

**Variante alla S.S. 45 "Val di Trebbia"**  
**Comuni di Torriglia e Montebruno**  
**dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno)**  
**2° stralcio funzionale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

**I PROGETTISTI:**

*Ing. Vincenzo Marzi*  
*Ordine Ing. di Bari n. 3594*  
  
*Ing. Giuseppe Danilo Malgeri*  
*Ordine Ing. di Roma n. A34610*  
  
*Geol. Serena Majetta*  
*Ordine Geologi del Lazio n. 928*

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Geom. Fabio Quondam*

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :**

*Ing. Giancarlo Luongo*

PROTOCOLLO

DATA

**RELAZIONE SISMICA**

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROC.	N. PROG.	TOOGE00GETRE02A			
DPGE03	D	1701	CODICE ELAB.	T00GE00GETRE02	A	-
C						
B						
A	EMISSIONE		.....	Ing. A. Mangiola	Ing. E. Mittiga	Ing. A. Micheli
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

# **GEOTECNICA - Elaborati generali**

## **RELAZIONE SISMICA**

## Sommario

<b>1</b>	<b><i>Premessa</i></b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b><i>Cenni di inquadramento geologico</i></b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b><i>Sismicità dell'area di progetto</i></b> .....	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Storiografia sismica</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2</b>	<b>Inquadramento sismotettonico</b> .....	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>Sismicità locale</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4</b>	<b>Risposta sismica locale</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>Condizioni Topografiche</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b><i>Azioni e combinazioni sismiche – criteri di valutazione e calcolo</i></b> .....	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Azioni sismiche</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Vita nominale</b> .....	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Classe d'uso</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Periodo di riferimento per l'azione sismica</b> .....	<b>22</b>
<b>4.5</b>	<b>Parametri di progetto</b> .....	<b>22</b>
<b>4.6</b>	<b>Classificazione sismica del terreno</b> .....	<b>23</b>
<b>4.7</b>	<b>Spettro di risposta elastico in accelerazione</b> .....	<b>24</b>
<b>4.8</b>	<b>Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali</b> .....	<b>24</b>
<b>4.9</b>	<b>Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali</b> .....	<b>26</b>
<b>4.10</b>	<b>Spettro di progetto</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b><i>Opere d'arte maggiori – Impalcati</i></b> .....	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Determinazione della massa partecipante</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Determinazione della forza sismica orizzontale sulla spalla</b> .....	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Parametri sismici</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b><i>Opere d'arte minori – Muri di sostegno</i></b> .....	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>Spinta del terreno</b> .....	<b>30</b>
<b>8.2</b>	<b>Parametri sismici</b> .....	<b>31</b>
<b>8.3</b>	<b>Spinta in condizioni sismiche</b> .....	<b>31</b>

---

<b>7</b>	<b>Opere di sostegno – Paratie .....</b>	<b>32</b>
<b>7.1</b>	<b>Parametri sismici.....</b>	<b>32</b>
7.1.1	Opere definitive .....	32
7.1.2	Opere provvisionali.....	32
<b>7.2</b>	<b>Spinta del terreno in condizioni sismiche.....</b>	<b>33</b>

# 1 Premessa

La presente relazione descrive i criteri di progettazione e le strategie di protezione sismica del progetto definitivo di Variante alla S.S. 45 "Val Trebbia, Comuni di Torriglia e Montebruno dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno) 2° Stralcio funzionale".

---

## 2 Cenni di inquadramento geologico

Nel presente paragrafo si riporta una sintesi delle informazioni relative alla geologia dell'area di interesse, estratte dall'elaborato geologico del progetto esecutivo (Elab. T00GE00GEORE02A: Relazione Geologica) a cui si rimanda per le descrizioni di dettaglio.

Nella fascia areale interessata dal tratto carrabile in progetto, la SS 45 costeggia il fianco di un versante, delimitato inferiormente dal fiume Trebbia, e ricade nei comuni di Torriglia e Montebruno (Ge). Tale area si colloca nel settore più meridionale delle Alpi occidentali, le cosiddette Alpi Liguri, dove le unità affioranti sono riconducibili ai seguenti domini: Brianzonese, parte del continente europeo; Pre-Pemontese, associato al margine continentale; Ligure-Piemontese, corrispondente al dominio oceanico.

Nel tratto indagato, la valle del Trebbia propone un andamento circa est-ovest e, più a valle, ovest/sud-ovest – est/nord-est. Essa appare fortemente incisa, con opposti versanti orografici acclivi che raggiungono in sommità quote fino a 1100 m slm; la loro morfologia è controllata soprattutto dalla distribuzione delle litologie e dall'assetto strutturale.

In riferimento alle litologie, i versanti più acclivi e le valli più profondamente incise si incontrano nelle aree di affioramento del flysch del Monte Antola, che offre una discreta resistenza all'erosione. I versanti meglio modellati si incontrano nei flysch marnosi e siltosi a stratificazione sottile (flysch di Ronco), facilmente degradabili e normalmente ricoperti dalle coltri eluviali più spesse. I versanti meno acclivi, ma spesso anche più denudati, si incontrano nelle argilliti, che costituiscono il litotipo più degradabile. Della formazione del Ronco, nel tratto interessato dall'attuale progetto, è presente il membro a carattere marnoso, costituito da livelli torbiditici, formati dalla coppia marna-calcareo arenaceo e da giunti argillitici. Tale litotipo si presenta nella porzione superiore, caratterizzato da una fascia alterata di spessore medio di circa tre metri, ed è ulteriormente sovrastato da una coltre di copertura eluvio-colluviale, che ricopre più o meno uniformemente il substrato calcareo-marnoso con uno spessore limitato, solo a luoghi stimabile in 3-5 m.

In tutto il settore tirrenico della Liguria di levante colpisce il contrasto esistente fra la vivacità e l'articolazione delle forme erosive del versante ligure e la modesta attività erosiva del contiguo versante padano, nella porzione prossima allo spartiacque.

Riguardo l'idrogeologia del sottosuolo, i depositi sciolti che costituiscono le coperture colluviali e di frana sono permeabili per porosità in misura variabile in funzione della

---

quantità di matrice argillosa presente e, se di dimensioni adeguate, possono costituire degli ottimi serbatoi. I depositi alluvionali ghiaioso-ciottolosi dell'alveo principale e delle aree terrazzate, anche se ricchi di matrice, sono dotati di buona permeabilità per porosità; la loro modesta estensione non li rende tuttavia significativi come acquiferi. Il substrato roccioso (Formazione di Ronco) per sua natura viene classificato in letteratura come orizzonte da semipermeabile per fratturazione a impermeabile, in quest'ultimo caso risulta scarsa in relazione alla stratificazione sottile ed a una elevata quantità di peliti siltoso argillose presenti nei giunti.

### 3 Sismicità dell'area di progetto

Osservando la Mappa di Pericolosità Sismica (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2005, n. 3519, All. 1b) dell'area geografica che ospita il tracciato stradale, si rileva che l'area in oggetto è a medio-bassa pericolosità (Figura 1).

