



COMUNE DI NAPOLI

Ufficio Valorizzazione Città Storica – Sito UNESCO

Lavori di: “Restauro dei “Complessi ospedalieri dell'Annunziata e dell'Ascalesi”
Grande Progetto Centro storico di Napoli, valorizzazione del sito UNESCO

Servizio di ingegneria relativo a “sondaggi e verifica strutturale dei ponteggi del Complesso
dell'Annunziata ed eventuale adeguamento progettuale”

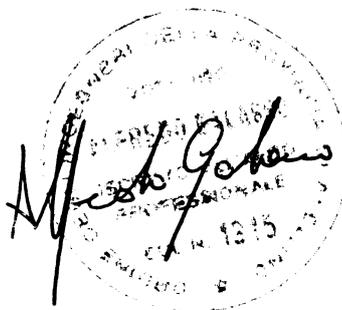
Progettazione e calcolo cerchiatura tamburo (atto di sottomissione del 26.05.2022)

CIG Z292CF6798 – CUP B62C12000140006”

Elaborato: RC_Relazione di calcolo e verifica dei meccanismi di ribaltamento – Analisi cinematica
lineare

IL TECNICO

Ing. Alfredo Galasso



Sommario

RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI FATTO	3
RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI PROGETTO	18
Sintesi risultati – valutazione del miglioramento sismico relativo all'intervento locale	28

RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI FATTO

Indice

1. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

2. **ANALISI CINEMATICA LINEARE**

3. **1) Cinematismo**

4. **2) Cinematismo**

5. **3) Cinematismo**

6. **SINTESI RISULTATI ANALISI CINEMATICA LINEARE**

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 17.1.2018: "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20 febbraio 2018.

Circolare 2.2.2009, n.617: "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.1.2008.

Edifici monumentali: Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9.2.2011: "Valutazione e 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", di cui costituisce parte integrante la **Circ. 26 del 2.12.2010 del Ministero per i Beni e le Attività Culturali:** "Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale".

FRP:

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati, CNR-DT 200 R1/2012.

Linee guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murari e mediante FRP, documento approvato il 24 luglio 2009 dall'assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

FRCM:

Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a matrice inorganica, CNR-DT 215/2018.

Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di interventi di consolidamento strutturale mediante l'utilizzo di sistemi di rinforzo FRCM, documento approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con decreto 627 del 3 dicembre 2019.

Indirizzi per l'esecuzione degli interventi di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3790 del 17.7.2009 (Riparazione con miglioramento sismico di edifici danneggiati), a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Commissario Delegato (Eventi sismici provincia di L'Aquila, 6 aprile 2009).

Riferimenti tecnici: EuroCodici

Per quanto non diversamente specificato nel D.M.14.1.2008, si intendono coerenti con i principi alla base del Decreto le indicazioni riportate nei documenti di riferimento elencati in §12; fra questi: gli EuroCodici strutturali, così organizzati:

Criteri generali di progettazione strutturale

UNI EN 1990:2006

Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture

UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici

UNI EN 1991-1-2:2004 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco

UNI EN 1991-1-3:2004 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve

UNI EN 1991-1-4:2005 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche

UNI EN 1991-1-6:2005 Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione

UNI EN 1991-1-7:2006 Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali

UNI EN 1991-2:2005 Parte 2: Carichi da traffico sui ponti

UNI EN 1991-3:2006 Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari

UNI EN 1991-4:2006 Parte 4: Azioni su silos e serbatoi

Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo

UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1992-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi

UNI EN 1992-3:2006 Parte 3: Strutture di contenimento liquidi

Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio

UNI EN 1993-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1993-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1993-1-3:2007 Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo

UNI EN 1993-1-4:2007 Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili

UNI EN 1993-1-5:2007 Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra

UNI EN 1993-1-6:2007 Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio

UNI EN 1993-1-7:2007 Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano

UNI EN 1993-1-8:2005 Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti

UNI EN 1993-1-9:2005 Parte 1-9: Fatica

UNI EN 1993-1-10:2005 Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore

UNI EN 1993-1-11:2007 Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi

UNI EN 1993-1-12:2007 Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700

UNI EN 1993-2:2007 Parte 2: Ponti di acciaio

UNI EN 1993-3-1:2007 Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali

UNI EN 1993-3-2:2007 Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere - Ciminiere

UNI EN 1993-4-1:2007 Parte 4-1: Silos

UNI EN 1993-4-2:2007 Parte 4-2: Serbatoi

UNI EN 1993-4-3:2007 Parte 4-3: Condotte

UNI EN 1993-5:2007 Parte 5: Pali e palancole

UNI EN 1993-6:2007 Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento

Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

UNI EN 1994-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1994-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1994-2:2006 Parte 2: Regole generali e regole per i ponti

Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno

UNI EN 1995-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici

UNI EN 1995-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1995-2:2005 Parte 2: Ponti

Eurocodice 6 – Progettazione delle strutture in muratura

UNI EN 1996-1-1:2006 Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata

UNI EN 1996-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 1996-2:2006 Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature
UNI EN 1996-3:2006 Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata

Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica

UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Regole generali
UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo

Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

UNI EN 1998-1:2005 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
UNI EN 1998-2:2006 Parte 2: Ponti
UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici
UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
UNI EN 1998-6:2005 Parte 6: Torri, pali e camini

Eurocodice 9 – Progettazione delle strutture in alluminio

UNI EN 1999-1-1:2007 Parte 1-1: Regole strutturali generali
UNI EN 1999-1-2:2007 Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 1999-1-3:2007 Parte 1-3: Strutture sottoposte a fatica
UNI EN 1999-1-4:2007 Parte 1-4: Lamiere sottili piegate a freddo
UNI EN 1999-1-5:2007 Parte 1-5: Strutture a guscio

Norme Italiane precedenti al D.M. 17.1.2018:

D.M. 14.1.2008: "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.29 del 4 febbraio 2008.

Le norme elencate nel seguito sono in generale da considerarsi superate dal D.M.14.1.2008; esse possono costituire tuttavia utili fonti di riferimento per la comprensione dello sviluppo dei metodi di calcolo adottati dalle NTC.

D.M. 14.9.2005: "Norme Tecniche per le Costruzioni" (ex Testo Unico)

In campo antisismico, il D.M. 14.9.2005 definisce l'azione sismica [§3.2] e fissa i livelli di sicurezza. Nel rispetto di tali presupposti, il D.M.14.9.2005 può fare riferimento all'OPCM 3274 e s.m.i. [§5.7.1.1] per le indicazioni attuative sulle verifiche di sicurezza.

Sismica: Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", e successive modifiche e integrazioni:

Ordinanza P.C.M. n. 3316 del 2.10.2003 e Ordinanza P.C.M. n. 3431 del 3.5.2005

Sismica: D. P.C.M. del 21.10.2003: "Disposizioni attuative dell'art.2, commi 2, 3 e 4, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003".

Norme strutturali precedenti all'OPCM 3274 (per la Sismica) e al D.M. 14.9.2005:

Legge n.64 del 2.2.1974: "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche."

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Legge Regionale n. 30 del 20.6.1977: "Documentazione tecnica per la progettazione e direzione delle opere di riparazione degli edifici - Documento Tecnico n. 2 - Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura."

Regione Umbria, Art.38 L.R. 1.7.1981, n.34: "Direttive tecniche ed esemplificazioni delle metodologie di intervento per la riparazione ed il consolidamento degli edifici danneggiati da eventi sismici."

D.M. 2.7.1981: "Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia."

Circolare Min.LL.PP. n.21745 del 30.7.1981: "Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma."

D.M. 16.1.1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche."

Circolare Min.LL.PP. n.65 del 10.4.1997: "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16.1.1996."

Servizio Sismico Nazionale (S.S.N.) - Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica (A.N.I.D.I.S.): "Commentario al D.M. 16.1.1996 ed alla Circ. n.65 del 10.4.1997 del Ministero LL.PP.", coord. F.Braga, 1998

D.G.R. Umbria n.5180 del 14.9.1998 e D.G.R. Marche n.2153 del 14.9.1998 in attuazione Legge 61/98: "Eventi sismici del 12 maggio, 26 settembre 1997 e successivi - Modalità e procedure per la concessione dei contributi previsti dall'art.4 della Legge 61/98 - Allegato B".

Provincia di Perugia, Servizio Sismico Nazionale: "Terremoto in Umbria e Marche del 1997. Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi. Verifiche sismiche ed esempi per l'applicazione delle Direttive Tecniche D.G.R. Umbria 5180/98 e D.G.R. Marche 2153/98 in attuazione L.61/98", coord. A.De Sortis, G.Di Pasquale, U.Nasini, 1998.

Murature: D.M. 20.11.1987: "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento."

Circolare Min.LL.PP. n.30787 del 4.1.1989: "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento."

Carichi: D.M. 16.1.1996: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi."

ANALISI DEI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO IN EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

(ANALISI CINEMATICA)

(D.M.17.1.2018 (NTC18), §8.7.1, Circ. 7 del 21.1.2019: §C8.7.1.2)

Negli edifici esistenti in muratura, come hanno dimostrato anche gli eventi sismici più recenti, i collassi più frequenti sono determinati dalla formazione di cinematiche: porzioni murarie di dimensioni rilevanti si distaccano dalle strutture e ruotano come corpi rigidi; è tipico il ribaltamento delle parti superiori delle facciate verso l'esterno.

Durante la sollecitazione sismica, le azioni di tipo stabilizzante (pesi propri e carichi verticali dai solai, azioni da tiranti) si oppongono alle instabilizzanti (dovute a strutture spingenti e ad azioni orizzontali di tipo sismico proporzionali alle masse, cioè ai pesi). Quando a causa del sisma le azioni instabilizzanti superano un certo valore, si forma il meccanismo di collasso.

Pertanto, la sicurezza strutturale può essere indagata studiando i cinematismi che possono formarsi nell'opera muraria e definendo per ognuno di essi il moltiplicatore di collasso, ossia l'entità dell'input sismico che lo attiva generando il ribaltamento.

Al moltiplicatore di collasso è legata l'accelerazione al suolo a_g . Con riferimento ad uno stato limite di interesse (lo Stato Limite di Danno o lo Stato Limite ultimo SLV di salvaguardia della Vita), attraverso le relazioni biunivoche che legano: accelerazione alla base della struttura PGA (che può tenere conto degli effetti di suolo o essere considerata pari all'accelerazione di picco a_g su suolo rigido), periodo di ritorno T_R e probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} , determinata una di queste grandezze restano definite le altre. In tal modo, è possibile esprimere un indicatore di rischio sismico ζ_E (definito dal rapporto tra capacità e domanda) in termini di PGA o di periodo di ritorno: quando l'indicatore è ≥ 1 , la verifica di sicurezza è soddisfatta.

Un'importante ipotesi riguarda la monoliticità delle pareti: ad una muratura che può disgregarsi non si può attribuire la qualifica di corpo rigido. D'altra parte, alcuni Autori [1] hanno notato che la presenza di carico verticale sulla parete, insieme ai collegamenti trasversali (diatoni) conferisce alla parete stessa il comportamento di tipo monolitico. La presenza di giaciture orizzontali, inoltre, assicura la regolarità geometrica nella formazione dei cinematismi. Di fatto, l'analisi sismica condotta con metodi cinematici fornisce risultati idonei se la tessitura della parete è sufficientemente regolare e con buoni collegamenti trasversali.

In pratica, volendo definire un ordine secondo cui le strutture di un fabbricato in muratura devono essere analizzate, è possibile identificare tre stadi progressivi.

I) Se la muratura è disgregata, caotica e con malta di scarsa qualità, è impossibile il comportamento a corpo rigido. Né l'analisi cinematica né (a maggior ragione) le analisi elastiche o ultraelastiche possono identificare un parametro di capacità antisismica. La struttura deve essere consolidata comunque, se non ricostruita: si tratta di uno stato di fatto a capacità teoricamente nulla.

