



Committente

tecnici

Progetto definitivo

RUOTI ENERGIA S.r.l.
Piazza del Grano 3
I-39100 Bolzano (BZ)

committente

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio denominato "Mandra Moretta" e relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei Comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ)

progetto

contenuto Relazione sismica

redatto	modificato	scala	elaborato n.
MD 15.12.22	a MD 19.12.22		PD-R.7
controllato	b MD 28.09.23		
MD 28.09.23	c		
pagine 32	n. progetto 11-213	11_213_PSKW_Ruoti\stat\text\PD-R.7_rel_sismica_03.docx	



Studio di Geologia e GeolIngegneria
Dott. Geol. Antonio De Carlo

Dott. Geol. Antonio De Carlo
Via del Seminario 35 – 85100 Potenza (PZ)
tel. +39 0971 180 0373
studiogeopotenza@libero.it



BETTIOL ING. LINO SRL
Società di Ingegneria

S.L.: Via G. Marconi 7 - 31027 Spresiano (TV)
S.O.: Via Panà 56ter - 35027 Noventa Padovana (PD)
Tel. 049 7332277 - Fax. 049 7332273
E-mail: bettiolinglinosrl@legalmail.it

patscheiderpartner

E N G I N E E R S

Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l.
i-39024 mals/malles (bz) - glurnserstraße 5/k via glorenza
i-39100 bozen/bolzano - negrellistraße 13/c via negrelli
a-6130 schwaz - mindelheimerstraße 6
tel. +39 0473 83 05 05 – fax +39 0473 83 53 01
info@ipp.bz.it – www.patscheiderpartner.it

Indice

1. Premessa.....	2
2. Leggi, norme e documentazione di riferimento	2
3. Fondamenti comuni per le verifiche geotecniche e le verifiche delle strutture .3	
3.1 Azioni sismiche.....	4
3.1.1 Calcolo delle azioni per la verifica delle strutture in calcestruzzo armato dell'invaso di monte e dell'invaso di valle	4
3.1.2 Calcolo delle azioni per la verifica delle strutture d'argine dell'invaso di monte e dell'invaso di valle.....	4
4. Verifiche dell'invaso di monte.....	6
4.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni.....	6
4.2 Verifica degli argini - Calcolo del coefficiente sismico orizzontale e verticale	7
4.3 Verifica delle strutture in calcestruzzo armato - Spettri.....	13
5. Verifiche dell'invaso di valle	19
5.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni.....	19
5.2 Verifica della diga - Calcolo del coefficiente sismico orizzontale e verticale	19
5.3 Verifica delle strutture in calcestruzzo armato - Spettri.....	26
6. Conclusioni	32

1. Premessa

La presente relazione sismica riguarda la verifica degli argini di due bacini facenti parte delle opere costituenti l'impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio, che la società RUOTI ENERGIA S.r.l. con sede legale a Bolzano (BZ) intende realizzare nel Comune di Ruoti (PZ). Il Comune, in provincia di Potenza, dista circa 14,5 km dal capoluogo in direzione nord-ovest. Il centro del paese si trova a 751 metri d'altitudine sulle coordinate 40°43'8,40"N e 15°40'47,28"E.

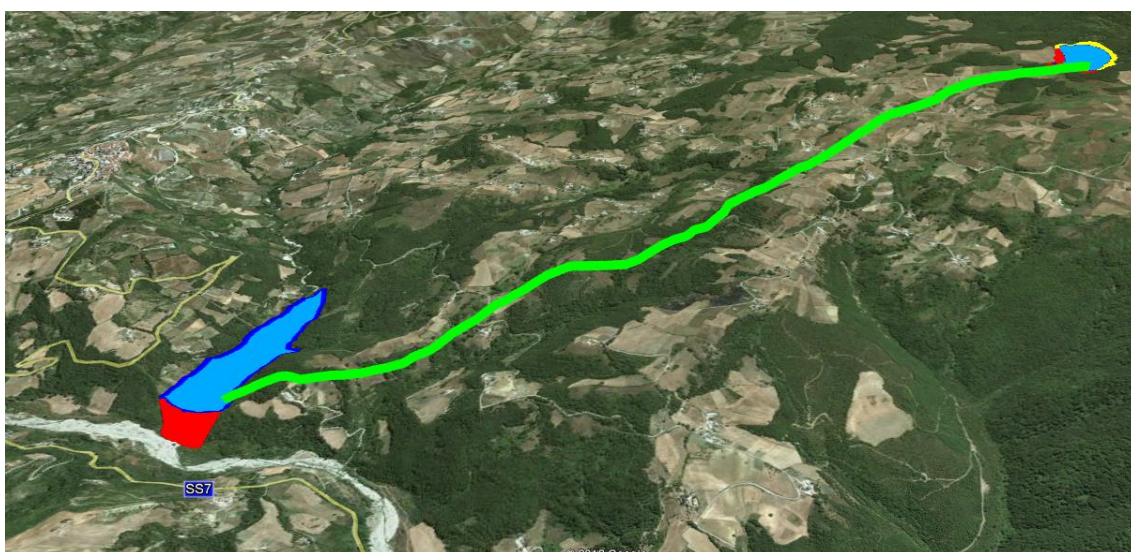


Figura 1. Schema di massima dell'impianto dal quale si riconosce la posizione dei due bacini.

2. Leggi, norme e documentazione di riferimento

- [1] Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle <<Norme Tecniche per le Costruzioni>>" pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 - Supplemento Ordinario n° 8.
- [2] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- [3] Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 26 giugno 2014: Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).
- [4] D.M. 17.01.2018 – Norme tecniche per le costruzioni (NTC), Circolare ministeriale 17.01.2018 n.8 C.S.LL.PP. - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Aggiornamento

delle "Norme tecniche per le costruzioni" - Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n.42 del 20-02-2018.

- [5] Circolare DG Dighe 26 luglio 2018 n. 17281 e s.m.i. – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari e accessorie – Istruzioni per le applicazioni della normativa tecnica di cui al D.M. 26.06.2014 (NTD14) e al D.M. 17.01.2018 (NTC 2018).
- [6] Circolare ministeriale 21.01.2019 n.7 C.S.LL.PP. - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17 gennaio 2018 - Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Supplemento Ordinario n.5.
- [7] Relazione geologica "Progetto di un impianto a pompaggio da realizzarsi nel Comune di Ruoti – Relazione Geologica" a firma del Dott. Geologo Antonio De Carlo, Dicembre 2012 (file FINALE_RELAZIONE_GEOLOGICA_PRELIMINARE_22_12.pdf).
- [8] Tavola grafica 05 (file SEZIONE LITOTECNICA -DIGA DI VALLE-MONTE- Model (1).pdf).

3. Fondamenti comuni per le verifiche geotecniche e le verifiche delle strutture

Secondo il DM 26/06/2014 (paragrafo C.7.7.2) le dighe che non superano i 15 metri di altezza e che determinano un volume di invaso non superiore a 1.000,000 di metri cubi sono classificate come "Dighe di dimensioni contenute".

L'argine del serbatoio di monte ha un'altezza massima di 15,67 metri, misurata in corrispondenza della Sezione B-B1. Pertanto, l'argine, trattato come diga, è classificabile come "grande diga".

