

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

STUDI GENERALI

GEOTECNICA

Relazione sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

DPMI0092 D 18

NOME FILE

T00GE00GETRE02A

REVISIONE

SCALA

CODICE
ELAB.

T00GE00GETRE02

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

Gen 2020

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E PROGETTUALI.....	3
2.1	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE.....	3
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	3
3.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1	DESCRIZIONE DELLE UNITÀ LITOLOGICHE	6
4.1.1	Successione stratigrafica pre-quadernaria	6
4.1.2	Depositi quadernari e recenti	8
5.	INDAGINI GEOFISICHE	9
5.1	INDAGINI CAMPAGNA 2017.....	9
5.1.1	Prove a riflessione e rifrazione	9
5.2	INDAGINI CAMPAGNA 2019.....	12
5.2.1	Prove a riflessione e rifrazione	14
5.2.2	Down-hole	16
6.	INQUADRAMENTO SISMICO	19
6.1	SISMICITÀ STORICA	19
6.2	PERICOLOSITÀ SISMICA	23
6.3	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	26
6.3.1	Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento	26
6.3.2	Definizione categorie topografiche	27
6.3.3	Definizione categorie di sottosuolo	27
6.3.1	Azioni sismiche di progetto.....	30

1. PREMESSA

La presente relazione sismica si inserisce nell'ambito del *Progetto Definitivo* della *Variante alla S.S.45 bis "Gardesana occidentale" tra il km 86+567 ed il km 88+800* nei comuni di Gargnano e Tignale in provincia di Brescia.

Il progetto prevede lo scavo di una galleria naturale che ospiterà la carreggiata in direzione Nord-Sud della futura S.S.45 bis. La sede attuale della viabilità sarà impiegata esclusivamente come carreggiata in direzione Sud-Nord.

In corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria è prevista la realizzazione di un tombino in c.a..

In corrispondenza dell'imbocco Nord sarà realizzata una rotonda dove convergeranno entrambe le corsie dell'attuale Strada Provinciale per Tignale, la futura carreggiata Sud-Nord in sede all'attuale S.S.45 bis e la nuova carreggiata Nord-Sud.

Nell'area d'intervento, inoltre, in alcune aree considerate esposte al rischio caduta massi, saranno realizzate opere di protezione impiegando tecnologie di difesa passiva e attiva, costituite da reti metalliche in aderenza rinforzate con funi e opportunamente chiodate alle pareti e barriere paramassi dislocate nei pendii a valle dei costoni lapidei.

Il presente documento è finalizzato principalmente alla caratterizzazione sismica dei terreni ed alla definizione delle azioni sismiche da considerare nei calcoli delle opere.

Lo studio si basa principalmente sui risultati della campagna di indagini geognostiche realizzata per il progetto di fattibilità tecnico economica (2017) e della campagna integrativa svolta nel 2019 a monte della progettazione definitiva.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E PROGETTUALI

2.1 NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE

- [1] D.M. del 17.01.2018 Aggiornamento delle *Norme Tecniche per le costruzioni*
- [2] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- [3] OPCM 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;
- [4] OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006: criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone;
- [5] Delibera Giunta Regionale della Lombardia del 11/07/2014 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)

2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- [6] Relazione Geologica;
- [7] Relazione Geotecnica;
- [8] Documentazione indagini geognostiche;
- [9] Certificati di laboratorio;
- [10] Documentazione indagini geofisiche;
- [11] Planimetria ubicazione indagini geognostiche;
- [12] Carta geologica;
- [13] Profilo geologico;
- [14] Planimetria sismica.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è ubicata nel settore orientale della Lombardia, in provincia di Brescia, lungo la costa occidentale del Lago di Garda e a circa 41 km a nord-est dal suddetto capoluogo di provincia. Il tracciato dell'opera in progetto si sviluppa all'interno del comune di Gargnano, in prossimità della frazione di Muslone.

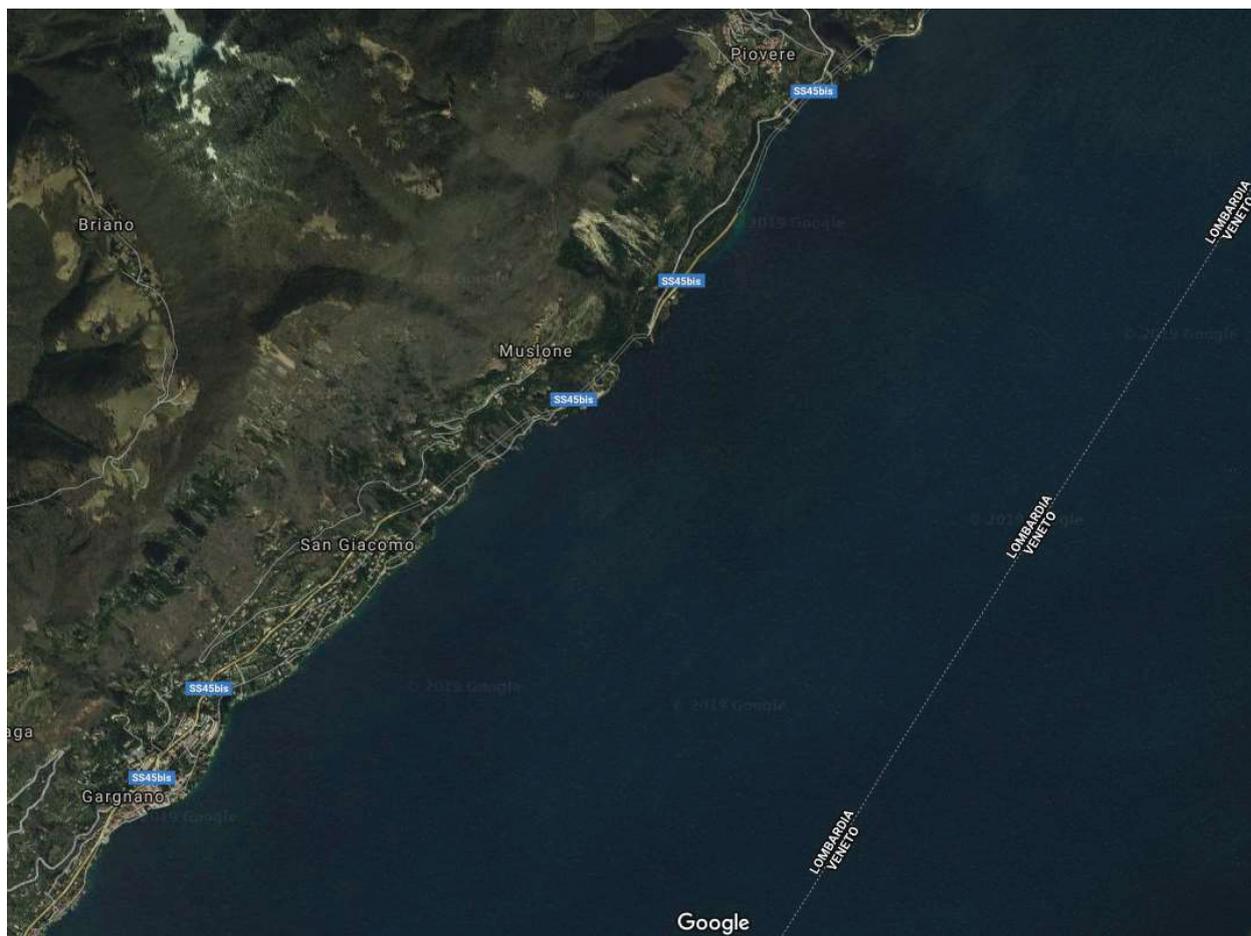


Figura 3-1. Inquadramento aerofotogrammetrico del sito di intervento.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si inquadra nell'ambito delle Prealpi bresciane, il cui assetto strutturale è caratterizzato da una serie di superfici tettoniche sud e sud-est vergenti che generano sovrascorrimenti di notevole entità delle successioni più antiche, e quindi originariamente più profonde, su quelle più recenti. Pertanto, la caratteristica che risalta maggiormente nell'assetto geometrico delle formazioni rocciose, è costituito dal progressivo ringiovanimento delle successioni procedendo da nord a sud (dalla Formazione della Corna a nord, culminazione del Monte Comero, alla formazione della Scaglia Lombarda a sud, in località Amburana).

A livello geologico-generale, la zona di interesse progettuale è inserita nel sistema del Bacino lombardo orientale, posizionato fra la direttrice della Linea delle Giudicarie Sud e la Linea di Ballino – Garda.

Procedendo da nord-ovest verso sud-est è infatti possibile individuare tre domini geologico-strutturali differenti:

1. Area di affioramento del Basamento cristallino (il sistema è rappresentato dal "Massiccio delle tre valli bresciane" ed è costituito dalle intrusioni magmatiche dell'Adamello e la sua copertura vulcanica);
2. Monoclinali dolomitica sovrascorsa, costituita, a grande scala, da un esteso "piastrone" di dolomie noriche e retiche a comportamento rigido;
3. Fronte di accavallamento Tremosine-Tignale e fascio di pieghe frontali ad esso associato.

Dal punto di vista geodinamico le strutture tettoniche presenti, in generale, si sono originate, secondo le interpretazioni più recenti, da fenomeni essenzialmente compressivi causati principalmente dal movimento (intrusione) verso sud del blocco crostale più rigido costituito dal corpo dell'Adamello, che nella traslazione sarebbe stato delimitato a meridione dalla linea della Val Trompia (essenzialmente compressiva) e verso est dalla linea delle Giudicarie (trascorrente più a nord) e con caratteri transpressivi nella zona del Garda.

Le principali lineazioni tettoniche rilevabili nell'area possono essere raggruppate secondo due principali direzioni strutturali:

1. Un sistema a direzione orobica-valsuganese (con direzioni variabili da E-W a ENEWSW);
2. Un sistema a direzione giudicariense (con direzioni variabili da NNE-SSW a NE-SW).

Andando più nel dettaglio, il più importante lineamento ad andamento giudicariense, rilevabile sulla sponda occidentale del Lago di Garda, è rappresentato dal sovrascorrimento Tremosine-Tignale, vergente verso sud-est che provoca, a grande scala, la sovrapposizione della Dolomia principale sulla successione dei terreni mesozoici.

Alla scala del territorio del Comune di Gargnano (porzione a lago), è presente, in corrispondenza del rilievo del M.te Comero, il sovrascorrimento associato al lineamento di Tremosine-Tignale, ove si rendono manifeste le strutture frontali associate a tale struttura: anticlinale del M.te Comero, in cui la Formazione della Corna appare piegata rigidamente secondo un'ampia struttura plicativa sud – vergente e al letto (fascia montuosa-collinare prospiciente la sponda lacustre) le formazioni via via più recenti in successione rovesciata (Medolo, F.ne di Concesio, Maiolica, Scaglia Lombarda che hanno reagito all'applicazione dello stress deformandosi in pieghe e andando a costituire, dal punto di vista tettonico, il fascio di piegamenti frontali e basali associati alla struttura di compressione principale, di cui la principale è la sinclinale di Muslone.

Le strutture plicative di maggior significato, di dimensioni da ettometriche a chilometriche, evidenziano prevalenti assi a direzione N40°-220° disposte parallelamente al fronte di accavallamento e alla sponda benacense.

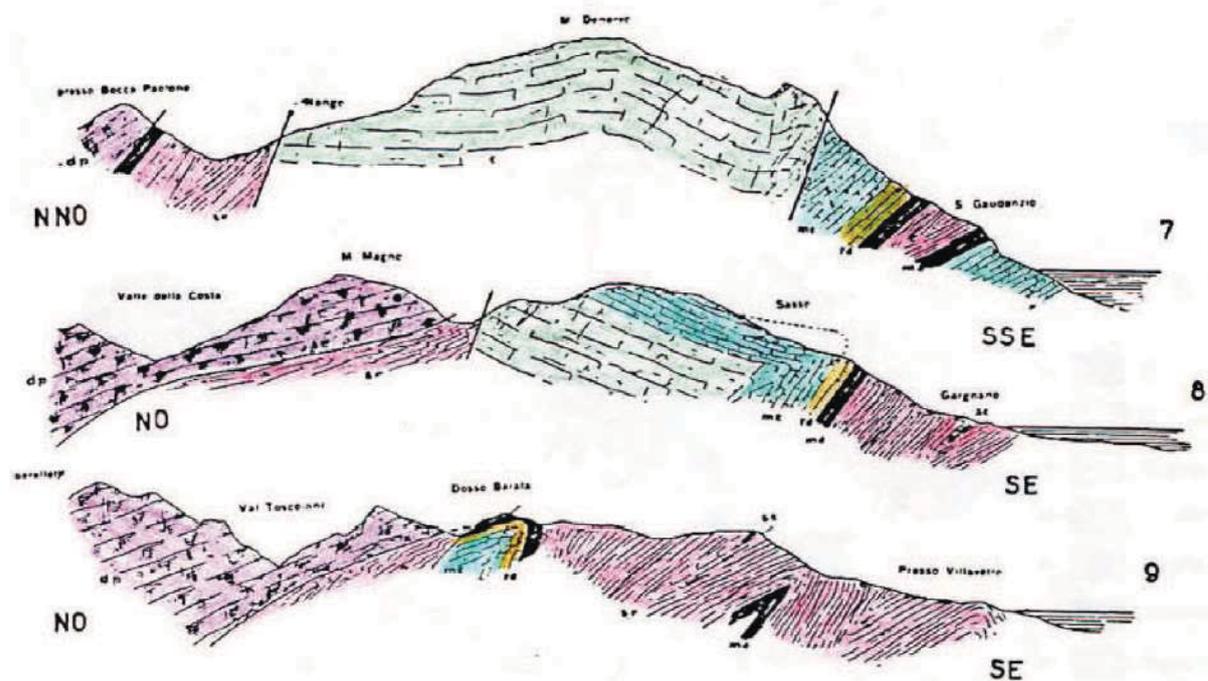


Figura 4-1. Sezioni geologiche ad orientamento NW-SE da M.te Denervo, M.te Magno e Dosso Barata a lago.

Quest'ultima, caratterizzata, al nucleo, dalla presenza della Scaglia Lombarda mentre i fianchi comprendono le formazioni giurassiche stratificate (dalla Maiolica al Medolo), assume una posizione da inclinata a rovesciata passando da S. Gaudenzio alla zona del Gaz. Contemporaneamente, a monte, il contatto della formazione della Corna con il Medolo in posizione rovesciata si realizza mediante un passaggio stratigrafico nella parte centrale ed evolve in sovrascorrimento sud-est vergente, con l'accavallamento delle masse e rovesciamento completo della sinclinale a livello della località Pis.

4.1 DESCRIZIONE DELLE UNITÀ LITOLOGICHE

Vengono di seguito espone le principali caratteristiche stratigrafiche delle unità formazionali che costituiscono il substrato roccioso meso-cenozoico, con la distinzione tra le diverse formazioni della Successione Stratigrafica Pre-quadernaria e le coperture quadernarie e recenti.

4.1.1 Successione stratigrafica pre-quadernaria

La successione stratigrafica pre-quadernaria affiorante nell'area di stretto interesse progettuale comprende le litologie marine e terrigene ascrivibili ad un intervallo temporale compreso nel Mesozoico – Cenozoico (Eocene). I rapporti geometrici tra le diverse formazioni sono spesso di difficile interpretazione perché nascoste dalle estese coltri dei depositi di copertura.

Di seguito vengono descritte le formazioni pre-quadernarie, dalla più antica alla più recente.

Medolo. Si tratta di calcari per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, con letti e noduli di selce e con intercalazioni di più o meno abbondanti di marne fino ad argilliti grigio-verdastre. Localmente è possibile la distinzione nei due membri che la costituiscono: il calcare di Gardone Val Trompia e il Calcare di Domaro. Il limite inferiore è rappresentato dalla Corna o dal Corso o da altre formazioni; il limite superiore è invece rappresentato dalla Formazione di Concesio. La potenza massima stimata è di circa 800 m. La formazione affiora diffusamente lungo tutta l'area, ad una quota che va da quella del Lago di Garda

fino ad un massimo di 210 m nel settore nord. La formazione affiora diffusamente lungo tutta l'area, ad una quota che va da quella del Lago di Garda fino ad un massimo di 210 m nel settore nord. La formazione affiora lungo tutto il taglio stradale della vecchia S.S.45bis Gardesana (Via San Giacomo) che passa a valle delle gallerie esistenti; si presenta come alternanze di calcari selciferi in strati da pochi centimetri a 15 cm di spessore, con marne argillose e scagliose grigio verdastre, fissili. All'interno della formazioni sono presenti liste, arnioni e noduli di selce nera.

Formazione di Concesio. E' costituita da calcari, anche marnosi, e talora più o meno detritici, da grigiastri a nocciola, frequentemente selciosi, a stratificazione evidente, con intercalazioni di marne grigio-verdastre talora abbondanti. Localmente sono distinguibili due membri: i calcari nocciola e calcari medoloidi. La formazione appare molto simile alla F.ne del Medolo, da cui spesso non è facilmente distinguibile. La potenza è variabile fra i 100 e i 300 m, il limite inferiore è rappresentato in generale dal Medolo, mentre superiormente passa alla Formazione di Navone o al Selcifero lombardo. Nell'area di studio la formazione affiora diffusamente al di sopra del Medolo, fino ad una quota massima di 370 m slm nel settore nord. Essa costituisce le imponenti pareti sub-verticali che sovrastano l'imbocco sud della galleria esistente.

Formazione di Navone. La formazione è costituita da calcari marnoso silicei, da grigio chiari a grigio scuri, con selci in prevalenza grigiastre in noduli liste o letti, localmente molto abbondanti, ad evidente stratificazione; sono presenti veli o intercalazioni di litotipi marnoso-argillosi grigio-verdolini. La potenza non raggiunge mai valori molto elevati con caratteri di transizione tra i calcari medoloidi della F.ne di Concesio, coincidente con il limite inferiore, ed il Selcifero lombardo (limite superiore). Nell'area di studio la formazione assume uno spessore medio di 20/25 m e viene dislocata dalle faglie ad alto angolo trasversali alla struttura plicativa; la formazione affiora ad una quota compresa tra un minimo di 270 m slm all'imbocco sud e un massimo 400 m slm nell'area dell'imbocco nord, sempre superiore alla quota di scavo della galleria in progetto.

Selcifero Lombardo. Si tratta di una formazione costituita da radiolariti identificate con selci policrome, con colore che va dal bruno, giallastro, grigio e rosso ruggine, con intercalate marne calcaree e silicee, grigio scuro e grigio verdastro, e selci nere, passanti a marne calcareo-silicee con colorazione grigio verdi, giallastre, e selci verde oliva e arancioni con bordi neri. La formazione si colloca superiormente alla Formazione di Navone ed ha un'età compresa tra il Bajociano superiore e il Titoniano inferiore. Nell'area della galleria in progetto assume uno spessore medio di circa 40 m, affiorando da una quota minima di 270 m slm all'imbocco sud, fino ad una quota massima di 420 m slm nell'area dell'imbocco nord.

Maiolica. Si tratta di calcari bianchi e biancastri, grigi esternamente e bianco latte all'interno, compatti, microcristallini a frattura concoide, ben stratificati, con selci grigio scure e azzurrine in orizzonti o noduli; sono interessate diffusamente da suture stilolitiche e minute fessure riempite di calcite secondaria; il contenuto paleontologico si riferisce a microfossili come Calpionelle e radiolari. Presenza locale di intercalazioni argillose a volte bituminose, nerastre, frequentemente fogliettate, di differente spessore. La Maiolica si colloca al di sopra del Selcifero Lombardo, con una potenza media nell'area di progetto di circa 65 m. Lungo la strada che sale verso l'abitato di Muslone, la Maiolica affiora lungo i tagli di sbancamento di monte, a luoghi ricoperta da una spessa coltre di depositi detritici di alterazione.

Scaglia Lombarda. Suddivisa in tre unità Scaglia Variegata, Scaglia Rossa e Scaglia Cinerea, caratterizzate da marne fogliettate, di colore in prevalenza grigiastro e nerastro, alternatisi inizialmente con altre rosso vinate e grigio verdastre (SV) passante a marne e marne argillose rosa salmone intenso e rosso mattone, con intercalazioni di calcari marnosi compatti e di calcari arenacei (Scaglia rossa-SR); la scaglia cinerea (SC) è rappresentata da marne argillose grigio giallastre, marne, marne calcaree sino a calcari marnosi, ad alterazione grigio cenere, localmente con calcareniti ad elementi organogeni e con quarzo ed olivina. Nell'area di studio, la Formazione è rappresentata esclusivamente dal termine più basso riferito alla Scaglia

Rossa. Essa affiora principalmente, in maniera discontinua, lungo i tagli stradali di Via Muslone, spesso ricoperta dai depositi di alterazione detritica. A tergo del muro della galleria artificiale che si trova prima dell'abitato di San Gaudenzio, realizzata a protezione della caduta massi dalle pareti rocciose sovrastanti, affiora il limite stratigrafico tra la Maiolica e la Scaglia Rossa.

4.1.2 Depositi quaternari e recenti

Depositi morenici. Sono depositi di origine glaciale, costituiti da sedimenti massivi privi di orientazione degli elementi litoidi in forza al meccanismo di messa in posto (ghiacciaio). Si tratta, in generale, di terreni misti, costituiti da ghiaie sabbiose con ciottoli e trovanti esotici e di natura poligenica immersi in una matrice limosa. In generale le morene sormontano il substrato roccioso afferente alla Scaglia lombarda/Maiolica, con spessori modesti. In generale, i depositi morenici sormontano il substrato roccioso afferente alla Scaglia lombarda/Maiolica, ad una quota variabile con potenze variabili, da pochi metri a circa 15-20 m.

Detrito cementato. E' rappresentato da un'alternanza di orizzonti e lenti prevalentemente ghiaiose e/o sabbiose, con ciottoli e trovanti a basso grado di arrotondamento, soggetti a cementazione, che fornisce al deposito una consistenza litoide o pseudolitoide. Questi depositi affiorano limitatamente nella zona dello svincolo della S.P. che sale per Tignale, per uno spessore di circa 2 m, poggianti direttamente sul Medolo. A tratti, sono ricoperti in superficie da una coltre detritica sciolta, di modesto spessore. L'età di riferimento è olocenica.

Coltre eluvio-colluviale e detriti di conoide. Si tratta di terreni eterogenei, a granulometria da ghiaioso-sabbiosa a limoso-argillosa, talvolta anche ciottolosa, con colorazioni variabili da rossastro a bruno giallastro, a basso grado di addensamento, derivati dall'alterazione e smantellamento dei rilievi rocciosi rappresentati dal substrato pre-quaternario (calcarei dolomitici, calcari e marne) e dai depositi morenici. In questo gruppo sono stati accorpate anche i depositi di conoide pedemontana, che hanno subito trasporto per opera dei corsi d'acqua e successivo deposito per gravità, generando una tipica forma a cono/ventaglio. Tali depositi affiorano diffusamente in tutta l'area di studio, principalmente nelle aree a minore pendenza, con spessori variabili da qualche metro a decine di metri. I depositi detritici sono riferiti, anch'essi, all'Olocene.

Depositi antropici. Si tratta di materiali di riporto, eterogeneo e incoerente, costituenti i riempimenti di antiche depressioni morfologiche e i rilevati stradali esistenti.

5. INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche effettuate nelle due campagne di indagini sono le seguenti:

- Campagna 2017:
 - 4 linee di rilievo in sismica a riflessione eseguite sulla sommità dell'ammasso in direzione parallela all'asse della galleria naturale di progetto.
- Campagna 2019:
 - 2 linee di rilievo in sismica a rifrazione e riflessione nelle zone di imbocco.
 - 1 prova Down-Hole condotta all'interno del sondaggio S10 posto in corrispondenza dell'imbocco sud.

5.1 INDAGINI CAMPAGNA 2017

5.1.1 Prove a riflessione e rifrazione

In Tabella 5-1 si riportano le linee sismiche effettuate mediante l'esecuzione di n.4 linee di rilievo.

ID Sezione	Lunghezza (m)
SR1a	289
SR1b	306
SR2a	355
SR2b	355

Tabella 5-1. Indagini geofisiche effettuate.

Di seguito il posizionamento planimetrico delle stese SR1a e SR1b.

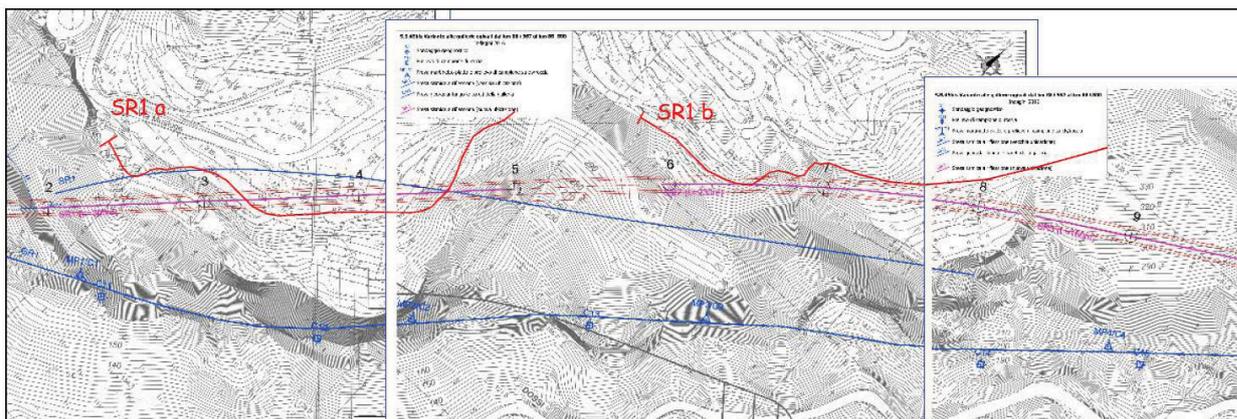


Figura 5-1. Ubicazione stese SR1a e SR1b

Le linee SR2a e SR2b sono sovrapposte di 55 m, pertanto è stato possibile restituire il risultato mediante l'unione delle stesse in un'unica sezione di rilievo della lunghezza totale di circa 655 m.

Di seguito il posizionamento planimetrico delle stese.

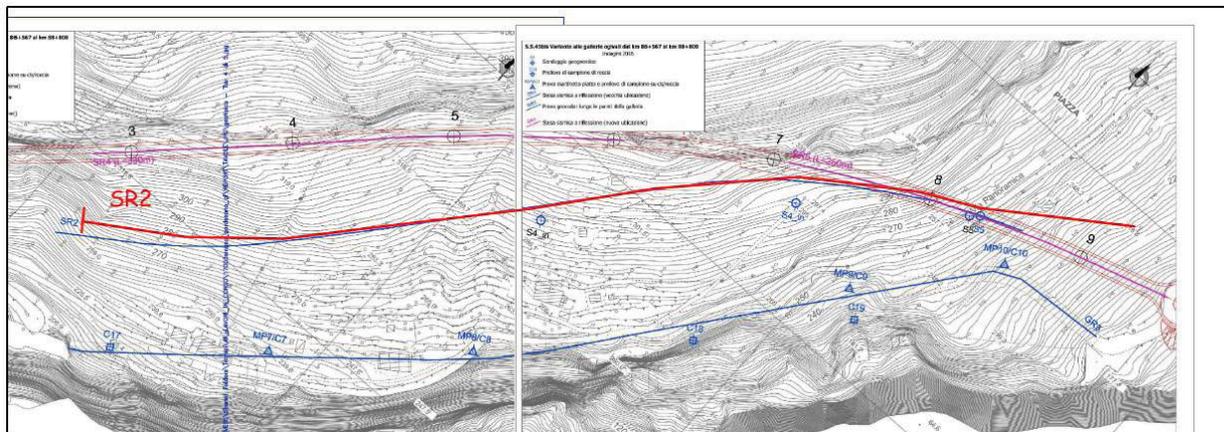


Figura 5-2. Ubicazione stese SR2

Le indagini a riflessione hanno consentito di definire lungo un profilo indagato, tramite la valutazione della velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, le unità litologiche presenti e la loro geometria (spessori e superfici di contatto).

Nella Tabella 5-2 si riporta uno schema riassuntivo dell'esito delle indagini svolte.

STRATO	V (m/s)	T1 (sec)	T2 (sec)	Descrizione
1	800-1200	0.000	0.015	Strato aerato (sciolto)
2	2.600	0.015	0.032	Materiale lapideo (substrato – formazione 1)
3	3.500	0.032	0.150	Materiale lapideo (substrato – formazione 2)
4	>3.500	>0.150		Materiale lapideo ad elevata velocità

Tabella 5-2. Risultati delle indagini sismiche.

Attraverso gli elaborati allegati alle indagini sono stati individuati i principali riflettori:

- riflettore 1 – ha profondità variabili tra 40 e 70 m da pc e definisce l'interfaccia tra strato 2 e strato 3 ovvero tra formazioni lapidee a differente velocità
- riflettore 2 – ha profondità variabili tra 80 e 140 m da pc. Identifica il passaggio a valori di velocità superiori a 3.500 m/sec.
- riflettore 3 – identifica possibili variazioni di competenza all'interno dello strato 4. Tali fenomeni possono essere legati o a variazioni composizionali o a variazioni nello stato di conservazione/degrado (meccanico, ovvero fatturazione) all'interno della medesima formazione. L'orizzonte è posizionato a profondità variabili (non è identificabile con continuità) a oltre 160 m da pc.

Nelle figure sotto il dettaglio di quanto descritto.

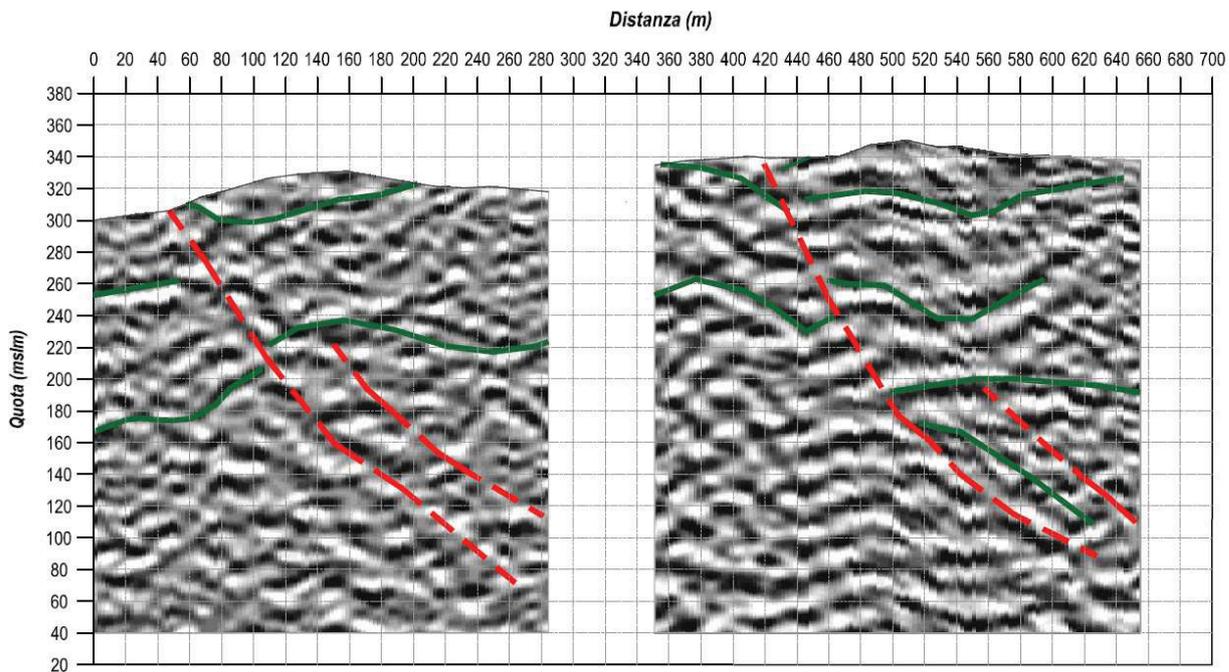


Figura 5-3. Rappresentazione dei principali riflettori. Linea SR1

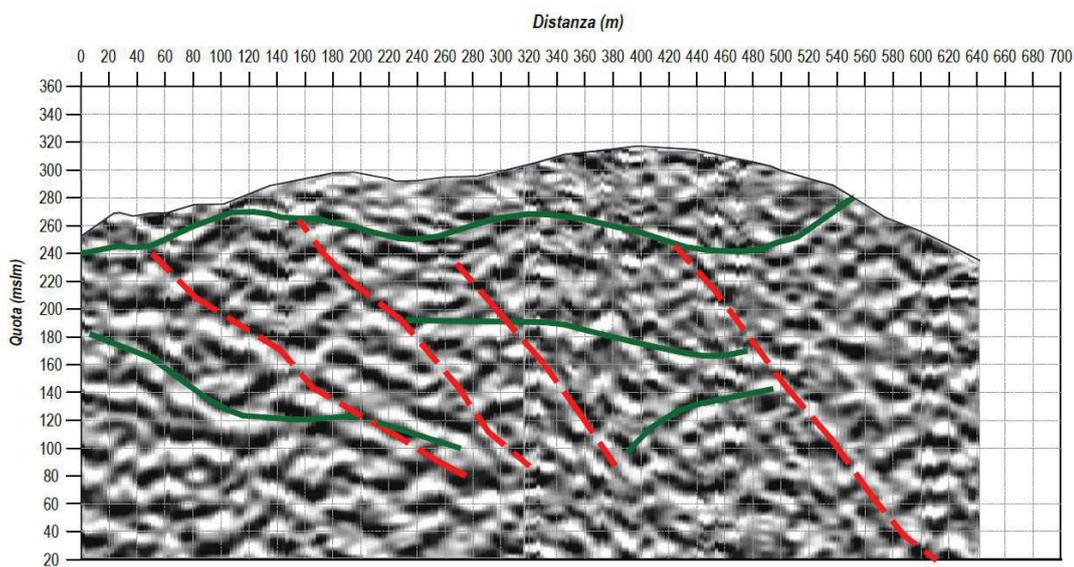
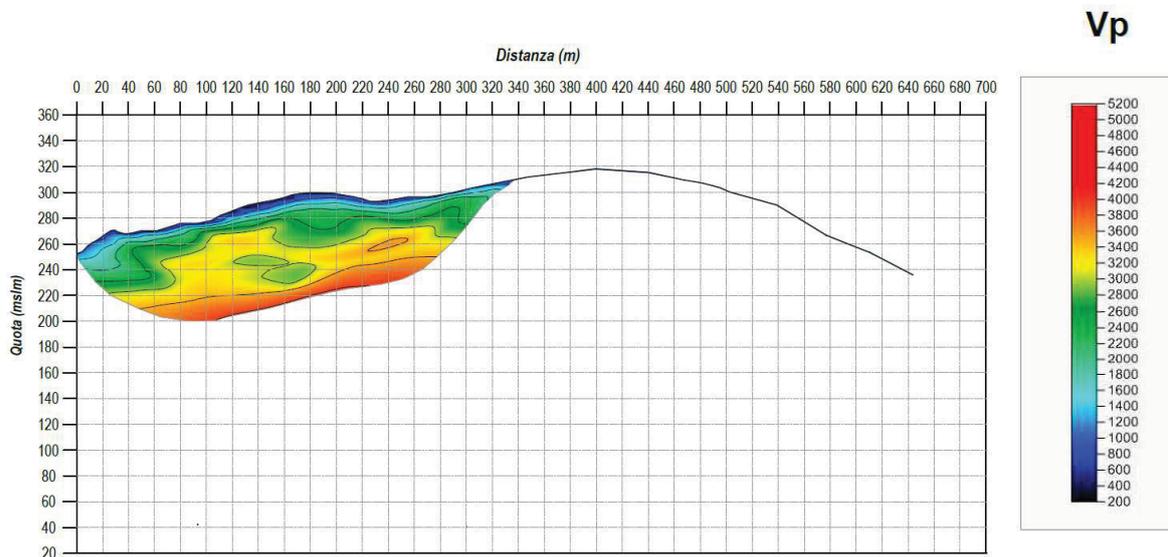


Figura 5-4. Rappresentazione dei principali riflettori. Linea SR2

Per la sezione SR2, interpretata come sismica a rifrazione, è stato possibile ricavare la distribuzione delle velocità Vp in funzione della profondità.



5.2 INDAGINI CAMPAGNA 2019

All'aperto, in corrispondenza degli imbocchi della galleria naturale di progetto sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche:

- 2 linee di rilievo L1 e L2 in sismica a rifrazione Vp, sismica a rifrazione Vs e sismica a riflessione con l'obiettivo di esplorare il sottosuolo per riconoscere l'assetto stratigrafico e strutturale dei corpi geologici. La linea di rilievo L1, lunga 94m è ubicata in corrispondenza dell'imbocco Sud e la linea L2, lunga 117.5m è ubicata in corrispondenza dell'imbocco nord, entrambe disposte trasversalmente al tracciato di progetto.
- 1 prova Down-Hole condotta all'interno del sondaggio S10, effettuata al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, nonché di effettuare una valutazione di parametri quali il rapporto Vp/Vs, coefficiente di Poisson (ρ), modulo di Young (E) e modulo di taglio (G)

Di seguito il posizionamento planimetrico delle indagini elencate.



Figura 5-5. Linea 1 e sondaggio S10 della campagna 2019

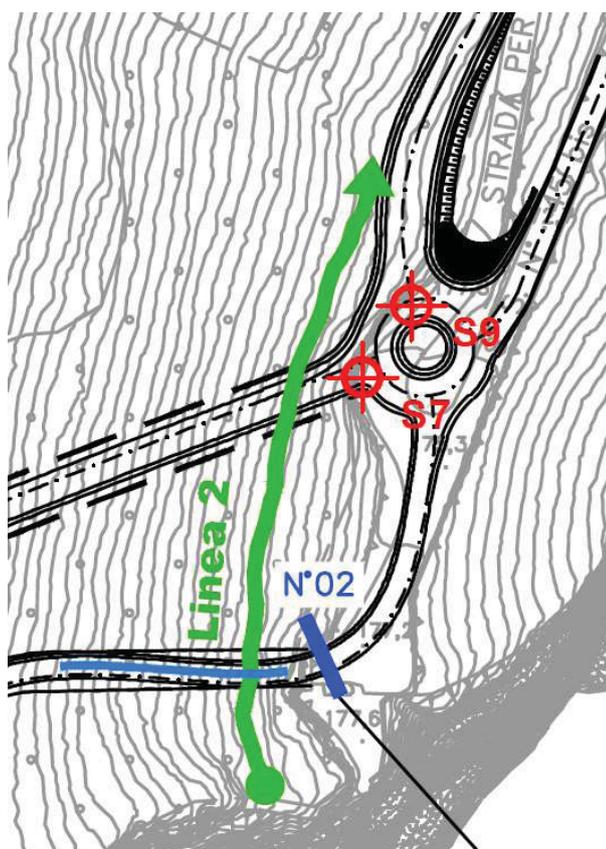


Figura 5-6. Linea 2 campagna 2019

5.2.1 Prove a riflessione e rifrazione

L'indagine geofisica ha previsto l'esecuzione delle seguenti linee di rilievo, di cui si riportano le rispettive lunghezze:

ID SEZIONE	INTERDISTANZA GEOFONICA (m)	LUNGHEZZA (m)	SISMICA A RIFRAZIONE VP E VS	SISMICA A RIFLESSIONE
L1	2,0	94.0	x	x
L2	2,5	117.5	x	x

L'elaborazione del dato sismico a rifrazione ha permesso di individuare un modello del sottosuolo fino a una profondità di circa 20 m per la sismica a rifrazione e circa 80 m per la sismica a riflessione.

L'elaborazione dei dati in sismica a rifrazione ha individuato velocità delle onde di compressione comprese tra 600 - 3800 m/sec e velocità delle onde di taglio comprese tra 100 - 2000 m/sec. In dettaglio:

- Strato 1: valori di velocità delle onde P < 1.000 m/sec (e Vs < 340 m/sec) sono stati riscontrati nei primi metri di sottosuolo (circa 5-8 m da piano campagna);
- Strato 2: Valori di velocità delle onde di compressione comprese tra 1.000-3.000 m/sec (e Vs comprese tra 340 – 1300 m/sec) sono state individuate tra 8-12 m da piano campagna;
- Strato 3: Valori di velocità delle onde P superiori a 3.000 m/sec (e Vs > 1350 m/sec) si riscontrano a profondità superiori a 12 m.

L'analisi delle sezioni sismiche ha messo in evidenza un decremento laterale nei valori di velocità delle onde P e delle onde S a partire da 40 m da inizio linea, sino a circa 60 m.

L'interpretazione del dato a riflessione ha permesso di individuare i seguenti riflettori principali, in entrambe le sezioni sismiche:

- Riflettore 1 – ha profondità variabili tra 5-10 m da pc e definisce l'interfaccia tra strato 1 e strato 2;
- Riflettore 2 – ha profondità variabili tra 8 e 12m da pc. Identifica il passaggio a valori di velocità delle onde P superiori a 3.000 m/sec
- Lineamenti verticali: l'interpretazione del dato a riflessione permette di posizionare lineamenti con andamento sub verticale evidenziati nelle sezioni in sismica a rifrazione da un decremento laterale nei valori di velocità delle onde di compressione e di taglio. Tali lineamenti sono identificati in tavola con linee tratteggiate di colore rosso.

