusse completamente la ferrovia e la parte iniziale e centrale del ponte costituito dai mulini. Il tratto iniziale col "Vasarone" e la ferrovia furono ricostruiti nel dopo guerra con l'intero sbarramento. Il "Vasarone" fu adeguato idraulicamente dopo la grande piena del 1951 nel contesto della succitata realizzazione del "sistema della difesa idraulica della città di Mantova".

Negli anni 1998/2004, nell'ambito dei "lavori di ristrutturazione della difesa idraulica della città di Mantova" in concessione ATI Pizzarotti & C, Magistrato Po/AIPO, era già previsto nel secondo lotto l'intervento 3 - "Ristrutturazione e miglioramento Vasarone e Vasarone", al fine di consolidare e ristrutturare i due manufatti che presentavano problemi di conservazione materica, adeguamento strutturale e manutenzione agli impianti delle paratoie. Durante i sopralluoghi effettuati al "Vasarone" già allora si poté constatare un avanzato degrado materico della componente muraria con la necessità di consolidamenti e ripristini anche strutturali. In tale sede emerse anche la necessità di garantire una doppia sicurezza agli organi meccanici per assicurare in ogni evenienza la possibilità di effettuare le manovre di regolazione in sicurezza, considerata l'importanza strategica del manufatto per la sicurezza della città. L'intervento purtroppo non fu eseguito per il contenzioso scaturito con l'impresa che portò alla rescissione del contratto.

Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno evidenziato un quadro fessurativo significativo, un malfunzionamento con blocco parziale dei movimenti delle paratoie delle luci inferiori e un degrado materico elevato soprattutto delle volte e delle strutture murarie.

L'evento sismico, congiuntamente con la nuova sensibilità raggiunta oltre che con il quadro normativo recente e le specifiche normative regionali sia di settore che relative ai finanziamenti, ha evidenziato l'urgenza di mettere in sicurezza l'opera non solo dal punto di vista conservativo, materico e funzionale delle apparecchiature, come previsto dal progetto del 1998-2004 ma soprattutto la necessità inderogabile di verificarne la sicurezza sismica tramite una preventiva valutazione di vulnerabilità e classificazione al rischio sismico.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

2.2. Rilievo

Nell'area d'interesse sono stati effettuati svariati sopralluoghi dalla ditta assegnataria della campagna di rilievo e diagnostica di tutto il nodo idraulico, composta da una prima fase consistente nei rilievi geometrici e, a seguire, la campagna diagnostica e geologica.

Ciò ci ha portati ad avere un buon numero di elaborati grafici dettagliati di tutta la struttura, oltre agli esiti delle prove di laboratorio eseguite su provini, prelevati da varie parti d'opera, al fine di poter classificare al meglio le caratteristiche meccaniche dei materiali strutturali attualmente presenti da implementare nel modello numerico per la valutazione della vulnerabilità dell'edificio.

2.3. Caratterizzazione meccanica dei materiali

Per la caratterizzazione meccanica dei materiali sono state eseguite le seguenti indagini in varie posizioni dell'opera:

- Prelievi di carote in calcestruzzo per prove di compressione e carbonatazione;
- Carotaggi continui su elementi in muratura per prove di compressione diagonale con corsi di malta a 45°;
- Prove di compressione su prismi ricavati da mattoni pieni;
- Prove di punzonamento su corsi di malta;
- Prove di durezza su acciaio delle gargamature;
- Indagini con georadar sulle solette e spalle;
- Rilievo fotografico, strumentale di umidità relativa e geometrici di elementi lignei della copertura;
- Indagini resistografiche degli elementi lignei.

2.4. Livelli di conoscenza e relativi fattori di confidenza

- **Geometria:** rilievi accurati eseguiti in situ tramite ditta specializzata;
- **Dettagli strutturali:** verifiche in situ estese ed esaustive;
- **Proprietà materiali:** indagini in situ esaustive.

In accordo con la tabella C8A.1.1 della Circolare 617/2009 si può ritenere di adottare un **livello di conoscenza LC= 3**, "Conoscenza Accurata" con un relativo **Fattore di Confidenza FC= 1**.

Ciò implica nessun tipo di declassamento alle proprietà meccaniche dei materiali strutturali analizzate tramite le prove in laboratorio.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

3. Descrizione dell'edificio

L'edificio contenente la paratoia principale è sostanzialmente a impronta quadrata costituito da mattoni in laterizio pieni aventi spessore di 3 teste, circa 38 cm, intonacati con intonaco cementizio. I muri in corrispondenza della paratoia aumentano di spessore fino a un totale di circa 85 cm per permettere l'appoggio del castello di sostegno della paratoia stessa per una altezza totale di circa 4,60 m dalla quota del pavimento; nelle restanti posizioni i muri mantengono costante il proprio spessore fino alla quota di gronda, circa 7,00 m dal piano di calpestio, dove lo spessore aumenta di qualche centimetro.

La copertura ha una struttura principale costituita da una capriata in legno e da quattro puntoni che definiscono le diagonali del tetto a padiglione; questi ultimi sostengono un'orditura secondaria con funzione di rompitratta e i travetti, anch'essi in legno. Tra i travetti sono stati posizionati dei tavelloni in laterizio con rasatura superficiale, guaina impermeabilizzante e tegole in laterizio tipo "marsigliesi". Completano l'opera le lattonerie di convogliamento delle acque meteoriche in acciaio.

Negli anni sono state eseguite delle tamponature su finestrate e porte inizialmente presenti, utilizzando blocchi in semipieno di laterizio; dopo una analisi visiva si è notato che queste tamponature non sono efficacemente mascherate con la muratura presente, motivo per cui nel modello numerico non sono state modellate, lasciando a tutti gli effetti una apertura.

Gli ultimi interventi significativi, oltre alle normali operazioni di manutenzione ordinaria, sono quelli legati alla realizzazione della pista ciclopeditone costruita in fregio alla ex S.S. 62. Vista l'impossibilità di realizzare un passaggio sicuro per l'utenza ciclopeditone nella vicinanze dell'immobile, si è optato per concedere l'attraversamento dello stesso andando a realizzare un tunnel verso il lato di valle aprendo due varchi nelle murature di larghezza pari a 2,65 m. Il tunnel è stato poi tamponato orizzontalmente con un solaio in calcestruzzo e verticalmente con una parete in muratura di laterizio semipieno.

All'interno dell'edificio oltre alla paratoia e al relativo castello è presente un locale delimitato mediante una parete sottile di circa 15 cm su un lato e la parete a delimitazione del tunnel ciclopeditone sull'altro, adibito al contenimento dei quadri elettrici necessari per la movimentazione della paratoia.

Infine il solaio di calpestio di questo edificio è realizzato con una struttura portante principale in travi di acciaio con interposti tavelloni in laterizio, soletta di completamento in calcestruzzo armato e pavimentazione con marmette di cemento. In corrispondenza delle murature a "scavalco" del canale sono state realizzate delle travi in calcestruzzo armato così come a ridosso del vano di corsa della paratoia.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

4. Azione sismica

Si procede all'identificazione dell'azione sismica come suggerito dal D.M. 14 Gennaio 2008.

4.1. Inquadramento sismico

L'immobile in oggetto è ubicato in Regione Lombardia, all'interno del Comune di Mantova. Per meglio inquadrare il contesto sismico in cui si colloca l'edificio è utile ricordare che l'O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 e s.m.i. ha provveduto a formulare i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone", lasciando poi alle Regioni il compito materiale di procedere "all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche". In questo contesto normativo la Regione Lombardia, in prima battuta, con D.G.R. n. 7/14964 del 07.11.2003, provvedeva a recepire in via transitoria l'elenco delle zone sismiche proposto dalla succitata Ordinanza. A seguito degli eventi sismici del 20 e 29 Maggio 2012 accaduti nelle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, l'Amministrazione lombarda ha provveduto a rivedere la classificazione sismica del proprio territorio emanando la D.G.R. 10/2129 del 11.07.14 che prevedeva l'entrata in vigore della nuova zonizzazione il 16.10.2014. Con D.G.R. 10/2489 del 10.10.14 la Regione Lombardia ha differito l'entrata in vigore della nuova classificazione al 14.10.2015. Con ulteriore D.G.R. 10/4144 del 08.10.15 la Regione Lombardia ha differito ulteriormente l'entrata in vigore della nuova classificazione al 10.04.2016.

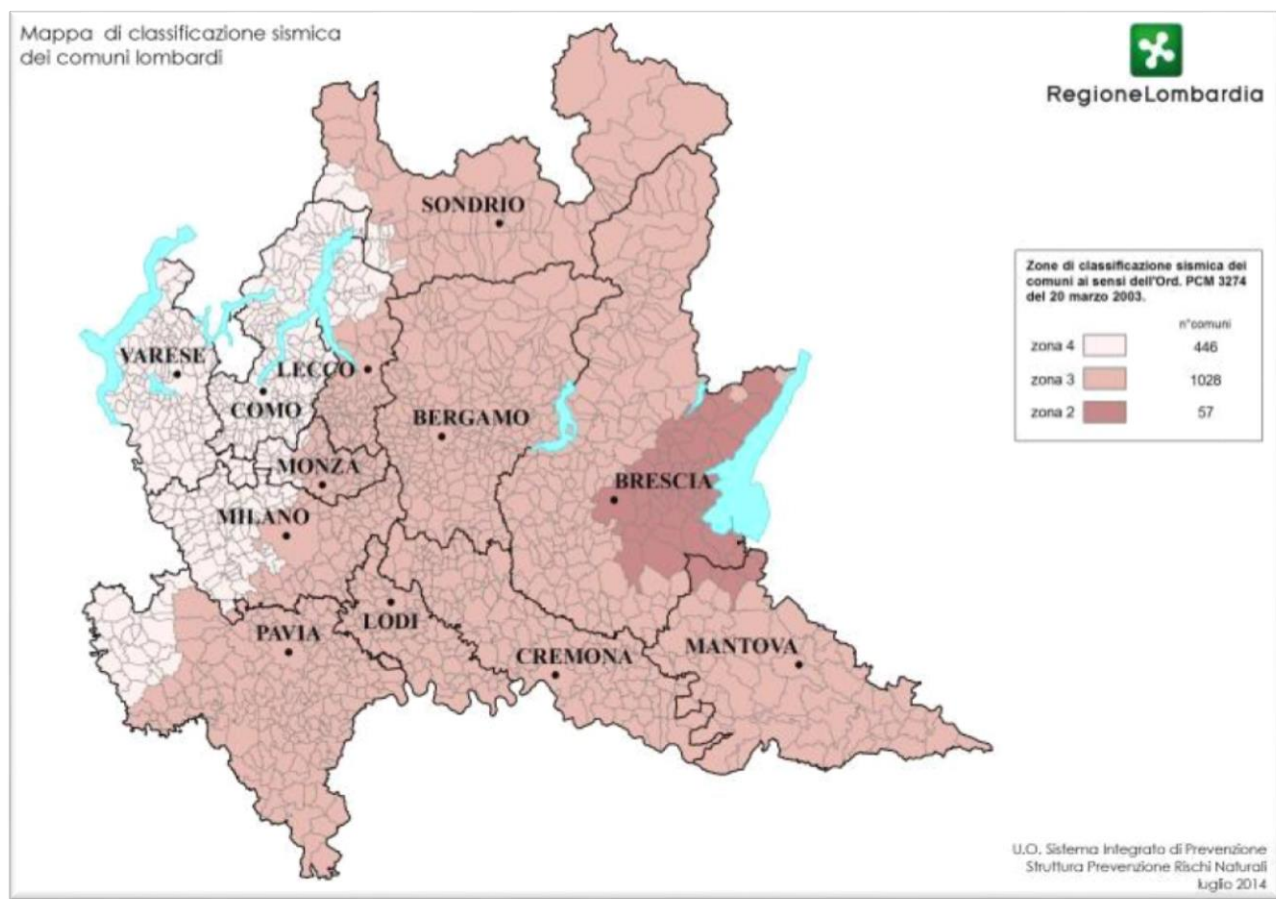


Figura 1 - Mapa di classificazione sismica

Ad oggi quindi è in vigore la nuova zonizzazione. Per quanto concerne il Comune di Mantova si osserva che la vecchia zonizzazione classificava il territorio in Zona 4 mentre quella attuale classifica il territorio comunale in **Zona 3**.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

4.2. Definizione dell'azione sismica

L'azione sismica è definita, per i diversi stati limite, al § 3.2 delle N.T.C. 2008, tenuto conto del periodo di riferimento definito al § 2.4 delle stesse N.T.C. 2008.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , come definite nel § 3.2.1 delle N.T.C. 2008, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4 delle N.T.C. 2008.

