

AREA GESTIONE EDILIZIA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

**REALIZZAZIONE DI ALLOGGI E RESIDENZE PER STUDENTI
UNIVERSITARI PRESSO L'EDIFICIO DI VIA PALESTRO, 63 -
ROMA**

(legge 14 novembre 2000, n. 338)



**PROGETTO DI ADEGUAMENTO FUNZIONALE
DELL'EDIFICIO IN VIA PALESTRO, PER LA
REALIZZAZIONE DI RESIDENZE PER STUDENTI
UNIVERSITARI (L. 338/2000)**

RELAZIONE SISMICA

Roma, Agosto 2013

Il Progettista
Ing. Stefano Tatarelli

Visto: Il Responsabile Unico del Procedimento
Ing. Armando Viscardi

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nell' analisi e nelle verifiche della struttura in muratura si è tenuto conto delle seguenti normative:

— **Legge 5 novembre 1971 n. 1086**

(G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

— **Legge 2 febbraio 1974 n. 64**

(G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

— **C.N.R. n. 10024/1986**

Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e Redazione delle relazioni di calcolo

— **Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 14 gennaio 2008**

(G.U. 29 del 4 febbraio 2008 Suppl. Ord. n. 30)

Norme tecniche per le costruzioni

AZIONE SISMICA

Descrizione di AZIONE SISMICA e PARAMETRI DI CALCOLO

Per la valutazione delle azioni sismiche, relative alle verifiche agli stati limiti ultimi (S.L.U.) e agli stati limiti di danno (S.L.D.), sono stati presi in considerazione gli spettri di risposta, funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche (S), del fattore di struttura q , dell'amplificazione spettrale F_0 e del periodo proprio di vibrazione (T).

I parametri utilizzati per il calcolo dello **spettro di risposta di progetto agli S.L.U.**, sono funzione del parametro S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

Il periodo di riferimento V_R per la valutazione delle azioni sismiche è valutato in funzione della vita nominale V_N e della classe d'uso C_U .

La natura dell'edificio (nuovo o esistente), la regolarità dell'edificio ed il numero di piani sono stati utilizzati per il calcolo del *fattore di struttura* q .

| Edificio | Regolare in pianta | Regolare in elevazione | Numero di piani | α_u / α_1 | q |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| Nuovo | Si (KR=1) | Si | Uno | 1.4 | 2.8 |
| | | | Due o più piani | 1.8 | 3.6 |
| | | No | Uno | 1.2 | 2.4 |
| | | | Due o più piani | 1.4 | 2.8 |
| | No (KR=0.8) | Si | Uno | 1.4 | 2.24 |
| | | | Due o più piani | 1.8 | 2.88 |
| | | No | Uno | 1.2 | 1.92 |
| | | | Due o più piani | 1.4 | 2.24 |
| Esistente | Si (KR=1) | Si | Uno o più piani | 1.5 | 3.0 |
| | | No | | 1.25 | 2.5 |
| | No (KR=0.8) | Si | | 1.5 | 2.4 |
| | | No | | 1.25 | 2.0 |
| | | | | | |
| | | | | | |

Per il calcolo del fattore di struttura q , che tiene conto delle capacità dissipative della struttura stessa, sono state prese in considerazione i seguenti valori

Il controllo della regolarità dell'edificio in altezza è stato condotto secondo le seguenti prescrizioni:

- tutti i sistemi resistenti verticali dell'edificio (quali pareti), si estendono per tutta l'altezza dell'edificio;
- massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla cima dell'edificio (le variazioni di massa da un piano all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si abbassa da un piano al sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%);
- eventuali restringimenti della sezione orizzontale dell'edificio avvengono, in modo graduale, da un piano al successivo, rispettando tale limiti: ad ogni piano il rientro non deve superare il 30% della dimensione corrispondente al primo piano, né il 20% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante.

Gli studi vengono condotti a seguito di un'analisi statica ed una analisi sismica statica equivalente o analisi dinamica modale.