II) La muratura è sufficientemente organizzata in modo da potersi comportare come corpo rigido. L'analisi cinematica studia i meccanismi locali di collasso e definisce la capacità antisismica dei singoli elementi strutturali costituenti il complesso del fabbricato (singole pareti, volte, ecc.).

III) Superati i controlli di cui alle due fasi precedenti, il complesso murario mostra un comportamento scatolare: a questo punto (e solo a questo punto) può essere adeguatamente studiato con metodi elasto-plastici, quali le analisi pushover. Per elasticità si intende una fase deformativa iniziale reversibile; per plasticità una fase successiva caratterizzata da spostamenti permanenti. Il comportamento della muratura non è 'plastico' nel senso tradizionale del termine: la struttura è un solido a geometria variabile con lo stato di sollecitazione. Incrementando l'azione orizzontale, lo scheletro resistente si modifica; si formano cerniere progressive per superamenti locali della scarsa o nulla resistenza a trazione ed infine si giunge ad una labilità (meccanismo di collasso complessivo dell'edificio, che di fatto costituisce lo stadio finale di un'analisi pushover: essa può essere vista come la ricerca, per via statica, del cinematismo d'insieme del fabbricato).

Per l'edificio esistente, l'analisi verrà svolta anzitutto sullo Stato Attuale (Stato di fatto). Gli interventi di miglioramento richiederanno poi il confronto fra lo Stato di Progetto e lo Stato di Attuale, volto a quantificare l'entità del miglioramento conseguito.

Nello Stato Attuale, le verifiche degli stadi II) e III) verranno o meno eseguite a seconda che l'edificio si trovi in sicurezza oppure no nei confronti della cattiva organizzazione muraria. Nello Stato di Progetto, invece, lo stadio I) deve necessariamente essere superato, e le strutture consolidate saranno certamente sottoposte alle verifiche degli stadi II) e III).

In Analisi Cinematica viene considerato il modello di corpo rigido, ed il moto della struttura si attiva quando l'input sismico raggiunge un'intensità sufficiente a generare la formazione di un cinematismo.

L'analisi cinematica lineare procede secondo i seguenti punti:

1. si sceglie un cinematismo e si descrive nei suoi termini parametrici;
2. si calcola il moltiplicatore di collasso e la corrispondente accelerazione di attivazione del meccanismo;
3. si esegue la verifica di sicurezza confrontando l'accelerazione al suolo PGA che attiva il cinematismo (capacità) con l'accelerazione relativa al sito della costruzione (domanda) (il confronto può essere condotto equivalentemente in termini di T_R); la verifica viene condotta in generale sia allo stato limite ultimo sia allo stato limite di danno (si osservi che per Normativa la verifica a stato limite di danno non è strettamente richiesta).

Accelerazione di attivazione del meccanismo

Nel seguito, si descrive l'impostazione tipica di un problema di analisi cinematica lineare; per fissare le idee, viene fatto riferimento al ribaltamento semplice di una parete monopiano rispetto ad un asse di rotazione posto alla base in corrispondenza dello spigolo esterno.

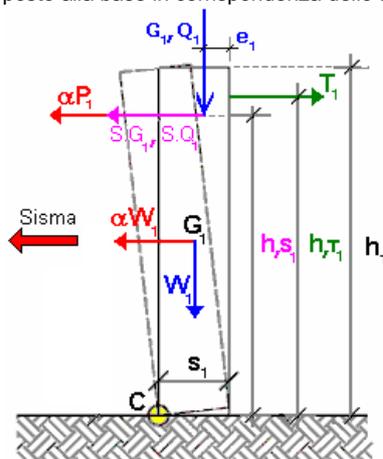


Fig. 1. Ribaltamento semplice di parete monopiano

Secondo la Normativa vigente i carichi da considerare in fase sismica sono i seguenti:

- Carico statico da solaio: $P_1 = G_1 + \psi_{21} \cdot Q_1$
- Spinta totale esercitata dal solaio (ad esempio, proveniente da una struttura voltata): $S_1 = S_{G1} + \psi_{21} \cdot S_{Q1}$

ψ_{21} è il coefficiente di combinazione quasi permanente per Q_1 (§2.5.3).

La parete è stabilizzata dal tirante capace di esercitare il tiro T_1 .

Il ribaltamento della parete avviene facendo cerniera alla base, sullo spigolo esterno (cerniera C in fig. 1; in tal caso per la posizione del polo di rotazione si suppone resistenza a compressione della muratura infinita. Più avanti sarà illustrata la possibilità di considerare un arretramento della cerniera, assumendo un valore finito per la resistenza a compressione). Il cinematismo viene quindi descritto dalla rotazione ϕ attorno alla cerniera C.

Applicando il teorema dei lavori virtuali è possibile calcolare il moltiplicatore $\dot{\alpha}_0$ che attiva il cinematismo, attraverso la seguente espressione (§C8.7.1.2.1.1):

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{P_y,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{P_{Q_x,k}}}$$

che nel caso in esame diventa:

$$\alpha_0 = \frac{W_1 \varphi s_1 / 2 + P_1 \varphi (s_1 - e_1) + T_1 \varphi h_{T1} - S_1 \varphi h_{S1}}{W_1 \varphi h_1 / 2 + P_1 \varphi h_{S1}}$$

Semplificando in φ la formula può essere scritta in modo alternativo, come:

$$\alpha_0 = \frac{M_S - M_{R_2}}{M_{R_1}}$$

dove:

$$\dot{\alpha}_0 M_{R1} = \dot{\alpha}_0 (W_1 h_1 / 2 + P_1 h_{S1})$$

è il momento ribaltante dovuto alle forze inerziali

$$M_{R2} = S_1 h_{S1}$$

è il momento ribaltante dovuto alla spinta orizzontale indipendente da $\dot{\alpha}_0$

$$M_S = W_1 s_1 / 2 + P_1 (s_1 - e_1) + T_1 h_{T1}$$

è il momento stabilizzante

Calcolato il moltiplicatore di collasso α_0 è possibile determinare l'accelerazione spettrale che attiva il meccanismo a_0^* .

L'espressione è fornita dalla formula [C8.7.1.8], coerente con la formulazione fornita dalla Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 (§C8A.4.2.2):

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC} \quad (C8A.4.4)$$

dove:

- g è l'accelerazione di gravità;

- $e^* = g M^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$ è la frazione di massa partecipante della struttura;

- FC è il fattore di confidenza. Nel caso in cui per la valutazione del moltiplicatore α non si tenga conto della resistenza a compressione della muratura, il fattore di confidenza da utilizzare sarà comunque quello relativo al livello di conoscenza LC1.

La massa partecipante al cinematismo M^* può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come una forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x_i} \right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x_i}^2} \quad (C8A.4.3)$$

dove:

- $n+m$ è il numero delle forze peso P_i applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;

- δ_{x_i} è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' i -esimo peso P_i .

Nel caso in esame:

$$M^* = \frac{(W_1 \varphi h_1 / 2 + P_1 \varphi h_{S1})^2}{g [W_1 (\varphi h_1 / 2)^2 + P_1 (\varphi h_{S1})^2]}$$

$$e^* = g M^* / (W_1 + P_1)$$

Fino a questo punto non è stato utilizzato alcun dato sismico relativo al sito di ubicazione della struttura: il calcolo dell'accelerazione di attivazione del meccanismo a_0^* non dipende dall'azione sismica, ma soltanto dalla geometria e dai carichi applicati.

Capacità in termini di accelerazione. Indicatori di Rischio Sismico

Una volta determinata l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo a_0^* la verifica di sicurezza si basa sul confronto con l'accelerazione massima

alla quota Z (domanda in termini di accelerazione alla quota del baricentro delle linee di vincolo del cinematismo). Si segue la procedura descritta al §C8.7.1.2.1.5 per SLD e §C8.7.1.2.1.7 per SLV, nell'ipotesi di meccanismi locali rigidamente vincolati alla struttura principale. L'accelerazione massima alla quota Z (a_z) può essere determinata con le seguenti espressioni [C7.2.7 - C7.2.8]

$$a_{z,k}(z) = S_e(T_k, \xi_k) \gamma_k \psi_k(z) \sqrt{1 + 0.0004 \frac{z^2}{S_k^2}}$$

$$a_z(z) = \sqrt{\sum a_{z,k}^2(z)}$$

Considerando il solo modo fondamentale di vibrazione nella direzione di avanzamento del cinematismo, un coefficiente di smorzamento viscoso $\hat{i} = 5\%$ e ignorando il contributo irrilevante del termine sotto radice, l'espressione [C7.2.8] diventa:

$$a_z(z) = S_e(T_1) \cdot \gamma_1 \cdot \psi_1(z)$$

dove:

- T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione dell'intera costruzione nella direzione considerata. Se T_1 non è stato calcolato con un'analisi modale applicata alla struttura nel suo complesso, può essere definito in via semplificata tramite la relazione [C7.3.2]:
 $T_1 = 0.05 H^{3/4}$ dove H è l'altezza totale dell'edificio;
- $S_e(T_1)$ è l' spettro elastico al suolo valutato per il periodo T_1 ;
- $\psi(Z)$ è il valore della forma modale alla quota Z, posto pari a Z/H, dove H è l'altezza di tutta la costruzione rispetto alla fondazione;
- γ_1 è il coefficiente di partecipazione modale del modo fondamentale di vibrazione. Se non è noto da analisi modale può essere assunto $\gamma = 3N/(2N+1)$ con N numero di piani della costruzione [C7.2.10].

Pertanto, considerando che la domanda in termini di accelerazione (a^*) non deve comunque essere inferiore all'accelerazione al suolo, questa viene assunta come la massima tra le seguenti accelerazioni a_1^* e a_2^* .

$$a^* = \text{Max}(a_1^*, a_2^*)$$

Per Stato Limite di Danno:

$$a_1^* = a_g S$$

$$a_2^* = S_e(T_1) \cdot \gamma_1 \cdot \psi_1(z)$$

Per Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

$$a_1^* = a_g \cdot S/q$$

$$a_2^* = S_e(T_1) \cdot \gamma_1 \cdot \psi_1(z)/q$$

La verifica di sicurezza è soddisfatta se l'accelerazione di attivazione del meccanismo a_0^* è maggiore o uguale all'accelerazione richiesta secondo normativa a^* .

Nell'espressione di a^* è direttamente identificabile la componente $a_g S$. È quindi immediatamente comprensibile come, uguagliando l'accelerazione di attivazione del meccanismo a_0^* all'espressione dell'accelerazione richiesta a^* , resti determinato univocamente un valore di PGA: è questa la capacità in termini di accelerazione dell'elemento strutturale nei confronti del cinematismo, PGA_{CLV} (capacità per SLV) e PGA_{CLD} (capacità per SLD). Un valore maggiore dell'accelerazione al suolo, quindi, innesca il meccanismo di collasso.

Per semplicità nel seguito si fa riferimento al solo SLV, ma la procedura viene applicata in modo analogo per SLD.

L'equazione $a_0^* = a^*$ che fornisce PGA_{CLV} è di tipo non lineare. Infatti, sia a_g sia i parametri di spettro F_0 e T_C^* sono tabulati in funzione del periodo di ritorno, nel reticolo sismico fornito dal D.M. 14.1.2008. Da essi dipendono inoltre i valori dei parametri S, T_C , T_B , T_D .