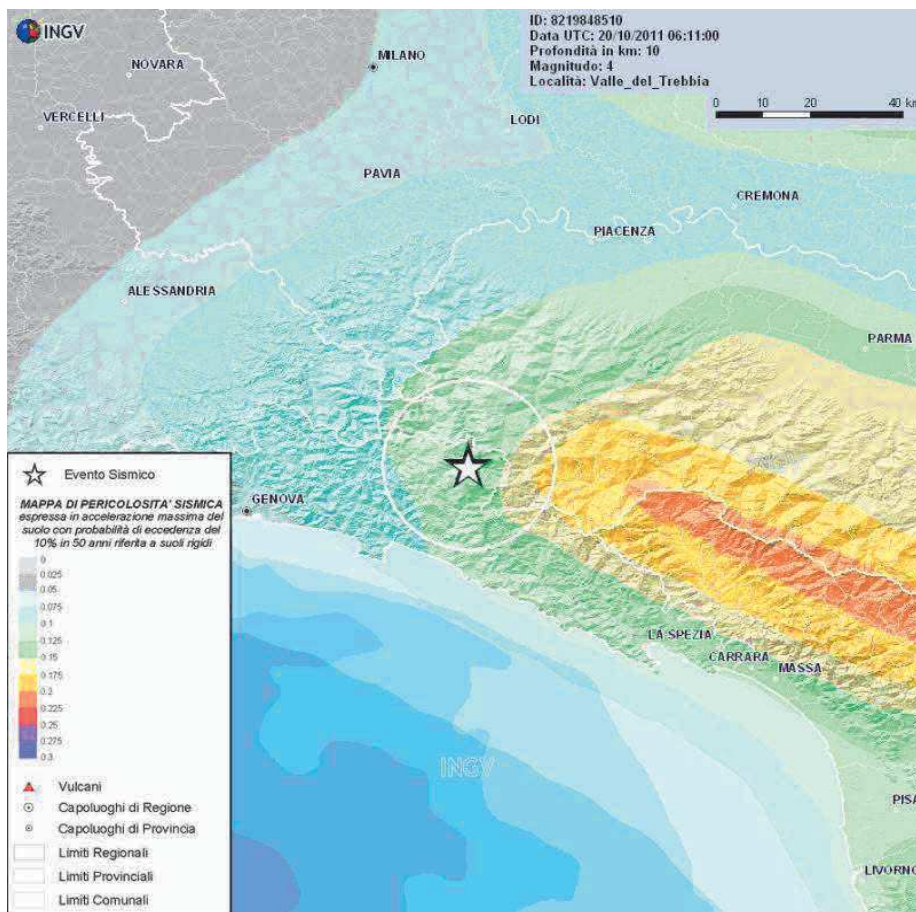


Figura 1: Carta della Pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

Considerando indicativamente la località Ponte Trebbia, si è ricavata la maglia di riferimento (Figura 4) in base alle tabelle dei parametri spettrali fornita dal ministero e sono stati individuati i nodi del reticolo di riferimento.



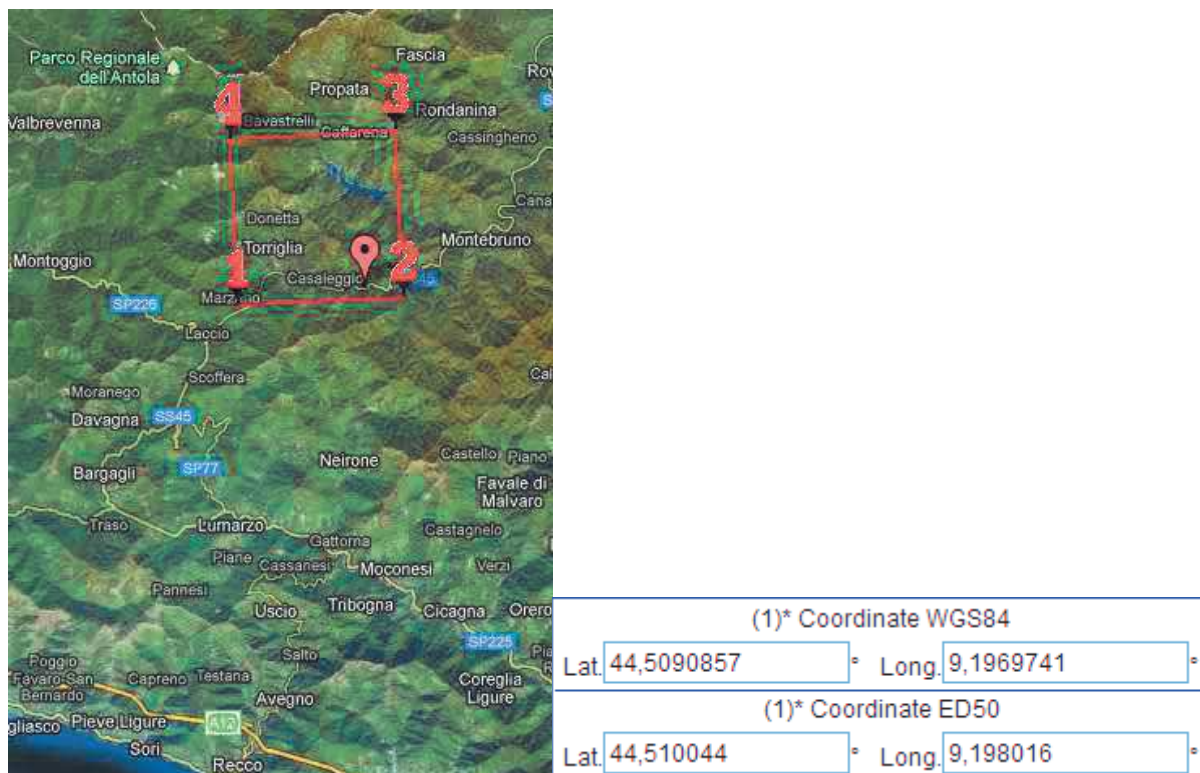


Figura 2

	ID	Lat.	Long.	Distanza (m)
Sito 1	16477	44.5055	9.1444	4280.084
Sito 2	16478	44.5080	9.2145	1323.544
Sito 3	16256	44.5579	9.2109	5421.266
Sito 4	16255	44.5554	9.1409	6778.557

Tabella 1

### 3.1 Storiografia sismica

Consultando il Database Macrosismico Italiano (DBMI15) dell'INGV, si rileva che per il territorio di Torriglia tutti i fenomeni registrati, successivamente all'anno 1000, hanno avuto intensità macrosismica compresa da un minimo di 2 ed un massimo di 6. I due terremoti di magnitudo maggiore sono stati gli eventi del 07.09.1920 (epicentro Garfagnana, Mw 6,53) e del 23.02.1887 (epicentro Liguria occidentale, Mw 6,27).

