



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
delle Infrastrutture
e dei Trasporti



Italiadomani

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA



COMUNE
DI PADOVA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

MISSIONE M5C2 - COMPONENTE C2 - AMBITO INTERVENTO INVESTIMENTO 2.3
"PROGRAMMA INNOVATIVO NAZIONALE PER LA QUALITÀ DELL'ABITARE"

RESTAURO E RIQUALIFICAZIONE DELL'ISTITUTO EX CONFIGLIACHI IN VIA GUIDO RENI

CUP: H97H21000330008

PROGETTO ESECUTIVO

CODICE OPERA LLPP EDP 2021/137	DATA GIUGNO 2023
DESCRIZIONE ELABORATO FASCICOLO DEI CALCOLI	NUMERO APPR_049 CODICE ELABORATO S_FC
I PROGETTISTI <i>coordinamento e progettazione architettonica:</i> STUDIOMAS ARCHITETTI 35125 Padova via Falloppio 39 - +39 049 8764030 - www.studiomas.com - info@studiomas.com <i>progetto strutturale e sicurezza:</i> VENICE PLAN INGEGNERIA srl 30172 Venezia Rampa Cavalcavia 26/A - +390415314590 - www.ingegneriavenezia.it - info@veniceplan.com <i>progetto impiantistico:</i> STUDIO CASSUTTI sas 35133 Padova via Cortivo 2 - +39 049 8936020 - www.studiocassutti.com - tecnico@studiocassutti.com <i>modellazione BIM:</i> BIM DESIGN GROUP srl 30135 Venezia Santa Croce 466/G - +39 3472585835 - info@bdgroup.it <i>BIM manager:</i> arch. Matteo Nativo 800118 Mugnano di Napoli via Meucci 17 - +39 3386311076 - arch.matteonativo@gmail.com <i>esperto energetico:</i> arch. Massimo Righetto 35030 Rubano Piazza Aldo Moro 18 - +39 3484717069 - massimo@architetturarighetto.com <i>progettista architettonico:</i> arch. Riccardo Bettin 35100 Padova via Fornasari 6ter - +39 3462438440 - bettinriccardo@gmail.com <i>progetto acustico:</i> ing. Robis Camata 30016 Jesolo via Pazienti 2c - +39 3489029223 - www.protecno.com - camata@protecno.info	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Domenico Lo Bosco IL CAPO SETTORE Ing. Matteo Banfi

A.1 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +X



Fig. A - 1-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 1

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1733028.00
 Resistenza massima (taglio alla base): $F_{Max,M-GDL}$ (kN) = 5077.88
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso ($F_{Max,M-GDL} / W$) = 0.236

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,M-GDL$ (mm) = 11.20, $F,SLC,M-GDL$ (kN) = 4213.77
 SLV: $dc,SLV,M-GDL$ (mm) = 8.40, $F,SLV,M-GDL$ (kN) = 5019.24

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

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

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi; per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):

- completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
- masse di piano m_i traslazionali;
- corrispondenti spostamenti modali ϕ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%



- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 8.17, $F_{c,SLC,1-GDL} = (F_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3075.75

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 6.13, $F_{c,SLV,1-GDL} = (F_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3663.68

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) = 2594.54

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1380748.00 (=79.673% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.195

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 2.55

forza Fy^* (kN) = 3523.29

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 8.17

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 3.76

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = 3523.29

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.471$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione a_g in input: il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad a_g in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di a_g sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = a_g sostenibile / a_g in input), verrà calcolato considerando un valore di a_g , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
- b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 5.71

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 7.81

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) = 7.81

Capacità di spostamento a SLV (mm) = 8.40

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.162 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 793$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 9.024$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	793	0.162	9.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.162/0.155 = 1.045$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 793/712 = 1.114$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 600.00
90% del Taglio massimo (kN) = 4570.09
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 7.617
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.50, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 4167.67

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.58
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 3523.29
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.58

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.16

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) = 2.16
Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.50

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.105 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 249$
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 26.007$ %
(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	249	0.105	26.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.105/0.066 = 1.591$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 249/75 = 3.320$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.33, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3319.92





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.58$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = 3523.29$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.510$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*,max \text{ (mm)} = 1.30$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max \text{ (mm)} = 1.78$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.78

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.33

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLO = 90$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR,CLO = 56.54 \%$

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	90	0.070	56.5

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA,CLO / PGA,DLO = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$

- in termini di TR: $\alpha_0 = TR,CLO / TR,DLO(=TR \text{ in input per SLO}) = 90/45 = 2.000$

A.2 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +X+T



Fig. A - 2-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 2

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1796035.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 4904.28
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.228

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 10.82, F,SLC,M-GDL (kN) = 4100.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 8.12, F,SLV,M-GDL (kN) = 4901.36

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 $\phi_{i,j}$ secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 7.90, $F_{c,SLC,1-GDL} = (F_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 2992.70

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 5.93, $F_{c,SLV,1-GDL} = (F_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3577.63

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) = 2505.84

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1438601.00 (=80.099% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.191

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 2.39

forza Fy^* (kN) = 3434.90

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 7.90

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*) du^*$ (mm) = 3.60

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = 3434.90

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.509$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 5.64

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 7.73

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) = 7.73

Capacità di spostamento a SLV (mm) = 8.12

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.159 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 773$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 9.247$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	773	0.159	9.2

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} = \zeta, E, \text{SLV,PGA} = 0.159/0.155 = 1.026$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 773/712 = 1.086$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 600.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4413.85
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 7.356
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.27, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 4064.77

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.52
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 3434.90
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.52

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.08

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) = 2.08
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.27

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.100 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 231$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 27.724$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	231	0.100	27.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} = \zeta, E, \text{SLD,PGA} = 0.100/0.066 = 1.515$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD}(=\text{TR in input per SLD}) = 231/75 = 3.080$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività')

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.18, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3219.32



Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.52$
- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $F_y^* \text{ (kN)} = 3434.90$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.523$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*,max \text{ (mm)} = 1.25$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max \text{ (mm)} = 1.71$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.71

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.18

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 86

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 58.192 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	86	0.070	58.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLO} / PGA_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$

- in termini di TR: $\alpha_0 = TR_{CLO} / TR_{DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 86/45 = 1.911$

A.3 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +X-T



Fig. A - 3-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 3

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):
 Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1674291.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 5050.75
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.235

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 11.49, F,SLC,M-GDL (kN) = 4144.63
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 8.62, F,SLV,M-GDL (kN) = 5004.11

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 $\phi_{i,j}$ secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m, i^* \phi, i)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m, i^* \phi, i) / \sum(m, i^* \phi, i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc, SLC, 1-GDL = (d, SLC, M-GDL / \Gamma)$ (mm) = 8.39, $F, SLC, 1-GDL = (F, SLC, M-GDL / \Gamma)$ (kN) = 3025.28

SLV: $dc, SLV, 1-GDL = (d, SLV, M-GDL / \Gamma)$ (mm) = 6.29, $F, SLV, 1-GDL = (F, SLV, M-GDL / \Gamma)$ (kN) = 3652.63

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) = 2580.68

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1341739.00 (=80.138% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.198

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 2.61

forza Fy^* (kN) = 3502.17

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 8.39

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*, e, max = S, De(T^*)$ (mm) = 3.86

- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = 3502.17

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.480$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 5.85

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*, max$ (mm) = 8.01

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) = 8.01

Capacità di spostamento a SLV (mm) = 8.62

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.162 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, CLV = 793$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 9.024$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	793	0.162	9.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.162/0.155 = 1.045$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 793/712 = 1.114$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 500.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4545.67
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 9.091
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.58, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 4143.81

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.63
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 3502.17
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.63

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.23

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) = 2.23
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.58

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.104 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 240$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 26.838$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	240	0.104	26.8

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.104/0.066 = 1.576$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 240/75 = 3.200$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.38, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3298.66



Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.63$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = 3502.17$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.513$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.34$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.84$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.84

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.38

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 90

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 56.54 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	90	0.070	56.5

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{CLO} / PGA_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{CLO} / TR_{DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 90/45 = 2.000$

A.4 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +Y



Fig. A - 4-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 4

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1740459.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 5183.99
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.241

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 11.26, F,SLC,M-GDL (kN) = 4200.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 8.44, F,SLV,M-GDL (kN) = 5079.09

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

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

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi; per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):

- completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
- masse di piano m_i traslazionali;
- corrispondenti spostamenti modali ϕ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (Y): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 2 con massa modale efficace (in direzione Y) pari a: 49.2%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1655.41

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.213$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 9.28, $F_{c,SLC,1-GDL} = (F_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3462.49

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 6.96, $F_{c,SLV,1-GDL} = (F_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 4187.21

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) = 2991.58

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1382689.00 (=79.444% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.217

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 2.85

forza Fy^* (kN) = 3935.35

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 9.28

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.67

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 6457.76

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = 3935.35

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.641$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 7.14

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 8.65

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) = 8.65

Capacità di spostamento a SLV (mm) = 8.44

SLV: Capacità < Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.152 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 679$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 10.457$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	679	0.152	10.5

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.152/0.155 = 0.981$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 679/712 = 0.954$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4665.59
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 15.552
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.45, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 4128.01

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.97
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 3935.35
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.97

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.38

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) = 2.38
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.45

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.093 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 188$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 32.897$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	188	0.093	32.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.093/0.066 = 1.409$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 188/75 = 2.507$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.30, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3382.56





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.97$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = 3935.35$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.569$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.62$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.96$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.96

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.30

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.063 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 70$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 65.748 \%$

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	70	0.063	65.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{CLO} / PGA_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.063/0.054 = 1.167$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{CLO} / TR_{DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 70/45 = 1.556$

A.5 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +Y+T



Fig. A - 5-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 5

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1743343.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 4622.49
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.215

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 9.82, F,SLC,M-GDL (kN) = 3800.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 7.37, F,SLV,M-GDL (kN) = 4548.24

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 $\phi_{i,j}$ 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: 49.2%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1655.41
 Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.213$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 8.10, $F_{c,SLC,1-GDL} = (F_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3132.73
 SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 6.07, $F_{c,SLV,1-GDL} = (F_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 3749.58

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) = 2667.56
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1409355.00 (=80.842% della rigidità elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.215
 Punto di snervamento: spostamento d_y^* (mm) = 2.48
 forza F_y^* (kN) = 3498.58
 Limite ultimo : spostamento d_u^* (mm) = 8.10

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:
 Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d_{e,max}^* = S_e(T^*) \cdot d_u^*$ (mm) = 4.58
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) \cdot m^*$ (kN) = 6457.76 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento F_y^* (kN) = 3498.58 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.846$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*
 q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione a_g in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad a_g in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di a_g sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = a_g sostenibile / a_g in input), verrà calcolato considerando un valore di a_g , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{e,max}^*$ (mm) = 7.47

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:
 Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma \cdot d_{e,max}^*$ (mm) = 9.05

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) = 9.05
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 7.37
SLV: Capacità < Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:
 SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.135 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 482$ anni.
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni, ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 14.41\%$
 (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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	482	0.135	14.4

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.135/0.155 = 0.871$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 482/712 = 0.677$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4160.24
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 13.867
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.01, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 3656.81

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.93
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 3498.58
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.93

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.34

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) = 2.34
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.01