Anche la diga del serbatoio di valle, che ha un'altezza di 29,50 metri, è classificabile come "grande diga".

Sempre secondo lo stesso paragrafo del DM 26/06/2014 entrambe le dighe sono definibili come "dighe rilevanti per le conseguenze di un eventuale collasso".

3.1 Azioni sismiche

3.1.1 Calcolo delle azioni per la verifica delle strutture in calcestruzzo armato dell'invaso di monte e dell'invaso di valle

Trattasi di strutture in calcestruzzo armato costituite da elementi piani orizzontali (platee, solai) e verticali (pareti), con vincolo d'incastro, a comportamento scatolare, quindi con schema statico adeguato ad assorbire le forze sismiche in qualunque direzione. Per tutte le strutture si può ritenere adeguato assumere un fattore di struttura $q=3,0$.

3.1.2 Calcolo delle azioni per la verifica delle strutture d'argine dell'invaso di monte e dell'invaso di valle

Secondo l'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003" (sostituita dalle NTC 2018) il Comune di Ruoti è classificato in Zona Sismica 1.

Le verifiche saranno effettuate secondo il metodo pseudostatico, utilizzando delle forze statiche equivalenti. Queste ultime sono calcolate utilizzando le seguenti formule (NTC 2018, paragrafo 7.11.3.5.2 e Circolare 2019, paragrafo C.7.11.3.5):

$$F_h = k_h W = \beta_s a_{max} 1/g W \qquad F_v = \pm k_v W = \pm 0,5 k_h = \pm 0,5 \beta_s a_{max} 1/g W$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

W = massa del terreno, inclusa del cerchio di scorrimento.

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T)

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

Per fronti di scavo e rilevati il valore di β_s , nelle verifiche dello stato limite ultimo, è 0,38 (paragrafo 7.11.4 NTC 2018).

Secondo la relazione geologica [documento PD-R.6] i terreni di fondazione degli argini dei due bacini appartengono al Tipo B.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 1. Categorie di sottosuolo secondo la tabella 3.2.II delle NTC 2018.

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_s e di C_c*

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 2. Espressioni di S_s e C_c secondo la tabella 3.2.IV delle NTC 2018.

Le opere in progetto sono costruzioni di tipo 3, trattandosi di opere di importanza strategica e quindi di Classe d'Uso IV, da cui deriva il coefficiente d'uso $C_U=2,0$. La Vita Nominale delle opere è $V_N=100$ anni. Pertanto la Vita di riferimento vale $V_R= V_N C_U = 100 \times 2,0 = 200$ anni. Verrà considerato lo Stato Limite di Collasso (SLC) a cui corrisponde una un periodo di riferimento T_R

$$T_R[\text{anni}] = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = 2475 \text{ anni}$$

ottenuto considerando una probabilità di superamento P_{VR} del 5 % (valida per lo Stato Limite ultimo di Collasso).

4. Verifiche dell'invaso di monte

4.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Sulla base di quanto riportato nella relazione geologica [documento PD-R.6] e nella tavola grafica [documento PD-EP.20.1] si definiscono le seguenti unità geotecniche (UG)

Unità geotecnica			Peso	Angolo di attrito interno (resistenza al taglio efficace)	Coesione efficace
			γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	Terreno del corpo diga	UG4	19,0	36	0,5
2	Litofacies sabbiosa (alterato)	UG3	21,0	26	2,0
3	Litofacies sabbiosa	UG2	22,0	28	2,0
5	Litofacies conglomeratica	UG1	23,0	40	0,0

Tabella 3. Parametri geotecnici delle unità geotecniche.

4.2 Verifica degli argini - Calcolo del coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il sito in esame ricade nella Categoria di sottosuolo B [documento PD-R.6]. Secondo la Tabella 3.2.IV del DM 2018, il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S è compreso tra 1,00 e 1,20 e il coefficiente C_C assume il valore calcolabile con la formula della stessa tabella. La categoria topografica è la T2 e $S_T=1,2$, come indicato nella Tabella 3.2.V del DM 2018.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4. Categorie topografiche secondo la tabella 3.2.III delle NTC 2018.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 5. Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T , secondo la tabella 3.2.V delle NTC 2018.

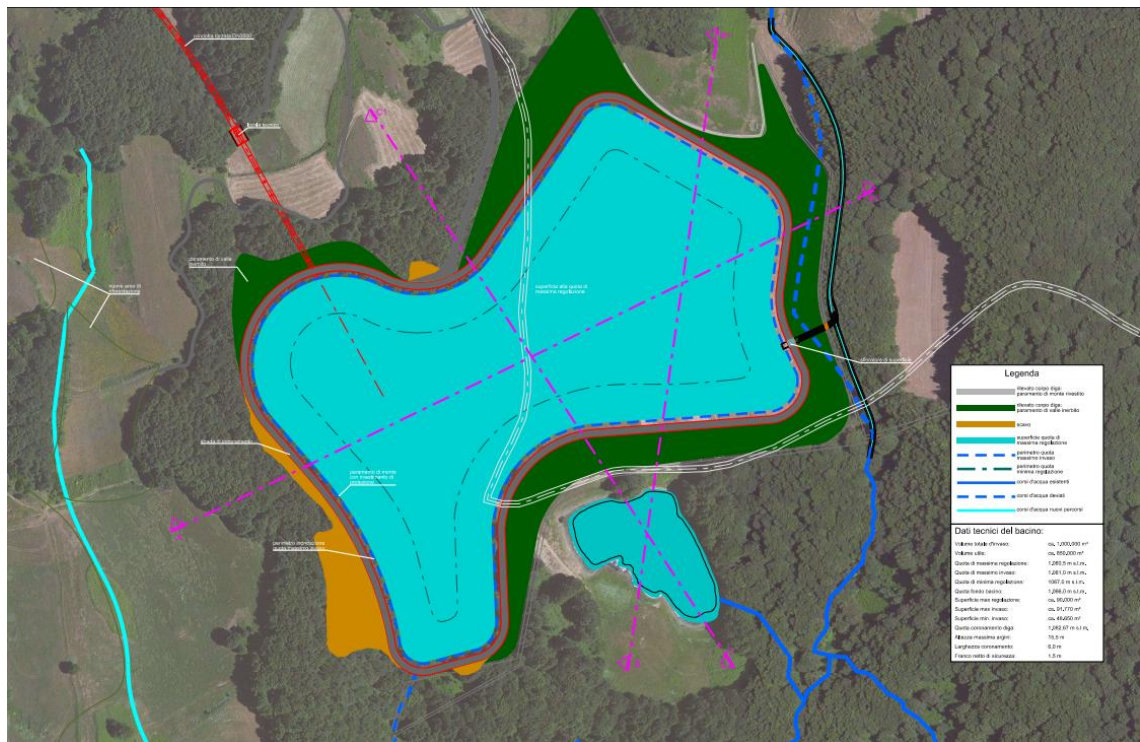


Figura 2. Planimetria del bacino di monte.