---

Un focus più specifico è stato eseguito per la sismicità recente, dal 1985 ad oggi, consultando il database aggiornato in tempo reale del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV: nel raggio di 50 km dal centro abitato di Torrighia, non si riscontrano terremoti di magnitudo > 4,5 Mw; i più significativi sono avvenuti presso Rezzoaglio in data 05.03.2012 e 20.10.2011, entrambi di Magnitudo Mw 4,0.

### 3.2 *Inquadramento sismotettonico*

L'inquadramento sismico dell'area in esame è avvenuto consultando gli archivi messi a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (nel prosieguo INGV) e dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (nel prosieguo ISPRA).

Considerando la regione che ospita l'area di progetto, consultando l'Inventario delle Sorgenti Sismogenetiche in Italia dell'INGV (Database of Individual Seismogenic Sources – DISS), versione aggiornata al giugno 2015, si possono individuare tre sorgenti sismogenetiche:

- Lunigiana;
- Promontorio di Imperia;
- Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga.

Tutte site nell'intorno di 60 km in linea d'aria dall'area del tracciato.

La sorgente Lunigiana è costituita da una cintura estensionale che costituisce il prolungamento nordoccidentale del sistema di faglie Etrusco; la sorgente denominata promontorio di Imperia si colloca a pochi chilometri dalla costa italo-francese ed è caratterizzata da direzione NE-SW, immersione verso Nord/NW e cinematisimo inverso; la sorgente denominata Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga è ritenuta essere la porzione di una faglia a di contrazione emergente in corrispondenza della linea di costa adriatica.

In Tabella 2 sono riportati gli eventi accaduti nelle sorgenti suddette con magnitudo  $\geq 5,5$  gradi. L'area contenente la regione di progetto, per un raggio di 5 km non risulta interessata dalla presenza di alcuna faglia attiva e capace.

Sorgente	Anno	Magnitudo (Mw)
Lunigiana	1481	5,8
	1834	5,6
Promontorio di Imperia	1818	5,8
	1831	5,5
	1854	5,8
	1887	6,6
Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	1741	6,2
	1781	6,2
	1799	5,8
	1873	6,0

Tabella 2: terremoti riscontrati nelle sorgenti che influenzano l'area di progetto

### 3.3 Sismicità locale

Per sismicità locale si intende il "grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane". L'analisi del livello di pericolosità distingue quindi due fasi:

- la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche;
- l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: figliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 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", rappresentò una

prima istanza del legislatore alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale ordinanza si stabilirono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/06. L'intero territorio nazionale venne suddiviso in 4 zone, sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco  $a_g$  su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione ( $a_g$ ) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06 nella tabella seguente:

Zona Sismica	Accelerazione con Probabilità di Superamento pari al 10% in 50 anni
(-)	( $a_g$ )
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tabella 3- Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.

Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro  $a_g$  secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

La valutazione della pericolosità sismica viene fatta utilizzando i dati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed impiegati per la redazione della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, disponibili all'indirizzo internet: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>. In Figura 3, è riportata la mappa delle aree in esame, con l'indicazione dei punti del reticolo di riferimento, relativi all'accelerazione su suolo rigido attesa con tempo di ritorno di 950 in cui ricade il valore del tempo di ritorno per lo SLV.

Lo studio INGV fornisce inoltre il grafico di disaggregazione della pericolosità sismica in termini di magnitudo, distanza epicentrale ed epsilon (parametro è legato alla deviazione dello spettro del segnale sismico al sito rispetto a quanto predetto da un'opportuna legge di attenuazione). Tali parametri, riportati come valori medi, si riferiscono al terremoto con maggiore probabilità di determinare il valore di PGA in riferimento ad una certa possibilità di occorrenza nel sito in esame.

In tal modo è possibile separare i diversi contributi alla pericolosità sismica, espressa da un determinato parametro (ad es. l'accelerazione su suolo rigido  $a_g$ ) e quindi identificare per alcuni prefissati tempi di ritorno, quale sorgente sismica contribuisca maggiormente alla pericolosità.

Nel caso in esame, considerando il tempo di ritorno di 950 anni; introducendo le coordinate topografiche delle opere d'arte più importanti per ciascuna zona di riferimento, il diagramma di disaggregazione, riportato in Figura 4, indica le coppie  $M_w$  (magnitudo),  $R$  (distanza epicentrale) di interesse per la definizione dello scenario sismico di riferimento. I valori numerici del diagramma sono riportati in Figura 5, dove si osserva per questo una Magnitudo di 4.81 Mw ed una distanza di 13.3 km.

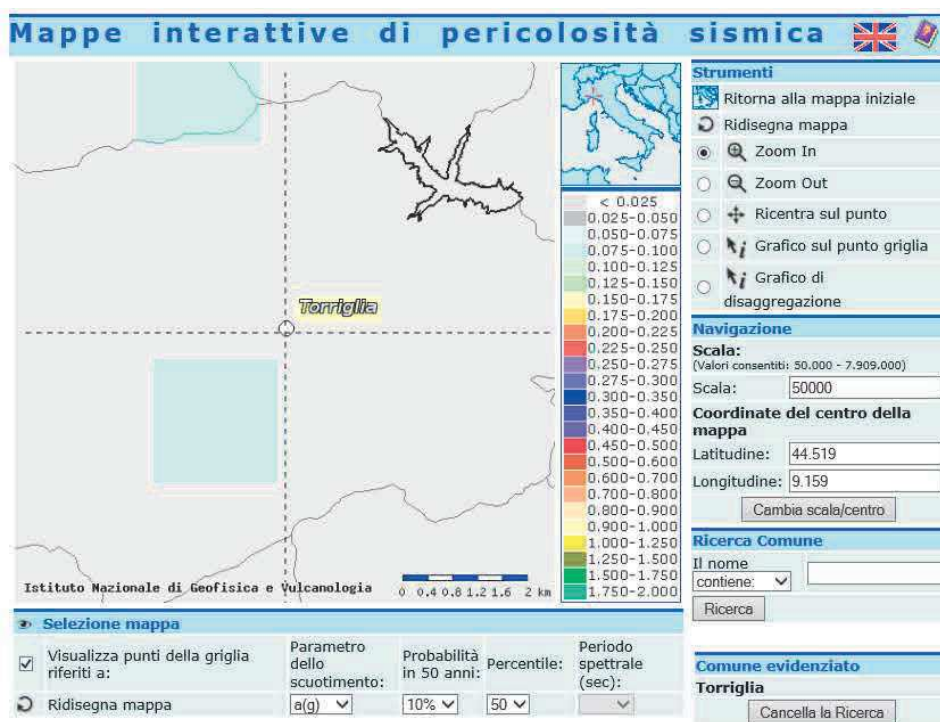


Figura 3: Mappa dei valori di Pericolosità sismica nell'area del tracciato (INGV 2006).

Per quanto concerne invece la classificazione sismica del territorio, in seguito al DGR 216/17 i Comuni dell'alta Val Trebbia (Torrighia, Montebruno e Rovegno) interessati dall'opera in progetto sono stati quindi inseriti in classe sismica 3 con  $PGA = 0,15g$ , ovvero sismicità medio-bassa con possibilità di forti terremoti, ma rari.

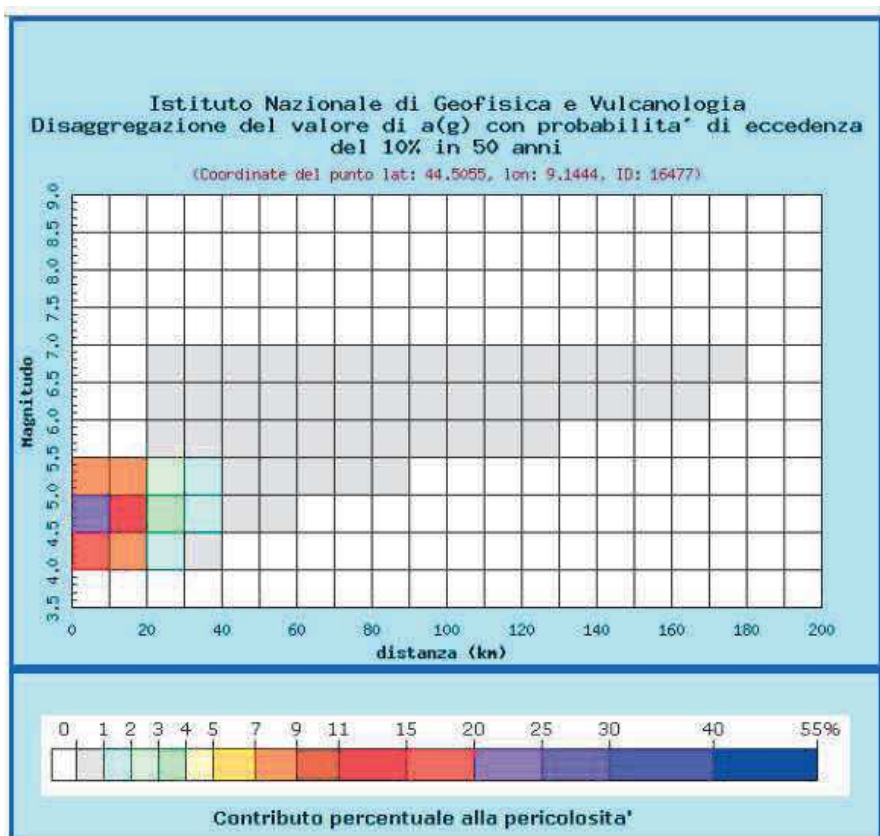


Figura 4: Grafico di disaggregazione di  $a_g$  con probabilità di eccedenza con  $T_r=915$  anni

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.5055, lon: 9.1444, ID: 16477)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	18.900	24.900	8.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	8.060	14.600	7.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.360	3.600	2.880	0.246	0.164	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.108	1.130	1.710	0.919	0.716	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.124	0.746	0.684	0.626	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.004	0.225	0.357	0.321	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.042	0.168	0.159	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.008	0.095	0.120	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.002	0.056	0.106	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.084	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.061	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.042	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.810	13.300	0.671

Figura 5: valori magnitudo – distanza

### 3.4 **Risposta sismica locale**

Il calcolo dell'azione sismica di progetto non può prescindere dall'indagare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, a meno che il sottosuolo non possa essere classificato secondo un approccio semplificato, che si basa sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio definita dal parametro  $V_{s,30}$ , definito al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

$h_i$  spessore (in metri) dell' $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità.

Riferendo la valutazione alle quote fondazionali imposte dal progetto definitivo delle strutture, è possibile assumere che gli orizzonti stratigrafici individuati nel corso delle indagini siano associati alla categoria "B", così definita: *"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"*. Tale scelta progettuale è basata dall'esito delle prove Down-Hole, parte integrante della campagna geognostica a supporto del progetto, che vengono riportate ed elaborate di seguito.

La Tabella 4 riporta il tipo di indagine geofisica effettuata durante la campagna di indagini a supporto del progetto, che ricade nel tratto oggetto dell'attuale fase di studio progettuale:

Campagna	Tipo di prova	Sondaggio
2014	Down-hole	S5_DH
	Down-hole	S7_DH
	Down-hole	S8_DH

Tabella 4: prove geofisiche eseguite nella campagna di indagine 2014

Si riportano nelle figure seguenti gli esiti di tali prove in termini di velocità delle onde di compressione ( $V_P$ ) e di taglio ( $V_S$ ), con la profondità.

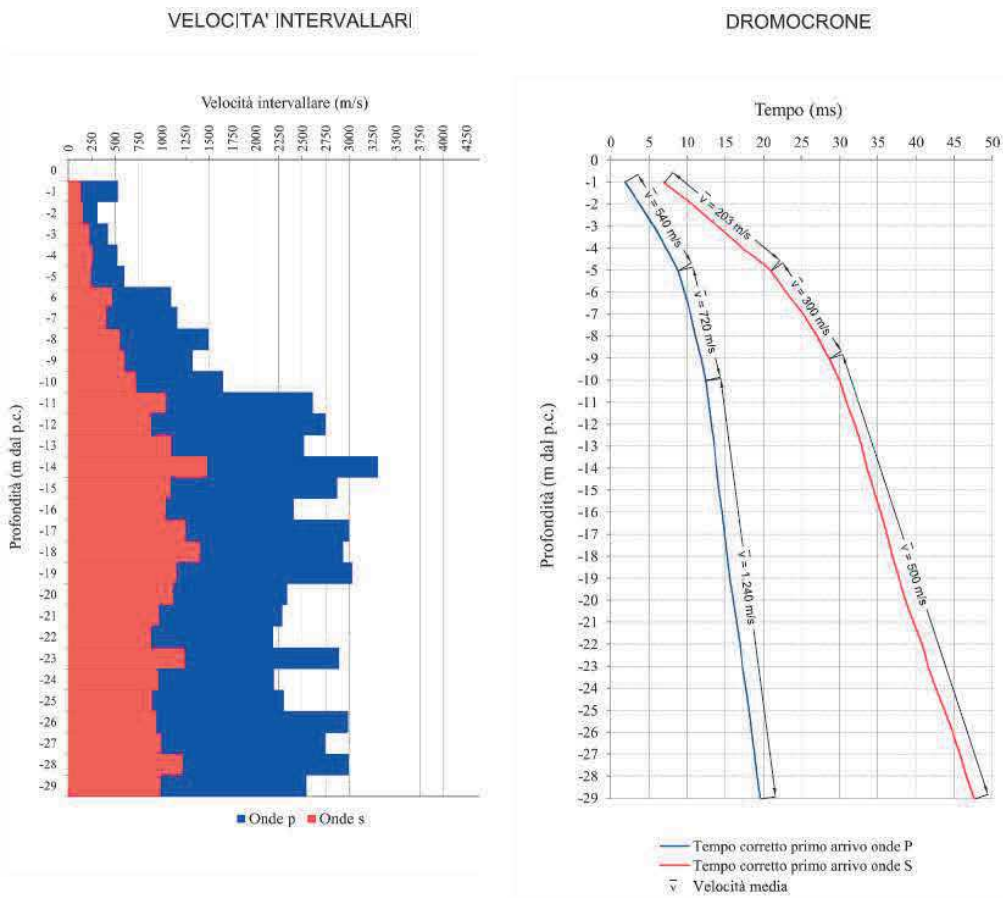


Figura 6: risultati della prova Down-hole eseguita nel foro del sondaggio S5\_DH.