La risposta massima complessiva di un generica caratteristica E , nel caso di analisi dinamica modale, conseguente alla sovrapposizione dei modi, è calcolata secondo quanto di seguito esposto.

Combinazione probabilistica definita SRSS (*Square Root of Square Sum* - Radice quadrata della somma dei quadrati):

$$E = \sqrt{\sum_{i=1,n} E_i^2}$$

dove

n il numero di modi di vibrazione considerati

Le sollecitazioni, derivanti da tali azioni, sono state composte, poi, con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici, secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche.

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

$$G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{Ki})$$

I valori dei coefficienti ψ_{2i} sono riportati nella successiva tabella.

| DESTINAZIONE D'USO | ψ_{2i} |
|---|-------------|
| Categoria A Ambienti ad uso residenziale | 0,30 |
| Categoria B Uffici | 0,30 |
| Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento | 0,60 |
| Categoria D Ambienti ad uso commerciale | 0,60 |
| Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 0,80 |
| Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN) | 0,60 |
| Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 0,30 |
| Categoria H Coperture | 0,00 |
| Vento | 0,00 |
| Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.) | 0,00 |
| Neve (a quota > 1000 m s.l.m.) | 0,20 |
| Variazioni termiche | 0,00 |

Il Sistema di Unità di Misura adottato è il Sistema Internazionale. In generale, le forze sono espresse in kN e le tensioni in N/mm².

Per alcuni parametri si riportano riferimenti normativi al D.M.14.1.2008 (alias: NTC08), evidenziati in colore blu indicando direttamente al paragrafo corrispondente; i riferimenti ad altre Normative sono preceduti dal titolo della Norma (EC = EuroCodici).

AZIONE SISMICA

Vita Nominale (anni) (§2.4.1) Numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Classe d'uso (1=I,2=II,3=III,4=IV) §2.4.2 Utilizzando i valori della 'Vita Nominale' e del 'Coefficiente d'uso' corrispondente alla Classe d'uso, viene determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica VR (§2.4.3).

Individuazione del sito: Longitudine e Latitudine ED50 (gradi sessadecimali)

Tipo di interpolazione

1 = media ponderata §All.A,[3]

2 = superficie rigata §CA

Tab.2, All.B

0 = località non in Tab.2, All.B

1-20 = isola (località posta in Tab.2, All.B), con la seguente convenzione:

1=Arcipelago Toscano, 2=Isole Egadi, 3=Pantelleria, 4=Sardegna, 5=Lampedusa, 6=Linosa, 7=Ponza, 8=Palmarola, 9=Zannone, 10=Ventotene, 11=Santo Stefano, 12=Ustica, 13=Tremi, 14=Alicudi, 15=Filicudi, 16=Panarea, 17=Stromboli, 18=Lipari, 19=Vulcano, 20=Salina

Valori dei parametri ag (*g), F_0 , TC^* (sec) per i periodi di ritorno di riferimento:

NTC08, §All.B: Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica

Per il sito di ubicazione della struttura, vengono specificati i valori di ag , F_0 , TC^* per i periodi di riferimento: (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni).

P,VR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR §3.2.1

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) le azioni sismiche dipendono dalla corrispondente probabilità P di superamento nel periodo di riferimento VR.

Valori dei parametri ag , F_0 , TC^* e altri parametri di spettro per i periodi di ritorno TR associati a ciascuno Stato Limite §3.2

Per ognuno dei 4 stati limite di riferimento (SLO, SLD, SLV, SLC) vengono definiti TR (anni), ag (*g), F_0 , TC^* e S, TB, TC, TD (periodi in sec.)