BACINO DI MONTE - Sezione B-B1

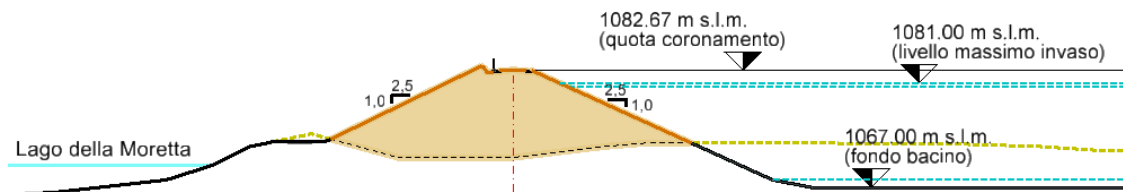


Figura 3. Sezione oggetto di verifica (Sezione B-B1).

Per il calcolo delle forze sismiche si fa riferimento alle coordinate rappresentative del sito di ubicazione della diga di monte, che sono:

latitudine 40°,676007 N

longitudine 15°,675045 E

Di seguito il calcolo dei parametri necessari alla valutazione delle forze sismiche.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE:

LATTITUDINE:

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

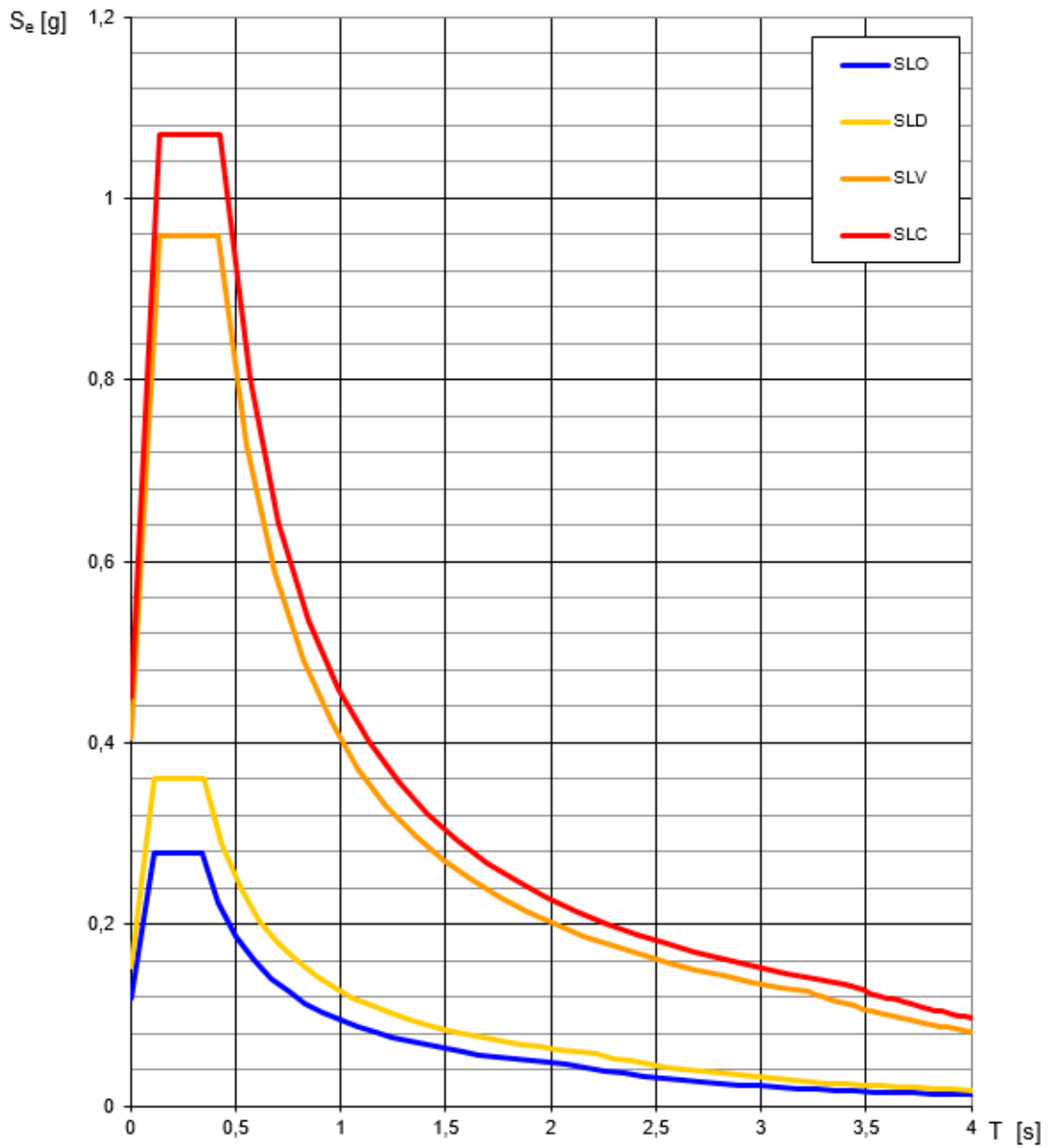
Stato Limite	Strategia per costruzioni ordinarie (TR [anni])	Strategia scelta (TR [anni])
SLO	120	120
SLD	201	201
SLV	1898	1898
SLC	2475	2475

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

.....□..... Strategia scelta

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,119	2,345	0,338
SLD	201	0,154	2,343	0,349
SLV	1898	0,406	2,360	0,421
SLC	2475	0,450	2,377	0,425

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLC** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **B** info $S_s = 1,000$ $C_G = 1,305$ info
 Categoria topografica **T2** info $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1,000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1** $\eta = 1,000$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,450 g
F_o	2,377
T_C^*	0,425 s
S_S	1,000
C_C	1,305
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	1,000
T_B	0,185 s
T_C	0,555 s
T_D	3,399 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \right.$$

$$T_B \leq T < T_C \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \right.$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,450
$T_B \leftarrow$	0,185	1,069
$T_C \leftarrow$	0,555	1,069
	0,690	0,859
	0,826	0,718
	0,961	0,617
	1,096	0,541
	1,232	0,481
	1,367	0,434
	1,503	0,395
	1,638	0,362
	1,774	0,334
	1,909	0,311
	2,045	0,290
	2,180	0,272
	2,316	0,256
	2,451	0,242
	2,587	0,229
	2,722	0,218
	2,858	0,208
	2,993	0,198
	3,129	0,190
	3,264	0,182
$T_D \leftarrow$	3,399	0,174
	3,428	0,172
	3,457	0,169
	3,485	0,166
	3,514	0,163
	3,542	0,161
	3,571	0,158
	3,600	0,156
	3,628	0,153
	3,657	0,151
	3,685	0,148
	3,714	0,146
	3,743	0,144
	3,771	0,142
	3,800	0,140
	3,828	0,138
	3,857	0,136
	3,886	0,134
	3,914	0,132
	3,943	0,130
	3,971	0,128
	4,000	0,126

Con i valori sopra calcolati, i valori dei coefficienti k_h e k_v sono

$$a_{max,g} = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g = (1,00 \cdot 1,20) \cdot 0,450 = 0,540$$

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g} = 0,38 \cdot 0,540 = 0,205$$

$$k_v = \frac{k_h}{2} = 0,103$$

4.3 Verifica delle strutture in calcestruzzo armato - Spettri

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

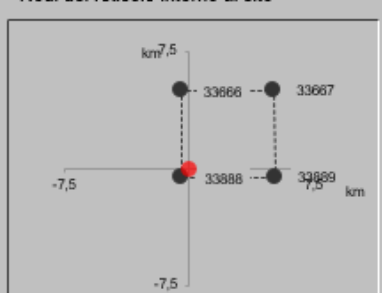
Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento


Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

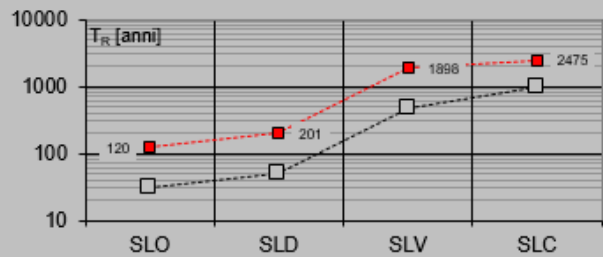
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

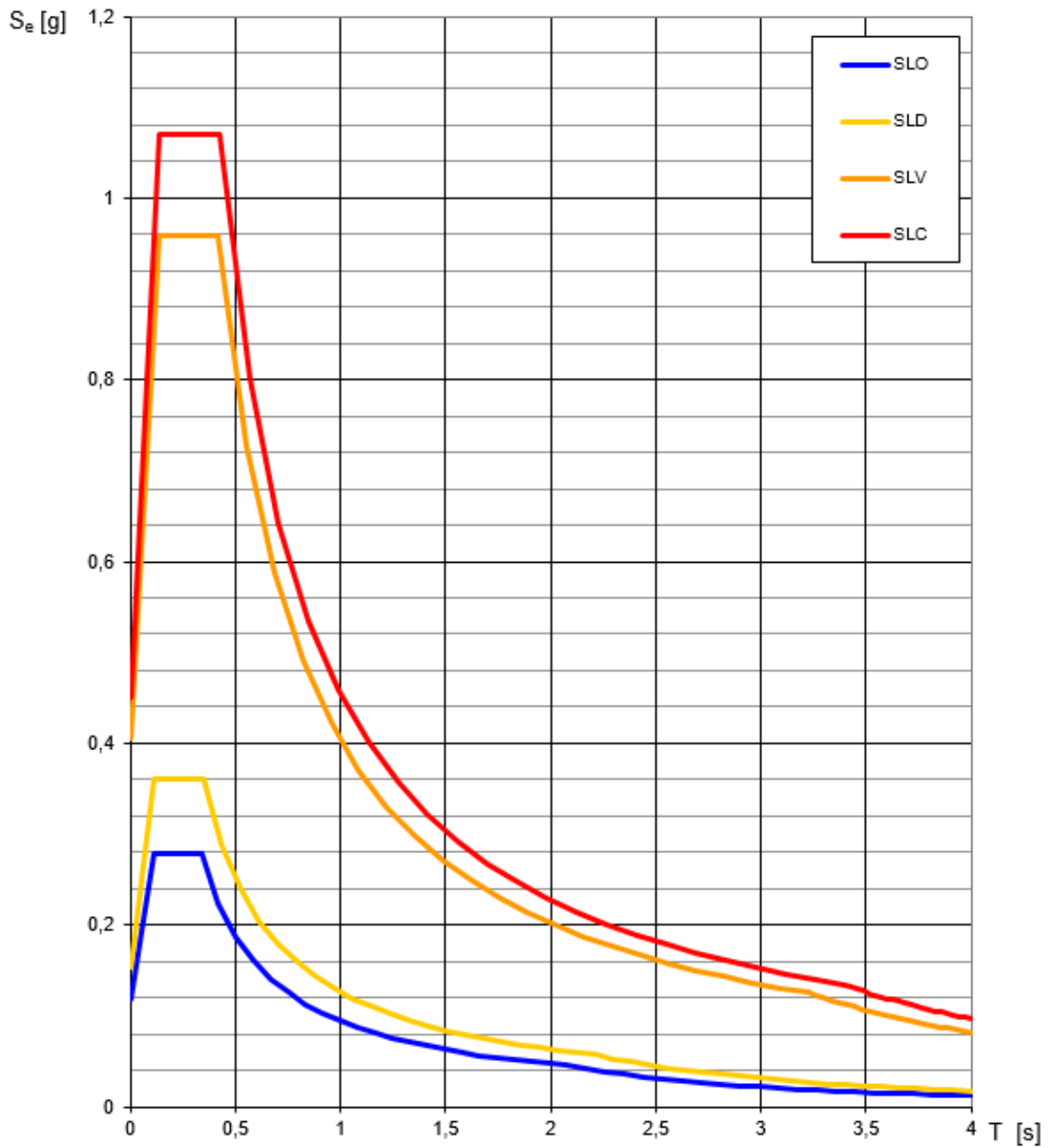
Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,119	2,345	0,338
SLD	201	0,154	2,343	0,349
SLV	1898	0,406	2,360	0,421
SLC	2475	0,450	2,377	0,425

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLC** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **B** info $S_B = 1,000$
 Categoria topografica: **T2** info $C_C = 1,305$
 $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\eta = 1,000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o : **3** Regol. in altezza: **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q : **1** $\eta = 1,000$ info

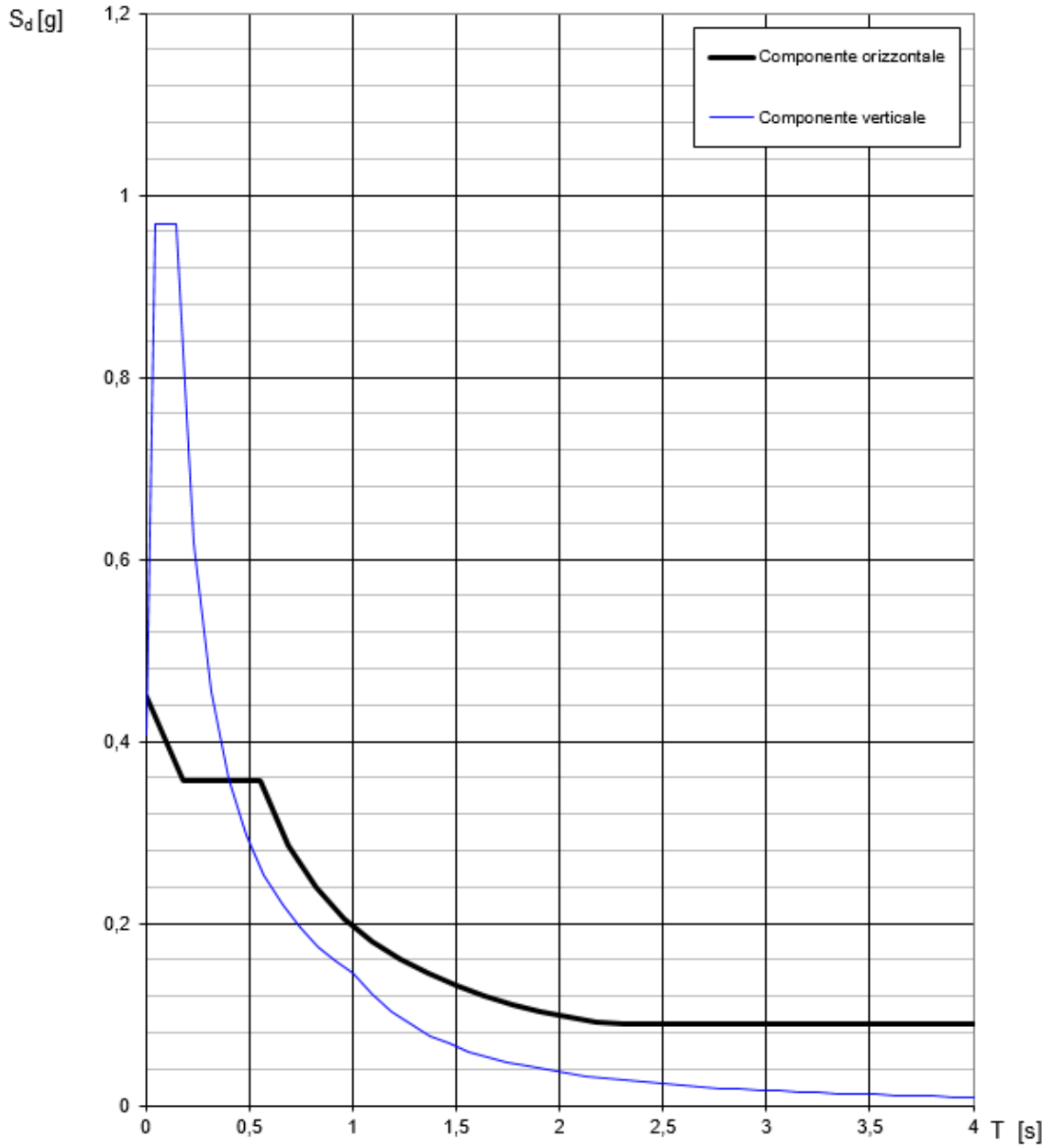
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