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.086 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 143$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 40.813$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	143	0.086	40.8

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.086/0.066 = 1.303$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 143/75 = 1.907$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.01, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3019.06





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.93$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = 3498.58$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.640$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.59$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.93$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.93

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.01

SLO: 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 = 48

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 79.039 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	48	0.055	79.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{CLO} / PGA_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.055/0.054 = 1.019$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{CLO} / TR_{DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 48/45 = 1.067$

A.6 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: +Y-T



Fig. A - 6-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 6

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1737583.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 5635.55
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.262

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 13.48, F,SLC,M-GDL (kN) = 4600.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 10.11, F,SLV,M-GDL (kN) = 5497.55

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 $\phi_{i,j}$ 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: 49.2%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m, i^* \phi, i)$ (k*kgm) = 1655.41

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m, i^* \phi, i) / \sum(m, i^* \phi, i^2) = 1.213$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 11.11, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 3792.25

SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 8.34, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 4532.19

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) = 3252.17

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1370585.00 (=78.879% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.218

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 3.15

forza Fy^* (kN) = 4318.51

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 11.12

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398 g$

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.71

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 6457.76

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = 4318.51

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.496$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 6.81

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 8.25

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) = 8.25

Capacità di spostamento a SLV (mm) = 10.11

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.176 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLV = 1015 anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR = 7.123 %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	1015	0.176	7.1

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.176/0.155 = 1.135$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 1015/712 = 1.426$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5071.99
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 12.680
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = 3.82, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = 4465.27

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = 1.98
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = 4318.51
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = 1.98

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = 2.40

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) = 2.40
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.82

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.100 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 231$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 27.724$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	231	0.100	27.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.100/0.066 = 1.515$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 231/75 = 3.080$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività')

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = 2.55, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = 3683.26





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = 1.98$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = 4318.51$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.519$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.63$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = 1.98$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.98

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.55

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 86$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 58.192 \%$

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	86	0.070	58.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{CLO} / PGA_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{CLO} / TR_{DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 86/45 = 1.911$

A.7 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -X

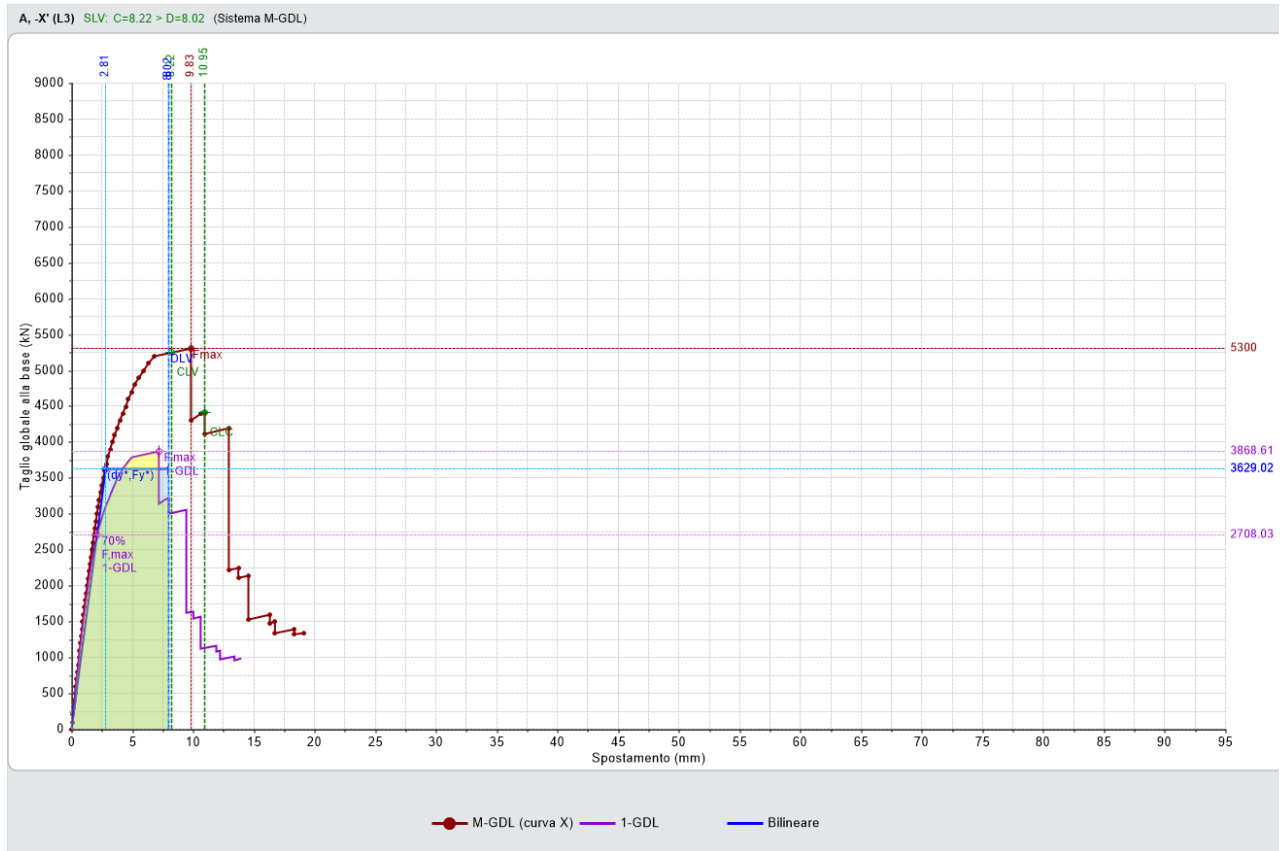


Fig. A - 7-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 7

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1733028.00
 Resistenza massima (taglio alla base): $F_{Max,M-GDL}$ (kN) = -5300.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso ($F_{Max,M-GDL} / W$) = 0.247

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,M-GDL$ (mm) = -10.95, $F,SLC,M-GDL$ (kN) = -4410.26
 SLV: $dc,SLV,M-GDL$ (mm) = -8.22, $F,SLV,M-GDL$ (kN) = -5246.64

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

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

- è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi;
 per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):
- completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
 - masse di piano m_i traslazionali;
 - corrispondenti spostamenti modali ϕ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -7.99, $F_{SLC,1-GDL} = (F_{SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -3219.17

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -6.00, $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -3829.67

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) = -2708.03

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1293977.00 (=74.666% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.201

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -2.81

forza Fy^* (kN) = -3629.02

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -8.00

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -4.01

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3629.02

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.428$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -5.85

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -8.02

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) = -8.02

Capacità di spostamento a SLV (mm) = -8.22

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.158 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 734$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 9.713$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	734	0.158	9.7

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.158 / 0.155 = 1.019$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 734 / 712 = 1.031$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4770.00
 Rapporto $\alpha, u / \alpha, 1$ calcolato = 15.900
 Rapporto $\alpha, u / \alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -3.84, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4245.14

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -1.69
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = -3629.02
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -1.69

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.31

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) = -2.31
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.84

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.106 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 268$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 24.41$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	268	0.106	24.4

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.106 / 0.066 = 1.606$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 268 / 75 = 3.573$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.56, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -3466.83





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -1.69$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -3629.02$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.495$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.39$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.90$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.90

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.56

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.075 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 99

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 53.12 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	99	0.075	53.1

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{,CLO} / PGA_{,DLO} = \zeta_{,E,SLO,PGA} = 0.075/0.054 = 1.389$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{,CLO} / TR_{,DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 99/45 = 2.200$

A.8 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -X+T



Fig. A - 8-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 8

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1674291.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -5049.30
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.235

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -13.18, F,SLC,M-GDL (kN) = -4379.36
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -9.88, F,SLV,M-GDL (kN) = -4632.64

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 $\phi_{i,j}$ secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%



- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -9.62, $F_{SLC,1-GDL} = (F_{SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -3196.61

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -7.21, $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -3381.49

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) = -2579.94

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1312397.00 (=78.385% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.200

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -2.61

forza Fy^* (kN) = -3426.43

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -9.62

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*) du^*$ (mm) = -3.95

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3426.43

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.513$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -6.03

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -8.26

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) = -8.26

Capacità di spostamento a SLV (mm) = -9.88

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.173 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 964$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 7.485\%$

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	964	0.173	7.5

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA, CLV} / \text{PGA, DLV} = \zeta, E, \text{SLV, PGA} = 0.173/0.155 = 1.116$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR, CLV} / \text{TR, DLV} (= \text{TR in input per SLV}) = 964/712 = 1.354$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4544.37
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 15.148
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -3.58, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4073.84

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -1.66
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3426.43
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -1.66

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.28

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) = -2.28
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.58

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA, CLD) = 0.100 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 231$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 27.724$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	231	0.100	27.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA, CLD} / \text{PGA, DLD} = \zeta, E, \text{SLD, PGA} = 0.100/0.066 = 1.515$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR, CLD} / \text{TR, DLD} (= \text{TR in input per SLD}) = 231/75 = 3.080$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività')

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.38, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -3247.28





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -1.66$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -3426.43$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.525$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*,max \text{ (mm)} = -1.37$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max \text{ (mm)} = -1.88$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.88

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.38

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLO = 86$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR,CLO = 58.192 \%$

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	86	0.070	58.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA,CLO / PGA,DLO = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$

- in termini di TR: $\alpha_0 = TR,CLO / TR,DLO(=TR \text{ in input per SLO}) = 86/45 = 1.911$

