



# COMUNE DI ERCOLANO

PROGETTO DEFINITIVO  
LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE E ADEGUAMENTO  
DELL'EDIFICIO SCOLASTICO F. GIAMPAGLIA  
II CIRCOLO DIDATTICO  
ERCOLANO (NA) - VIA G. SEMMOLA



COMMITTENTE:  
Comune di Ercolano

ELABORATO

**S.06**

TITOLO:

RC.05 - Relazioni di calcolo stato di progetto\_settore Aule SX

Strutturali

DATA

settembre 2017

PROGETTISTA: Ing. Aniello Moccia

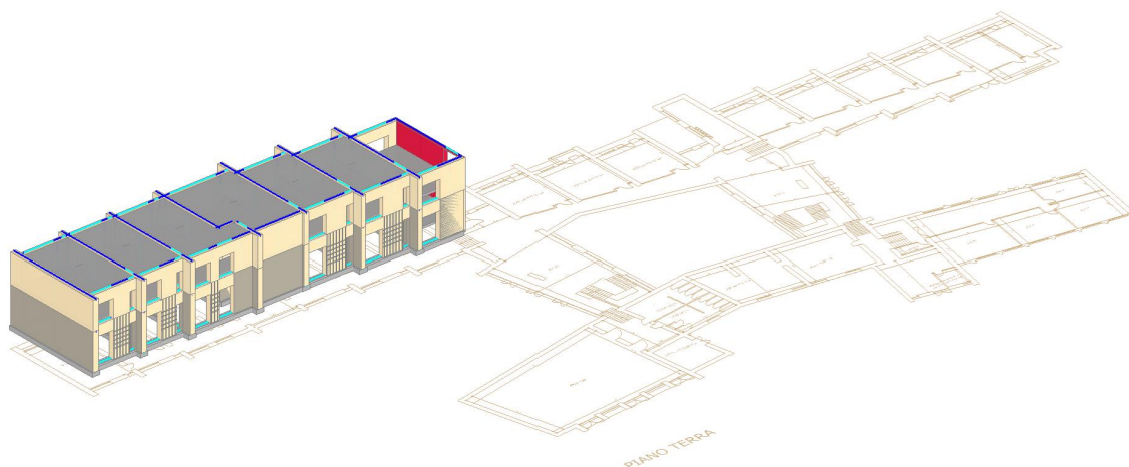
rev. 00

SUPPORTI TECNICI ALLA PROGETTAZIONE

Architettura: Arch. Raffaele Auriemma

Strutture: Prof. Ing. Michele Candela

Impianti: Ing. Salvatore Varapodio



## RELAZIONE DI CALCOLO: ANALISI STATICA NON SISMICA

### Indice

#### 1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

#### 2. GENERALITA' - PARAMETRI DI CALCOLO - AZIONE SISMICA

#### 3. Dati PIANI

#### 4. Dati MATERIALI

#### 5. Dati NODI

#### 6. Dati SEZIONI

#### 7. Dati ASTE

#### 8. Dati SOLAI

#### 9. CARICHI: CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

#### 10. CARICHI: COMBINAZIONI DI CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

#### 11. DATI GEOMETRICI ELEMENTI IN MURATURA

#### 12. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE NEL PIANO (§4.5.6, §7.8.2.2.1, §7.8.2.2.4) [ SLV ] - C.Sic: 1.003 (CCC ID 30) (Analisi Statica Lineare NON Sismica: Involuppo CCC)

#### 13. VERIFICA A TAGLIO PER SCORRIMENTO (§4.5.6, §7.8.2.2.2) [ SLV ] - C.Sic: 1.116 (CCC ID 42) (Analisi Statica Lineare NON Sismica: Involuppo CCC)

#### 14. VERIFICA A TAGLIO PER FESSURAZIONE DIAGONALE (§4.5.6, §8.7.1.5) [ SLV ] - C.Sic: 1.257 (CCC ID 43) (Analisi Statica Lineare NON Sismica: Involuppo CCC)

#### 15. VERIFICA A PRESSOFLESSIONE ORTOGONALE (da modello 3D) (§4.5.6, §7.8.2.2.3) [ SLV ] - C.Sic: 2.113 (CCC ID 32) (Analisi Statica Lineare NON Sismica: Involuppo CCC)

#### 16. VERIFICHE PER STATO LIMITE ULTIMO DI TIPO GEOTECNICO (§6.4.2.1) [ SLV ] - C.Sic: 1.061 (CCC ID 32) (Analisi Statica Lineare NON Sismica: Involuppo CCC SLU)

#### 17. VERIFICHE IN FONDAZIONE PER STATO LIMITE DI ESERCIZIO (§6.4.2.2) [ SLE ]

Analisi Statica Lineare, NON Sismica: Sintesi risultati

---

**Analisi Statica Lineare NON Sismica [§4.5.5]**  
**Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura**

---

SLU di salvaguardia della Vita (SLV)  
Verifiche di Resistenza

[§4.5.5] **Involuppo CCC**


PressoFlessione Complanare [§4.5.6]	<b>1.003</b>	100%
Taglio per Scorrimento [§4.5.6]	<b>1.116</b>	100%
Taglio per Fessuraz. Diagonale [§4.5.6]	<b>1.257</b>	100%
PressoFlessione Ortogonale (da modello 3D)	<b>2.113</b>	100%

---

SL di tipo geotecnico (GEO): Capacità  
portante del terreno e Scorrimento sul  
piano di posa [§6.4.2.1]

**1.061**

---

 Chiudi



























































































































































































RELAZIONE DI CALCOLO: ANALISI STATICA NON LINEARE

Indice

1. RISULTATI ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt	F/W	q*	q	PGA,CLV	TR,CLV	PVR,CLV	aV,PGA	aV,TR	VN,CLV	PGA,CLD	TR,CLD	PVR,CLD	aD,PGA	aD,TR
1		<input checked="" type="checkbox"/>	B	+X	+	0.860	0.551	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.265	2168	3.400	3.630	28.913
2		<input type="checkbox"/>	B	+X	-	0.857	0.553	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.265	2141	3.443	3.630	28.544
3		<input type="checkbox"/>	B	+Y	+	0.850	0.652	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.208	954	7.557	2.849	12.726
4		<input type="checkbox"/>	B	+Y	-	0.763	0.658	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.117	195	31.864	1.603	2.606
5		<input type="checkbox"/>	E	+X	+	1.220	0.450	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.254	1877	3.916	3.479	25.030
6		<input type="checkbox"/>	E	+X	-	1.362	0.403	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.247	1698	4.322	3.384	22.636
7		<input type="checkbox"/>	E	+Y	+	0.879	0.713	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.191	741	9.632	2.616	9.874
8		<input type="checkbox"/>	E	+Y	-	1.015	0.504	5.000	0.276	>=2475	2.985	1.460	3.476	174	0.092	120	46.543	1.260	1.597

## 1. RISULTATI ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE (PUSHOVER)

### 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) = 14.354862  
- Latitudine ED50 (gradi sessadecimali) = 40.813749  
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	2.345	0.282
50	0.059	2.343	0.311
72	0.072	2.339	0.321
101	0.085	2.342	0.330
140	0.100	2.339	0.333
201	0.118	2.329	0.336
475	0.165	2.385	0.341
975	0.210	2.451	0.343
2475	0.276	2.574	0.343

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

ag(TR) = K \* TR<sup>α</sup>, dove:  
K = 0.007155358, α = 0.538856390

#### Stati Limite:

PVR (%) Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR per ciascun Stato Limite (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 [S3.2.3]

