

OGGETTO: AL-E-1771 Nodo idraulico di Alessandria: Opere di completamento per la messa in sicurezza del nodo idraulico di Alessandria – Lotto Fiume Tanaro e Chiavica Rio Loreto

RELAZIONE INTEGRATIVA

02.03. Indagini geognostiche-geotecniche

1. Premessa

La presente relazione contiene gli approfondimenti relativi alle prescrizioni indicate alle conclusioni del verbale di verifica del 17 novembre 2011, redatto dal gruppo tecnico interno AIPO, ai sensi della Direttiva prot.1525 del 17.01.2011, e in base ai disposti dell'art. 47 e succ. del D.P.R. 207/2010.

In sede di verifica sono stati esaminati entrambi i progetti di completamento per la messa in sicurezza del nodo idraulico di Alessandria: AL-E-1771 Lotto Fiume Tanaro - Chiavica Rio Loreto e AL-E-1772 Lotto Bormida.

Al paragrafo seguente vengono elaborate le osservazioni relative al progetto AL-E-1771 Lotto Tanaro – Chiavica Rio Loreto.

Punto 6 dell'Istruttoria del verbale di verifica:

6. Relazione geologica e indagini geognostiche

AL-E-1771: per la parte relativa alla materie delle indagini geognostiche si osserva quanto segue:

- nell'elaborato Relazione geologica manca l'inquadramento sismico;
- le verifiche geotecniche sono eseguiti ai sensi del D.M. 11/03/88.

Pertanto la relazione geologica-geotecnica deve essere integrata con i seguenti contenuti:

- inquadramento sismico dell'area;
- risultati delle verifiche geotecniche eseguite in conformità delle NTC 08.

La parte geologica è integrata con la seguente relazione.

PUNTO 1. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Classificazione sismica

Con D.G.R. n. 61-11017 del 17/11/2003, la Regione Piemonte recepisce la classificazione sismica per i comuni piemontesi individuata nell'allegato A dell'O.P.C.M. n. 3274/03 che poneva il comune di Alessandria in classe 4. Con D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010, la Regione Piemonte ha aggiornato ed adeguato l'elenco delle zone sismiche in virtù delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3519/2006 sulla base di uno studio affidato al

Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica in collaborazione con il centro di Competenza Eucentre di Pavia, collocando il comune di Alessandria in zona 3.

Modellazione sismica

Ai sensi delle Norme Tecniche delle Costruzioni emanate con D.M. del 14/01/2008, l'azione sismica deve essere valutata sulla base della "pericolosità sismica di base" (condizione ideale del sito con riferimento rigido e superficie topografica orizzontale) e successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalla stratigrafia locale e dalla superficie topografica. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Per la definizione della modellazione sismica ci si è avvalsi del software gratuito "Spettri-NTC ver.1.0.2" scaricato dal sito web del Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici. Tale software fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (verticali ed orizzontali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

La definizione degli spettri di risposta di uno Stato Limite è articolata in tre fasi:

1. Individuazione della pericolosità del sito
2. Scelta della strategia di progettazione
3. Determinazione dell'azione di progetto

Pericolosità del sito

Il programma "Spettri-NTC ver.1.0.2", per ogni comune esaminato, definisce la pericolosità sismica di base:

1. individuando i seguenti tre parametri:

a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

per i periodi di ritorno T_R di riferimento, mediante l'interpolazione dei dati della tabella1 dell'allegato A delle N.T.C. '08 che contempla i valori dei parametri a_g F_0 T^*c per 10751 punti del reticolo di riferimento nazionale.

2. individuando gli spettri di risposta elastici per i diversi periodi di ritorno T_R di riferimento, dove lo spettro di risposta elastico in accelerazione S_e è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima orizzontale a_g su sito di riferimento orizzontale.

Si riportano in Tab. 1 i valori dei parametri ag F_0 T^*c in funzione del tempo di ritorno TR elaborati per il comune di Alessandria, e in Allegato 1 i grafici della variabilità dei parametri e gli spettri di risposta elastici.

TR [anni]	ag [g]	F_0 [-]	TC^* [s]
30	0,018	2,528	0,161
50	0,024	2,530	0,195
72	0,029	2,519	0,210
101	0,033	2,529	0,224
140	0,037	2,548	0,239
201	0,042	2,528	0,260
475	0,058	2,561	0,278
975	0,075	2,559	0,284
2475	0,104	2,535	0,292

Tab. 1: Valori dei parametri ag F_0 T^*c per periodi di ritorno TR di riferimento per il sito di Alessandria

Scelta della strategia di progettazione

Per determinare il tempo di ritorno necessario a definire l'azione sismica delle opere in costruzione nel sito di Alessandria sono stati valutati i parametri delle opere in progetto (nuovo rilevato arginale e rialzo) quali:

1. tipo di opera: "Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" la cui vita nominale, intesa come il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, è pari a $V_N \geq 100$ anni;
2. classe d'uso: "**Classe II** – Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericoli per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Ponti, opere infrastrutturali, rete viarie ricedenti non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza";
3. coefficiente d'uso $C_U = 1,0$.

Dalla moltiplicazione dei parametri vita nominale V_N e coefficiente d'uso C_U si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da:

$$V_R = V_N * C_U = 100 * 1,0 = 100$$

Inoltre sono stati definiti gli stati limite che forniscono le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente; per gli stati limite ultimi di Salvaguardia

della Vita (SLV) la probabilità di superamento è pari al 10% e per gli stati limite di esercizio di Operatività (SLO) la probabilità di superamento è pari all'81% (ved. Tab. 3.2.1 delle N.T.C. 2008).

Alla luce di quanto sopra scritto, per il comune di Alessandria, il programma "Spettri-NTC ver.1.0.2" definisce il valore dei tre parametri necessari per la determinazione dell'azione sismica per tempi di ritorno associati a ciascun stato limite di esercizio SLO e SLD e ciascun stato limite ultimo SLV e SLC così come riportato in Tab. 2

SLATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC * [s]
SLO	60	0,026	2,524	0,203
SLD	101	0,033	2,529	0,224
SLV	949	0,074	2,559	0,284
SLC	1950	0,096	2,541	0,290

Tab. 2: Valori dei parametri a_g F_0 T_c^* per periodi di ritorno T_R di riferimento associati a ciascun stato limite

Si riportano in Allegato 2 i valori dei parametri a_g F_0 T_c^* in funzione del tempo di ritorno T_R elaborati per il comune di Alessandria e gli spettri di risposta elastici per diversi stati limite.

Determinazione dell'azione di progetto

Per l'analisi della risposta sismica locale, in considerazioni del modello geologico definito dalle indagine eseguite, e delle condizioni geologico stratigrafiche dell'area in esame si è proceduto con l'approccio semplificato basato sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento, attraverso la misura delle V_{s30} .

In ottemperanza con quanto richiesto dal D.M. 14-01-2008 è stata condotta dalla ditta Geotechna di Torri di Quartesolo (Venezia) una indagine diretta di tipo sismico a rifrazione, con determinazione sperimentale mediante inversione (metodo MASW) del valore V_{s30} pari a 614 m/s. Sempre ai sensi del D.M. 14-01-2008 il terreno di imposta delle fondazioni dei rilevati arginali appartengono alla Categoria di sottosuolo del tipo B " Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori maggiori di 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Analogamente per le condizioni topografiche, l'area è da afferire alla categoria T1 come "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$."

È dunque così possibile definire l'azione sismica di progetto per i diversi tipi di Stato Limite considerato, tramite lo spettro di risposta elastico in accelerazione. In Allegato 3 sono riportate le elaborazioni complete della determinazione dell'azione di progetto riferiti ai SLO, SLD, SLV e SLC, comprensivi degli spettri di risposta e dei parametri degli spettri di risposta sia per la componente orizzontale sia per quella verticale.

A titolo di esempio in Fig. 1 ed in Fig. 2 sono riportati gli spettri di risposta per SLD e SLV

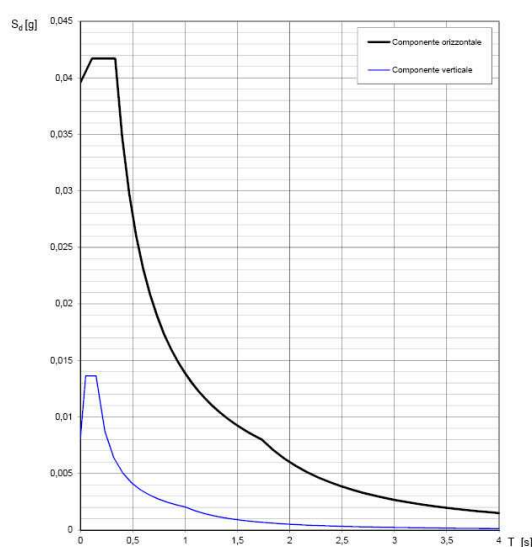


Fig. 1: Elaborazione grafica degli spettri di risposta (componente orizz. e vert.) per lo stato limite SLD, per il sito di Alessandria

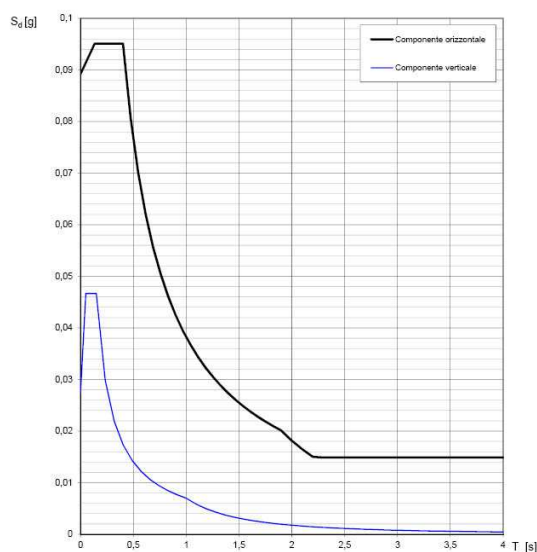
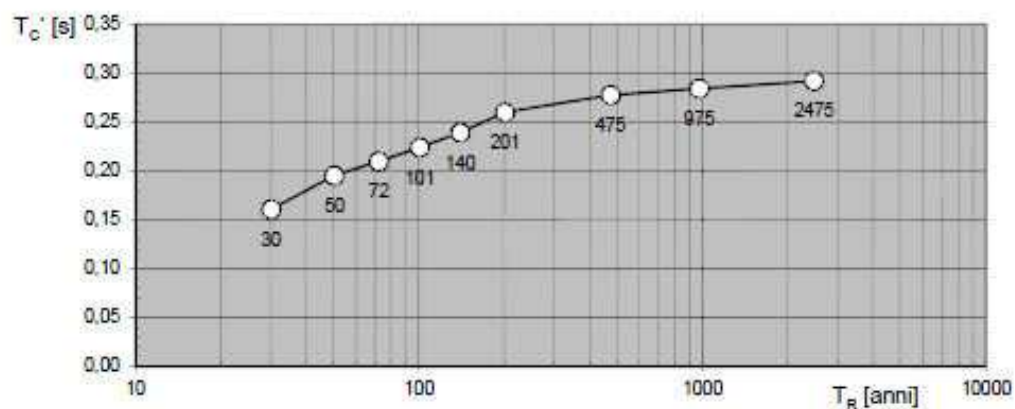
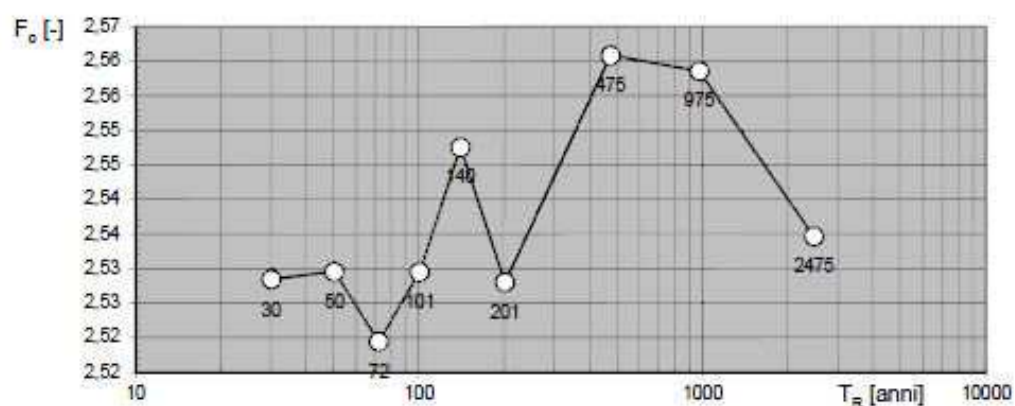
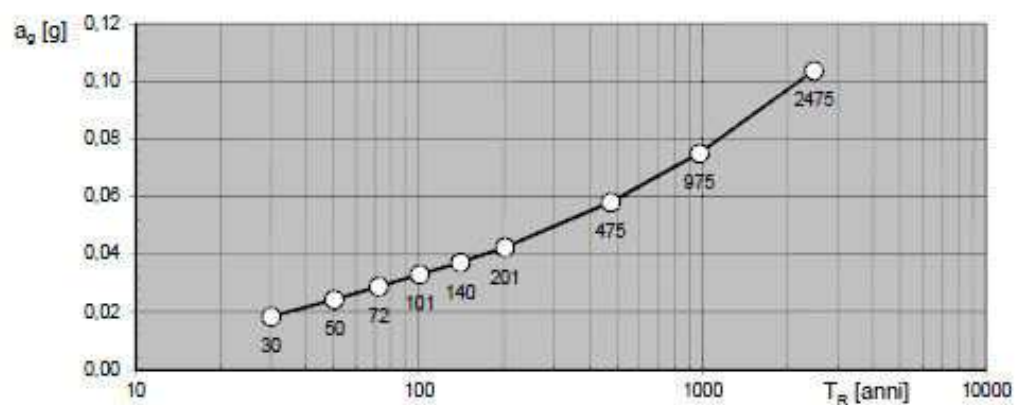
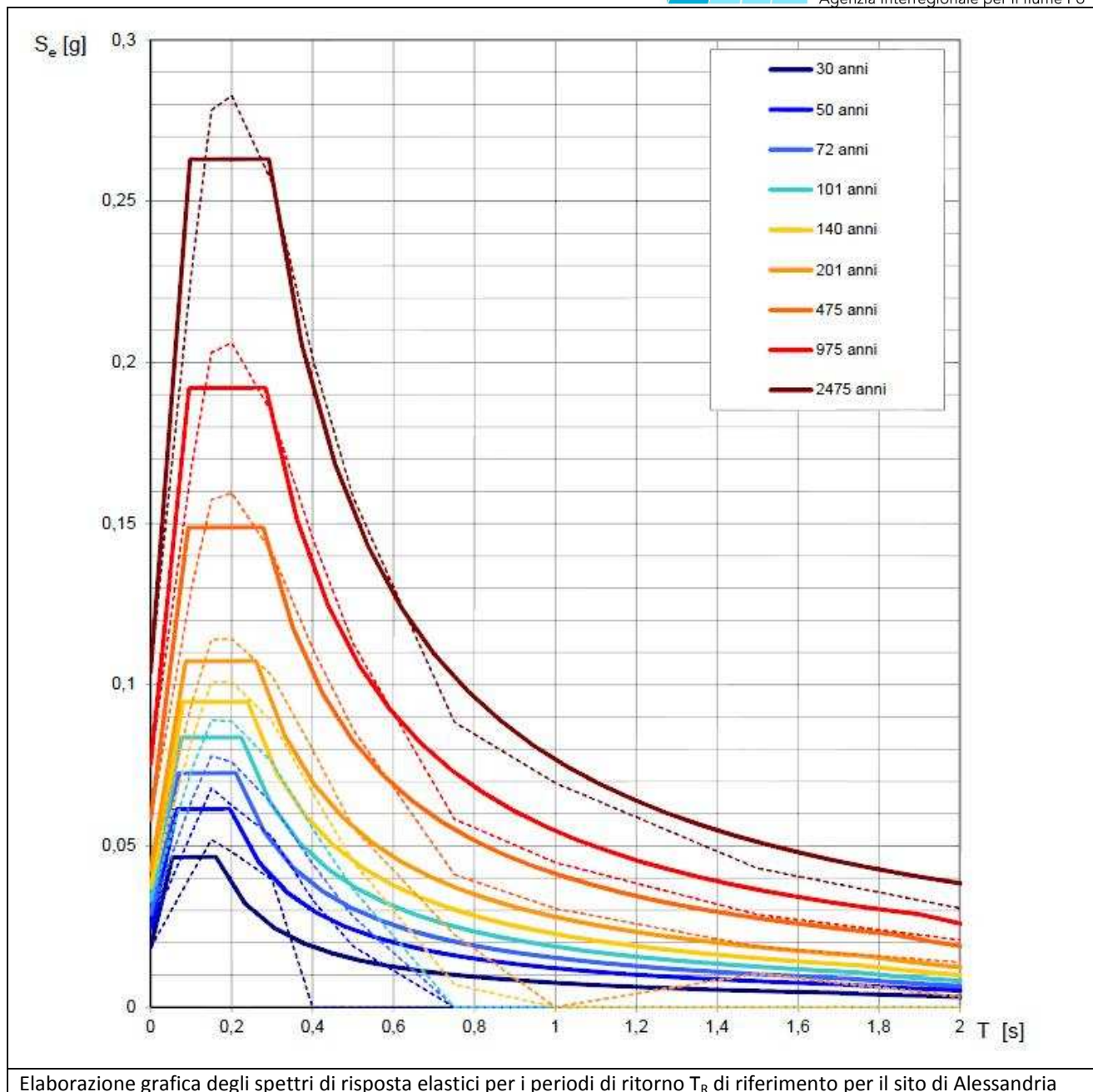


Fig. 2: Elaborazione grafica degli spettri di risposta (componente orizz. e vert.) per lo stato limite SLV, per il sito di Alessandria

ALLEGATO 1 – SITO DI ALESSANDRIA



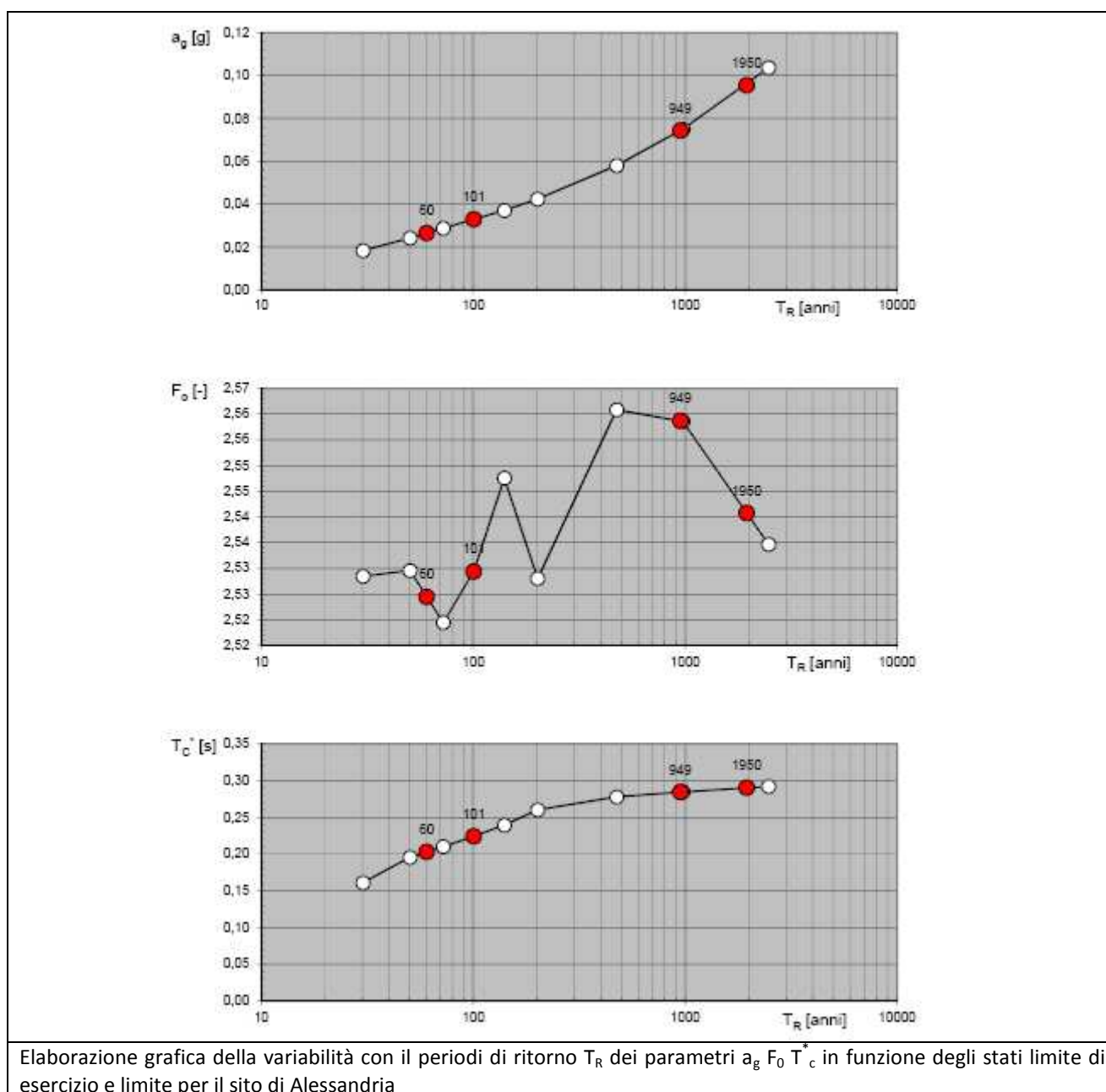
Elaborazione grafica della variabilità con il periodi di ritorno T_R dei parametri a_g , F_o , T_c' per il sito di Alessandria



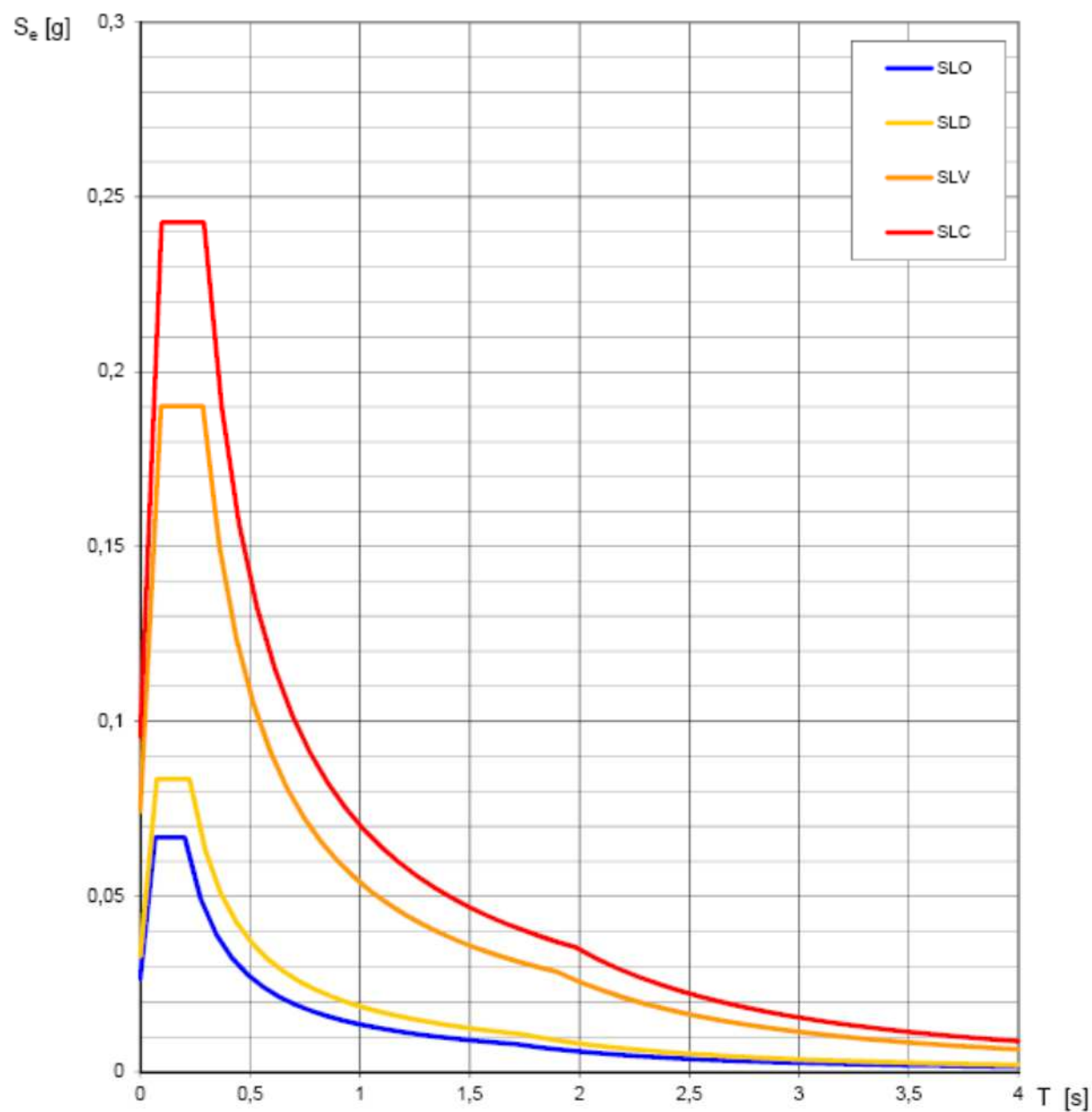
Elaborazione grafica degli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento per il sito di Alessandria

NOTA: con linea continua sono rappresentati gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivate

ALLEGATO 2 – SITO DI ALESSANDRIA

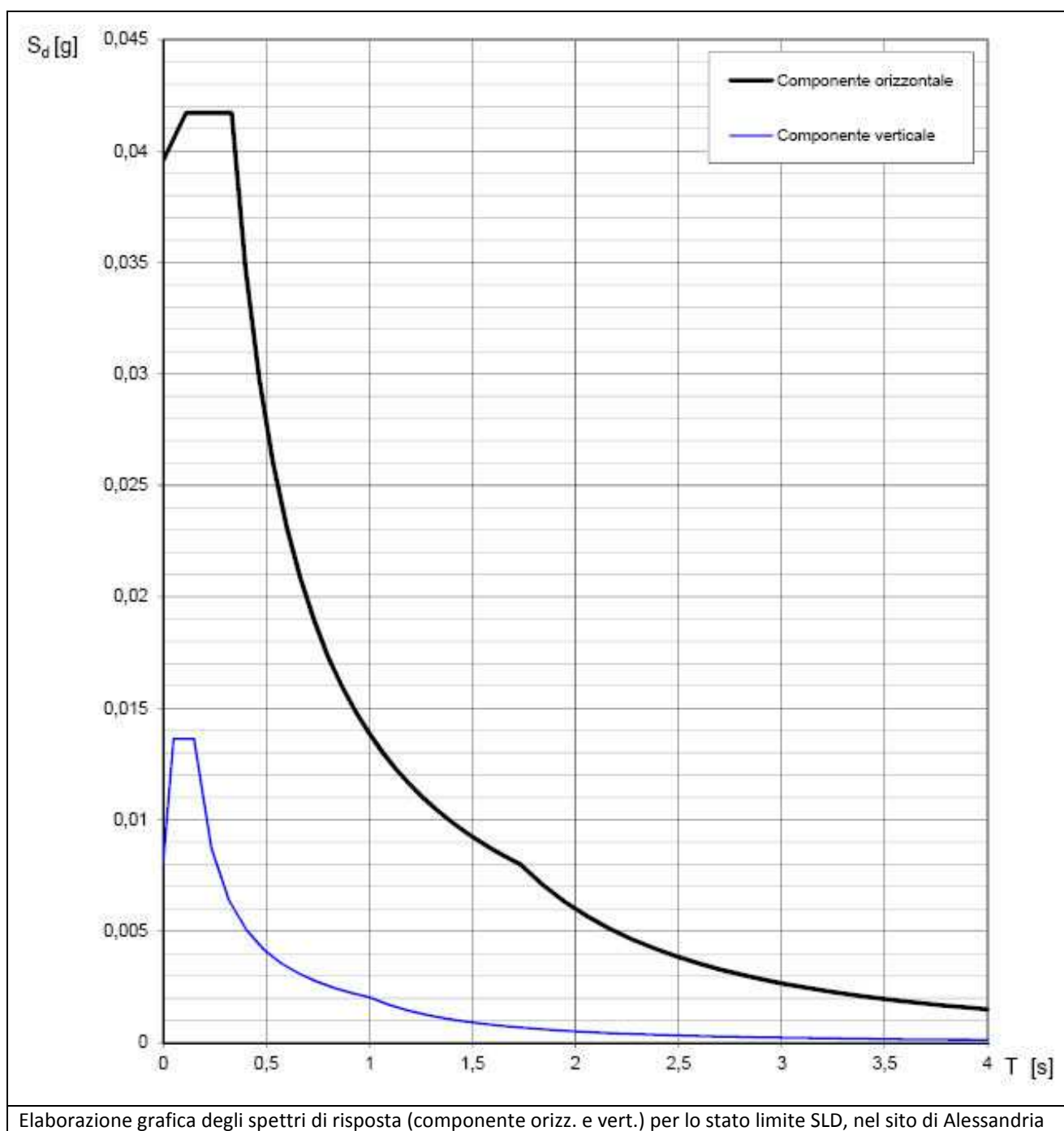


Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Elaborazione grafica degli spettri di risposta elastici per diversi stati limite per il sito di Alessandria

ALLEGATO 3 – SITO DI ALESSANDRIA



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,033 g
F_0	2,529
T_c	0,224 s
S_s	1,200
C_c	1,484
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,417
T_B	0,111 s
T_C	0,332 s
T_D	1,732 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

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	0,040
$T_B \leftarrow$	0,111	0,042
$T_C \leftarrow$	0,332	0,042
	0,399	0,035
	0,456	0,030
	0,532	0,026
	0,599	0,023
	0,666	0,021
	0,732	0,019
	0,799	0,017
	0,866	0,016
	0,932	0,015
	0,999	0,014
	1,065	0,013
	1,132	0,012
	1,199	0,012
	1,265	0,011
	1,332	0,010
	1,399	0,010
	1,465	0,009
	1,532	0,009
	1,599	0,009
	1,665	0,008
$T_D \leftarrow$	1,732	0,008
	1,840	0,007
	1,948	0,006
	2,056	0,006
	2,164	0,005
	2,272	0,005
	2,380	0,004
	2,488	0,004
	2,596	0,004
	2,704	0,003
	2,812	0,003
	2,920	0,003
	3,028	0,003
	3,136	0,002
	3,244	0,002
	3,352	0,002
	3,460	0,002
	3,568	0,002
	3,676	0,002
	3,784	0,002
	3,892	0,002
	4,000	0,002

Elaborazione dei parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD, nel sito di Alessandria

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,008 g
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_E	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_y	0,620
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_y = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

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

$$T_E \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_y$$

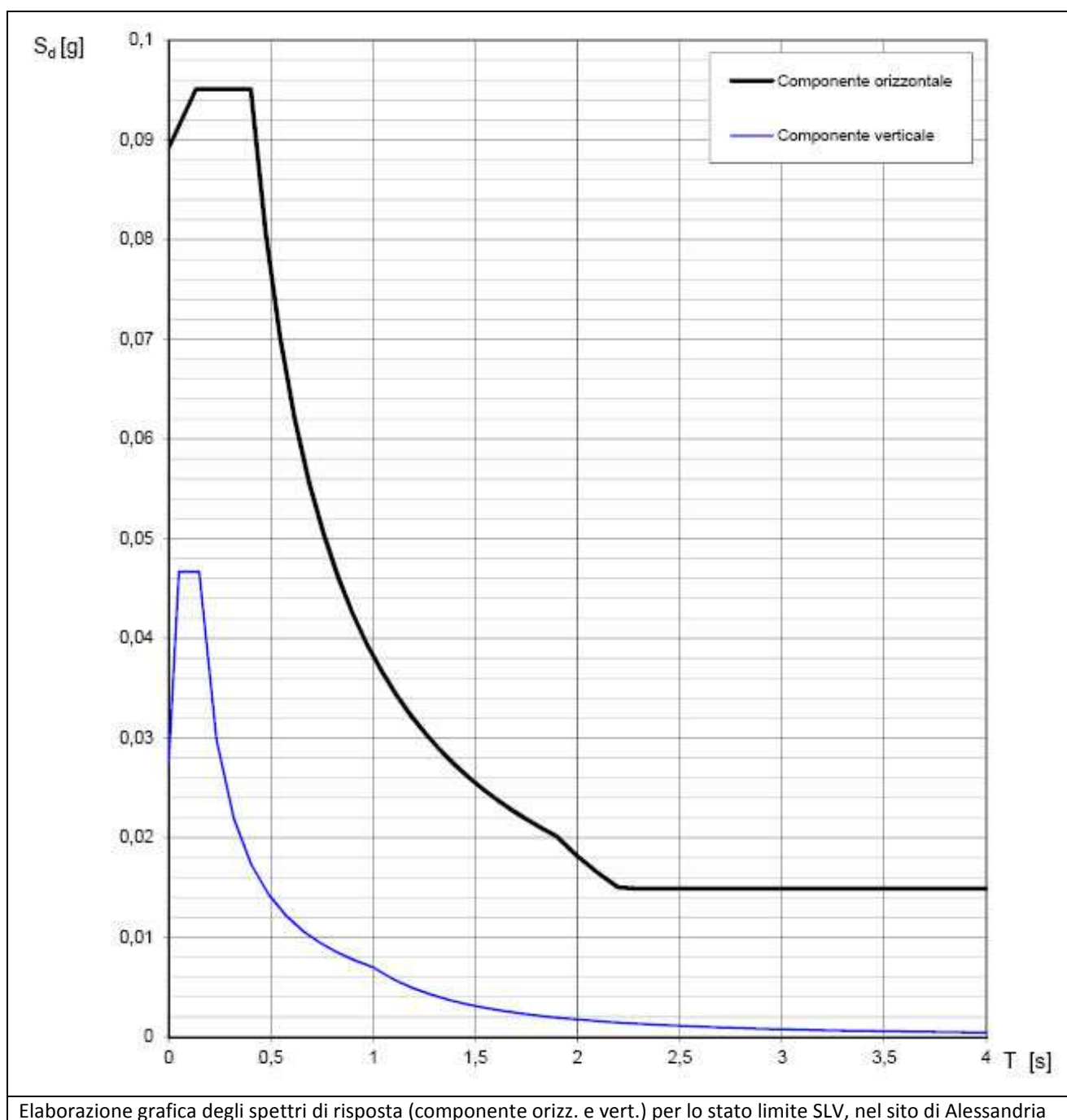
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_y \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,006
$T_E \leftarrow$	0,050	0,014
$T_C \leftarrow$	0,150	0,014
	0,235	0,009
	0,320	0,006
	0,405	0,005
	0,490	0,004
	0,575	0,004
	0,660	0,003
	0,745	0,003
	0,830	0,002
	0,915	0,002
$T_D \leftarrow$	1,000	0,002
	1,094	0,002
	1,188	0,001
	1,281	0,001
	1,375	0,001
	1,469	0,001
	1,563	0,001
	1,656	0,001
	1,750	0,001
	1,844	0,001
	1,938	0,001
	2,031	0,000
	2,125	0,000
	2,219	0,000
	2,313	0,000
	2,406	0,000
	2,500	0,000
	2,594	0,000
	2,688	0,000
	2,781	0,000
	2,875	0,000
	2,969	0,000
	3,063	0,000
	3,156	0,000
	3,250	0,000
	3,344	0,000
	3,438	0,000
	3,531	0,000
	3,625	0,000
	3,719	0,000
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Elaborazione dei parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD, nel sito di Alessandria



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,074 g
F_0	2,559
T_C	0,284 s
S_a	1,200
C_D	1,415
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,417
T_B	0,134 s
T_C	0,402 s
T_D	1,697 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_a(T)$ 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	0,089
0,134	0,095
0,402	0,095
0,473	0,081
0,545	0,070
0,616	0,062
0,687	0,056
0,758	0,050
0,829	0,046
0,901	0,042
0,972	0,039
1,043	0,037
1,114	0,034
1,185	0,032
1,257	0,030
1,328	0,029
1,399	0,027
1,470	0,026
1,541	0,025
1,613	0,024
1,684	0,023
1,755	0,022
1,826	0,021
1,897	0,020
1,997	0,018
2,098	0,016
2,198	0,015
2,298	0,015
2,398	0,015
2,498	0,015
2,598	0,015
2,698	0,015
2,798	0,015
2,899	0,015
2,999	0,015
3,099	0,015
3,199	0,015
3,299	0,015
3,399	0,015
3,499	0,015
3,599	0,015
3,700	0,015
3,800	0,015
3,900	0,015
4,000	0,015

Elaborazione dei parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV, nel sito di Alessandria

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gk}	0,027 g
S_B	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,942
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,027
$T_B \leftarrow$	0,050	0,047
$T_C \leftarrow$	0,150	0,047
	0,235	0,030
	0,320	0,022
	0,405	0,017
	0,490	0,014
	0,575	0,012
	0,660	0,011
	0,745	0,009
	0,830	0,008
	0,915	0,008
$T_D \leftarrow$	1,000	0,007
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,004
	1,375	0,004
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Elaborazione dei parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV, nel sito di Alessandria

PUNTO 2. RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE ESEGUITE IN CONFORMITA' DELLE NTC 08

Verifiche geotecniche allo stato limite ultimo (SLU)

Le verifiche condotte secondo quanto previsto dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14 gennaio 2008) con il metodo agli Stati Limite Ultimi prevedono il confronto tra il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d e quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d . Affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Azioni e resistenze di calcolo sono funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, delle caratteristiche di resistenza di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d , come riportato nelle seguenti espressioni:

$$E_d = \gamma_E * E_k$$

$$R_d = R/\gamma_R$$

dove nella formula della resistenza R_d compare esplicitamente un coefficiente γ_R , che opera direttamente sulla resistenza del sistema ed è specificato dalle norme per ogni tipologia di opera geotecnica considerata.

Per verificare la suddetta condizione la normativa propone diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, definiti rispettivamente per le azioni ($A1$ e $A2$), per i parametri geotecnici ($M1$ e $M2$), e per le resistenze ($R1$, $R2$, $R3$).

La scelta dei diversi gruppi di coefficienti da assegnare a forze, resistenze e parametri geotecnici viene effettuata nell'ambito di due diversi Approcci progettuali, definiti per ciascuna categoria di opere geotecniche. Tali Approcci, oltre ad essere distinti tra loro, sono anche alternativi, ovvero vanno scelti in funzione della tipologia di opera e delle particolari prescrizioni normative e possono essere applicati alternativamente facendo riferimento ad uno solo di essi.

In particolare, per il primo approccio progettuale, definito “**Approccio 1**”, sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima è generalmente più gravosa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere geotecniche (Combinazione 1: **A1+M1+R1**), in quanto si incrementano i carichi e si lasciano invariate le resistenze del terreno; la seconda, invece, (Combinazione 2: **A2+M2+R2**) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento geotecnico dell'opera, visto che si riducono i valori caratteristici di resistenza del terreno, lasciando invariate le azioni sollecitanti. Nel secondo approccio progettuale, definito “**Approccio 2**”, è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti (**A1+M1+R3**) da adottare sia nei confronti delle verifiche strutturali che geotecniche.

Nel caso di **opere di materiali sciolti e fronti di scavo** le verifiche di sicurezza allo stato limite ultimo (SLU) sono state effettuate secondo:

- lo SLU di tipo strutturale (STR) – *raggiungimento della resistenza*;
- lo SLU di tipo geotecnico (GEO) – *stabilità globale*

seguendo l'Approccio 1 Combinazione 2: **A2+M2+R2** tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle sottostanti tabelle:

Coefficienti parziali per le Azioni Ed

Tabella 6.2.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_{Fi})	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Coefficienti parziali per le Resistenze Rd

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Coefficienti parziali per le verifiche di capacità portante dei terreni di fondazione

Tabella 6.4.1 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

Tabella 6.8.1 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Calcolo della capacità portante secondo quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008

Per determinare la capacità portante ammissibile dei terreni di fondazione è stata presa in considerazione la formula di Brinch Hanse (1970) semplificata:

$$Q_{lim} = \frac{1}{2} * \gamma_1 * B * N_\gamma * S_\gamma + \gamma_2 * D * N_q * S_q$$

Tale formula determina il valore del carico massimo, che comporta un collasso del terreno, di una fondazione superficiale nastriforme, applicando la teoria dell'equilibrio limite al terreno. Essa è funzione della dimensione della base della fondazione e delle proprietà del terreno su cui poggia la fondazione stessa. Dove:

Q_{lim} = Capacità portante limite o carico ultimo

γ_1 = Peso specifico del terreno al di sotto della quota di imposta della fondazione = 1,8 t/m³

γ_2 = Peso specifico del terreno al di sopra della quota di imposta della fondazione = 1,7 t/m³

B = valore unitario = 1

ϕ = angolo di attrito = 28°

N_γ e N_q = coefficienti di capacità portante in funzione dell'angolo di attrito ϕ

S_γ e S_q = fattori di forma della fondazione pari a 1

D = profondità di immersione del piano di posa della fondazione pari a 0,50 m.

Secondo quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 l'angolo di attrito pari a 28° è stato ridotto applicando il coefficiente parziale per le resistenze della Tab. 6.2.II pari a 1,25 secondo la seguente formula:

$$\tan(28^\circ)/1,25 \rightarrow \varphi_{NTC} = 23^\circ$$

Secondo la tab. 9.1 di pag. 159 di elementi di geotecnica di Colombo e Colleselli i coefficienti di capacità portante in funzione del nuovo angolo di attrito $\varphi_{NTC} = 23^\circ$ sono stati assunti pari a: $N_\gamma = 7,5$ $N_q = 10,25$

$$Q_{lim} = \frac{1}{2} * 1,8 * 1 * 7,5 * 1 + 1,7 * 0,5 * 10,25 * 1 = 1,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_d = \text{valore di progetto dell'azione} = 0,35 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_d = \text{valore di progetto della resistenza} = Q_{lim}/\gamma_R = 0,9 \text{ kg/cm}^2$$

dove γ_R è il coefficiente parziale pari a 1,8 della Tab. 6.4.I

$E_d \leq R_d$ verifica soddisfatta

Verifica di stabilità secondo quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008

Condizioni di partenza:

rilevato arginale	Terreno di fondazione
$c' = 50 \text{ kg/m}^2$ $\varphi' = 34^\circ$ $\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$	$\varphi = 28^\circ$ $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$

Condizioni secondo l'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 applicando i coefficienti di riduzione della Tab. 6.2.II

rilevato arginale	Terreno di fondazione
$c = 4 \text{ kPa } (c'/1,25)$ $\varphi = 28^\circ (\tan \varphi'/1,25)$ $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$	$\varphi = 23^\circ (\tan \varphi'/1,25)$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

Secondo il DM 2008 si ha condizione di equilibrio quando $F_s > 1,1$.

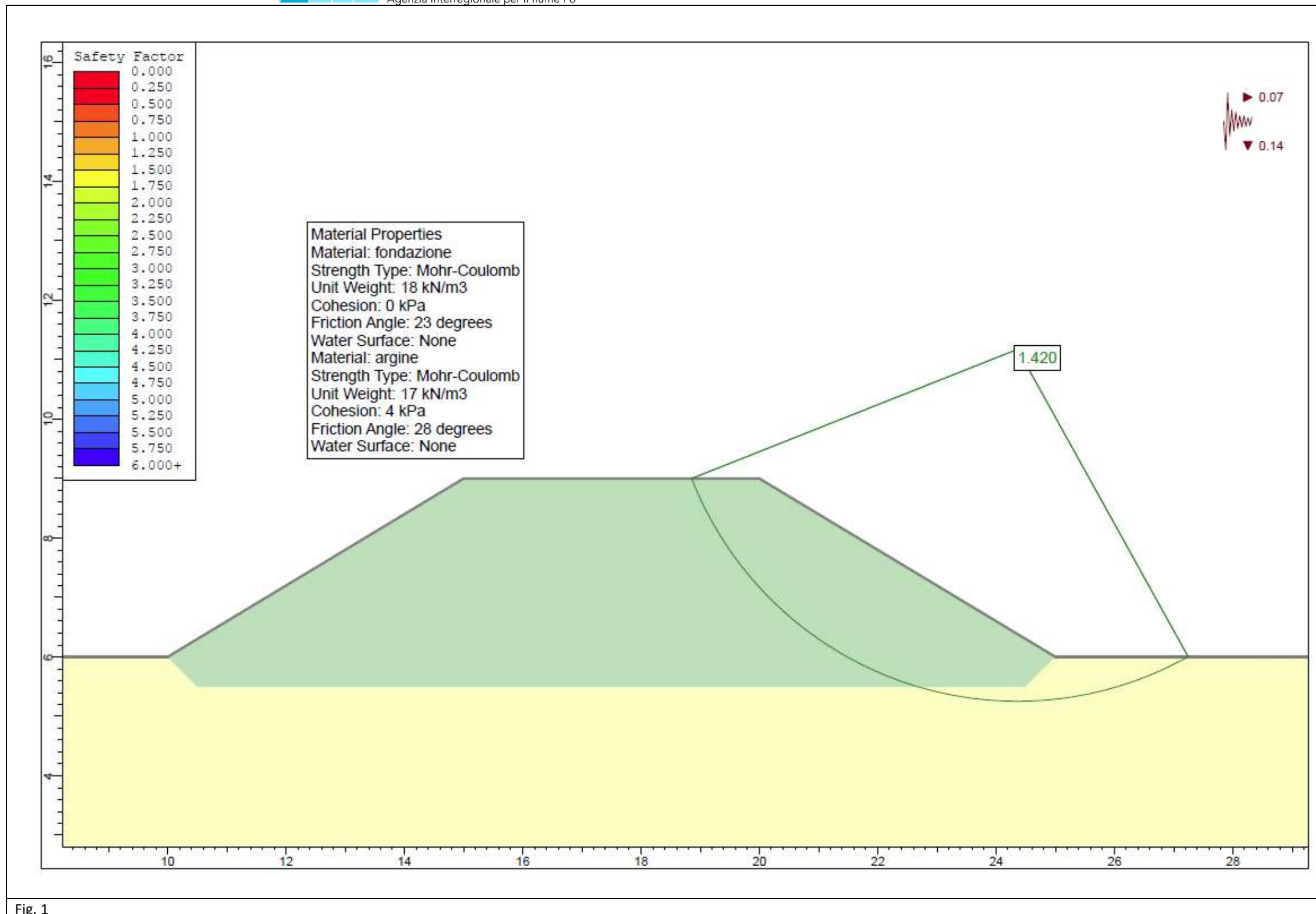
Per la verifica di stabilità è stato utilizzato il software “Slide versione 5”.

Si riportano in fig. 1 e 2 le verifiche di stabilità eseguite in condizioni non sature e parzialmente sature dell’argine.

Come si può osservare in condizioni non sature dell’argine (fig. 1) la superficie di scorrimento più critica pari 1,4 risulta maggiore rispetto al fattore di sicurezza minimo prescritto dalla normativa.

Nel caso in cui l’argine è parzialmente saturo (fig. 2) la superficie di scorrimento più critica pari a 0,7 risulta minore rispetto al fattore di sicurezza minimo prescritto dalla normativa.

In questo secondo caso il progettista ha già previsto di posizionare lato fiume sul fronte dell’argine una mantellata.



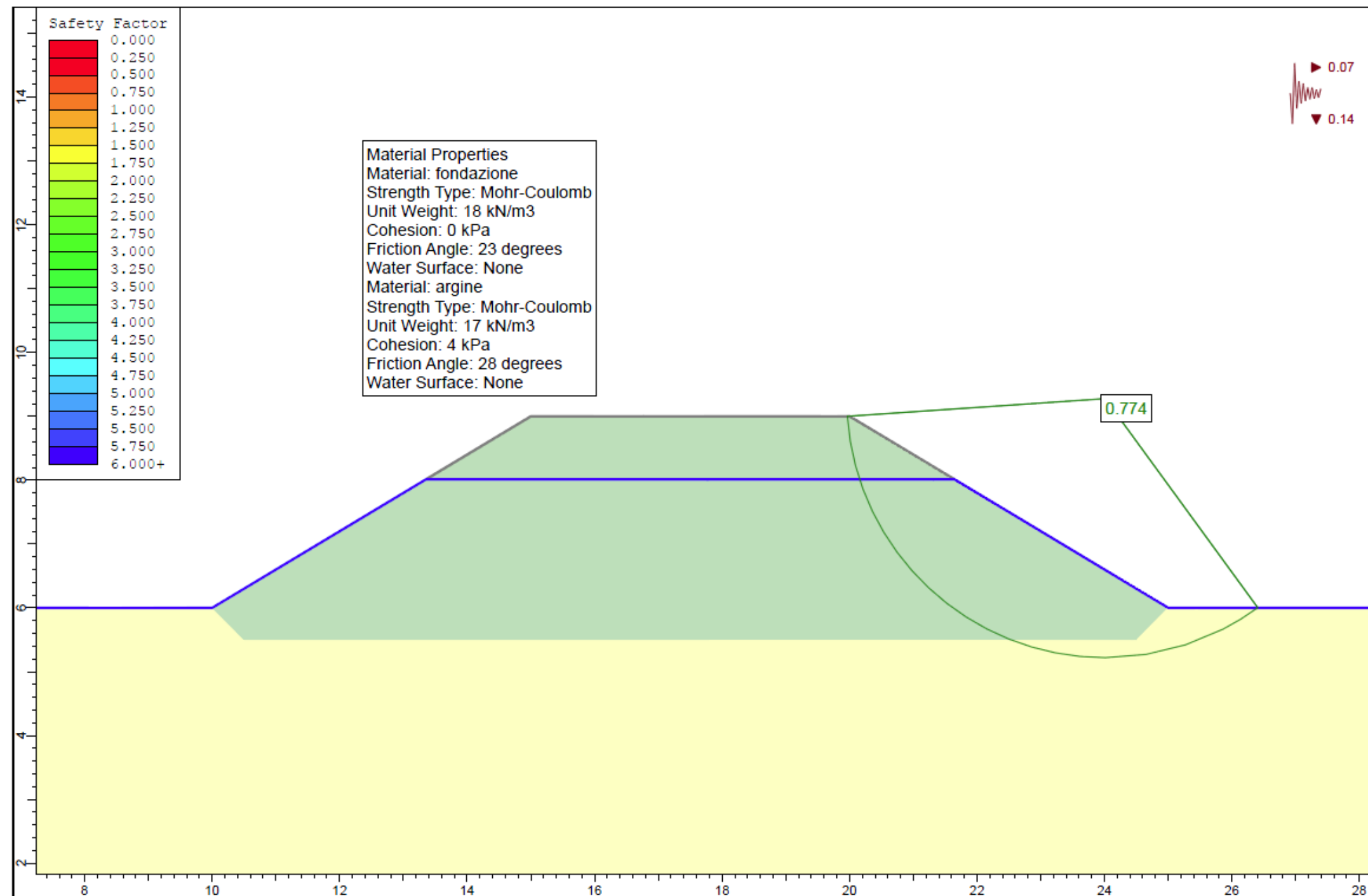


Fig. 2