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento 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.

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, per le componenti orizzontali, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato.

Per gli stati limite ultimi ai fini del progetto o della verifica, le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, per le componenti orizzontali, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerato, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule (3.2.4 delle N.T.C. 2008) η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

4.3. Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico definisce l'accelerazione che può subire l'edificio a seguito di un evento sismico al variare del proprio periodo. La formulazione matematica dello spettro è definita dalle formule esposte nelle N.T.C. 2008 al § 3.2.2.1:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned} \tag{3.2.4}$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle (3.2.4) inoltre S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_s \cdot S_r,$$

essendo S_s il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_r il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%,

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55,$$

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T^*_C,$$

dove:

C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo e T_b è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C / 3, (3.2.8)$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6.$$

Di seguito si andranno a definire i parametri necessari alla costruzione dello spettro di progetto.

4.4. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Per la struttura in esame, essendo che un suo ipotetico crollo causerebbe l'impossibilità delle movimentazioni della paratoia, quindi l'incapacità del controllo dei livelli idrici dei due laghi, con l'eventuale possibilità di allagamento della città di Mantova si stabilisce una vita nominale **≥ 100 anni**, considerando l'opera avente importanza strategica.

4.5. Classe d'uso e Vita utile

In presenza di azioni sismiche, con le conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in "classi d'uso", e ad ogni classe d'uso è attribuito un "coefficiente d'uso" C_U , necessario ad individuare il periodo di riferimento V_R tramite la formula

$$V_R = V_N \cdot C_U (2.4.1),$$

nel caso in esame si attribuisce alla struttura una classe **d'uso IV**, "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.".

Alla classe d'uso IV è attribuito un coefficiente d'uso pari a 2,0 come indicato in tabella 2.4.II delle N.T.C. 2008.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Perciò il periodo di riferimento V_r è pari a **200 anni**.

4.6. Suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Il suolo di fondazione è classificato, in base alla relazione del Geologo come suolo di **tipo C**.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

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

4.7. Condizioni topografiche

La condizione topografica descrive l'andamento altimetrico del terreno:

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

Per l'edificio in oggetto la categoria è la **T1**.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

4.8. Fattore di struttura

Il valore del fattore di struttura "q" da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene in conto le non linearità di materiale.

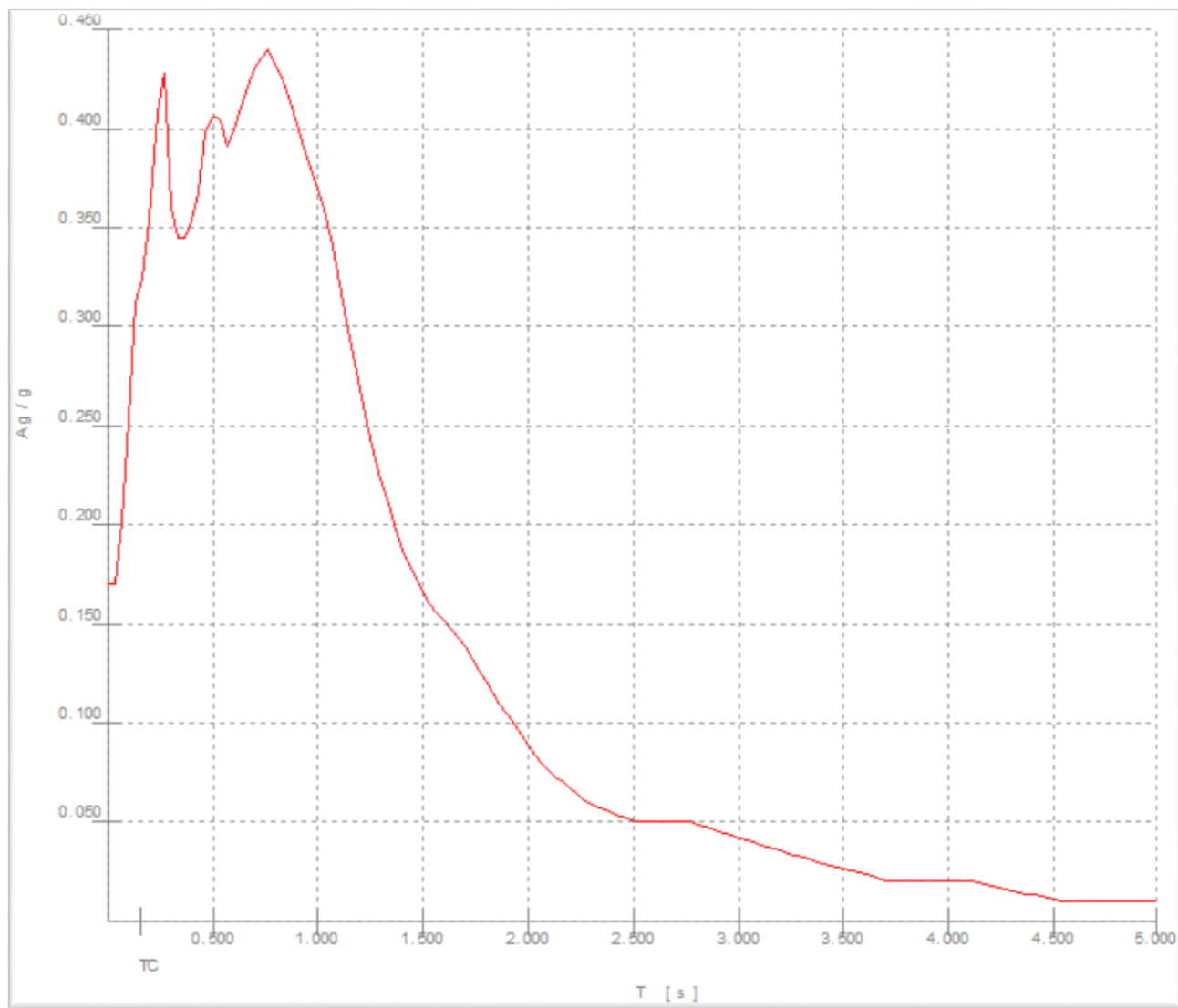
Nell'analisi statica o dinamica con fattore di struttura q è possibile utilizzare lo spettro di progetto che si ottiene dallo spettro elastico riducendone le ordinate con l'uso del fattore di struttura, di fatto scalando l'azione sismica agente sull'edificio; il valore è scelto nel campo fra $2,0\alpha_u/\alpha_1$ e $3,0\alpha_u/\alpha_1$ (α_u/α_1 = rapporto di sovraresistenza della struttura) sulla base della regolarità in pianta e dei tassi di lavoro dei materiali sotto le azioni statiche.

In questa sede, è stato scelto cautelativamente un fattore di struttura **q= 1**.

4.9. Spettri di progetto utilizzati

Gli spettri utilizzati per eseguire le verifiche ai vari stati limite sono definiti in Risposta Sismica Locale e sono stati forniti direttamente dal Geologo a seguito delle prove geologiche eseguite in situ.

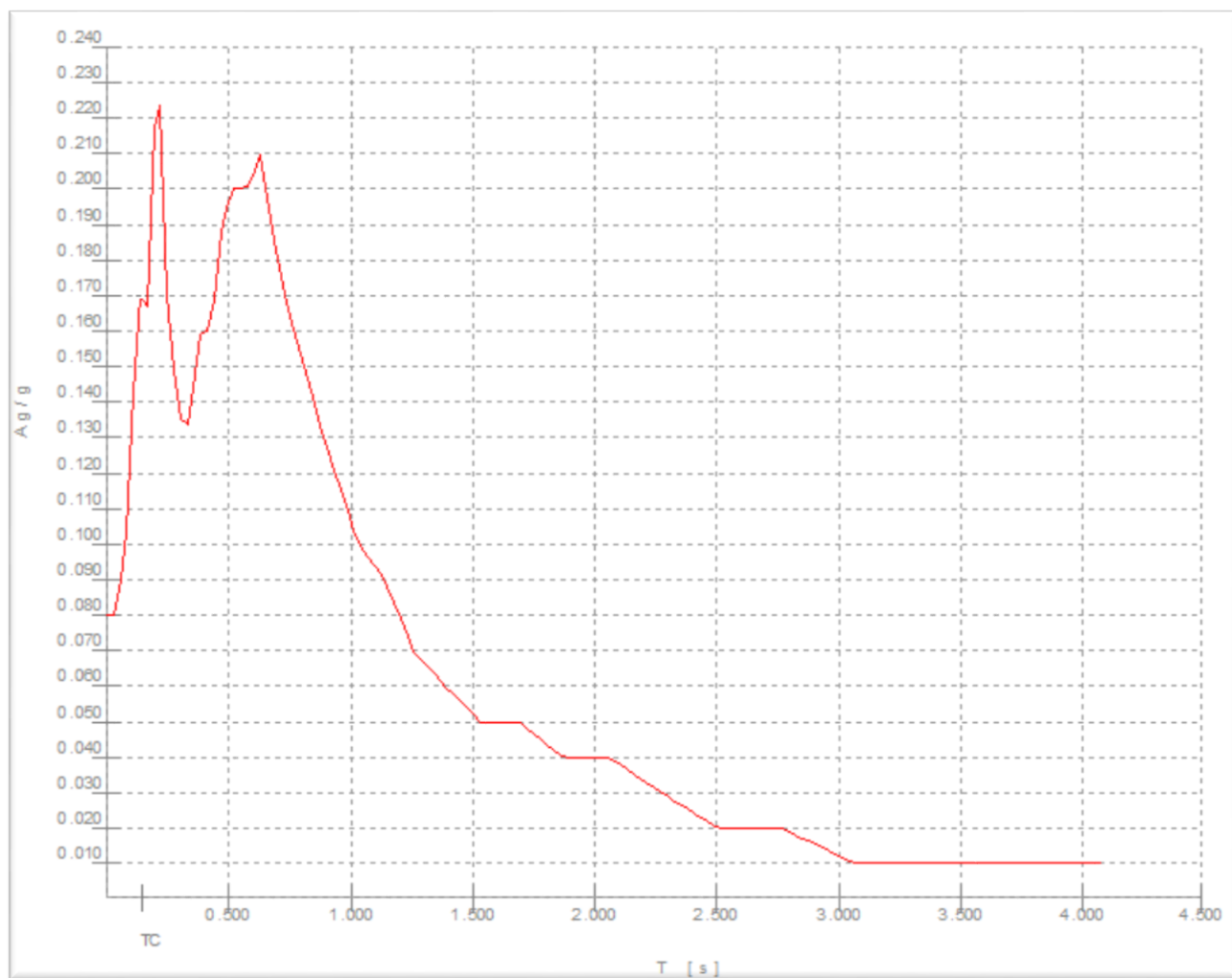
4.9.1. Spettro in risposta sismica locale SLV



VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

4.9.2. Spettro in risposta sismica locale SLO



VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

5. Modalità di verifica

5.1. Stato limite di esercizio

La costruzione ricade in classe d'uso IV pertanto, in rispetto del paragrafo 7.3.7.2 delle NTC2008 "Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali", si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca danni agli elementi costruttivi senza funzione strutturale tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo **SLO** "Stato Limite di Operatività" siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo "stato limite di danno".