Stato limite	TR (anni)	a,g (*g)	Fo	TC* (sec)	S	TB (sec)	TC (sec)	TD (sec)
SLO	45	0.056	2.343	0.305	1.200	0.142	0.425	1.824
SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	0.148	0.444	1.892
SLV	712	0.189	2.422	0.342	1.200	0.155	0.466	2.356
SLC	1462	0.237	2.504	0.343	1.163	0.156	0.467	2.548

#### Suolo:

Categoria di sottosuolo e Condizioni topografiche:

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

#### PGA:

Definizione di PGA: Accelerazione su roccia (analoga ad ag)

#### Microzonazione:

Fattore di suolo SS da microzonazione sismica: no

#### Componenti:

Spettro di risposta: componente orizzontale:

SLE: Smorzamento viscoso (ξ) (%) = 5

η=[10/(5+ξ)]= 1

SLU: Rapporto αu/α1 = 1.5

Regolarità in altezza: si

SLU: Fattore di struttura = 3 => η=1/q= 0.333

Spettro di risposta: componente verticale:

SS=1.000, S=1.000, TB=0.050 sec, TC=0.150 sec, TD=1.000 sec, ξ=5% (η=1.000), q=1.500 (η=1/q=0.667)

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

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1270942.00  
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 12801.25  
Peso sismico totale W (kN) = 14885.87  
Massa sismica totale M (k\*kgm) = 1517.936  
Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.86  
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kN) = 12801.25

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

- iniziale = 0.00

- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 30.51, di cui dovuto alle forze orizzontali = 30.51

#### 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  $\phi_i$  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: 85.8%;
- 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 (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	896.02	15.89		0.452
2	X	621.91	35.13	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa  $m^* = \sum(m_i \phi_i) = 1027.20$   
Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = \sum(m_i \phi_i) / \sum(m_i \phi_i^2) = 1.276$

Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{Max,1-GDL} = (F_{Max,M-GDL} / \Gamma) \text{ (kN)} = 10035.02$   
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma) \text{ (kN)} = 10035.02$   
Spostamento a SLV (Stato limite ultimo):  $d_{SLV,1-GDL} = (d_{SLV,M-GDL} / \Gamma) \text{ (mm)} = 23.91$

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70%  $F_{Max,1-GDL} \text{ (kN)} = 7024.51$   
Rigidità elastica:  $K^* \text{ (kN/m)} = 479428.30$  (=37.722% della rigidità elastica del sistema M-GDL)  
Periodo elastico:  $T^* = 2(m^*/K^*) \text{ (sec)} = 0.291$   
Punto di snervamento: spostamento  $dy^* \text{ (mm)} = 20.93$   
forza  $Fy^* \text{ (kN)} = 10035.02$

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	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.549 g$   
- in spostamento:  $d^*,e,max = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 11.54$   
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) m^* \text{ (kN)} = 5533.42$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $Fy^* \text{ (kN)} = 10035.02$   
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)  
Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.551$   
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:  $d^*,max \text{ (mm)} = 11.54$

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,max \text{ (mm)} = 14.72$

#### 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:  $(mm) = 14.72$   
Capacità di spostamento a SLV:  $(mm) = 30.51$

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.072: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)  $\geq 0.276 g$   
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR,CLV = 2475$  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,CLV e  $TR,CLV$  minori,  
e  $PVR,CLV$  maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e  $TR,CLV$  maggiori, e  $PVR,CLV$  minore).

#### Riepilogo per SLV

	TR (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

**Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

**Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:**

- $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
  - periodi di ritorno: TR, CLV = 2475; TR, DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 744.22  
 90% del Taglio massimo (kN) = 11521.13  
 Rapporto  $\alpha, u/\alpha, l$  calcolato = 15.481  
 Rapporto  $\alpha, u/\alpha, l$  effettivo = 2.500  
 Edificio regolare in altezza: q = 5.000

**SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +X+MT**

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 (kN) = 9076.72

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

- iniziale = 0.00
- al limite di danno: dc, SLD, M-GDL = 20.51, di cui dovuto alle forze orizzontali = 20.51

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: S, e(T\*) = 0.205 g
- in spostamento: d\*, e, max = S, De(T\*) (mm) = 4.31
- forza di risposta elastica = S, e(T\*) m\* (kN) = 2064.00  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy\* (kN) = 10035.02  
 (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\* = 0.206

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) = 4.31

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: F d\*, max (mm) = 5.49

**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) = 5.49  
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 20.51

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.734: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.265 g  
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR, CLD = 2168.481  
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
 ha la probabilità di essere superata pari a: PVR, CLD = 3.4 %  
 (rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:  
 in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA, CLD e TR, CLD minori,  
 e PVR, CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA, CLD e TR, CLD maggiori, e PVR, CLD minore).

**Riepilogo per SLD**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)

Dati	75	0.073	63.0
Risultati	2168	0.265	3.4

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, D = \text{PGA}_{CLD} / \text{PGA}_{DLD} (= \text{PGA in input per SLD}) = 0.265/0.073 = 3.630$
- secondo TR:  $\alpha, D = \text{TR}_{CLD} / \text{TR}_{DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 2168/75 = 28.913$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +X+MT

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	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.157 \text{ g}$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S_e(T^*) \text{ (mm)} = 3.31$
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) \text{ m}^* \text{ (kN)} = 1586.05$   
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $F_y^* \text{ (kN)} = 10035.02$   
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.158$

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:  $d^*, \max \text{ (mm)} = 3.31$

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max \text{ (mm)} = 4.22$

#### 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) = 4.22

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 13.87

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.287: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA ( $\text{PGA}_{CLO}$ ) = 0.179 g  
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $\text{TR}_{CLO} = 610.6009$   
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
 ha la probabilità di essere superata pari a:  $\text{PVR}_{CLO} = 11.559 \%$   
 (rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:  
 in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta,  $\text{PGA}_{CLO}$  e  $\text{TR}_{CLO}$  minori,  
 e  $\text{PVR}_{CLO}$  maggiore; per verifica soddisfatta,  $\text{PGA}_{CLO}$  e  $\text{TR}_{CLO}$  maggiori, e  $\text{PVR}_{CLO}$  minore).

#### Riepilogo per SLO

	TR (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	611	0.179	11.6

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, O = \text{PGA}_{CLO} / \text{PGA}_{DLO} (= \text{PGA in input per SLO}) = 0.179/0.056 = 3.196$
- secondo TR:  $\alpha, O = \text{TR}_{CLO} / \text{TR}_{DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 611/45 = 13.569$

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

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1266114.00  
 Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{\text{Max}, M-GDL} \text{ (kN)} = 12753.13$   
 Peso sismico totale W (kN) = 14885.87  
 Massa sismica totale M ( $\text{k} \cdot \text{kgm}$ ) = 1517.936  
 Rapporto forza/peso ( $F_{\text{Max}, M-GDL} / W$ ) = 0.857  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{\text{SLV}, M-GDL} \text{ (kN)} = 12753.13$

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

- iniziale = 0.00
- al limite ultimo:  $dc_{\text{SLV}, M-GDL} = 30.30$ , di cui dovuto alle forze orizzontali = 30.30

**Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):**Calcolo della Massa  $m^*$  e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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  $\phi_i$  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: 85.8%;
- 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 (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	896.02	15.89		0.452
2	X	621.91	35.13	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa  $m^* = \Sigma(m_i \phi_i)$  (k\*kgm) = 1027.20Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = \Sigma(m_i \phi_i) / \Sigma(m_i \phi_i^2) = 1.276$ Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{Max,1-GDL} = (F_{Max,M-GDL} / \Gamma)$  (kN) = 9997.30Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$  (kN) = 9997.30Spostamento a SLV (Stato limite ultimo):  $d_{SLV,1-GDL} = (d_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$  (mm) = 23.75**Sistema bi-lineare equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):**70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70%  $F_{Max,1-GDL}$  (kN) = 6998.11Rigidezza elastica:  $K^*$  (kN/m) = 478946.90 (=37.828% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)Periodo elastico:  $T^* = 2(m^*/K^*)$  (sec) = 0.291Punto di snervamento: spostamento  $dy^*$  (mm) = 20.87  
forza  $Fy^*$  (kN) = 9997.30

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
SLV - SLV	712	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.549 g$
- in spostamento:  $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$  (mm) = 11.55
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) m^*$  (kN) = 5533.42  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $Fy^*$  (kN) = 9997.30  
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.553$ 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) = 11.55**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,max$  (mm) = 14.74**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) = 14.74

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 30.30

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.056: Capacità > Domanda****Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)  $\geq 0.276 g$   
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR,CLV = 2475$  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,CLV e  $TR,CLV$  minori,  
 e  $PVR,CLV$  maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e  $TR,CLV$  maggiori, e  $PVR,CLV$  minore).

#### Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

#### Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276 / 0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 2475 / 712 = 3.476$

#### Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276 / 0.189 = 1.460$
- periodi di ritorno: TR, CLV = 2475; TR, DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 752.81  
90% del Taglio massimo (kN) = 11477.82  
Rapporto  $\alpha, u / \alpha, l$  calcolato = 15.247  
Rapporto  $\alpha, u / \alpha, l$  effettivo = 2.500  
Edificio regolare in altezza:  $q = 5.000$

#### SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +X-MT

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 (kN) = 9087.03

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

- iniziale = 0.00
- al limite di danno: dc, SLD, M-GDL = 20.48, di cui dovuto alle forze orizzontali = 20.48

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:  $T, R = - V, R / [1 - \ln(1 - \text{PVR})]$

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

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.205 \text{ g}$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*) \text{ (mm)} = 4.31$
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) \text{ m}^* \text{ (kN)} = 2064.00$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $Fy^* \text{ (kN)} = 9997.30$   
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.206$

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:  $d^*, \max \text{ (mm)} = 4.31$

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $F d^*, \max \text{ (mm)} = 5.50$

#### 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) = 5.50  
Capacità di spostamento a SLD (mm) = 20.48

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.726: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.265 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR, CLD = 2140.796  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR, CLD = 3.443 %

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,  
e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

#### Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	2141	0.265	3.4

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} (= \text{PGA in input per SLD}) = 0.265/0.073 = 3.630$
- secondo TR:  $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 2141/75 = 28.544$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +X-MT

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	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.157 g$   
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*)$  (mm) = 3.31  
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) m^*$  (kN) = 1586.05  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^*$  (kN) = 9997.30  
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.159$

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) = 3.31

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max$  (mm) = 4.22

#### 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) = 4.22

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 13.78

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.262: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.178 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 590.5783  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 11.926 %  
(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO minori,  
e PVR,CLO maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO maggiori, e PVR,CLO minore).

#### Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	591	0.178	11.9

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, O = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} (= \text{PGA in input per SLO}) = 0.178/0.056 = 3.179$
- secondo TR:  $\alpha, O = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 591/45 = 13.124$

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

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 3307276.00

Resistenza massima (taglio alla base):  $F, \max, M-GDL$  (kN) = 12648.28

Peso sismico totale W (kN) = 14885.87

Massa sismica totale M (k\*kgm) = 1517.936

Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.85  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kN) = 12648.28

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):  
 - iniziale = 0.00  
 - al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 40.30, di cui dovuto alle forze orizzontali = 40.30

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

Calcolo della Massa m\* e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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  $\phi_i$  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: 76.9%;  
 - 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.	Massa	Spostamento	Punto di controllo	Spostamento
	rigido	(k*kgm)	(mm)		normalizzato
1	X	896.02	18.12		0.629
2	X	621.91	28.83	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa m\* =  $\Sigma(m_i \phi_i^2)$  (k\*kgm) = 1185.07  
 Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = \Sigma(m_i \phi_i^2) / \Sigma(m_i \phi_i^2) = 1.214$

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 10415.40  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 10415.40  
 Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (mm) = 33.19

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kN) = 7290.78  
 Rigidezza elastica: K\* (kN/m) = 551640.30 (=16.680% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)  
 Periodo elastico: T\* = 2(m\*/K\*) (sec) = 0.291  
 Punto di snervamento: spostamento dy\* (mm) = 17.74  
 forza Fy\* (kN) = 9785.23

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	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
 - in accelerazione: S,e(T\*) = 0.549 g  
 - in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 11.57  
 - forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 6383.86  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
 - forza di snervamento Fy\* (kN) = 9785.23  
 (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\* = 0.652  
 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) = 11.57

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma$  d\*,max (mm) = 14.05

#### 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) = 14.05  
 Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 40.30

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.868: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) >= 0.276 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 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,CLV e TR,CLV minori,  
e PVR,CLV maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e TR,CLV maggiori, e PVR,CLV minore).

#### Riepilogo per SLV

	TR (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

#### Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

#### Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 2248.13

90% del Taglio massimo (kN) = 11383.45

Rapporto  $\alpha, u/\alpha, l$  calcolato = 5.064

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

Edificio regolare in altezza: q = 5.000

#### SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +Y+MT

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 (kN) = 8738.13

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

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: dc,SLD,M-GDL = 15.64, di cui dovuto alle forze orizzontali = 15.64

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

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
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.205 g$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*)$  (mm) = 4.32
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) m^*$  (kN) = 2381.23
- (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $Fy^*$  (kN) = 9785.23
- (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.243$

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) = 4.32

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $r d^*, \max$  (mm) = 5.24

#### 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) = 5.24

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 15.64

Rapporto: Capacità / Domanda = 2.984: Capacità > Domanda

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.208 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLD = 954.4189  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLD = 7.557 %  
(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,  
e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

**Riepilogo per SLD**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	954	0.208	7.6

**Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha_D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} (= \text{PGA in input per SLD}) = 0.208/0.073 = 2.849$
- secondo TR:  $\alpha_D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 954/75 = 12.726$

**SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +Y+MT**

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO  
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)	
SLE - SLO	45	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.157 \text{ g}$   
- in spostamento:  $d^*,e,max = S_e(T^*) \text{ (mm)} = 3.32$   
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) \text{ m* (kN)} = 1829.82$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^* \text{ (kN)} = 9785.23$   
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)  
Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.187$   
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:  $d^*,max \text{ (mm)} = 3.32$

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,max \text{ (mm)} = 4.03$

**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) = 4.03  
Capacità di spostamento a SLO (mm) = 7.85

Rapporto: Capacità / Domanda = 1.949: Capacità > Domanda

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.109 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 170.6973  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 35.556 %  
(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO minori,  
e PVR,CLO maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO maggiori, e PVR,CLO minore).