Nelle figure di seguito le distribuzioni di velocità Vs lungo le linee indagate, in funzione della profondità.

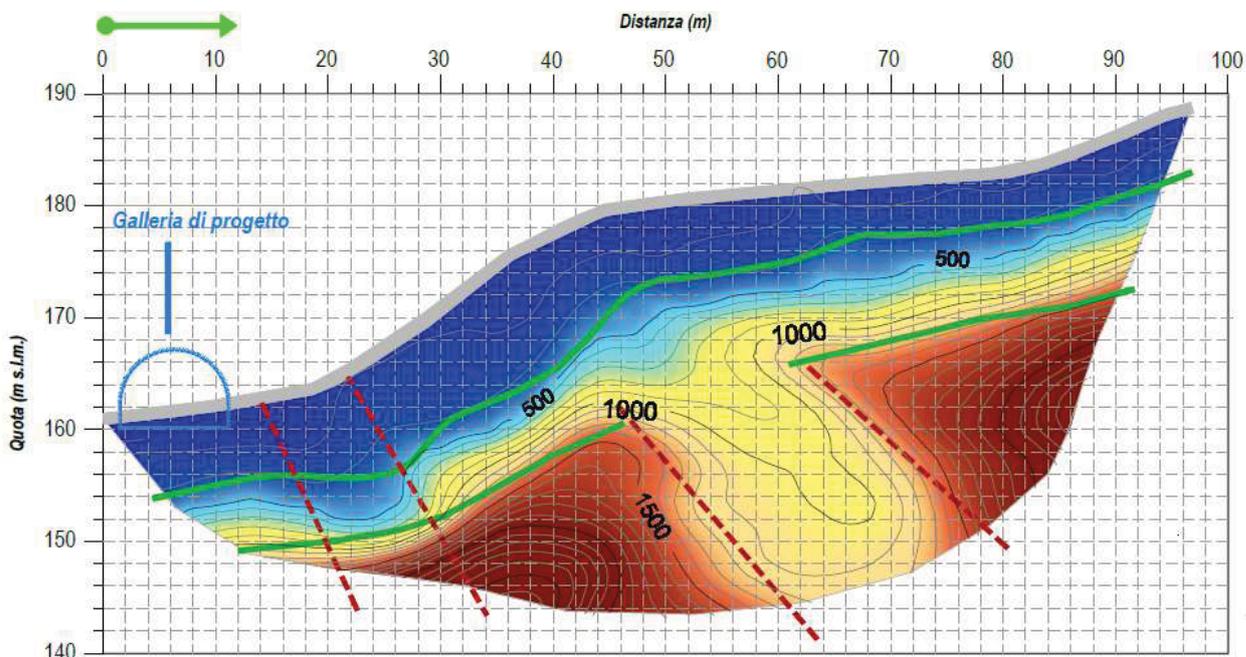


Figura 5-7. Distribuzione Vs Linea 1, Imbocco SUD

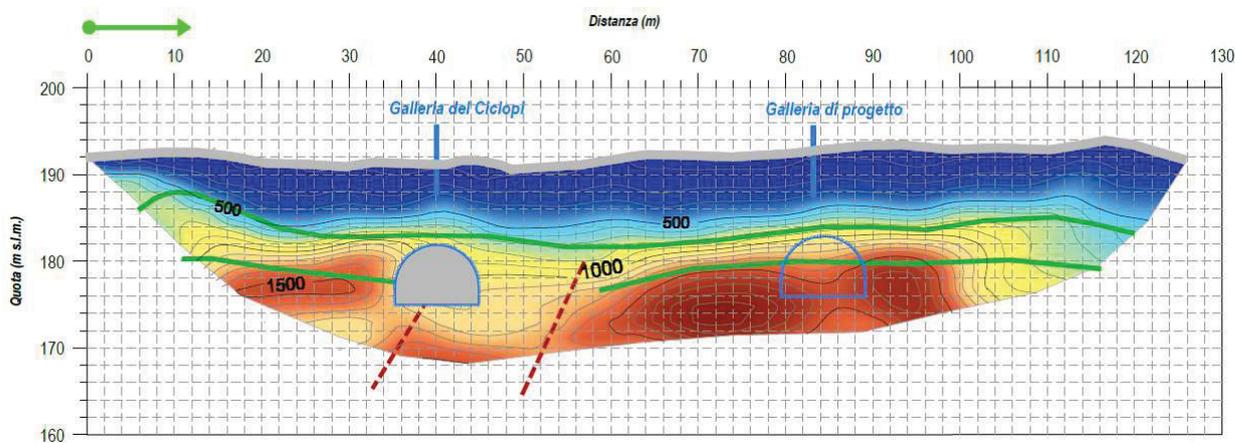


Figura 5-8. Distribuzione Vs Linea 2, Imbocco NORD

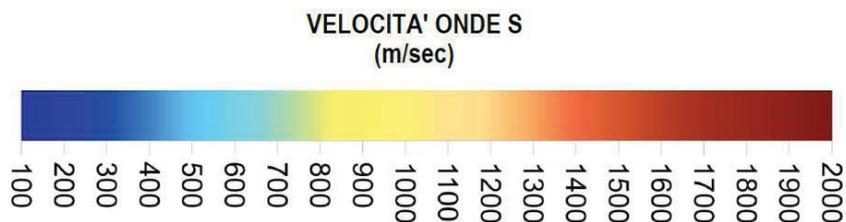


Figura 5-9. Legenda

5.2.2 Down-hole

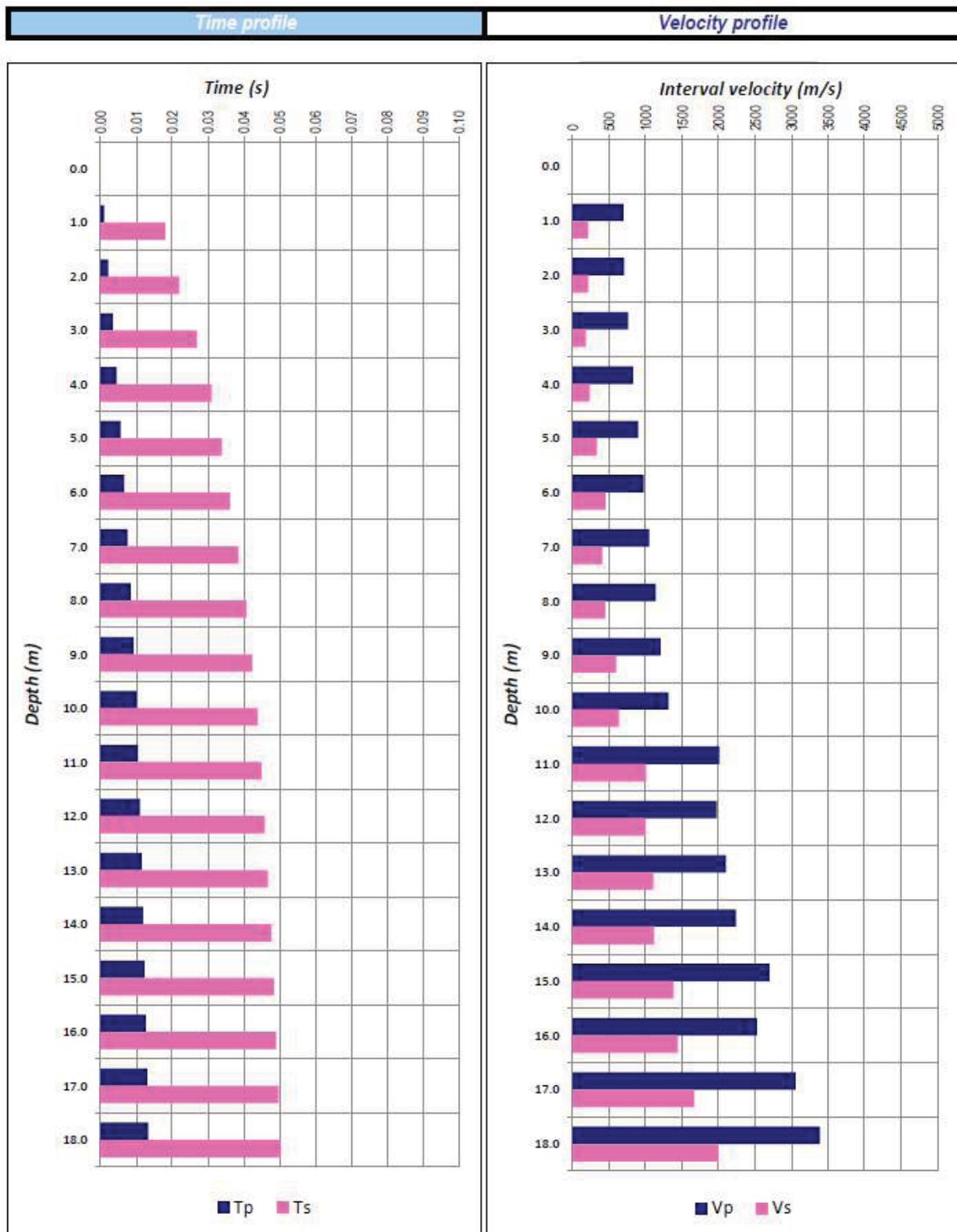
Le indagini down hole sono state eseguite in corrispondenza del foro di sondaggio S10.

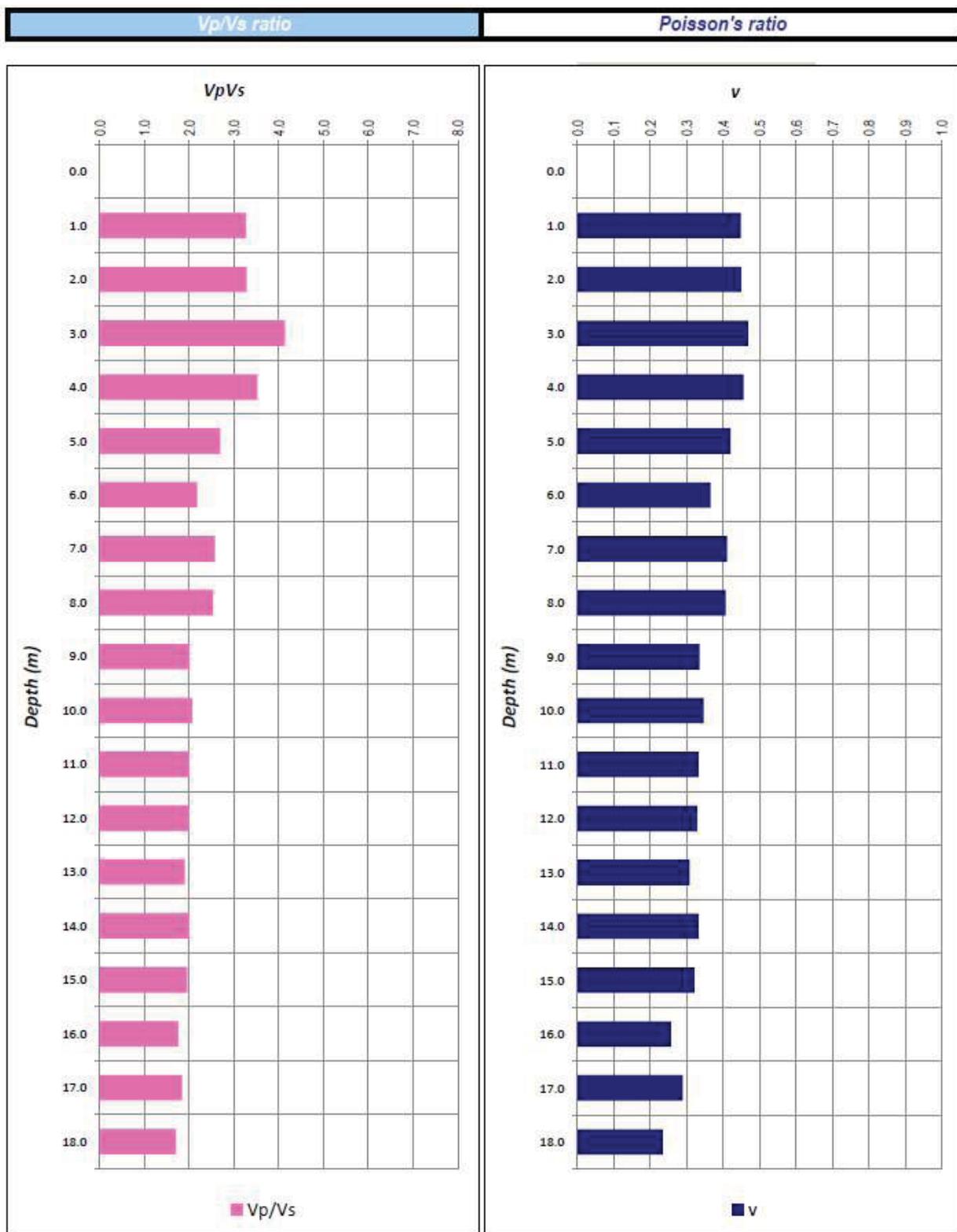
L'indagine mostra valori di velocità di propagazione delle onde di compressione superiori a 600 m/sec fino a valori di velocità massimi pari a circa 3400 m/sec (onde di taglio superiori 210 m/sec sino a massimi di 2000 m/sec). Velocità delle onde di compressione superiori a 1000 m/sec si riscontrano ad una profondità di circa 10 m da quota sondaggio; tale incremento è ricondotto all'interfaccia tra materiale granulare a vario stato di addensamento e materiale roccioso fratturato.

Depth	D	Tp	Ts	Vp	Vs	Vp/Vs
1.0	1.41	0.0010	0.0181	697	214	3.26
2.0	2.24	0.0022	0.0219	707	216	3.28
3.0	3.16	0.0034	0.0269	766	185	4.14
4.0	4.12	0.0045	0.0310	829	235	3.52
5.0	5.10	0.0056	0.0339	899	334	2.69
6.0	6.08	0.0066	0.0361	979	451	2.17
7.0	7.07	0.0076	0.0385	1051	410	2.57
8.0	8.06	0.0084	0.0407	1139	451	2.53
9.0	9.06	0.0092	0.0424	1208	602	2.01
10.0	10.05	0.0100	0.0439	1312	637	2.06
11.0	11.05	0.0105	0.0449	2011	1008	1.99
12.0	12.04	0.0110	0.0459	1973	996	1.98
13.0	13.04	0.0115	0.0468	2100	1108	1.90
14.0	14.04	0.0119	0.0477	2239	1121	2.00
15.0	15.03	0.0123	0.0484	2696	1386	1.95
16.0	16.03	0.0127	0.0491	2525	1444	1.75
17.0	17.03	0.0130	0.0497	3055	1666	1.83
18.0	18.03	0.0133	0.0502	3391	1997	1.70
<i>maximum</i>		0.0133	0.0502	3391	1997	4.14
<i>minimum</i>		0.0010	0.0181	697	185	1.70
<i>average</i>		0.0086	0.0398	1643	803	2.41
<i>standard deviation</i>		0.0039	0.0099	869	557	0.70

PARAMETER	DEFINITION	UNIT OF MEASUREMENT
Depth	depth from land surface	m
D	distance between source and receiver	m
Tp	P waves arrival time	s
Ts	S waves arrival time	s
Vp	P waves interval velocity	m/s
Vs	S waves interval velocity	m/s
Vp/Vs	P velocity and S velocity ratio	

Figura 5-10. Esito Down-Hole





6. INQUADRAMENTO SISMICO

L'inquadramento sismico dell'area di interesse per il tracciato è redatto in accordo alle prescrizioni fornite dalle NTC2018.

Nel seguito verrà descritto brevemente il quadro sismologico dell'area, definendo successivamente l'azione sismica di progetto in accordo alle norme.

6.1 SISMICITÀ STORICA

La Lombardia è caratterizzata da una modesta attività sismica egualmente distribuita sul territorio regionale; dalla mappa della sismicità storica (Figura 6-1), estratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani del 2015 (CPTI15) consultabile dal sito dell'INGV, è possibile evincere che sul territorio sono stati registrati un numero di eventi inferiori a quelli registrati in altre regioni limitrofe, come ad esempio l'Emilia Romagna.

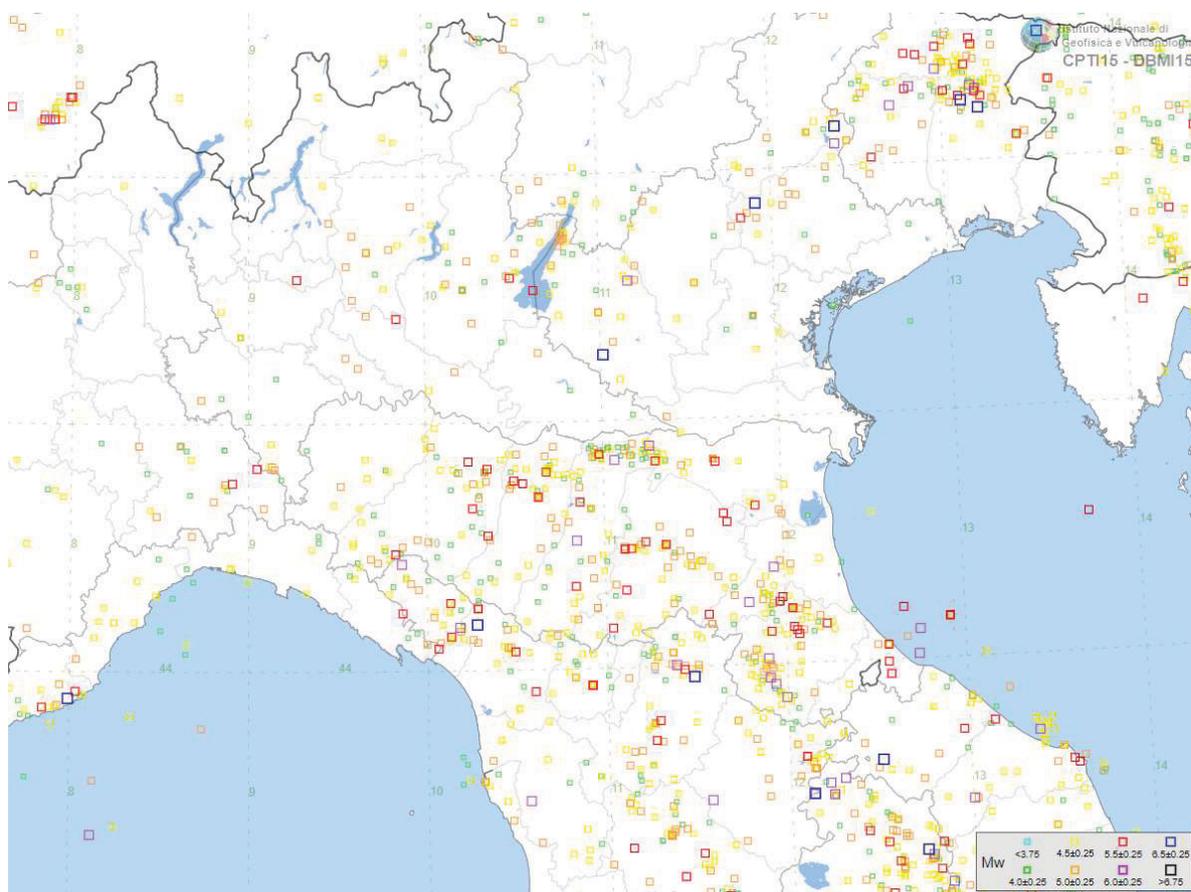


Figura 6-1. Terremoti con intensità massima $\geq 4,0$ d'interesse per la Lombardia nella finestra temporale 1000-2014. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (fonte <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Gli eventi storici registrati mostrano intensità variabili con magnitudo momento compresa tra 3,7 e 5,68. In Tabella 6-1 sono riportati gli eventi storici registrati in Lombardia con $M > 4$ dall'anno 1000.

Data	Area epicentrale	I_0	M_w	Data	Area epicentrale	I_0	M_w
27/03/1065	Brescia	7	5.1	22/12/1891	Valtellina	5-6	4.41
25/12/1122	Bresciano-Veronese	7-8	5.68	05/01/1892	Garda occidentale	6-7	4.96
18/12/1304	Pianura lombarda	5-6	4.4	27/11/1894	Bresciano	6	4.89
14/10/1312	Pianura lombarda	5	4.16	16/11/1898	Garda occidentale	6	4.63
26/11/1396	Monza	7-8	5.33	23/01/1901	Oltrepò Pavese	5	4.23
15/08/1471	Brescia	5	4.16	30/10/1901	Garda occidentale	7-8	5.44
08/02/1512	Valchiavenna	6	4.63	24/12/1909	Garda occidentale	5	4.17
01/09/1540	Brescia	5	4.16	22/01/1910	Pianura lombardo-veneta	4-5	4.02
26/09/1576	Bergamo	5-6	4.4	13/01/1918	Pianura lombarda	4	4.22
08/03/1593	Bergamo	6-7	4.86	24/04/1918	Lecchese	6	4.74
22/08/1606	Bergamo	6-7	4.86	19/07/1918	Mantovano	4	4.06
13/06/1642	Pianura lombarda	6	4.92	06/10/1920	Mantovano	4-5	4.14
12/03/1661	Prealpi bergamasche	6-7	4.86	23/03/1934	Lago d'Iseo	5	4.31
06/07/1693	Mantovano	7	5.23	31/07/1936	Garda orientale	5	4.21
12/12/1719	Valli Giudicarie	5	4.16	07/06/1937	Alpi Retiche	6	4.63
15/08/1771	Pianura lombarda	5	4.16	14/06/1945	Oltrepò Pavese	6-7	4.9
31/03/1774	Bresciano	5-6	4.4	29/06/1945	Oltrepò Pavese	7-8	5.25
10/09/1781	Pianura lombarda	6-7	4.93	15/12/1945	Oltrepò Pavese	6	4.72
30/03/1784	Oltrepò Pavese	5	4.16	19/07/1948	Garda settentrionale	5	4.42
07/04/1786	Pianura lombarda	6-7	5.22	15/05/1951	Lodigiano	6-7	5.17
29/05/1799	Bresciano	6-7	5.04	22/08/1952	Lomellina	4	4.11
12/05/1802	Valle dell'Oglio	8	5.6	19/02/1960	Valli Giudicarie	6	4.81
04/02/1824	Oltrepò Pavese	5	4.49	23/11/1961	Prealpi bergamasche	6-7	4.86
24/06/1826	Garda occidentale	5	4.62	19/04/1970	Garda occidentale	5	4.33
11/11/1826	Pavia	5	4.16	09/02/1979	Bergamasco	6	4.81
06/09/1829	Cremona	5-6	4.4	17/11/1979	Lago d'Iseo	5-6	4.61
09/08/1839	Brescia	5	4.16	24/05/1987	Garda occidentale	6	4.63
05/02/1851	Valtellina	5	4.72	09/12/1993	Lago d'Iseo	5	4.18
14/02/1879	Garda occidentale	5	4.62	29/10/1995	Lago d'Iseo	5-6	4.35
27/02/1882	Valle Seriana	6-7	4.81	13/11/2002	Franciacorta	5	4.43
12/09/1884	Pianura lombarda	6	4.7	24/11/2004	Garda occidentale	7-8	5.38
26/02/1885	Pianura Padana	6	5.01				

Tabella 6-1. Eventi storici registrati in Lombardia nell'arco temporale 1000+2014 (fonte CPTI 2015).

Per descrivere in maniera più dettagliata la sismicità dell'area di seguito si riportano, in forma tabellare, gli effetti risentiti nel sito, così come estratti dal DBMI15, il database delle osservazioni macrosismiche dei

terremoti italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI₁₅ (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>).

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli effetti risentiti nel Comune di Gargnano.

I_s [MCS]	Data	Area epicentrale	I_0	M_w
5	11/08/1866	Monte Baldo	7	4.96
5	29/04/1876	Monte Baldo	7	5.07
3-4	29/05/1876	Monte Baldo		
5	14/02/1879	Garda occidentale	5	4.62
4	23/02/1887	Liguria occidentale	9	6.27
5-6	07/06/1891	Valle d'Ilasi	8-9	5.87
5	05/01/1892	Garda occidentale	6-7	4.96
3-4	04/03/1898	Parmense	7-8	5.37
NF	04/03/1900	Asolano	6-7	5.05
5-6	30/10/1901	Garda occidentale	7-8	5.44
4-5	25/04/1907	Veronese	6	4.79
NF	24/12/1909	Garda occidentale	5	4.17
5	27/10/1914	Lucchesia	7	5.63
3-4	14/04/1931	Valli Giudicarie	6	4.77
4	19/02/1932	Garda orientale	7-8	5.16
5	31/07/1936	Garda orientale	5	4.21
3-4	19/02/1960	Valli Giudicarie	6	4.81
3	23/11/1961	Prealpi bergamasche	6-7	4.86
5	11/01/1975	Monte Baldo	5-6	4.42
4	13/12/1976	Garda settentrionale	7	4.9
6	24/05/1987	Garda occidentale	6	4.63
4	13/09/1989	Prealpi Vicentine	6-7	4.85
2-3	17/07/2001	Val Venosta	5-6	4.78
5-6	24/11/2004	Garda occidentale	7-8	4.99

Tabella 6-2. Catalogo sismico di sito di Gargnano. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2015 (I_0 = intensità epicentrale; M_w = magnitudo; I_s = intensità risentita al sito).

Nonostante il catalogo sismico ricopra un intervallo tempo di oltre 1000 anni (Figura 6-2), tutti gli eventi registrati si sono concentrati nell'arco di due secoli, tra il 1866 e il 2004, anche per via della maggiore accuratezza e della completezza dei documenti storici rinvenuti.

In particolare, nell'area esaminata, sono stati registrati 24 eventi sismici, di cui la maggior parte con una magnitudo compresa tra 4.5 e 5.5.

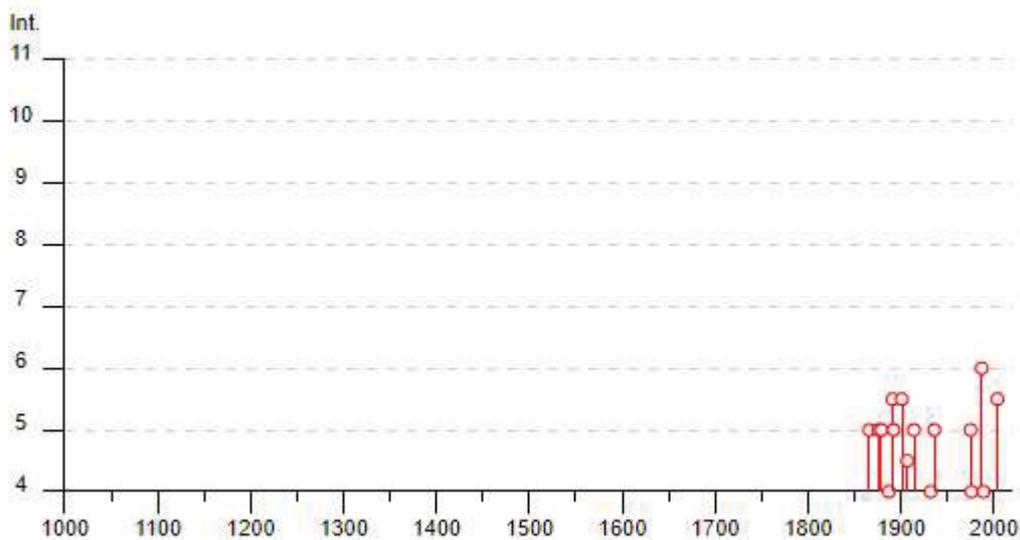


Figura 6-2. Distribuzione delle intensità risentite al sito (I_s) dei terremoti verificatisi nell'area dal 1000 al 2014.

La Figura 6-3 mostra la distribuzione areale degli eventi sismici registrati.

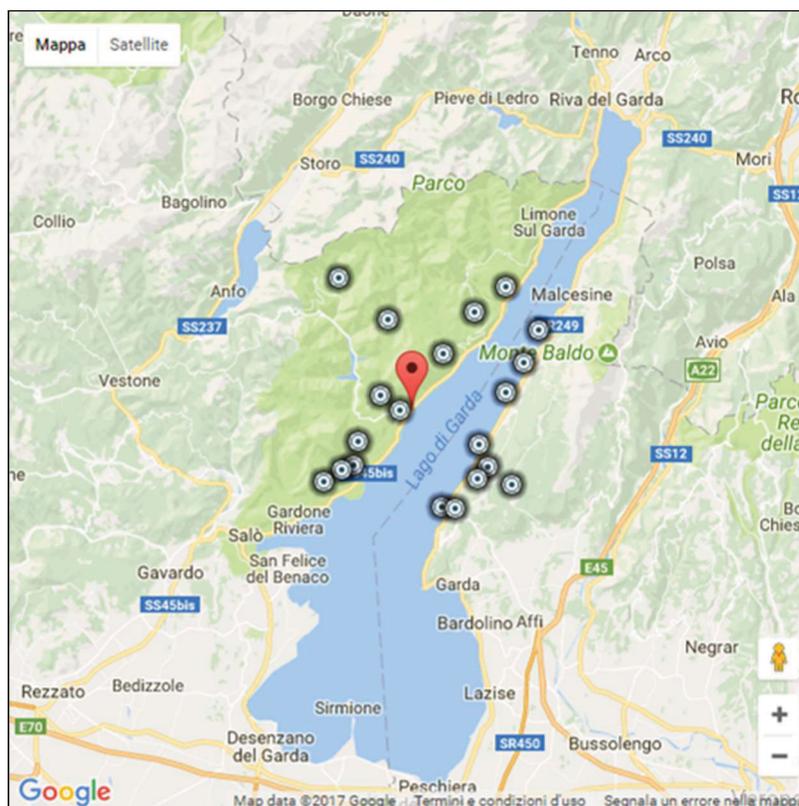


Figura 6-3 – Distribuzione areale degli eventi sismici riferiti all'area di studio, riportati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani del 2015 (CPTI15) consultabile dal sito dell'INGV.

6.2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Tale aspetto è da intendersi come "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: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

Negli ultimi anni si sono succeduti provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

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 risposta 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 (Tabella 6-3).

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 6-3. 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 rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

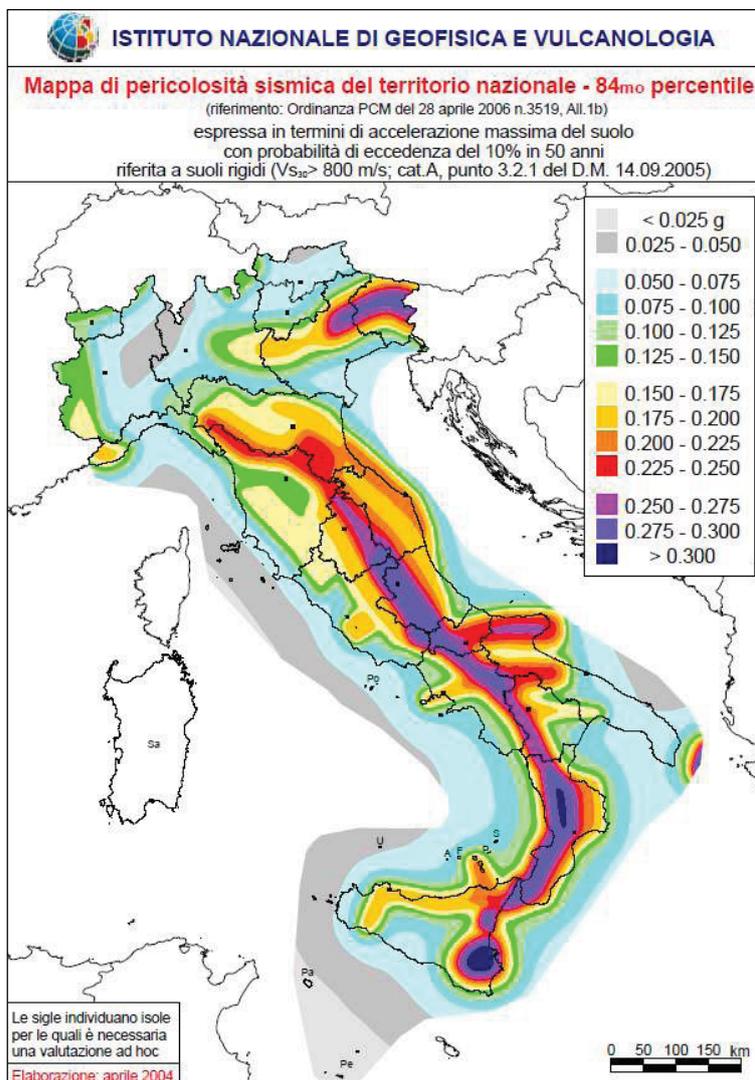


Figura 6-4 – Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto amministrativo, per la gestione pianificativa e di controllo dello stesso.

Per quanto concerne i valori di pericolosità sismica del territorio, è stata consultata la cartografia prodotta dal Gruppo di Lavoro MPS (2004) che riporta la PGA (peak ground acceleration, componente orizzontale) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{seq} > 800$ m/s): "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004".

Il valore massimo della PGA su roccia nella zona di interesse progettuale è strettamente dipendente dal periodo di riferimento dell'opera e dalla probabilità di eccedenza connessa allo stato limite selezionato. Le mappe interattive redatte dall'INGV permettono di identificare i valori di accelerazione corrispondenti ad una determinata probabilità di eccedenza in 50 anni. Nel caso in esame, le costruzioni avranno una VR > 50 anni,

pertanto allo SLV la frequenza di superamento sarà inferiore a 0.0021 1/anni (corrispondente a T_r 475 anni). Ne consegue che l'accelerazione su suolo rigido sarà superiore all'intervallo di valori 0.150g - 0.175g (Figura 6-5).

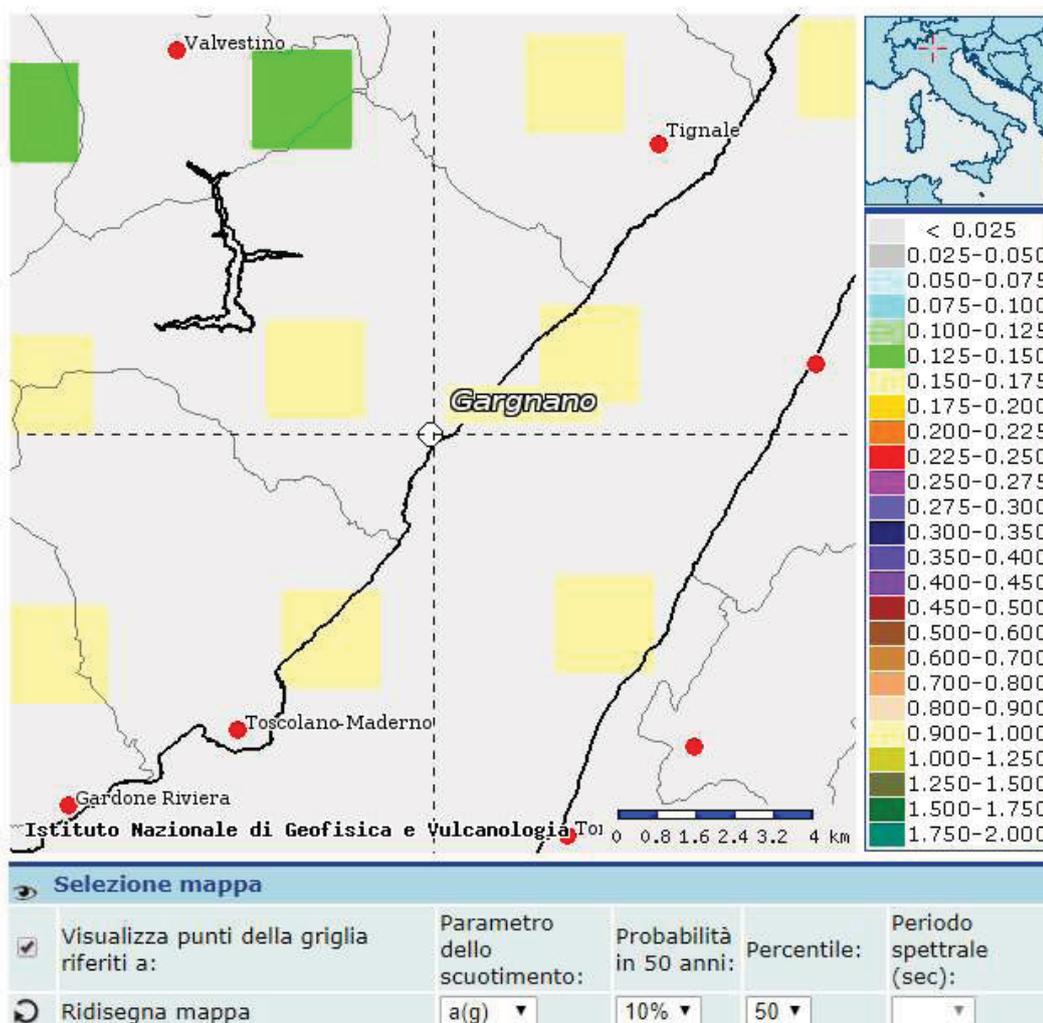


Figura 6-5 – Estratto dalla carta dei "Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferita all'area di interesse progettuale, corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_r = 475$ anni) (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Infine, attraverso la consultazione del DISS "Database of Individual Seismogenic Sources", realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, è stato possibile inquadrare l'area di studio sotto il profilo sismogenetico. Il DISS contiene molte informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane con un potenziale per terremoti di $M > 5.5$, oltre a dati geografici, sismologici, geologici e tettonici. Da questo applicativo si evince che il territorio del Comune di Gargnano ricade nei pressi dell'area denominata: ITICo48 Giudicarie.

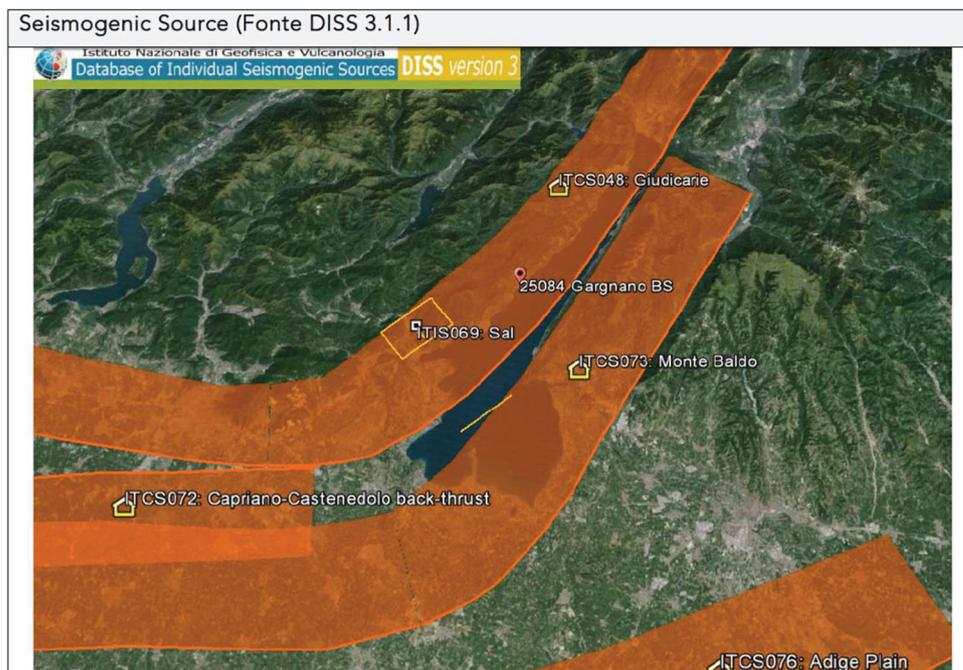


Figura 6-6 – Mappa sismogenetica dell'area ottenuta dalla consultazione del DISS "Database of Individual Seismogenic Sources", realizzato dall'INGV.

6.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

6.3.1 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Il dimensionamento delle opere è stato effettuato con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia alla vita (SLV, "la costruzione subisce crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali").

Al fine della valutazione dell'azione sismica di progetto sono stati definiti i seguenti parametri prestazionali richiesti:

1. Vita nominale: l'opera in progetto ricade all'interno del tipo di costruzione 2: "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari" (paragrafo 2.4 delle "Aggiornamenti delle Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17 Gennaio 2018").
2. Classe d'uso.
3. Periodo di riferimento dell'azione sismica: le azioni sismiche vengono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U della costruzione:

$$V_R = V_N \times C_U$$

Le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente è pari al 10% nel caso dello stato limite ultimo SLV.

6.3.1.1 Opere definitive

Nel caso in esame per le opere definitive si è assunto:

- Vita nominale: **50** anni
- Classe d'uso: **IV**
- Coefficiente d'uso: **2**
- Periodo di riferimento: **100** anni

6.3.1.2 Opere provvisoriale

Nel caso in esame per le opere definitive si è assunto:

- Vita nominale: **10** anni
- Classe d'uso: **IV**
- Coefficiente d'uso: **2**
- Periodo di riferimento: **35** anni

6.3.2 Definizione categorie topografiche

Il tracciato si sviluppa in territorio montano, con un paesaggio molto eterogeneo che passa da particolarmente aspro in corrispondenza dei rilievi dolomitico-carbonatici, a forme più smussate e arrotondate in corrispondenza delle litologie marnose più erodibili o delle coperture quaternarie. Dai rilievi geomorfologici è emerso che l'inclinazione media dei pendii è superiore a 15° , pertanto si assume:

Categoria topografica: T2

6.3.3 Definizione categorie di sottosuolo

L'intervento in progetto, come già visto, ricade in territorio montano con affioramenti rocciosi diffusi lungo il percorso. L'evidenza sperimentale porta a classificare il sito, secondo quanto riportato nella tabella 3.2. II del DM 17/01/2018, come categoria variabile in funzione della posizione e dell'opera prevista.

In particolare si assume una differente categoria di sottosuolo per le strutture in corrispondenza dell'imbocco sud e per galleria/imbocco nord, in funzione della presenza delle unità interessate dal volume significativo interessato dalle opere.

L'unità presente in tutta l'area è costituita dall'ammasso calcareo e, come emerge dalla prova Down-Hole eseguita in campagna 2019, si caratterizza per velocità Vs molto elevate (maggiori di **1300** m/s), ben superiori al valore di **800** m/s di riferimento stabilito dalla norma per definire il substrato sismico.

Come emerge dagli studi geologici/geotecnici di progetto, all'Imbocco Sud, al di sopra del substrato è presente una coltre di terreno sostanzialmente granulare di spessore massimo pari a 15 m.

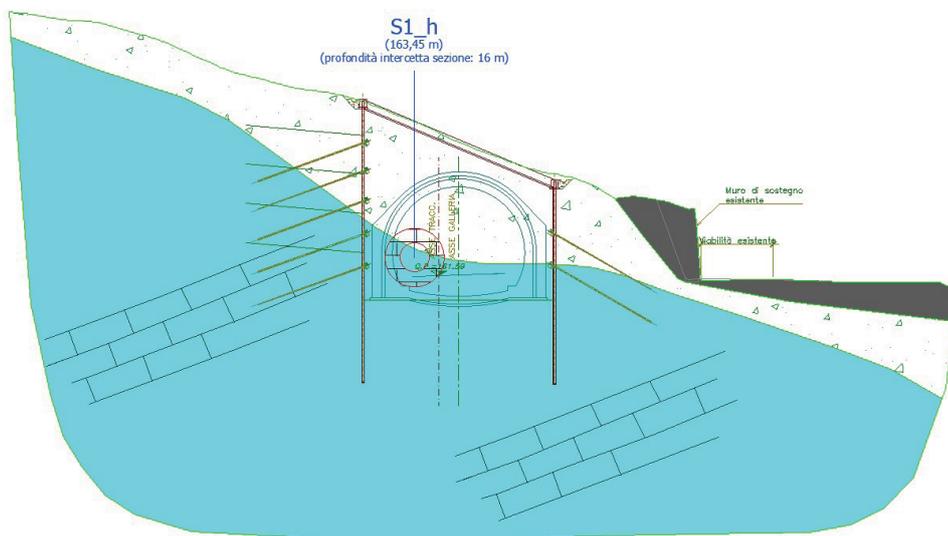


Figura 6-7 – Sezione geologica trasversale Imbocco Sud

Per la determinazione della categoria di sottosuolo delle opere d'imbocco Sud si è determinata la $V_{S,eq}$ secondo l'espressione fornita dalla norma:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

STRATO	z_sup [m]	z_inf [m]	z_medio	Velocità V_s [m/s]	h _i [m]	h _i / $V_{s,i}$ [s]
1	0	1	0.5	214	1	0.005
2	1	2	1.5	216	1	0.005
3	2	3	2.5	185	1	0.005
4	3	4	3.5	235	1	0.004
5	4	5	4.5	334	1	0.003
6	5	6	5.5	451	1	0.002
7	6	7	6.5	410	1	0.002
8	7	8	7.5	451	1	0.002
9	8	9	8.5	602	1	0.002
10	9	10	9.5	637	1	0.002
11	10	11	10.5	1008	1	0.001
12	11	12	11.5	996	1	0.001
13	12	13	12.5	1108	1	0.001
14	13	14	13.5	1121	1	0.001
15	14	15	14.5	1386	1	0.001
16	15	16	15.5	1444	1	0.001
17	16	17	16.5	1666	1	0.001
18	17	18	17.5	1997	1	0.001
					10.0	

$V_{s,eq}$ [m/s] 312

Il valore ottenuto dal calcolo è pari a 312 m/s, ascrivibile alla Cat C, ma considerato che la profondità del substrato è inferiore a 30 m, la categoria di riferimento è:

Categoria di sottosuolo: E

All'imbocco Nord, e salendo lungo la trincea di progetto, l'ammasso è in molte parti affiorante o coperto da coltri di spessore pari a 3-4 m, a volte cementate.

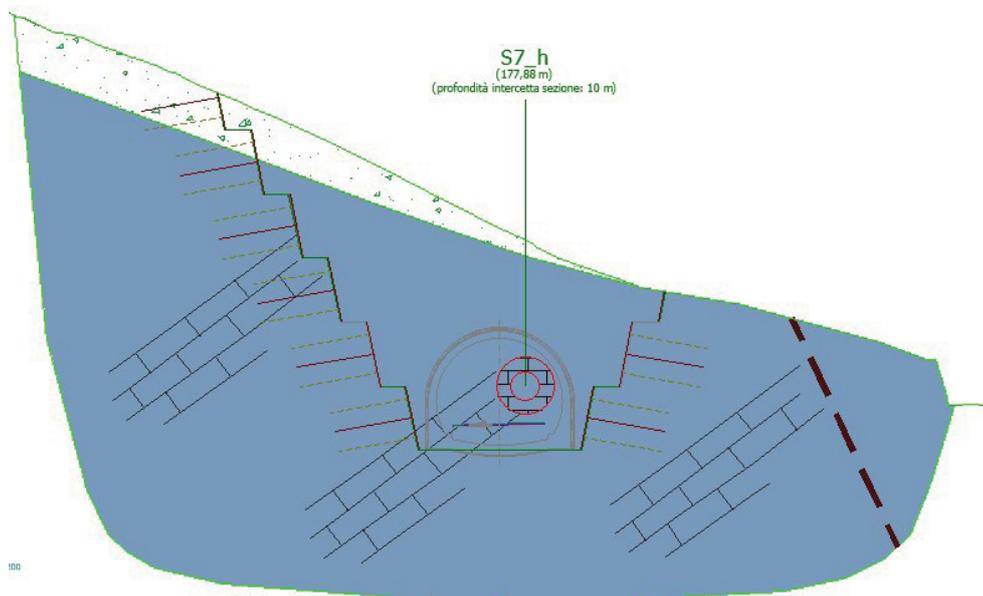


Figura 6-8 – Sezione geologica trasversale Imbocco Nord

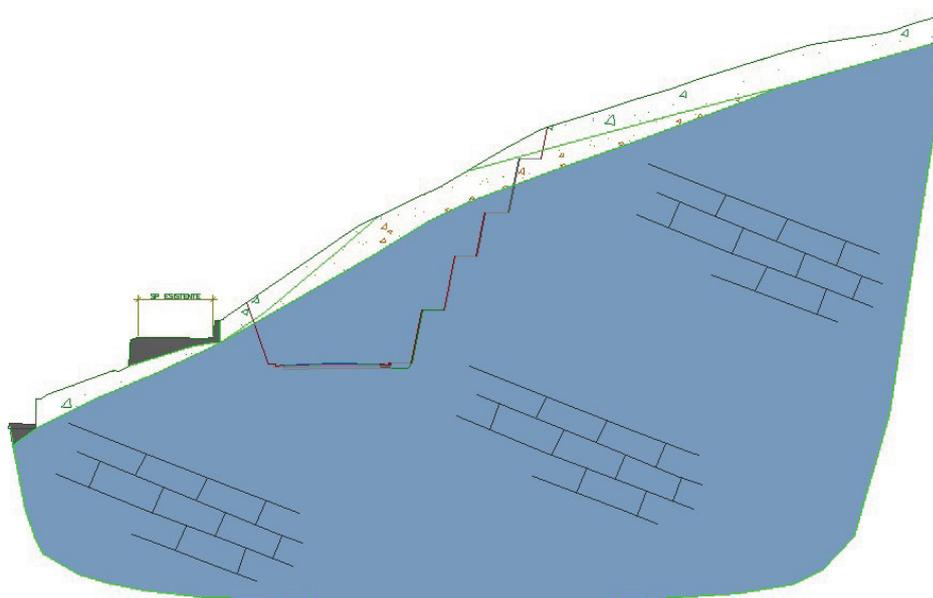


Figura 6-9 – Sezione geologica trasversale Trincea Nord

Per quanto osservato, alla luce del tipo di opere previste (galleria e trincea profonda) si considera lecito assumere

Categoria di sottosuolo: A

Tuttavia, cautelativamente, per i calcoli di dimensionamento delle opere, si assume:

Categoria di sottosuolo: B

6.3.1 Azioni sismiche di progetto

Considerando l'ubicazione del sito in oggetto (Long: 10.700; Lat: 45.700) e il periodo di riferimento VR prima riportato si ottengono i seguenti risultati, distinti per imbocco (lato sud e lato nord) e per tipologia di opera (definitiva e provvisionale).

6.3.1.1 Opere imbocco sud

Strutture definitive

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

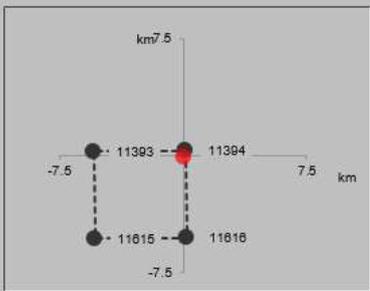
Grafici spettri di risposta ▶▶

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".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

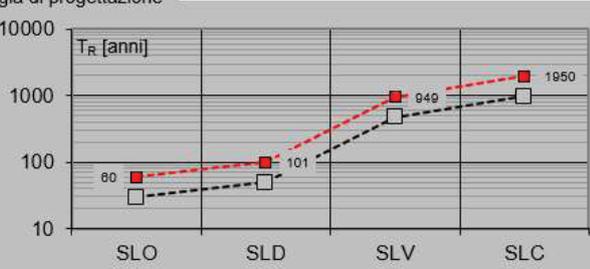
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	60
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	101
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	949
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	1950

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	80	80
SLD	101	101
SLV	949	949
SLC	1950	1950

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **E** info
 Categoria topografica: **T2** info

$S_S = 1.444$ $C_C = 1.921$ info
 $h/H = 1.000$ $S_T = 1.200$ 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 $q_e = 1.5$ Regol. in altezza: **no** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore $q_v = 1.5$ $\eta = 0.667$ info

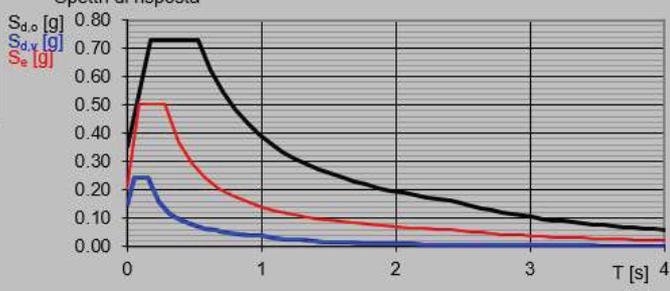
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ➔
 Parametri e punti spettri di risposta ➔

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

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

Spettri di risposta

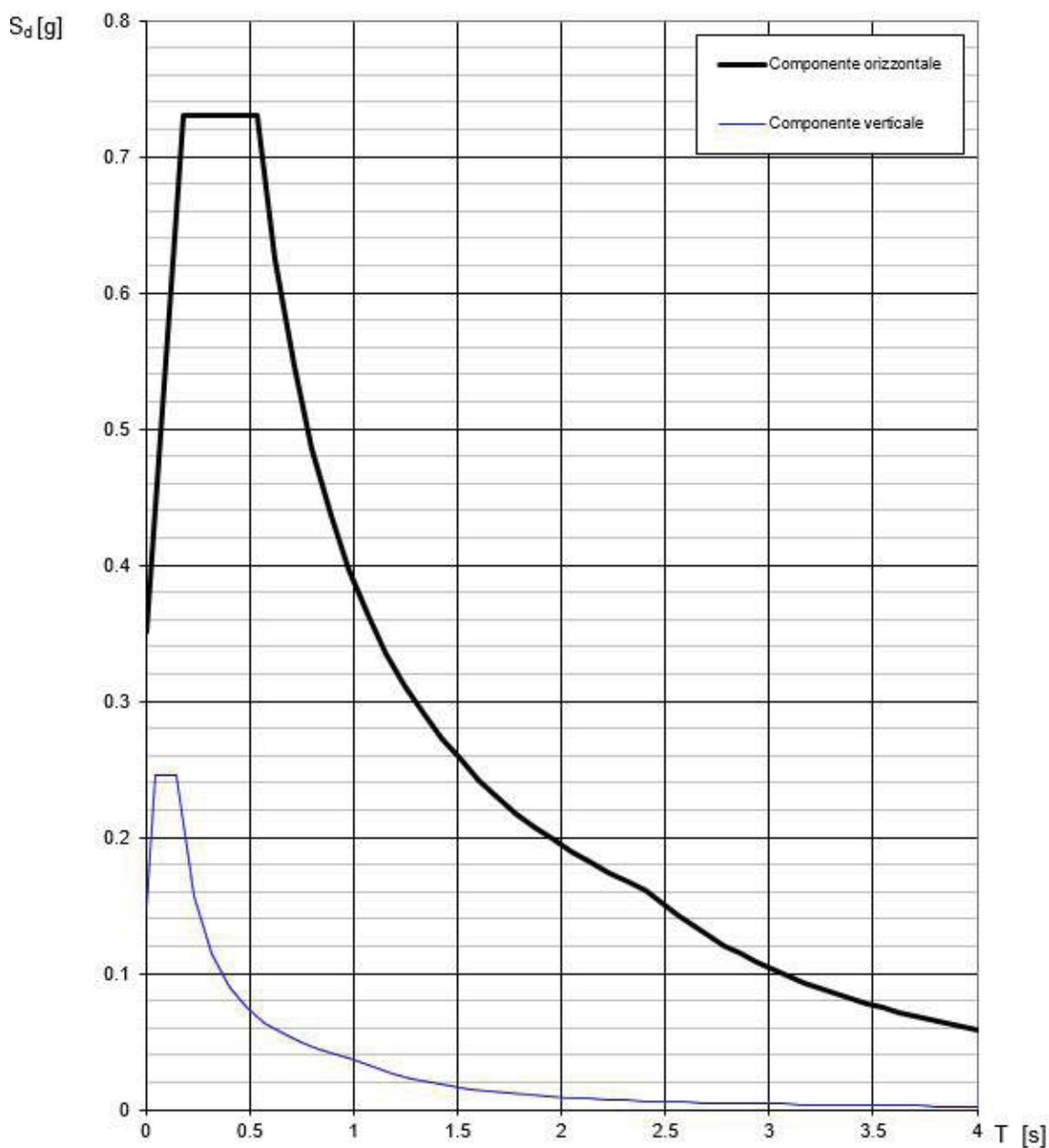


$T [s]$ 4

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Ai fini delle verifiche delle strutture lo stato limite di riferimento è quello di Salvaguardia della vita SLV.

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



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.062	2.483	0.246
SLD	101	0.081	2.488	0.253
SLV	949	0.202	2.495	0.277
SLC	1950	0.264	2.420	0.288

Opere provvisionali

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

Ricerca per comune

LONGITUDINE

LATITUDINE

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

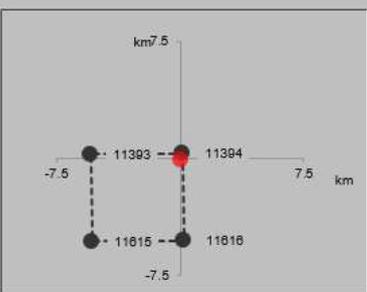
Interpolazione corretta



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



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

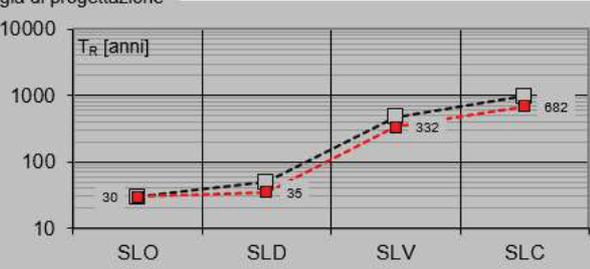
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	30
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	35
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	332
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	682

Elaborazioni

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

Strategia di progettazione



Stato	Strategia per costruzioni ordinarie (Tr [anni])	Strategia scelta (Tr [anni])
SLO	30	30
SLD	35	35
SLV	332	332
SLC	682	682

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **E** info
 Categoria topografica: **T2** info
 $S_s = 1.600$ info $C_c = 1.939$ info
 $h/H = 1.000$ info $S_T = 1.200$ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) = **5** info $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore $q_o = 1.5$ info Regol. in altezza: **no** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore $q = 1.5$ info $\eta = 0.667$ info

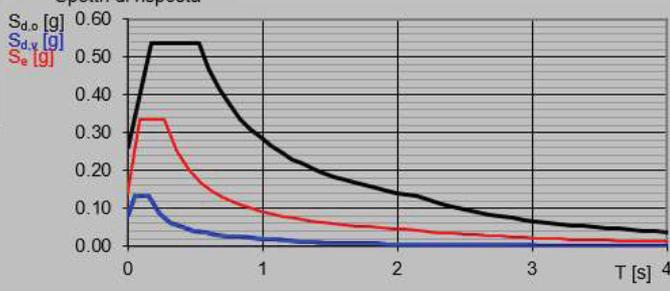
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ▶▶▶
 Parametri e punti spettri di risposta ▶▶▶

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

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

Spettri di risposta



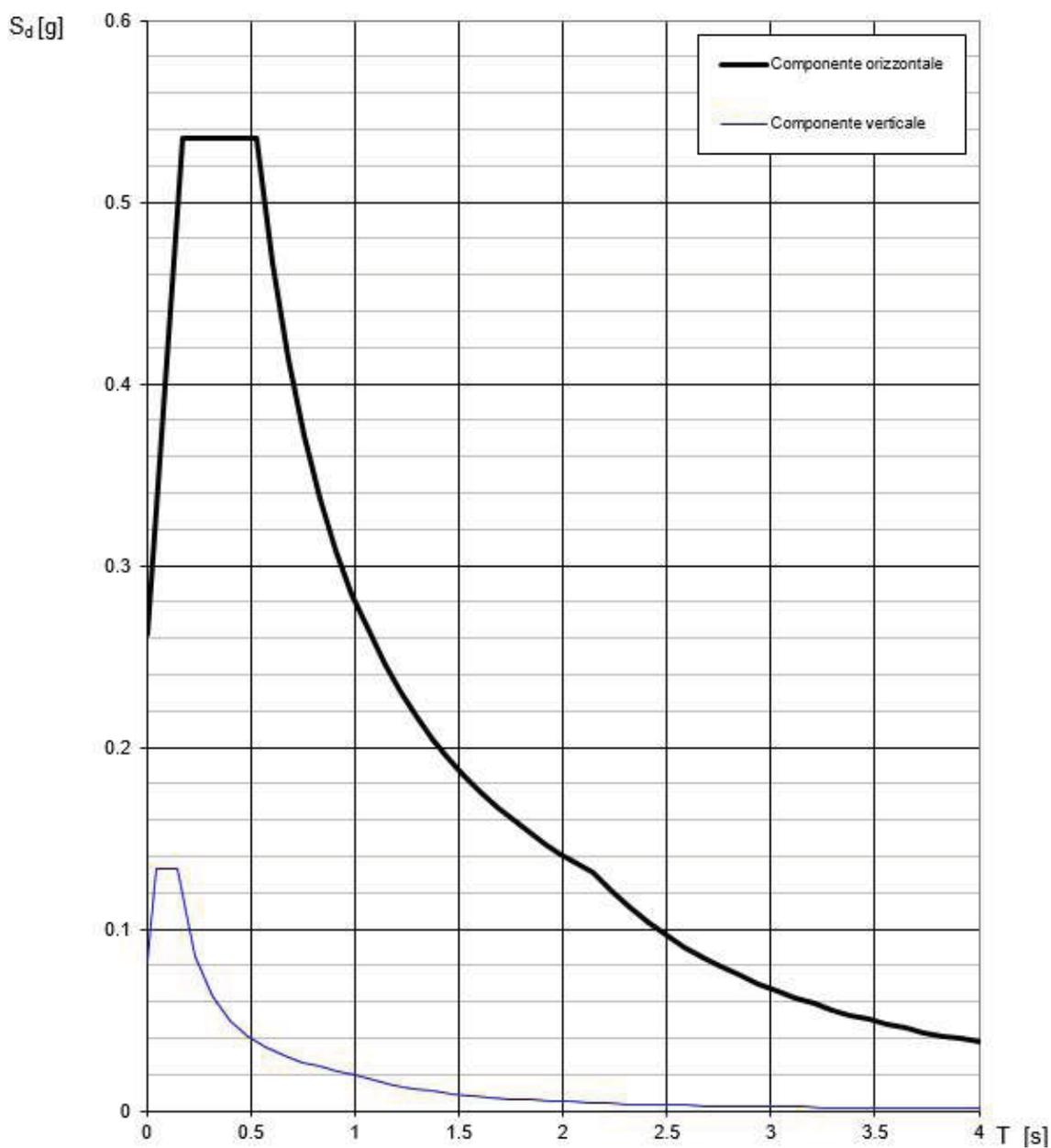
$S_{d,o}$ [g] 0.60
 $S_{d,v}$ [g] 0.50
 S_e [g] 0.40
 0.30
 0.20
 0.10
 0.00

T [s] 4

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Ai fini delle verifiche delle strutture lo stato limite di riferimento è quello di Salvaguardia della vita SLV.

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



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.042	2.494	0.232
SLD	35	0.046	2.488	0.236
SLV	332	0.137	2.449	0.271
SLC	682	0.180	2.474	0.277

6.3.1.1 Opere imbocco nord

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

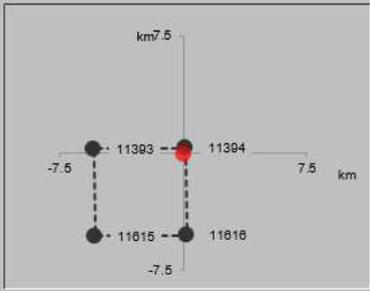
Grafici spettri di risposta |>

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".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

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="60"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="101"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="949"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1950"/>

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	80	80
SLD	101	101
SLV	949	949
SLC	1950	1950

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
 Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo **B** info
 Categoria topografica **T2** info

$S_s = 1.198$ $C_c = 1.422$ info
 $h/H = 1.000$ $S_T = 1.200$ 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 **1.5** Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1.5** $\eta = 0.667$ info

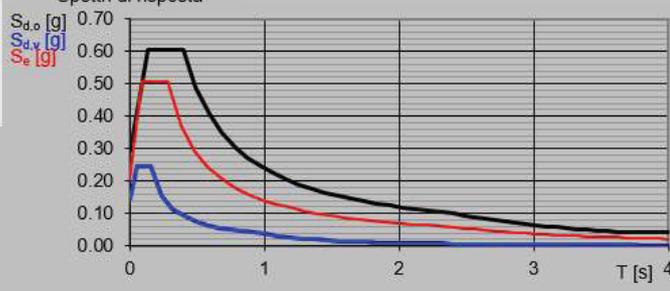
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ➔
 Parametri e punti spettri di risposta ➔

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

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

Spettri di risposta

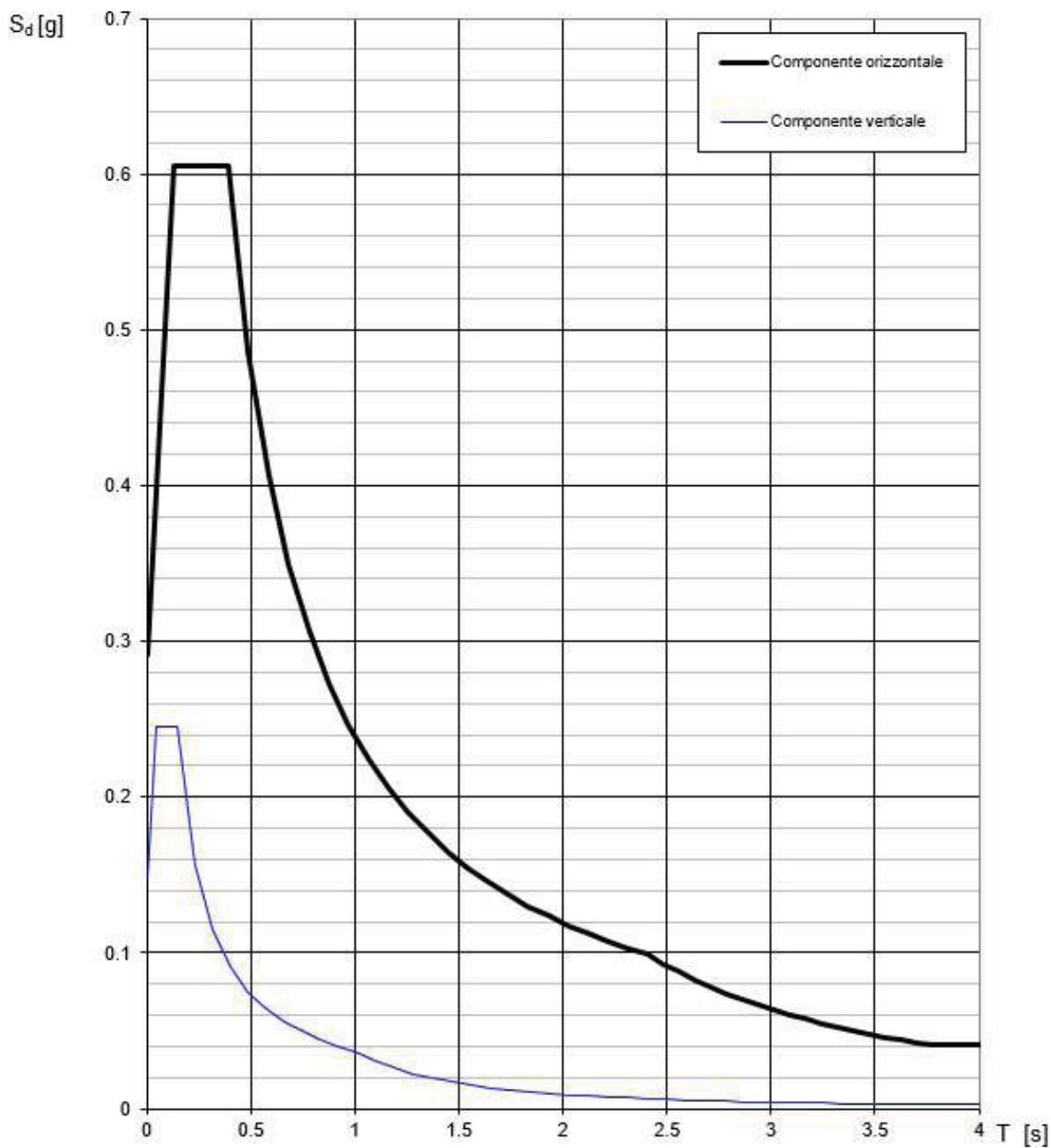


$S_{d.o}$ [g]
 $S_{d.v}$ [g]
 S_e [g]

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Ai fini delle verifiche delle strutture lo stato limite di riferimento è quello di Salvaguardia della vita SLV.

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



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.062	2.483	0.246
SLD	101	0.081	2.488	0.253
SLV	949	0.202	2.495	0.277
SLC	1950	0.264	2.420	0.288