In mancanza di più specifiche valutazioni sono consigliati i valori limite di spostamento di interpiano validi per gli edifici nuovi pari **2/3*0.003h** dove h è l'altezza del piano.

a) per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa	
	$d_t < 0,005 h$ (7.3.16)
b) per tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano d_{tp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura:	
	$d_t \leq d_{tp} \leq 0,01 h$ (7.3.17)
c) per costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria	
	$d_t < 0,003 h$ (7.3.18)
d) per costruzioni con struttura portante in muratura armata	
	$d_t < 0,004 h$ (7.3.19)

5.2. Stato limite ultimo

La verifica di stato limite ultimo nei confronti dell'azione sismica è definito come **SLV** "Stato Limite di salvaguardia della Vita". Tale verifica è soddisfatta se 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.

In linea con quanto detto nel paragrafo 7.3.6.1 delle NTC2008 "Per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (Ed), calcolato in generale comprendendo gli effetti delle non linearità geometriche e le regole di gerarchia delle resistenze indicate per le diverse tecniche costruttive, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (Rd)".

Per questo stato limite verranno eseguite inoltre anche le verifiche ai cinematismi locali di collasso, in particolare tenendo conto di due possibili meccanismi locali; il primo è un ribaltamento del setto murario con formazione di cerniera cilindrica al piede e il secondo è un ribaltamento del setto con ammassamento di un cuneo di muratura che si oppone all'azione sismica, apportando un effetto stabilizzante al cinematismo; per entrambe le tipologie di meccanismo verranno esplicitati i valori dell'indicatore di rischio in termini di accelerazione $\alpha(Ag)$ considerando la verifica al suolo [C8A.4.9] e considerando l'amplificazione per verifiche in quota [C8A.4.10].

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

6. Analisi dei carichi

I carichi agenti sul fabbricato sono stati valutati caso per caso in base ai vari sopralluoghi fatti in situ e confrontati con i rilievi eseguiti sull'intera opera. Sostanzialmente sono composti da carichi superficiali, come ad esempio il peso a metro quadro dei solai; carichi puntuali, per modellare il peso della paratoia appoggiata sui muri perimetrali; masse concentrate, per simulare ad esempio le masse delle tramezze, che diventano forze applicate ai muri portanti in corrispondenza di azioni sismiche; e in fine vi sono i pesi propri degli elementi strutturali valutati automaticamente dal software di calco conoscendo le caratteristiche geometriche e peso specifico dei materiali, attribuiti ai vari elementi in oggetto.

I carichi elementari che sono stati inseriti nel modello sono:

DENOMINAZIONE	VALORE	DESCRIZIONE
Carico paratoia	$F_z = 5000 \text{ daN}$	Forza concentrata relativa a un singolo appoggio della paratoia e del relativo castello sul muro perimetrale
Massa solaio locale interno	$M_x = 60 \text{ daN}$	Massa applicata ai singoli nodi in corrispondenza del solaio del locale interno posto a contenimento dei quadri elettrici necessari per il funzionamento della paratoia
Tamponamento ciclabile	$M_x = 400 \text{ daN}$	Massa applicata ai singoli nodi in corrispondenza della parete di delimitazione del tunnel ciclopeditone
Tamponamento ciclabile trave in c.a.	$M_y = 330 \text{ daN}$	Massa applicata ai singoli nodi della trave in c.a. posta a sostegno del solaio del tunnel ciclopeditone
Cornicione	$M_{x-y} = 150 \text{ daN}$	Massa applicata ai singoli nodi in corrispondenza del cornicione a ridosso del solaio di copertura
Carico cornicione	$F_z = 150 \text{ daN}$	Carico verticale applicato ai singoli nodi in corrispondenza del cornicione a ridosso del solaio di copertura
Massa paratoia	$M_{x-y} = 4000 \text{ daN}$	Massa applicata nel punto di ipotetico martellamento della paratoia con la muratura portante in presenza di azioni sismiche
Solaio tunnel ciclopeditone G1	$q = 305 \text{ daN/mq}$	Carico permanente strutturale sul solaio del tunnel ciclopeditone
Solaio tunnel ciclopeditone qk	$q = 50 \text{ daN/mq}$	Carico variabile "Sottotetti accessibili per sola manutenzione"
Solaio copertura G1	$q = 60 \text{ daN/mq}$	Carico permanente strutturale sul solaio di copertura
Solaio copertura qk	$q = 70 \text{ daN/mq}$	Carico permanente portato sul solaio di copertura
Solaio copertura neve	$q = 80 \text{ daN/mq}$	Carico da neve in copertura secondo NTC2008
Muratura tre teste in mattoni pieni e malta di calce	$W = 1800 \text{ daN/mc}$	Peso specifico muratura

Ogni carico sia puntuale che distribuito è stato applicato nella effettiva posizione in cui si trova realmente nell'edificio ed è stato assegnato tramite una condizione elementare di carico, coi relativi coefficienti di combinazione assegnati automaticamente dal software secondo N.T.C. 2008.

6.1. Esempi di carichi – masse applicati

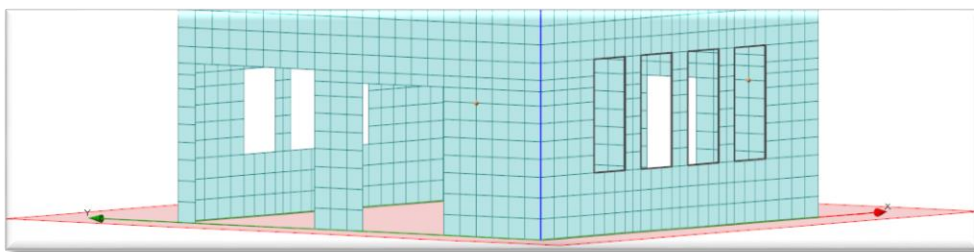


Figura 2 - Masse applicate Paratoia

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

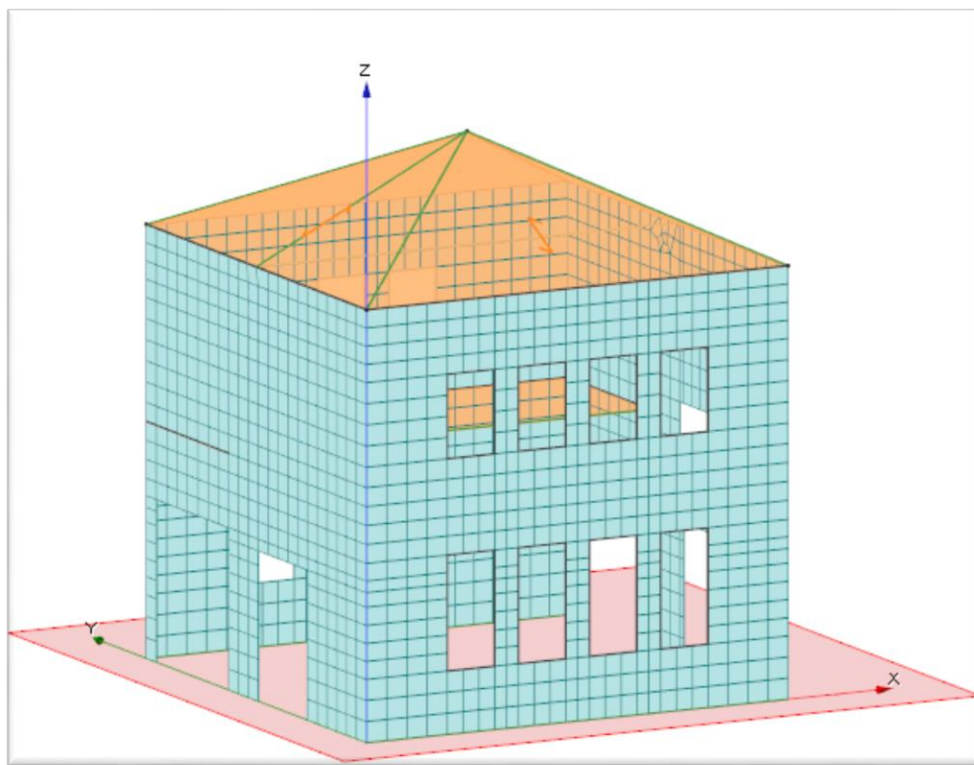


Figura 3 - Carichi distribuiti sui solai

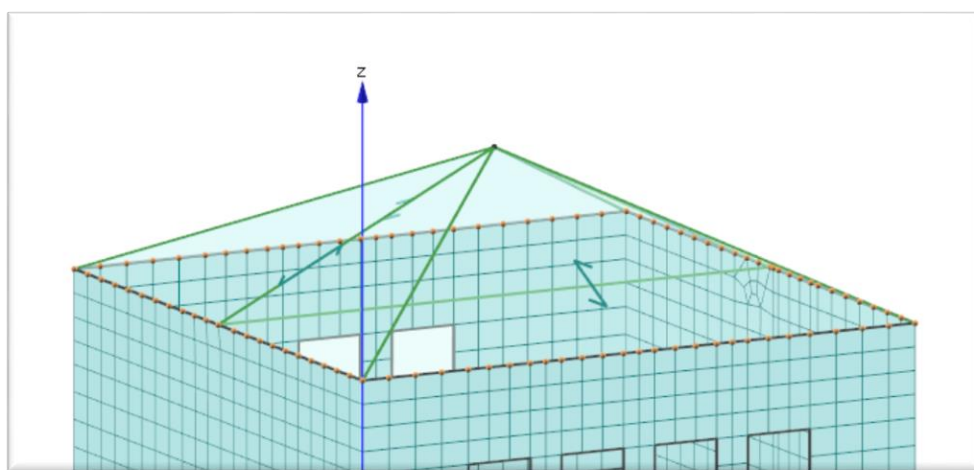


Figura 4 - Masse/carichi applicati al Cornicione

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

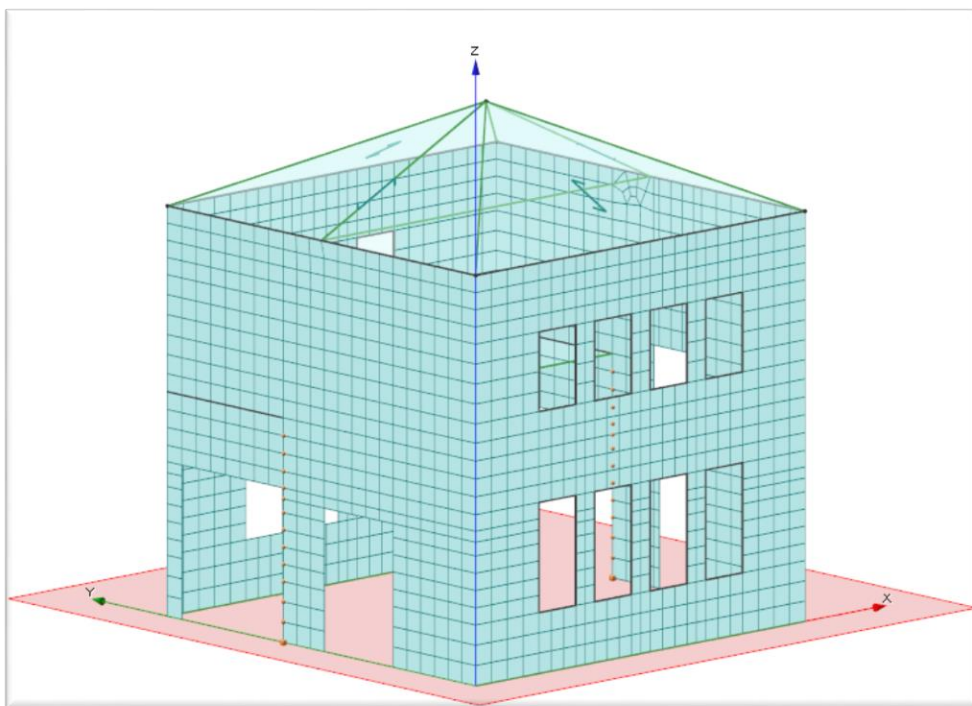


Figura 5 - Masse applicate Tamponamento ciclabile

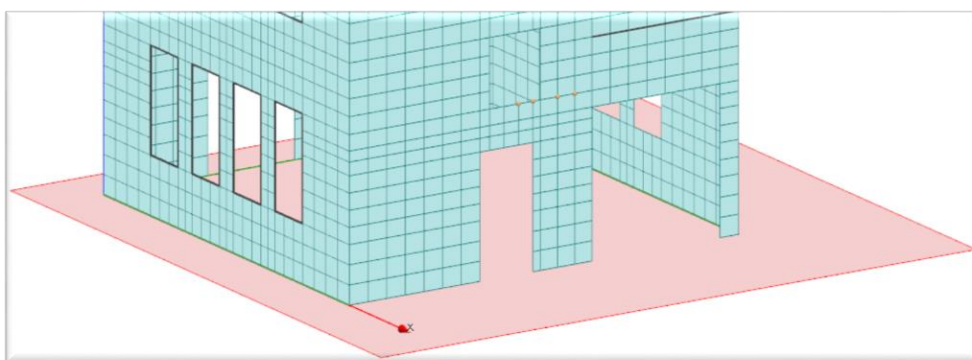


Figura 6 - Masse applicate Solaio locale interno

6.2. Condizioni elementari di carico

Condizioni di carico elementari implementate e relativi coefficienti di combinazione:

COMMENTO	gmin	gmax	y0	y1	y2
D.M. 08 Permanenti strutturali	1	1.3	1	1	1
D.M. 08 Permanenti non strutturali	1	1.5	1	1	1
D.M. 08 Variabili Cat. A Ambienti ad uso residenziale	1	1.5	0.7	0.5	0.3
D.M. 08 Variabili Neve (a quota <= 1000 mslm)	0	1.5	0.5	0.2	0

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

6.3. Combinazione delle azioni

Per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni valgono i criteri di cui al § 3.2.4 delle N.T.C. 2008. Le diverse componenti dell'azione sismica vengono combinate con i criteri riportati al § 7.3.5 delle N.T.C. 2008.

La combinazione sismica è la seguente

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

Le combinazioni per i due stati limite utilizzati sono:

Tipo di combinazione di carico	G1	G2	Variabili	neve	Sisma X	Sisma Y
SLV	1	1	0.3	0	1	0.3
SLO	1	1	0.3	0	1	0.3
SLV	1	1	0.3	0	1	-0.3
SLO	1	1	0.3	0	1	-0.3
SLV	1	1	0.3	0	-1	0.3
SLO	1	1	0.3	0	-1	0.3
SLV	1	1	0.3	0	-1	-0.3
SLO	1	1	0.3	0	-1	-0.3
SLV	1	1	0.3	0	0.3	1
SLO	1	1	0.3	0	0.3	1
SLV	1	1	0.3	0	-0.3	1
SLO	1	1	0.3	0	-0.3	1
SLV	1	1	0.3	0	0.3	-1
SLO	1	1	0.3	0	0.3	-1
SLV	1	1	0.3	0	-0.3	-1
SLO	1	1	0.3	0	-0.3	-1
SLU	1.3	1.5	1.5	1.5	0	0
SLR	1	1	1	1	0	0
SLF	1	1	0.5	0.2	0	0
SLQ	1	1	0.3	0	0	0

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

7. Metodi di analisi e criteri di verifica

Il metodo di calcolo utilizzato è una **analisi sismica lineare dinamica** con fattore di struttura assunto cautelativamente pari all'unità; di conseguenza lo spettro di progetto coinciderà con lo spettro in RSL fornitoci dal Geologo.

7.1. Descrizione dei criteri di modellazione

Il modello di calcolo implementato parte dall'ipotesi di rappresentare le pareti tramite elementi bidimensionali, opportunamente "meshati", vincolati al piede attraverso una cerniera cilindrica che permette la rotazione perpendicolarmente al piano del muro e si oppone agli altri gradi di libertà. Le travi presenti, sostanzialmente la trave in c.a. a sostegno del solaio del tunnel ciclopedonale e le travi in legno costituenti la copertura sono state modellate attraverso elementi beam, a cui sono applicati alle estremità degli svincoli rotazionali in modo da assimilare un vincolo di tipo cerniera; al di sotto dei muri paralleli alla strada sono state modellate le travi in c.a. sulla quale si appoggiano le pareti dell'edificio, mantenendo lo stesso schema di vincolo a cerniera cilindrica. I solai presenti e tutto ciò che grava al di sopra, vengono schematizzati come dei carichi di superficie applicati alle travi.

Ogni elemento è caratterizzato da una geometria uguale a quella reale e dai parametri meccanici individuati tramite le prove eseguite sui campioni di materiale.

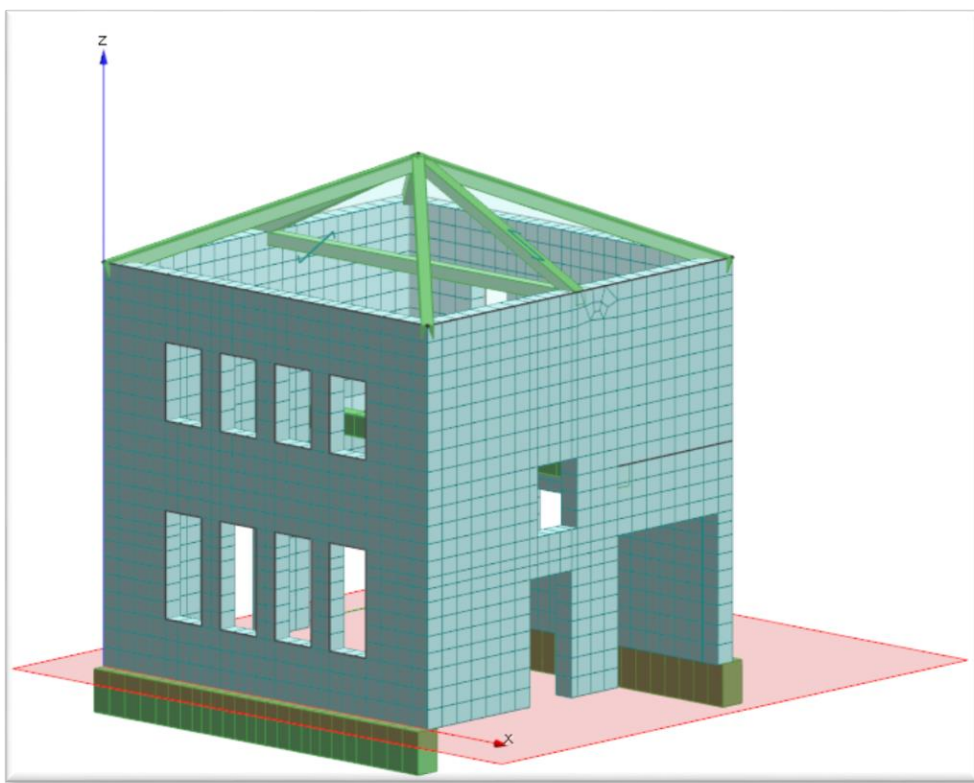


Figura 7 - Modello globale

7.2. Materiali

7.2.1. Murature

La ditta incaricata del rilievo geometrico e materico ci ha restituito i valori meccanici ottenuti a seguito delle prove in laboratorio precedentemente elencate, in particolare, ci sono stati consegnati direttamente i valori caratteristici dei vari componenti dell'elemento muratura, individuati a partire dai risultati delle prove eseguite e trattati mediante formule sperimentali riconosciute nei lavori di ricerca in merito alla classificazione dei materiali di importanti atenei italiani.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Successivamente, i valori caratteristici ottenuti sono stati trattati come suggerito nelle N.T.C. 2008 al paragrafo 10.11 per ottenere i valori di progetto:

DESCRIZIONE	tk-fvk0	sk-fk	fbk*	E	G
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	3.2 daN/cm ²	83.7 daN/cm ²	242.8 daN/cm ²	15000 daN/cm ²	5000 daN/cm ²

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

tk-fvk0: resistenza a taglio.

sk-fk: resistenza a compressione.

fbk*: resistenza a compressione per forze orizzontali.

E: modulo elastico.

G: modulo elastico tangenziale.

7.3. Legno e calcestruzzo

I materiali legno e calcestruzzo sono utilizzati esclusivamente per elementi monodimensionali quali travi di copertura e travi di sostegno dei muri o solai; non essendo definibili come elementi sismoresistenti sono stati modellati con le esatte geometrie e posizioni reali, in modo da avere inerzie effettive e quindi verosimili trasferimenti di azioni, ma non essendo eseguite delle verifiche di resistenza su di esse non sono state modellate con le effettive caratteristiche meccaniche.

7.4. Valutazione dell'indicatore di rischio sismico

Per valutare la capacità dell'edificio di resistere ad azioni sismiche si definiscono due tipi di indicatori di rischio:

- il primo dato dal rapporto fra capacità e domanda in termini di **PGA** (parametro richiamato anche nelle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008") che esprime quindi il rapporto tra l'accelerazione al suolo che l'edificio è in grado di sopportare e l'accelerazione al suolo massima di progetto;
- il secondo espresso dall'analogo rapporto fra i periodi di ritorno dell'azione sismica (**itr**).

Il primo rapporto è concettualmente lo stesso utilizzato come indicatore di rischio per le verifiche sismiche effettuate per l'Annualità 2004, quindi in coerenza con gli Allegati all'Ordinanza 3274/03 e s.m.i. e con il Decreto del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 3685/03. Tale indicatore, nel nuovo quadro normativo di riferimento determinatosi con le nuove N.T.C. 2008, non è sufficiente a descrivere compiutamente il rapporto fra le azioni sismiche, vista la maggiore articolazione della definizione di queste ultime. Esso, tuttavia, continua a rappresentare una "scala di percezione" del rischio, ormai largamente utilizzata e con la quale è bene mantenere una affinità.

Viene quindi introdotto il secondo rapporto, fra i periodi di ritorno di Capacità e Domanda. Quest'ultimo, però, darebbe luogo ad una scala di rischio molto diversa a causa della conformazione delle curve di pericolosità (accelerazione o ordinata spettrale in funzione del periodo di ritorno), che sono tipicamente concave. Al fine di ottenere una scala di rischio simile alla precedente, quindi, il rapporto fra i periodi propri viene elevato ad un coefficiente " **α** " = **1/2,43** ottenuto dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale. Valori prossimi o superiori all'unità caratterizzano casi in cui il livello di rischio è prossimo a quello richiesto dalle norme; valori bassi, prossimi a zero, caratterizzano casi ad elevato rischio.

Secondo il Decreto Ministeriale del 21 Ottobre del 2003 "Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2,3,e 4 , dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003, n. 3274 , recante - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" si effettueranno delle analisi con PGA unitaria e si calcoleranno i moltiplicatori dell'accelerazione che provocano le diverse tipologie di collasso; attraverso questi moltiplicatori era possibile calcolare come rapporto diretto gli indicatori di rischio sismico; il rapporto diretto tra accelerazione che attiva la data modalità di collasso e l'accelerazione di riferimento del dato stato limite era possibile in quanto le forme spettrali erano definite attraverso dei punti notevoli fissi in ascissa e cioè TB, TC, TD a seconda della categoria del suolo.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Le forme spettrali definite nel D.M. 14.01.2008 cambiano invece oltre che al variare del sito e della categoria del suolo, anche in relazione al periodo di ritorno di riferimento per cui cambiano anche per un medesimo spettro i parametri TB, TC, TD da cui dipendono i parametri ag/g , F_0 e T_c^* che servono per definire tali forme spettrali che non risulteranno più essere omotetiche per i diversi stati limite.

