

RELAZIONE SISMICA STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

Parametri sismici:

Valori dei parametri a_g , F_0 , 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)	F_0	TC^* (sec)
30	0.057	2.490	0.250
50	0.071	2.480	0.260
72	0.082	2.490	0.270
101	0.094	2.480	0.270
140	0.106	2.480	0.280
201	0.121	2.490	0.280
475	0.161	2.539	0.290
975	0.203	2.549	0.300
2475	0.264	2.581	0.319

Vita Nominale, Classi d'uso e Periodo di riferimento (§2.4)

Vita Nominale V,N (anni) = 50

Classe d'uso = III

Coefficiente d'uso C,U = 1.5

Periodo di riferimento per l'azione sismica (anni): $V,R = V,N * C,U = 75$

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (§3.2.2):

Categoria di sottosuolo = C

Categoria topografica = T3

h/H (h = quota sito, H =altezza rilievo topografico) = 0.987

Coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1.0$

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Rigidità iniziale (elastica) (kgf/m) = 166545600
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kgf) = 356875
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kgf) = 356875

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):
 - iniziale = 0.00
 - al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 6.08, di cui dovuto alle forze orizzontali = 6.08

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

Calcolo della Massa m* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi;
 per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):
 - completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
 - masse di piano m_i traslazionali;
 - corrispondenti spostamenti modali φ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 1 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 93.2% (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al tipo di comportamento scelto per i maschi murari corrispondono rigidità iniziali elastiche, ignorando quindi le rigidità fessurate cioè assumendo %K,elast=100% per tutte le aste);
 - piano del Punto di Controllo (scelto a priori)
 - spostamenti normalizzati rispetto allo spostamento del punto di controllo (nel caso di piano deformabile, la massa di piano coincide con la somma delle masse di piano e lo spostamento del baricentro è dato dalla distanza fra il baricentro delle masse spostate -secondo la forma modale- ed il baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (kgf/m * sec^2)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	22785	5.33		0.705
2	X	5365	7.56	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa m* = Σ(m_i*φ_i) (kgf/m * sec^2) = 21423
 Coefficiente di partecipazione Γ = Σ(m_i*φ_i)/Σ(m_i*φ_i^2) = 1.284

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL / Γ) (kgf) = 277898
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kgf) = 277898
 Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 4.73

Sistema bi-lineare equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kgf) = 194529
 Rigidità elastica: k* (kgf/m) = 80597520 (=48.394% della rigidità elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: T* = 2π√(m*/k*) (sec) = 0.102
 Punto di snervamento: spostamento dy* (mm) = 3.53
 forza Fy* (kgf) = 284533

Stato Limite SLV e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):
 PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 10 %
 Da PVR e V,R, per SLV risulta definito il valore di T,R (§ All. A) attraverso la relazione: T,R = - V,R / [1 - ln(1 - PVR)]

Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLV e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv (§3.2.3), dove:
 ag = accelerazione orizzontale massima al sito,
 Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
 TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,
 SS = coefficiente di sottosuolo;
 CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;
 S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
 TB, TC, TD = periodi di spettro;
 Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR (anni)	a,g (*g)	Fo	TC* (sec)	SS	CC	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	Fv
SLU - SLV	712	0.183	2.545	0.296	1.000	1.000	1.421	0.155	0.464	2.332	1.470

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: S,e(T*) = 0.526 g
 - in spostamento: d*,e,max = S,De(T*) (mm) = 1.37
 - forza di risposta elastica = S,e(T*) m* (kgf) = 110415 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy* (kgf) = 284533 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q* = 0.388
 Controllo su q* secondo §7.8.1.6:
 risulta: q* <= 3: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 1.37

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 1.76

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento: (mm) = 1.76

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 6.08

Rapporto: Capacità/Domanda = 3.453: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLV (PGA,CLV) ≥ 0.264 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475 anni.