**Riepilogo per SLO**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	171	0.109	35.6

**Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha_O = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} (= \text{PGA in input per SLO}) = 0.109/0.056 = 1.946$
- secondo TR:  $\alpha_O = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 171/45 = 3.793$

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

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 3083824.00  
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 11352.34  
 Peso sismico totale W (kN) = 14885.87  
 Massa sismica totale M (k\*kgm) = 1517.936  
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.763  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kN) = 11352.34

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

- iniziale = 0.00
- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 39.18, di cui dovuto alle forze orizzontali = 39.18

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

Calcolo della Massa m\* e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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  $\phi_i$  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: 76.9%;
- 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 (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	896.02	18.12		0.629
2	X	621.91	28.83	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa m\* =  $\Sigma(m_i \phi_i)$  (k\*kgm) = 1185.07  
 Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = \Sigma(m_i \phi_i) / \Sigma(m_i \phi_i^2) = 1.214$

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 9348.24  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 9348.24  
 Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (mm) = 32.26

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kN) = 6543.77  
 Rigidezza elastica: K\* (kN/m) = 401265.30 (=13.012% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)  
 Periodo elastico: T\* = 2(m\*/K\*) (sec) = 0.341  
 Punto di snervamento: spostamento dy\* (mm) = 24.16  
 forza Fy\* (kN) = 9696.39

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)	
SLV - SLV	712	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
 - in accelerazione: S,e(T\*) = 0.549 g  
 - in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 15.91  
 - forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 6383.86  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
 - forza di snervamento Fy\* (kN) = 9696.39  
 (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\* = 0.658  
 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) = 15.91

### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma$  d\*,max (mm) = 19.32

### 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) = 19.32

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 39.18

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.028: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)  $\geq 0.276$  g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 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,CLV e TR,CLV minori,  
e PVR,CLV maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e TR,CLV maggiori, e PVR,CLV minore).

**Riepilogo per SLV**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

**Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha,V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha,V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

**Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:**

- $\alpha,V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$
- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 1696.41  
90% del Taglio massimo (kN) = 1021.711  
Rapporto  $\alpha,u/\alpha,1$  calcolato = 6.023  
Rapporto  $\alpha,u/\alpha,1$  effettivo = 2.500  
Edificio regolare in altezza: q = 5.000

**SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +Y-MT**

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 (kN) = 6536.41

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

- iniziale = 0.00
- al limite di danno: dc,SLD,M-GDL = 11.50, di cui dovuto alle forze orizzontali = 11.50

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: S,e(T\*) = 0.205 g
- in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 5.93
- forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 2381.23  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy\* (kN) = 9696.39  
(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\* = 0.246

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) = 5.93

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,_{max}$  (mm) = 7.21

**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) = 7.21

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 11.50

**Rapporto: Capacità / Domanda = 1.596: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.117 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR,CLD = 195.4834$

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

ha la probabilità di essere superata pari a:  $PVR,CLD = 31.864 \%$

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e  $TR,CLD$  minori,

e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e  $TR,CLD$  maggiori, e PVR,CLD minore).

**Riepilogo per SLD**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
-----			
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	195	0.117	31.9
-----			

**Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha, D = PGA,CLD / PGA,DL D (=PGA \text{ in input per SLD}) = 0.117/0.073 = 1.603$

- secondo TR:  $\alpha, D = TR,CLD / TR,DL D (=TR \text{ in input per SLD}) = 195/75 = 2.606$

**SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (B) - DIREZIONE: +Y-MT**

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  $ag, Fo, TC^*$  per i periodi di ritorno  $TR$  associati allo Stato Limite SLO

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)	
-----											
SLE - SLO	45	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749
-----											

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S,e(T^*) = 0.157 g$

- in spostamento:  $d^*,e,max = S,De(T^*)$  (mm) = 4.56

- forza di risposta elastica =  $S,e(T^*) m^* (kN) = 1829.82$

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

- forza di snervamento  $Fy^* (kN) = 9696.39$

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.189$

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) = 4.56

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,_{max}$  (mm) = 5.54

**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) = 5.54

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 7.34

**Rapporto: Capacità / Domanda = 1.326: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.074 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR,CLO = 77.25861$

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

ha la probabilità di essere superata pari a:  $PVR,CLO = 62.121 \%$

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e  $TR,CLO$  minori,

e PVR,CLO maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e  $TR,CLO$  maggiori, e PVR,CLO minore).

**Riepilogo per SLO**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
-----			
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	77	0.074	62.1
-----			

**Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha, O = PGA, CLO / PGA, DLO (=PGA \text{ in input per SLO}) = 0.074/0.056 = 1.321$
- secondo TR:  $\alpha, O = TR, CLO / TR, DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 77/45 = 1.717$

**SLU DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X+MT****Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):**

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1557412.00  
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 18162.03  
 Peso sismico totale W (kN) = 14885.87  
 Massa sismica totale M (k\*kgm) = 1517.936  
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 1.22  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kN) = 18162.03

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

- iniziale = 0.00
- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 34.81, di cui dovuto alle forze orizzontali = 34.81

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

Calcolo della Massa m\* e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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\* =  $\Sigma(m,i)$  (k\*kgm) = 1517.94  
 Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = 1.000$

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 18162.03  
 Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 18162.03  
 Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (mm) = 34.81

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kN) = 12713.42  
 Rigidezza elastica: K\* (kN/m) = 583182.90 (=37.446% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)  
 Periodo elastico: T\* = 2(m\*/K\*) (sec) = 0.321  
 Punto di snervamento: spostamento dy\* (mm) = 31.14  
 forza Fy\* (kN) = 18162.03

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	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: S,e(T\*) = 0.549 g
- in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 14.02
- forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 8176.95  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy\* (kN) = 18162.03  
 (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\* = 0.450

Controllo su q\* secondo §7.8.1.6:

risultato: 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) = 14.02

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma$  d\*,max (mm) = 14.02

**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) = 14.02

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 34.81

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.483: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) >= 0.276 g  
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 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,CLV e TR,CLV minori,  
 e PVR,CLV maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e TR,CLV maggiori, e PVR,CLV minore).

#### Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

#### Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276 / 0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 2475 / 712 = 3.476$

#### Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

- $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} (= \text{PGA in input per SLV}) = 0.276 / 0.189 = 1.460$
- periodi di ritorno: TR, CLV = 2475; TR, DLV = 712
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 745.94  
90% del Taglio massimo (kN) = 16345.83  
Rapporto  $\alpha, u / \alpha, l$  calcolato = 21.913  
Rapporto  $\alpha, u / \alpha, l$  effettivo = 2.500  
Edificio regolare in altezza:  $q = 5.000$

#### SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X+MT

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 (kN) = 10833.28

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

- iniziale = 0.00
- al limite di danno: dc, SLD, M-GDL = 18.82, di cui dovuto alle forze orizzontali = 18.82

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:  $T, R = - V, R / [1 - \ln(1 - \text{PVR})]$

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

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.205 \text{ g}$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*) \text{ (mm)} = 5.23$
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) \text{ m}^* \text{ (kN)} = 3050.06$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $Fy^* \text{ (kN)} = 18162.03$   
(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:  $d^*, \max \text{ (mm)} = 5.23$

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $F d^*, \max \text{ (mm)} = 5.23$

#### 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) = 5.23  
Capacità di spostamento a SLD (mm) = 18.82

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.599: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.254 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR, CLD = 1877.271  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR, CLD = 3.916 %

(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,  
e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

#### Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	1877	0.254	3.9

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} (= \text{PGA in input per SLD}) = 0.254/0.073 = 3.479$
- secondo TR:  $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 1877/75 = 25.030$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X-MT

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	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.157 g$   
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*)$  (mm) = 4.02  
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) m^*$  (kN) = 2343.77  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^*$  (kN) = 18162.03  
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.129$

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) = 4.02

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max$  (mm) = 4.02

#### 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) = 4.02

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 12.57

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.127: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.172 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 533.0319  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 13.125 %  
(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO minori,  
e PVR,CLO maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e TR,CLO maggiori, e PVR,CLO minore).

#### Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	533	0.172	13.1

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, O = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} (= \text{PGA in input per SLO}) = 0.172/0.056 = 3.071$
- secondo TR:  $\alpha, O = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 533/45 = 11.845$

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

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1551700.00

Resistenza massima (taglio alla base):  $F, \max, M\text{-GDL}$  (kN) = 20279.53

Peso sismico totale W (kN) = 14885.87

Massa sismica totale M (k\*kgm) = 1517.936

Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 1.362  
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,M-GDL (kN) = 20279.53

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale: dc (mm):  
- iniziale = 0.00  
- al limite ultimo: dc,SLV,M-GDL = 38.91, di cui dovuto alle forze orizzontali = 38.91

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

Calcolo della Massa m\* e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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\* =  $\Sigma(m_i)$  (k\*kgm) = 1517.94  
Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = 1.000$

Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,1-GDL = (F,Max,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 20279.53  
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo): F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (kN) = 20279.53  
Spostamento a SLV (Stato limite ultimo): d,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL /  $\Gamma$ ) (mm) = 38.91

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70% F,Max,1-GDL (kN) = 14195.67  
Rigidezza elastica: K\* (kN/m) = 569695.40 (=36.714% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)  
Periodo elastico: T\* = 2(m\*/K\*) (sec) = 0.324  
Punto di snervamento: spostamento dy\* (mm) = 35.60  
forza Fy\* (kN) = 20279.53

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	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione: S,e(T\*) = 0.549 g  
- in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 14.35  
- forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 8176.95  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento Fy\* (kN) = 20279.53  
(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\* = 0.403

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) = 14.35

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma$  d\*,max (mm) = 14.35

#### 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) = 14.35  
Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 38.91

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.711: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) >= 0.276 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 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,CLV e TR,CLV minori,  
e PVR,CLV maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e TR,CLV maggiori, e PVR,CLV minore).

#### Riepilogo per SLV

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

#### Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha,V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV}(=\text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$   
- secondo TR:  $\alpha,V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

#### Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:

-  $\alpha,V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV}(=\text{PGA in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$

- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712  
 (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 754.53  
 90% del Taglio massimo (kN) = 18251.58  
 Rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  calcolato = 24.189  
 Rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  effettivo = 2.500  
 Edificio regolare in altezza: q = 5.000

#### SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X-MT

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 (kN) = 10793.75

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

- iniziale = 0.00  
 - al limite di danno: dc,SLD,M-GDL = 18.74, di cui dovuto alle forze orizzontali = 18.74

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: S,e(T\*) = 0.205 g  
 - in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 5.35  
 - forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 3050.06  
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
 - forza di snervamento Fy\* (kN) = 20279.53  
 (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\* = 0.150

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) = 5.35

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: F d\*,max (mm) = 5.35

#### 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) = 5.35

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 18.74

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.501: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.247 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLD = 1697.681

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLD = 4.322 %

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,  
 e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

#### Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	1698	0.247	4.3

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha_D = PGA,CLD / PGA,DL(=PGA \text{ in input per SLD}) = 0.247/0.073 = 3.384$

- secondo TR:  $\alpha, D = TR, CLD / TR, DLD (=TR \text{ in input per SLD}) = 1698/75 = 22.636$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +X-MT

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	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S, e(T^*) = 0.157 g$   
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S, De(T^*)$  (mm) = 4.11  
- forza di risposta elastica =  $S, e(T^*) m^*$  (kN) = 2343.77  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^*$  (kN) = 20279.53  
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)  
Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.116$   
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) = 4.11

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max$  (mm) = 4.11

#### 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) = 4.11  
Capacità di spostamento a SLO (mm) = 12.61

**Rapporto: Capacità / Domanda = 3.065: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.169 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR, CLO = 505.7419$   
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento  $VR = 75$  anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a:  $PVR, CLO = 13.782 \%$   
(rispetto ai valori di progetto per SLO - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  minori,  
e  $PVR, CLO$  maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  maggiori, e  $PVR, CLO$  minore).

#### Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	506	0.169	13.8

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha, O = PGA, CLO / PGA, DLO (=PGA \text{ in input per SLO}) = 0.169/0.056 = 3.018$   
- secondo TR:  $\alpha, O = TR, CLO / TR, DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 506/45 = 11.239$

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

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 3624382.00  
Resistenza massima (taglio alla base):  $F, \max, M-GDL$  (kN) = 13077.97  
Peso sismico totale W (kN) = 14885.87  
Massa sismica totale M ( $k \cdot kgm$ ) = 1517.936  
Rapporto forza/peso ( $F, \max, M-GDL / W$ ) = 0.879  
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F, SLV, M-GDL$  (kN) = 13077.97

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale:  $dc$  (mm):  
- iniziale = 0.00  
- al limite ultimo:  $dc, SLV, M-GDL = 58.48$ , di cui dovuto alle forze orizzontali = 58.48

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

Calcolo della Massa  $m^*$  e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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  $m^* = \Sigma(m, i)$  ( $k \cdot kgm$ ) = 1517.94

Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = 1.000$

Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{Max,1-GDL} = (F_{Max,M-GDL} / \Gamma)$  (kN) = 13077.97  
Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$  (kN) = 13077.97  
Spostamento a SLV (Stato limite ultimo):  $d_{SLV,1-GDL} = (d_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$  (mm) = 58.48

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70%  $F_{Max,1-GDL}$  (kN) = 9154.58  
Rigidità elastica:  $K^* \text{ (kN/m)} = 636117.80$  (=17.551% della rigidità elastica del sistema M-GDL)  
Periodo elastico:  $T^* = 2(m^*/K^*)$  (sec) = 0.307  
Punto di snervamento: spostamento  $dy^*$  (mm) = 18.02  
forza  $Fy^*$  (kN) = 11461.39

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)	
SLV - SLV	712	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S,e(T^*) = 0.549 g$
- in spostamento:  $d^*,e,max = S,De(T^*)$  (mm) = 12.85
- forza di risposta elastica =  $S,e(T^*) m^*$  (kN) = 8176.95  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $Fy^*$  (kN) = 11461.39  
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.713$

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) = 12.85

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*,max$  (mm) = 12.85

**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) = 12.85

Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 58.48

**Rapporto: Capacità/Domanda = 4.55: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLV: Capacità in termini di PGA ( $PGA,CLV \geq 0.276 g$ )  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR,CLV = 2475$  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,  $PGA,CLV$  e  $TR,CLV$  minori,  
e  $PVR,CLV$  maggiore; per verifica soddisfatta,  $PGA,CLV$  e  $TR,CLV$  maggiori, e  $PVR,CLV$  minore).

**Riepilogo per SLV**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	712	0.189	10.0
Risultati	2475	0.276	3.0

**Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV$  (=PGA in input per SLV) =  $0.276/0.189 = 1.460$
- secondo TR:  $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV$  (=TR in input per SLV) =  $2475/712 = 3.476$

**Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:**

- $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV$  (=PGA in input per SLV) =  $0.276/0.189 = 1.460$
- periodi di ritorno:  $TR,CLV = 2475$ ;  $TR,DLV = 712$
- (i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 2242.97

90% del Taglio massimo (kN) = 11770.17

Rapporto  $\alpha,u/\alpha,1$  calcolato = 5.248

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

Edificio regolare in altezza: q = 5.000

#### SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +Y+MT

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 (kN) = 8732.97

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

- iniziale = 0.00

- al limite di danno: dc,SLD,M-GDL = 13.05, di cui dovuto alle forze orizzontali = 13.05

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLD

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)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

##### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: S,e(T\*) = 0.205 g

- in spostamento: d\*,e,max = S,De(T\*) (mm) = 4.79

- forza di risposta elastica = S,e(T\*) m\* (kN) = 3050.06

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

- forza di snervamento Fy\* (kN) = 11461.39

(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\* = 0.266

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) = 4.79

##### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: F d\*,max (mm) = 4.79

##### 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) = 4.79

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 13.05

**Rapporto: Capacità / Domanda = 2.722: Capacità > Domanda**

##### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.191 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLD = 740.5518

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLD = 9.632 %

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,

e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

##### Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	741	0.191	9.6

##### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=PGA \text{ in input per SLD}) = 0.191/0.073 = 2.616$

- secondo TR:  $\alpha,D = TR,CLD / TR,DLD (=TR \text{ in input per SLD}) = 741/75 = 9.874$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +Y+MT

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 ag, Fo, TC\* per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLO

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)	
-----											
SLE - SLO	45	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749
-----											

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.157 \text{ g}$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S_e(T^*) \text{ (mm)} = 3.68$
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) \text{ m}^* \text{ (kN)} = 2343.77$   
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $F_y^* \text{ (kN)} = 11461.39$   
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.204$

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:  $d^*, \max \text{ (mm)} = 3.68$

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max \text{ (mm)} = 3.68$

#### 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) = 3.68

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 6.03

**Rapporto: Capacità / Domanda = 1.636: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.092 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR, CLO = 117.1555$

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

ha la probabilità di essere superata pari a:  $PVR, CLO = 47.28 \%$

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  minori,

e  $PVR, CLO$  maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  maggiori, e  $PVR, CLO$  minore).

#### Riepilogo per SLO

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
-----			
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	117	0.092	47.3
-----			

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha_0 = PGA, CLO / PGA, DLO (=PGA \text{ in input per SLO}) = 0.092/0.056 = 1.643$
- secondo TR:  $\alpha_0 = TR, CLO / TR, DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 117/45 = 2.603$

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

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 3374233.00

Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{Max, M-GDL} \text{ (kN)} = 15116.41$

Peso sismico totale  $W \text{ (kN)} = 14885.87$

Massa sismica totale  $M \text{ (k*kgm)} = 1517.936$

Rapporto forza/peso ( $F_{Max, M-GDL} / W$ ) = 1.015

Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{SLV, M-GDL} \text{ (kN)} = 15116.41$

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale:  $d_c \text{ (mm)}$ :

- iniziale = 0.00

- al limite ultimo:  $d_c, SLV, M-GDL = 46.81$ , di cui dovuto alle forze orizzontali = 46.81

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

Calcolo della Massa  $m^*$  e del Fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  (§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  $m^* = \Sigma(m, i) \text{ (k*kgm)} = 1517.94$

Coefficiente di partecipazione  $\Gamma = 1.000$

Resistenza massima (taglio alla base):  $F_{Max, 1-GDL} = (F_{Max, M-GDL} / \Gamma) \text{ (kN)} = 15116.41$

Resistenza a SLV (Stato limite ultimo):  $F_{SLV, 1-GDL} = (F_{SLV, M-GDL} / \Gamma) \text{ (kN)} = 15116.41$

Spostamento a SLV (Stato limite ultimo):  $d_{SLV, 1-GDL} = (d_{SLV, M-GDL} / \Gamma) \text{ (mm)} = 46.81$

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

70% della Resistenza massima del sistema 1-GDL = 70%  $F_{Max, 1-GDL} \text{ (kN)} = 10581.49$

Rigidità elastica:  $K^* \text{ (kN/m)} = 406568.40$  (=12.049% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico:  $T^* = 2(m^*/K^*) \text{ (sec)} = 0.384$

Punto di snervamento: spostamento  $dy^* \text{ (mm)} = 39.90$

forza  $F_y^* \text{ (kN)} = 16222.63$

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  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno TR associati allo Stato Limite SLV  
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 <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub> <sup>*</sup>	SS	CC	S	TB	TC	TD	F <sub>v</sub>	
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)		
SLU - SLV	712	0.189	2.422	0.342	1.200	1.363	1.200	0.155	0.466	2.356	1.421	

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**  
Risposta del sistema elastico di pari periodo:  
- in accelerazione:  $S,e(T^*) = 0.549\text{ g}$   
- in spostamento:  $d^*,e,max = S,De(T^*)\text{ (mm)} = 20.11$   
- forza di risposta elastica =  $S,e(T^*)\text{ m}^* \text{ (kN)} = 8176.95$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^* \text{ (kN)} = 16222.63$   
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)  
Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.504$   
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:  $d^*,max \text{ (mm)} = 20.11$

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**  
Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $F\ d^*,max \text{ (mm)} = 20.11$

**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) = 20.11  
Capacità di spostamento a SLV: (mm) = 46.81

**Rapporto: Capacità/Domanda = 2.327: Capacità > Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**  
SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)  $\geq 0.276\text{ g}$   
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 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,CLV e TR,CLV minori,  
e PVR,CLV maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLV e TR,CLV maggiori, e PVR,CLV minore).

**Riepilogo per SLV**

	TR	PGA	PVR	
	(anni)	(*g)	(%)	
Dati	712	0.189	10.0	
Risultati	2475	0.276	3.0	

**Verifiche di vulnerabilità - Indicatore di Rischio Sismico:**  
- secondo PGA:  $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=PGA \text{ in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$   
- secondo TR:  $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

**Indicatore di Rischio Sismico: Rapporto fra Capacità e Domanda in termini di PGA:**  
-  $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV (=PGA \text{ in input per SLV}) = 0.276/0.189 = 1.460$   
- periodi di ritorno: TR,CLV = 2475; TR,DLV = 712  
(i risultati dell'analisi statica non lineare forniscono il valore dell'Indicatore di Rischio Sismico 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 (kN) = 1694.69  
90% del Taglio massimo (kN) = 13604.77  
Rapporto  $\alpha,u/\alpha,1$  calcolato = 8.028  
Rapporto  $\alpha,u/\alpha,1$  effettivo = 2.500  
Edificio regolare in altezza:  $q = 5.000$

**SLE DI DANNO (SLD) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +Y-MT**

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:  $F,SLD,M-GDL \text{ (kN)} = 6534.69$

Punto di controllo ubicato al 2° piano. Spostamento orizzontale:  $dc \text{ (mm)}$ :

- iniziale = 0.00  
- al limite di danno: dc,SLD,M-GDL = 9.51, di cui dovuto alle forze orizzontali = 9.51

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  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $TC^*$  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,  
 $TC^*$  = 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	$a_g$	$F_o$	$TC^*$	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLD	75	0.073	2.339	0.322	1.200	1.380	1.200	0.148	0.444	1.892	0.853

#### Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S,e(T^*) = 0.205 g$   
- in spostamento:  $d^*,e,max = S,De(T^*)$  (mm) = 7.50  
- forza di risposta elastica =  $S,e(T^*) m^*$  (kN) = 3050.06  
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);  
- forza di snervamento  $F_y^*$  (kN) = 16222.63  
(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) = 7.50

#### Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $F d^*,max$  (mm) = 7.50

#### 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) = 7.50

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 9.51

**Rapporto: Capacità / Domanda = 1.268: Capacità > Domanda**

#### Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.092 g  
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLD = 119.751  
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento VR = 75 anni,  
ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLD = 46.543 %  
(rispetto ai valori di progetto per SLD - sopra riportati - deve risultare:  
in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD minori,  
e PVR,CLD maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLD e TR,CLD maggiori, e PVR,CLD minore).

#### Riepilogo per SLD

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	75	0.073	63.0
Risultati	120	0.092	46.5

#### Indicatore di Rischio Sismico:

- secondo PGA:  $\alpha,D = PGA,CLD / PGA,DLD (=PGA \text{ in input per SLD}) = 0.092/0.073 = 1.260$

- secondo TR:  $\alpha,D = TR,CLD / TR,DLD (=TR \text{ in input per SLD}) = 120/75 = 1.597$

#### SLE DI OPERATIVITÀ (SLO) - DISTR.FORZE (E) - DIREZIONE: +Y-MT

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  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $TC^*$  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,  
 $TC^*$  = 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	$a_g$	$F_o$	$TC^*$	SS	CC	S	TB	TC	TD	Fv
	(anni)	(*g)		(sec)				(sec)	(sec)	(sec)	
SLE - SLO	45	0.056	2.343	0.305	1.200	1.395	1.200	0.142	0.425	1.824	0.749

**Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:**

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione:  $S_e(T^*) = 0.157 \text{ g}$
- in spostamento:  $d^*, e, \max = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 5.76$
- forza di risposta elastica =  $S_e(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2343.77$   
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento  $F_y^* \text{ (kN)} = 16222.63$   
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento:  $q^* = 0.144$

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:  $d^*, \max \text{ (mm)} = 5.76$

**Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:**

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo:  $\Gamma d^*, \max \text{ (mm)} = 5.76$

**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) = 5.76

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 5.56

**Rapporto: Capacità / Domanda = 0.965: Capacità < Domanda**

**Verifiche per edifici strategici o importanti:**

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.055 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno  $TR, CLO = 42.98301$

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

ha la probabilità di essere superata pari a:  $PVR, CLO = 82.533 \%$

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

in caso di verifica di sicurezza non soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  minori,  
e  $PVR, CLO$  maggiore; per verifica soddisfatta, PGA,CLO e  $TR, CLO$  maggiori, e  $PVR, CLO$  minore).

**Riepilogo per SLO**

	TR	PGA	PVR
	(anni)	(*g)	(%)
Dati	45	0.056	81.0
Risultati	43	0.055	82.5

**Indicatore di Rischio Sismico:**

- secondo PGA:  $\alpha_0 = PGA, CLO / PGA, DLO (=PGA \text{ in input per SLO}) = 0.055/0.056 = 0.982$

- secondo TR:  $\alpha_0 = TR, CLO / TR, DLO (=TR \text{ in input per SLO}) = 43/45 = 0.955$

**Edificio Esistente in muratura****Verifica di sicurezza sismica: confronto della Capacità dell'edificio con la Domanda**

L'edificio risulta 'adeguato' qualora l'indicatore di rischio sia  $\geq 1.000$

(data di creazione della presente scheda: 23/01/2017 , 11.02.52)

**Nome del file corrispondente:**

per Analisi globale: **ERCOLANO\_AULE\_SX\_SEZIONE\_INTERAMENTE\_REAGENTE\_CORDOLO**

per Analisi cinematica: **ERCOLANO\_AULE\_SX\_SEZIONE\_INTERAMENTE\_REAGENTE\_CORDOLO**

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

**Domanda: valori di riferimento delle accelerazioni e dei periodi di ritorno dell'azione sismica**

Stato limite	Accelerazione (g)	$T_{RD}$ (anni)
Stato Limite di Operatività (SLO)	<b><math>PGA_{DLO} = 0.056</math></b>	$T_{RDLO} = 45$
Stato Limite di Danno (SLD)	<b><math>PGA_{DLD} = 0.073</math></b>	$T_{RDLD} = 75$
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	<b><math>PGA_{DLV} = 0.189</math></b>	$T_{RDLV} = 712$

**Tipo di analisi strutturale: \*1**

Analisi sismica statica non lineare (pushover)

**Capacità: accelerazione orizzontale di picco al suolo e periodo di ritorno sostenibili dalla costruzione**

PGA = accelerazione di picco al suolo su suolo rigido (roccia)

## VERIFICHE DI DEFORMAZIONE (SPOSTAMENTI)\*2:

### Stato Limite di Operatività (SLO):

VERIFICA DI: Deformazione  
di danno

$PGA_{CLO}$  (g) 0.055

$\alpha_{O,PGA}$  0.982

$T_{RCLO}$  (anni) 42

$\alpha_{O,TR}$  0.955

### Stato Limite di Danno (SLD):

VERIFICA DI: Deformazione  
di danno

$PGA_{CLD}$  (g) 0.092

$\alpha_{D,PGA}$  1.260

$T_{RCLD}$  (anni) 119

$\alpha_{D,TR}$  1.597

## VERIFICHE DI RESISTENZA\*3:

### Stato Limite di Danno (SLD):

VERIFICA DI:	Resistenza nel piano del pannello	Resistenza fuori piano del pannello	Deformazione nel piano del pannello	Cinematismo*4	Capacità limite del terreno
$PGA_{CLD}$ (g)	0.092	n.d.	0.092	n.d.	n.d.
$\alpha_{D,PGA}$	1.260	n.d.	1.260	n.d.	n.d.
$T_{RCLD}$ (anni)	119	n.d.	119	n.d.	n.d.
$\alpha_{D,TR}$	1.597	n.d.	1.597	n.d.	n.d.

### Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):

VERIFICA DI:	Resistenza nel piano del pannello	Resistenza fuori piano del pannello	Deformazione nel piano del pannello	Cinematismo	Capacità limite del terreno
$PGA_{CLV}$ (g)	0.276	n.d.	0.276	n.d.	n.d.
$\alpha_{V,PGA}$	1.460	n.d.	1.460	n.d.	n.d.
$T_{RCLV}$ (anni)	$\geq 2475$	n.d.	$\geq 2475$	n.d.	n.d.
$\alpha_{V,TR}$	3.476	n.d.	3.476	n.d.	n.d.

## Indicatori di rischio\*5: Rapporto fra capacità e domanda:

### - in termini di PGA

$$\alpha_O = 0.982 = (PGA_{CLO} / PGA_{DLO})$$

$$\alpha_D = 1.260 = (PGA_{CLD} / PGA_{DLD})$$

$$\alpha_V = 1.460 = (PGA_{CLV} / PGA_{DLV})$$

### - in termini di $T_R$ : ( $TR_C / TR_D$ )\*a

> con  $a=1$ :

$$\alpha_O = 0.955 = (TR_{CLO} / TR_{DLO})$$

$$\alpha_D = 1.597 = (TR_{CLD} / TR_{DLD})$$

$$\alpha_V = 3.476 = (TR_{CLV} / TR_{DLV})$$

> con  $a=0.41$ :

$$\alpha_O = 0.981 = (TR_{CLO} / TR_{DLO})^{0.41}$$

$$\alpha_D = 1.212 = (TR_{CLD} / TR_{DLD})^{0.41}$$

$$\alpha_V = 1.667 = (TR_{CLV} / TR_{DLV})^{0.41}$$

## Capacità della struttura in termini di Vita Nominale\*6:

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

Dati in input (domanda): 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 %

Dai risultati dell'analisi: capacità in termini di periodo di ritorno  $TR_{CLV} = 2475$  anni

Dalla relazione:  $TR = -V_R / \ln(1 - PV_R)$ , ponendo  $TR = TR_{CLV}$  e assumendo  $PV_R$  per SLV definita in input, seguono la capacità della struttura in termini di Vita di Riferimento ( $V_{RC}$ ) e quindi di Vita Nominale ( $V_{NC}$ ):

$V_{RC} = 260.8$  anni,  $V_{NC} = 173.8$  anni

## NOTE sull'applicazione del software PCM @ AEDES

**n.d.** = parametro non disponibile: non sono stati rilevati risultati.

**\*1** Le **analisi lineari** (statica o dinamica, che allo stato limite ultimo vengono eseguite con fattore di struttura  $q$ , derivante da analisi pushover o da formulazioni di Normativa), possono cogliere contemporaneamente tutti i tipi di comportamento: **Resistenza e Deformazione nel piano** del pannello (che assumono valori uguali: i due aspetti non sono scindibili ai fini dei risultati dell'analisi, derivanti dalle verifiche a PressoFlessione Complanare e a Taglio per scorrimento e/o per fessurazione diagonale), **Resistenza fuori piano** (da verifiche a PressoFlessione Ortogonale) e **Capacità limite del terreno** (SL di tipo geotecnico).

L'**analisi pushover** è finalizzata a cogliere il comportamento nel piano dell'edificio:

- allo stato limite ultimo SLV: **Resistenza e Deformazione nel piano** del pannello; i due risultati assumono valori uguali in quanto i due aspetti non sono scindibili: essi derivano dall'elaborazione della curva di capacità, che riassume il comportamento 'globale' della struttura, trasformata in oscillatore monodimensionale bilineare (elastoplastico) equivalente, utilizzato ai fini della definizione della domanda e del confronto con la capacità allo stato limite ultimo;

- agli stati limite di esercizio (SLO e SLD): **Deformazione di danno**, utilizzato ai fini della definizione della domanda e del confronto con la capacità allo stato limite di esercizio (SLO o SLD).

Per gli altri aspetti: **Resistenza fuori piano** e **Capacità limite del terreno** si fa riferimento all'analisi dinamica modale o (se non disponibile) all'analisi statica lineare, con fattore  $q$  che dovrà essere stato assunto coincidente con il fattore di struttura determinato in analisi pushover. Se un'analisi lineare con fattore di struttura  $q$  avente il valore calcolato in analisi pushover non è stata eseguita, questi risultati non sono disponibili.

L'analisi pushover elabora una serie di curve, determinata dalle direzioni X e Y, dai versi + -, dalla presenza del momento torcente, e dal tipo di distribuzione di forze in elevazione, secondo le opzioni scelte nei Parametri di Calcolo. Fra tutte le curve elaborate, i risultati dell'analisi pushover (capacità in termini di PGA e TR, e corrispondente fattore di struttura  $q$ ) sono riferiti alla curva con risultati più sfavorevoli.

I parametri completi relativi al modello dell'edificio sono riportati nella descrizione dei dati.

**\*2** Le **Verifiche di Deformazione** (verifiche degli Spostamenti), secondo §7.3.7.2, devono essere eseguite: in **SLD**: per tutte le costruzioni; in **SLO**: per le **costruzioni di Classe d'uso III e IV**. Pertanto, per costruzioni di Classe d'uso I e II, i risultati delle verifiche degli spostamenti per SLO possono essere ignorati.

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 (per la muratura: SLV); nel caso in cui, invece, si effettui la verifica anche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLO e SLD), i relativi livelli di prestazione potranno essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente. In altre parole, è possibile che le verifiche di deformazione a SLO e SLD siano ignorate.

In ogni caso, PCM svolge le verifiche di deformazione a SLO e SLD per edifici esistenti adottando i medesimi criteri relativi ai nuovi edifici (specificati in §7.3.7.2).

**\*3** Le **Verifiche di Resistenza** devono essere eseguite: in **SLV**: per tutte le costruzioni [per gli edifici in muratura, si assume che la verifica a SLV implichi anche la verifica allo stato limite ultimo SLC (Stato Limite di Collasso SLC, §C8.7.1.1)]; in **SLD**: per le **costruzioni di Classe d'uso III e IV**, secondo §7.3.7.1. Pertanto, per costruzioni di Classe d'uso I e II, i risultati delle verifiche di resistenza per SLD possono essere ignorati.

Per gli edifici esistenti, seguendo §8.3, è possibile che le verifiche di resistenza a SLD (stato limite di esercizio) siano ignorate.

In ogni caso, PCM svolge le verifiche di resistenza a SLD per edifici esistenti adottando i medesimi criteri relativi ai nuovi edifici (specificati in §7.3.7.1).

**\*4** Per il **Cinematismo** (la cui valutazione riguarda solo gli Edifici Esistenti), viene fatto riferimento all'Analisi Cinematica (studio dei meccanismi di collasso [§C8A.4]). Le verifiche di resistenza riguardanti i Cinematismi vengono svolte sia per SLD che per SLV; è tuttavia possibile che i risultati si riferiscano al solo SLV, seguendo quanto indicato in §C8A.4.2.3, dove si afferma che nel caso di edifici esistenti in muratura la verifica allo Stato Limite di Danno dei meccanismi locali non è richiesta.

**\*5** L'**Indicatore di rischio**, consistente nel rapporto tra Capacità e Domanda, costituisce il risultato in sintesi dell'analisi sismica dell'edificio. Per tutti gli stati limite di riferimento (SLO, SLD e SLV), esso 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 gli indicatori di rischio in termini di TR può essere richiesta (ad. es.: Regione Toscana, Istruzioni tecniche per edifici pubblici strategici e rilevanti) l'espressione con elevamento a potenza al coefficiente  $a=0.41$  (derivato dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale) al fine di ottenere una scala analoga a quella degli indicatori in PGA.

Il risultato coincide con il minimo indicatore di rischio fra tutte le verifiche eseguite per lo Stato Limite considerato. In particolare:

Per **SLO**, le verifiche sono solo per spostamenti ed il risultato può non essere considerato per costruzioni di Classe I e II.

Per **SLD**: per costruzioni di Classe III e IV, il valore minimo dell'indicatore è valutato sulle verifiche sia per spostamenti sia per resistenza, mentre per le altre costruzioni (Classe I e II) è valutato solo sulle verifiche per spostamenti, ignorando i risultati delle verifiche a SLD per resistenza. In ogni caso, quindi, il valore dell'indicatore  $\alpha_D$  dovrà essere sempre considerato.

Per **SLV**, le verifiche sono solo per resistenza ed il risultato dovrà essere sempre considerato, qualunque sia la Classe della costruzione. Per un Edificio Esistente sottoposto ad Adeguamento, l'Indicatore di rischio deve essere  $\geq 1.000$ : in tal caso infatti la struttura ha il livello di sicurezza previsto dal D.M.14.1.2008. Per un Edificio Esistente sottoposto ad un'analisi di vulnerabilità sismica nel suo Stato Attuale (oppure, per un edificio esistente danneggiato di cui si sta esaminando lo Stato prima dell'intervento, inteso come Stato Pre-sisma), l'Indicatore di rischio (che può essere  $< 1.000$ ) caratterizza la sua capacità antisismica.

La **completezza dei risultati** è assicurata nei seguenti casi:

a) Analisi lineare (statica o dinamica): si è eseguita l'analisi; il fattore  $q$  può essere tratto dalla Normativa (senza quindi la necessità di un'analisi pushover); si sono inoltre calcolati i cinematismi.

b) Analisi pushover: si è eseguita l'analisi; si è quindi eseguita un'analisi lineare (statica o dinamica) utilizzando, per le verifiche allo stato limite ultimo, il fattore  $q$  calcolato in analisi pushover; si sono inoltre calcolati i cinematismi.

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-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:  $ag(TR)=k*TR^{\alpha}$ . 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.

**\*6** La **capacità della struttura in termini di Vita Nominale ( $V_{NC}$ )** 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 Esistenti.

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 SL (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.

Per quanto riguarda la simbologia utilizzata in PCM, si è fatto in generale riferimento ai documenti più recenti del settore (attuazione OPCM 3790/2009), adottando un criterio coerente fra i diversi SL. Alcune equivalenze significative fra diverse espressioni delle stesse grandezze (ove non coincidenti con la simbologia adottata da PCM) sono le seguenti:

$TR_{SLV} \equiv TR_{CLV}$  (capacità in termini di periodo di ritorno allo stato limite SLV)

$TR_{SLV,RIF} \equiv TR_{DLV}$  (domanda in termini di periodo di ritorno allo stato limite SLV  $\equiv TR$  di riferimento)

e analogamente per SLO e SLD.