

S.S. 554 "Cagliaritana"

Adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000

Ex S.S.125 Orientale Sarda – Connessione tra la S.S.554 e la nuova S.S.554

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA352

PROGETTAZIONE: ATI VIA - LOTTI - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Francesco Nicchiarelli (Ord. Ing. Prov. Roma 14711) MANDATARIA:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: Dott. Ing. Massimo Capasso
(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)
Responsabile Strutture: Dott. Ing. Giovanni Piazza
(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)
Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: Dott. Ing. Sergio Di Maio
(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)
Responsabile Ambiente: Dott. Ing. Francesco Ventura
(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 958)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Francesco Corrias



MANDANTI:



GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA

Relazione sismica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	TOOGE00GEORE_Relazione sismica			
DPCA0352	D 19	CODICE ELAB.	TOOGE00GEORE02	A	R.
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	FEB.2020	E. CURCURUTO	E. CURCURUTO	F.NICCHIARELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	2
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
4	MACROSISMICITA' DELL'AREA	4
5	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	14
6	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	16
6.1	ELABORAZIONE DATI GEOFISICI E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	17
6.2	RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	32
6.3	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	34
7	AZIONE SISMICA LOCALE E SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO	35
7.1	VITA NOMINALE.....	35
7.2	CLASSE D'USO	35
7.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	36
7.4	PARAMETRI DI PROGETTO	36
7.5	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE	38
7.6	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI.....	38
7.7	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI.....	40
7.8	SPETTRI DI PROGETTO	40

ALLEGATO 1- INDAGINI GEOFISICHE 2019

ALLEGATO 2 – PLANIMETRIA CON CLASSIFICAZIONE SISMICA

1 PREMESSA

Scopo della seguente relazione è la caratterizzazione sismica dell'area interessata dal Progetto Definitivo dei "Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554). A tal fine è stato seguito quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018 riguardante la definizione dei parametri sismici di progetto, per calcolare i quali, è stata condotta un'analisi dei dati geofisici sperimentali finalizzata alla stima della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio ed alla valutazione degli altri elementi che possono contribuire alla modifica del moto sismico in superficie (accelerazione sismica, caratteristiche stratigrafiche, condizione topografia, ecc.). Questo studio ha riguardato l'infrastruttura nella sua interezza, sebbene sia stata prestata particolare attenzione alle principali opere d'arte previste nel progetto dell'infrastruttura stessa. Lo studio realizzato è stato articolato secondo il seguente schema concettuale:

Lo studio realizzato è stato articolato secondo il seguente schema concettuale:

- Macrosismicità
- Analisi della sismicità storica del territorio;
- Analisi della Normativa di riferimento
- Macrozonazione sismica: Pericolosità e Vulnerabilità;
- Sismicità applicata al tracciato
- Elaborazione dati geofisici;
- Caratterizzazione sismica dell'area (D.M. 17 Gennaio 2018);
- Calcolo del parametro V_{seq} .

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Gli studi geologici e la redazione della presente relazione sono stati eseguiti seguendo le prescrizioni delle norme, i cui riferimenti sono di seguito riportati:

- *D.M. 17 Gennaio 2018*
Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- *D.M. 14 Gennaio 2008*
Norme tecniche per le costruzioni;
- *Circolare 2 febbraio 2009, n° 617*
istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni;
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003;*

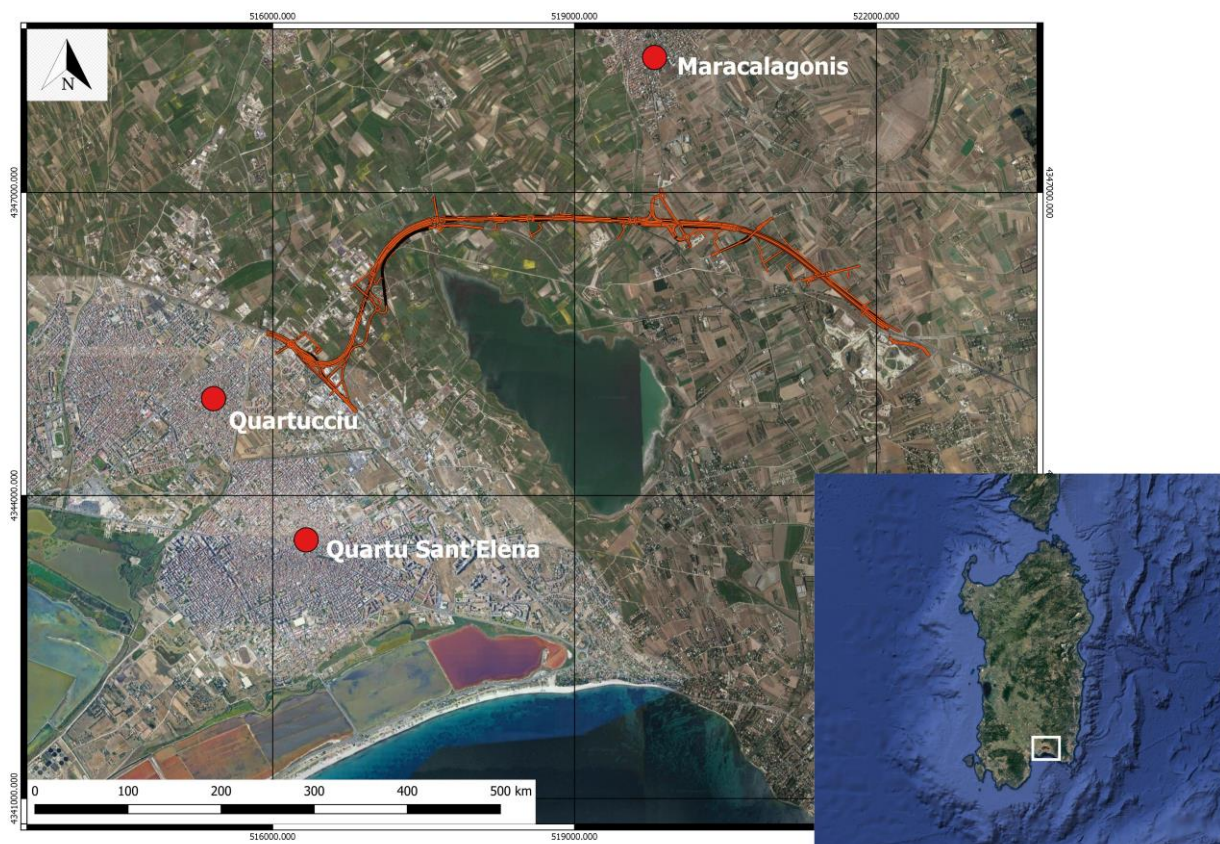
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”; modificata dall’O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005;

- *Delibera Giunta Regionale della Sardegna del 30/03/2004 n.15/31- Disposizioni preliminari in attuazione dell’O.P.C.M. 209 marzo 2003, n.3274 recante”Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”*
- *Decreto Presidente Regione Sardegna n.35 del 21-3-2008 -“Approvazione delle Norme di Attuazione del P.A.I.” che sono state aggiornate.*

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La tangenziale in progetto si colloca nel programma di adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 “Orientale Sarda”), connettendo la S.S. 554 alla nuova S.S. 554.

L'intervento ricade nei Comuni di Maracalagonis (CA), Quartu Sant'Elena (CA), Quartucciu (CA), come illustrato nella figura che segue.



- Ubicazione dell'area di intervento -

Il tracciato insiste sul territorio comunale di Quartucciu (CA) per i primi chilometri, dalla progressiva 0 alla progressiva 2+775,545, con il primo svincolo che insiste sul territorio di Quartu Sant'Elena (CA), dalla progressiva 2+775,545 alla progressiva 5+163,822 il tracciato ricade nel territorio comunale di Maracalagonis (CA), dalla progressiva 5+163,822 alla progressiva 5+930,45 (fine tracciato) il tracciato ricade nel territorio di Quartucciu (CA).

Il tracciato in studio ricade nelle seguenti tavolette della Carta d'Italia redatta dall'I.G.M.I., nella sequenza progressiva del tracciato da W verso E:

- F° 557 II "Quartu Sant'Elena";

Il tracciato ricade nelle sezioni N° 557110 e 557120 della Carta Tecnica Regionale.

4 MACROSISMICITA' DELL'AREA

Il presente capitolo definisce il quadro macrosismico generale del territorio attraversato dall'asse stradale in progetto, nell'ottica di una complessiva macrozonazione sismica che abbia come fine ultimo la valutazione della pericolosità sismica, tanto in termini generali quanto in termini di singola opera d'arte da realizzare.

L'area in studio è localizzata nel settore meridionale della pianura del Campidano, notoriamente conosciuto come un areale particolarmente importante nel quadro dell'evoluzione geodinamica recente della Sardegna e che si estende per circa 100 km con direzione NO-SE dal Golfo di Oristano al Golfo di Cagliari. Nella parte meridionale essa si sovrappone alla più vasta "fossa tettonica sarda" ("rift oligo-miocenico sardo" Auct.) che attraversa l'isola in senso longitudinale, unendo il Golfo dell'Asinara con quello di Cagliari con una larghezza di circa 40 km.

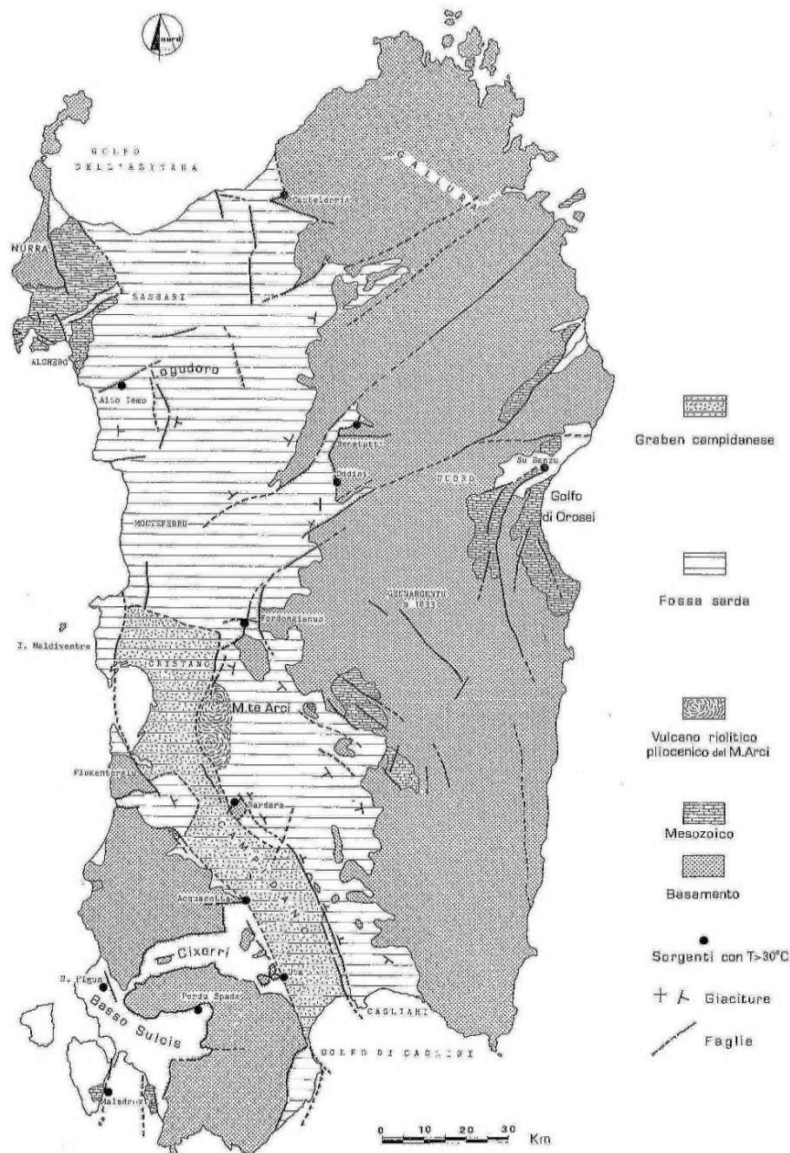
Un'intensa attività vulcanica sintettonica portò al parziale riempimento della stessa, come testimoniano le estese coperture vulcaniche della Planargia, del Bosano, del Montiferru, quelle carotate nel Campidano e quelle presenti ad est della dorsale del Grighini.

La subsidenza all'interno della fossa fu attiva per un lungo periodo, cosicché il mare miocenico vi penetrò, come testimoniano i numerosi affioramenti di sedimenti marini miocenici nel Meilogu- Logudoro a nord e lungo i bordi della fossa campidanese a sud, nella Marmilla e nella Trexenta ad est e di Funtanazza e del Cixerri ad ovest. La "fossa sarda" rappresenta la manifestazione più evidente dell'intensità dei movimenti crostali avvenuti durante l'Oligocene superiore ed il Miocene inferiore e medio, tali da trasformare significativamente l'assetto geologico del Mediterraneo occidentale attraverso la traslazione e rotazione del blocco sardo-corso.

La formazione dell'ampia depressione campidanese si deve invece a un'intensa tettonica disgiuntiva verificatasi durante il tardo Terziario – soprattutto dopo il Messiniano – nell'ambito della formazione del bacino marino tirrenico, che ha provocato lo sprofondamento di un ampio settore della Sardegna meridionale mediante un complesso sistema di faglie dirette (con un rigetto complessivo valutabile tra 500 m e 1.500 m), impostate su di linee di debolezza erciniche e riattivate durante il Terziario.

Le evidenze di queste faglie, orientate prevalentemente in direzione N-S e NNO-SSE e talora dislocate da lineazioni NE-SO, sono particolarmente osservabili proprio nell'area cagliaritano e a nord di essa dove hanno dato luogo ad un complesso sistema di "horst" e "graben" minori che ne giustificano l'attuale configurazione morfologica.

Le faglie più importanti, per continuità e per l'entità del movimento crostale verticale, sono quelle che delimitano ad est e ad ovest, i bordi dell'attuale piana campidanese.



- Principali Unità strutturali della Sardegna -


Sismicità storica

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)		
CA-352	<i>Relazione Sismica</i>	

Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.

- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

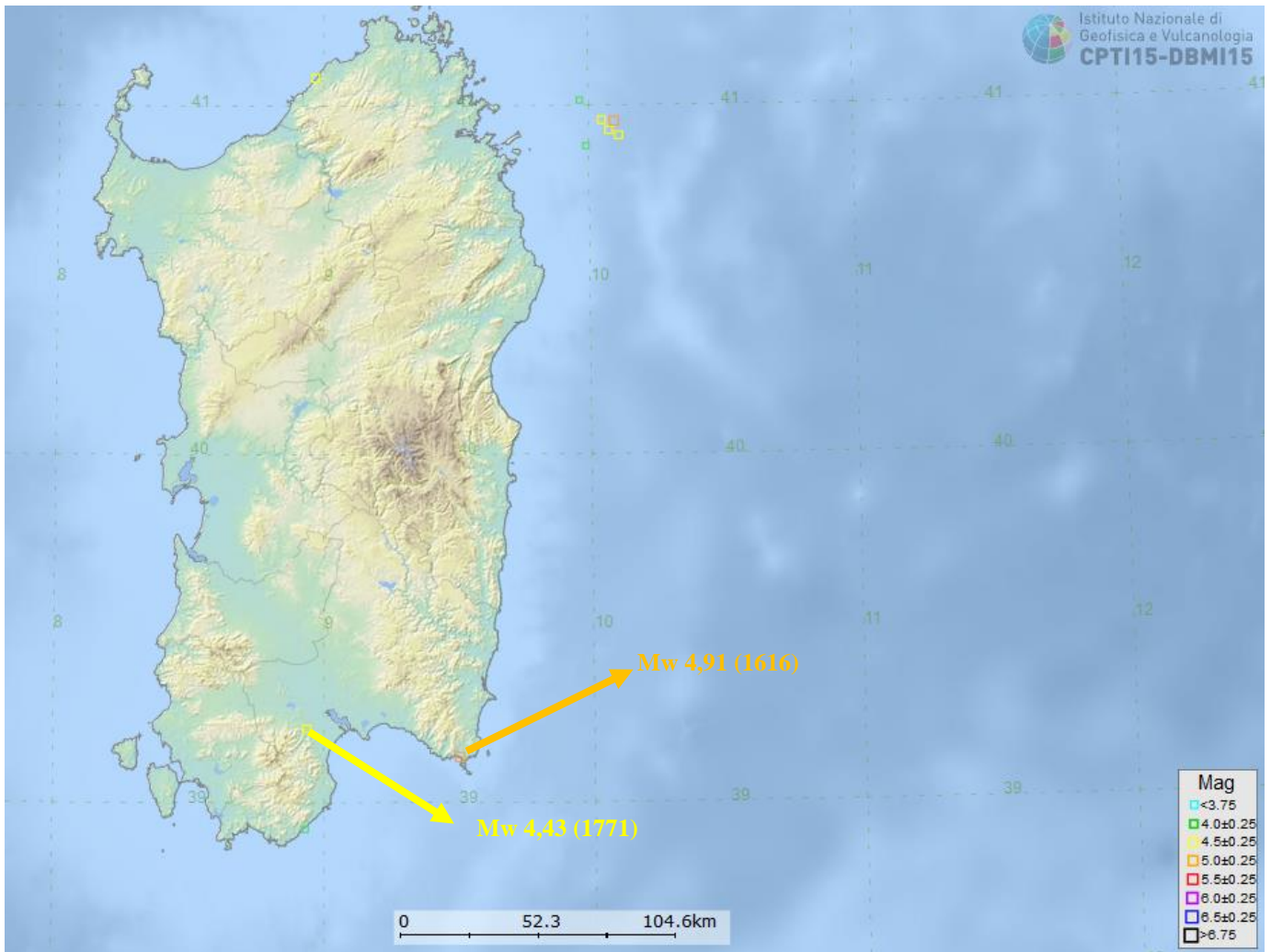
Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

Nella figura sotto riportata è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi all'area di progetto, mentre in Tabella, sempre sotto, è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati della Regione Sardegna.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solamente 2 eventi nell'area meridionale della Sardegna uno riferibile al 1616 con magnitudo di $4,91 \pm 0,46$ e uno riferibile al 1771 con magnitudo di $4,43 \pm 0,60$.



- Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti nell'area di progetto (fonte: catalogo CPT115, redatti da INGV) –


CA-352

Relazione Sismica

COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fornell)	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidonì	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinas	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Luce	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallura	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Monserrato	CA	2-3	1	Sassano di Montiferro	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennari	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Muntiggiani	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muras	SS	4	1	Siamaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	Nughedu di San Nicola	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausanias	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiararamonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrangianus	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonarcado	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossu	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Tula d'Agultu e Vigonza	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escalca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirsu	OR	3	1
Esparlatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Oras ei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Oratelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fardangianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtellì	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

- Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

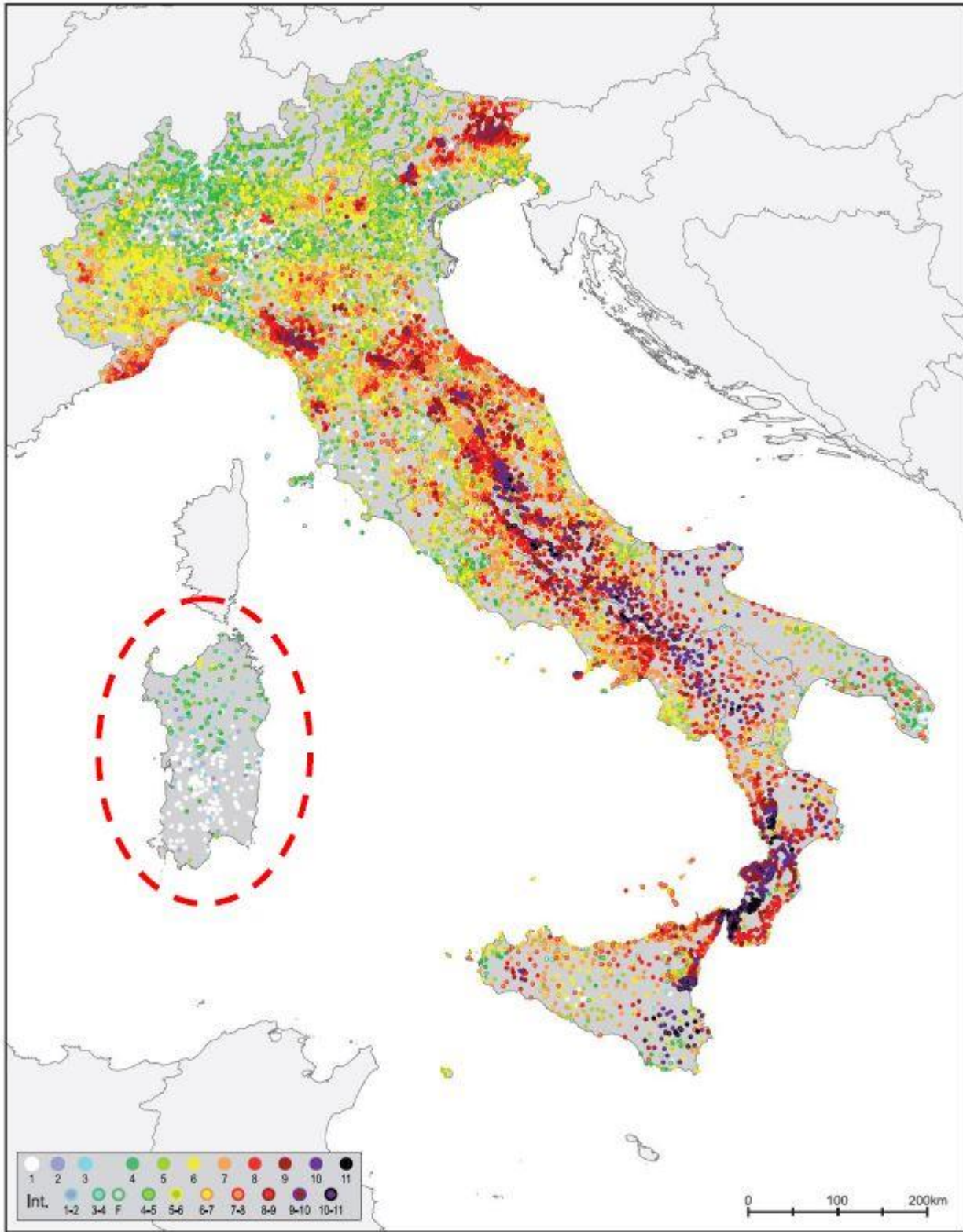
Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)		
CA-352	<i>Relazione Sismica</i>	

elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.


Nella figura sottostante è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. cerchio rosso) sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.



- Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte:INGV)

Caratterizzazione sismogenetica

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-352	Relazione Sismica	

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione.

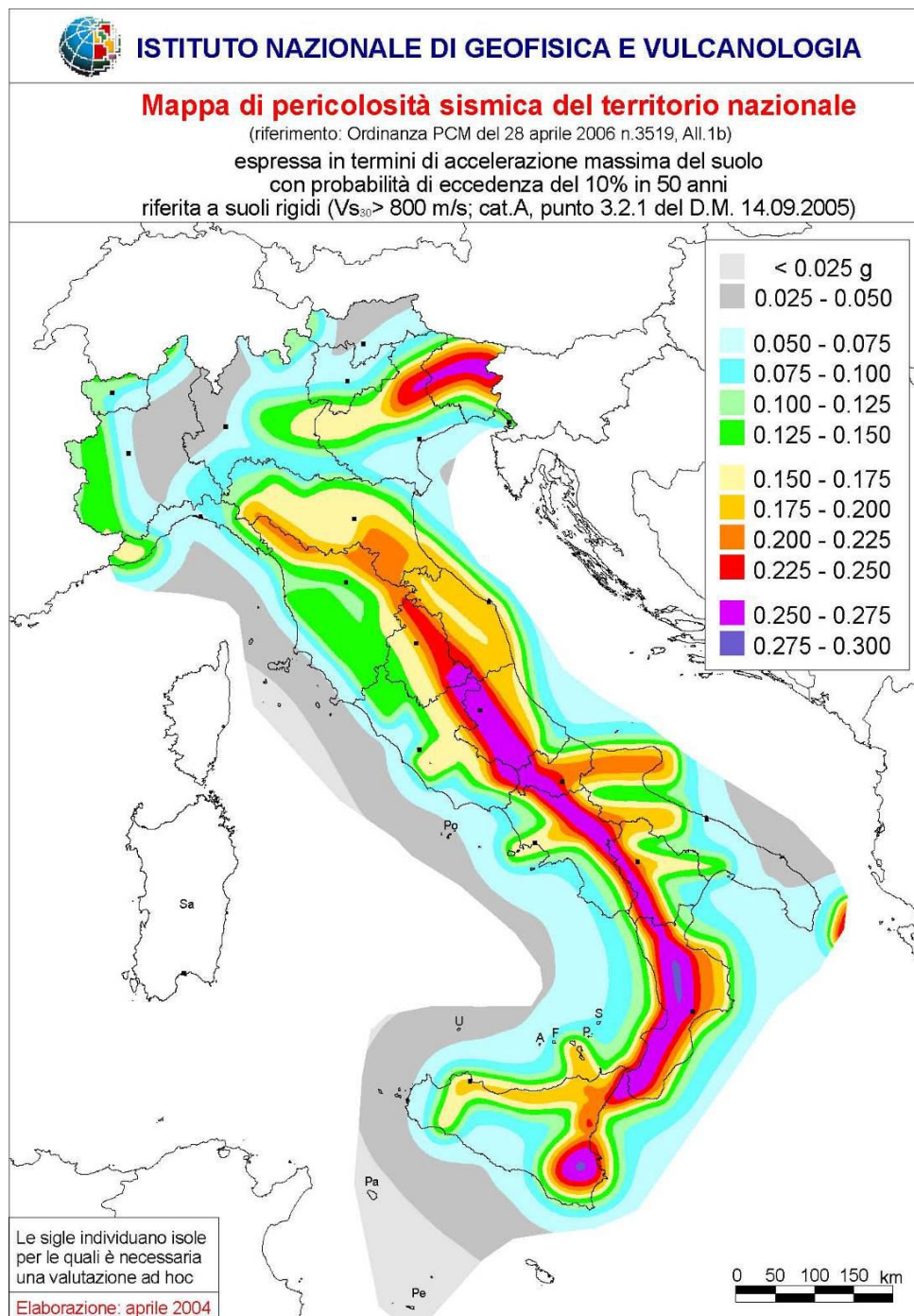
Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (*generalmente 50 anni*) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A tal fine fu pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003.

Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (*Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"*), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale:

- **Zona 1** - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti;
- **Zona 2** - In questa zona possono verificarsi forti terremoti;
- **Zona 3** - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari;
- **Zona 4** - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari.

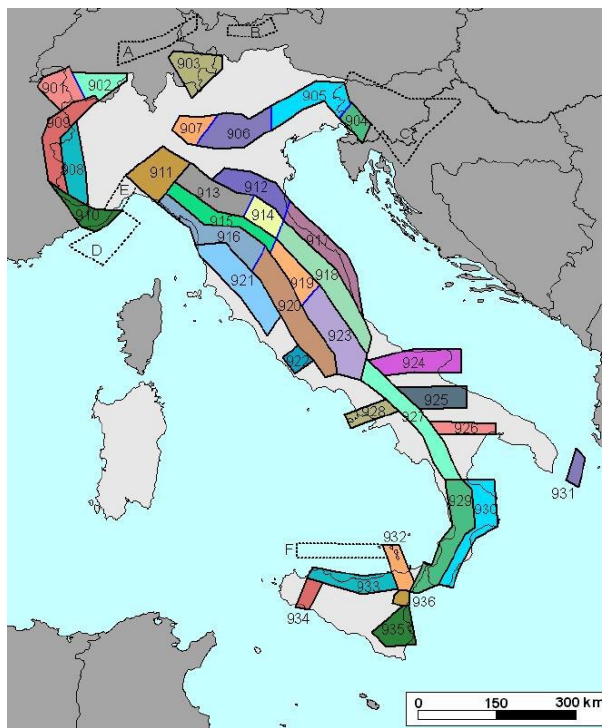
L'area interessata dal tracciato ricade nel territorio della provincia di Cagliari nei territori dei Comuni di Maracalagonis (CA) e nel territorio di Quartucciu (CA).che ricadono in zona sismica **4**.



- Mapa pericolosità sismica del territorio nazionale -

La classificazione sismica sopra riportata è confermata dalla Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dai tracciati in progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.



- Mappa della Zonazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia (fonte: Gruppo di lavoro INGV, 2004). – Studi più recenti per la valutazione della pericolosità sismica nazionale (Stucchi et al., 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

5 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

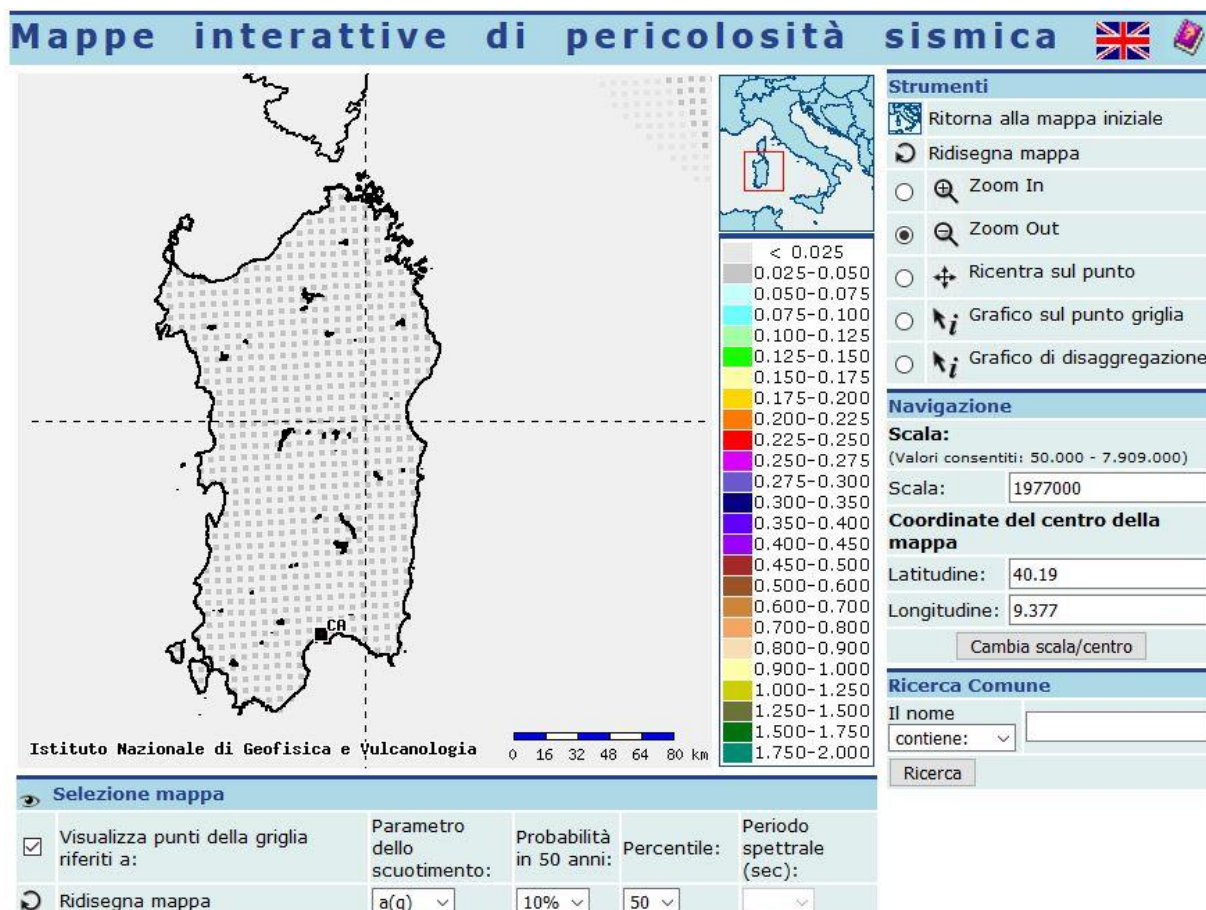
La pericolosità sismica del territorio definisce la probabilità statistica che si verifichi un evento tellurico di una data magnitudo, parametrizzata dalle serie storiche e statistiche, che viene definito come **terremoto di progetto**, la cui intensità, soprattutto in termini di danni attesi (Rischio –Vulnerabilità Sismica), è condizionata da locali fattori geologici, geomorfologici ed antropici, anch'essi parametrizzati in coefficienti progettuali introdotti dalla Normativa vigente.

La pericolosità sismica di base, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 17/01/2018 introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 (rimasto invariato dalla definizione delle NTC 2008) suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>). Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- **ag** accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in g/10);
- **Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **Tc*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).



- Mappa pericolosità sismica della Sardegna (<http://esse1.mi.ingv.it/>) –

Secondo quanto definito nell'Allegato A del D.M. 14/01/2008, la Sardegna è caratterizzata da una macrozonazione sismica omogenea, ossia presenta medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a

parità di tempo di ritorno dell'azione sismica con accelerazione massima (a_{max}) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a 0,050 g costante su tutto il territorio regionale calcolato su un suolo di riferimento di tipo **A**.

Con l'aggiornamento NTC 2018 scompaiono i riferimenti alla zonazione sismica per quanto riguarda la progettazione per azioni sismiche intraprendendo una strategia progettuale basata su livelli crescenti dell'azione sismica e dei danni corrispondenti. Questo serve anche nei casi in cui ci sia stata in precedenza una sollecitazione sismica che ha già indebolito la struttura.

Al posto della zonazione entrano in gioco quindi:

- l'indicazione dei livelli di accelerazione a_g , attesa allo SLV (stato limite di salvaguardia della vita);
- la distinzione tra progettazione in capacità (approccio concettuale con cui si persegue la duttilità) e gerarchia delle resistenze (strumento operativo impiegato per ottenerla);
- la sistematica adozione di tavole sinottiche di riepilogo dei diversi coefficienti, per facilitare i confronti sistematici tra le diverse tipologie e i diversi stati limite.

6 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La pericolosità sismica locale valuta la modificazione dello scuotimento sismico prodotto dalle reali caratteristiche del terreno e dalla successione litostratigrafica locale, dalle condizioni morfologiche unitamente allo sviluppo di effetti cosismici quali fenomeni di liquefazione, fagliazione superficiale, instabilità dei pendii e frane indotte .

Si è proceduto quindi alla classificazione del sottosuolo 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

dove

h_i = spessore dello strato i esimo;

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

N = numero di strati;

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)		
CA-352	Relazione Sismica	

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec

La classificazione è basata sull'esito delle prove Down-Hole e delle tomografie sismiche a rifrazione, parte integrante della campagna geognostica a supporto del progetto, che vengono riportate ed elaborate di seguito.

6.1 ELABORAZIONE DATI GEOFISICI E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Nell'ambito dei lavori di indagini geognostiche a supporto della caratterizzazione stratigrafica e della parametrizzazione geotecnica è stata eseguita una campagna di prospezioni geofisiche mirata alla conoscenza della velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione e di taglio dei terreni interessati dall'opera in progetto.

Tali prove sono state eseguite principalmente nei siti interessati dalle opere d'arte e lungo la tratta in progetto.

Le prove geofisiche effettuate sono state tutte del tipo attivo e sono state eseguite nella campagna sismica e geognostica del 2019 (Indagini eseguite dalla TecnoIn). Le indagini utilizzate per redigere il presente studio sono state le seguenti:

- n.4 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica (2019);
- n.5 indagini sismiche in foro down-hole (3 nel 2018 e 2 nel 2019);

Di seguito si riportano le coordinate relative all'ubicazione delle prospezioni sismiche rispettivamente a rifrazione tomografica e delle prove down-hole

Codice indagine	Lunghezza base sismica (m)	COORDINATE GAUSS-BOAGA			
		Coordinata inizio profilo - EST	Coordinata inizio profilo - NORD	Coordinata fine profilo - EST	Coordinata fine profilo - NORD
BS1_D	100	1517623,291	4346709,829	1517722,876	4346709,963
BS2_D	78	1520073,011	4346677,952	1520115,442	4346612,226
BS3_D	78	1520817,156	4346599,490	1520754,961	4346555,239
BS4_D	78	1521449,287	4346182,387	1521522,469	4346199,649

Ubicazione caposaldi profili a rifrazione tomografica

Codice indagine	Profondità dal p.c. (m)	COORDINATE GAUSS-BOAGA con quota dal Piano Campagna		
		Coordinata EST	Coordinata NORD	Quota (m s.l.m. m.)
S03D-DH	30,00	1518481,833	4346754,663	55,688
S07D-DH	30,00	1520078,540	4346674,066	54,046

Ubicazione sondaggi testati con prova down hole

I valori delle velocità delle onde sismiche sono stati elaborati con l'obiettivo di definire il parametro V_{seq} definito dall'espressione

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{V_{S_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i esimo;

V_{S_i} = velocità delle onde di taglio nell' i esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

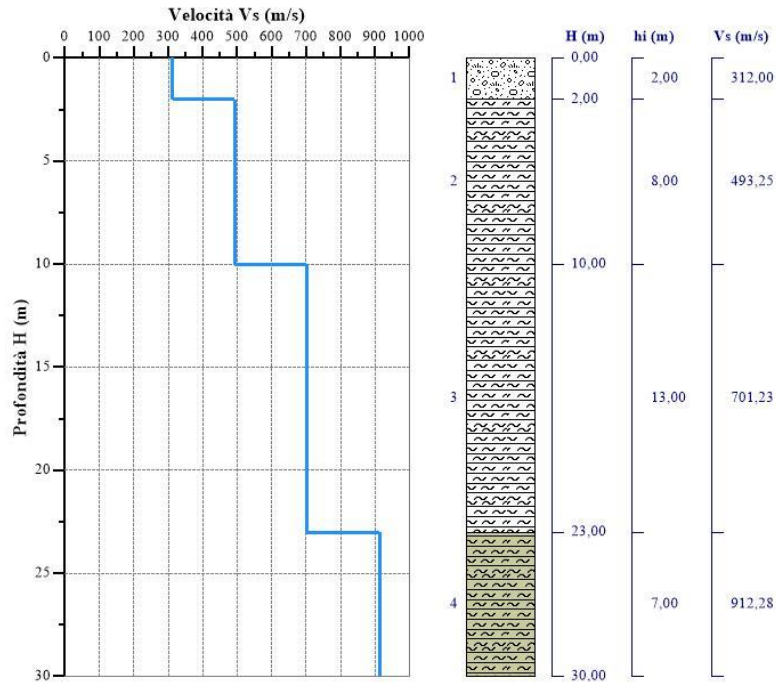
L'elaborazione è finalizzata all'individuazione della categoria del sottosuolo, secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018.

Nel caso oggetto di studio la misura diretta delle onde di taglio ha riguardato solo le principali opere d'arte.

L'analisi sismostratigrafica è stata condotta confrontando gli intervalli omogenei di velocità e la stratigrafia riscontrata nel medesimo intervallo. In seguito a tale confronto è stato possibile definire le verticali di misura DH e delle tomografie in sismostrati.

Si riportano di seguito i risultati dell'interpretazione delle prove sismiche down-hole e delle tomografie sismiche a rifrazione:

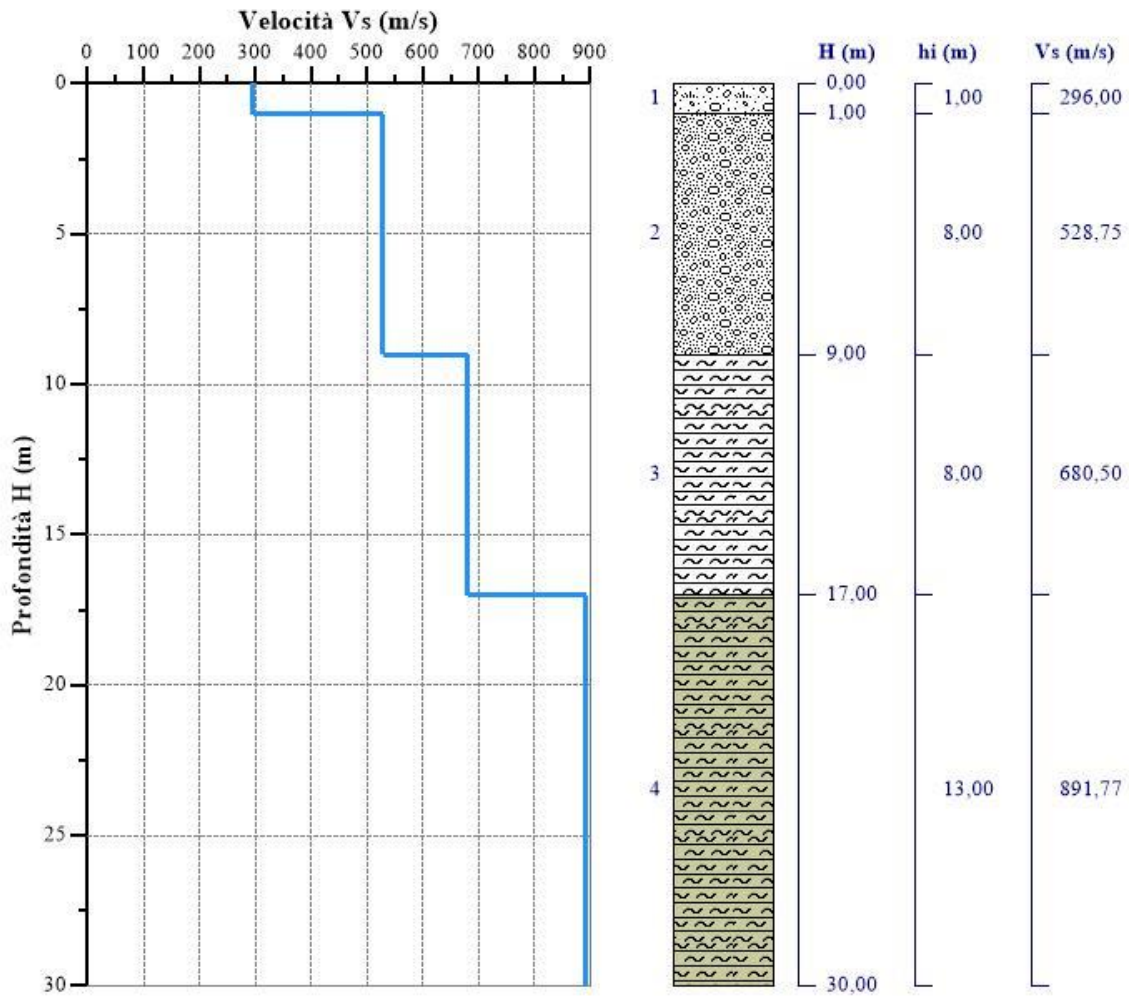
Sondaggio S1-DH (2018)



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V _{si} (m/s)	H (m)	h _i (m)	h _i /V _{si} (s)
1	2	2	312	2	2	0,006410256
2	10	8	493,25	10	8	0,016218956
3	23	13	701,23	23	13	0,018538853
4	30	7	912,28	30	7	0

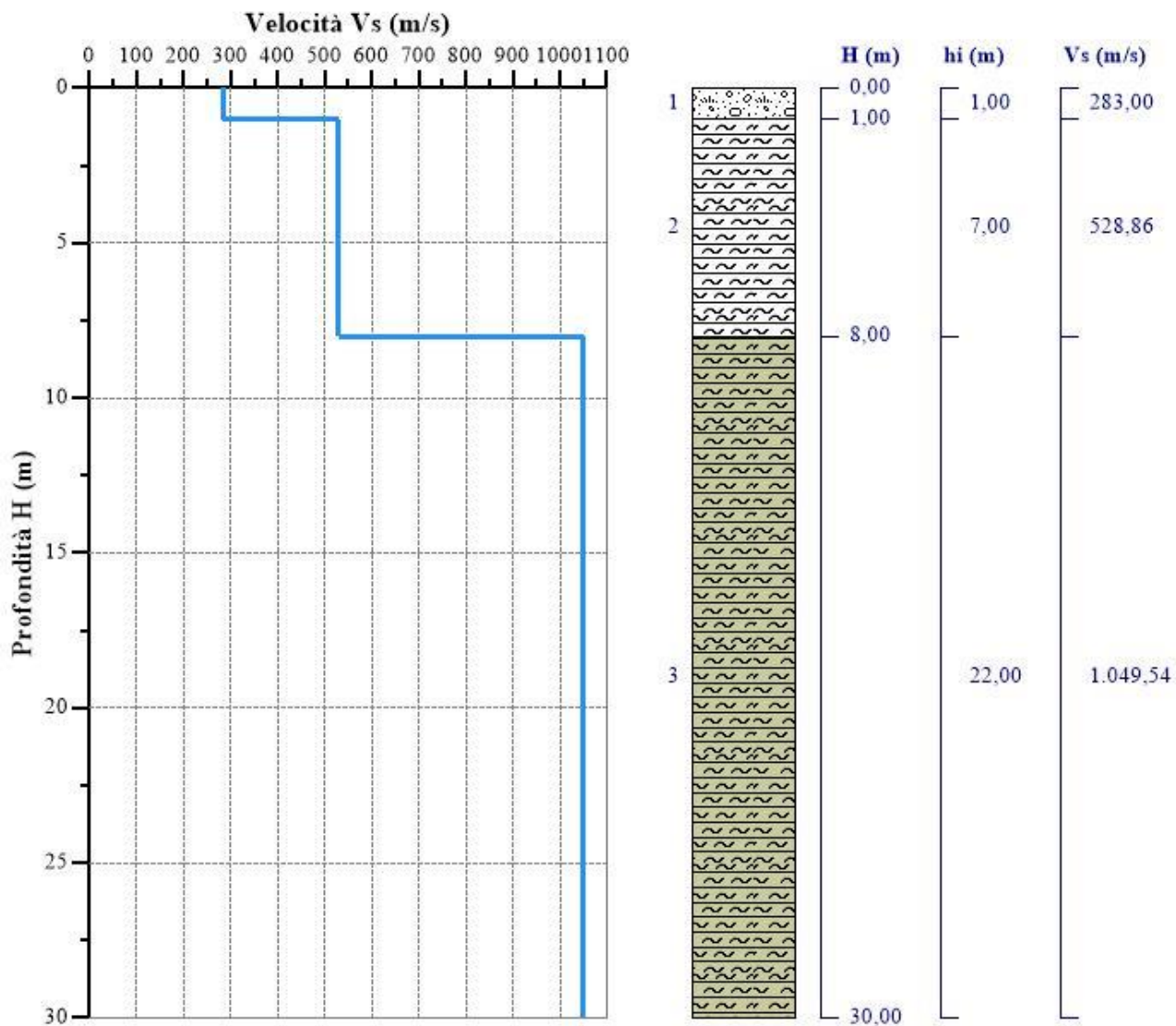
V_{seq} = 558,69 m/s Cat. = B

Sondaggio S3_DH (2018)



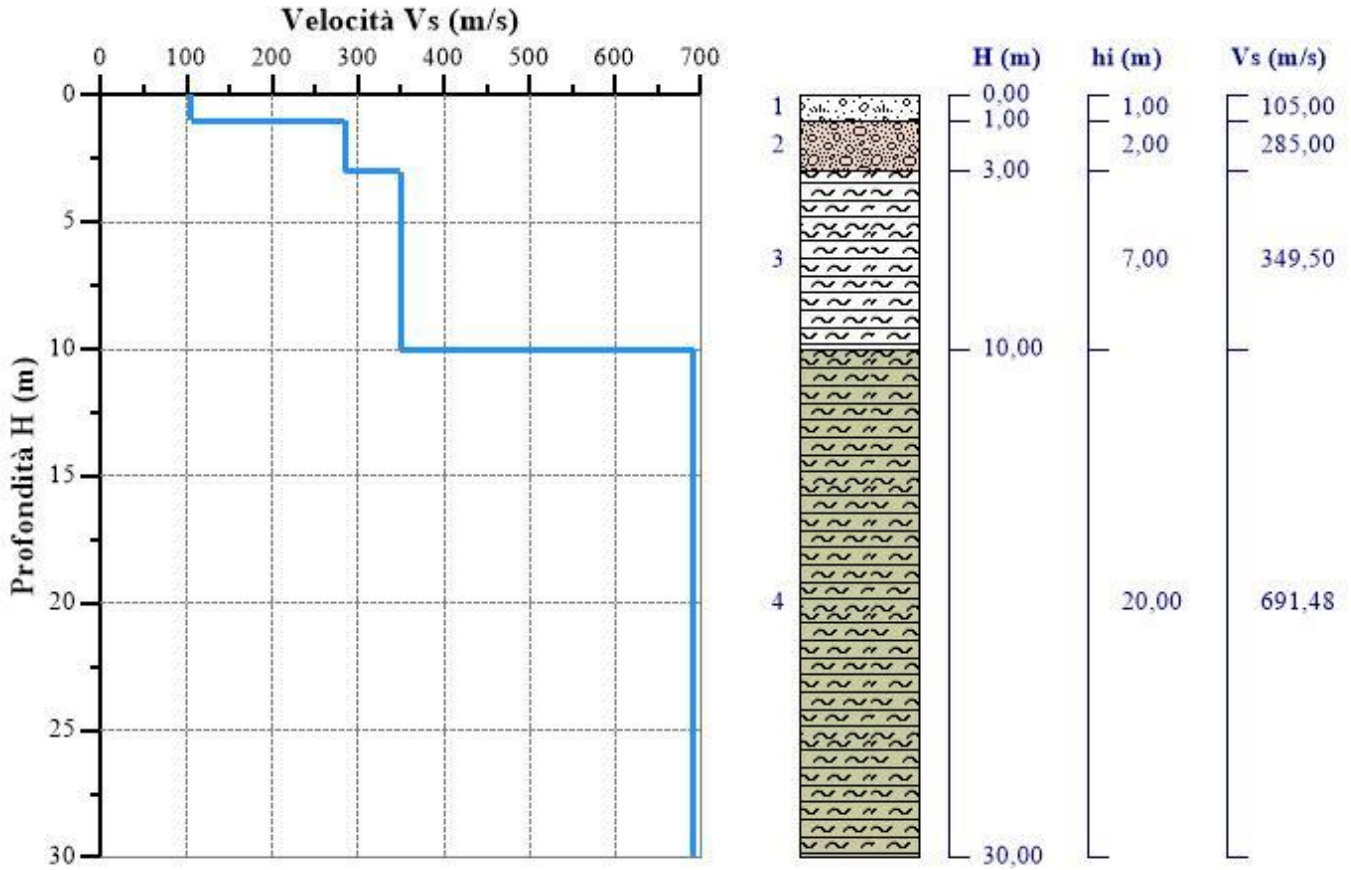
V_{Seq} = 561,71 m/s Cat. = B

Sondaggio S5_DH (2018)



V_{seq} = 477,05 m/s Cat. = B

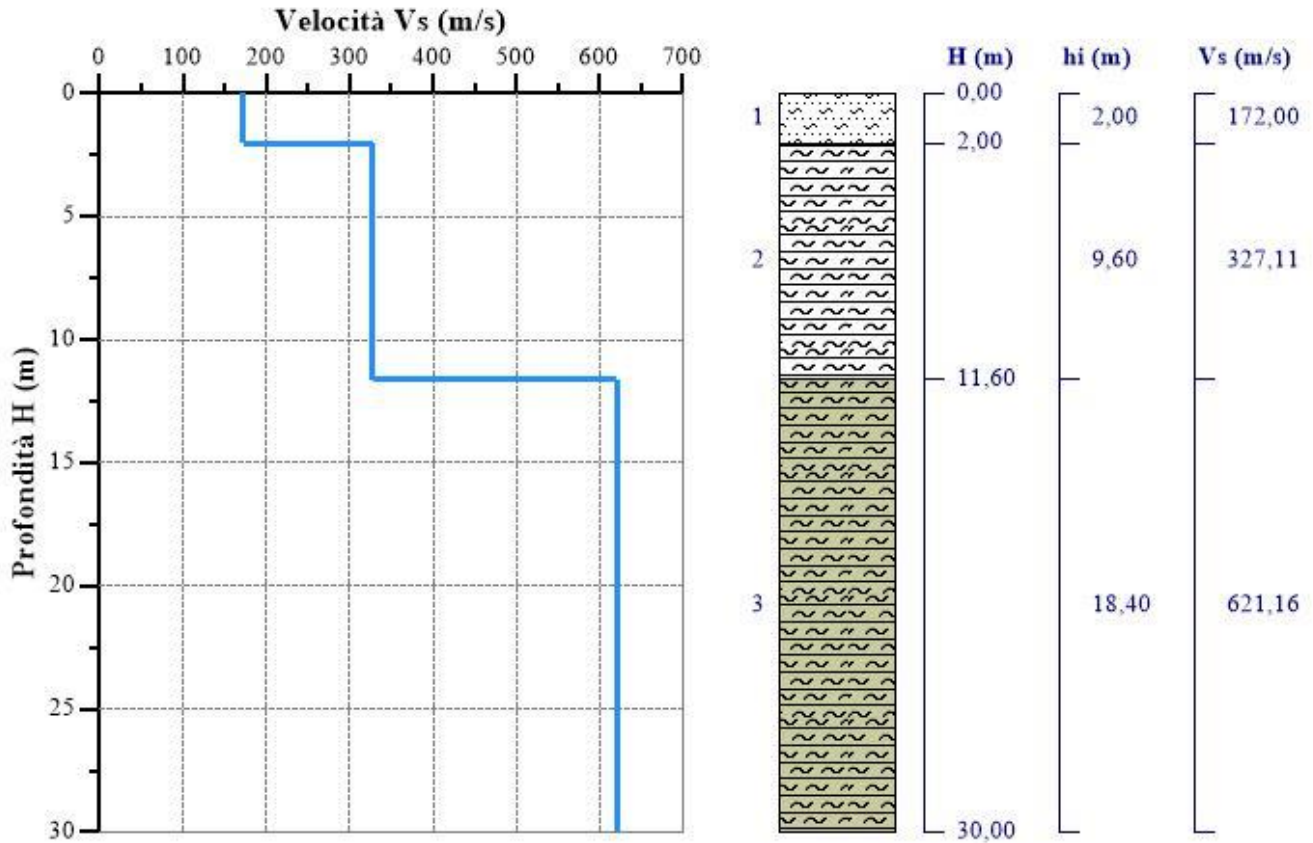
Sondaggio S03D_DH (2019)



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V_{s_i} (m/s)	H (m)	h_i (m)	h_i/V_{s_i} (s)
1	1	1	105	1	1	0,00952381
2	3	2	285	3	2	0,007017544
3	10	7	349,5	10	7	0,020028612
4	30	20	691,48	30	20	0,028923469

$V_{s_{eq}} = 458,06$ m/s Cat. = B

Sondaggio S07D_DH (2019)



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V_{s_i} (m/s)	H (m)	h_i (m)	h_i/V_{s_i} (s)
1	2	2	172	2	2	0,011627907
2	11,6	9,6	327,11	11,6	9,6	0,029347926
3	30	18,4	621,16	30	18,4	0,029621998

$V_{Seq} = 424.94$ m/s Cat. = B

Tomografia sismica a rifrazione BS1_D (2019)

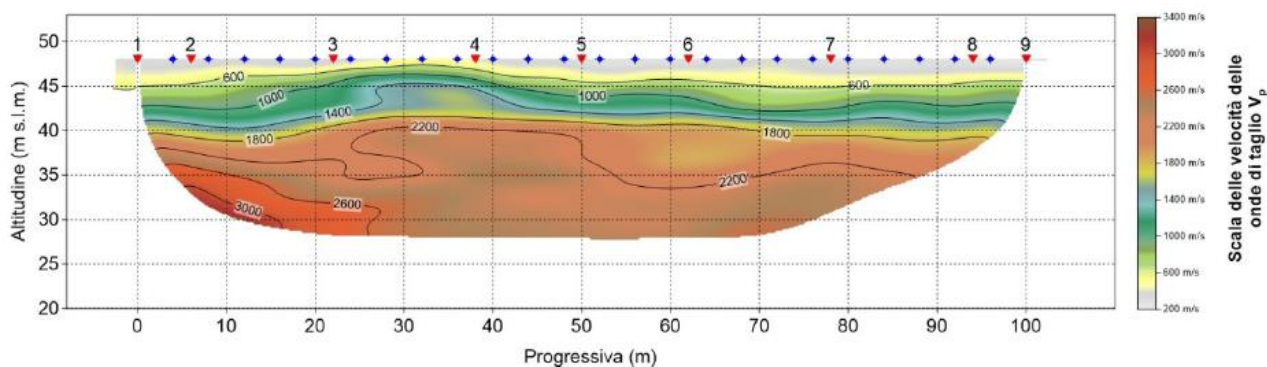
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS1_D hanno permesso di evidenziare quattro sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 1 m, ed è costituito da terreno di riporto sabbioso ghiaioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 120 e 180 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 280 e 400 m/s.

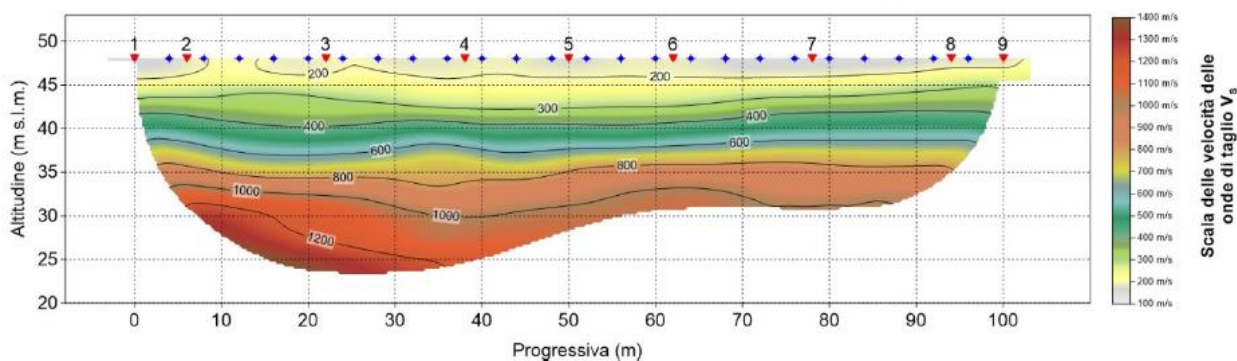
Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 9 m, ed è costituito da argilla e sabbia molto addensata. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 300 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1.250 m/s.

Il terzo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 15 m, ed è costituito da marne alterate. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 300 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.250 e 2.250 m/s.

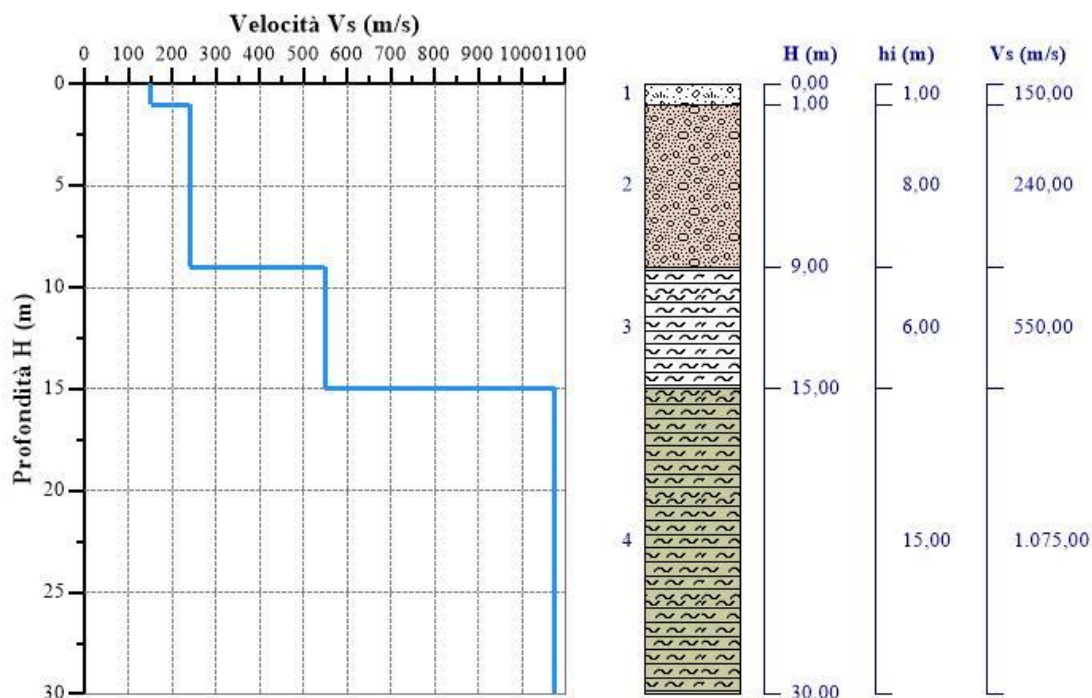
Il quarto sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marne. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 2.250 e 3.100 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS1_D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS1_D.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V _{s_i} (m/s)	H (m)	h _i (m)	h _i /V _{s_i} (s)
1	1	1	150	1	1	0,006666667
2	9	8	240	9	8	0,033333333
3	15	6	550	15	6	0,010909091
4	30	15	1.075,00	30	15	0

V_{Seq} = 294,64 m/s Cat. = E

Tomografia sismica a rifrazione BS2_D (2019)

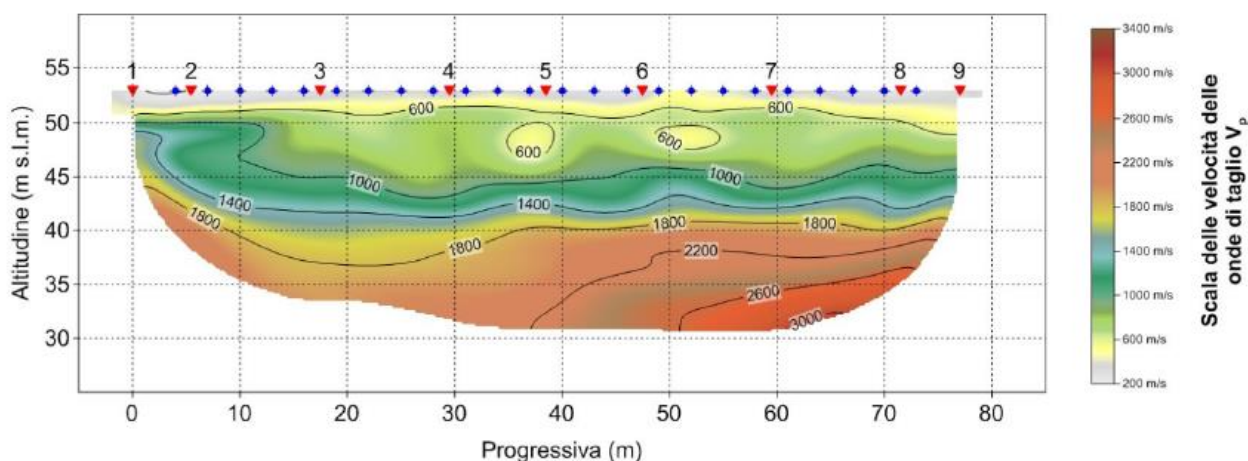
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS2_D hanno permesso di evidenziare quattro sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 2 m, ed è costituito da terreno di riporto sabbioso ghiaioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 260 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 280 e 400 m/s.

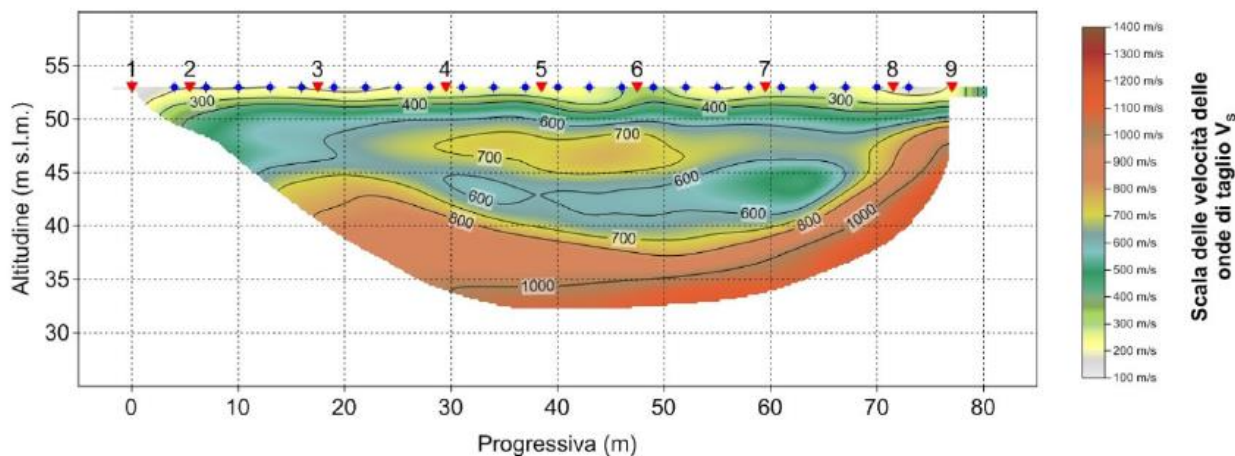
Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 5 m, ed è costituito da argilla marnosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 260 e 660 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1.000 m/s.

Il terzo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 12 m, ed è costituito da argilla marnosa maggiormente consistente. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 660 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.000 e 1.800 m/s.

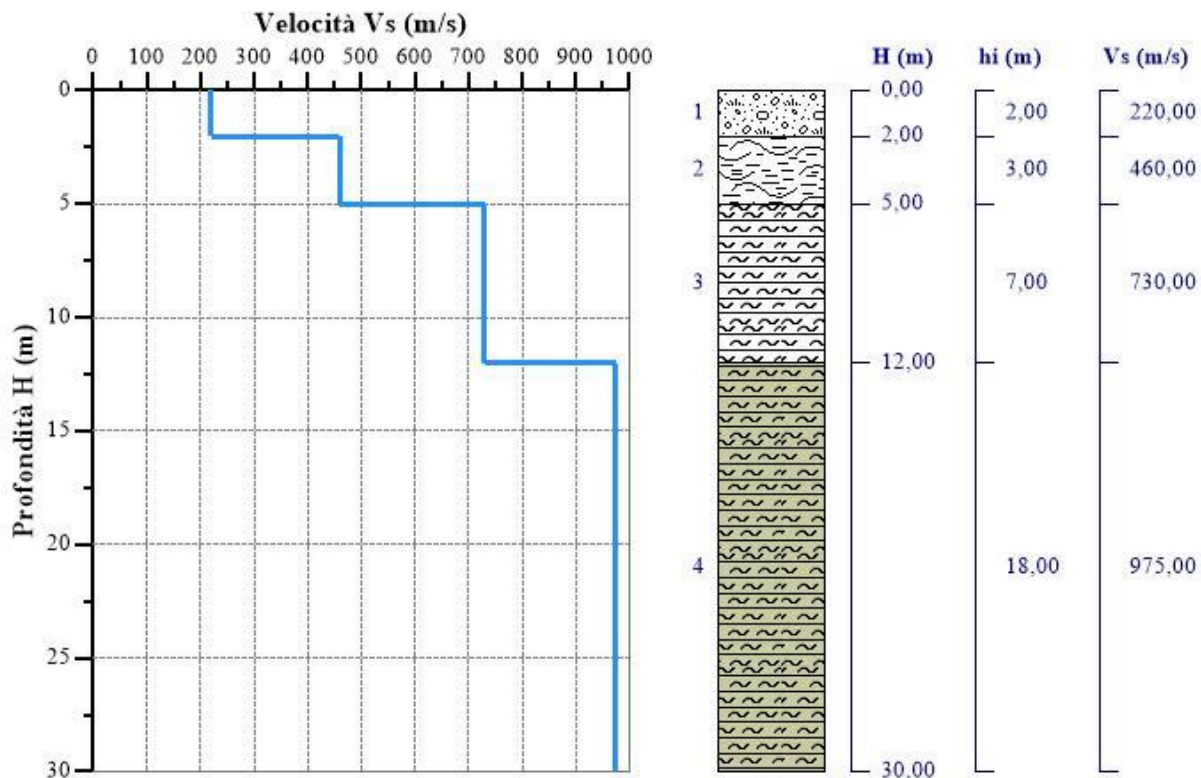
Il quarto sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marne. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.150 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e 3.050 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS2_D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS2_D.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V _{si} (m/s)	H (m)	h _i (m)	h _i /V _{si} (s)
1	2	2	220	2	2	0,009090909
2	5	3	460	5	3	0,006521739
3	12	7	730	12	7	0,009589041
4	30	18	975	30	18	0

$V_{seq} = 476,16 \text{ m/s}$ **Cat. = B**

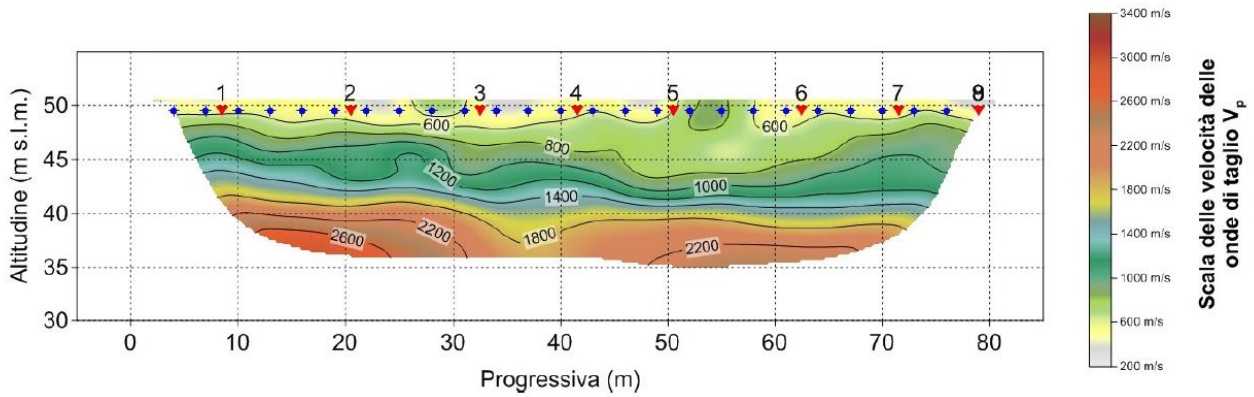
Tomografia sismica a rifrazione BS3_D (2019)

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS3_D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

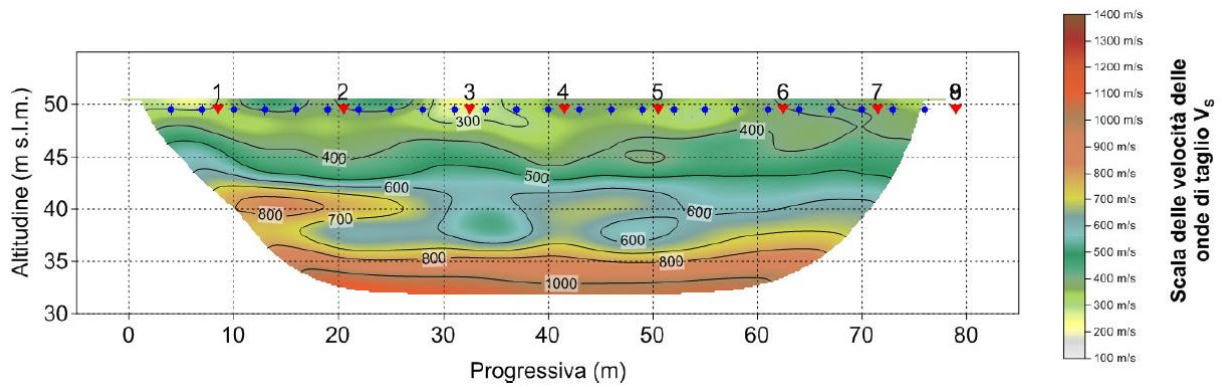
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 6 m, ed è costituito da argilla. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 230 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 350 e 1.000 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 5 m, ed è costituito da marne alterate. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 260 e 660 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 800 m/s.

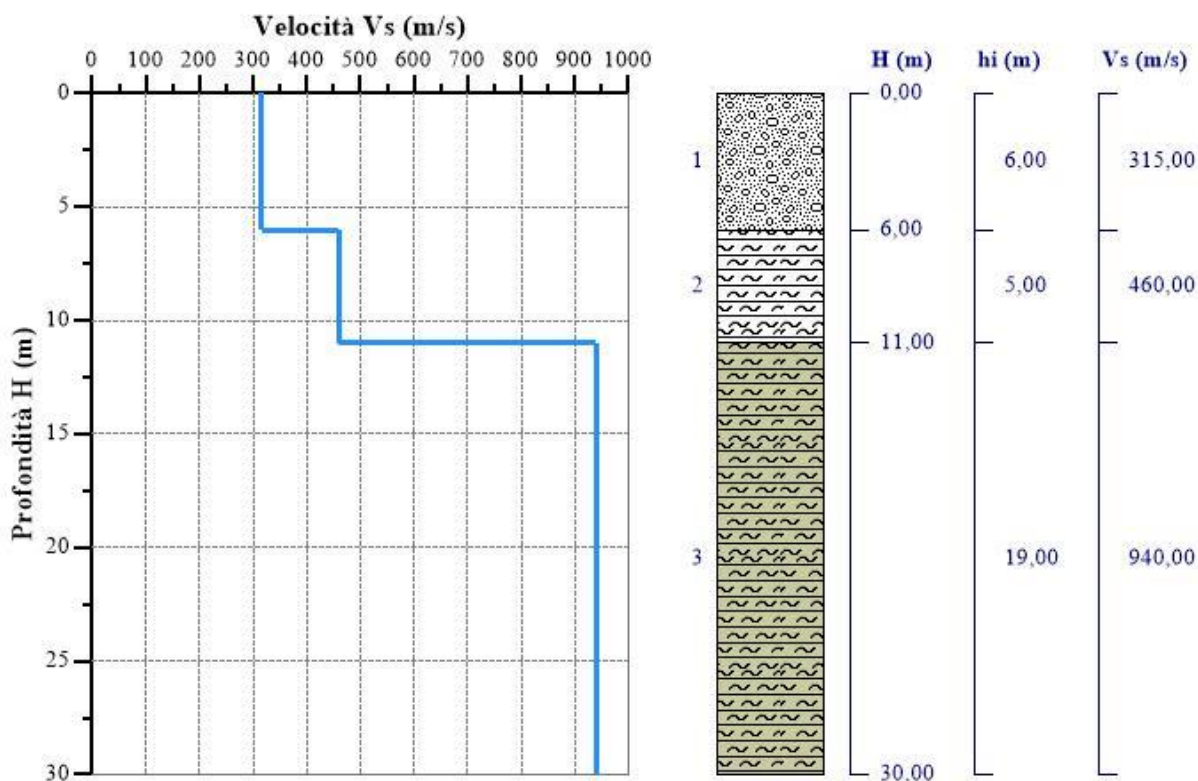
Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marne. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.080 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e, mediamente, attorno ai 2.300 m/s con aree che oltrepassano i 2.600 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS3_D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS3_D.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V _{s_i} (m/s)	H (m)	h _i (m)	h _i /V _{s_i} (s)
1	6	6	315	6	6	0,019047619
2	11	5	460	11	5	0,010869565
3	30	19	940	30	19	0

V_{s_{eq}} = 367,68 m/s Cat. = B

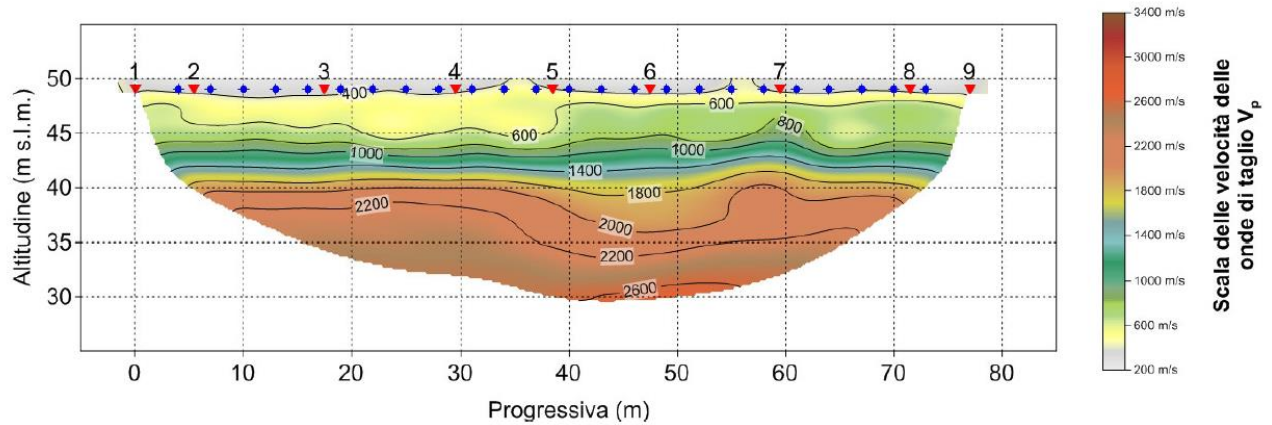
Tomografia sismica a rifrazione BS4_D (2019)

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS4_D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

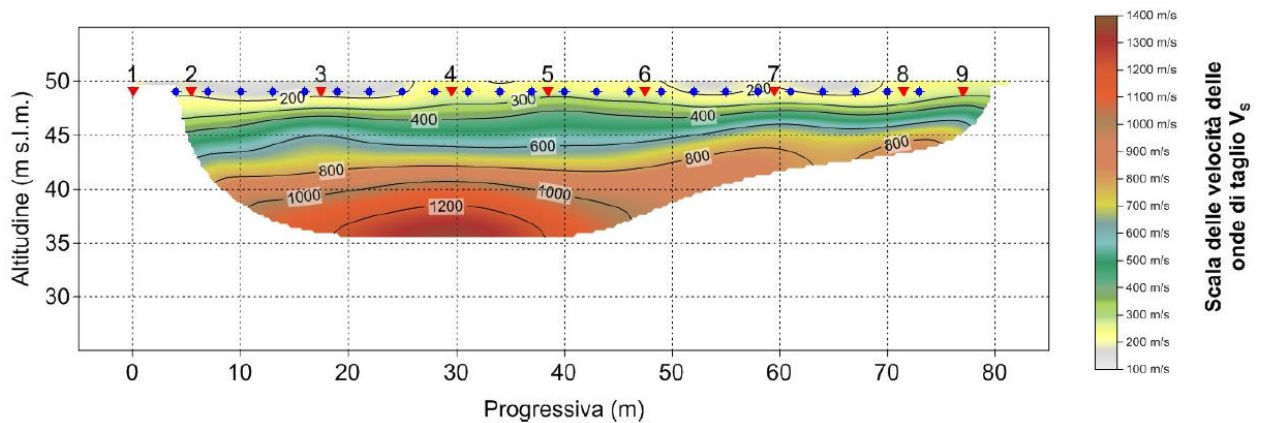
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 6 m, ed è costituito da argilla. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 160 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 250 e 1.000 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 5 m, ed è costituito da marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 400 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.000 e 1.800 m/s.

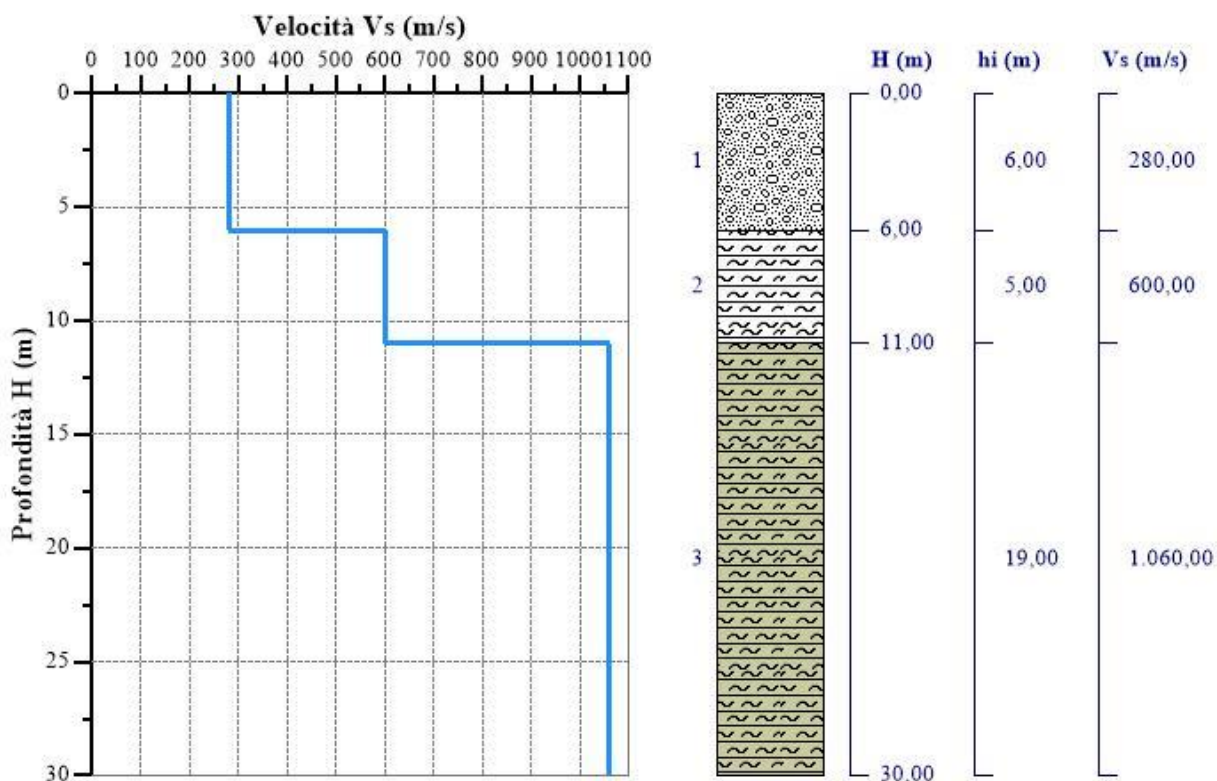
Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marne. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.320 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e, mediamente, attorno ai 2.620 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS4_D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS4_D.




Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V_{si} (m/s)	H (m)	h_i (m)	h_i/V_{si} (s)
1	6	6	280	6	6	0,021428571
2	11	5	600	11	5	0,008333333
3	30	19	1.060,00	30	19	0

$V_{Seq} = 369.60$ m/s Cat. = B

Gli esiti delle prospezioni Down-Hole e delle tomografie sismiche a rifrazione hanno rilevato per i sondaggi testati sempre un aumento delle velocità di entrambe le forme d'onda con la profondità, evidenziando il miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità, che è un requisito dell'approccio semplificato per la classificazione sismica del territorio, ad eccezione del sondaggio S3 DH 2018.

Per le aree interessate da tali sondaggi si è proceduto, come prescritto dalle NTC 2018 alla verifica alla liquefazione, discussa nel paragrafo successivo. Solo dopo aver escluso qualsiasi rischio di liquefazione è stata attribuita la categoria del sottosuolo nelle aree indagate dal sondaggio S3 DH 2018.

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000 (ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)		
CA-352	<i>Relazione Sismica</i>	

I valori ottenuti di Vs30 corrispondono tutti alla categoria di sottosuolo B, ai sensi della normativa tecnica NTC2018, ad eccezione di quelli della sezione tomografica BS1_D (2019) che corrisponde alla categoria E.

6.2 RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

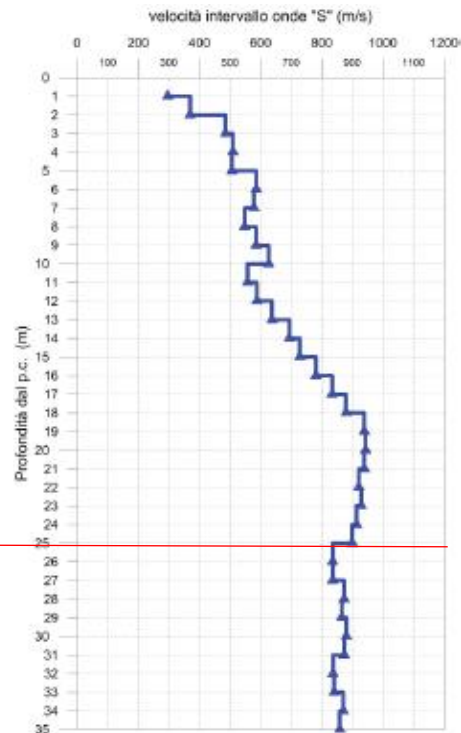
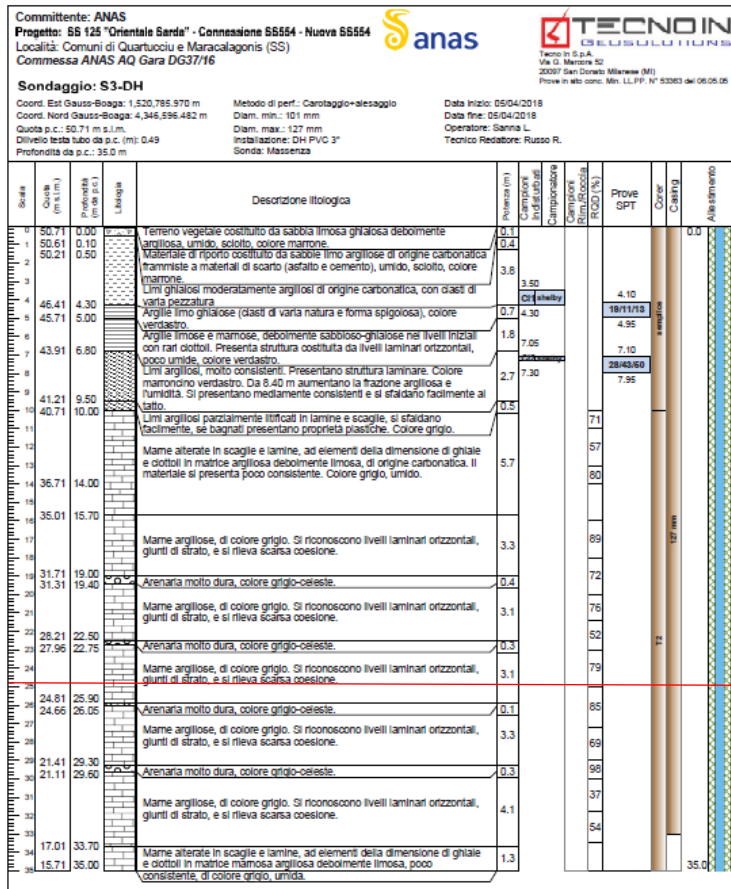
Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale. La liquefazione è l'insieme dei fenomeni associati alla perdita di resistenza a taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche che può avvenire nei terreni sabbiosi saturi quando sottoposti ad azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Sebbene i terreni in sito appaiono caratterizzati da un generale graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, le prove down-hole della campagna geognostica del 2018 rilevavano nel sondaggio S3 DH un contrasto di impedenza sismica e una limitata inversione di velocità nel profilo di Vs .

Di seguito si riportano le sismostratigrafie di dettaglio ricevute dalla società Tecno In.

Nel sondaggio S03-DH 2018 si rileva tra le profondità di 25m e 26 m dal p.c. una diminuzione della velocità Vs che dai 900 m/sec di 25 m si riduce a 836 m/sec a 26 m, , con una diminuzione massima di 64 m/sec.

La diminuzione delle Vs si rileva, come evidenziato dall'analisi della stratigrafia, in corrispondenza di un livello marnoso-argilloso di scarsa coesione.



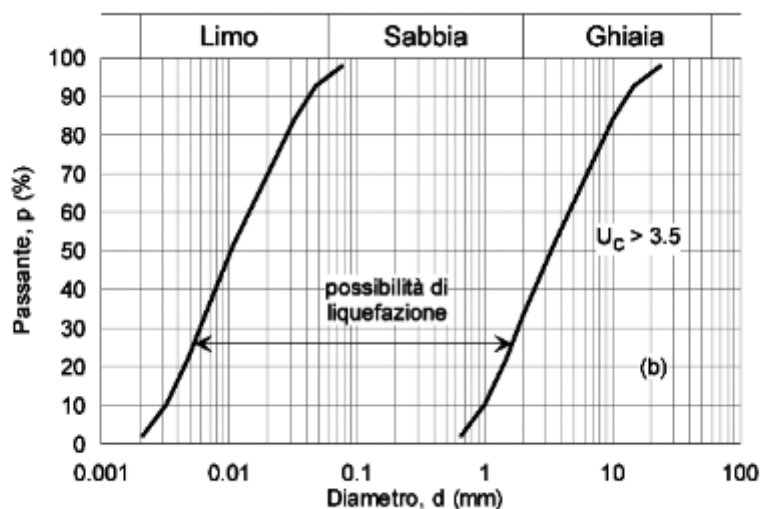
I requisiti che permettono di escludere la verifica, anche in presenza di uno solo di essi, (par. 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione" -D.M. 17/01/2018) sono di seguito elencati:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso in esame è possibile escludere la verifica alla liquefazione perché vengono soddisfatte le condizioni a) e d).

In particolare l'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risulta nell'area in studio di 0,05 g (minore di 0.1 g);

Inoltre la composizione granulometrica, per la abbondante presenza di frazione limo-argillosa, si estende ben oltre il fuso granulometrico (con $U_c > 3,5$) all'interno del quale i terreni possono essere suscettibili di liquefazione.



b)

In conclusione dal contesto litostratigrafico e di comportamento geofisico, i terreni in sito appaiono caratterizzati da un generale graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità; i contrasti di impedenza sismica rilevati e le limitate inversioni di velocità nel profilo di V_s non presentano alcuna incompatibilità con le prescrizioni ed i limiti di applicabilità dei modelli semplificati richiamati per la determinazione della categoria di sottosuolo. E' da escludere il rischio di liquefazione dei terreni nell'area in studio.

6.3 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 interessata dal progetto è subpianeggiante con pendenze medie inferiori a 15° . Sulla base di tali valutazioni i siti possono essere ascritti alla categoria topografica **T1**, con inclinazione media $i < 15^\circ$.

7 AZIONE SISMICA LOCALE E SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata effettuata utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2018. In tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento. Più precisamente la pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in tale sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Il suddetto lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento" VR, mentre la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

Il periodo di riferimento VR è dato, per ciascun tipo di costruzione, dalla seguente relazione:

$$VR = V_N * C_U$$

V_N = vita nominale della costruzione

C_U = coefficiente d'uso dipendente dalla classe d'uso dell'opera

7.1 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;

7.2 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 IV: "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 $C_U = 2$.

7.3 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.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 2 = 200 \text{ anni (per le opere definitive)}$$

7.4 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:

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

STATO LIMITE		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento
		V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

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.

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

dove:

SLO = Stato Limite di Operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD = Stato Limite di Danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLV = Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e 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 di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti

strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

7.5 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 PVR.

7.6 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.
- h è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione:

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

- dove ξ (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 dove C_C è un coefficiente funzione di $T_C \equiv C_C \cdot T_C^*$ il 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
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

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

7.7 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

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

Nelle quali T e Sve sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e Fv 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:

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

7.8 SPETTRI 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 PVR 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 η nel periodo di riferimento P_{VR} considerata con le ordinate ridotte

$$S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g \cdot$$

sostituendo con $1/q$, dove q è il fattore di struttura con

Di seguito si riportano gli spettri di progetti determinati.

Lavori per l'adeguamento al tipo B dal km 12+000 al km 18+000
(ex S.S. 125 "Orientale Sarda – Connessione tra la S.S. 554 e la nuova S.S. 554)



CA-352

Relazione Sismica

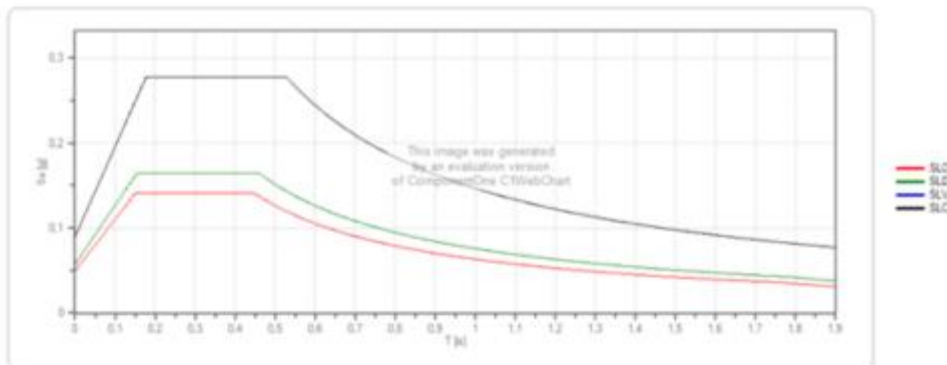
Sondaggio S1-DH 2018

$V_{s_{eq}} = 558,69 \text{ m/s}$ **Cat. = B**

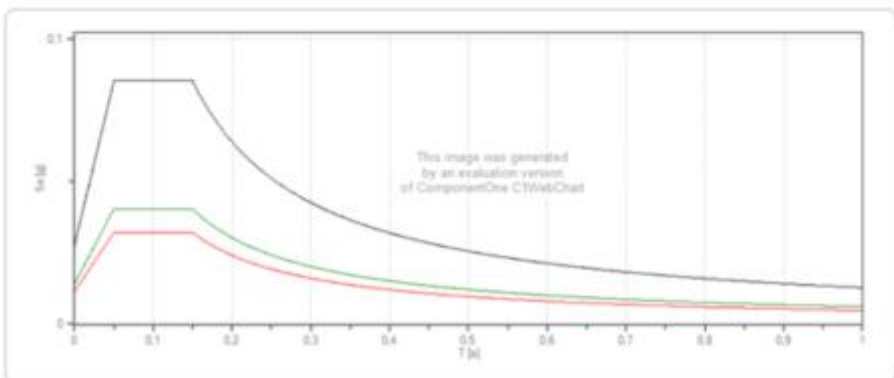
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



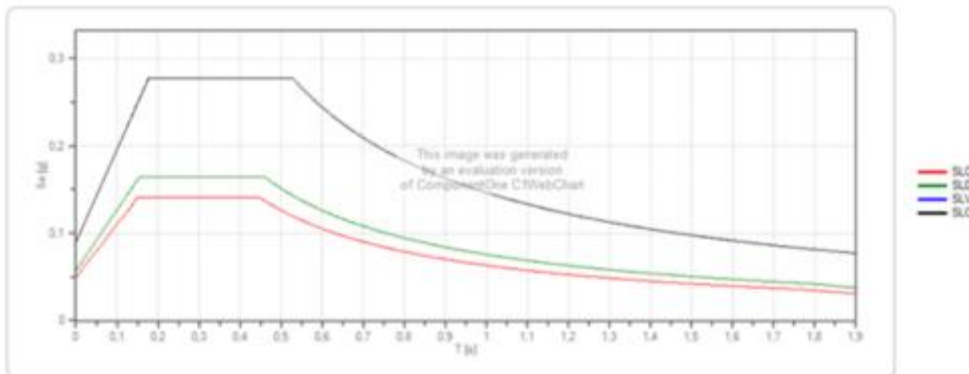
$V_{seq} = 561,71 \text{ m/s}$ **Cat. = B**

Sondaggio S3-DH(2018)

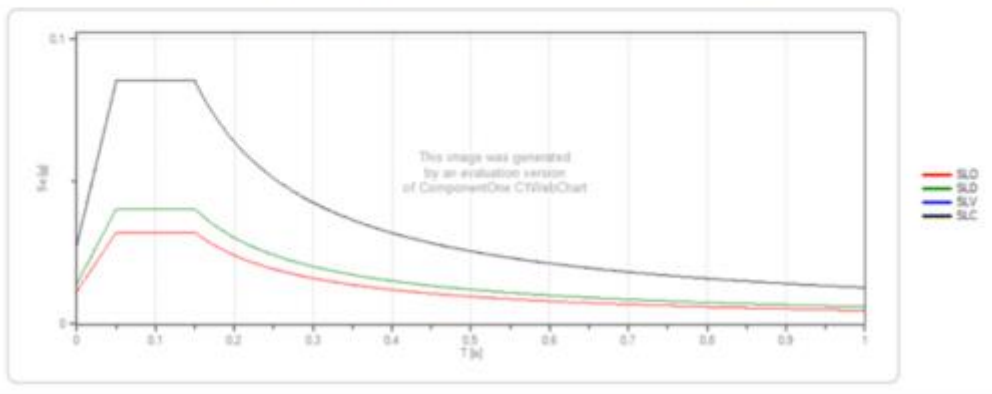
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



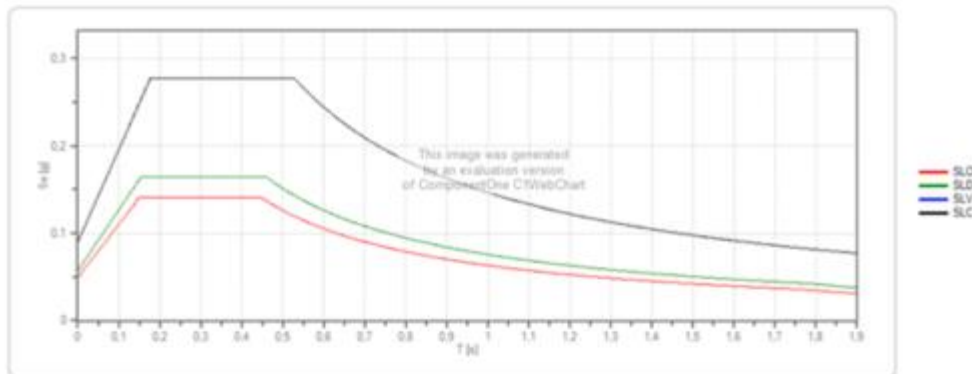
$V_{seq} = 477,05 \text{ m/s}$ **Cat. = B**

Sondaggio S5_DH (2018)

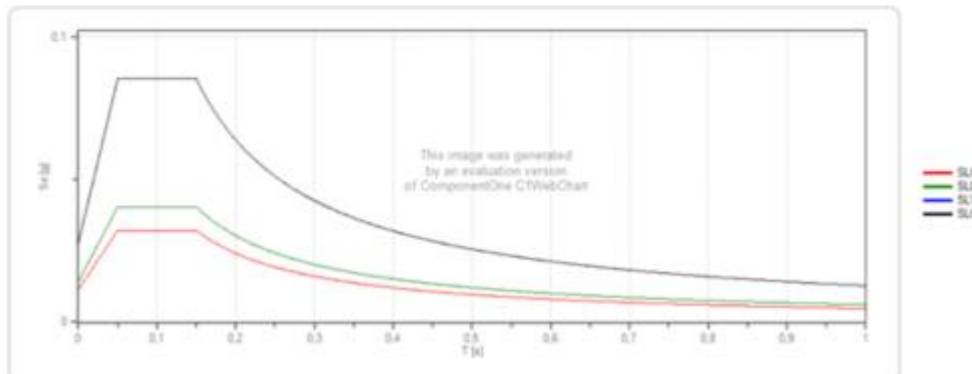
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc' [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

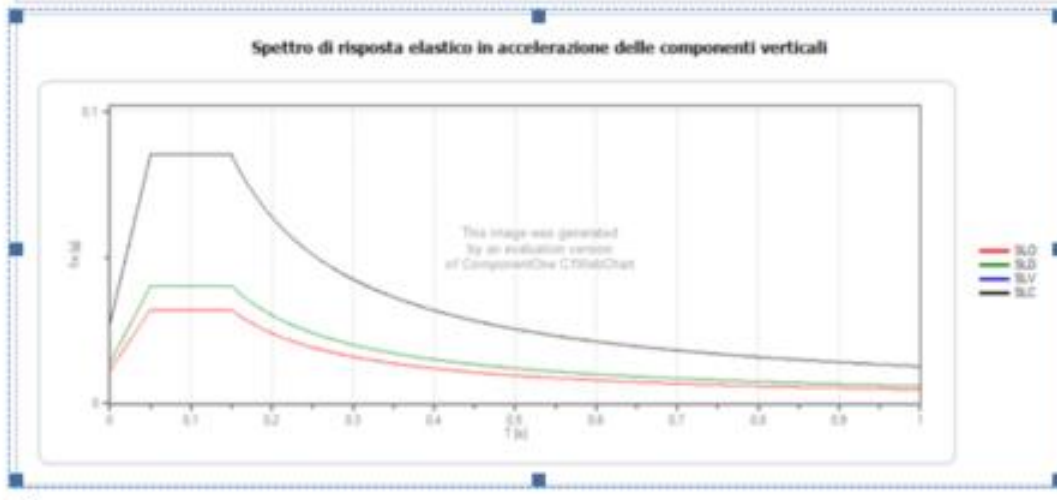
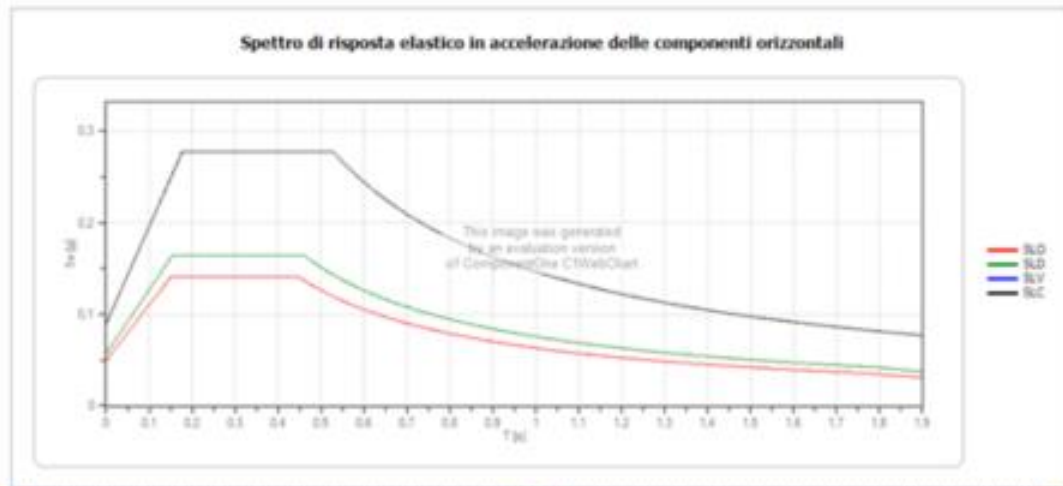


$V_{seq} = 458,06 \text{ m/s}$ **Cat. = B**

Sondaggio S03D_DH (2019)

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200



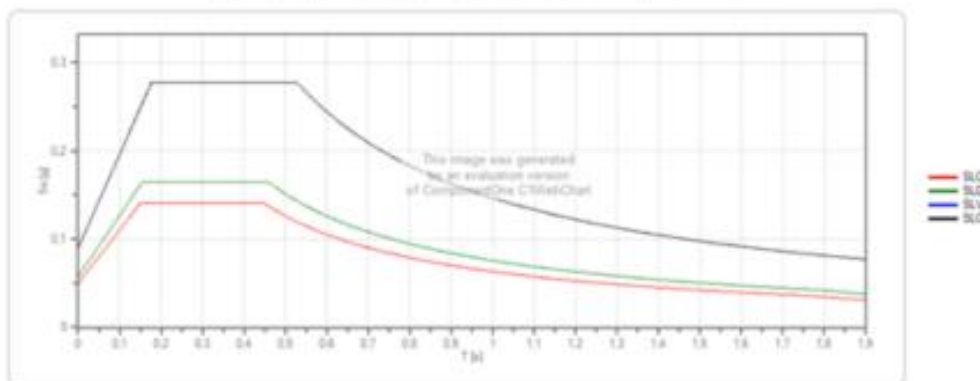
$V_{seq} = 424.94 \text{ m/s}$ Cat. = B

Sondaggio S07D_DH (2019)

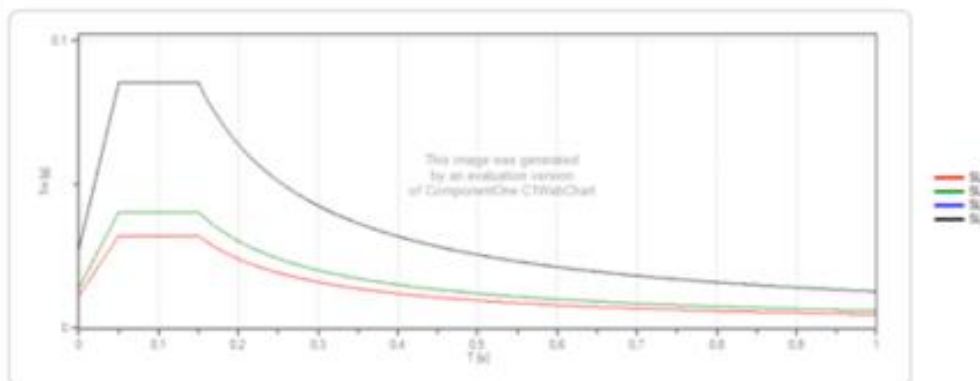
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



**Tomografia sismica
a rifrazione BS1_D (2019)**

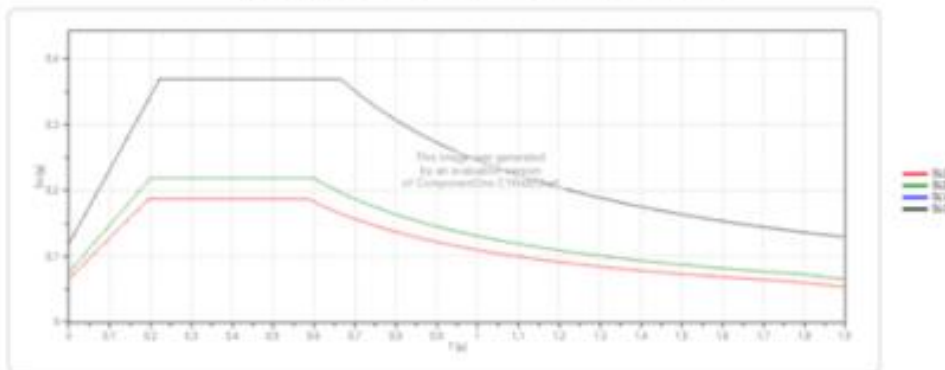
$V_{Seq} = 294,64 \text{ m/s}$

Cat. = E

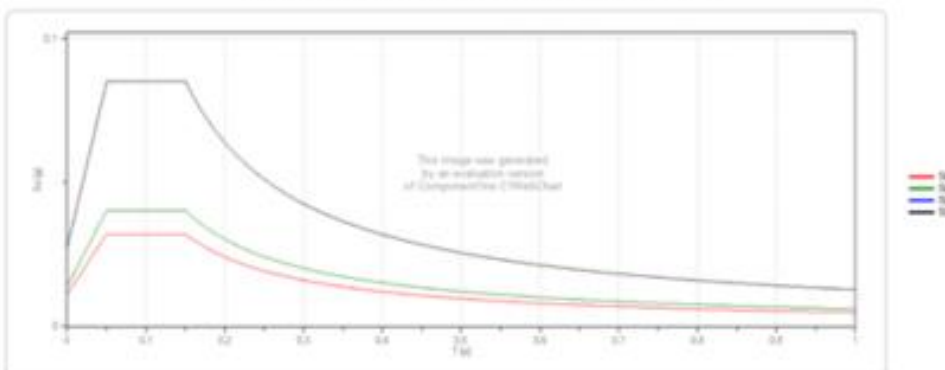
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,600	1,800	1,000	0,013	0,007	0,649	0,200
SLD	1,600	1,780	1,000	0,015	0,008	0,749	0,200
SLV	1,600	1,660	1,000	0,024	0,012	1,172	0,200
SLC	1,600	1,660	1,000	0,024	0,012	1,172	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

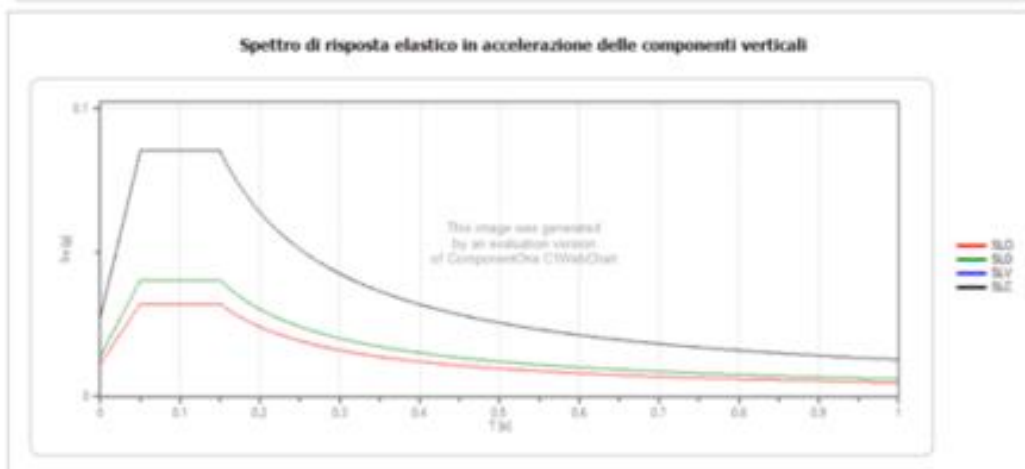
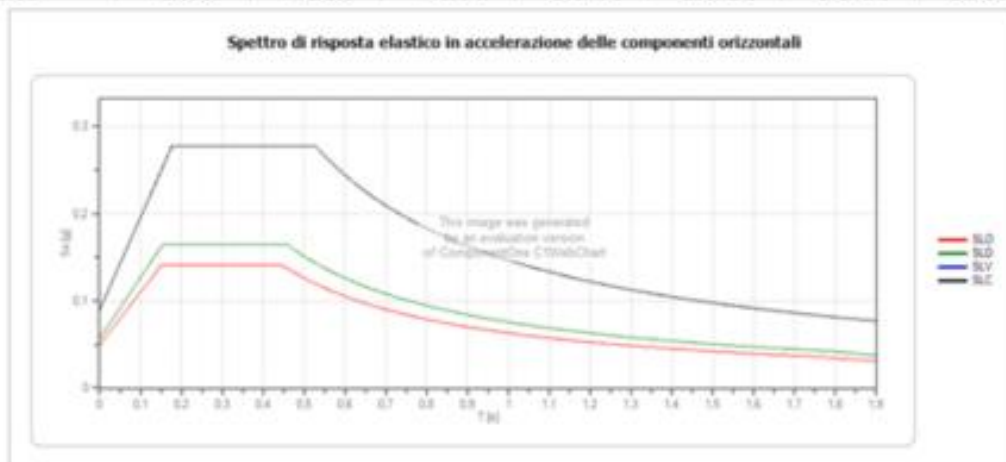


Tomografia sismica

a rifrazione BS2_D (2019)

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

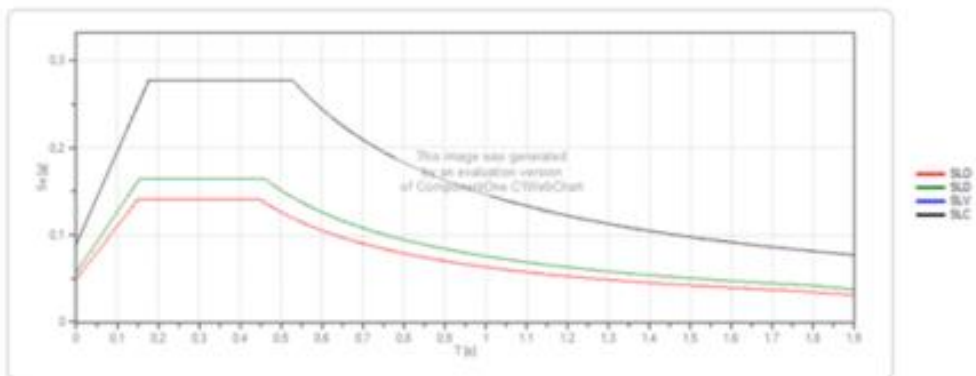


a rifrazione BS3_D (2019)

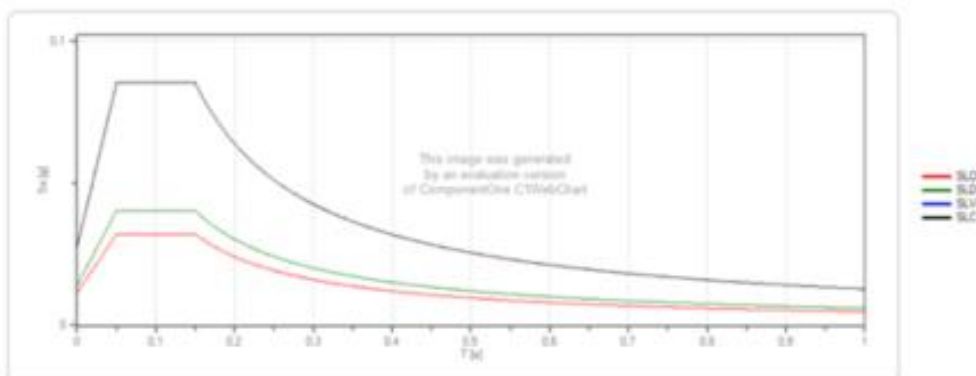
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Tomografia sismica
a rifrazione BS4_D (2019)

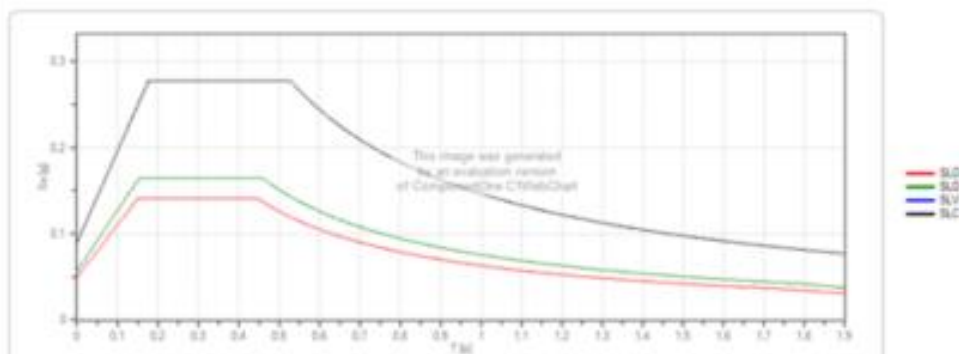
$V_{seq} = 369.60 \text{ m/s}$

Cat. = B

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