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLV - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,
e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.183	10.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=a,g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$

- secondo TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

Indicatore di rischio: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=a,g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$

- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712

(i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'indicatore di rischio

per la Resistenza e la Deformazione nel piano; per le altre verifiche di sicurezza:

- Resistenza fuori piano e Capacità limite del terreno: occorre eseguire un'analisi lineare dove si può utilizzare il fattore di struttura 'q' calcolato in pushover; in essa si prenderanno in considerazione le verifiche a pressoflessione ortogonale e gli stati limite ultimi di tipo geotecnico;
- Cinematismo: occorre studiare i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica), cfr. §C8A.4).

Calcolo del Fattore di Struttura 'q' (§7.8.1.3 - §C8.7.1.2):

Taglio di prima plasticizzazione (kgf) = 16875

90% del Taglio massimo (kgf) = 321188

Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ calcolato = 19.033

Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ effettivo = 2.500

Edificio regolare in altezza: $q = 5.00$

SLE di Danno (SLD) - Distr.Forze (B) - Direzione: +X

La curva di capacità a SLD coincide con la curva a SLV: il sistema bilineare equivalente è già stato sopra definito. I risultati a SLD consistono quindi direttamente nella verifica di compatibilità degli spostamenti.

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Resistenza a SLD: $F_{SLD,M-GDL}$ (kgf) = 356875

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: d_c (mm):

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: $d_{c,SLD,M-GDL} = 5.81$, di cui dovuto alle forze orizzontali = 5.81

Stato Limite SLD e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V,R = 63\%$

Da PVR e V,R , per SLD risulta definito il valore di T,R (§ All. A)

attraverso la relazione: $T,R = -V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati allo Stato Limite SLD

e: $SS, CC, S, T_B, T_C, T_D, F_v$ (§3.2.3), dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per T_C dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

T_B, T_C, T_D = periodi di spettro;

F_v = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	T_R	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	T_B	T_C	T_D	F_v
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLD	75	0.083	2.489	0.270	1.000	1.000	1.500	0.146	0.437	1.932	0.968

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*) = 0.255 g$

- in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.66

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 53482

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento F_y^* (kgf) = 284533

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.188$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risultato: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.66

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.85

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.85

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 5.81

Rapporto: Capacità / Domanda = 6.817: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLD (PGA,CLD) $\geq 0.264 g$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $T_R = 2475$

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $V_R = 75$ anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 2.985\%$

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente T_R minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e T_R maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLD

	T_R	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.083	63.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=a_g \text{ in input per SLD}) = 0.264/0.083 = 3.181$

- secondo T_R : $\alpha,D = T_R,CLD / T_R,DLD (=T_R \text{ in input per SLD}) = 2475/75 = 33.000$

SLE di Operatività (SLO) - Distr.Forze (B) - Direzione: +X

Stato Limite SLO e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 81 %
 Da PVR e V,R, per SLO risulta definito il valore di T,R (§ All. A)
 attraverso la relazione: $T,R = - V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:

 a_g = accelerazione orizzontale massima al sito, F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLO	45	0.068	2.482	0.258	1.000	1.000	1.500	0.141	0.424	1.872	0.874

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*) = 0.212 g$ - in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.55- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 44501

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento Fy^* (kgf) = 284533

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.156$ Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:risulta: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita. $q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$ Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.55**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.71**Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):**

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.71

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 5.81

Rapporto: Capacità / Domanda = 8.193: Capacità > Domanda**Verifiche per edifici strategici o importanti:**Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLO (PGA,CLO) $\geq 0.264 g$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.068	81.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:- secondo PGA: $\alpha,O = PGA,CLO / PGA,DLO (=a,g \text{ in input per SLO}) = 0.264/0.068 = 3.882$ - secondo TR: $\alpha,O = TR,CLO / TR,DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 2475/45 = 55.000$

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Rigidità iniziale (elastica) (kgf/m) = 197521000
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kgf) = 356250
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kgf) = 356250

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):
 - iniziale = 0.00
 - al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 9.89, di cui dovuto alle forze orizzontali = 9.89