A.9 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -X-T

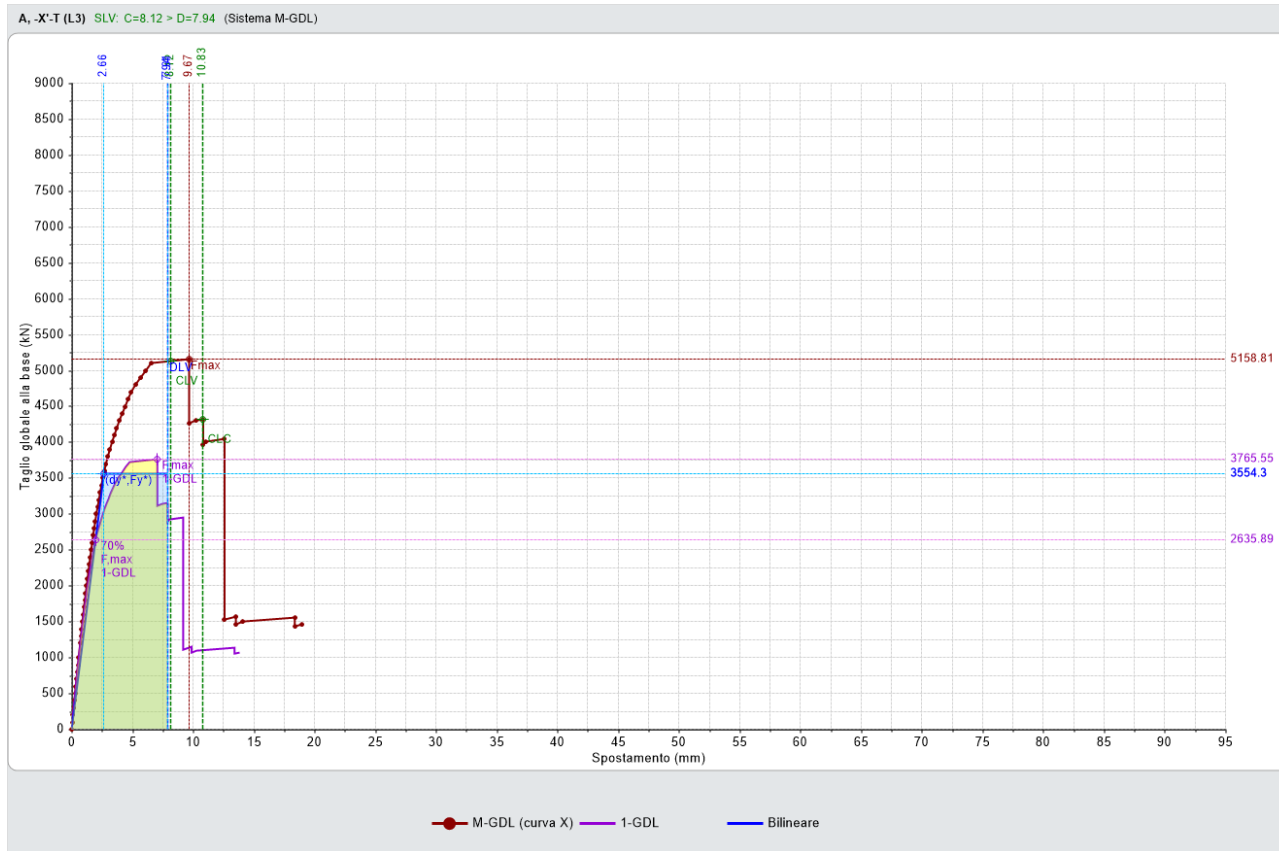


Fig. A - 9-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 9

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1796035.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -5158.81
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.24

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -10.83, F,SLC,M-GDL (kN) = -4320.95
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -8.12, F,SLV,M-GDL (kN) = -5129.68

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 $\phi_{i,j}$ secondo il modo principale nella direzione di analisi (X): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 3 con massa modale efficace (in direzione X) pari a: 43.0%



- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	9.48		0.410
2		660.47	22.79		0.986
3		84.67	23.11	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m, i^* \phi, i)$ (k*kgm) = 1328.75

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m, i^* \phi, i) / \sum(m, i^* \phi, i^2) = 1.370$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_c, SLC, 1-GDL = (d, SLC, M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -7.90, $F, SLC, 1-GDL = (F, SLC, M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -3153.98

SLV: $d_c, SLV, 1-GDL = (d, SLV, M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -5.93, $F, SLV, 1-GDL = (F, SLV, M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -3744.29

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) = -2635.89

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1338145.00 (=74.505% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.198

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -2.66

forza Fy^* (kN) = -3554.30

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -7.91

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*, e, max = S, De(T^*)$ (mm) = -3.87

- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 5183.43

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3554.30

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.459$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),

verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -5.80

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*, max$ (mm) = -7.94

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) = -7.94

Capacità di spostamento a SLV (mm) = -8.12

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.158 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, CLV = 734$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 9.713$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	734	0.158	9.7

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} = \zeta, E, \text{SLV,PGA} = 0.158/0.155 = 1.019$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 734/712 = 1.031$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 4642.93
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 15.476
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -3.64, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4160.74

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -1.63
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2180.47
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_y^* (kN) = -3554.30
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -1.63

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.23

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) = -2.23
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.64

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.105 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 249$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 26.007$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	249	0.105	26.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} = \zeta, E, \text{SLD,PGA} = 0.105/0.066 = 1.591$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD}(=\text{TR in input per SLD}) = 249/75 = 3.320$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.43, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -3374.31





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -1.63$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 1797.79$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -3554.30$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.506$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.34$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.84$

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.84

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.43

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.072 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 94

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 54.971 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	94	0.072	55.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{,CLO} / PGA_{,DLO} = \zeta_{,E,SLO,PGA} = 0.072/0.054 = 1.333$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{,CLO} / TR_{,DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 94/45 = 2.089$

A.10 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -Y



Fig. A - 10-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 10

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1740459.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -5740.56
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.267

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -16.94, F,SLC,M-GDL (kN) = -5600.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -12.70, F,SLV,M-GDL (kN) = -5448.24

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

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

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi; per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):

- completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
- masse di piano m_i traslazionali;
- corrispondenti spostamenti modali ϕ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (Y): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 2 con massa modale efficace (in direzione Y) pari a: 49.2%



- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

$$\text{Massa } m^* = \sum(m, i^* \phi, i) \text{ (k*kgm)} = 1655.41$$

$$\text{Coefficiente di partecipazione } \Gamma = \sum(m, i^* \phi, i) / \sum(m, i^* \phi, i^2) = 1.213$$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

$$\text{SLC: } dc, SLC, 1-GDL = (d, SLC, M-GDL / \Gamma) \text{ (mm)} = -13.96, F, SLC, 1-GDL = (F, SLC, M-GDL / \Gamma) \text{ (kN)} = -4616.65$$

$$\text{SLV: } dc, SLV, 1-GDL = (d, SLV, M-GDL / \Gamma) \text{ (mm)} = -10.47, F, SLV, 1-GDL = (F, SLV, M-GDL / \Gamma) \text{ (kN)} = -4491.54$$

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

$$70\% \text{ della Resistenza massima del sistema 1-GDL} = 70\% F, \text{Max}, 1-GDL \text{ (kN)} = -3312.77$$

$$\text{Rigidità elastica: } K^* \text{ (kN/m)} = 1280448.00 \text{ (=73.570\% della rigidità elastica del sistema M-GDL)}$$

$$\text{Periodo elastico: } T^* = 2(m^*/K^*) \text{ (sec)} = 0.226$$

$$\text{Punto di snervamento: spostamento } dy^* \text{ (mm)} = -3.50$$

$$\text{forza } Fy^* \text{ (kN)} = -4485.57$$

$$\text{Limite ultimo : spostamento } du^* \text{ (mm)} = -13.97$$

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

$$\text{- in accelerazione: } S, e(T^*) = 0.398 \text{ g}$$

$$\text{- in spostamento: } d^*, e, \text{max} = S, De(T^*) \text{ (mm)} = -5.04$$

$$\text{- forza di risposta elastica} = S, e(T^*) m^* \text{ (kN)} = 6457.76$$

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

$$\text{- forza di snervamento } Fy^* \text{ (kN)} = -4485.57$$

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

$$\text{Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: } q^* = 1.440$$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
- b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

$$\text{Risposta in spostamento del sistema anelastico: } d^*, \text{max} \text{ (mm)} = -6.99$$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

$$\text{Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: } \Gamma d^*, \text{max} \text{ (mm)} = -8.47$$

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

$$\text{Domanda sismica in spostamento (mm)} = -8.47$$

$$\text{Capacità di spostamento a SLV (mm)} = -12.70$$

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

$$\text{SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)} = 0.199 \text{ g}$$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, CLV = 1517$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 4.824\%$

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	1517	0.199	4.8

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} = \zeta, E, \text{SLV,PGA} = 0.199/0.155 = 1.284$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 1517/712 = 2.131$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
a) capacità >= domanda (in termini di spostamento);
b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
90% del Taglio massimo (kN) = 5166.50
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 17.222
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -4.25, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4608.66

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -2.12
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -4485.57
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -2.12

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.57

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) = -2.57
Capacità di spostamento a SLD (mm) = -4.25

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.105 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 259$
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 25.142$ %
(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	259	0.105	25.1

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} = \zeta, E, \text{SLD,PGA} = 0.105/0.066 = 1.591$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD}(=\text{TR in input per SLD}) = 259/75 = 3.453$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività')

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_c, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.83, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -3777.22



Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -2.12$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -4485.57$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.499$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.75$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = -2.12$

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) = -2.12

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.83

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.072 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 94

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 54.971 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	94	0.072	55.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{,CLO} / PGA_{,DLO} = \zeta_{,E,SLO,PGA} = 0.072/0.054 = 1.333$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{,CLO} / TR_{,DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 94/45 = 2.089$

A.11 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -Y+T



Fig. A - 11-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 11

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 1737583.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -6095.19
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.284

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -15.96, F,SLC,M-GDL (kN) = -6095.19
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -11.97, F,SLV,M-GDL (kN) = -5918.58

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 $\phi_{i,j}$ 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: 49.2%



- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e 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	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

$$\text{Massa } m^* = \sum(m, i^* \phi, i) \text{ (k*kgm)} = 1655.41$$

$$\text{Coefficiente di partecipazione } \Gamma = \sum(m, i^* \phi, i) / \sum(m, i^* \phi, i^2) = 1.213$$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

$$\text{SLC: } dc, SLC, 1-GDL = (d, SLC, M-GDL / \Gamma) \text{ (mm)} = -13.16, F, SLC, 1-GDL = (F, SLC, M-GDL / \Gamma) \text{ (kN)} = -5024.89$$

$$\text{SLV: } dc, SLV, 1-GDL = (d, SLV, M-GDL / \Gamma) \text{ (mm)} = -9.87, F, SLV, 1-GDL = (F, SLV, M-GDL / \Gamma) \text{ (kN)} = -4879.29$$

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

$$70\% \text{ della Resistenza massima del sistema 1-GDL} = 70\% F, \text{Max}, 1-GDL \text{ (kN)} = -3517.42$$

$$\text{Rigidità elastica: } K^* \text{ (kN/m)} = 1300686.00 \text{ (=74.856\% della rigidità elastica del sistema M-GDL)}$$

$$\text{Periodo elastico: } T^* = 2(m^*/K^*) \text{ (sec)} = 0.224$$

$$\text{Punto di snervamento: spostamento } dy^* \text{ (mm)} = -3.66$$

$$\text{forza } Fy^* \text{ (kN)} = -4758.31$$

$$\text{Limite ultimo : spostamento } du^* \text{ (mm)} = -13.16$$

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

$$\text{- in accelerazione: } S, e(T^*) = 0.398 \text{ g}$$

$$\text{- in spostamento: } d^*, e, \text{max} = S, De(T^*) \text{ (mm)} = -4.97$$

$$\text{- forza di risposta elastica} = S, e(T^*) m^* \text{ (kN)} = 6457.76$$

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

$$\text{- forza di snervamento } Fy^* \text{ (kN)} = -4758.31$$

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

$$\text{Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: } q^* = 1.357$$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
- b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

$$\text{Risposta in spostamento del sistema anelastico: } d^*, \text{max} \text{ (mm)} = -6.64$$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

$$\text{Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: } \Gamma d^*, \text{max} \text{ (mm)} = -8.05$$

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

$$\text{Domanda sismica in spostamento (mm)} = -8.05$$

$$\text{Capacità di spostamento a SLV (mm)} = -11.97$$

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

$$\text{SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV)} = 0.197 \text{ g}$$

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, CLV = 1446$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 5.055\%$

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	1446	0.197	5.1

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} = \zeta, E, \text{SLV,PGA} = 0.197/0.155 = 1.271$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 1446/712 = 2.031$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:

- capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
- $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5485.67
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 18.286
 Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -4.44, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4857.59

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -2.09
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -4758.31
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -2.09

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.53

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) = -2.53
 Capacità di spostamento a SLD (mm) = -4.44