$S_{d,o}$ [g]
 $S_{d,v}$ [g]
 S_e [g]

— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,450 g
F_o	2,377
T_C^*	0,425 s
S_S	1,000
C_C	1,305
S_T	1,000
q	3,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	0,333
T_B	0,185 s
T_C	0,555 s
T_D	3,399 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,450
$T_B \leftarrow$	0,185	0,356
$T_C \leftarrow$	0,555	0,356
	0,690	0,286
	0,826	0,239
	0,961	0,206
	1,096	0,180
	1,232	0,160
	1,367	0,145
	1,503	0,132
	1,638	0,121
	1,774	0,111
	1,909	0,104
	2,045	0,097
	2,180	0,091
	2,316	0,090
	2,451	0,090
	2,587	0,090
	2,722	0,090
	2,858	0,090
	2,993	0,090
	3,129	0,090
	3,264	0,090
$T_D \leftarrow$	3,399	0,090
	3,428	0,090
	3,457	0,090
	3,485	0,090
	3,514	0,090
	3,542	0,090
	3,571	0,090
	3,600	0,090
	3,628	0,090
	3,657	0,090
	3,685	0,090
	3,714	0,090
	3,743	0,090
	3,771	0,090
	3,800	0,090
	3,828	0,090
	3,857	0,090
	3,886	0,090
	3,914	0,090
	3,943	0,090
	3,971	0,090
	4,000	0,090

5. Verifiche dell'invaso di valle

5.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Sulla base di quanto riportato nella relazione geologica [documento PD-R.6] e nella tavola grafica [documento PD-EP.22.1] si definiscono le seguenti unità geotecniche (UG)

Unità geotecnica			Peso	Angolo di attrito interno (resistenza al taglio efficace)	Coesione efficace
			γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	Terreno del corpo diga	UG4	19,0	36	0,5
2	Materiale alluvionale	UG3	19,0	38	0,0
3	Litofacies sabbiosa	UG2	22,0	28	2,0
5	Litofacies conglomeratica	UG1	23,0	40	0,0

Tabella 6. Parametri geotecnici delle unità geotecniche.

5.2 Verifica della diga - Calcolo del coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il sito in esame ricade nella Categoria di sottosuolo B [documento PD-R.6]. Secondo la Tabella 3.2.IV del DM 2018, il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s è compreso tra 1,00 e 1,20 e il coefficiente C_c assume il valore calcolabile con la formula della stessa tabella. La categoria topografica è la T2 e $S_T=1,2$, come indicato nella Tabella 3.2.V del DM 2018.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7. Categorie topografiche secondo la tabella 3.2.III delle NTC 2018.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 8. Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T , secondo la tabella 3.2.V delle NTC 2018.

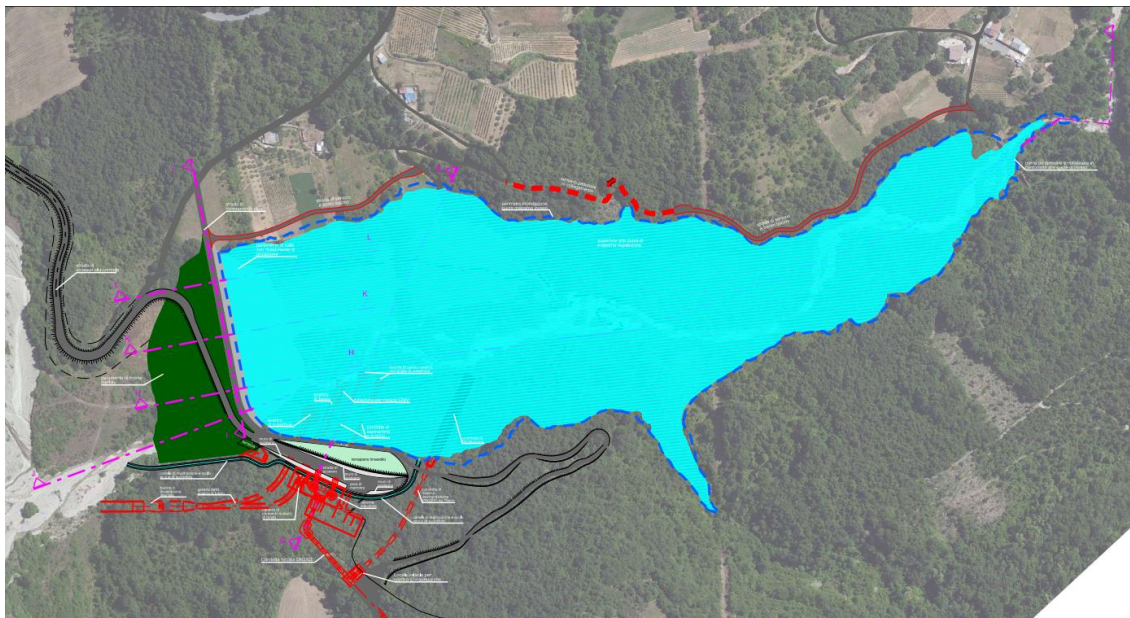


Figura 4. Planimetria del bacino di valle.