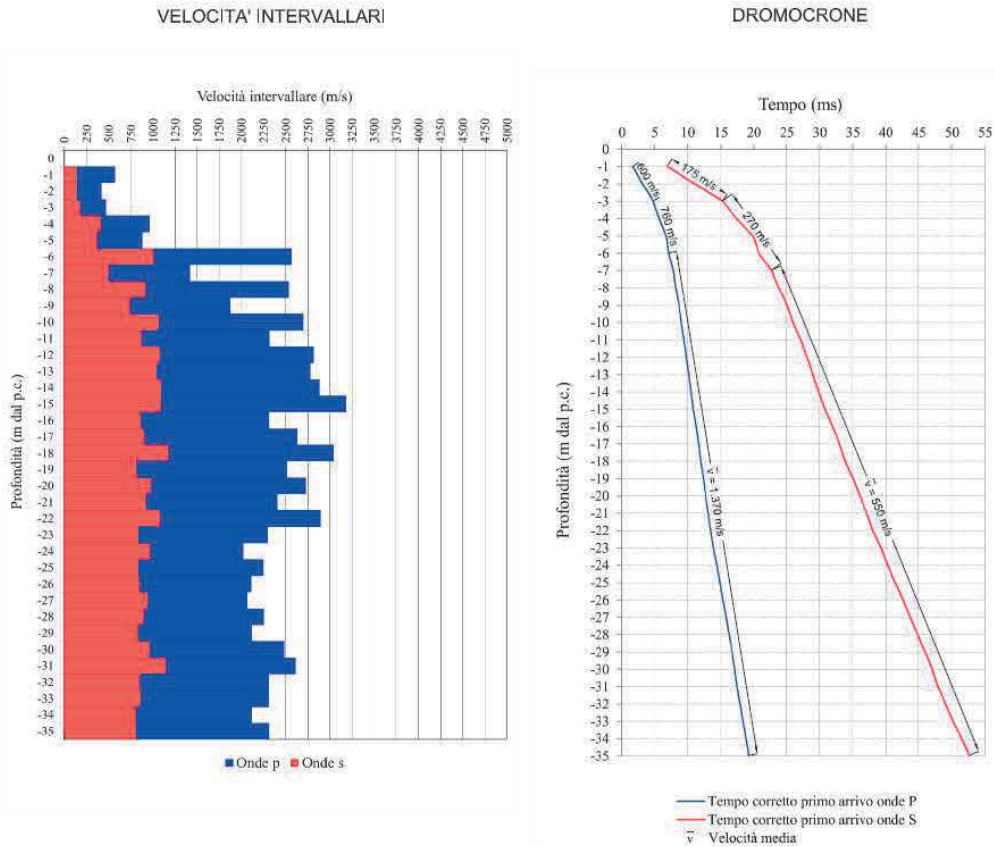


Figura 7: risultati della prova Down-hole eseguita nel foro del sondaggio S7\_DH.

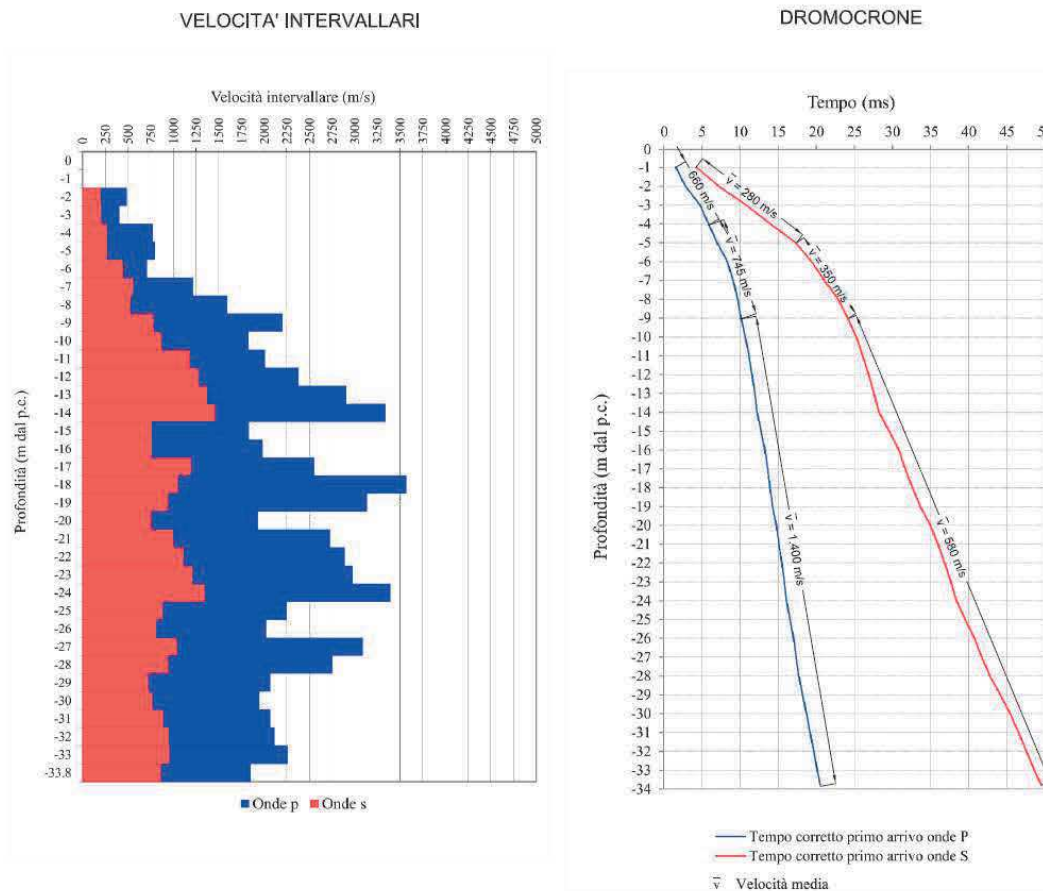


Figura 8: risultati della prova Down-hole eseguita nel foro del sondaggio S8\_DH.

Gli esiti delle prospezioni Down-Hole mostrano sempre un aumento delle velocità di entrambe le forme d'onda con la profondità, significando il miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità, che è un requisito dell'approccio semplificato per la classificazione sismica del territorio. Le elaborazioni delle prove down-hole sono riportate da Tabella 5 a Tabella 7: come si osserva, i valori ottenuti di Vs30 corrispondono alla categoria di sottosuolo B, ai sensi della normativa tecnica NTC2018.

Vel. media (m/s)	Vel. intervallare (m/s)	1/Vel. media (s/m)	1/Vel. intervallare (s/m)
144	144	0.00694	0.00694
188	161	0.00532	0.00621
214	230	0.00467	0.00435
232	265	0.00431	0.00377
239	249	0.00418	0.00402
262	472	0.00382	0.00212
277	412	0.00361	0.00243
296	552	0.00338	0.00181
315	607	0.00317	0.00165
334	728	0.00299	0.00137
356	1049	0.00281	0.00095
375	884	0.00267	0.00113
395	1104	0.00253	0.00091
417	1485	0.00240	0.00067
435	1094	0.00230	0.00091
452	1045	0.00221	0.00096
470	1263	0.00213	0.00079
488	1414	0.00205	0.00071
503	1158	0.00199	0.00086
518	1123	0.00193	0.00089
529	973	0.00189	0.00103
539	888	0.00186	0.00113
553	1243	0.00181	0.00080
563	959	0.00178	0.00104
572	900	0.00175	0.00111
581	943	0.00172	0.00106
590	1000	0.00169	0.00100
601	1221	0.00166	0.00082
609	992	0.00164	0.00101
	Somma tot.=	0.08122	0.05246
	<b>Vs30 (m/s) =</b>	<b>369.379</b>	<b>571.874</b>

*Tabella 5: Calcolo del parametro Vs30 per la prova S5-DH*

Vel_media (m/s)	Vel_intervallare (m/s)	1/Vel_media (s/m)	1/Vel_intervallare (s/m)
144	144	0.00694	0.00694
181	143	0.00552	0.00699
196	182	0.00510	0.00549
229	413	0.00437	0.00242
251	371	0.00398	0.00270
288	1011	0.00347	0.00099
308	501	0.00325	0.00200
336	922	0.00298	0.00108
359	743	0.00279	0.00135
384	1067	0.00260	0.00094
405	877	0.00247	0.00114
428	1085	0.00234	0.00092
448	1044	0.00223	0.00096
468	1102	0.00214	0.00091
487	1100	0.00205	0.00091
501	867	0.00200	0.00115
515	910	0.00194	0.00110
532	1184	0.00188	0.00084
542	825	0.00185	0.00121
554	981	0.00181	0.00102
565	929	0.00177	0.00108
578	1081	0.00173	0.00093
586	838	0.00171	0.00119
596	969	0.00168	0.00103
603	840	0.00166	0.00119
610	855	0.00164	0.00117
618	944	0.00162	0.00106
625	902	0.00160	0.00111
630	835	0.00159	0.00120
638	964	0.00157	0.00104
	Tot. Somma =	0.07826	0.05206
	<b>Vs_30 (m/s) =</b>	<b>383.351</b>	<b>576.303</b>

Tabella 6: Calcolo del parametro Vs30 per la prova S7-DH

Vel media (m/s)	Vel intervallare (m/s)	1/Vel media (s/m)	1/Vel intervallare (s/m)
233		0.00429	
277	202	0.00361	0.00495
277	216	0.00361	0.00463
287	276	0.00348	0.00362
289	271	0.00346	0.00369
309	451	0.00324	0.00222
332	564	0.00301	0.00177
349	534	0.00287	0.00187
373	787	0.00268	0.00127
396	875	0.00253	0.00114
422	1180	0.00237	0.00085
447	1284	0.00224	0.00078
471	1379	0.00212	0.00073
496	1460	0.00202	0.00068
508	765	0.00197	0.00131
519	762	0.00193	0.00131
537	1194	0.00186	0.00084
552	1059	0.00181	0.00094
564	943	0.00177	0.00106
572	758	0.00175	0.00132
584	1004	0.00171	0.00100
597	1118	0.00168	0.00089
610	1215	0.00164	0.00082
625	1358	0.00160	0.00074
632	885	0.00158	0.00113
638	813	0.00157	0.00123
647	1043	0.00155	0.00096
654	945	0.00153	0.00106
657	731	0.00152	0.00137
660	777		
	Tot. Somma =	0.06699	0.04418
	<b>Vs_30 (m/s) =</b>	<b>447.855</b>	<b>679.008</b>

Tabella 7: Calcolo del parametro Vs30 per la prova S8-DH

---

### 3.5 **Condizioni Topografiche**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 tengono conto degli effetti morfologici locali prendendo in considerazione il fattore di amplificazione topografica, definito sulla base dell'inclinazione media dei versanti. L'area oggetto del rilevamento geologico mostra versanti con pendenze medie comprese tra 17° e 30°. Sulla base di tali valutazioni, nella generalità dei casi, a meno di opere che ricadano in situazioni particolari, i siti possono essere ascritti alla categoria topografica T2, con inclinazione media  $i > 15^\circ$ . A tale proposito, in relazione all'assetto morfologico locale, l'aspetto più rilevante di cui tener conto si riferisce alla stabilità di un pendio, che in condizioni sismiche può essere significativamente messa in discussione. Sulla base dei dati raccolti in questa fase d'indagine è possibile tuttavia constatare l'assenza di situazioni particolarmente gravose in relazione a tale problema, percorrendo il tracciato versanti caratterizzati da roccia sub affiorante in discrete condizioni giacitureali con coperture eluvio-colluviali di spessore sempre contenuto.

---

## 4 Azioni e combinazioni sismiche – criteri di valutazione e calcolo

Si riportano di seguito le valutazioni già inserite nelle relazioni specialistiche che riguardano la determinazione delle azioni sismiche da applicare ai modelli di calcolo strutturale per le verifiche ai sensi dell'NTC 2018

### 4.1 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Nel progetto saranno verificate le condizioni di stato limite ultimo in presenza di un'azione sismica di collasso (SLC) e lo stato limite di esercizio in presenza di un'azione sismica di danno (SLD).

### 4.2 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione: "Grandi opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (§2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2018").

La vita nominale si assume pertanto pari a  $V_N = 100$  anni per le opere definitive; per le opere provvisorie  $V_N = 10$  anni.

### 4.3 **Classe d'uso**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso.

Per il presente progetto è individuata la Classe III: *“costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.”*

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a  $C_U = 1.5$  anni.

### 4.4 **Periodo di riferimento per l'azione sismica**

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 1.5 = 150 \text{ anni (per le opere definitive)}$$

$$V_R = 35 \text{ anni (per le opere provvisionali)}$$

### 4.5 **Parametri di progetto**

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei 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 ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;

- $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC discostino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono riportati nella tabella sottostante.

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	90	0.051	2.515	0.248
SLD	151	0.062	2.534	0.265
SLV	1424	0.145	2.467	0.290
SLC	2475	0.174	2.473	0.294

Tabella 8

#### 4.6 **Classificazione sismica del terreno**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, è stato possibile fare riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo tramite la velocità delle onde di taglio nel terreno. Tale studio, stante la natura del sottosuolo rinvenuto nelle indagini sperimentali, ha consentito di classificare il sito fondale del tratto di progetto con Categoria B.



#### 4.7 **Spettro di risposta elastico in accelerazione**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

#### 4.8 **Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

Dove:

- $T$  è il periodo di vibrazione
- $S_e$  è l'accelerazione spettrale orizzontale.
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

- dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.20;

- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  $T_C = C_C \cdot T^*_C$ ; dove  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  $T_B = T_C / 3$ ;
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$ ;
- $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_s \cdot S_T$  essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti:

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_C$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{fg}}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{fg}}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{fg}}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{fg}}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_C)^{-0,40}$

Tabella 9: Categoria di sottosuolo

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	-	1,00
<b>T2</b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
<b>T3</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
<b>T4</b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

Tabella 10: Coefficienti di categoria topografica

#### 4.9 **Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_O} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

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

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \frac{T_C}{T}$$

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

Nelle quali  $T$  e  $S_{ve}$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e  $F_V$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

#### 4.10 **Spettro di progetto**

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata con le ordinate ridotte sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura con  $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$ .

## 5 Opere d'arte maggiori – Impalcati

### 5.1 *Determinazione della massa partecipante*

La determinazione dell'azione sismica viene calcolata considerando le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

dove  $G_1$  e  $G_2$  riguardano le masse associate al peso proprio delle strutture ed ai carichi permanenti, mentre  $Q_{kj}$  riguarda le masse associate ai carichi accidentali.

Data la bassa probabilità della contemporanea presenza dei carichi accidentali e del sisma, il coefficiente  $\psi_{2j}$  viene assunto pari a 0.00.

La determinazione della massa partecipante viene effettuata partendo dalle azioni trasmesse dall'impalcato alle sottostrutture per quanto riguarda i carichi permanenti, mentre per la valutazione dei carichi accidentali viene determinata la risultante degli schemi di carico adottati nella statica globale.

### 5.2 *Determinazione della forza sismica orizzontale sulla spalla*

Si procede considerando l'elemento paraghiaia-fondazione come un'opera di sostegno; le Norme Tecniche trattano l'argomento al §7.9.6.2.1, in cui si esplicita che l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, ossia mediante i metodi all'equilibrio limite. Il metodo di calcolo comprende, in accordo con la norma, l'opera di sostegno, il terreno a tergo dell'opera e gli eventuali sovraccarichi.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot S \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,50 \cdot k_h$$

dove:

$\frac{a_{\max}}{g}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

$\beta_m = 1,00$  in cui si considera prudenzialmente che la spalla non subisca spostamenti

$$S_S = 1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

$S = S_S \cdot S_T$       amplificazione per il tipo di sottosuolo

### 5.3 **Parametri sismici**

Per l'individuazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento a quanto riportato nel Nuovo Testo unico delle Costruzioni, D.M. 17/01/2018.

In particolare considerando che l'opera in esame:

- secondo la Tab. 2.4.1 del NTC 18 può essere classificata come una costruzione di Tipo 3, quindi con una Vita Nominale  $V_N \geq 100$  anni;
- in base al paragrafo 2.4.2 la sua Classe d'uso è la III e quindi il coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$ ;

la sua Vita di Riferimento  $V_R$  in base alla quale vengono valutate le azioni sismiche risulta pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 1.5 = 150 \text{ anni}$$

Inoltre facendo riferimento allo Stato Limite Ultimo di salvaguardia della Vita, SLV, si ha che l'azione sismica calcolata per una Probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento  $V_R$  sopra determinato, in corrispondenza della posizione geografica dell'opera in esame porta a definire un valore del PGA pari a 0.145 g.

Per la determinazione dello "spettro di progetto (SLV)", riportato nelle immagini seguenti (Figura 9, Figura 10), si sono utilizzati i parametri relativi alla Categoria di sottosuolo B.

Per la categoria topografica sono state fatte delle distinzioni in base al viadotto:

- Ponte sul Trebbia: cat. Topografica T1;
- Viadotti V01, V02, V03, V04: cat. Topografica T4,  $h/H=0.4$ .

Il valore del Fattore di Struttura  $q$  per la componente verticale dell'azione è fissato dalla normativa pari ad 1, mentre per quella orizzontale è stato valutato pari a 3.5.

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

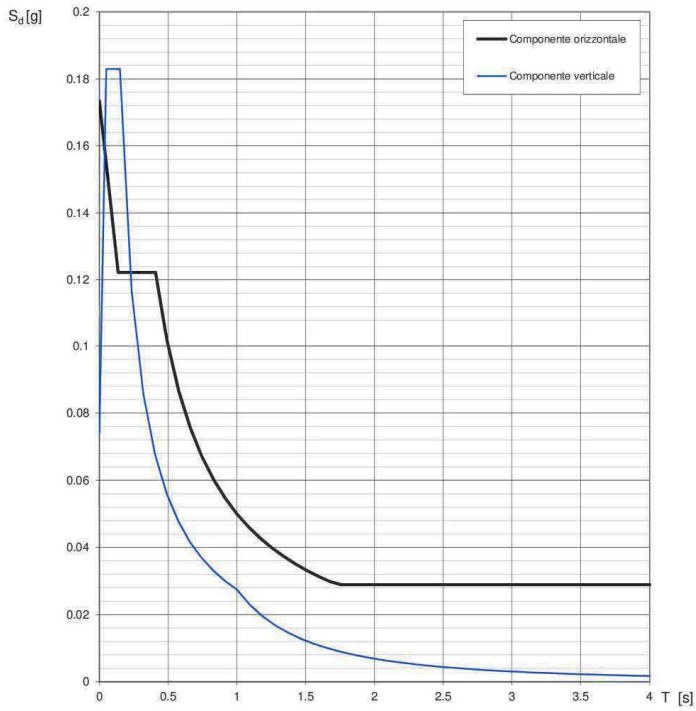


Figura 9: Spettro di risposta allo SLV - Ponte sul Trebbia

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

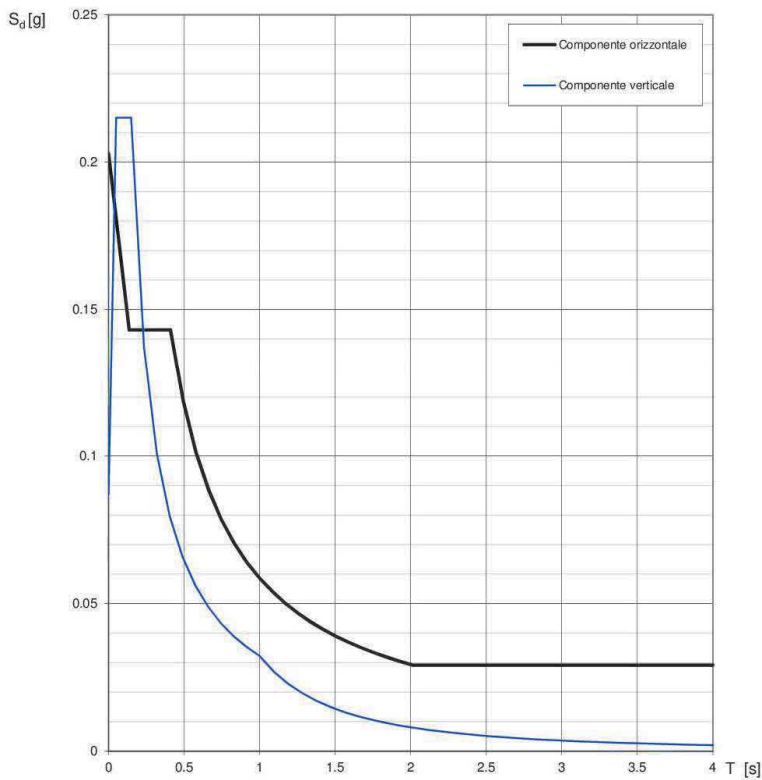


Figura 10: Spettro di risposta allo SLV – V01, V02, V03, V04

---

## 6 Opere d'arte minori – Muri di sostegno

### 6.1 Spinta del terreno

Per i muri di sostegno come riportato sulla relazione viene utilizzato il metodo di Culmann che adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (che permette di ottenere un'espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta), invece il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\rho$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;

- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio ( $W$ ), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura ( $R$  e  $C$ ) e resistenza per coesione lungo la parete ( $A$ ); dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta  $S$  sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

## 8.2 Parametri sismici

L'opera in oggetto è ubicata nei Comuni di Torrighia e Montebruno. Il valore di  $S_d(T_3)$  dipende dai seguenti parametri di progetto, ai sensi NTC 2018, calcolati con il programma "Spettri" del Ministero Infrastrutture:

Opera sita in località	=	Torrighia (GE)
Categoria del suolo di fondazione	=	B
Condizione topografiche	=	T2
Categoria opera – Classe d'uso	=	III
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	: $S_s$ =	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica	: $S_T$ =	1.08
Vita nominale dell'opera	: $V_N$ =	≥100 anni
Coefficiente d'uso	: $C_U$ =	1.5
Periodo di riferimento	: $V_R$ =	150 anni

## 8.3 Spinta in condizioni sismiche

Essendo le strutture in esame di tipologia parzialmente interrato, si adotta il metodo di analisi pseudostatica utilizzato per le opere di sostegno, in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per opportuno coefficiente sismico.

In presenza di sisma, l'incremento da applicare alla spinta statica viene determinato seguendo il metodo di Mononobe – Okabe. Posti:

$$\alpha' = \alpha + \theta \quad \beta' = \beta + \theta$$

dove:

$\theta$  è il parametro legato ai coefficienti sismici mediante il seguente rapporto:

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

Dove  $k_h$  e  $k_v$  sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale stimati mediante il metodo di analisi pseudostatico.

I valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale sono così stimati:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.5k_h$$

$a_{\max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito e può essere valutata con la seguente formula:  $a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$ .



## 7 Opere di sostegno – Paratie

### 7.1 Parametri sismici

Nelle verifiche allo stato limite ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot S \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,50 \cdot k_h$$

dove:

$$\frac{a_{max}}{g} = \text{accelerazione orizzontale massima attesa al sito}$$

$\beta_m = 0,906$  in cui si considera che la struttura possa subire 0,2cm di spostamenti

$$S_s = 1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

$S = S_s \cdot S_T$       amplificazione per il tipo di sottosuolo

#### 7.1.1 Opere definitive

Secondo le NTC 2018 si ha:

Opera sita in località	=	Torriglia (GE)
Categoria del suolo di fondazione	=	B
Condizione topografiche	=	T2
Categoria opera – Classe d'uso	=	III
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	: $S_s$ =	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica	: $S_T$ =	1.08
Vita nominale dell'opera	: $V_N$ =	≥100 anni
Coefficiente d'uso	: $C_U$ =	1.5
Periodo di riferimento	: $V_R$ =	150 anni

#### 7.1.2 Opere provvisionali

Per le opere provvisionali, a favore di sicurezza, è stato valutato un sisma ridotto a 2 anni secondo le formulazioni riportate nella norma EN 1998\_parte 2 – Annesso A:

$$\frac{a_{gc}}{a_{g,R}} = \left( \frac{T_{Rc}}{T_{NCR}} \right)^k$$

Ponendo:

$$t_c = 2 \text{ anni}$$

$$T_{RC} = t_c/p = 2/0.1 = 20 \text{ anni}$$

$$T_{NCR} = 475 \text{ anni}$$

$$a_{g,R} = 0.096$$

risulta:  $a_{gc} = 0.037$

I parametri scelti per la definizione dell'azione sismica sono di seguito riportati:

Opera sita in località	=	Torriglia (GE)
Categoria del suolo di fondazione	=	B
Condizione topografiche	=	T2
Categoria opera – Classe d'uso	=	III
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	: Ss =	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica	: ST =	1.08
Vita nominale dell'opera	: VN =	≥10 anni
Tempo di ritorno	: TR =	20 anni

## 7.2 Spinta del terreno in condizioni sismiche

Nelle verifiche sismiche le azioni generate dal sisma ed agenti in direzione orizzontale sulla struttura sono considerate come segue:

- Incremento di spinta dovuto al terreno a tergo della berlinese  $\Delta F = F_s - F$ , dove:
- $F$  rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni statiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni di equilibrio limite attivo e fornita dall'espressione:

$$\sigma_h = K_a \sigma_{v0} - 2 c (K_a)^{0.5}$$

- $F_s$  rappresenta la spinta esercitata dal terreno in condizioni sismiche, calcolata come integrale, sull'altezza di scavo, della tensione orizzontale esercitata dal terreno in condizioni sismiche e fornita dall'espressione:

$$\sigma_{hs} = K_{as} \sigma_{v0} - 2 c (K_{as})^{0.5}$$

Nelle due espressioni i simboli rappresentano:

$\sigma_{v0} = \gamma z$  = tensione verticale

$c$  = coesione

$K_a$ ,  $K_{as}$  = rispettivamente coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche (calcolato con il metodo di Coulomb) e sismico (calcolato con il metodo di Mononobe-Okabe).

Nelle verifiche effettuate, l'incremento di spinta  $\Delta F$  così calcolato è applicato a tergo della paratia come una pressione orizzontale con andamento uniforme sull'altezza della paratia (a vantaggio di sicurezza).