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

Calcolo della Massa m* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi; per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):
 - completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
 - masse di piano m_i traslazionali;
 - corrispondenti spostamenti modali φ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (Y): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 2 con massa modale efficace (in direzione Y) pari a: 98.4% (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al tipo di comportamento scelto per i maschi murari corrispondono rigidità iniziali elastiche, ignorando quindi le rigidità fessurate cioè assumendo %K,elast=100% per tutte le aste);
 - piano del Punto di Controllo (scelto a priori)
 - spostamenti normalizzati rispetto allo spostamento del punto di controllo (nel caso di piano deformabile, la massa di piano coincide con la somma delle masse di piano e lo spostamento del baricentro è dato dalla distanza fra il baricentro delle masse spostate -secondo la forma modale- ed il baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (kgf/m * sec^2)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	22785	5.69		0.832
2	X	5365	6.85	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa m* = Σ(m_i*φ_i) (kgf/m * sec^2) = 24316
 Coefficiente di partecipazione Γ = Σ(m_i*φ_i)/Σ(m_i*φ_i^2) = 1.151

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL / Γ) (kgf) = 309529
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kgf) = 309529
 Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 8.59

Sistema bi-lineare equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kgf) = 216670
 Rigidità elastica: k* (kgf/m) = 85178150 (=43.124% della rigidità elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: T* = 2π√(m*/k*) (sec) = 0.106
 Punto di snervamento: spostamento dy* (mm) = 3.64
 forza Fy* (kgf) = 310223

Stato Limite SLV e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):
 PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 10 %
 Da PVR e V,R, per SLV risulta definito il valore di T,R (§ All. A) attraverso la relazione: T,R = - V,R / [1 - ln(1 - PVR)]

Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLV e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv (§3.2.3), dove:
 ag = accelerazione orizzontale massima al sito,
 Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
 TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,
 SS = coefficiente di sottosuolo;
 CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;
 S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
 TB, TC, TD = periodi di spettro;
 Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR (anni)	a,g (*g)	Fo	TC* (sec)	SS	CC	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	Fv
SLU - SLV	712	0.183	2.545	0.296	1.000	1.000	1.421	0.155	0.464	2.332	1.470

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: S,e(T*) = 0.535 g
 - in spostamento: d*,e,max = S,De(T*) (mm) = 1.50
 - forza di risposta elastica = S,e(T*) m* (kgf) = 127626 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy* (kgf) = 310223 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q* = 0.411
 Controllo su q* secondo §7.8.1.6:
 risulta: q* <= 3: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 1.50

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 1.72

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento: (mm) = 1.72

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 9.89

Rapporto: Capacità/Domanda = 5.736: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLV (PGA,CLV) ≥ 0.264 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475 anni.

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLV - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,
e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.183	10.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=a,g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$

- secondo TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

Indicatore di rischio: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=a,g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$

- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712

(i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'indicatore di rischio

per la Resistenza e la Deformazione nel piano; per le altre verifiche di sicurezza:

- Resistenza fuori piano e Capacità limite del terreno: occorre eseguire un'analisi lineare dove si può utilizzare il fattore di struttura 'q' calcolato in pushover; in essa si prenderanno in considerazione le verifiche a pressoflessione ortogonale e gli stati limite ultimi di tipo geotecnico;
- Cinematismo: occorre studiare i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica), cfr. §C8A.4).

Calcolo del Fattore di Struttura 'q' (§7.8.1.3 - §C8.7.1.2):

Taglio di prima plasticizzazione (kgf) = 16250

90% del Taglio massimo (kgf) = 320625

Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ calcolato = 19.731

Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ effettivo = 2.500

Edificio regolare in altezza: $q = 5.00$

SLE di Danno (SLD) - Distr.Forze (B) - Direzione: +Y

La curva di capacità a SLD coincide con la curva a SLV: il sistema bilineare equivalente è già stato sopra definito. I risultati a SLD consistono quindi direttamente nella verifica di compatibilità degli spostamenti.

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Resistenza a SLD: $F_{SLD,M-GDL}$ (kgf) = 356250

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: d_c (mm):

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: $d_{c,SLD,M-GDL}$ = 5.82, di cui dovuto alle forze orizzontali = 5.82

Stato Limite SLD e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 63 %

Da PVR e V,R , per SLD risulta definito il valore di T,R (§ All. A)

attraverso la relazione: $T,R = -V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati allo Stato Limite SLD

e: SS , CC , S , TB , TC , TD , F_v (§3.2.3), dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per T_C dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB , TC , TD = periodi di spettro;

F_v = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	T_R (anni)	a_g (*g)	F_o	T_C^* (sec)	SS	CC	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	F_v
SLE - SLD	75	0.083	2.489	0.270	1.000	1.000	1.500	0.146	0.437	1.932	0.968

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*)$ = 0.259 g

- in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.73

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 61831

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento F_y^* (kgf) = 310223

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q^* = 0.199

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risultato: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.73

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.84

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.84

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 5.82

Rapporto: Capacità / Domanda = 6.97: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLD (PGA,CLD) ≥ 0.264 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $T_R = 2475$

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 2.985$ %

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente T_R minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e T_R maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLD

	T_R (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Dati	75	0.083	63.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA : $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=a_g$ in input per SLD) = $0.264/0.083 = 3.181$

- secondo T_R : $\alpha,D = TR,CLD / TR,DLD (=TR$ in input per SLD) = $2475/75 = 33.000$

SLE di Operatività (SLO) - Distr.Forze (B) - Direzione: +Y

Stato Limite SLO e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 81 %
 Da PVR e V,R, per SLO risulta definito il valore di T,R (§ All. A)
 attraverso la relazione: $T,R = - V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:

 a_g = accelerazione orizzontale massima al sito, F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLO	45	0.068	2.482	0.258	1.000	1.000	1.500	0.141	0.424	1.872	0.874

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*) = 0.216 g$ - in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.60- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 51462

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento Fy^* (kgf) = 310223

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.166$ Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:risulta: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita. $q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$ Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.60**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.70**Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):**

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.70

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 5.82

Rapporto: Capacità / Domanda = 8.374: Capacità > Domanda**Verifiche per edifici strategici o importanti:**Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLO (PGA,CLO) $\geq 0.264 g$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.068	81.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:- secondo PGA: $\alpha,O = PGA,CLO / PGA,DLO (=a,g \text{ in input per SLO}) = 0.264/0.068 = 3.882$ - secondo TR: $\alpha,O = TR,CLO / TR,DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 2475/45 = 55.000$

SLU DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Rigidità iniziale (elastica) (kgf/m) = 179691600
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kgf) = 356875
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kgf) = 356875

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):
- iniziale = 0.00
- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 5.77, di cui dovuto alle forze orizzontali = 5.77

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

Calcolo della Massa m* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).
La massa m* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa m* = $\Sigma(m,i)$ (kgf/m * sec²) = 28150
Coefficiente di partecipazione Γ = 1.000

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL / Γ) (kgf) = 356875
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kgf) = 356875
Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 5.77

Sistema bi-lineare equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kgf) = 249813
Rigidità elastica: k* (kgf/m) = 84630380 (=47.098% della rigidità elastica del sistema M-GDL)
Periodo elastico: T* = $2\pi\sqrt{m^*/k^*}$ (sec) = 0.115
Punto di snervamento: spostamento dy* (mm) = 4.36
forza Fy* (kgf) = 369305

Stato Limite SLV e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):
PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 10 %
Da PVR e V,R, per SLV risulta definito il valore di T,R (§ All. A)
attraverso la relazione: T,R = - V,R / [1 - ln(1 - PVR)]

Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLV

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:
ag = accelerazione orizzontale massima al sito,
Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,
SS = coefficiente di sottosuolo;
CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;
S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
TB, TC, TD = periodi di spettro;
Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a,g	Fo	TC*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLU - SLV	712	0.183	2.545	0.296	1.000	1.000	1.421	0.155	0.464	2.332	1.470

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
- in accelerazione: S,e(T*) = 0.557 g
- in spostamento: d*,e,max = S,De(T*) (mm) = 1.82
- forza di risposta elastica = S,e(T*) m* (kgf) = 153783
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy* (kgf) = 369305
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q* = 0.416

Controllo su q* secondo §7.8.1.6:
risulta: q* <= 3: la verifica di sicurezza può essere eseguita.
q* <= 1, e quindi: d*,max = d*,e,max

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d*,max (mm) = 1.82

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: Γ d*,max (mm) = 1.82

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento: (mm) = 1.82
Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 5.77

Rapporto: Capacità/Domanda = 3.173: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLV (PGA,CLV) >= 0.264 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475 anni.
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %
(rispetto ai valori di progetto per SLV - sopra riportati - deve risultare:
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,
e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.183	10.0

| Risultati | 2475 | 0.264 | 3.0 |

Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (=a, g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$
- secondo TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV} (=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

Indicatore di rischio: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (=a, g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$
 - periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'indicatore di rischio per la Resistenza e la Deformazione nel piano; per le altre verifiche di sicurezza:
- Resistenza fuori piano e Capacità limite del terreno: occorre eseguire un'analisi lineare dove si può utilizzare il fattore di struttura 'q' calcolato in pushover; in essa si prenderanno in considerazione le verifiche a pressoflessione ortogonale e gli stati limite ultimi di tipo geotecnico;
 - Cinematismo: occorre studiare i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica), cfr. §C8A.4).

Calcolo del Fattore di Struttura 'q' (§7.8.1.3 - §C8.7.1.2):

Taglio di prima plasticizzazione (kgf) = 16875
90% del Taglio massimo (kgf) = 321188
Rapporto $\alpha, u/\alpha, l$ calcolato = 19.033
Rapporto $\alpha, u/\alpha, l$ effettivo = 2.500
Edificio regolare in altezza: q = 5.00

SLE di Danno (SLD) - Distr.Forze (E) - Direzione: +X

La curva di capacità a SLD coincide con la curva a SLV: il sistema bilineare equivalente è già stato sopra definito. I risultati a SLD consistono quindi direttamente nella verifica di compatibilità degli spostamenti.

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Resistenza a SLD: $F_{SLD,M-GDL}$ (kgf) = 356875

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: d_c (mm):

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: $d_{c,SLD,M-GDL}$ = 5.50, di cui dovuto alle forze orizzontali = 5.50

Stato Limite SLD e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

e: PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 63 %

Da PVR e V,R , per SLD risulta definito il valore di T,R (§ All. A)

attraverso la relazione: $T,R = -V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati allo Stato Limite SLD

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, F_v (§3.2.3), dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

F_v = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	T_R	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	TB	TC	TD	F_v
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLD	75	0.083	2.489	0.270	1.000	1.000	1.500	0.146	0.437	1.932	0.968

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*)$ = 0.270 g

- in spostamento: d^*,e,max = $S,De(T^*)$ (mm) = 0.88

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*)$ m* (kgf) = 74536

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento F_y^* (kgf) = 369305

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q^* = 0.202

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risultato: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: d^*,max = d^*,e,max

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.88

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.88

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.88

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 5.50

Rapporto: Capacità / Domanda = 6.244: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLD (PGA,CLD) \geq 0.264 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno T_R = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento V_R = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente T_R minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e T_R maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLD

	T_R	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.083	63.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=a_g$ in input per SLD) = 0.264/0.083 = 3.181

- secondo T_R : $\alpha,D = T_R,CLD / T_R,DLD (=T_R$ in input per SLD) = 2475/75 = 33.000

SLE di Operatività (SLO) - Distr.Forze (E) - Direzione: +X

Stato Limite SLO e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 81 %

Da PVR e V,R, per SLO risulta definito il valore di T,R (§ All. A)

attraverso la relazione: $T,R = -V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR (anni)	a_g (*g)	F_o	T_C^* (sec)	SS	CC	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)	Fv
SLE - SLO	45	0.068	2.482	0.258	1.000	1.000	1.500	0.141	0.424	1.872	0.874

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*) = 0.225 g$

- in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.73

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 62072

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento F_y^* (kgf) = 369305

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.168$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risulta: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.73

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.73

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §7.3.4.1 - §7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.73

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 5.50

Rapporto: Capacità / Domanda = 7.498: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLO (PGA,CLO) $\geq 0.264 g$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLO

	TR (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Dati	45	0.068	81.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha_0 = PGA,CLO / PGA,DLO (=a_g \text{ in input per SLO}) = 0.264/0.068 = 3.882$

- secondo TR: $\alpha_0 = TR,CLO / TR,DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 2475/45 = 55.000$

SLU DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +Y

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Rigidità iniziale (elastica) (kgf/m) = 202120100
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kgf) = 356250
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kgf) = 356250

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):
- iniziale = 0.00
- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 9.84, di cui dovuto alle forze orizzontali = 9.84

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

Calcolo della Massa m* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).
La massa m* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (Y):

Massa m* = $\Sigma(m,i)$ (kgf/m * sec²) = 28150
Coefficiente di partecipazione Γ = 1.000

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL / Γ) (kgf) = 356250
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kgf) = 356250
Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 9.84

Sistema bi-lineare equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kgf) = 249375
Rigidità elastica: k* (kgf/m) = 86277740 (=42.686% della rigidità elastica del sistema M-GDL)
Periodo elastico: T* = $2\pi\sqrt{m^*/k^*}$ (sec) = 0.113
Punto di snervamento: spostamento dy* (mm) = 4.14
forza Fy* (kgf) = 356922

Stato Limite SLV e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):
PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 10 %
Da PVR e V,R, per SLV risulta definito il valore di T,R (§ All. A)
attraverso la relazione: T,R = - V,R / [1 - ln(1 - PVR)]

Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLV

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:
ag = accelerazione orizzontale massima al sito,
Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,
SS = coefficiente di sottosuolo;
CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;
S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
TB, TC, TD = periodi di spettro;
Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a,g	Fo	TC*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLU - SLV	712	0.183	2.545	0.296	1.000	1.000	1.421	0.155	0.464	2.332	1.470

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
- in accelerazione: S,e(T*) = 0.554 g
- in spostamento: d*,e,max = S,De(T*) (mm) = 1.77
- forza di risposta elastica = S,e(T*) m* (kgf) = 152997
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy* (kgf) = 356922
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q* = 0.429

Controllo su q* secondo §7.8.1.6:
risulta: q* <= 3: la verifica di sicurezza può essere eseguita.
q* <= 1, e quindi: d*,max = d*,e,max

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d*,max (mm) = 1.77

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: Γ d*,max (mm) = 1.77

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento: (mm) = 1.77
Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 9.84

Rapporto: Capacità/Domanda = 5.549: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLV (PGA,CLV) >= 0.264 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475 anni.
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %
(rispetto ai valori di progetto per SLV - sopra riportati - deve risultare:
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,
e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.183	10.0

| Risultati | 2475 | 0.264 | 3.0 |

Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (=a, g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$
- secondo TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV} (=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

Indicatore di rischio: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (=a, g \text{ in input per SLV}) = 0.264/0.183 = 1.443$
 - periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'indicatore di rischio per la Resistenza e la Deformazione nel piano; per le altre verifiche di sicurezza:
- Resistenza fuori piano e Capacità limite del terreno: occorre eseguire un'analisi lineare dove si può utilizzare il fattore di struttura 'q' calcolato in pushover; in essa si prenderanno in considerazione le verifiche a pressoflessione ortogonale e gli stati limite ultimi di tipo geotecnico;
 - Cinematismo: occorre studiare i meccanismi di collasso (Analisi Cinematica), cfr. §C8A.4).

Calcolo del Fattore di Struttura 'q' (§7.8.1.3 - §C8.7.1.2):

Taglio di prima plasticizzazione (kgf) = 16250
90% del Taglio massimo (kgf) = 320625

Rapporto $\alpha, u/\alpha, l$ calcolato = 19.731

Rapporto $\alpha, u/\alpha, l$ effettivo = 2.500

Edificio regolare in altezza: q = 5.00

SLE di Danno (SLD) - Distr.Forze (E) - Direzione: +Y

La curva di capacità a SLD coincide con la curva a SLV: il sistema bilineare equivalente è già stato sopra definito. I risultati a SLD consistono quindi direttamente nella verifica di compatibilità degli spostamenti.

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):

Resistenza a SLD: $F_{SLD,M-GDL}$ (kgf) = 356250

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: $dc_{SLD,M-GDL}$ = 5.77, di cui dovuto alle forze orizzontali = 5.77

Stato Limite SLD e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 63 %

Da PVR e V,R, per SLD risulta definito il valore di T,R (§ All. A)

attraverso la relazione: $T,R = -V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv (§3.2.3), dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLD	75	0.083	2.489	0.270	1.000	1.000	1.500	0.146	0.437	1.932	0.968

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*)$ = 0.269 g

- in spostamento: d^*,e,max = $S,De(T^*)$ (mm) = 0.86

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*)$ m* (kgf) = 74150

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento F_y^* (kgf) = 356922

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: q^* = 0.208

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risultato: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: d^*,max = d^*,e,max

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.86

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.86

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.86

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 5.77

Rapporto: Capacità / Domanda = 6.718: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLD (PGA,CLD) ≥ 0.264 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.083	63.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=a,g \text{ in input per SLD}) = 0.264/0.083 = 3.181$

- secondo TR: $\alpha,D = TR,CLD / TR,DLD (=TR \text{ in input per SLD}) = 2475/75 = 33.000$

SLE di Operatività (SLO) - Distr.Forze (E) - Direzione: +Y

Stato Limite SLO e relativa probabilità di superamento (§3.2.1):

PVR: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V,R = 81 %
Da PVR e V,R, per SLO risulta definito il valore di T,R (§ All. A)
attraverso la relazione: $T,R = - V,R / [1 - \ln(1 - PVR)]$

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO

e: SS, CC, S, TB, TC, TD, Fv [§3.2.3], dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_o = 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,

SS = coefficiente di sottosuolo;

CC = coefficiente per TC dipendente dal sottosuolo;

S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

TB, TC, TD = periodi di spettro;

Fv = fattore di amplificazione spettrale massima per spettro in accelerazione verticale:

Stato Limite	TR	a_g	F_o	T_C^*	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLO	45	0.068	2.482	0.258	1.000	1.000	1.500	0.141	0.424	1.872	0.874

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S,e(T^*) = 0.224 g$

- in spostamento: $d^*,e,max = S,De(T^*)$ (mm) = 0.72

- forza di risposta elastica = $S,e(T^*) m^*$ (kgf) = 61747

(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);

- forza di snervamento Fy^* (kgf) = 356922

(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.173$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6:

risultato: $q^* \leq 3$: la verifica di sicurezza può essere eseguita.

$q^* \leq 1$, e quindi: $d^*,max = d^*,e,max$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 0.72

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 0.72

Verifica di sicurezza (§7.3.4.1 - §7.8.1.5.4 - §C7.3.4.1 - §C7.8.1.5.4):

Domanda sismica in spostamento (mm) = 0.72

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 5.77

Rapporto: Capacità / Domanda = 8.068: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

Accelerazione sostenibile (Capacità) per SLO (PGA,CLO) $\geq 0.264 g$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR = 2475

Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 2.985 %

(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA sostenibile ed il corrispondente TR minori,

e la corrispondente PVR maggiore; per verifica soddisfatta, PGA sost.e TR maggiori, e PVR minore).

Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.068	81.0
Risultati	2475	0.264	3.0

Indicatore di rischio:

- secondo PGA: $\alpha,O = PGA,CLO / PGA,DLO (=a,g \text{ in input per SLO}) = 0.264/0.068 = 3.882$

- secondo TR: $\alpha,O = TR,CLO / TR,DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 2475/45 = 55.000$