Categoria di sottosuolo (1=A,2=B,3=C,4=D,5=E) §3.2.2

Categoria topografica (1=T1,2=T2,3=T3,4=T4) §3.2.2

Rapporto quota sito / altezza rilievo topografico §3.2.2

Coefficiente di amplificazione topografica ST §3.2.3.2.1

SLE: Smorzamento viscoso (csi) (%) §3.2.3.2.1

SLU: Rapporto alfa,u/alfa,1 §7.8.1.3

Regolarità in altezza (-1=sì, 0=no) §7.3.1

SLU: Fattore di struttura Valore del fattore di struttura per la componente orizzontale del sisma. Per la componente verticale, si considera sempre $q=1.5$. *Per la muratura ordinaria: edifici nuovi: §7.8.1.3, edifici esistenti: §C8.7.1.2*

Microzonazione sismica

Definizione di PGA: la PGA (accelerazione orizzontale di picco al suolo), finalizzata a definire l'accelerazione sismica sostenibile dalla costruzione, può essere riferita al suolo rigido (roccia) oppure tenere conto degli effetti locali del sito attraverso il fattore di suolo S:

1 = acc. su roccia (come a,g)

2 = $a,g*S$ ($S=S,S*S,T$)

1.6.4.1 Modellazione dell'azione sismica

PARAMETRI DI CALCOLO: Sismica

Direzioni di analisi e Combinazione delle componenti

Angolo di ingresso del sisma

Angolo (in gradi °) che la direzione sismica di riferimento forma con l'asse X (+: corrisponde alla rotazione antioraria di X verso Y). Eseguita l'analisi modale, il calcolo dei coefficienti di partecipazione e quindi delle forze spettrali viene eseguito nella direzione specificata e nella direzione ortogonale (frequentemente: a 0° e a 90°, cioè lungo l'asse X e lungo l'asse Y [le due direzioni orizzontali globali]).

Criterio di combinazione delle componenti orizzontali (per le analisi lineari statica, dinamica)

(1=solo X, 2=solo Y, 3=SRSS, 4=+30%)

Con riferimento a §7.3.5, per un dato effetto (spostamento o sollecitazione) le componenti orizzontali dell'azione sismica devono essere considerate simultaneamente. La combinazione delle componenti dell'azione sismica non viene eseguita in Analisi Sismica Statica Non Lineare (Pushover). In Analisi Sismica Lineare (Statica o Dinamica Modale), è possibile combinare gli effetti dell'analisi condotta in ciascuna delle due direzioni tra loro ortogonali di riferimento, secondo una delle seguenti modalità:

1 = Combinazione non eseguita. Si valutano solo risultati in direzione a° (ignorare cioè i risultati in direzione $(a+90)^\circ$).

In caso di $a^\circ=0$, ciò significa considerare gli effetti del solo sisma X

2 = Combinazione non eseguita. Si valutano solo risultati in direzione $(a+90)^\circ$ (ignorare cioè i risultati in direzione a°).

In caso di $a^\circ=0$, ciò significa considerare gli effetti del solo sisma Y

3 = Combinazione eseguita, calcolando la radice quadrata della somma dei quadrati: $E = \sqrt{E_x^2 + E_{(x+90)}^2}$

4 = Combinazione eseguita, sommando ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione: $\pm \text{Max} [(E_x + 0.30 E_{(x+90)}); (0.30 E_x + E_{(x+90)})]$ (è l'unica modalità indicata in §7.3.5)

Ignorare effetti eccentricità accidentali

Con questo parametro è possibile ignorare gli effetti dei momenti torcenti aggiuntivi dovuti all'eccentricità accidentale (pari a $\pm 5\%$ della dimensione dell'edificio perpendicolare alla direzione sismica) (§7.2.6)

Opzioni di analisi

Progettazione semplificata per zone a bassa sismicità

$S_d(T_1)$ (g) è il valore semplificato dello spettro di risposta

Quota Z di inizio degli effetti sismici (m) (per analisi sismiche lineari)

Quota di riferimento Z per il calcolo delle forze sismiche (§7.3.3.2), rispetto alla coordinata $Z=0.000$ assunta nei Dati. Con $Z<0$ si può tenere conto dell'altezza delle fondazioni; con $Z>0$ si attribuisce alla corrispondente zona inferiore dell'edificio un moto rigido insieme al terreno (p.es. in caso di piani interrati o di scantinati in c.a. di edifici in muratura considerati come 'strutture di fondazione').

In Analisi Sismica Dinamica Modale le masse ubicate al di sotto della quota di inizio degli effetti sismici sono considerate inattive.

Per Analisi Sismica Statica Lineare

Altezza H dal piano di fondazione (m)

Periodo principale T1 (sec) in direzione X e in direzione Y

Calcolo di T1 con relazione $T_1 = C_1 H^{(3/4)}$ §7.3.3.2

- C_1 per il calcolo di $T_1 = 0.05$

Coeff. $\lambda=1.00$ nella definizione delle forze in Sismica Lineare

Secondo §7.8.1.5.2, l'Analisi Sismica Statica Lineare per edifici in muratura è applicabile anche nel caso di edifici irregolari in altezza, purché si ponga $(\lambda)=1.00$ (§7.3.3.2)

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. Nel caso in esame è stato riscontrato che la struttura esaminata, dopo l'intervento di rinforzo, è in grado di resistere all'azione sismica tenendo in conto circa il 36% della pericolosità sismica di base. Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione).

L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T*c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

| Parametri della struttura | | | | | |
|---------------------------|----------------|------------|-------------------|---------------|-----------------------|
| Classe d'uso | Vita Vn [anni] | Coeff. Uso | Periodo Vr [anni] | Tipo di suolo | Categoria topografica |
| II | 50.0 | 1.0 | 50.0 | D | T1 |

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in tabella:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

mediante la relazione seguente $S = S_s * S_t$ (3.2.5)

Fo è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale

Fv è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno ag su sito di riferimento rigido orizzontale

Tb è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

Tc è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.

Td è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Analisi Sismica: valutazione della sicurezza

Tipo di valutazione sicurezza sismica

1 = Indipendente: edificio Nuovo; Stato Attuale di Miglioramento; stato di Adeguamento

2 = Miglioramento: Stato di Progetto, da confrontare con lo Stato Attuale

- **per Stati di Progetto di Miglioramento: nome file Stato Attuale**

Indica il file di riferimento per l'esecuzione dei confronti al fine di attestare il Miglioramento sismico dello Stato di Progetto (file corrente) rispetto al corrispondente Stato Attuale

Per edifici esistenti: valutare la sicurezza solo per SLU

Per gli edifici in muratura esistenti, è possibile identificare la valutazione della sicurezza della costruzione con le sole verifiche a SLU (verifiche di resistenza) (§8.3)

Analisi Sismica: varie

Calcolo indicatore di rischio sismico

In analisi sismica lineare (statica o dinamica modale) è possibile effettuare iterativamente il calcolo della capacità in termini di PGA (e del corrispondente periodo di ritorno TR) agli Stati Limite considerati (SLO, SLD, SLV), ai fini della determinazione dell'indicatore di rischio sismico, inteso come rapporto fra PGA e a_g in input (o analogamente in termini di TR)

Verifiche anche per combinazioni NminMmax - NmaxMmin

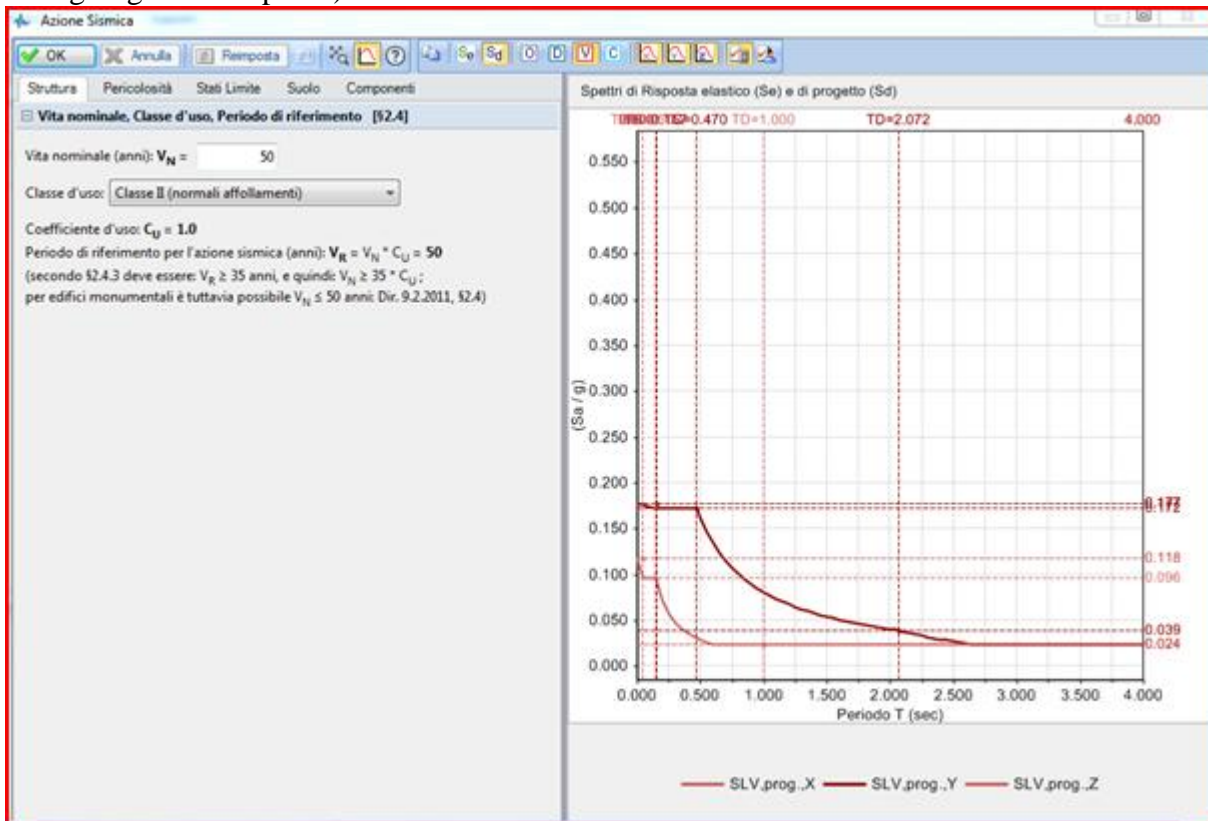
In Analisi Lineare, il parametro indica se considerare o meno anche le combinazioni (N min, T/M max), (N max, T/M min)

Ridistribuzione del taglio

- **max riduzione taglio base pareti (%)**, - **max aumento taglio base pareti (%)** Per l'applicazione della tecnica di Ridistribuzione del Taglio (§7.8.1.5.2), NTC08 indica i limiti -25% / +25% (unitamente al confronto con il 10% del taglio di piano). Queste limitazioni erano state precedentemente introdotte, nelle Norme Italiane, da OPCM 3431/2005. Altri valori di riferimento presenti in altri testi normativi sono i seguenti: -25% / +33% (OPCM 3274/2003) e -30% / +50% (EC8, §5.4.(6))

- **confronto con $0.1 * V_{\text{piano}}$** Secondo NTC08, deve aversi che il valore assoluto della variazione di taglio in ciascuna parete ΔV non sia superiore a: $\Delta V \leq \max \{0.25|V|, 0.1|V_{\text{piano}}|\}$, dove V è il taglio nella parete e V_{piano} è il taglio totale al piano nella direzione parallela alla parete. Questo

parametro è lasciato opzionale in PCM per poter eseguire la redistribuzione del taglio con il solo riferimento alle variazioni percentuali del taglio nella parete (ad es., EC8 non prevede la condizione sul taglio globale di piano).



Azione Sismica

OK Annulla Reimposta

Struttura Pericolosità Stati Limite Suolo Componenti

Coordinate geografiche (ED50) (*):

Long. = 12.503100 Lat. = 41.906000

Tipo di interpolazione:

☐ Media ponderata ([3] in §All. A) ☒ Superficie rigata [SCA]

Tab. 2, All. B: Sito non in Tab. 2

Parametri di riferimento

| TR (anni) | a.g (g) | F.o | T.C* (sec) |
|-----------|---------|-------|------------|
| 30 | 0.043 | 2.527 | 0.257 |
| 50 | 0.054 | 2.506 | 0.270 |
| 72 | 0.063 | 2.508 | 0.280 |
| 101 | 0.071 | 2.531 | 0.284 |
| 140 | 0.080 | 2.559 | 0.285 |
| 201 | 0.090 | 2.578 | 0.289 |
| 475 | 0.118 | 2.621 | 0.301 |
| 975 | 0.148 | 2.619 | 0.309 |
| 2475 | 0.191 | 2.614 | 0.324 |

Reticolo intorno al sito

Sito di ubicazione della costruzione:
Long. = 12.5031, Lat. = 41.906

Vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il sito:

1: ID 28512: Long. = 12.48291, Lat. = 41.88044, distanza dal sito (km) = 3.297

2: ID 28290: Long. = 12.48209, Lat. = 41.93043, distanza dal sito (km) = 3.225

Azione Sismica

OK Annulla Reimposta

Struttura Pericolosità Stati Limite Suolo Componenti

Probabilità di superamento P_{VR}

Probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per ciascun Stato Limite (Tab. 3.2.I):

| Stato Limite | P _{VR} (%) | T _R (anni) |
|--------------|---------------------|-----------------------|
| SLE: SLO | 81 | 30 |
| SLE: SLD | 63 | 50 |
| SLU: SLV | 10 | 475 |
| SLU: SLC | 5 | 975 |

$V_R = 50 \text{ anni}$, $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$

Parametri di Spettro

a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun Stato Limite, e altri parametri di spettro [§3.2.3]:

| Stato Limite | T _R (anni) | a.g (g) | F.o | T.C* (sec) | S.S | C.C | S | T.B (sec) | T.C (sec) | T.D (sec) | F.v |
|--------------|-----------------------|---------|-------|------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-------|
| SLE: SLO | 30 | 0.043 | 2.527 | 0.257 | 1.500 | 1.644 | 1.500 | 0.141 | 0.423 | 1.772 | 0.707 |
| SLE: SLD | 50 | 0.054 | 2.506 | 0.270 | 1.500 | 1.617 | 1.500 | 0.146 | 0.437 | 1.816 | 0.786 |
| SLU: SLV | 475 | 0.118 | 2.621 | 0.301 | 1.500 | 1.560 | 1.500 | 0.157 | 0.470 | 2.072 | 1.215 |
| SLU: SLC | 975 | 0.148 | 2.619 | 0.309 | 1.467 | 1.547 | 1.467 | 0.159 | 0.478 | 2.192 | 1.360 |

Azione Sismica

OK Annulla Reimposta ? Se Sd O D V C

Struttura Pericolosità Stati Limite **Suolo** Componenti

Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche

Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

h / H (h = quota sito, H = altezza rilievo topografico) = 0.000
 $[0 \leq (h / H) \leq 1]$

Coefficiente di amplificazione topografica S_T = 1.000
 (secondo §3.2.3.2.1: $S_T = 1.000$)

PGA

☒ Accelerazione su roccia (analoga ad a_g)

☐ Accelerazione al suolo (analoga ad: $a_g * S$, dove: $S = S_S * S_T$)

Microzonazione

☐ Fattore di suolo da microzonazione sismica (S_S)