Per trovare la capacità in termini di accelerazione il software di calcolo utilizzato adotta un processo iterativo per cui una volta trovato il moltiplicatore delle azioni sismiche α che attiva un dato stato limite, deve essere soddisfatta la seguente disequazione:

$$S_e(T_R, C, T_1, q) > \alpha S_e(T_R, D, T_1, q)$$

dove

T_R, D è il periodo di ritorno di riferimento per il dato stato limite (SLO, SLD e SLV);

T_1 è il periodo proprio del sistema derivante dall'analisi;

q è il fattore di struttura;

α è il moltiplicatore che attiva la "modalità di rottura" oggetto della verifica,

T_R, C è il periodo di ritorno ricercato che è l'incognita della disequazione precedente.

Si procede variando per tentativi T_R, C tra un valore minimo pari a $T_R=0$ ed un valore massimo di 2475 anni fino al soddisfacimento della disequazione. La valutazione della accelerazione spettrale per tempi di ritorno minori di 30 anni viene effettuata supponendo una variazione lineare di ag/g tra 0 ed il valore relativo a 30 anni adottando i valori di F_0 e T_c^* relativi a 30 anni. Si ponga attenzione che l'accelerazione spettrale $S_e(T_R, D, T_1, q)$ è univocamente definita dal sito, dalla categoria del suolo e dal periodo di riferimento mentre nel calcolo di $S_e(T_R, C, T_1, q)$ variano anche i parametri ag/g , F_0 e T_c^* che definiscono lo spettro al variare di T_R, C .

Quindi per determinare la capacità resistente viene svolta la modellazione geometrica e meccanica dell'edificio con un software agli elementi finiti definendo le dimensioni e i vincoli degli elementi strutturali e l'applicazione delle forze gravitazionali e sismiche, in funzione del sito in cui sorge l'immobile; con una valutazione numerica interna al software di calcolo, descritta in precedenza, l'azione sismica è stata rapportata alla capacità resistente del singolo elemento, infine è stata identificata quale accelerazione sismica determina quello stato di sollecitazione.

Infine, la vulnerabilità dell'edificio è pari al più piccolo dei valori di iPGA determinato per ogni singolo elemento strutturale sismoresistente.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

8. Modellazione e verifiche degli elementi sismoresistenti

Il modello agli elementi finiti che è stato implementato descrive il comportamento dell'edificio sottoposto ad azioni gravitazionali (verticali) e sismiche (orizzontali) mettendo in evidenza i soli elementi sismoresistenti; in particolare si tratta di un edificio a struttura in muratura ordinaria con funzione di elemento sismoresistente (maschi murari), travi e solai non rigidi che riportano i carichi verticali agli elementi sismoresistenti.

Le pareti in muratura sono state inserite con le caratteristiche geometriche e meccaniche effettive, e di questi elementi sono poi state eseguite le verifiche di norma.

Un elemento molto importante per valutare le sollecitazioni negli elementi sismoresistenti sono le quote a cui sono applicati i carichi, sia per quanto concerne la valutazione dinamica dell'edificio sia per la corretta valutazione del braccio delle azioni sismiche; i maschi murari sono stati modellati come elementi continui dalla quota del pavimento, dove sono stati applicati i vincoli esterni, fino alla quota di innesto delle travi di copertura a circa 7.45 metri di altezza; lo spessore è uniforme lungo tutto il maschio murario ed è pari a 38 centimetri.

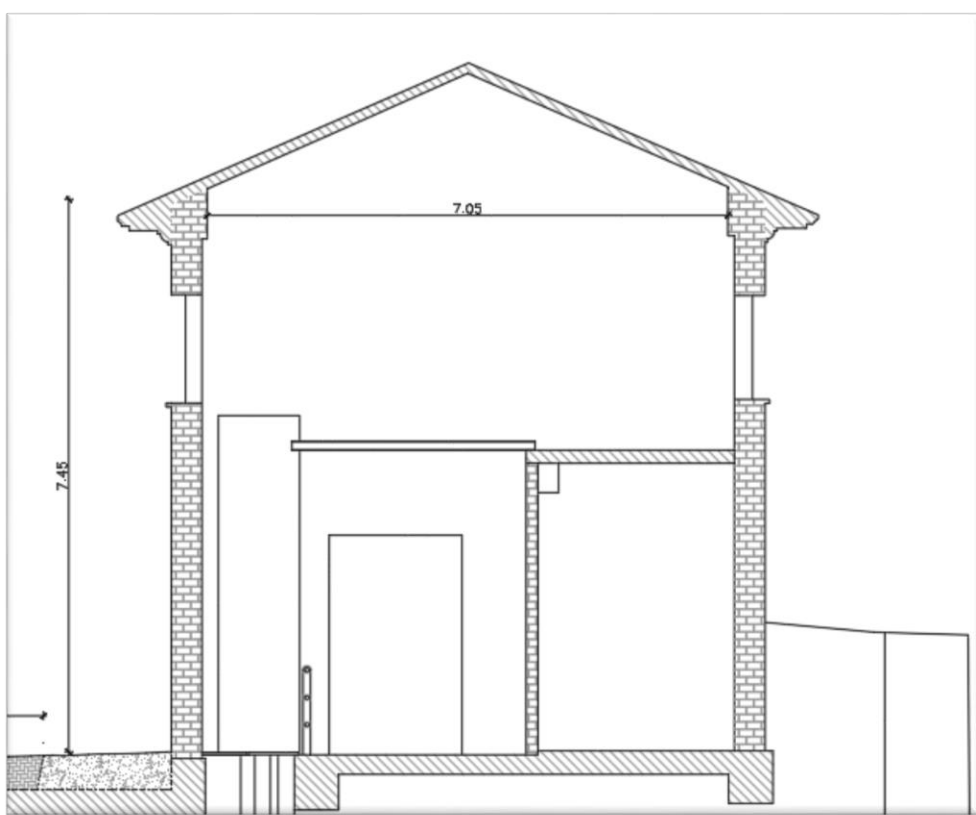


Figura 8 - Sezione trasversale

8.1. Verifiche sugli elementi sismoresistenti

Le verifiche svolte si dividono in due tipologie, le verifiche di **stato limite ultimo** e le verifiche di **stato limite di esercizio**.

Le verifiche di stato limite ultimo sono fatte con combinazione di calcolo **SLV** e valutano i meccanismi locali di collasso e i meccanismi di rottura per **taglio**, **pressoflessione nel piano** e **pressoflessione fuori dal piano**; queste sono anche dette verifiche di resistenza ovvero individuano la sollecitazione ultima dell'elemento e la confrontano con l'azione di progetto. Molto utile è la valutazione dei Tassi di Sfruttamento, cioè rapporti tra le sollecitazioni ammesse e quelle richieste che ci danno in maniera immediata la percezione del tasso di lavoro degli elementi strutturali; banalmente uno sfruttamento al di sotto dell'unità ci porta ad avere verifiche positive, mentre un rapporto maggiore di uno è sintomo di non verifiche.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

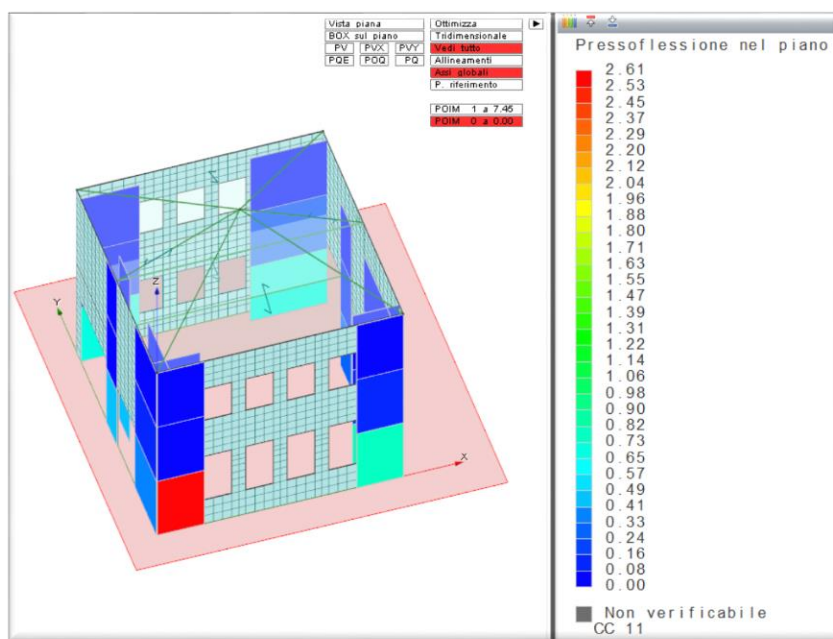
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Le verifiche allo stato limite di esercizio sono fatte con combinazione di calcolo **SLO**, sono verifiche di spostamento, ossia si valuta lo spostamento dei nodi strutturali del modello a cui sono state applicate le sollecitazioni di progetto per quel determinato stato limite e si confrontano con gli spostamenti massimi ammissibili da normativa.

Infine per la valutazione di vulnerabilità sismica verrà calcolato l'indice di rischio globale della struttura sia in termini di accelerazione che di tempo di ritorno. Anche in questo caso valori dell'indice di rischio inferiori all'unità significano che l'elemento non risulta verificato per eventi sismici di intensità pari quelli di progetto. Diversamente, valori dell'indice di rischio maggiori dell'unità stanno a indicare che l'elemento può resistere a sollecitazioni maggiori rispetto a quelle di progetto.

Successivamente verranno riportate le verifiche più gravose degli elementi strutturali.

8.1.1. Tassi di sfruttamento globali a pressoflessione nel piano

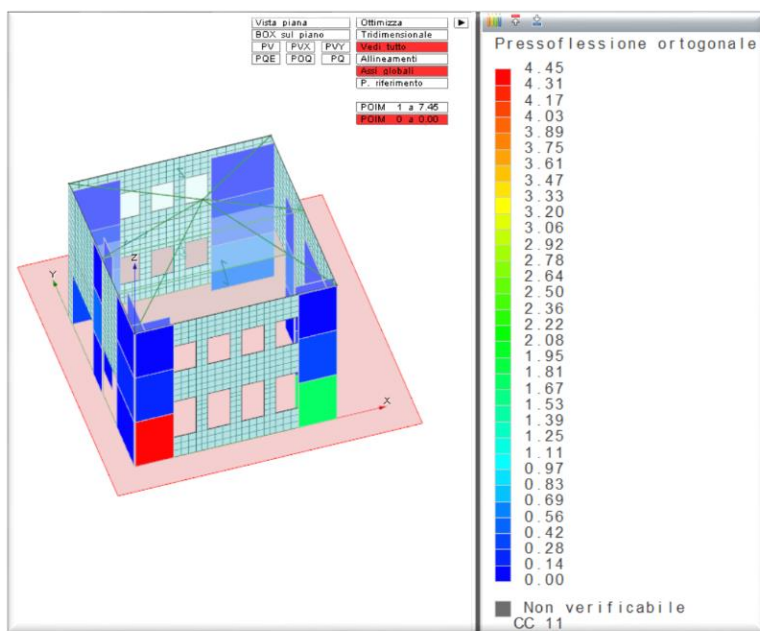


Come si può vedere dall'immagine nella verifica a pressoflessione nel piano otteniamo un tasso di sfruttamento massimo pari a 2.61, quindi otteniamo una **non verifica**. Inoltre sono presenti maschi murari "non verificabili" in quanto sottoposti a sollecitazioni di trazione.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

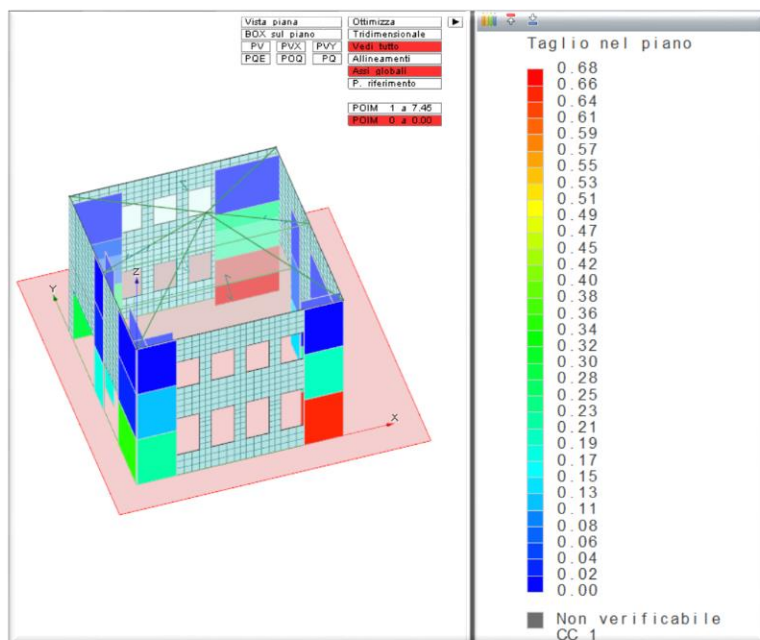
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

8.1.2. Tassi di sfruttamento globali a pressoflessione fuori dal piano



Come si può vedere dall'immagine nella verifica a pressoflessione fuori dal piano otteniamo un tasso di sfruttamento massimo pari a 4.45, quindi otteniamo una **non verifica**. Inoltre sono presenti maschi murari "non verificabili" in quanto sottoposti a sollecitazioni di trazione.