BACINO DI VALLE - Sezione H-H

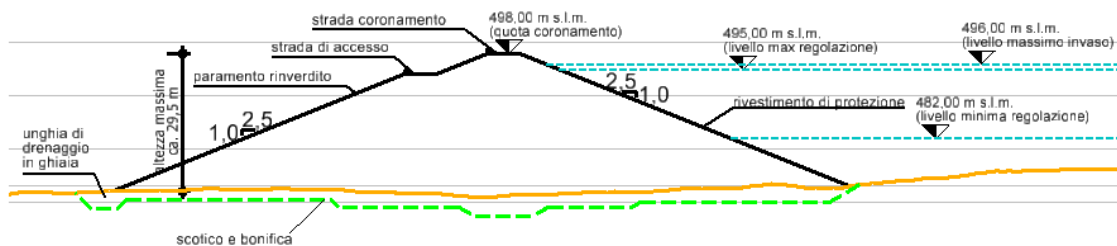


Figura 5. Sezione oggetto di verifica (Sezione H-H).

Per il calcolo delle forze sismiche si fa riferimento alle coordinate rappresentative del sito di ubicazione della diga di monte, che sono:

latitudine 40°,712687 N

longitudine 15°,656496 E

Di seguito il calcolo dei parametri necessari alla valutazione delle forze sismiche.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

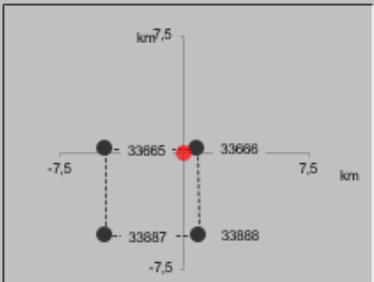
Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo


Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata ▼



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

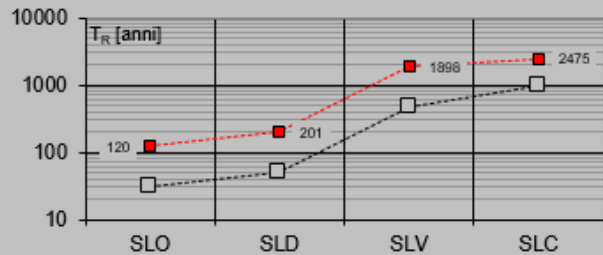
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

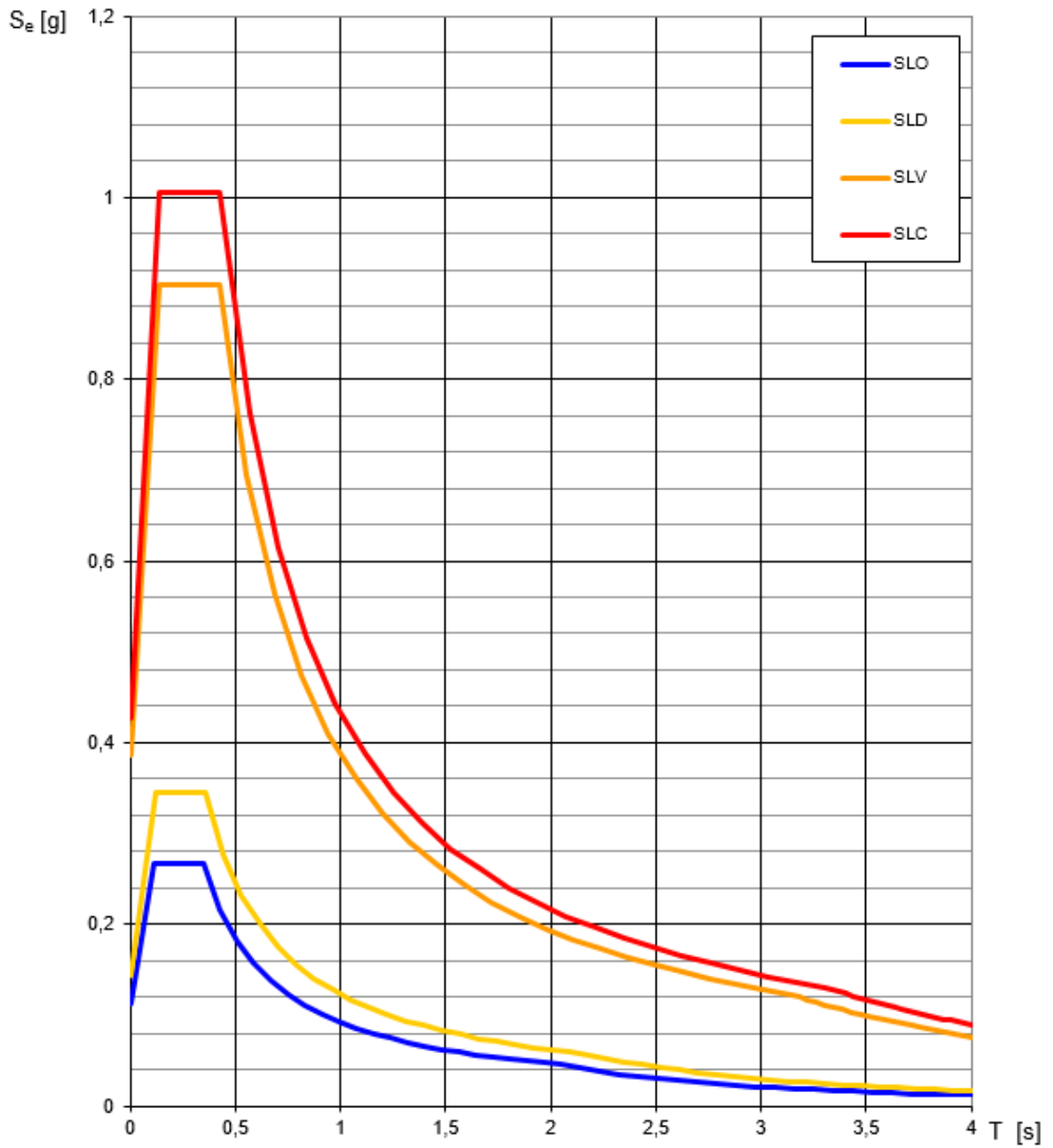
Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,112	2,377	0,346
SLD	201	0,144	2,390	0,356
SLV	1898	0,385	2,345	0,428
SLC	2475	0,427	2,356	0,430

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato **SLC** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **B** info $S_s = 1,000$ $C_o = 1,302$ info
 Categoria topografica **T2** info $h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1,000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1** $\eta = 1,000$ info

Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta |>>>
 Parametri e punti spettri di risposta |>>>

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,427 g
F_o	2,356
T_C^*	0,430 s
S_S	1,000
C_C	1,302
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	1,000
T_B	0,187 s
T_C	0,560 s
T_D	3,308 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_I \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,427
$T_B \leftarrow$	0,187	1,006
$T_C \leftarrow$	0,560	1,006
	0,691	0,815
	0,822	0,685
	0,952	0,591
	1,083	0,520
	1,214	0,464
	1,345	0,419
	1,476	0,382
	1,607	0,350
	1,738	0,324
	1,868	0,301
	1,999	0,282
	2,130	0,264
	2,261	0,249
	2,392	0,235
	2,523	0,223
	2,654	0,212
	2,785	0,202
	2,915	0,193
	3,046	0,185
	3,177	0,177
$T_D \leftarrow$	3,308	0,170
	3,341	0,167
	3,374	0,164
	3,407	0,161
	3,440	0,157
	3,473	0,154
	3,506	0,152
	3,539	0,149
	3,572	0,146
	3,605	0,143
	3,638	0,141
	3,670	0,138
	3,703	0,136
	3,736	0,133
	3,769	0,131
	3,802	0,129
	3,835	0,127
	3,868	0,125
	3,901	0,122
	3,934	0,120
	3,967	0,118
	4,000	0,116

Con i valori sopra calcolati, i valori dei coefficienti k_h e k_v sono

$$a_{max,g} = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g = (1,00 \cdot 1,20) \cdot 0,427 = 0,512$$

$$k_h = \beta_s \frac{a_{max}}{g} = 0,38 \cdot 0,512 = 0,195$$

$$k_v = \frac{k_h}{2} = 0,097$$

5.3 Verifica delle strutture in calcestruzzo armato - Spettri

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATTUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>


Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

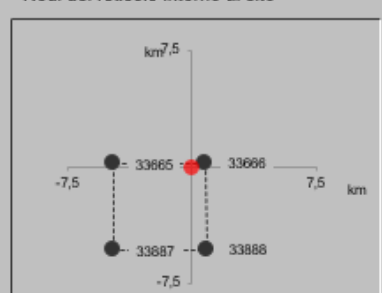
Interpolazione corretta



Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito



FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

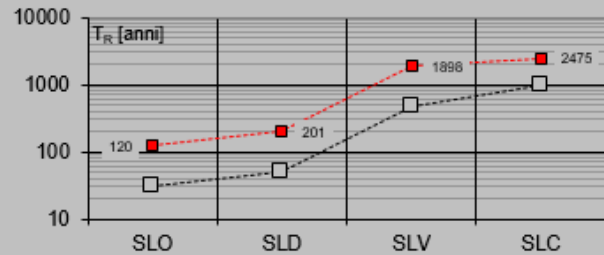
Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$
SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$
SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

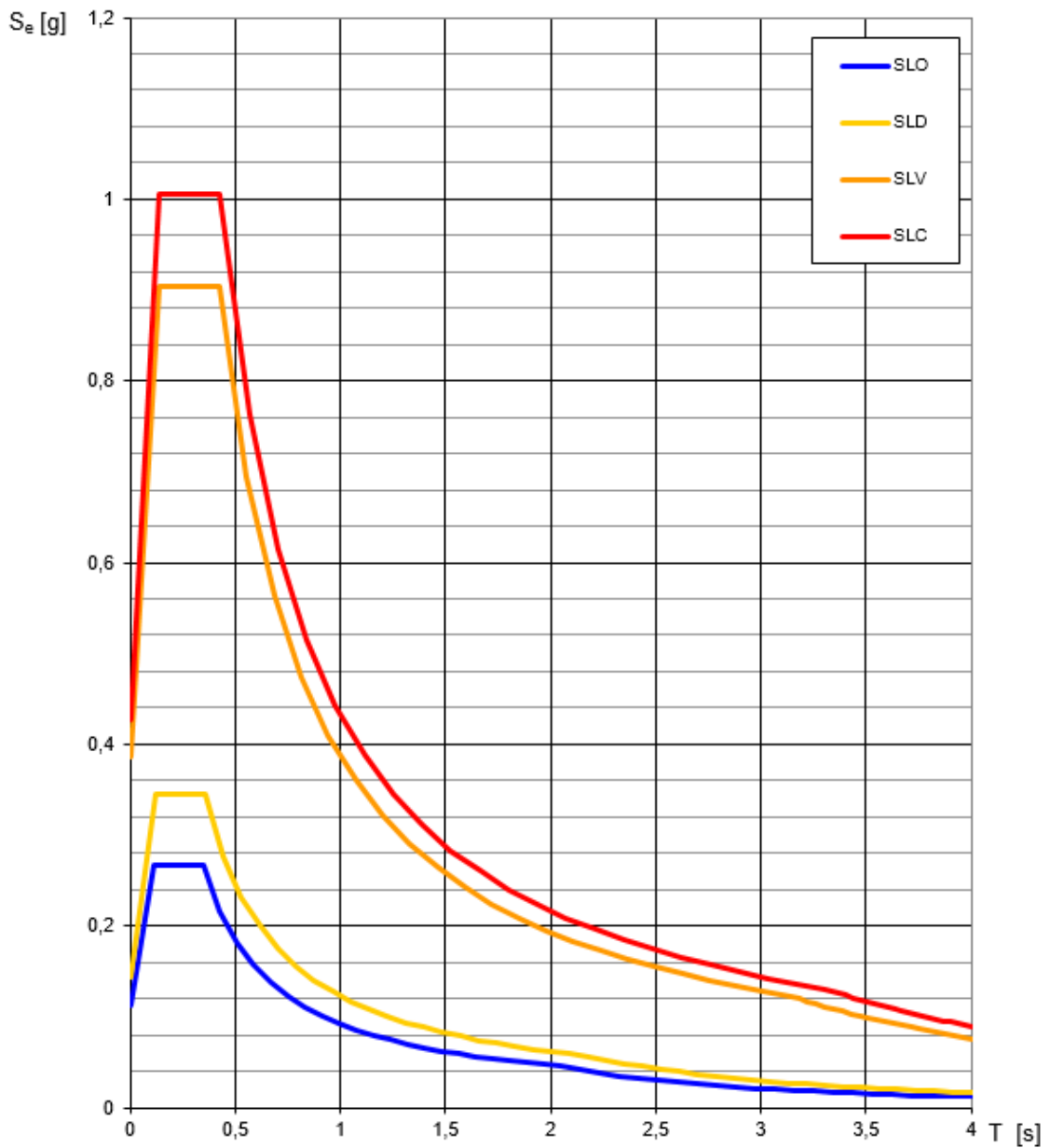
Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

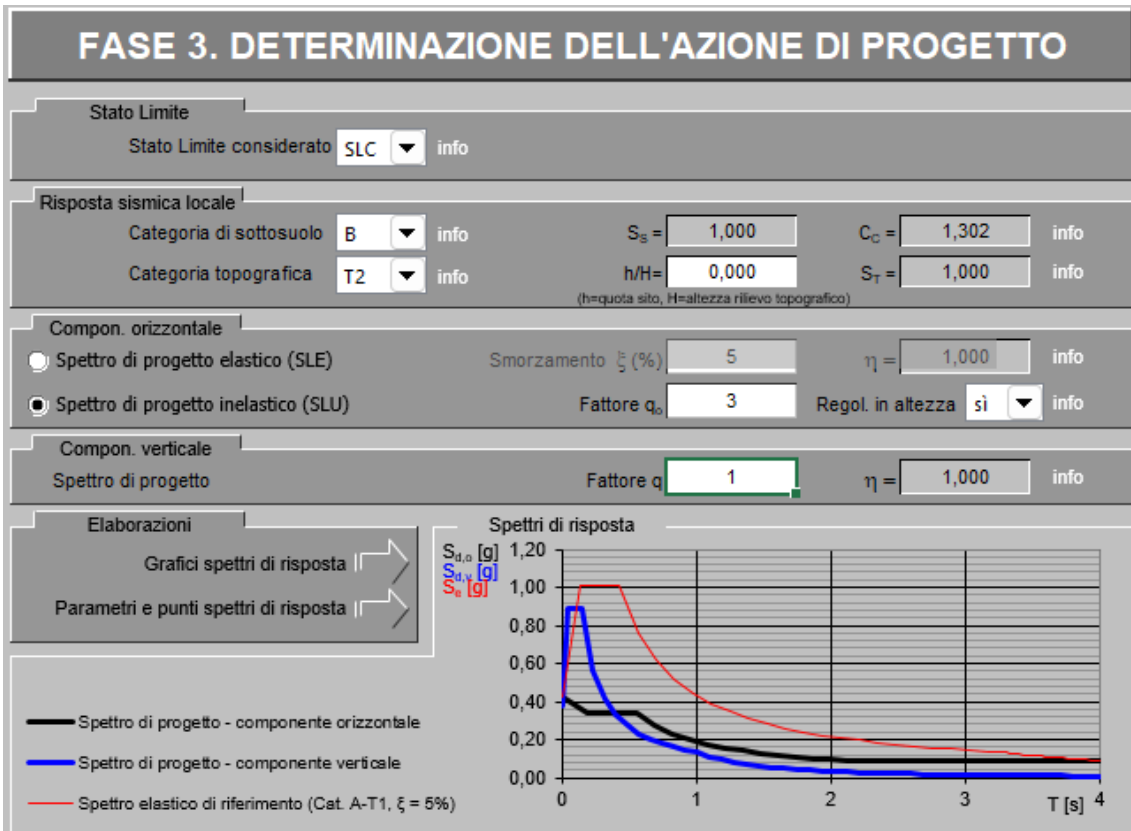
- Strategia per costruzioni ordinarie
-■..... Strategia scelta

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

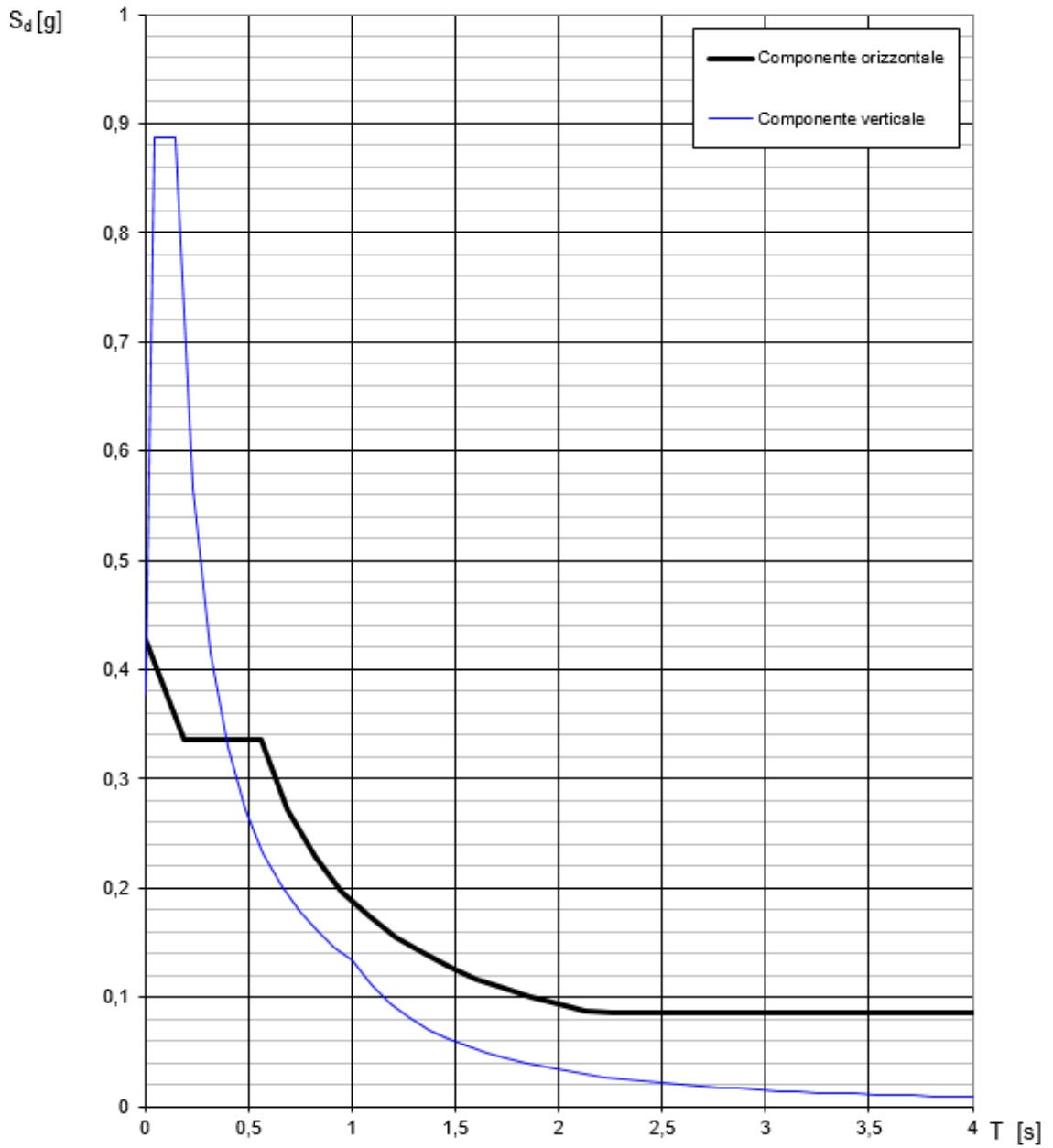


Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0,112	2,377	0,346
SLD	201	0,144	2,390	0,356
SLV	1898	0,385	2,345	0,428
SLC	2475	0,427	2,356	0,430



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,427 g
F_o	2,356
T_C^*	0,430 s
S_S	1,000
C_C	1,302
S_T	1,000
q	3,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	0,333
T_B	0,187 s
T_C	0,560 s
T_D	3,308 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,427
$T_B \leftarrow$	0,187	0,335
$T_C \leftarrow$	0,560	0,335
	0,691	0,272
	0,822	0,228
	0,952	0,197
	1,083	0,173
	1,214	0,155
	1,345	0,140
	1,476	0,127
	1,607	0,117
	1,738	0,108
	1,868	0,100
	1,999	0,094
	2,130	0,088
	2,261	0,085
	2,392	0,085
	2,523	0,085
	2,654	0,085
	2,785	0,085
	2,915	0,085
	3,046	0,085
	3,177	0,085
$T_D \leftarrow$	3,308	0,085
	3,341	0,085
	3,374	0,085
	3,407	0,085
	3,440	0,085
	3,473	0,085
	3,506	0,085
	3,539	0,085
	3,572	0,085
	3,605	0,085
	3,638	0,085
	3,670	0,085
	3,703	0,085
	3,736	0,085
	3,769	0,085
	3,802	0,085
	3,835	0,085
	3,868	0,085
	3,901	0,085
	3,934	0,085
	3,967	0,085
	4,000	0,085

6. Conclusioni

Sulla base di quanto riportato nei precedenti paragrafi, si hanno gli elementi necessari per calcolare le azioni sismiche ed eseguire le verifiche delle strutture degli argini dell'invaso di monte e dell'invaso di valle, includendo l'azione sismica nella combinazione delle azioni.

Malles Venosta (BZ), Bolzano, li 28.09.2023

Il tecnico

Dott. Ing. Ronald Patscheider