Pertanto, l'unico modo esatto con cui procedere per determinare PGA_{CLV} è seguire una procedura iterativa, fondata sul periodo di ritorno T_R . Applicando il metodo di bisezione, ad ogni passo T_R viene fatto variare fra i valori ammissibili, compresi fra 1 e 2475 anni; a T_R corrispondono univocamente i valori degli altri parametri, e si controlla se l'equazione $a_0^* = a^*$ è soddisfatta. Quando ciò accade, a_g e S forniscono la PGA_{CLV} . A PGA_{CLV} corrisponde il periodo di ritorno TR_{CLV} .

La capacità PGA_{CLV} viene confrontata con la domanda in termini di accelerazione al suolo per il sito in esame PGA_{DLV} , definendo il coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo, denominato 'Indicatore di Rischio Sismico' ζ_E in termini di PGA:

$$\zeta_{E,PGA} = PGA_{CLV} / PGA_{DLV}$$

Si osservi che a questo punto è possibile definire l'Indicatore di Rischio Sismico anche in termini di TR ($\zeta_{E,TR}$) come rapporto tra TR_{CLV} e TR_{DLV} . Poiché il legame tra TR e PGA, pur biunivoco, non è lineare, il valore di $\zeta_{E,TR}$ non coincide col valore di $\zeta_{E,PGA}$ (però sono entrambi >1 o <1 , e quando uno dei due ζ_E vale esattamente 1.000, anche l'altro vale 1.000).

Osservazioni integrative

• Intervallo di calcolo per TR.

Il D.M. 14.1.2008 definisce un periodo di ritorno compreso tra 30 e 2475 anni. Se dal calcolo risulta una capacità in termini di TR superiore a 2475 anni, si pone $TR=2475$ come limite superiore. Per quanto riguarda il limite inferiore, è possibile considerare valori di TR minori di 30 anni con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUIIS (Unità di Ricerca CNR-ITC): viene adottata un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $ag(30)$, $ag(50)$ e $ag(75)$, effettuata con la funzione di potenza: $ag(TR)=k \cdot TR^a$.

L'intervallo di calcolo di TR è quindi [1,2475].

• Definizione di PGA.

PGA può essere intesa come accelerazione di picco al suolo su roccia (o: su suolo rigido), oppure come accelerazione di picco al suolo tenendo conto degli effetti di sito. Si tenga presente che la Circ. 7 del 21.1.2019 in §C8.3 specifica che "il parametro di confronto dell'azione sismica da adottare per la definizione dell'indicatore di rischio sismico α_E è, salvo casi particolari, l'accelerazione al suolo $a_g S$ ", ossia la PGA tenendo conto degli effetti di sito. La scelta di questa opzione determina il valore di PGA_{DLV} e PGA_{CLV} : nel caso si tenga conto degli effetti di sito, la PGA su roccia viene moltiplicata per il fattore di suolo S (§3.2.3.2.1), pari al prodotto di S_S (coefficiente di amplificazione stratigrafica) per S_T (coefficiente di amplificazione topografica). Poiché il

coefficiente S_S è legato ai parametri di spettro (dipende da a_g e F_o), PGA_{CLV} conterrà S_S corrispondente al periodo TR_{CLV} , che in generale sarà distinto dal valore S_S corrispondente alla domanda (a_g in input): pertanto, l'Indicatore di Rischio Sismico $\zeta_{E,PGA}$ può assumere valori leggermente diversi, considerando o meno gli effetti di suolo nella definizione di PGA.

Nessuna variazione corrispondente si ha invece per l'Indicatore di Rischio Sismico $\zeta_{E,TR}$ in termini di periodo di ritorno.

• Parametri di spettro in input.

La conoscenza di specifici parametri fisici relativi alla zona di ubicazione dell'edificio (microzonazione) può tradursi in una modifica dei parametri di spettro rispetto ai valori previsti dal reticolo sismico secondo Normativa.

La capacità in termini di accelerazione al suolo, cioè il valore di PGA che produce il raggiungimento di un determinato stato limite, viene calcolata tramite una procedura iterativa eseguita sulla PGA stessa, variandone il valore fino ad ottenere verifica soddisfatta; si calcola poi l'indicatore di rischio sismico in termini di PGA. Per determinare le corrispondenti capacità - e quindi gli indicatori di rischio - in termini di TR, cioè i periodi di ritorno associati ai terremoti che generano tali accelerazioni, si esegue il passaggio dalla capacità PGA_C a TR_C con la relazione del D.M.65-07.03.2017 (All.A: Linee Guida per la Classificazione del rischio sismico delle costruzioni):

$$TR_C = TR_D * (PGA_C/PGA_D)^\eta$$

dove $\eta=(1/0.41)$, valore medio sull'intero territorio nazionale.

In alternativa, per un valore più puntuale dell'intensità sismica di appartenenza si usano le seguenti formule (con riferimento all'accelerazione massima su roccia a_g ; Aedes.PCM assume come riferimento a_g per SLV):

$$\eta=(1/0.49) \text{ per } a_g \geq 0.25g; \eta=(1/0.43) \text{ per } 0.25g > a_g \geq 0.15g; \eta=(1/0.356) \text{ per } 0.15g > a_g \geq 0.05g; \eta=(1/0.34) \text{ per } a_g < 0.05.$$

Resistenza a compressione: posizione della cerniera di ribaltamento

L'Analisi Cinematica prescinde normalmente dai parametri di elasticità e di resistenza; è comunque possibile considerare la resistenza a compressione della muratura, al fine di stimare in modo più accurato la modalità di formazione della cerniera alla base della parete soggetta a ribaltamento. La Normativa Italiana esprime chiaramente questa possibilità in §C8A.4.2.2.

Per la posizione della cerniera di ribaltamento (=polo di rotazione della parete), è possibile utilizzare una delle convenzioni riportate nella figura seguente:

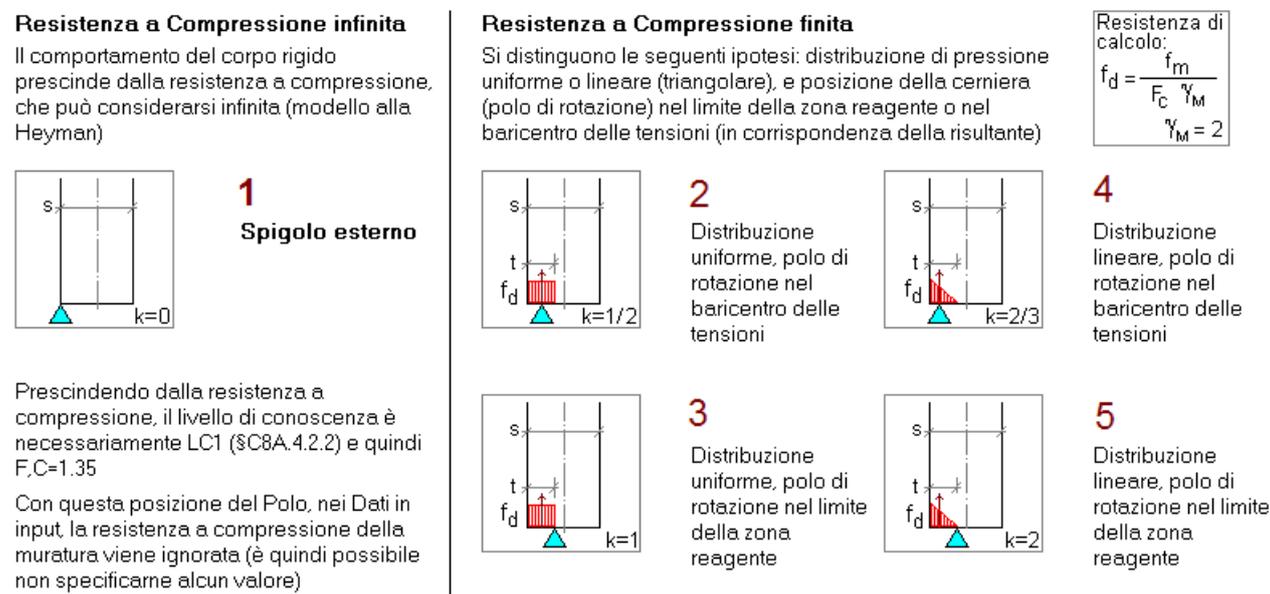


Fig. 2. Posizione della cerniera di ribaltamento

dove:

x_C = arretramento della cerniera rispetto alla posizione dell'asse di rotazione. Ad esempio, nel caso di una parete sottoposta a ribaltamento semplice con asse di rotazione in corrispondenza dello spigolo esterno, l'arretramento è la distanza della cerniera dallo spigolo esterno;

N = carico verticale in corrispondenza della sezione della parete dove è posizionato l'asse di rotazione;

a = dimensione della linea di ribaltamento. Ad esempio, nel caso di una parete sottoposta a ribaltamento semplice 'a' è la larghezza della base della parete;

k = coefficiente che assume un valore compreso fra 0 e 2 in funzione del tipo di polo di rotazione scelto.

In alternativa, è possibile definire per x_C un valore personalizzato, utile ad esempio per limitare l'arretramento stesso in casi in cui il calcolo automatico propone una posizione della cerniera troppo distante rispetto allo spigolo della parete.

Bibliografia di riferimento

Oltre alla normativa nazionale (cfr. in particolare: Circolare n.7 del 21.1.2019, Circolare n.617, 2.2.2009 §C8.A.4) e regionale, si segnalano i seguenti testi di riferimento:

[1] A. Giuffrè, *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Roma, 1990.

[2] A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza.

[3] G.Cangi, M. Caraboni, A. De Maria, *Analisi strutturale per il recupero antisismico*, DEI - Tipografia del Genio Civile, Roma, 2010.

[4] A. Borri (Direttore scientifico), C. Donà, A. De Maria (a cura di), *Manuale delle Murature Storiche*, DEI - Tipografia del Genio Civile, Roma, 2011.

2. ANALISI CINEMATICA LINEARE

Azione Sismica

Struttura:

Vita Nominale VN (anni) = 50

Classe d'uso: III

Coefficiente d'uso CU = 1.5

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR=VN*CU (anni) = 75

Pericolosità:

Ubicazione del sito:

Longitudine ED50 (gradi sessadecimali) = 14.26496

- Latitudine ED50 (gradi sessadecimali) = 40.85125

Tipo di interpolazione: media ponderata ([3] in All.a)

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno TR di riferimento

(dagli Studi di pericolosità sismica del sito di ubicazione dell'edificio [cfr.Tab.1 All.B al D.M.14.1.2008]):

TR (anni)	a_g (*g)	F_0	T_C^* (sec)
30	0.045	2.344	0.280
50	0.059	2.334	0.310
72	0.072	2.324	0.320
101	0.086	2.326	0.330
140	0.101	2.322	0.330
201	0.120	2.312	0.334
475	0.168	2.372	0.338
975	0.213	2.440	0.340
2475	0.280	2.570	0.342

Per periodi di ritorno $TR < 30$ anni [cfr. DPC-Reluis, CNR-ITC]:

$a_g(TR) = K * TR^{-\alpha}$, dove:

$K = 0.006914730$, $\alpha = 0.549242500$

Stati Limite:

PVR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR (Tab.3.2.I)

SLE: SLO 81

SLU: SLD 63

SLU: SLV 10

SLU: SLC 5

$a_g(g)$ F_0 $T_C^*(sec)$ e altri parametri di spettro per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite secondo Normativa [§3.2.3]

Stato limite	TR (anni)	a_g (*g)	F_0	T_C^* (sec)	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	Fv
SLO	45	0.056	2.336	0.304	1.500	0.158	0.473	1.824	0.746
SLD	75	0.074	2.324	0.321	1.500	0.163	0.490	1.896	0.853
SLV	712	0.192	2.410	0.339	1.422	0.170	0.509	2.368	1.426
SLC	1462	0.240	2.496	0.341	1.341	0.170	0.511	2.560	1.651