8.1.3. Tassi di sfruttamento globali a taglio nel piano



VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

Come si può vedere dall'immagine nella verifica a taglio nel piano otteniamo un tasso di sfruttamento massimo pari a 0.68, quindi otteniamo una **verifica positiva** per questo tipo di sollecitazione. Anche in questo caso sono presenti in alcune combinazioni di carico maschi murari "non verificabili" in quanto sottoposti a sollecitazioni di trazione.

8.1.4. Indicatori di rischio globali della struttura

Successivamente viene riportato il valore dell'indice di vulnerabilità globale della struttura, in particolare viene preso il valore minimo, tra tutte le combinazioni di carico e per l'elemento strutturale maggiormente sollecitato.

TCC= Tipo di combinazione di carico

PGA_D= Accelerazione al suolo (domanda)

PGA_C= Accelerazione al suolo (capacità)

α (A_g)= Indicatore di rischio in termini di accelerazione

T_{R,D}= Periodo di ritorno (domanda)

T_{R,C}= Periodo di ritorno (capacità)

PVRC= Capacità di probabilità di superamento dell'azione sismica

α (T_R)= Indicatore di rischio in termini di periodo di ritorno

TCC	PGAD <g>	PGAC <g>	α (A _g)	T _{R,D}	T _{R,C}	PVRC	α (T _R)
SLV	0.138	0.065	0.468	848	109	84.00	0.431

Come si può vedere si ottiene un Indicatore di Rischio in accelerazione pari a **0.468**, e un Indicatore di Rischio in periodo di ritorno pari a **0.431**; ciò significa che l'elemento maggiormente sollecitato va in crisi con una accelerazione sismica pari a circa la metà di quella di progetto; la precarietà della struttura è evidenziata anche dalla PVRC, che rappresenta la probabilità di superamento dell'azione sismica nel periodo di riferimento considerato, che restituisce un valore elevato pari al **84%**.

8.1.5. Verifiche agli Stati limite di esercizio

Come precedentemente accennato nel caso delle costruzioni civili e industriali questa verifica si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti interpianto ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo **SLO** "Stato Limite di Operatività" siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo stato limite di danno.

In mancanza di più specifiche valutazioni sono consigliati i valori limite di spostamento di interpianto validi per gli edifici nuovi pari **2/3*0.003h** dove h è l'altezza del piano.

Essendo un edificio ad un piano solo h rappresenta l'altezza dei maschi murari, pari a 7.45 metri, di conseguenza il valore limite di spostamento è pari a 2/3*0.003*745= 1.49 cm.

Eseguendo un controllo su tutti gli spostamenti nodali otteniamo uno spostamento massimo a quota 7.45 metri in X= 1.165 centimetri e in Y= 0.983 centimetri, inferiore al limite per ottenere **verifiche positive**.

8.1.6. Verifiche cinematici di collasso

Vengono riportate le verifiche eseguite sui cinematici locali di collasso sugli elementi in muratura:

Num.	Comm.	An.	TCC	α (A _g)
1	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4491
1	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4835
1	Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	2.1085
1	Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	2.2698
2	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4491
2	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4834
2	Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	2.1120
2	Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	2.2735
3	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4502
3	Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4846
3	Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.9601

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

3Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	2.1099
4Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4518
4Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4864
4Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.7953
4Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.9326
5Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4508
5Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4825
5Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.6266
5Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.7410
6Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4627
6Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4953
7Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4523
7Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4841
7Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.5015
7Ribalt. a z=0.00 ammors. a z=0.00	L	SLV	1.6071
8Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4628
8Ribalt. a z=0.00	L	SLV	0.4953