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.112 g
 corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 299$
 Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
 ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 22.185$ %
 (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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	299	0.112	22.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} = \zeta, E, \text{SLD,PGA} = 0.112/0.066 = 1.697$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD}(=\text{TR in input per SLD}) = 299/75 = 3.987$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività')

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.96, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -4000.88





Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -2.09$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -4758.31$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.471$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.72$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = -2.09$

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) = -2.09

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.96

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.078 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 110

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 49.43 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	110	0.078	49.4

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{,CLO} / PGA_{,DLO} = \zeta_{,E,SLO,PGA} = 0.078/0.054 = 1.444$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{,CLO} / TR_{,DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 110/45 = 2.444$

A.12 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: A – CURVA: -Y-T



Fig. A - 12-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 12

TIPO DI CURVA: (A) LINEARE: PROPORZIONALE ALLE FORZE STATICHE (DISTRIBUZIONE PRINCIPALE [GRUPPO 1]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidità iniziale (elastica) (kN/m) = 1743343.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -5100.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.237

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -11.88, F,SLC,M-GDL (kN) = -4957.72
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -8.91, F,SLV,M-GDL (kN) = -4722.17

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

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

è stato scelto il calcolo con le sole masse traslazionali nella direzione di analisi; per ogni piano, risultano i seguenti parametri (elencati nel seguito):

- completamente rigido: è tale un piano rigido (quindi con relazione master-slave) al quale non appartenga nessuna massa non riferita al nodo master. In tal caso, la massa di piano coincide con la massa concentrata nel nodo master e lo spostamento di piano è esattamente lo spostamento del nodo master;
- masse di piano m_i traslazionali;
- corrispondenti spostamenti modali ϕ_i secondo il modo principale nella direzione di analisi (Y): dall'analisi modale, il modo principale è il modo 2 con massa modale efficace (in direzione Y) pari a: 49.2%

- (i risultati dell'analisi modale sono riferiti alle rigidità utilizzate in analisi pushover, che possono differire dalle rigidità considerate in analisi modale. In Analisi Modale le rigidità considerate corrispondono al parametro %K,elast dei dati Aste e tengono quindi conto dell'eventuale rigidità fessurata (%K,elast < 100%); in Analisi Pushover al passo iniziale per maschi e fasce in muratura vengono considerate rigidità elastiche)
- 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 e lo spostamento del baricentro delle masse nella configurazione indeformata):

Piano	Compl. rigido	Massa (k*kgm)	Spostamento (mm)	Punto di controllo	Spostamento normalizzato
1	X	1445.47	11.74		0.592
2		660.47	21.46		1.083
3		84.67	19.82	X	1.000

Dai parametri precedenti risulta:

Massa $m^* = \sum(m_i \cdot \phi_i^2)$ (k*kgm) = 1655.41

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = \sum(m_i \cdot \phi_i) / \sum(m_i \cdot \phi_i^2) = 1.213$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -9.79, $F_{c,SLC,1-GDL} = (F_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -4087.15

SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = -7.35, $F_{c,SLV,1-GDL} = (F_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = -3892.97

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) = -2943.12

Rigidità elastica: K^* (kN/m) = 1285926.00 (=73.762% della rigidità elastica del sistema M-GDL)

Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.225

Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -3.10

forza Fy^* (kN) = -3991.54

Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -9.80

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g

- in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -5.02

- forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 6457.76

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

- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3991.54

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

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.618$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:

1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);

2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione a_g in input:

il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad a_g in input.

Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.

Il valore di a_g sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = a_g sostenibile / a_g in input),

verrà calcolato considerando un valore di a_g , cioè una domanda,

tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:

a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)

b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -7.45

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -9.04

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) = -9.04

Capacità di spostamento a SLV (mm) = -8.91

SLV: Capacità < Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) = 0.154 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLV = 697$ anni.

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR = 10.202$ %

(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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	697	0.154	10.2

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, V = \text{PGA,CLV} / \text{PGA,DLV} = \zeta, E, \text{SLV,PGA} = 0.154/0.155 = 0.994$
- in termini di TR: $\alpha, V = \text{TR,CLV} / \text{TR,DLV}(=\text{TR in input per SLV}) = 697/712 = 0.979$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
90% del Taglio massimo (kN) = 4590.00
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ calcolato = 11.475
Rapporto $\alpha, u/\alpha, 1$ effettivo = 2.500
Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLD, M-GDL}$ (mm) = -3.76, taglio alla base $F, \text{SLD, M-GDL}$ (kN) = -4143.55

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
- in accelerazione: $S, e(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*, e, \text{max} = S, De(T^*)$ (mm) = -2.11
- forza di risposta elastica = $S, e(T^*) m^*$ (kN) = 2716.53
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -3991.54
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*, max (mm) = -2.11

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $r d^*, \text{max}$ (mm) = -2.56

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) = -2.56
Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.76

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.093 g
corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR, \text{CLD} = 188$
Tale accelerazione, nel periodo di riferimento $VR = 75$ anni,
ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR, \text{CLD} = 32.897$ %
(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	188	0.093	32.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha, D = \text{PGA,CLD} / \text{PGA,DLD} = \zeta, E, \text{SLD,PGA} = 0.093/0.066 = 1.409$
- in termini di TR: $\alpha, D = \text{TR,CLD} / \text{TR,DLD}(=\text{TR in input per SLD}) = 188/75 = 2.507$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $dc, \text{SLO, M-GDL}$ (mm) = -2.51, taglio alla base $F, \text{SLO, M-GDL}$ (kN) = -3356.77



Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138 \text{ g}$
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*) \text{ (mm)} = -2.11$
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^* \text{ (kN)} = 2239.77$
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento $Fy^* \text{ (kN)} = -3991.54$
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.561$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d^*_{max} \text{ (mm)} = -1.74$

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*_{max} \text{ (mm)} = -2.11$

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) = -2.11

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.51

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.064 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR,CLO = 74

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR,CLO = 63.706 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	74	0.064	63.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{,CLO} / PGA_{,DLO} = \zeta_{,E,SLO,PGA} = 0.064/0.054 = 1.185$

- in termini di TR: $\alpha_{,0} = TR_{,CLO} / TR_{,DLO}(=TR \text{ in input per SLO}) = 74/45 = 1.644$

A.13 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +X

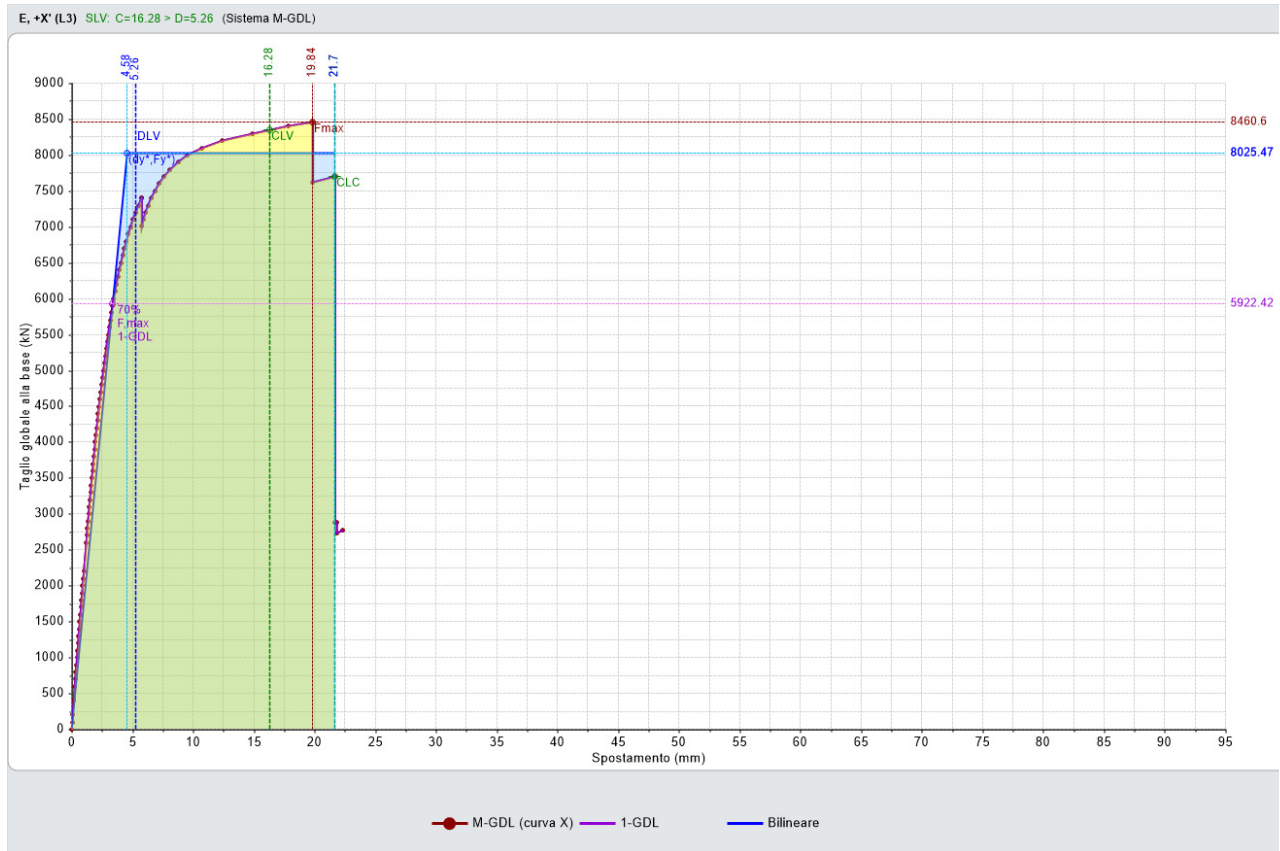


Fig. A - 13-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 13

**TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE
(DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA**

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2284209.00
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 8460.60
Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.394

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 21.70, F,SLC,M-GDL (kN) = 7700.00
SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 16.28, F,SLV,M-GDL (kN) = 8346.86

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 21.70, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 7700.00
SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 16.28, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 8346.86



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) = 5922.42
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1753224.00 (=76.754% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.222
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 4.58
 forza Fy^* (kN) = 8025.47
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 21.70

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.88
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 8025.47
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.065$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 5.26

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 5.26

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) = 5.26
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 16.28

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 800.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 7614.54
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 9.518
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 4.58, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 6845.16

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.05
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 8025.47
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 2.05

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 2.05

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) = 2.05

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 4.58

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.144 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 592

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 11.899 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	592	0.144	11.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_D = PGA_{CLD} / PGA_{DL} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.144 / 0.066 = 2.182$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DL} (=TR \text{ in input per SLD}) = 592 / 75 = 7.893$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 3.05, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 5552.24

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.05
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 8025.47
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.369$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 1.69

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 1.69

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.69

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 3.05

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.096 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 197

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 31.662 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	197	0.096	31.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.096 / 0.054 = 1.778$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 197 / 45 = 4.378$

A.14 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +X+T

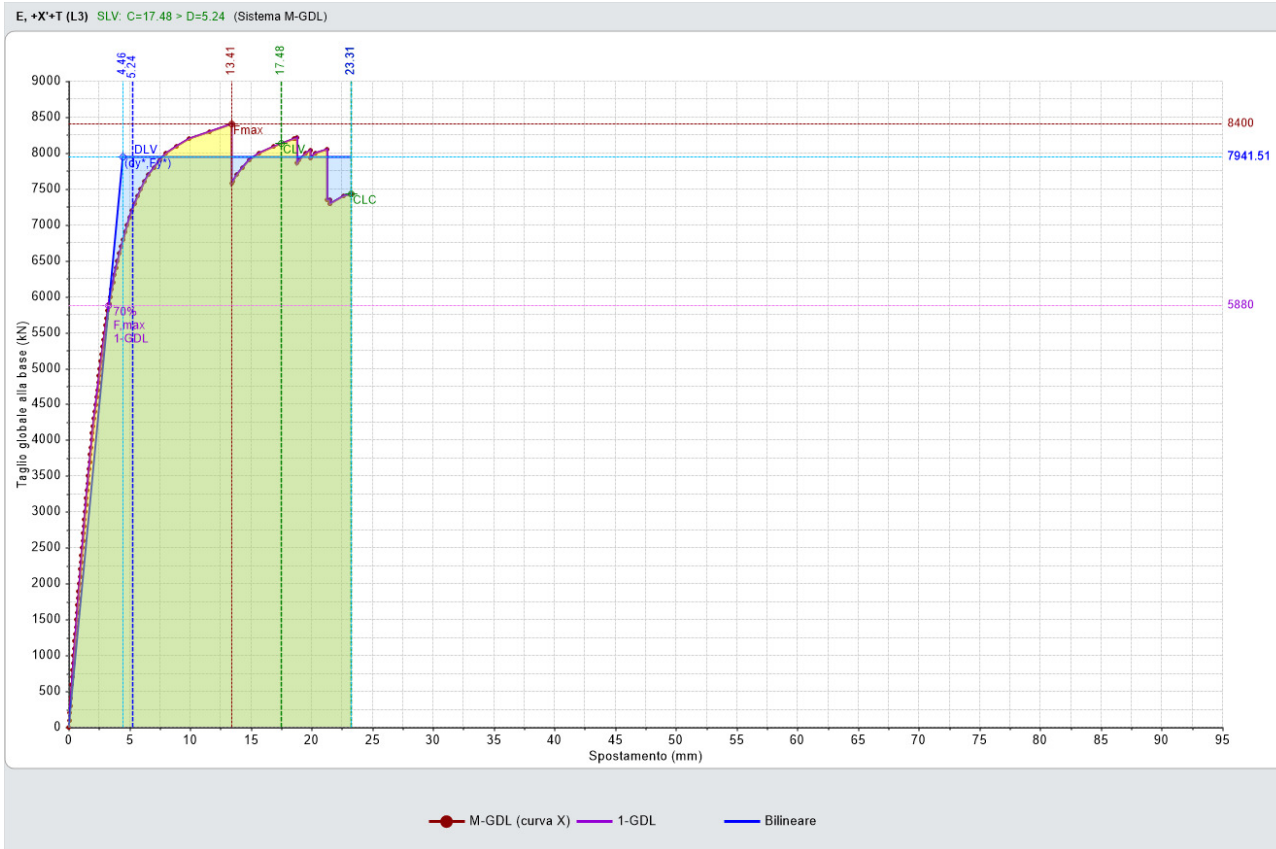


Fig. A - 14-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 14

**TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE
(DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA**

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2360878.00
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 8400.00
Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.391

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 23.31, F,SLC,M-GDL (kN) = 7430.35
SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 17.48, F,SLV,M-GDL (kN) = 8134.70

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 23.31, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 7430.35
SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 17.48, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 8134.70



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) = 5880.00
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1781783.00 (=75.471% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.220
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 4.46
 forza Fy^* (kN) = 7941.51
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 23.31

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.80
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 7941.51
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.076$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 5.25

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 5.25

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) = 5.25
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 17.48

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 800.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 7560.00
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 9.450
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 4.46, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 6775.05

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.02
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 7941.51
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 2.02

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 2.02

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) = 2.02

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 4.46

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.144 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLD} = 575$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLD} = 12.229$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	575	0.144	12.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DL} = \zeta_e S_{e,SLD,PGA} = 0.144 / 0.066 = 2.182$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DL} (=TR \text{ in input per SLD}) = 575 / 75 = 7.667$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 2.97, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 5497.31

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.02
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 7941.51
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.373$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 1.66

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 1.66

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.66

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.97

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.094 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 191$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 32.475$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	191	0.094	32.5

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO}, \text{PGA} = 0.094 / 0.054 = 1.741$

- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 191 / 45 = 4.244$

A.15 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +X-T

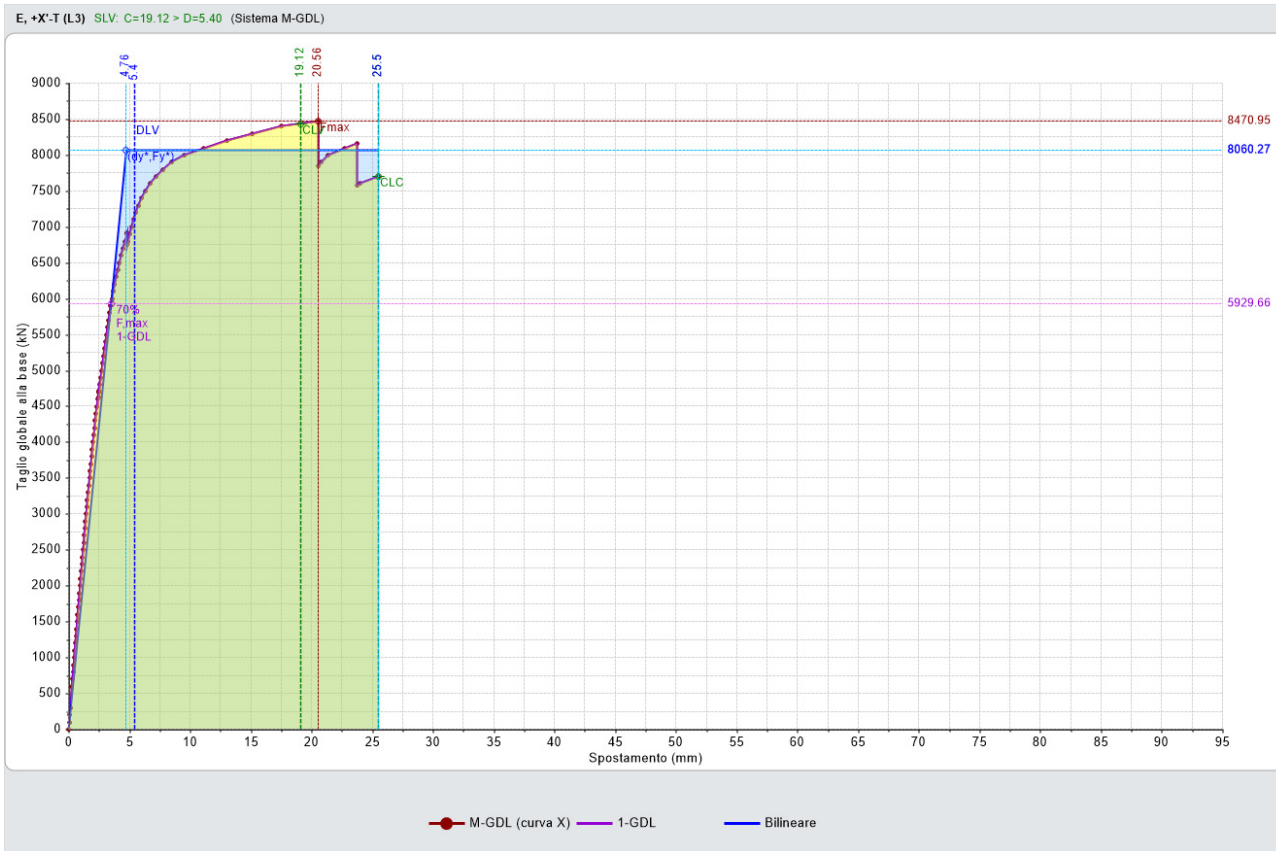


Fig. A - 15-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 15

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2212363.00
 Resistenza massima (taglio alla base): $F_{Max,M-GDL}$ (kN) = 8470.95
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso ($F_{Max,M-GDL} / W$) = 0.394

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,M-GDL}$ (mm) = 25.50, $F_{SLC,M-GDL}$ (kN) = 7700.00
 SLV: $d_{c,SLV,M-GDL}$ (mm) = 19.12, $F_{SLV,M-GDL}$ (kN) = 8437.32

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m_i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $d_{c,SLC,1-GDL} = (d_{c,SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 25.50, $F_{SLC,1-GDL} = (F_{SLC,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 7700.00
 SLV: $d_{c,SLV,1-GDL} = (d_{c,SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (mm) = 19.12, $F_{SLV,1-GDL} = (F_{SLV,M-GDL} / \Gamma)$ (kN) = 8437.32



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) = 5929.66
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1695136.00 (=76.621% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.226
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 4.76
 forza Fy^* (kN) = 8060.27
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 25.50

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 5.04
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 8060.27
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.060$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 5.40

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 5.40

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) = 5.40
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 19.12

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha_u V = PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = \zeta_{E,SLV,PGA} = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha_u V = TR_{CLV} / TR_{DLV}(=TR \text{ in input per SLV}) = 2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 800.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 7623.85
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 9.530
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 4.76, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 6868.03

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 8060.27
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 2.12

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 2.12

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) = 2.12

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 4.76

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.144 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLD} = 592$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLD} = 11.899$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	592	0.144	11.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_D = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_E S_{LD,PGA} = 0.144 / 0.066 = 2.182$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 592 / 75 = 7.893$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 3.17, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 5567.95

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 8060.27
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.368$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 1.75

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 1.75

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.75

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 3.17

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.096 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 197$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 31.662$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	197	0.096	31.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.096 / 0.054 = 1.778$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 197 / 45 = 4.378$

A.16 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +Y



Fig. A - 16-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 16

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):
 Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2132411.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 6200.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.289

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 20.14, F,SLC,M-GDL (kN) = 5151.89
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 15.10, F,SLV,M-GDL (kN) = 5574.04

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):
 Calcolo della Massa m^* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

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

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61
 Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 20.14, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 5151.89
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 15.10, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 5574.04



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) = 4340.00
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1753221.00 (=82.218% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.222
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 3.28
 forza Fy^* (kN) = 5753.10
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 20.14

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.88
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 5753.10
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.486$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 6.95

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 6.95

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) = 6.95
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 15.10

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5580.00
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 13.950
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 3.28, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 4898.50

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.05
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 5753.10
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 2.05

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 2.05

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) = 2.05

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.28

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.104 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLD = 240$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR,CLD = 26.838$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	240	0.104	26.8

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.104/0.066 = 1.576$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 240/75 = 3.200$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 2.19, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 4019.81

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = 2.05
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = 5753.10
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.515$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 1.69

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 1.69

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.69

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.19

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.070 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR,CLO = 90$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR,CLO = 56.54$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	90	0.070	56.5

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.070/0.054 = 1.296$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO}(=\text{TR in input per SLO}) = 90/45 = 2.000$

A.17 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +Y+T



Fig. A - 17-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 17

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

Sistema reale M-GDL (a più gradi di libertà):
 Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2136902.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 5892.54
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.274

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 20.35, F,SLC,M-GDL (kN) = 4789.13
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 15.26, F,SLV,M-GDL (kN) = 4893.76

Sistema equivalente 1-GDL (a 1 grado di libertà):
 Calcolo della Massa m^* e del Fattore di partecipazione modale Γ (§C7.3.4.1):

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

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61
 Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:
 SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 20.35, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 4789.13
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 15.26, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 4893.76



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) = 4124.78
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1697244.00 (=79.425% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.226
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 3.10
 forza Fy^* (kN) = 5262.96
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 20.35

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 5.04
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 5262.96
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.624$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),
 verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,
 tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 7.48

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 7.48

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) = 7.48
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 15.26

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5303.29
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 13.258
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 3.10, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 4536.44

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 5262.96
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 2.12

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 2.12

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) = 2.12

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.10

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.093 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 188

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 32.897 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	188	0.093	32.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_{,0} = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.093/0.066 = 1.409$

- in termini di TR: $\alpha_{,D} = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 188/75 = 2.507$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 2.07, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 3760.03

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 5262.96
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.563$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 1.75

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 1.75

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = 1.75

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.07

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.063 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 70

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 65.748 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	70	0.063	65.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.063 / 0.054 = 1.167$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 70 / 45 = 1.556$

A.18 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: +Y-T



Fig. A - 18-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 18

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: +Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2127939.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = 6400.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.298

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = 21.53, F,SLC,M-GDL (kN) = 5200.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = 16.14, F,SLV,M-GDL (kN) = 6147.37

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (Y):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = 21.53, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = 5200.00
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = 16.14, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = 6147.37



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) = 4480.00
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1766516.00 (=83.015% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.221
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = 3.42
 forza Fy^* (kN) = 6046.80
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = 21.53

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = 4.84
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = 6046.80
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.413$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = 6.69

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = 6.69

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) = 6.69
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = 16.14
SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta,E,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5760.00
 Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ calcolato = 14.400
 Rapporto $\alpha,u/\alpha,1$ effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = 3.42, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = 5210.82

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.04
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 6046.80
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 2.04

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 2.04

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) = 2.04

Capacità di spostamento a SLD (mm) = 3.42

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.106 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 268

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 24.41 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	268	0.106	24.4

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DL} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.106/0.066 = 1.606$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DL}(=TR \text{ in input per SLD}) = 268/75 = 3.573$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = 2.28, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = 4195.43

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = 2.04
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = 6046.80
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.490$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = 1.68

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = 1.68

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) = 1.68

Capacità di spostamento a SLO (mm) = 2.28

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.075 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 99

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 53.12 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	99	0.075	53.1

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO}, \text{PGA} = 0.075 / 0.054 = 1.389$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 99 / 45 = 2.200$

A.19 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -X

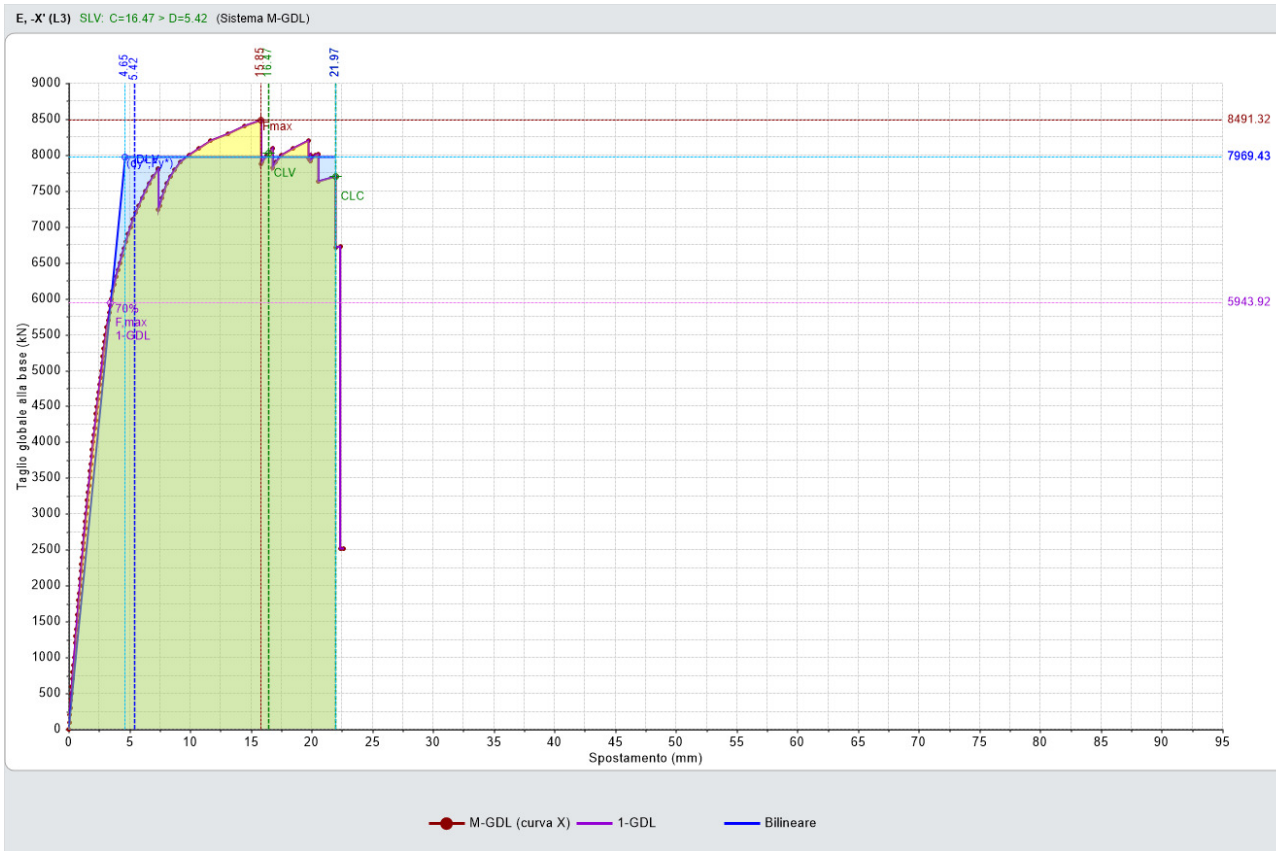


Fig. A - 19-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 19

**TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE
(DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA**

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2284209.00
Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -8491.32
Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.395

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -21.97, F,SLC,M-GDL (kN) = -7699.77
SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -16.47, F,SLV,M-GDL (kN) = -8029.45

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = -21.97, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = -7699.77
SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = -16.47, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = -8029.45



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) = -5943.92
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1712487.00 (=74.971% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.225
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -4.65
 forza Fy^* (kN) = -7969.43
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -21.97

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -4.99
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = -7969.43
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.072$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -5.42

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -5.42

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) = -5.42
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -16.47

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 7642.19
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 25.474
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -4.65, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -6757.38

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.10
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -7969.43
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -2.10

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -2.10

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) = -2.10

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -4.65

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.144 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 575

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 12.229 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	575	0.144	12.2

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DL} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.144 / 0.066 = 2.182$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DL} (=TR \text{ in input per SLD}) = 575 / 75 = 7.667$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -3.10, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -5537.03

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.10
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -7969.43
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.372$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -1.73

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -1.73

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.73

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -3.10

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.096 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 197

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 31.662 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	197	0.096	31.7

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.096/0.054 = 1.778$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 197/45 = 4.378$

A.20 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -X+T

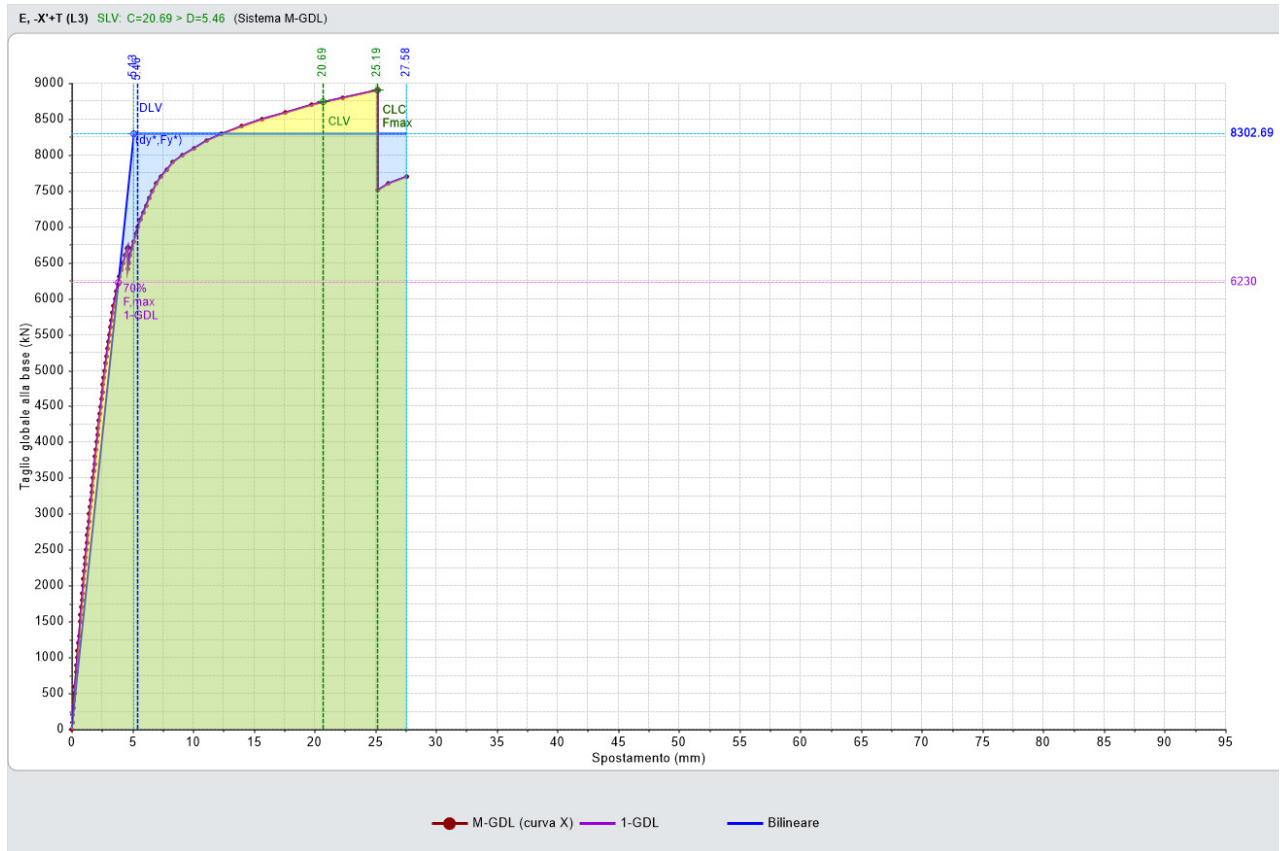


Fig. A - 20-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 20

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2212363.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -8900.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.414

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -25.19, F,SLC,M-GDL (kN) = -8900.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -20.69, F,SLV,M-GDL (kN) = -8736.53

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = -25.19, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = -8900.00
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = -20.69, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = -8736.53



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) = -6230.00
 Rigidezza elastica: K* (kN/m) = 1619237.00 (=73.190% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: T* = 2(m*/K*) (sec) = 0.231
 Punto di snervamento: spostamento dy* (mm) = -5.13
 forza Fy* (kN) = -8302.69
 Limite ultimo : spostamento du* (mm) = -27.58

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: S_e(T*) = 0.398 g
 - in spostamento: d_{e,max} = S_e(T*) (mm) = -5.28
 - forza di risposta elastica = S_e(T*) m* (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy* (kN) = -8302.69
 (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* = 1.029

Controllo su q* secondo §7.8.1.6

Nota su q*

q* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se q* >= 3.0 (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),
 verrà calcolato considerando un valore di ag, cioè una domanda,
 tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) q* <= 3.0 (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: q* <= 4.0 per SLC)
 b) capacità >= domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d_{*,max} (mm) = -5.46

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: d_{*,max} (mm) = -5.46

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) = -5.46
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -20.69

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) >= 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: α_v = PGA,CLV / PGA,DLV = ζ_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465
 - in termini di TR: α_v = TR,CLV / TR,DLV (=TR in input per SLV) = 2475/712 = 3.476

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità >= domanda (in termini di spostamento);
 b) q* <= 3.0 (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: q* <= 4.0 per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 8010.00
 Rapporto α_v/α_{v,1} calcolato = 20.025
 Rapporto α_v/α_{v,1} effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: q = 3.750





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -5.13, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -6818.77

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.22
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -8302.69
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -2.22

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -2.22

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) = -2.22

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -5.13

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.149 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLD} = 643$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLD} = 11.01$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	643	0.149	11.0

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.149/0.066 = 2.258$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 643/75 = 8.573$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -3.42, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -5856.23

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.22
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -8302.69
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.357$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -1.83

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -1.83

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.83

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -3.42

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.099 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 214$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 29.564$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	214	0.099	29.6

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CL0} / \text{PGA,DLO} = \zeta, \text{E,SLO,PGA} = 0.099/0.054 = 1.833$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CL0} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 214/45 = 4.756$

A.21 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -X-T

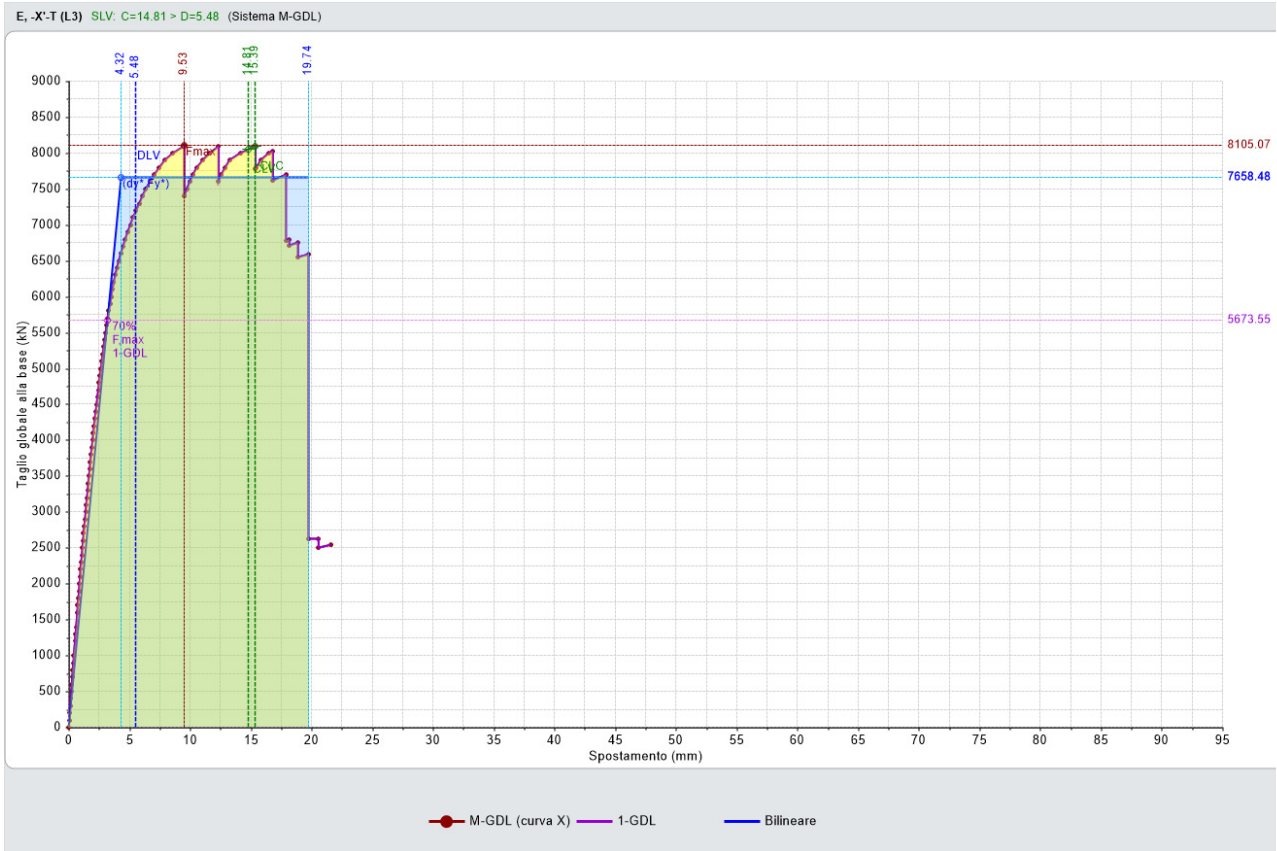


Fig. A - 21-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 21

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -X
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2360878.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -8105.07
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.377

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -15.39, F,SLC,M-GDL (kN) = -8100.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -14.81, F,SLV,M-GDL (kN) = -8054.19

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (X):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = -15.39, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = -8100.00
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = -14.81, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = -8054.19



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) = -5673.55
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1772598.00 (=75.082% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.221
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -4.32
 forza Fy^* (kN) = -7658.48
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -19.74

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -4.82
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = -7658.48
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.116$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input),
 verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda,
 tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -5.48

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -5.48

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) = -5.48
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -14.81

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 300.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 7294.57
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 24.315
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -4.32, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -6615.02

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.03
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -7658.48
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -2.03

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -2.03

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) = -2.03

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -4.32

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.136 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 512

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 13.626 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	512	0.136	13.6

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.136/0.066 = 2.061$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 512/75 = 6.827$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -2.88, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -5282.15

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.03
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -7658.48
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.387$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -1.67

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -1.67

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.67

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.88

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.093 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 180

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 34.076 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	180	0.093	34.1

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO}, \text{PGA} = 0.093 / 0.054 = 1.722$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 180 / 45 = 4.000$

A.22 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -Y

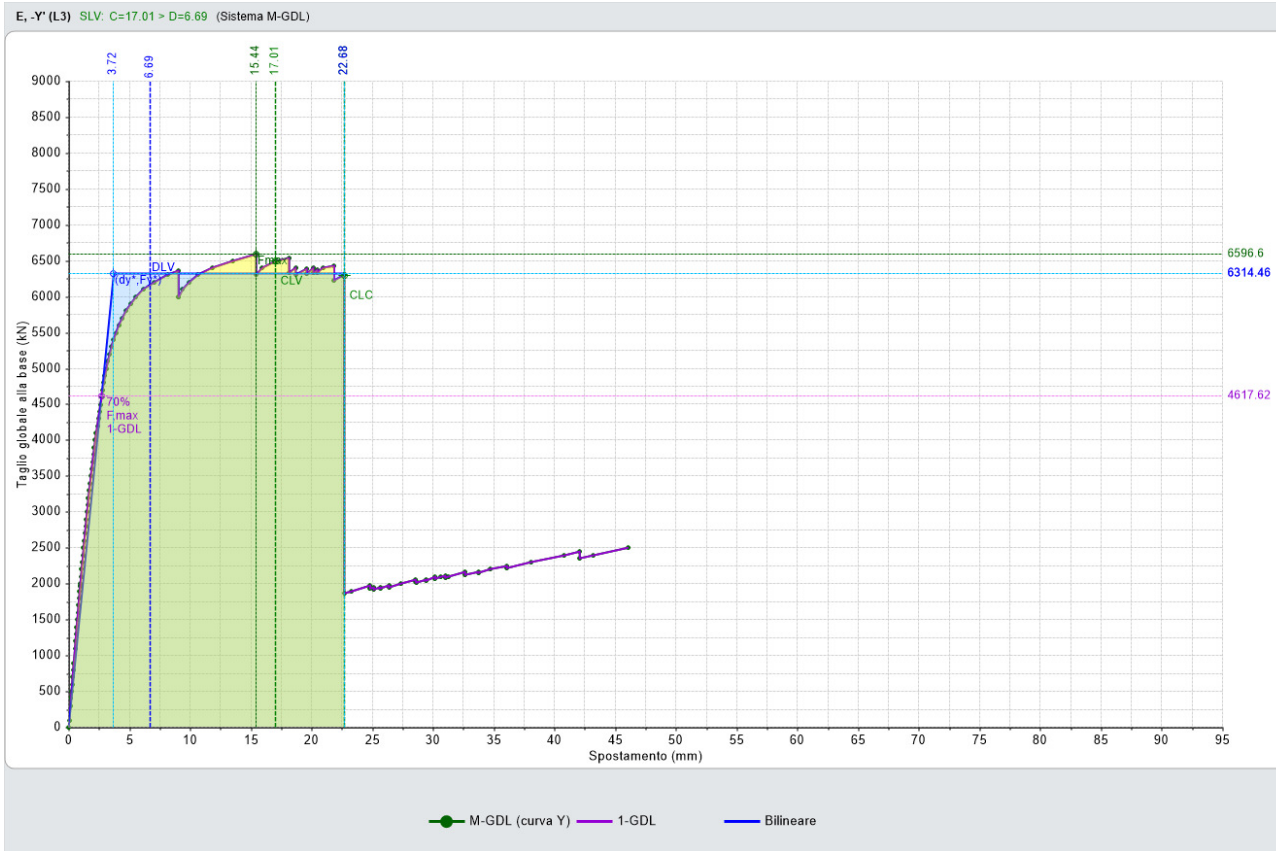


Fig. A - 22-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 22

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): NON CONSIDERATO
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2132411.00
 Resistenza massima (taglio alla base): F,Max,M-GDL (kN) = -6596.60
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso (F,Max,M-GDL / W) = 0.307

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,M-GDL (mm) = -22.68, F,SLC,M-GDL (kN) = -6300.00
 SLV: dc,SLV,M-GDL (mm) = -17.01, F,SLV,M-GDL (kN) = -6497.30

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (Y):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / Γ) (mm) = -22.68, F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / Γ) (kN) = -6300.00
 SLV: dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / Γ) (mm) = -17.01, F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / Γ) (kN) = -6497.30



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) = -4617.62
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1699862.00 (=79.715% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.226
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -3.72
 forza Fy^* (kN) = -6314.46
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -22.68

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -5.03
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = -6314.46
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.353$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -6.69

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -6.69

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) = -6.69
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -17.01

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 500.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5936.94
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 11.874
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -3.72, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -5412.35

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -6314.46
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -2.12

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -2.12

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) = -2.12

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.72

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.114 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLD} = 309$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLD} = 21.551$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	309	0.114	21.6

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DL} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.114/0.066 = 1.727$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DL}(=TR \text{ in input per SLD}) = 309/75 = 4.120$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -2.48, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -4339.11

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*,e,max = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.12
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -6314.46
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.469$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -1.74

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -1.74

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) = -1.74

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.48

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.078 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 110$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 49.43$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	110	0.078	49.4

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = \text{PGA}_{CLO} / \text{PGA}_{DLO} = \zeta_{E,SLO,PGA} = 0.078/0.054 = 1.444$
- in termini di TR: $\alpha_0 = \text{TR}_{CLO} / \text{TR}_{DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 110/45 = 2.444$

A.23 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -Y+T



Fig. A - 23-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 23

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): + MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2127939.00
 Resistenza massima (taglio alla base): $F_{Max,M-GDL}$ (kN) = -6700.00
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso ($F_{Max,M-GDL} / W$) = 0.312

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,M-GDL$ (mm) = -21.25, $F,SLC,M-GDL$ (kN) = -6356.70
 SLV: $dc,SLV,M-GDL$ (mm) = -15.94, $F,SLV,M-GDL$ (kN) = -6663.29

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (Y):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -21.25, $F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -6356.70
 SLV: $dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -15.94, $F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -6663.29



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) = -4690.00
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1736321.00 (=81.596% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.223
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -3.70
 forza Fy^* (kN) = -6424.78
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -21.25

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -4.92
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = -6424.78
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.330$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -6.50

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -6.50

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) = -6.50
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -15.94

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 400.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 6030.00
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 15.075
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -3.70, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -5538.49

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.167$ g
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.07
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -6424.78
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*_{max} (mm) = -2.07

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: Γd^*_{max} (mm) = -2.07

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) = -2.07

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.70

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.115 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLD} = 320$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLD} = 20.893$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	320	0.115	20.9

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_E S_{LD,PGA} = 0.115/0.066 = 1.742$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 320/75 = 4.267$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -2.47, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -4427.10

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e}(T^*) = 0.138$ g
- in spostamento: $d^*_{e,max} = S_{De}(T^*)$ (mm) = -2.07
- forza di risposta elastica = $S_{e}(T^*) m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento Fy^* (kN) = -6424.78
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.461$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*_{max} (mm) = -1.71

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: Γd^*_{max} (mm) = -1.71

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.71

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.47

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.080 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno $TR_{CLO} = 116$

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

ha la probabilità di essere superata pari a: $PVR_{CLO} = 47.615$ %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	116	0.080	47.6

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.080/0.054 = 1.481$

- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 116/45 = 2.578$

A.24 SLV – DISTIBUZIONE FORZE: E – CURVA: -Y-T



Fig. A - 24-1: Curva della distribuzione in esame

CURVA n° 24

TIPO DI CURVA: (E) UNIFORME: FORZE PROPORZIONALI ALLE MASSE (DISTRIBUZIONE SECONDARIA [GRUPPO 2]. RAPPORTI TRA FORZE FISSI NEL CORSO DEL PROCESSO INCREMENTALE)
DIREZIONE E VERSO: -Y
ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE (MOMENTO TORCENTE AGGIUNTIVO): - MT
COMBINAZIONE COMPONENTI: NON CONSIDERATA
PUNTO DI CONTROLLO: CENTRO DI MASSA DEL PIANO 3
COMPONENTE SISMICA VERTICALE: NON CONSIDERATA

VERIFICA DI SICUREZZA per SLV (Stato Limite ultimo di salvaguardia della Vita)

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

Rigidezza iniziale (elastica) (kN/m) = 2136902.00
 Resistenza massima (taglio alla base): $F_{Max,M-GDL}$ (kN) = -6335.96
 Peso sismico totale W (kN) = 21482.53
 Massa sismica totale M (k*kgm) = 2190.609
 Rapporto forza/peso ($F_{Max,M-GDL} / W$) = 0.295

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,M-GDL$ (mm) = -20.82, $F,SLC,M-GDL$ (kN) = -5749.00
 SLV: $dc,SLV,M-GDL$ (mm) = -15.61, $F,SLV,M-GDL$ (kN) = -6319.29

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

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

è stata scelta l'opzione $\Gamma=1.000$ per la distribuzione di forze (E).

La massa m^* è pari alla somma delle masse traslazionali nella direzione di analisi (Y):

Massa $m^* = \Sigma(m,i)$ (k*kgm) = 2190.61

Coefficiente di partecipazione $\Gamma = 1.000$

Stati limite ultimi: spostamento orizzontale e taglio alla base:

SLC: $dc,SLC,1-GDL = (d,SLC,M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -20.82, $F,SLC,1-GDL = (F,SLC,M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -5749.00
 SLV: $dc,SLV,1-GDL = (d,SLV,M-GDL / \Gamma)$ (mm) = -15.61, $F,SLV,1-GDL = (F,SLV,M-GDL / \Gamma)$ (kN) = -6319.29



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) = -4435.18
 Rigidezza elastica: K^* (kN/m) = 1645054.00 (=76.983% della rigidezza elastica del sistema M-GDL)
 Periodo elastico: $T^* = 2(m^*/K^*)$ (sec) = 0.229
 Punto di snervamento: spostamento dy^* (mm) = -3.71
 forza Fy^* (kN) = -6102.08
 Limite ultimo : spostamento du^* (mm) = -20.82

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:
 - in accelerazione: $S_e(T^*) = 0.398$ g
 - in spostamento: $d^*,e,max = S_e(T^*)$ (mm) = -5.20
 - forza di risposta elastica = $S_e(T^*) m^*$ (kN) = 8545.57
 (taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
 - forza di snervamento Fy^* (kN) = -6102.08
 (taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)
 Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 1.401$

Controllo su q^* secondo §7.8.1.6

Nota su q^*

q^* è funzione di due componenti:
 1. proprietà dinamiche dell'oscillatore (dalla curva di capacità);
 2. spettro di risposta, dipendente dall'accelerazione ag in input:
 il valore di q^* sopra riportato corrisponde quindi ad ag in input.
 Se $q^* > 3.0$ (SLV), la verifica di sicurezza non è soddisfatta.
 Il valore di ag sostenibile (e quindi dell'indicatore di rischio = ag sostenibile / ag in input), verrà calcolato considerando un valore di ag , cioè una domanda, tale da garantire contemporaneamente le due seguenti condizioni:
 a) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC)
 b) capacità \geq domanda (in termini di spostamento)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: d^*,max (mm) = -7.02

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d^*,max$ (mm) = -7.02

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) = -7.02
 Capacità di spostamento a SLV (mm) = -15.61

SLV: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLV: Capacità in termini di PGA (PGA,CLV) ≥ 0.227 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 (%)
Domanda	712	0.155	10.0
Capacità	2475	0.227	3.0

Indicatore di Rischio Sismico

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):
 - in termini di PGA: $\alpha,V = PGA,CLV / PGA,DLV = \zeta_e,SLV,PGA = 0.227/0.155 = 1.465$
 - in termini di TR: $\alpha,V = TR,CLV / TR,DLV (=TR$ in input per SLV) = $2475/712 = 3.476$

Nota sul metodo di calcolo dell'indicatore di rischio sismico

Il calcolo degli indicatori di rischio sismico viene effettuato attraverso un procedimento iterativo sulla domanda. Questa viene fatta variare fino a trovare il massimo valore sostenibile, tale cioè da garantire il soddisfacimento contemporaneo delle due seguenti condizioni:
 a) capacità \geq domanda (in termini di spostamento);
 b) $q^* \leq 3.0$ (§da 7.8.1.6, con riferimento a SLV; ciò corrisponde a: $q^* \leq 4.0$ per SLC).

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

Taglio di prima plasticizzazione (kN) = 500.00
 90% del Taglio massimo (kN) = 5702.37
 Rapporto α_u/α_1 calcolato = 11.405
 Rapporto α_u/α_1 effettivo = 2.500
 Edificio non regolare in altezza: $q = 3.750$





VERIFICA DI SICUREZZA per SLD (Stato Limite di Danno)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLD,M-GDL}$ (mm) = -3.71, taglio alla base $F_{SLD,M-GDL}$ (kN) = -5155.29

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.167 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.19
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 3594.79
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -6102.08
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -2.19

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -2.19

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) = -2.19

Capacità di spostamento a SLD (mm) = -3.71

SLD: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLD: Capacità in termini di PGA (PGA,CLD) = 0.108 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLD} = 278

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLD} = 23.646 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	75	0.066	63.0
Capacità	278	0.108	23.6

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha_0 = PGA_{CLD} / PGA_{DLD} = \zeta_{E,SLD,PGA} = 0.108/0.066 = 1.636$

- in termini di TR: $\alpha_D = TR_{CLD} / TR_{DLD}(=TR \text{ in input per SLD}) = 278/75 = 3.707$

VERIFICA DI SICUREZZA per SLO (Stato Limite di Operatività)

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

SLD: spostamento orizzontale: $d_{c,SLO,M-GDL}$ (mm) = -2.47, taglio alla base $F_{SLO,M-GDL}$ (kN) = -4206.16

Risposta massima in spostamento del sistema equivalente:

Risposta del sistema elastico di pari periodo:

- in accelerazione: $S_{e(T^*)}$ = 0.138 g
- in spostamento: $d_{*e,max} = S_{De(T^*)}$ (mm) = -2.19
- forza di risposta elastica = $S_{e(T^*)} m^*$ (kN) = 2963.89
(taglio totale agente sulla base del sistema equivalente 1-GDL calcolato dallo spettro di risposta elastico);
- forza di snervamento F_{y^*} (kN) = -6102.08
(taglio alla base resistente del sistema equivalente 1-GDL ottenuto dall'analisi non lineare)

Rapporto tra forza di risposta elastica e forza di snervamento: $q^* = 0.486$

Risposta in spostamento del sistema anelastico: $d_{*,max}$ (mm) = -1.80

Conversione della risposta equivalente in quella effettiva dell'edificio:

Spostamento effettivo di risposta del punto di controllo: $\Gamma d_{*,max}$ (mm) = -1.80

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

Domanda sismica in spostamento (mm) = -1.80

Capacità di spostamento a SLO (mm) = -2.47

SLO: Capacità > Domanda

Verifiche per edifici strategici o importanti:

SLO: Capacità in termini di PGA (PGA,CLO) = 0.076 g

corrispondente, per il sito di ubicazione dell'edificio, al periodo di ritorno TR_{CLO} = 104

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

ha la probabilità di essere superata pari a: PVR_{CLO} = 51.381 %

(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 (anni)	PGA (*g)	PVR (%)
Domanda	45	0.054	81.0
Capacità	104	0.076	51.4

Indicatore di Rischio Sismico:

(indicatore di rischio = rapporto tra capacità e domanda):

- in termini di PGA: $\alpha,0 = \text{PGA,CLO} / \text{PGA,DLO} = \zeta, E, \text{SLO,PGA} = 0.076 / 0.054 = 1.407$
- in termini di TR: $\alpha,0 = \text{TR,CLO} / \text{TR,DLO} (= \text{TR in input per SLO}) = 104 / 45 = 2.311$