(a_g non conforme al reticolo sismico secondo D.M. 14.1.2008)

Suolo:

Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche:

Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Rapporto quota sito / altezza rilievo topografico = 0

Coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1$

PGA:

Definizione di PGA: Accelerazione al suolo (analogo ad: $a_g * S$, dove: $S = SS * ST$)

Componenti:

Spettro di risposta (componente orizzontale):

SLE: Smorzamento viscoso (ξ) (%) = 5

$\eta = [10 / (5 + \xi)] = 1$

SLU: Fattore di Comportamento q per Analisi Cinematica = 2.0

3. 1) Cinematismo

Ribaltamento semplice
Il cinematismo presenta un asse di rotazione

01. Cinematismo

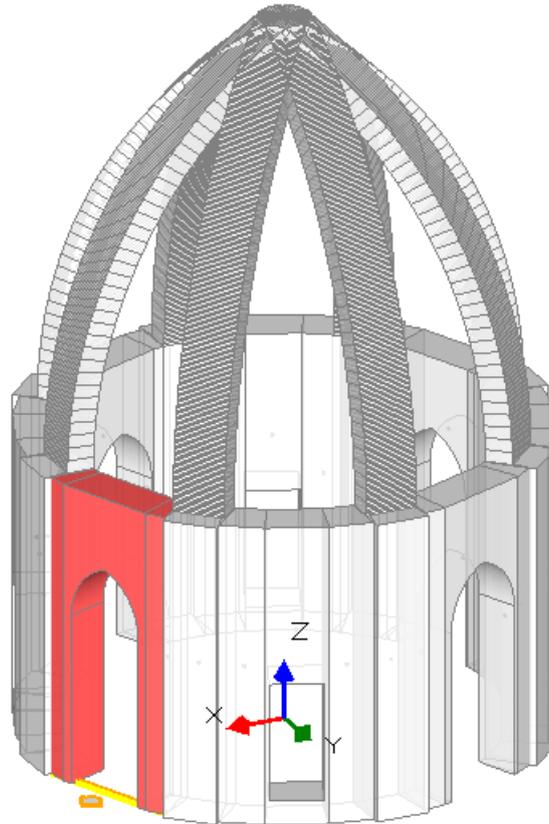
Ribaltamento semplice

$$\alpha_0 = 0.064$$

■ SLV

$$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.053 / 0.273 = 0.194$$

$$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 20 / 712 = 0.028$$



Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
70.083	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo
H = altezza della struttura rispetto alla fondazione
Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura
T1 = primo periodo di vibrazione
γ = Coefficiente di partecipazione modale
FC = fattore di confidenza
SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)			Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)		(kN)	(N/mm ²)	(m)
10.214	0.991	0.000	7.965	6.480	0.000	0.204	0.667	1121.33	0.617	5.932

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione
X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	9.488	1.350	6.250	0.00	0.00	-297.27	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da solaio	8.542	1.277	10.660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	peso proprio	8.669	3.597	9.176	0.00	0.00	-547.02	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	7.793	3.233	10.509	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	7.683	5.739	6.250	0.00	0.00	-277.05	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da solaio	6.944	5.144	10.651	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n. = numero consecutivo del carico
tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico
X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ
GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ

ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2
(per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,
mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2*Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2*Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-297.27	275.08	112.67	0.00	5.784	2.369	0.533	-158.320	1857.988	0.000
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.865	4.041	1.433	0.000	0.000	0.000
3	0.00	0.00	-547.02	506.20	207.34	0.00	8.492	3.478	0.437	-239.285	5019.714	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.726	3.984	1.385	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-277.05	256.38	105.01	0.00	5.784	2.369	0.540	-149.480	1731.640	0.000
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.857	4.037	1.446	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico
PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2*Q$ nel sistema XYZ
EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico
EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico
 $\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ
(angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)
L1 = lavoro virtuale delle forze statiche: $L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$
L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$
L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.064	110340	0.965	0.049

α_0 = moltiplicatore di collasso
M* = massa partecipante
e* = frazione di massa partecipante
a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.800$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.053	20	1	0.194	0.028

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido
a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile
PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV
TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV
VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV
PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV
TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

4. 2) Cinematismo

Ribaltamento semplice
Il cinematismo presenta un asse di rotazione

02. Cinematismo

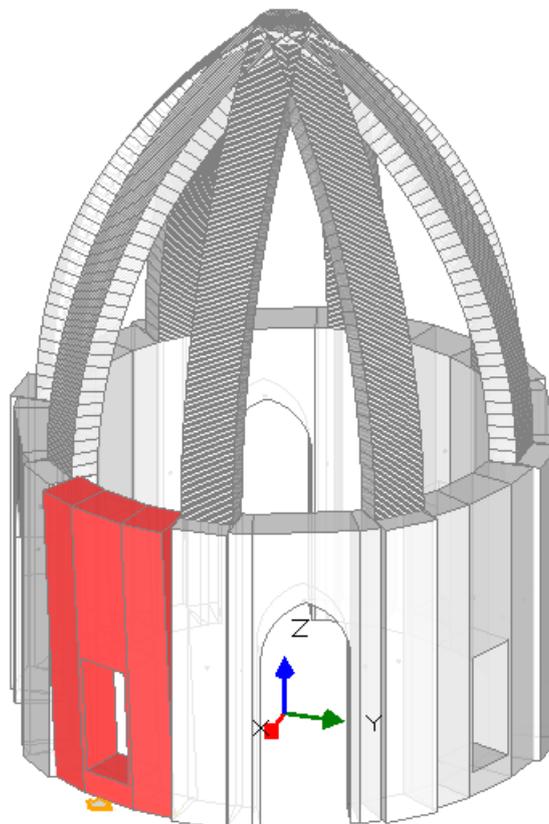
Ribaltamento semplice

$$\alpha_0 = 0.047$$

■ SLV

$$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.038 / 0.273 = 0.139$$

$$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 11 / 712 = 0.015$$



Dati generali

V (m ³)	H (m)	Z (m)	T1 (sec)	γ	FC	SLD
109.921	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo
H = altezza della struttura rispetto alla fondazione
Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura
T1 = primo periodo di vibrazione
γ = Coefficiente di partecipazione modale
FC = fattore di confidenza
SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)	Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a		
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)	(kN)	(N/mm ²)	(m)	
8.111	-6.601	0.000	10.403	-1.068	0.000	0.000	0.667	0.00	0.617	5.989

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione
X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	7.853	-5.401	6.250	0.00	0.00	-612.06	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da solaio	7.156	-4.787	10.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	peso proprio	8.791	-3.642	7.828	0.00	0.00	-534.64	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	7.920	-3.281	10.141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	9.372	-1.734	6.250	0.00	0.00	-612.03	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da solaio	8.445	-1.675	10.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n. = numero consecutivo del carico
tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico
X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ

GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ

ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2

(per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,

mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-612.06	565.47	-234.23	0.00	5.774	-2.392	0.377	-230.848	3825.492	0.000
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.693	-4.015	1.254	0.000	0.000	0.000
3	0.00	0.00	-534.64	493.95	-204.60	0.00	7.232	-2.996	0.183	-97.711	4185.116	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.370	-3.881	1.125	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-612.03	565.45	-234.21	0.00	5.774	-2.392	0.377	-230.817	3825.322	0.000
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.693	-4.015	1.254	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico

PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2Q$ nel sistema XYZ

EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico

EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico

$\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ

(angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)

L1 = lavoro virtuale delle forze statiche:

$$L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$$

L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$

L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.047	177280	0.989	0.035

α_0 = moltiplicatore di collasso

M* = massa partecipante

e* = frazione di massa partecipante

a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.800$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.038	11	1	0.139	0.015

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido

a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile

PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV

TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV

VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

5. 3) Cinematismo

Ribalramento semplice

Il cinematismo presenta un asse di rotazione

03. Cinematismo

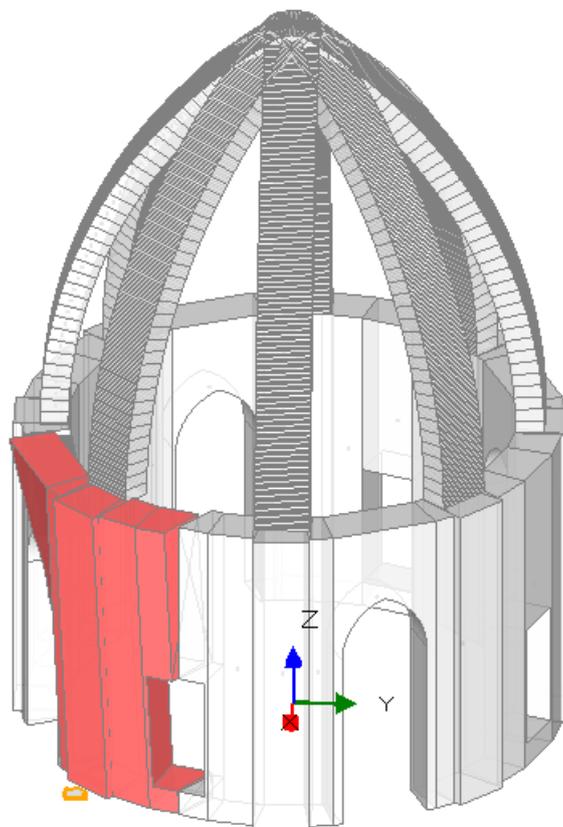
Ribalramento semplice

$\alpha_0 = 0.104$

■ SLV

$$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.082 / 0.273 = 0.300$$

$$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 45 / 712 = 0.063$$



Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
153.650	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo
H = altezza della struttura rispetto alla fondazione
Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura
T1 = primo periodo di vibrazione
γ = Coefficiente di partecipazione modale
FC = fattore di confidenza
SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)			Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)		(kN)	(N/mm ²)	(m)
6.389	-7.899	0.000	7.899	-6.389	0.000	0.300				

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione
X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	5.754	-7.664	6.250	0.00	0.00	-297.26	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da solaio	5.137	-6.943	10.660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	peso proprio	4.185	-8.410	10.817	0.00	0.00	-291.32	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	3.924	-7.506	10.509	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	8.558	-4.035	7.871	0.00	0.00	-330.58	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da solaio	7.827	-3.506	10.141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	peso proprio	6.821	-6.821	6.250	0.00	0.00	-927.18	0.00	0.00	0.00	0.30
8	peso proprio	7.853	-5.401	6.250	0.00	0.00	-612.06	0.00	0.00	0.00	0.30
9	da solaio	7.156	-4.787	10.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n. = numero consecutivo del carico
tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico

X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ
 GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ
 ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2
 (per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,
 mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2*Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2*Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-297.26	210.19	-210.19	0.00	4.420	-4.420	0.612	-181.918	1857.960	0.000
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.538	-7.538	1.555	0.000	0.000	0.000
3	0.00	0.00	-291.32	206.00	-206.00	0.00	7.650	-7.650	1.192	-347.134	3151.543	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.432	-7.432	2.015	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-330.58	233.75	-233.75	0.00	5.566	-5.566	1.194	-394.712	2602.187	0.000
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.172	-7.172	2.084	0.000	0.000	0.000
7	0.00	0.00	-927.18	655.62	-655.62	0.00	4.420	-4.420	0.453	-420.424	5795.096	0.000
8	0.00	0.00	-612.06	432.79	-432.79	0.00	4.420	-4.420	0.728	-445.298	3825.600	0.000
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.419	-7.419	1.652	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico
 PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2*Q$ nel sistema XYZ
 EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico
 EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico
 $\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ
 (angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)
 L1 = lavoro virtuale delle forze statiche: $L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$
 L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$
 L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.104	239713	0.956	0.080

α_0 = moltiplicatore di collasso
 M* = massa partecipante
 e* = frazione di massa partecipante
 a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.800$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.082	45	3	0.300	0.063

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido
 a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile
 PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV
 TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV
 VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV
 PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV
 TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

6. SINTESI RISULTATI ANALISI CINEMATICA LINEARE

Risultati dei cinematismi analizzati:

n.	α_0	PGA,CLD /PGA,DLD	TR,CLD /TR,DLD	PGA,CLV /PGA,DLV	TR,CLV /TR,DLV
1	0.064	0.243	0.080	0.194	0.028
2	0.047	0.171	0.040	0.139	0.015
3	0.104	0.396	0.187	0.300	0.063

n. = numero consecutivo del cinematismo

α_0 = moltiplicatore di collasso

PGA,CLD / PGA,DLD = ζ, E, SLD, PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLD

TR,CLD / TR,DLD = ζ, E, SLD, TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLD

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ, E, SLV, PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ, E, SLV, TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

Secondo All.A al D.M.14.1.2008, si considerano valori di TR compresi nell'intervallo [30,2475] anni. Se TR>2475 si pone TR=2475.

Se TR<30, con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUIS (Unità di Ricerca CNR-ITC)

si adotta un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $ag(30)$, $ag(50)$ e $ag(75)$,

effettuata con la funzione di potenza: $ag(TR)=k*TR^\alpha$.

Per il sito in esame risulta: $K = 0.006914730$, $\alpha = 0.549242500$

Per l'Indicatore di Rischio Sismico in termini di TR si ha quindi un limite massimo pari a:

SLD: $(2475/TR,DLD)=33.000$

SLV: $(2475/TR,DLV)=3.476$

RELAZIONE DI CALCOLO – STATO DI PROGETTO

Indice

1. ANALISI CINEMATICA LINEARE

2. 1) Cinematismo

3. 2) Cinematismo

4. 3) Cinematismo

5. SINTESI RISULTATI ANALISI CINEMATICA LINEARE

1. ANALISI CINEMATICA LINEARE

Azione Sismica

Struttura:

Vita Nominale VN (anni) = 50
Classe d'uso: III
Coefficiente d'uso CU = 1.5
Periodo di riferimento per l'azione sismica VR=VN*CU (anni) = 75

Pericolosità:

Ubicazione del sito:

Longitudine ED50 (gradi sessadecimali) = 14.26496
- Latitudine ED50 (gradi sessadecimali) = 40.85125
Tipo di interpolazione: media ponderata ([3] in All.a)

Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR di riferimento

(dagli Studi di pericolosità sismica del sito di ubicazione dell'edificio [cfr.Tab.1 All.B al D.M.14.1.2008]):

TR (anni)	a,g (*g)	Fo	TC* (sec)
30	0.045	2.344	0.280
50	0.059	2.334	0.310
72	0.072	2.324	0.320
101	0.086	2.326	0.330
140	0.101	2.322	0.330
201	0.120	2.312	0.334
475	0.168	2.372	0.338
975	0.213	2.440	0.340
2475	0.280	2.570	0.342

Per periodi di ritorno TR<30 anni [cfr. DPC-Reluis, CNR-ITC]:

$ag(TR) = K * TR^{\alpha}$, dove:
K = 0.006914730, $\alpha = 0.549242500$

Stati Limite:

PVR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR (Tab.3.2.I)

SLE: SLO 81
SLE: SLD 63
SLU: SLV 10
SLU: SLC 5

ag(g) Fo Tc*(sec) e altri parametri di spettro per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite secondo Normativa [§3.2.3]

Stato limite	TR (anni)	a,g (*g)	Fo	TC* (sec)	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	Fv
SLO	45	0.056	2.336	0.304	1.500	0.158	0.473	1.824	0.746
SLD	75	0.074	2.324	0.321	1.500	0.163	0.490	1.896	0.853
SLV	712	0.192	2.410	0.339	1.422	0.170	0.509	2.368	1.426
SLC	1462	0.240	2.496	0.341	1.341	0.170	0.511	2.560	1.651

(ag non conforme al reticolo sismico secondo D.M. 14.1.2008)

Suolo:

Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche:

Categoria di sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Rapporto quota sito / altezza rilievo topografico = 0
Coefficiente di amplificazione topografica ST = 1

PGA:

Definizione di PGA: Accelerazione al suolo (analoga ad: $ag*S$, dove: $S=SS*ST$)

Componenti:

Spettro di risposta (componente orizzontale):

SLE: Smorzamento viscoso (ξ) (%) = 5
 $\eta=[10/(5+\xi)]=1$
SLU: Fattore di Comportamento q per Analisi Cinematica = 2.0

2. 1) Cinematismo

Ribaltamento semplice

Il cinematismo presenta un asse di rotazione

01. Cinematismo

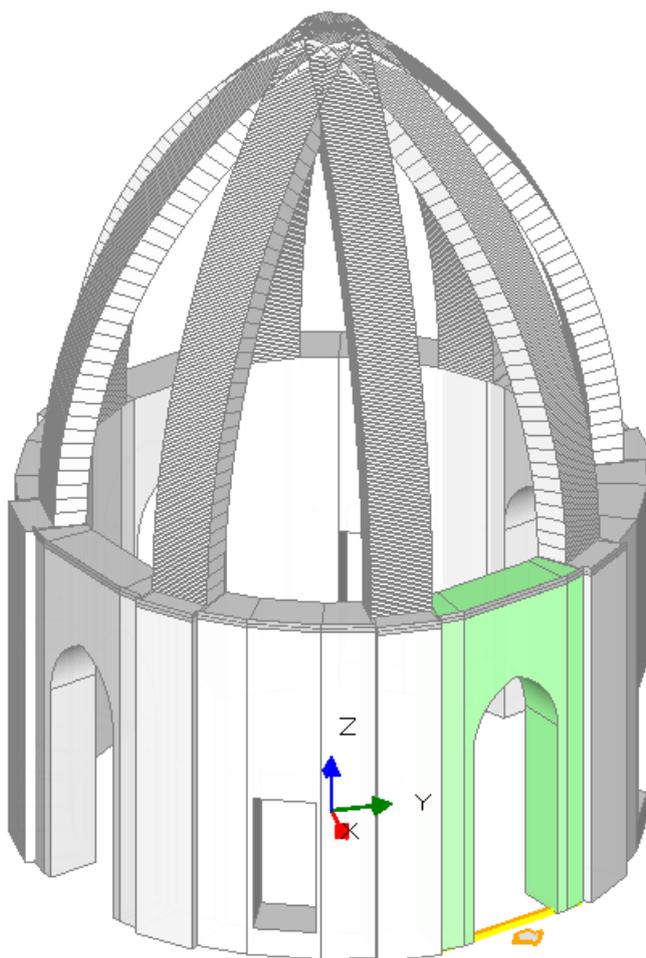
Ribaltamento semplice

$$\alpha_0 = 0.174$$

■ SLV

$$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.132 / 0.273 = 0.483$$

$$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 105 / 712 = 0.147$$



Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
70.083	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo

H = altezza della struttura rispetto alla fondazione

Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura

T1 = primo periodo di vibrazione

γ = Coefficiente di partecipazione modale

FC = fattore di confidenza

SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)			Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)		(kN)	(N/mm ²)	(m)
10.403	1.068	0.000	8.154	6.557	0.000	0.000	0.667	0.00	0.617	5.932

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione

X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ ₂
		X	Y	Z	G _X	G _Y	G _Z	Q _X	Q _Y	Q _Z	
1	peso proprio	9.488	1.350	6.250	0.00	0.00	-297.27	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da nastro	10.266	1.991	12.500	23.28	-157.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
3	da nastro	10.266	1.991	12.500	-60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	8.542	1.277	10.660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	8.669	3.597	9.176	0.00	0.00	-547.02	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da nastro	8.667	5.852	12.500	-93.44	128.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
7	da solaio	7.793	3.233	10.509	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	peso proprio	7.683	5.739	6.250	0.00	0.00	-277.05	0.00	0.00	0.00	0.30
9	da solaio	6.944	5.144	10.651	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n. = numero consecutivo del carico
 tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico
 X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ
 GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ
 ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2
 (per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,
 mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2*Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Nastri

- FRP:

n.	n° strati	Largh. (mm)	Spess. (mm)	E (N/mm ²)	ε,fd (°/°)	Trazioni (kN)	
						Ultima	Valore di calcolo
2	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000
3	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000
6	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000

n. = numero del carico corrispondente al nastro in FRP

Dati:

n° strati, Larghezza, Spessore; E = modulo di elasticità normale nella direzione delle fibre

ε,fd = deformazione di calcolo del rinforzo

Trazioni: ultima, valore di calcolo

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2*Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-297.27	275.08	112.67	0.00	5.784	2.369	0.533	-158.320	1857.988	0.000
2	23.28	-157.29	0.00	0.00	0.00	1.00	11.567	4.738	-0.434	-475.945	0.000	0.000
3	-60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	1.00	11.567	4.738	-0.434	-7.856	0.000	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.865	4.041	1.433	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-547.02	506.20	207.34	0.00	8.492	3.478	0.437	-239.285	5019.714	0.000
6	-93.44	128.65	0.00	0.00	0.00	1.00	11.567	4.738	-0.417	-471.359	0.000	0.000
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.726	3.984	1.385	0.000	0.000	0.000
8	0.00	0.00	-277.05	256.38	105.01	0.00	5.784	2.369	0.540	-149.480	1731.640	0.000
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.857	4.037	1.446	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico

PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2*Q$ nel sistema XYZ

EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico

EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico

$\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ

(angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)

L1 = lavoro virtuale delle forze statiche:

$$L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$$

L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$

L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.174	110340	0.965	0.134

α_0 = moltiplicatore di collasso

M* = massa partecipante

e* = frazione di massa partecipante

a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.239$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.132	105	7	0.483	0.147

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido

a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile

PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV

TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV

VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

3. 2) Cinematismo

Ribaltamento semplice

Il cinematismo presenta un asse di rotazione

02. Cinematismo

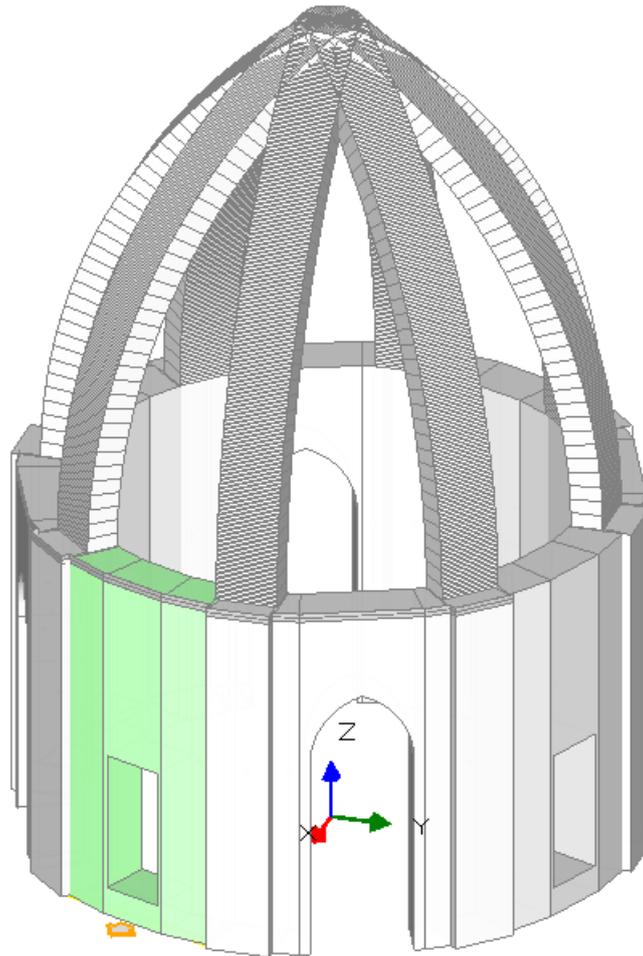
Ribaltamento semplice

$\alpha_0 = 0.133$

■ SLV

$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.100 / 0.273 = 0.366$

$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 64 / 712 = 0.090$



Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
109.921	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo

H = altezza della struttura rispetto alla fondazione

Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura

T1 = primo periodo di vibrazione

γ = Coefficiente di partecipazione modale

FC = fattore di confidenza

SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)	Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a	
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)	(kN)	(N/mm ²)	(m)
7.926	-6.524	0.000	10.218	-0.991	0.000	0.200			

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione

X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ_2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	7.853	-5.401	6.250	0.00	0.00	-612.06	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da nastro	9.115	-5.126	12.500	-89.48	-131.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
3	da nastro	9.115	-5.126	12.500	60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	7.156	-4.787	10.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	8.791	-3.642	7.828	0.00	0.00	-534.64	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da solaio	7.920	-3.281	10.141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	peso proprio	9.372	-1.734	6.250	0.00	0.00	-612.03	0.00	0.00	0.00	0.30
8	da nastro	10.070	-2.821	12.500	29.67	156.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

| 9 | da solaio | 8.445 | -1.675 | 10.491 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

n. = numero consecutivo del carico
 tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico
 X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ
 GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ
 ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2
 (per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,
 mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2*Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Nastri

- FRP:

n.	n°	Largh. strati (mm)	Spess. (mm)	E (N/mm ²)	ϵ,fd (°/°)	Trazioni (kN)	
						Ultima	Valore di calcolo
2	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000
3	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000
8	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000

n. = numero del carico corrispondente al nastro in FRP

Dati:
 n° strati, Larghezza, Spessore; E = modulo di elasticità normale nella direzione delle fibre
 ϵ,fd = deformazione di calcolo del rinforzo
 Trazioni: ultima, valore di calcolo

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2*Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-612.06	565.47	-234.23	0.00	5.774	-2.392	0.494	-302.561	3825.528	0.000
2	-89.48	-131.43	0.00	0.00	0.00	1.00	11.548	-4.783	-0.569	-404.583	0.000	0.000
3	60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	1.00	11.548	-4.783	-0.569	0.000	0.000	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.693	-4.015	1.371	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-534.64	493.95	-204.60	0.00	7.232	-2.996	0.300	-160.354	4185.148	0.000
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.370	-3.881	1.242	0.000	0.000	0.000
7	0.00	0.00	-612.03	565.45	-234.21	0.00	5.774	-2.392	0.494	-302.528	3825.358	0.000
8	29.67	156.21	0.00	0.00	0.00	1.00	11.548	-4.783	-0.569	-404.583	0.000	0.000
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.693	-4.015	1.371	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico
 PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2*Q$ nel sistema XYZ
 EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico
 EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico
 $\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ
 (angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)
 L1 = lavoro virtuale delle forze statiche: $L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$
 L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$
 L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.133	177280	0.989	0.100

α_0 = moltiplicatore di collasso
 M* = massa partecipante
 e* = frazione di massa partecipante
 a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.239$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.100	64	4	0.366	0.090

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido
 a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile
 PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV
 TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV
 VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV
 PGA,CLV / PGA,DLV = ζ,E,SLV,PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV
 TR,CLV / TR,DLV = ζ,E,SLV,TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

4. 3) Cinematismo

Ribalramento semplice

Il cinematismo presenta un asse di rotazione

03. Cinematismo

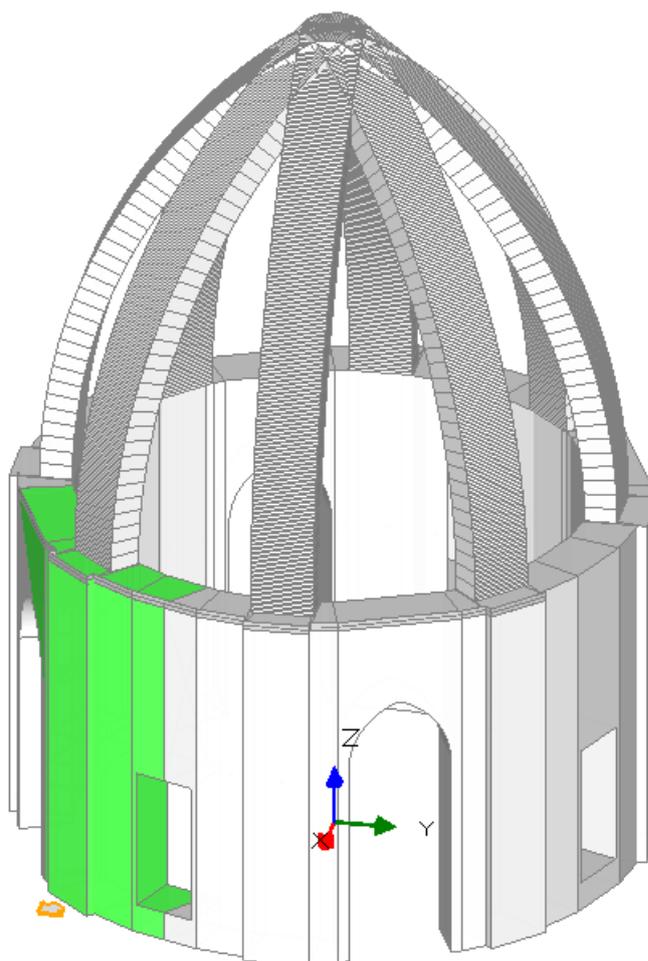
Ribalramento semplice

$$\alpha_0 = 0.487$$

■ SLV

$$PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.333 / 0.273 = 1.220$$

$$TR_{CLV} / TR_{DLV} = 1746 / 712 = 2.452$$



Dati generali

V	H	Z	T1	γ	FC	SLD
(m ³)	(m)	(m)	(sec)			
153.650	29.599	33.000	0.634	1.000	1.350	

V = volume dei corpi partecipanti al meccanismo

H = altezza della struttura rispetto alla fondazione

Z = altezza rispetto alla fondazione del baricentro delle linee di vincolo tra i corpi del meccanismo ed il resto della struttura

T1 = primo periodo di vibrazione

γ = Coefficiente di partecipazione modale

FC = fattore di confidenza

SLD = X indica che è richiesta la verifica di sicurezza per SLD

Asse di rotazione

Coord. punto iniziale (m)			Coord. punto finale (m)			Arretr.	K	N	fd	a
X	Y	Z	X	Y	Z	(m)		(kN)	(N/mm ²)	(m)
6.389	-7.899	0.000	7.899	-6.389	0.000	0.300				

n. = numero consecutivo dell'asse di rotazione

X,Y,Z = coordinate dei punti iniziale e finale dell'asse di rotazione (considerando l'eventuale arretramento)

Carichi

n.	tipologia	Punto di applicazione (m)			Carico permanente G (kN)			Carico variabile Q (kN)			ψ2
		X	Y	Z	GX	GY	GZ	QX	QY	QZ	
1	peso proprio	5.754	-7.664	6.250	0.00	0.00	-297.26	0.00	0.00	0.00	0.30
2	da nastro	5.852	-8.667	12.500	-138.58	-57.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
3	da nastro	6.601	-8.111	12.500	-120.45	-89.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
4	da solaio	5.137	-6.943	10.660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	peso proprio	4.185	-8.410	10.817	0.00	0.00	-291.32	0.00	0.00	0.00	0.30
6	da nastro	1.991	-10.266	12.500	-148.38	-21.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
7	da solaio	3.924	-7.506	10.509	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	peso proprio	8.558	-4.035	7.871	0.00	0.00	-330.58	0.00	0.00	0.00	0.30

9	da solaio	7.827	-3.506	10.141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	peso proprio	6.821	-6.821	6.250	0.00	0.00	-927.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
11	da nastro	6.790	-8.344	12.500	84.85	84.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
12	da nastro	8.344	-6.790	12.500	-84.85	-84.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
13	da nastro	8.344	-6.790	12.500	-93.07	75.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
14	da nastro	6.790	-8.344	12.500	-94.68	116.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
15	peso proprio	7.853	-5.401	6.250	0.00	0.00	-612.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
16	da nastro	8.111	-6.601	12.500	89.48	131.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
17	da nastro	9.115	-5.126	12.500	60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
18	da solaio	7.156	-4.787	10.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

n. = numero consecutivo del carico

tipologia: peso proprio, da solaio, catena o generico

X,Y,Z = coordinate del punto di applicazione del carico nel sistema di riferimento globale XYZ

GX,GY,GZ, QX,QY,QZ = componenti del carico nel sistema XYZ

ψ_2 = coefficiente di combinazione per il carico variabile (Tab.2.5.i), il valore di ψ_2

(per carichi da solaio con più variabili aventi diversi coefficienti di combinazione,

mostrato in tabella è pari alla media pesata: $P=G+\psi_2*Q$, con G e Q carichi totali del solaio)

Nastri

- FRP:

n.	n°	Largh. strati (mm)	Spess. (mm)	E (N/mm ²)	ϵ,fd (°/°)	Trazioni (kN)	
						Ultima	Valore di calcolo
2	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	150.000
3	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	150.000
6	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	150.000
11	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	120.000
12	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	120.000
13	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	120.000
14	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	150.000
16	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000
17	3	300	0.165	230000	15.11	516.210	159.000

n. = numero del carico corrispondente al nastro in FRP

Dati:

n° strati, Larghezza, Spessore; E = modulo di elasticità normale nella direzione delle fibre

ϵ,fd = deformazione di calcolo del rinforzo

Trazioni: ultima, valore di calcolo

Forze, spostamenti, lavoro

n.	Carico totale $G+\psi_2*Q$ (kN)			Forza inerziale(kN)			Spostam.virtuali (mm)			Lavoro virtuale (kN*mm)		
	PX	PY	PZ	EX	EY	EZ	δX	δY	δZ	L1	L2	L3
1	0.00	0.00	-297.26	210.19	-210.19	0.00	4.420	-4.420	0.612	-181.918	1857.960	0.000
2	-138.58	-57.40	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.170	-717.527	0.000	0.000
3	-120.45	-89.40	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.306	-274.488	0.000	0.000
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.538	-7.538	1.555	0.000	0.000	0.000
5	0.00	0.00	-291.32	206.00	-206.00	0.00	7.650	-7.650	1.192	-347.134	3151.543	0.000
6	-148.38	-21.96	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	1.429	-1117.511	0.000	0.000
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.432	-7.432	2.015	0.000	0.000	0.000
8	0.00	0.00	-330.58	233.75	-233.75	0.00	5.566	-5.566	1.194	-394.712	2602.187	0.000
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.172	-7.172	2.084	0.000	0.000	0.000
10	0.00	0.00	-927.18	655.62	-655.62	0.00	4.420	-4.420	0.453	-420.424	5795.096	0.000
11	84.85	84.85	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.605	0.000	0.000	0.000
12	-84.85	-84.85	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.605	0.000	0.000	0.000
13	-93.07	75.74	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.605	-1492.122	0.000	0.000
14	-94.68	116.34	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.605	-1865.153	0.000	0.000
15	0.00	0.00	-612.06	432.79	-432.79	0.00	4.420	-4.420	0.728	-445.298	3825.600	0.000
16	89.48	131.43	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	-0.306	-370.858	0.000	0.000
17	60.85	146.90	0.00	0.00	0.00	1.00	8.839	-8.839	0.027	-760.584	0.000	0.000
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.419	-7.419	1.652	0.000	0.000	0.000

n. = numero consecutivo del carico

PX,PY,PZ = componenti del carico totale $G+\psi_2*Q$ nel sistema XYZ

EX,EY = componenti orizzontali della forza inerziale corrispondente al carico

EZ = componente verticale della forza inerziale corrispondente al carico

$\delta X,\delta Y,\delta Z$ = spostamenti virtuali del punto di applicazione del carico nel sistema XYZ

(angolo di rotazione virtuale intorno all'asse di rotazione pari a 1 mrad)

L1 = lavoro virtuale delle forze statiche: $L1=\sum(n)[Pi*\delta i]$

L2 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) orizzontali: $L2=\sum(n)[EXi*\delta Xi + EYi*\delta Yi]$

L3 = lavoro virtuale delle forze inerziali (sismiche) verticali: $L3=\sum(n)[EZi*\delta Zi]$

Moltiplicatore di collasso, Massa partecipante, Accelerazione di attivazione del meccanismo

α_0	M*	e*	a0*
	(kgm)		(g)
0.487	239713	0.956	0.377

α_0 = moltiplicatore di collasso

M* = massa partecipante

e* = frazione di massa partecipante

a0* = accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo

Verifiche di sicurezza: valore obiettivo di $\zeta,E = 0.239$

SLV: Verifiche di sicurezza

a1*	a2*	a*	PGA	TR	VN	PGA,CLV	TR,CLV
(g)	(g)	(g)	CLV	CLV	CLV	/PGA,DLV	/TR,DLV
0.137	0.294	0.294	0.333	1746	123	1.220	2.452

a1* = accelerazione spettrale richiesta su sistema rigido

a2* = accelerazione spettrale richiesta su sistema deformabile

PGA,CLV = capacità in termini di PGA per SLV

TR,CLV = capacità in termini di periodo di ritorno TR per SLV

VN,CLV = capacità in termini di Vita Nominale per SLV

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ, E, SLV, PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ, E, SLV, TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

5. SINTESI RISULTATI ANALISI CINEMATICA LINEARE

Risultati dei cinematismi analizzati:

n.	α_0	PGA,CLD /PGA,DLD	TR,CLD /TR,DLD	PGA,CLV /PGA,DLV	TR,CLV /TR,DLV
1	0.174	0.649	0.440	0.483	0.147
2	0.133	0.486	0.267	0.366	0.090
3	0.487	1.658	2.827	1.220	2.452

n. = numero consecutivo del cinematismo

α_0 = moltiplicatore di collasso

PGA,CLD / PGA,DLD = ζ, E, SLD, PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLD

TR,CLD / TR,DLD = ζ, E, SLD, TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLD

PGA,CLV / PGA,DLV = ζ, E, SLV, PGA = indicatore di Rischio Sismico in termini di PGA per SLV

TR,CLV / TR,DLV = ζ, E, SLV, TR = indicatore di Rischio Sismico in termini di periodo di ritorno TR per SLV

Secondo All.A al D.M.14.1.2008, si considerano valori di TR compresi nell'intervallo [30,2475] anni. Se TR>2475 si pone TR=2475.

Se TR<30, con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUIS (Unità di Ricerca CNR-ITC)

si adotta un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $ag(30)$, $ag(50)$ e $ag(75)$,

effettuata con la funzione di potenza: $ag(TR)=k*TR^\alpha$.

Per il sito in esame risulta: $K = 0.006914730$, $\alpha = 0.549242500$

Per l'Indicatore di Rischio Sismico in termini di TR si ha quindi un limite massimo pari a:

SLD: $(2475/TR, DLD)=33.000$

SLV: $(2475/TR, DLV)=3.476$

Sintesi risultati – valutazione del miglioramento sismico relativo all'intervento locale

Risultati dell'analisi strutturale

Normativa di riferimento: D.M. 17.1.2018 (parametri di spettro: ag non conforme a reticolo D.M. 14.1.2008)

Questo documento è una scheda di sintesi, contenente i risultati dell'elaborazione in termini di confronto fra capacità e domanda e compilata con riferimento alla terminologia proposta dal D.M.17.1.2018.

Per la verifica di sicurezza di un intervento di miglioramento (§8.4.2) si richiede come obiettivo che l'indicatore di rischio sismico allo Stato di Progetto ζ_E sia ≥ 0.600 per gli edifici di classe III ad uso scolastico e di classe IV, mentre per tutti gli altri casi si richiede che l'incremento $\Delta\zeta_E$ sia ≥ 0.100 .

Per l'edificio in oggetto, nel modello di Aedes.PCM si è scelto il seguente obiettivo d'intervento:

$\Delta\zeta_E \geq 0.100$, rispetto all'indice dello Stato Attuale: 0.139

Pertanto: $\zeta_E \geq 0.239$

Sintesi risultati: Indicatori di Rischio sismico ζ_E in termini di PGA

Verifica soddisfatta

Stato di Progetto (dopo l'intervento)

Stato Limite	ζ_E (PGA _C /PGA _D)
SLV	0.366

Livello di Miglioramento sismico

Stato Limite	ζ_E Stato Attuale	ζ_E Stato di Progetto	Variazione $\Delta\zeta_E$
SLV	0.139	0.366	0.227

Gerarchia dei comportamenti strutturali

Indicatore di rischio sismico obiettivo: $\zeta_E \geq 0.239$

Edificio esistente, Classe d'uso (§2.4.2): III

Verifiche obbligatorie secondo Normativa (§7.3.6, §8.3): SLV: RES

In grigio: comportamenti non analizzati, o da non considerare (cfr. §7.3.6, Tab.7.3.III)

Comportamento	ζ_E (PGA _C /PGA _D)
SLV: Cinematismo	0.366

Domanda

Stato Attuale (prima dell'intervento)		
Stato Limite	PGA _D (g)	TR _D (anni)
SLO	0.084	45
SLD	0.111	75
SLV	0.273	712

Analisi eseguite:

- Analisi cinematica

Stato di Progetto (dopo l'intervento)		
Stato Limite	PGA _D (g)	TR _D (anni)
SLO	0.084	45
SLD	0.111	75
SLV	0.273	712

Analisi eseguite:
- Analisi cinematica

Verifiche di resistenza (RES)

SLV	PGA _C (g)	ζ _E (PGA _C /PGA _D)	TR _C (anni)	ζ _E (TR _C /TR _D)
Cinematismo	0.038	0.139	11	0.015

SLV	PGA _C (g)	ζ _E (PGA _C /PGA _D)	TR _C (anni)	ζ _E (TR _C /TR _D)
Cinematismo	0.100	0.366	64	0.090

Indicatori di Rischio (rapporto fra capacità e domanda).

I valori evidenziati si riferiscono al parametro ζ_E definito in termini di PGA.

Stato Attuale (prima dell'intervento)		
Stato Limite	ζ _E (PGA _C /PGA _D)	ζ _E (TR _C /TR _D)
SLV	0.139	0.015

Il valore di PGA specificato in input è pari ad ag*S, accelerazione al suolo.

Stato di Progetto (dopo l'intervento)		
Stato Limite	ζ _E (PGA _C /PGA _D)	ζ _E (TR _C /TR _D)
SLV	0.366	0.090

Il valore di PGA specificato in input è pari ad ag*S, accelerazione al suolo.

Livello di Miglioramento sismico: ζ_E (PGA_C/PGA_D)

I valori evidenziati si riferiscono alla variazione del parametro ζ_E definito in termini di PGA (+ = incremento).

Stato Limite	ζ _E Stato Attuale	ζ _E Stato di Progetto	Variazione Δζ _E
SLV	0.139	0.366	0.227

Capacità della struttura in termini di Vita Nominale; Tempo di intervento

Stato Attuale (prima dell'intervento)

Dati in input (domanda):

Classe d'uso della costruzione (§2.4.2): III

Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3) C_U: 1.5

Vita Nominale V_N (§2.4.1): 50 anni

Vita di Riferimento (§2.4.3) V_R = V_N * C_U: 75 anni

PV_R per SLV (definita in input): 10 %

Risultati dell'analisi (capacità):

$$TR_{CLV} = 11 \text{ anni}$$

Dalla relazione: $TR = -V_R / \ln(1 - PV_R)$, ponendo $TR = TR_{CLV}$ e assumendo PV_R per SLV definita in input, segue la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento (V_{RC}) e quindi di Vita Nominale, ossia il Tempo di intervento $T_{INT} = (TR_{CLV}/C_U) * \ln(1 - PV_R)$:

$$V_{RC} = 1.1 \text{ anni}$$

$$T_{INT} = 0.8 \text{ anni}$$

Stato di Progetto (dopo l'intervento)

Dati in input (domanda):

Classe d'uso della costruzione (§2.4.2): III

Coefficiente d'uso della costruzione (§2.4.2, 2.4.3) C_U : 1.5

Vita Nominale V_N (§2.4.1): 50 anni

Vita di Riferimento (§2.4.3) $V_R = V_N * C_U$: 75 anni

PV_R per SLV (definita in input): 10 %

Risultati dell'analisi (capacità):

$$TR_{CLV} = 64 \text{ anni}$$

Dalla relazione: $TR = -V_R / \ln(1 - PV_R)$, ponendo $TR = TR_{CLV}$ e assumendo PV_R per SLV definita in input, segue la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento (V_{RC}) e quindi di Vita Nominale, ossia il Tempo di intervento $T_{INT} = (TR_{CLV}/C_U) * \ln(1 - PV_R)$:

$$V_{RC} = 6.8 \text{ anni}$$

$$T_{INT} = 4.5 \text{ anni}$$

(*) **Controllo di miglioramento per i singoli comportamenti:** l'indicatore di rischio ζ_E , per un determinato stato di riferimento (Attuale o di Progetto), consiste nel valore minimo degli indicatori calcolati per i singoli comportamenti (spostamenti e resistenze, nel piano, fuori piano, fondazioni, cinematismi).

Nelle tabelle dove sono evidenziati i valori dei singoli comportamenti allo Stato di Progetto, ognuno di questi viene contrassegnato da un simbolo (*) qualora segni una diminuzione rispetto al corrispondente valore allo Stato Attuale.

Ciò permette il controllo sul fatto che il miglioramento riguardi non solo il comportamento dell'edificio nel suo complesso come minimo risultato fra tutti i comportamenti esaminati, ma anche i singoli comportamenti stessi.

Edifici in muratura e verifiche di sicurezza: descrizione della metodologia

Il D.M.17.1.2018 organizza le verifiche competenti ai vari Stati Limite in dipendenza dalla Classe d'Uso dell'edificio (Tab.7.3.III in §7.3.6), distinguendole in verifiche di rigidezza (RIG: consistono in verifiche di deformazione) e in verifiche di resistenza (RES, che coinvolgono i comportamenti dei pannelli murari nel piano e fuori piano e la capacità limite in fondazione). Più precisamente:

SLO: Stato Limite di Operatività:

RIG: verifica obbligatoria per edifici nuovi e classe d'uso III o IV (§7.3.6), o per edifici esistenti e classe IV (§8.3).

In analisi lineare consiste nel controllo della deformazione di interpiano, con riferimento ai limiti indicati in §7.3.6.1.

In analisi statica non lineare la verifica per SLO è definita dal confronto fra capacità (definita dallo spostamento del punto di controllo pari a $(2/3)$ di quello allo SLD) e domanda per SLO (determinata attraverso l'oscillatore monodimensionale calcolato con la bilineare equivalente allo SLV).

SLD: Stato Limite di Danno:

a) **RIG:** verifica obbligatoria per edifici nuovi e classe d'uso I e II (§7.3.6).

In analisi lineare consiste nel controllo della deformazione di interpiano, con riferimento ai limiti indicati in §7.3.6.1.

In analisi statica non lineare la verifica per SLD è definita dal confronto fra capacità e domanda. La capacità è definita dallo spostamento del punto di controllo minore fra le seguenti due condizioni:

- quello corrispondente al limite elastico della bilineare equivalente allo SLV;
- quello corrispondente al raggiungimento della resistenza massima a taglio in tutti i maschi murari in un qualunque livello di una qualunque parete ritenuta significativa ai fini dell'uso della costruzione, e comunque non prima dello spostamento per il quale si raggiunge un taglio di base pari a $3/4$ del taglio di base massimo.

La domanda per SLD è determinata attraverso l'oscillatore monodimensionale calcolato con la bilineare equivalente allo SLV.

b) **RES:** verifica obbligatoria per edifici nuovi e classe d'uso III o IV (§7.3.6), o per edifici esistenti e classe IV (§8.3).

In analisi lineare consiste nelle verifiche di resistenza, con analisi condotta con fattore di comportamento q per SLD ($q \leq 1.5$, cfr. Tab.7.3.I §7.3).

In analisi statica non lineare, la verifica per SLD coincide con quanto descritto per RIG.

SLV: Stato Limite di salvaguardia della Vita:

RES: verifiche richieste per tutti gli edifici. Per gli edifici esistenti, include le verifiche dei cinematismi condotte in termini di resistenza (con fattore di comportamento q posto in genere pari a 2).

In analisi lineare consiste nelle verifiche di resistenza, con analisi condotta con fattore di comportamento q .

In analisi statica non lineare la verifica per SLV è definita dal confronto fra capacità e domanda. La capacità è definita dallo spostamento del punto di controllo pari a $(3/4)$ di quello allo SLC. SLC è definito dallo spostamento minore fra le seguenti condizioni:

- quello corrispondente ad un taglio alla base residuo pari all'80% del massimo;
- quello corrispondente al raggiungimento della soglia limite di deformazione angolare per SLC in tutti i maschi di un qualunque livello in una qualunque parete ritenuta significativa ai fini della sicurezza.

La domanda per SLV è determinata attraverso l'oscillatore monodimensionale calcolato con la bilineare equivalente allo SLV.

Analisi sismiche eseguite e risultati per i vari comportamenti strutturali

Per ogni modello analizzato come unica struttura globale o per ogni sottostruttura di un modello calcolato come assemblaggio di sottostrutture, la scheda di sintesi indica i tipi di analisi eseguite le cui verifiche confluiscono nei risultati degli indicatori di rischio, con distinzione fra Stato Attuale e Stato di Progetto.

Le possibili analisi ed i corrispondenti comportamenti strutturali sono i seguenti:

• **Analisi cinematica:** meccanismi di collasso (cinematismi)

• **Analisi statica non lineare (pushover):**

- comportamento dei pannelli nel piano (per pressoflessione e/o taglio);
- se considerato in pushover: comportamento dei pannelli fuori piano per azioni di calcolo da modello;
- se vi sono fondazioni nello schema statico e sono considerate in pushover: capacità limite delle fondazioni.

• **Analisi sismica lineare** (con priorità per la dinamica modale rispetto alla statica lineare):

- comportamento dei pannelli nel piano (per pressoflessione e/o taglio), se non è eseguita la pushover;
- se la verifica è richiesta: comportamento dei pannelli fuori piano per azioni di calcolo da modello (considerato anche se è

eseguita la pushover) e/o per azioni equivalenti secondo §7.2.3 e §7.8.1.5.2;

c) se vi sono fondazioni nello schema statico: capacità limite delle fondazioni, se non si considera in pushover.

Per garantire coerenza fra le verifiche eseguite in analisi lineare ed i risultati dell'analisi pushover, il fattore di comportamento q utilizzato in analisi lineare deve coincidere con q calcolato in pushover (rispettando comunque, nel caso del D.M.17.1.2018, secondo §7.3.1, il valore massimo di q tale che: $S_{e,SLV} \geq S_{e,SLD}$).

Valutazione della sicurezza

Per gli edifici esistenti, seguendo §8.3, è possibile che la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi possano essere eseguiti con riferimento ai soli stati limite ultimi (SLV), salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV: per esse sono richieste le verifiche anche agli stati limite di esercizio SLE (SLO e SLD), per i quali potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

L'**indicatore di rischio** ζ_E , consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica dell'edificio.

Il calcolo dell'indicatore di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni: a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento); b) q^* (rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente) ≤ 3.0 , con riferimento a SLV (la relazione $q^* \leq 4.0$ indicata in D.M. 17.1.2018 per SLC viene ricondotta a $q^* \leq 3.0$ per SLV, dato il rapporto di (3/4) esistente fra le capacità per SLC e per SLV (EuroCodice 8, UNI EN 1998-3:2005, §C4.1.2).

Per tutti gli stati limite di riferimento (SLO, SLD e SLV) ζ_E può essere espresso sia in termini di PGA che di TR; i due valori non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e TR, ma in ogni caso sono contemporaneamente maggiori o minori di 1.

Per quanto riguarda la **pericolosità sismica**, la verifica di sicurezza e l'elaborazione dell'indicatore di rischio vengono eseguite in modo analogo sia nel caso di approccio semplificato (con riferimento al reticolo sismico italiano, pubblicato nel D.M.14.1.2008), sia nel caso di approccio rigoroso secondo **analisi della Risposta Sismica Locale (da microzonazione)**.

La procedura subisce invece alcune modifiche in altri casi di **parametri di spettro non conformi** al reticolo sismico, secondo le seguenti modalità.

(a) Se la difformità riguarda **ag**, il legame diretto tra TR e ag espresso dal reticolo non è più valido. Per tutti gli stati limite, il calcolo dell'indicatore di rischio si esegue attraverso una procedura iterativa direttamente su ag; il risultato in termini di TR si calcola in seguito facendo riferimento all'espressione proposta dal D.M. 65 del 07.03.2017: $TR_C = TR_D * (PGA_C/PGA_D)^\eta$ dove: $\eta = 1/0.49$ per $ag \geq 0.25g$; $\eta = 1/0.43$ per $0.25g \geq ag \geq 0.15g$; $\eta = 1/0.356$ per $0.15g \geq ag \geq 0.05g$; $\eta = 1/0.34$ per $0.05g \geq ag$ (ag = accelerazione massima su roccia, che viene assunta con riferimento a SLV).

Per gli altri parametri di spettro, il valore viene unificato, per tutti i periodi di ritorno.

(b) Se la difformità riguarda **non ag ma altri parametri di spettro** (ad es. il coefficiente di suolo S_S): i valori di ogni parametro difforme sono impostati costanti per tutti i periodi di ritorno, e la procedura iterativa viene eseguita su TR, sostituendo il valore previsto dalla Normativa con quello difforme.

(c) In caso di **spettro personalizzato definito per punti**, non è possibile risalire ai singoli parametri di spettro, tuttavia il valore di ancoraggio (spettro per $T=0$), pari ad (ag^*S) , consente una procedura iterativa basata sull'accelerazione mediante la quale è possibile definire, per ogni stato limite, il valore degli indicatori di rischio. La procedura assume per ipotesi che la forma spettrale sia proporzionale ad (ag^*S) e che la definizione per punti dello spettro riguardi entrambe le direzioni sismi che X' e Y' (in assenza di una delle due definizioni, questa viene assunta uguale all'altra) ed un eventuale spettro in direzione Z; durante la procedura iterativa, tutti gli spettri vengono 'scalati' con il medesimo fattore di proporzionalità.

(d) Se la Normativa di riferimento è l'**EuroCodice**, il calcolo si limita agli indicatori di rischio in termini di PGA, con procedura iterativa analoga al punto (a) senza tuttavia valutare risultati in termini di TR.

La verifica di sicurezza per i **nuovi edifici** richiede che ζ_E sia ≥ 1.000 .

Il D.M.17.1.2018 introduce livelli di sicurezza specifici per gli **edifici esistenti**, ed a tal fine è possibile fare riferimento all'indicatore ζ_E **espresso in termini di accelerazione al suolo PGA**, preferibilmente espresso considerando gli effetti di suolo: **ag*S** (la scelta di definizione di PGA come accelerazione su roccia ag o contenente anche gli effetti di suolo: ag*S è definita in input nel file di Aedes.PCM).

Per gli **interventi di Miglioramento** (§8.4.2) ζ_E può essere minore di 1.0: per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV a seguito degli interventi di miglioramento deve essere: $\zeta_E \geq 0.600$; per tutti gli altri edifici, ζ_E deve essere incrementato di almeno 0.1: $\Delta\zeta_E \geq 0.100$.

Per gli **interventi di Adeguamento** (§8.4.3) in alcuni casi (c) e) in §8.4.3) è sufficiente che ζ_E sia ≥ 0.800 , mentre negli altri casi il livello di sicurezza uguaglia quello richiesto alle nuove costruzioni: $\zeta_E \geq 1.000$.

Per quanto riguarda l'**intervallo di calcolo dei periodi di ritorno**: il D.M. 14.1.2008 definisce un periodo di ritorno compreso tra 30 e 2475 anni. Se dal calcolo risulta una capacità in termini di TR superiore a 2475 anni, si pone TR = 2475 come limite superiore. Per quanto riguarda il limite inferiore, è possibile considerare valori di TR minori di 30 anni con riferimento al Programma di ricerca DPC-ReLUIS (Unità di Ricerca CNR-ITC): viene adottata un'estrapolazione mediante una regressione sui tre valori di hazard $ag(30)$, $ag(50)$ e $ag(75)$, effettuata con la funzione di potenza: $ag(TR) = k TR^\alpha$. L'intervallo di calcolo di TR è quindi [1,2475]; ne consegue che la capacità in termini di PGA può assumere anche valori minori di quello corrispondente a TR = 30 anni.

La **capacità della struttura in termini di Vita Nominale (V_{NC})**, definita anche come **Tempo di intervento T_{INT}** , si identifica con la Vita Nominale che è possibile assegnare alla struttura, in conseguenza del periodo di ritorno sostenibile TR_{CLV} , mantenendo nel corrispondente periodo di riferimento $V_{RC} (= V_{NC} * C_U)$ la probabilità di superamento PV_R definita in input per lo Stato Limite ultimo SLV.

Per una valutazione del valore ottenuto per V_{NC} relativa a beni monumentali, si tenga presente che valori della vita nominale maggiori di 20 anni possono considerarsi ammissibili per un manufatto tutelato (§2.4 Direttiva P.C.M 9.2.2011). Se risulta: $TR_{CLV} \geq 2475$ anni, si potrà considerare un valore della vita nominale \geq del limite V_{NC} riportato nella scheda (corrispondente a TR = 2475 anni: $V_{NC} \geq 2475 * -\ln(1-PV_R) / C_U$).

Compilazione di schede tecniche per edifici strategici.

Le Schede di sintesi della verifica sismica per gli edifici strategici ai fini della Protezione Civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico, predisposte dalle Regioni (Regione Emilia-Romagna, ed altre), richiedono risultati relativi ai diversi stati limite (SLO, SLD e SLV), e l'indicatore di rischio può essere espresso in termini sia di PGA che di T_R .

In ogni caso, dal quadro di sintesi di PCM (sopra riportato) è possibile trarre i valori richiesti per la compilazione, anche qualora questa faccia riferimento alla Normativa precedente (D.M. 14.1.2008).

Informazioni sulla generazione di questa scheda:

data di creazione: 29/05/2022 , 08:45:10

Nome dei file di progetto di Aedes.PCM:

Stato Attuale (prima dell'intervento):

per Analisi globale: NAPOLI_Basilica_Annunziata_tamburo_SF

eventuale file distinto per Analisi cinematica: -

Stato di Progetto (dopo l'intervento):

per Analisi globale: NAPOLI_Basilica_Annunziata_tamburo_SP

eventuale file distinto per Analisi cinematica: -