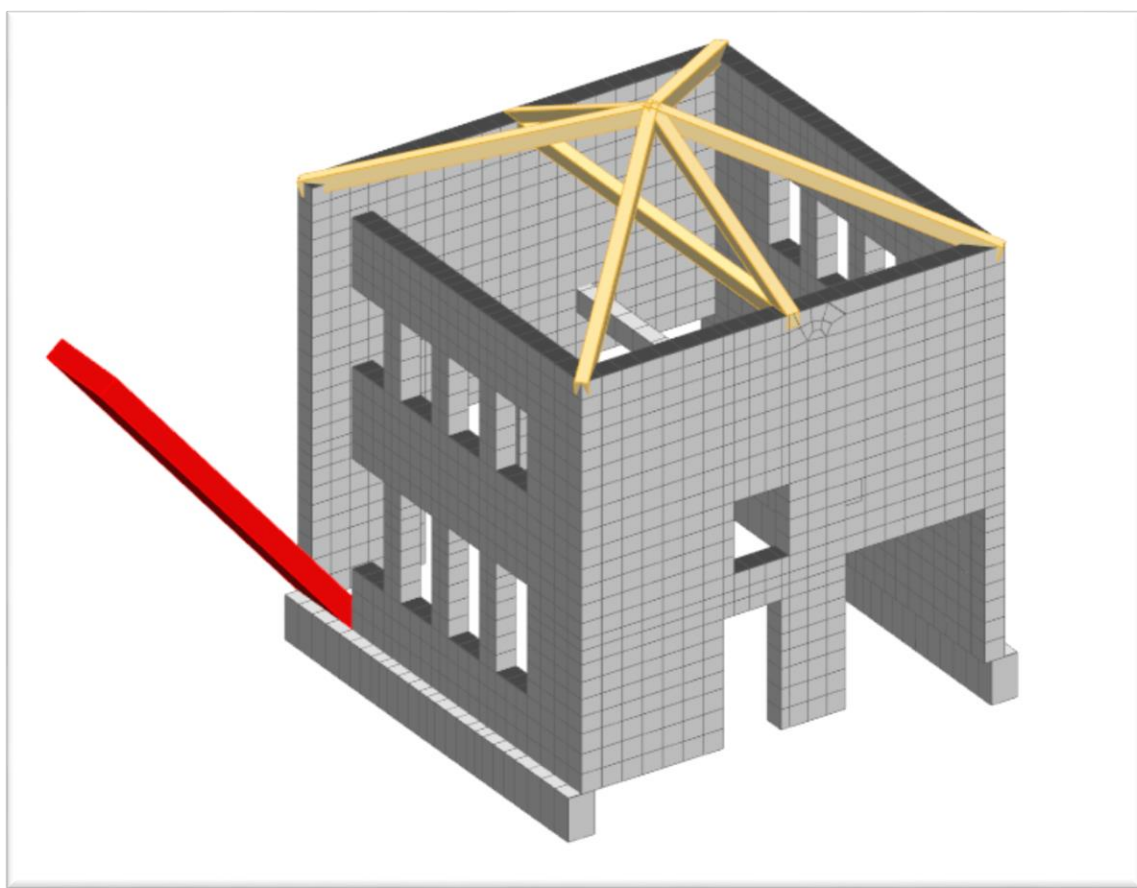


Figura 9 - Cinematismo maschio n.1

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

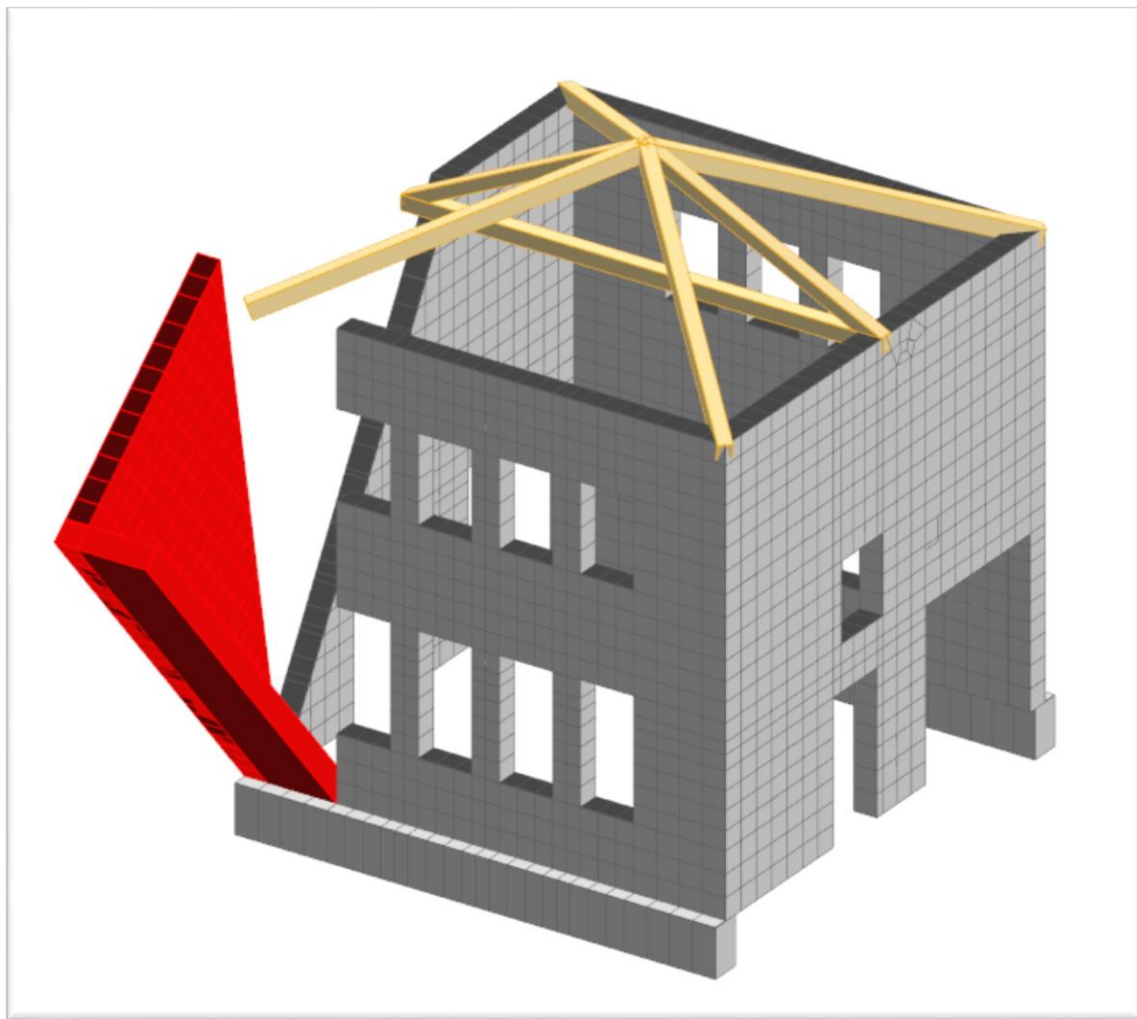


Figura 10 - Cinematismo con ammortamento maschio n.1

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

8.2. Verifiche restituite dal software di calcolo

 Z_i = Coordinata Z iniziale

 Z_f = Coordinata Z finale

 CC = Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari

 Z_v = Coordinata Z di verifica

 N = Sforzo normale

 M_v = Momento flettente dovuto al vento o al sisma

 N_u = Sforzo normale ultimo

 M_u = Momento ultimo

 V_{Ed} = Taglio agente

 V_u = Taglio ultimo

Maschio in muratura ordinaria n. 1

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Z_v <m>	N <daN>	M_v <daNm>	N_u <daN>	M_u <daNm>
1	0.00	-4569.05	615.79	-243316.00	848.94
	3.73	-5873.22	-278.13	-243316.00	1084.22
3	0.00	-10325.30	1272.85	-243316.00	1863.87
	3.73	-6225.36	-403.64	-243316.00	1147.21
5	0.00	-10041.90	-973.13	-243316.00	1815.32
	3.73	-9100.42	357.94	-243316.00	1653.00
7	0.00	-15798.20	-316.08	-243316.00	2772.36
	3.73	-9452.56	232.43	-243316.00	1713.90
9	0.00	231.14	-706.89	0.00	0.00
	3.73	-6591.90	90.92	-243316.00	1212.54
11	0.00	-1410.70	-1183.57	-243316.00	266.21
	3.73	-7560.06	281.74	-243316.00	1383.91
13	0.00	-18956.50	1483.29	-243316.00	3271.61
	3.73	-7765.72	-327.45	-243316.00	1420.08
15	0.00	-20598.40	1006.61	-243316.00	3523.90
	3.73	-8733.88	-136.63	-243316.00	1589.36
17	0.00	-14251.00	206.74	---	2521.11
	3.73	-11102.20	-28.63	---	1996.18

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Z_v <m>	N <daN>	M_v <daNm>	M_u <daNm>	V_{Ed} <daN>	V_u <daN>
1	0.00	-4569.05	-21.52	3418.10	2415.91	10717.70
	3.73	-5873.22	-1516.80	4365.42	1282.29	11088.60
3	0.00	-10325.30	-1959.45	7504.54	2255.64	12270.60
	3.73	-6225.36	-1147.98	4619.05	813.78	11186.70
5	0.00	-10041.90	-7774.82	7309.03	7127.51	12198.80
	3.73	-9100.42	1399.63	6655.49	2232.91	11957.10
7	0.00	-15798.20	-9712.75	11162.40	6967.24	13583.40
	3.73	-9452.56	1768.45	6900.71	1764.40	12048.10
9	0.00	231.14	-474.26	0.00	4251.96	---
	3.73	-6591.90	-926.34	4882.08	2161.61	11287.80
11	0.00	-1410.70	-2800.25	1071.83	5665.44	9761.31
	3.73	-7560.06	-51.41	5572.04	2446.79	11550.70
13	0.00	-18956.50	-6934.02	13172.50	3717.71	14286.20
	3.73	-7765.72	303.07	5717.71	599.90	11605.80
15	0.00	-20598.40	-9260.01	14188.30	5131.19	14638.20
	3.73	-8733.88	1178.00	6399.26	885.09	11861.60
17	0.00	-14251.00	-6649.39	10150.80	6368.00	13225.50
	3.73	-11102.20	62.66	8037.26	1984.13	12465.40

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

Maschio in muratura ordinaria n. 2

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

C	Zv	N	Mv	Nu	Mu
C	<m>	<daN>	<daNm>	<daN>	<daNm>
1	0.00	-3931.79	-947.42	-241726.00	732.74
	3.73	-7847.03	205.55	-241726.00	1434.00
3	0.00	-8812.79	-445.97	-241726.00	1602.61
	3.73	-8676.94	321.57	-241726.00	1579.00
5	0.00	-8822.18	693.16	-241726.00	1604.24
	3.73	-4933.12	-383.63	-241726.00	914.79
7	0.00	-13703.20	1194.61	-241726.00	2429.96
	3.73	-5763.03	-267.60	-241726.00	1064.26
9	0.00	51.08	-958.24	0.00	0.00
	3.73	-5858.94	-136.03	-241726.00	1081.46
11	0.00	-1416.04	-466.06	-241726.00	267.19
	3.73	-4984.77	-312.78	-241726.00	924.13
13	0.00	-16218.90	713.26	-241726.00	2838.35
	3.73	-8625.30	250.72	-241726.00	1570.01
15	0.00	-17686.00	1205.43	-241726.00	3071.10
	3.73	-7751.13	73.97	-241726.00	1417.16
17	0.00	-12372.90	172.12	---	2209.29
	3.73	-9922.26	-39.82	---	1794.19

Verifiche per azioni nel piano:

C	Zv	N	Mv	Mu	Ved	Vu
C	<m>	<daN>	<daNm>	<daNm>	<daN>	<daN>
1	0.00	-3931.79	7420.25	2930.98	6721.84	10470.50
	3.73	-7847.03	-1573.38	5735.98	2332.96	11565.20
3	0.00	-8812.79	8912.43	6410.45	6984.63	11819.60
	3.73	-8676.94	-1712.90	6315.99	1846.38	11784.20
5	0.00	-8822.18	16.31	6416.97	2204.17	11822.10
	3.73	-4933.12	1248.47	3659.16	1412.92	10761.10
7	0.00	-13703.20	1508.50	9719.85	2466.96	13032.00
	3.73	-5763.03	1108.95	4257.06	926.34	10996.10
9	0.00	51.08	3087.99	0.00	4834.06	---
	3.73	-5858.94	-422.96	4325.82	2578.62	11022.90
11	0.00	-1416.04	866.81	1068.77	3478.76	9702.14
	3.73	-4984.77	423.60	3696.51	2302.60	10775.80
13	0.00	-16218.90	8061.93	11353.40	5710.04	13613.70
	3.73	-8625.30	-888.02	6280.05	956.70	11770.70
15	0.00	-17686.00	5840.75	12284.40	4354.74	13941.70
	3.73	-7751.13	-41.47	5668.63	680.68	11539.60
17	0.00	-12372.90	6098.24	8837.14	6234.44	12713.70
	3.73	-9922.26	-209.34	7176.76	2135.02	12105.30

Maschio in muratura ordinaria n. 3

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv	N	Mv	Nu	Mu
	<m>	<daN>	<daNm>	<daN>	<daNm>
1	0.00	-15505.60	1349.77	-302157.00	2768.20
	3.73	-9892.00	-425.54	-302157.00	1807.09
3	0.00	-11952.50	487.40	-302157.00	2165.29
	3.73	-8440.47	-665.34	-302157.00	1550.99
5	0.00	-28014.00	13.00	-302157.00	4742.09
	3.73	-16469.10	877.42	-302157.00	2928.47
7	0.00	-24460.90	-849.38	-302157.00	4204.94
	3.73	-15017.50	637.62	-302157.00	2686.49
9	0.00	-24028.80	1888.01	-302157.00	4138.33
	3.73	-13887.40	310.27	-302157.00	2495.94
11	0.00	-27781.30	1486.98	-302157.00	4707.48
	3.73	-15860.60	701.16	-302157.00	2827.41
13	0.00	-12185.20	-986.58	-302157.00	2205.35
	3.73	-9048.99	-489.08	-302157.00	1658.73
15	0.00	-15937.70	-1387.61	-302157.00	2840.26

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

	3.73	-11022.10	-98.19	-302157.00	2004.33
17	0.00	-27744.50	337.21	---	4702.01
	3.73	-17805.10	155.31	---	3148.44

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-15505.60	-6083.11	13841.00	4433.90	15901.60
1	3.73	-9892.00	-1414.21	9035.46	730.84	14478.60
3	0.00	-11952.50	-4384.85	10826.40	3938.71	15016.60
3	3.73	-8440.47	-1255.49	7754.93	938.88	14087.30
5	0.00	-28014.00	-17978.20	23710.50	12284.30	18686.70
5	3.73	-16469.10	-691.71	14642.40	2223.95	16133.30
7	0.00	-24460.90	-16280.00	21024.70	11789.10	17939.60
7	3.73	-15017.50	-533.00	13432.50	2431.99	15783.00
9	0.00	-24028.80	-12227.70	20691.70	7759.27	17846.60
9	3.73	-13887.40	-1346.50	12479.70	1010.71	15504.90
11	0.00	-27781.30	-15796.20	23537.40	10114.40	18638.70
11	3.73	-15860.60	-1129.75	14137.00	1458.64	15987.40
13	0.00	-12185.20	-6566.85	11026.70	6108.60	15076.20
13	3.73	-9048.99	-817.46	8293.66	1704.19	14252.60
15	0.00	-15937.70	-10135.40	14201.30	8463.72	16006.00
15	3.73	-11022.10	-600.71	10021.60	2152.12	14776.10
17	0.00	-27744.50	-15331.30	23510.00	11049.20	18631.10
17	3.73	-17805.10	-1510.57	15742.20	1980.77	16449.10

Maschio in muratura ordinaria n. 4

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Nu <daN>	Mu <daNm>
1	0.00	-29043.00	-118.64	-397575.00	5043.93
	3.73	-18152.40	1068.08	-397575.00	3263.70
3	0.00	-25278.30	-1230.76	-397575.00	4443.61
	3.73	-16208.70	665.45	-397575.00	2931.94
5	0.00	-15802.20	1788.22	-397575.00	2862.02
	3.73	-11239.00	-408.58	-397575.00	2064.38
7	0.00	-12037.40	676.09	-397575.00	2205.64
	3.73	-9295.22	-811.21	-397575.00	1717.51
9	0.00	-28800.90	1846.24	-397575.00	5005.81
	3.73	-18000.40	1020.99	-397575.00	3237.90
11	0.00	-24828.70	2418.30	-397575.00	4370.85
	3.73	-15926.40	577.99	-397575.00	2883.40
13	0.00	-16251.80	-1860.84	-397575.00	2939.34
	3.73	-11521.30	-321.12	-397575.00	2114.41
15	0.00	-12279.50	-1288.79	-397575.00	2248.33
	3.73	-9447.25	-764.12	-397575.00	1744.80
17	0.00	-28525.80	371.97	---	4962.40
	3.73	-19634.20	189.66	---	3513.75

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-29043.00	28124.60	33183.80	15543.50	22920.40
1	3.73	-18152.40	4090.56	21471.70	5155.38	20371.20
3	0.00	-25278.30	25304.50	29234.30	14871.50	22072.50
3	3.73	-16208.70	3493.78	19289.10	5465.93	19881.90
5	0.00	-15802.20	9544.77	18829.10	5232.87	19778.00
5	3.73	-11239.00	2253.44	13581.50	949.03	18572.20
7	0.00	-12037.40	6724.61	14510.80	4560.92	18788.80
7	3.73	-9295.22	1656.67	11299.40	1259.58	18034.20
9	0.00	-28800.90	24911.90	32932.90	12718.70	22866.80
9	3.73	-18000.40	4143.80	21302.00	3320.86	20333.30
11	0.00	-24828.70	19337.90	28755.60	9625.53	21969.00
11	3.73	-15926.40	3592.66	18969.70	2058.95	19809.80

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

13	0.00	-16251.80	15511.30	19337.70	10478.90	19892.80
13	3.73	-11521.30	2154.56	13910.60	4356.01	18649.10
15	0.00	-12279.50	9937.38	14791.60	7385.69	18854.00
15	3.73	-9447.25	1603.42	11478.90	3094.11	18076.80
17	0.00	-28525.80	23930.30	32647.40	13672.70	22805.70
17	3.73	-19634.20	4275.08	23116.80	4136.45	20736.40

Maschio in muratura ordinaria n. 5

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Nu <daN>	Mu <daNm>
1	0.00	-19087.00	-22.35	-341915.00	3388.35
	3.73	-12607.10	134.13	-341915.00	2291.44
3	0.00	-19949.60	9.02	-341915.00	3530.24
	3.73	-14806.20	281.56	-341915.00	2669.85
5	0.00	-41642.20	277.36	-341915.00	6778.35
	3.73	-15226.70	-395.97	-341915.00	2741.50
7	0.00	-42504.80	308.74	-341915.00	6894.79
	3.73	-17425.80	-248.55	-341915.00	3112.39
9	0.00	-25974.90	45.95	-341915.00	4494.14
	3.73	-10958.40	-223.39	-341915.00	2003.58
11	0.00	-32741.40	135.86	-341915.00	5520.04
	3.73	-11744.30	-382.42	-341915.00	2141.24
13	0.00	-28850.30	150.52	-341915.00	4937.41
	3.73	-18288.60	268.01	-341915.00	3256.17
15	0.00	-35616.90	240.43	-341915.00	5937.87
	3.73	-19074.50	108.98	-341915.00	3386.30
17	0.00	-42579.60	195.85	---	6904.84
	3.73	-21555.00	-70.35	---	3791.71

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-19087.00	8025.74	19170.90	6406.11	18363.40
	3.73	-12607.10	-1529.11	12964.70	641.17	16755.40
3	0.00	-19949.60	-887.80	19973.70	454.38	18566.90
	3.73	-14806.20	5.02	15105.70	2168.70	17317.80
5	0.00	-41642.20	-2412.79	38351.20	444.69	23103.60
	3.73	-15226.70	1510.85	15511.10	4080.29	17423.30
7	0.00	-42504.80	-11326.30	39010.00	5507.04	23265.70
	3.73	-17425.80	3044.98	17609.50	2552.76	17964.90
9	0.00	-25974.90	14771.40	25427.40	11263.30	19930.90
	3.73	-10958.40	-2254.94	11336.10	2793.46	16321.00
11	0.00	-32741.40	11639.80	31231.80	9474.87	21359.00
	3.73	-11744.30	-1342.96	12114.90	4209.90	16529.50
13	0.00	-28850.30	-14940.40	27935.40	8575.80	20549.90
	3.73	-18288.60	2858.83	18423.10	2298.31	18173.00
15	0.00	-35616.90	-18072.00	33595.90	10364.20	21937.80
	3.73	-19074.50	3770.81	19159.30	881.88	18360.40
17	0.00	-42579.60	-2229.79	39066.90	643.54	23279.70
	3.73	-21555.00	863.47	21453.10	1441.27	18940.00

Maschio in muratura ordinaria n. 6

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Nu <daN>	Mu <daNm>
1	0.00	-15423.20	-0.00	-170162.00	2617.93
	3.73	-6289.67	252.02	-170162.00	1143.07
3	0.00	-13513.80	-0.00	-170162.00	2327.72
	3.73	-5679.05	463.84	-170162.00	1036.65
5	0.00	-23017.70	-0.00	-170162.00	3677.38
	3.73	-9984.77	-1094.04	-170162.00	1766.14
7	0.00	-21108.20	-0.00	-170162.00	3425.27
	3.73	-9374.15	-882.22	-170162.00	1665.65

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

9	0.00	-20308.90	0.00	-170162.00	3316.89
	3.73	-8295.35	-466.23	-170162.00	1485.72
11	0.00	-22587.30	0.00	-170162.00	3621.39
	3.73	-9403.88	-870.05	-170162.00	1670.57
13	0.00	-13944.10	-0.00	-170162.00	2393.97
	3.73	-6259.94	239.85	-170162.00	1137.91
15	0.00	-16222.50	-0.00	-170162.00	2736.57
	3.73	-7368.47	-163.97	-170162.00	1328.69
17	0.00	-24982.60	-0.00	-60286.30	3926.82
	3.73	-10765.20	-437.65	---	1893.15

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-15423.20	2935.11	7371.53	1931.65	10450.60
	3.73	-6289.67	-99.36	3218.65	295.94	8342.75
3	0.00	-13513.80	149.05	6554.36	93.96	10046.50
	3.73	-5679.05	163.49	2918.99	687.68	8182.49
5	0.00	-23017.70	-37.61	10354.70	103.51	11922.70
	3.73	-9984.77	223.30	4973.09	546.16	9253.51
7	0.00	-21108.20	-2823.67	9644.83	1941.21	11570.20
	3.73	-9374.15	486.15	4690.13	937.90	9109.29
9	0.00	-20308.90	5145.05	9339.66	3363.33	11419.50
	3.73	-8295.35	-293.09	4183.48	73.51	8848.75
11	0.00	-22587.30	4253.23	10197.10	2752.78	11844.20
	3.73	-9403.88	-196.29	4703.97	1.55	9116.36
13	0.00	-13944.10	-4141.79	6740.90	2762.33	10139.00
	3.73	-6259.94	583.08	3204.12	1232.29	8335.02
15	0.00	-16222.50	-5033.61	7705.59	3372.88	10615.10
	3.73	-7368.47	679.88	3741.30	1307.35	8618.60
17	0.00	-24982.60	49.65	11057.10	25.94	12274.90
	3.73	-10765.20	276.30	5330.71	877.25	9434.62

Maschio in muratura ordinaria n. 7

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Nu <daN>	Mu <daNm>
1	0.00	-45353.20	279.55	-429381.00	7546.31
	3.73	-19429.40	-670.77	-429381.00	3495.06
3	0.00	-46531.90	309.57	-429381.00	7713.87
	3.73	-21728.60	-352.10	-429381.00	3882.64
5	0.00	-21466.10	-29.27	-429381.00	3838.67
	3.73	-15329.90	174.26	-429381.00	2790.34
7	0.00	-22644.70	0.75	-429381.00	4035.55
	3.73	-17629.00	492.93	-429381.00	3187.73
9	0.00	-35617.60	136.44	-429381.00	6106.92
	3.73	-15312.20	-746.79	-429381.00	2787.26
11	0.00	-28451.50	43.80	-429381.00	4984.37
	3.73	-14082.30	-493.29	-429381.00	2572.41
13	0.00	-39546.40	236.50	-429381.00	6699.67
	3.73	-22976.10	315.44	-429381.00	4090.64
15	0.00	-32380.30	143.86	-429381.00	5606.43
	3.73	-21746.20	568.95	-429381.00	3885.60
17	0.00	-46984.50	191.66	---	7777.84
	3.73	-26464.90	-110.59	---	4663.72

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-45353.20	-4120.99	53618.50	7218.68	27673.60
	3.73	-19429.40	4290.58	24833.30	7312.90	21957.20
3	0.00	-46531.90	-14535.20	54809.10	1263.10	27905.70
	3.73	-21728.60	4864.86	27587.20	3668.66	22522.90
5	0.00	-21466.10	10309.80	27274.80	515.85	22459.10

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

MN-E-394-M

PROGETTO DEFINITIVO / ESECUTIVO

5	3.73	-15329.90	-199.39	19826.10	917.43	20910.60
7	0.00	-22644.70	-104.42	28673.60	5439.74	22744.40
7	3.73	-17629.00	374.89	22649.70	2726.82	21503.90
9	0.00	-35617.60	13079.70	43391.30	11820.90	25676.50
9	3.73	-15312.20	2049.10	19804.20	9326.11	20906.00
11	0.00	-28451.50	17408.90	35415.30	9810.02	24101.00
11	3.73	-14082.30	702.10	18277.60	7407.46	20581.60
13	0.00	-39546.40	-21634.30	47602.90	8031.07	26500.60
13	3.73	-22976.10	3963.37	29065.10	2821.38	22824.00
15	0.00	-32380.30	-17305.10	39835.20	10041.90	24977.10
15	3.73	-21746.20	2616.38	27608.20	4740.02	22527.20
17	0.00	-46984.50	-2900.03	55263.60	1245.73	27994.30
17	3.73	-26464.90	2836.01	33137.00	3389.40	23645.70

Maschio in muratura ordinaria n. 8

Verifiche per carichi verticali ed azioni ortogonali:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Nu <daN>	Mu <daNm>
1	0.00	-19268.90	-16.61	-170162.00	3173.36
	3.73	-12254.30	-1240.00	-170162.00	2131.04
3	0.00	-16724.90	-3.89	-170162.00	2810.28
	3.73	-11486.20	-920.06	-170162.00	2009.07
5	0.00	-13377.80	11.25	-170162.00	2306.68
	3.73	-7828.66	191.83	-170162.00	1406.94
7	0.00	-10833.70	23.97	-170162.00	1904.23
	3.73	-7060.65	511.77	-170162.00	1276.04
9	0.00	-20175.00	-21.70	-170162.00	3298.57
	3.73	-11601.30	-1112.12	-170162.00	2027.45
11	0.00	-18407.70	-13.34	-170162.00	3052.35
	3.73	-10273.60	-682.57	-170162.00	1813.34
13	0.00	-11695.00	20.70	-170162.00	2042.38
	3.73	-9041.28	-45.66	-170162.00	1610.46
15	0.00	-9927.62	29.06	-170162.00	1756.78
	3.73	-7713.60	383.89	-170162.00	1387.42
17	0.00	-20546.20	5.16	-60286.30	3349.24
	3.73	-13244.40	-505.33	---	2286.00

Verifiche per azioni nel piano:

CC	Zv <m>	N <daN>	Mv <daNm>	Mu <daNm>	V _{Ed} <daN>	Vu <daN>
1	0.00	-19268.90	1999.34	8935.50	1573.12	11220.20
1	3.73	-12254.30	-670.09	6000.57	509.59	9770.89
3	0.00	-16724.90	136.06	7913.15	11.79	10717.30
3	3.73	-11486.20	-282.72	5657.13	1414.15	9598.93
5	0.00	-13377.80	-287.06	6495.13	460.49	10017.10
5	3.73	-7828.66	-155.44	3961.64	1401.00	8733.63
7	0.00	-10833.70	-2150.33	5361.91	2021.82	9450.37
7	3.73	-7060.65	231.94	3593.05	2305.57	8540.81
9	0.00	-20175.00	3372.92	9288.07	2682.91	11394.00
9	3.73	-11601.30	-941.90	5708.86	233.74	9624.89
11	0.00	-18407.70	2687.00	8594.77	2072.83	11052.50
11	3.73	-10273.60	-787.50	5105.98	33.68	9320.96
13	0.00	-11695.00	-2838.00	5750.90	2521.52	9645.97
13	3.73	-9041.28	349.35	4534.72	2781.47	9029.70
15	0.00	-9927.62	-3523.91	4946.72	3131.61	9240.11
15	3.73	-7713.60	503.75	3906.69	3048.89	8705.01
17	0.00	-20546.20	-125.60	9430.74	322.80	11464.40
17	3.73	-13244.40	-271.23	6436.90	1945.89	9988.22

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

9. Conclusioni

Visti i risultati dell'analisi numerica effettuata, richiamando quanto indicato nei capitoli precedenti in cui si enuncia che "...la vulnerabilità dell'edificio è pari al più piccolo dei valori di iPGA determinato per ogni singolo elemento strutturale sismoresistente", è possibile concludere che la **vulnerabilità sismica dell'edificio oggetto di studio sia 0,468**, quindi l'edificio è capace di resistere a meno della metà dell'azione sismica di progetto.

Il motivo per cui l'indice risulta essere così basso è da ricercare nel fatto che la struttura è relativamente alta, oltre 9 metri alla quota di colmo della copertura e con maschi murari di altezza circa 7.45 metri, con l'assenza di piani rigidi intermedi aventi funzione di limitare la lunghezza di libera inflessione, e quindi abbassare la loro snellezza. Inoltre la presenza di tutte le aperture, sia quelle effettivamente presenti, sommate a quelle tamponate in modo non efficace, porta ad avere pareti con elementi sismoresistenti geometricamente limitati non sufficienti a resistere all'azione sismica di progetto.

VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO DI CONTENIMENTO DELLA PARATOIA PRINCIPALE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA: