

S.S.131 "Carlo Felice"
Completamento itinerario Sassari - Olbia.
Potenziamento e messa in sicurezza S.S.131
dal km 192+500 al km 209+500.
2° Lotto dal km 202+000 al km 209+500

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA357

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

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 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

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



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Quattrone

GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA
Relazione Sismica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. ANNO DPCA0357 D 21		CA357_T00GE00GEORE02_A		A	1:2000
		CODICE ELAB. T00GE00GEORE02			
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	GIU. 2021	F.UCCELLETTI	E.CURCURUTO	G.PIAZZA
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.....	41
6.3	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	45
7	AZIONE SISMICA LOCALE E SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO.....	45
7.1	VITA NOMINALE.....	46
7.2	CLASSE D'USO	47
7.3	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	48
7.4	PARAMETRI DI PROGETTO.....	48
7.5	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE	50
7.6	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI.....	50
7.7	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI.....	52
7.8	SPETTRI DI PROGETTO	52

ALLEGATO 1- INDAGINI GEOFISICHE 2020

ALLEGATO 2 – PLANIMETRIA CON CLASSIFCAZIONE SISMICA

1 PREMESSA

Scopo della seguente relazione è la caratterizzazione sismica dell'area interessata dal Progetto Definitivo degli interventi CA357 che viene redatto nell'ambito del Progetto denominato "Itinerario Sassari-Olbia, potenziamento-messa in sicurezza S.S. 131 dal km 192+500 al km 209+500 (2° lotto)".

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:

- 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:

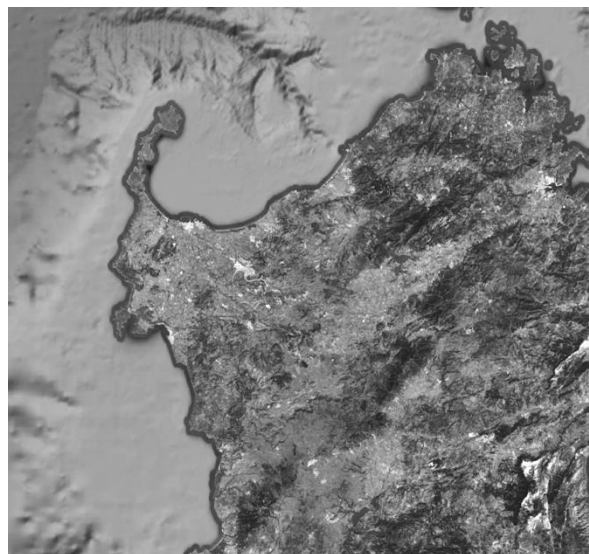
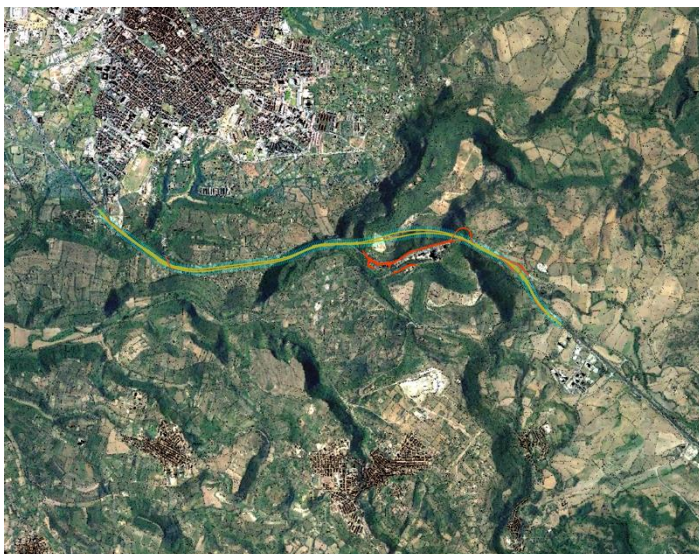
- *D.M. 17 Gennaio 2018*
Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- *D.M. 14 Gennaio 2008*
Norme tecniche per le costruzioni;


- *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 S.S.131 “Carlo Felice” collega il capoluogo Sardo con Porto Torres; inizia appunto a Cagliari, dal Nord della città, e scorre prevalentemente in direzione Nord attraversando le provincie di Cagliari, Oristano, Nuoro e Sassari finendo presso la città di Porto Torres. Il tracciato in progetto si colloca nel programma di completamento della Strada Statale 131 “Sassari – Olbia” lotto 2 dal km 192+500 al km 209+500.

L’infrastruttura è localizzata nella parte Nord della Regione Sardegna e costituisce un importante asse di interconnessione tra il capoluogo Sardo e Iglesias e la costa occidentale sarda.



SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA-357	Relazione Sismica	

– Ubicazione dell'area di intervento e precedente tracciato –

L'opera in progetto insiste quasi interamente sul territorio comunale di Codrongianos (SS), a differenza di un breve tratto di circa 1,2 km che ricade all'interno del territorio comunale di Florinas (SS). Lo stesso ricade nelle seguenti tavolette della Carta d'Italia redatta dall'I.G.M.I., nella sequenza progressiva del tracciato da E verso W:

F° 459 II "Ossi";

F° 460 III "Ploaghe";

e nelle sezioni N° 460130, 460090 e 459120 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 settentrionale nell'intorno di Sassari, 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. Anche nella parte settentrionale le Formazioni Posterciniche si sovrappongono alla "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 Falde interne del Complesso Metamorfico di medio grado e il Complesso metamorfico di basso grado che contornano le parte delle formazioni posterciniche della parte settentrionale e occidentale della Sardegna.

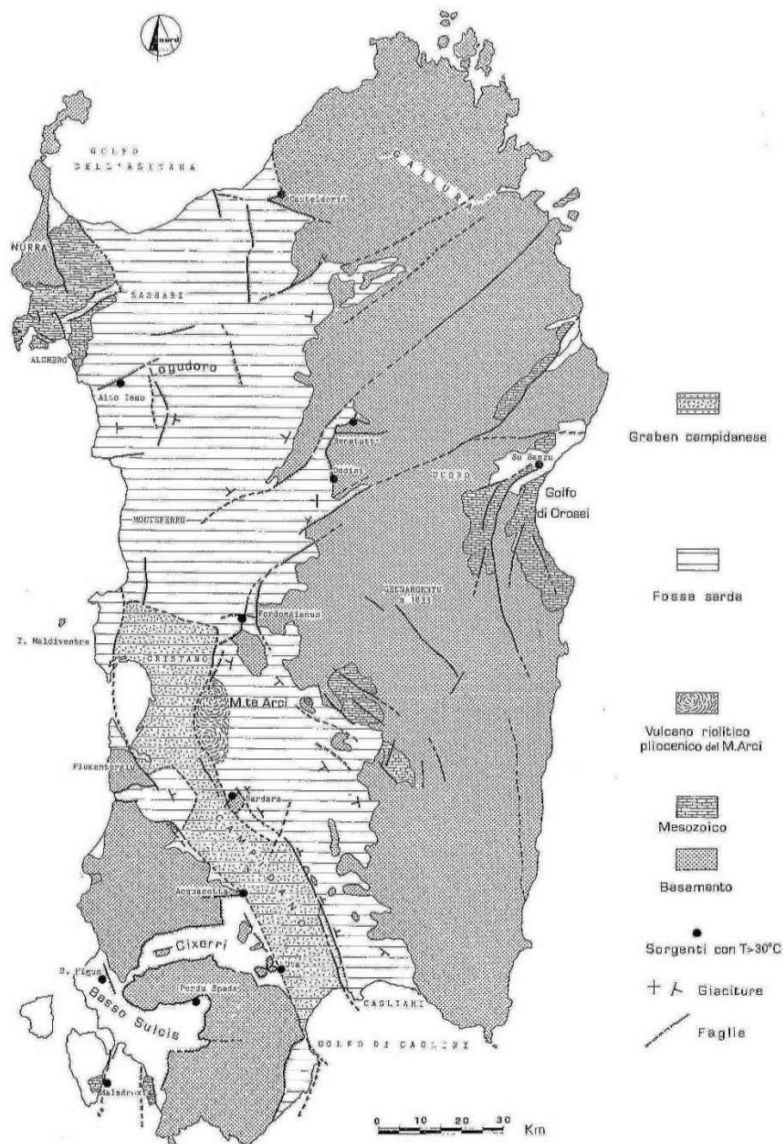
La subsidenza all'interno della fossa fu attiva per un lungo periodo, cosicché il mare miocenico vi penetrò, come testimoniano i numerosi affioramenti di sedimenti marini miocenici.

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).

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).

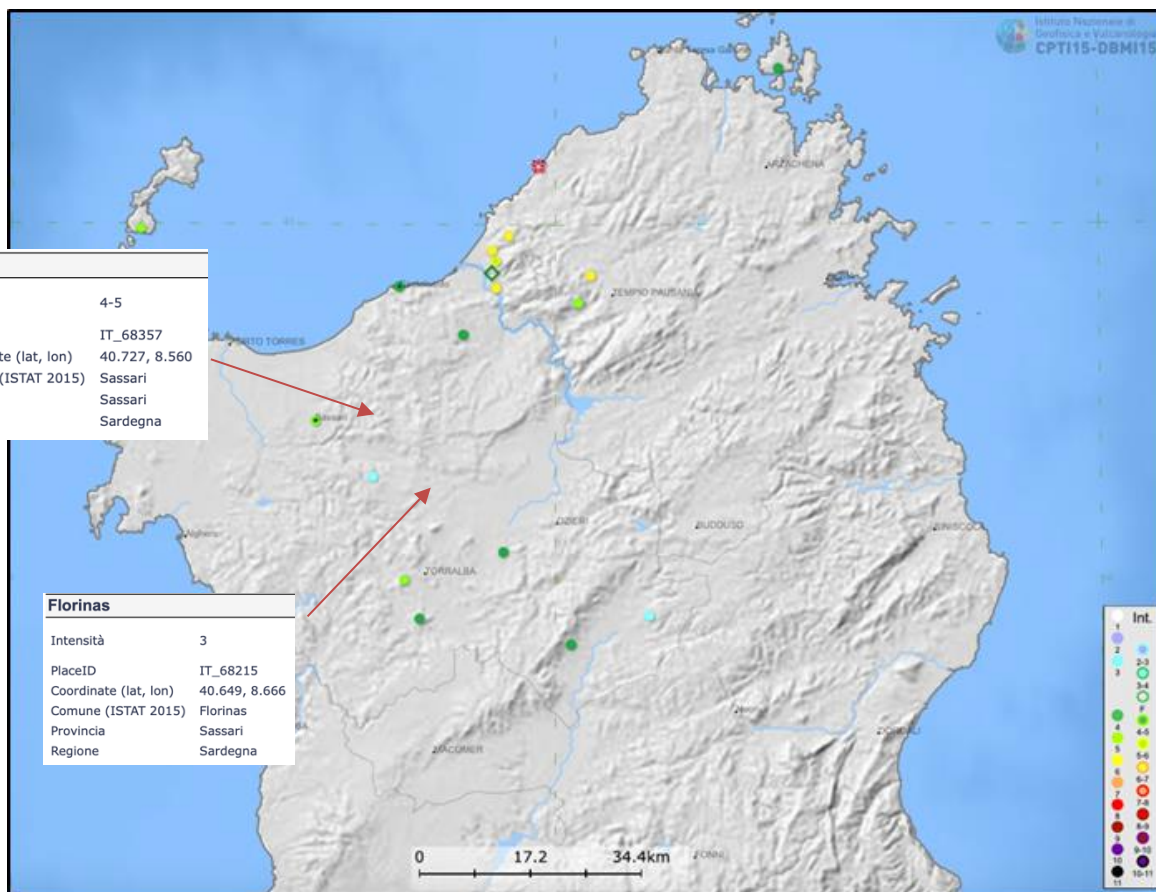
Questo catalogo riporta un set **omogeneo** di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). La finestra cronologica 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 1 solo evento nell'area settentrionale della Sardegna riferibile al 1948 con magnitudo di $4,72 \pm 0,16$.



Effetti	In occasione del terremoto del					Area epicentrale	NMDP	Io Mw	
	Int.	Anno	Me	Gi	Ho				Mi
3		1948	11	13	09	52	Mar di Sardegna	18	6 4.72
3-4		2000	04	26	13	37	Tirreno centrale	265	4.77

- Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti nell'area di progetto (fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV) –

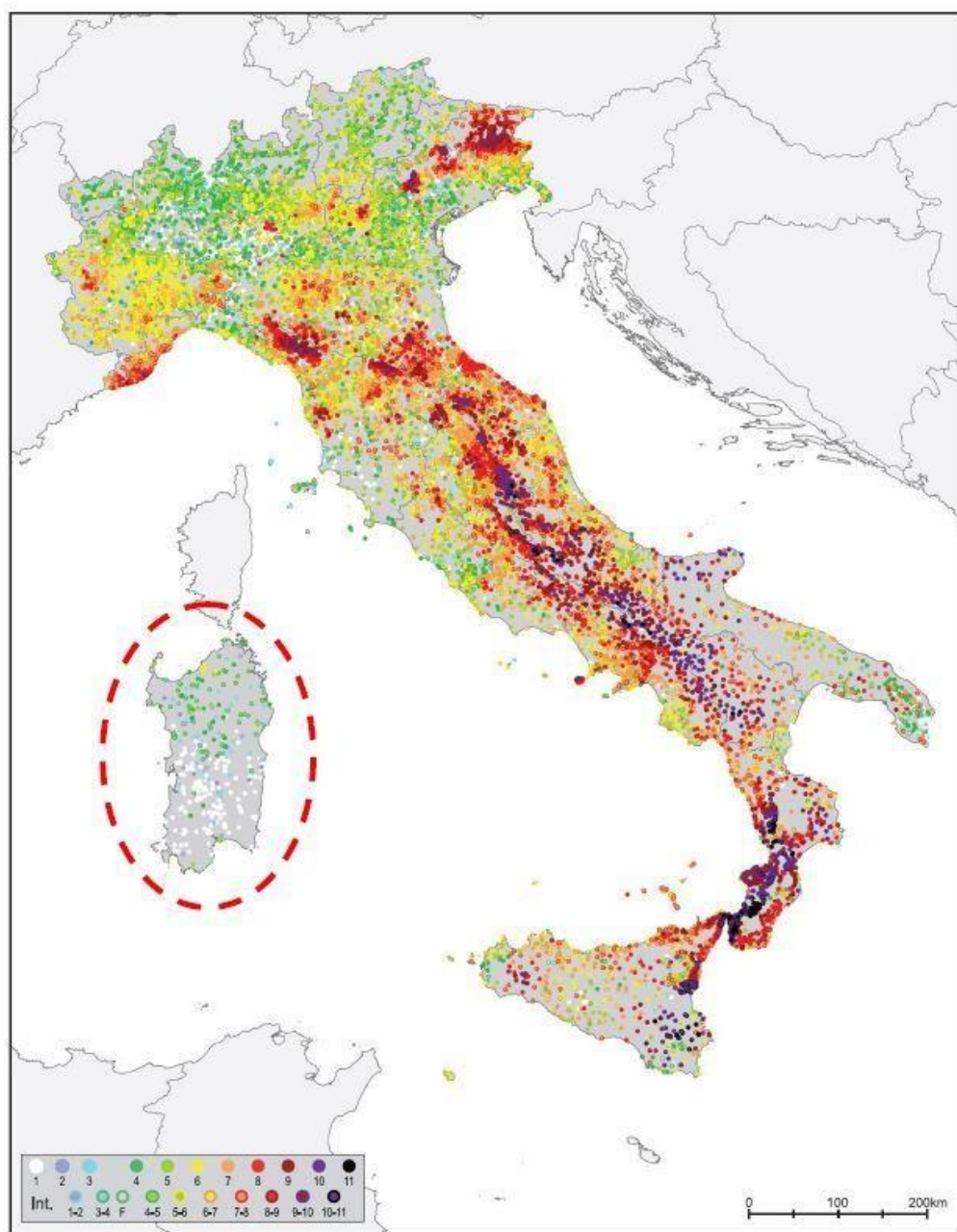
COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremot
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	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
Bidoni	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinias	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	Mamojada	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 Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigiadae	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	Muntiggioni	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	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	Neghedu di San Nicola	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Neghedu 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
Castelardo	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
Chiaravalle	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 Ginepro	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Tula	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
Espariatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orsei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Ortelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidra	VS	4	1
Fardongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtelli	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 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

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:

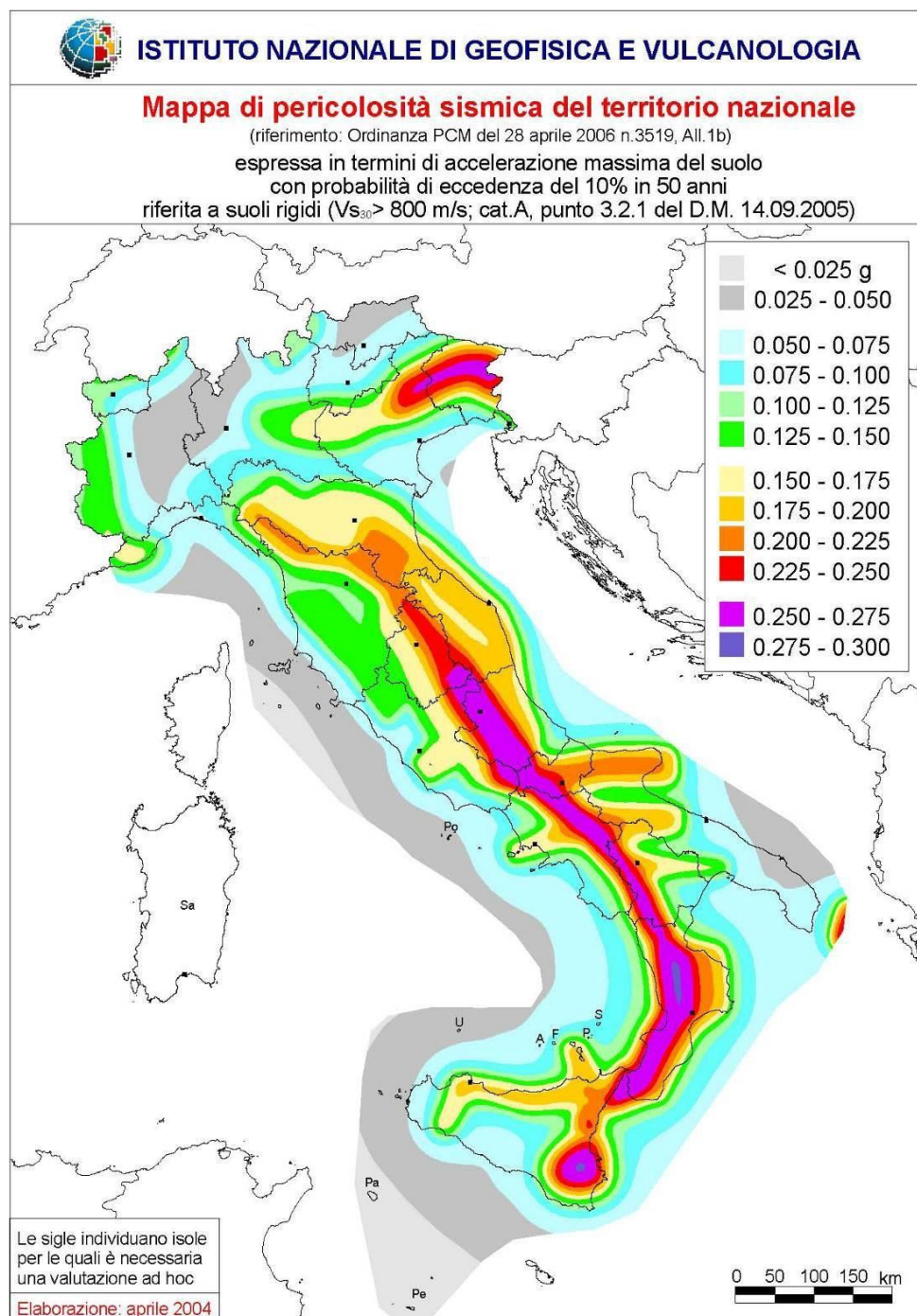
Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti;

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.

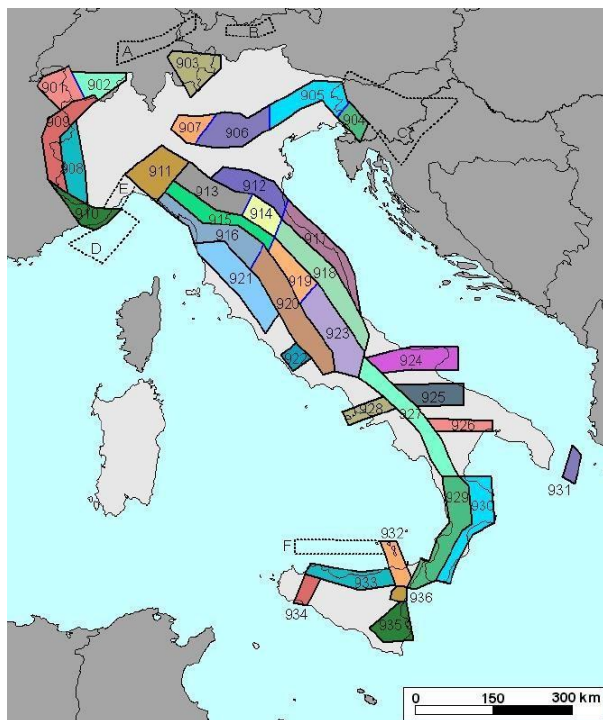
Il sito in oggetto ricade nel territorio della provincia di Cagliari nei territori dei Comuni di Elmas, Assemini, Decimomannu che ricadono in zona sismica **4**.



- Mappa 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.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA-357	Relazione Sismica	

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).

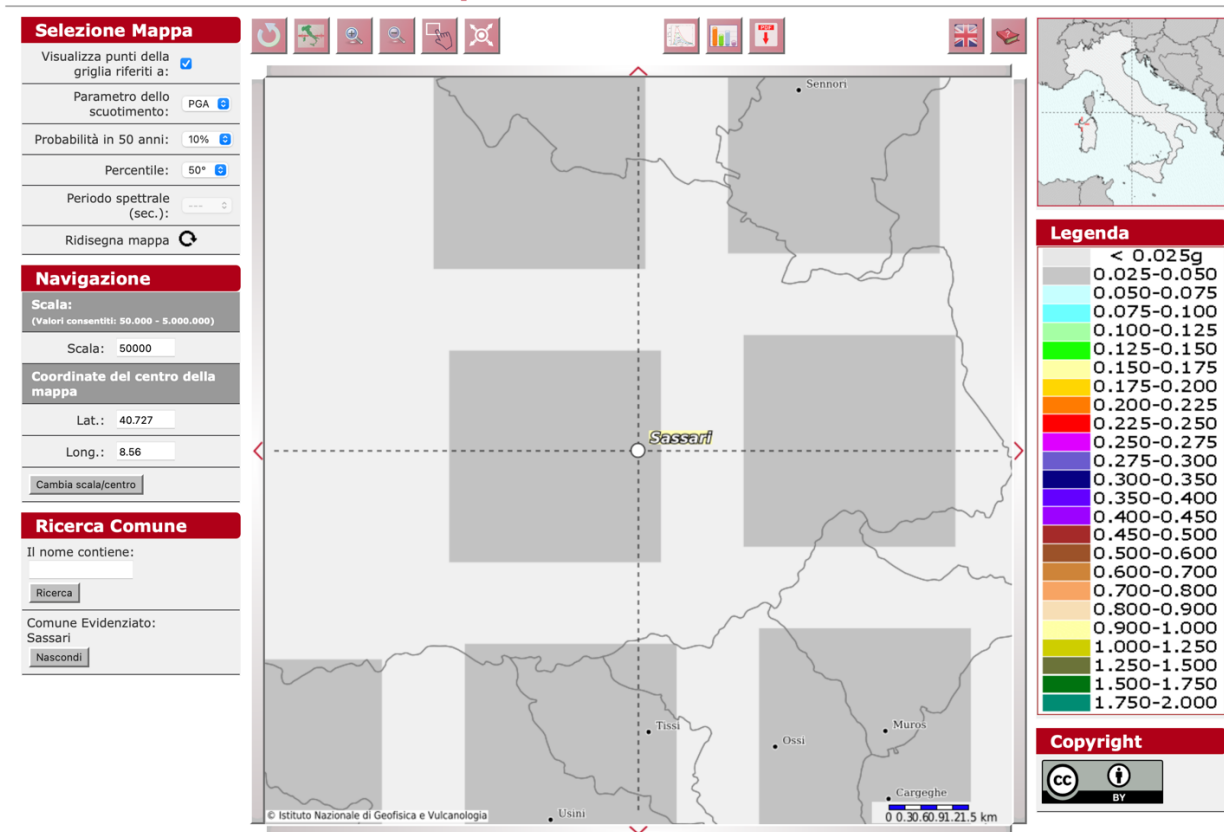
Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 17/01/2018 introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

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).

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



- 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 macro-zonazione sismica omogenea, ossia presenta medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica con accelerazione massima (amax) 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 ag, 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, Vs.

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio definita dal parametro VS,30, definito al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018:

dove:

h_i = spessore dello strato i esimo;

V_{si} = 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/se.

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.

7.1 ELABORAZIONE DEI 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 2020 (Indagini eseguite dalla TecnoIn).

Nell'ambito dei lavori summenzionati, sono state eseguite le seguenti prove:


- n.14 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica;
- n.8 indagini sismiche in foro down-hole.

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di luglio ed agosto 2020. Nel mese di novembre 2020, sono state effettuate le seguenti indagini:

- n.2 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica.

Infine, nel mese di dicembre 2020, sono state effettuate le seguenti indagini:

- n.2 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica;
- n.1 prospezione sismica a riflessione;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto (dal km 193 al km 199)		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA-357	Relazione Sismica	

Di seguito si riportano le coordinate relative all'ubicazione delle prospezioni Sismica a Rifrazione e Prove Sismiche Down-Hole:

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.)
S01_DH	35	1467701,785	4505005,096	151,911
S03_DH	35	1467562,189	4505249,157	150,149
S07_DH	35	1466669,248	4505777,723	136,601
S14_DH	35	1465484,553	4505640,048	135,693
S16_DH	35	1465030,706	4505652,958	167,414
S24_DH	35	1463172,983	4505322,932	204,916
S25_DH	35	1463001,345	4505387,751	203,141
S26_DH	30	1462645,489	4505681,229	145,222

Figura 1 - Intervento "Completamento Itinerario Sassari – Olbia, potenziamento – messa in sicurezza S.S. 131 dal km 192+500 al km 209+500 (2°lotto)". Indagini sismiche in foro 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
BS01D	175	1467661,002	4505116,762	1467562,792	4505257,807
BS02D	115	1466880,648	4505820,497	1466896,041	4505707,628
BS05D	175	1466762,866	4505866,866	1466649,379	4505742,203
BS06D	360	1465900,088	4505578,542	1465900,144	4505578,528
BS07D	240	1465617,064	4505583,142	1465834,538	4505519,953
BS07bis	240	1465747,556	4505747,925	1466034,287	4505925,313
BS07tris	480	1465771,697	4505724,390	1465908,661	4505590,864
BS08D	115	1465568,312	4505660,312	1465567,295	4505772,950
BS09D	175	1464179,224	4505569,335	1464341,351	4505509,455
BS10D	200	1464271,244	4505525,097	1464218,665	4505332,082
BS11D	410	1464005,380	4505191,388	1464165,201	4505562,393
BS12D	350	1463500,444	4505387,253	1463544,671	4505374,859
BS13D	46	1463543,122	4505385,255	1463561,272	4505426,760
BS14D	46	1463642,882	4505366,736	1463652,402	4505322,268
BS15D	46	1463648,590	4505351,901	1463804,302	4505431,768
BS16D	175	1462831,351	4505472,916	1462989,531	4505401,599
BS17D	175	1467661,002	4505116,762	1467562,792	4505257,807
BS18D	69	1462619,406	4505721,554	1462617,389	4505654,244

Figura 2 - Intervento "Completamento Itinerario Sassari – Olbia, potenziamento – messa in sicurezza S.S. 131 dal km 192+500 al km 209+500 (2°lotto)". Indagini sismiche a rifrazione

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


$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{H_i}{V_{Si}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i esimo;

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

N = numero di strati;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA-357	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/se.

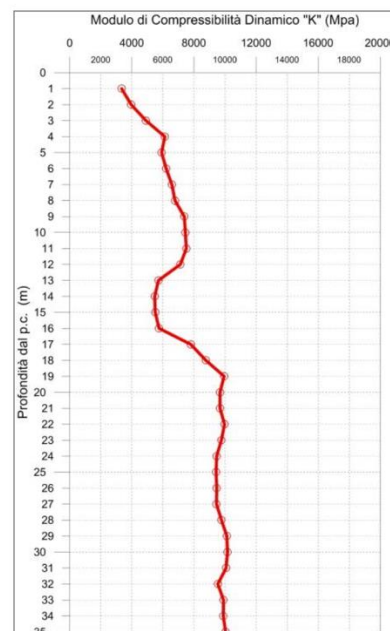
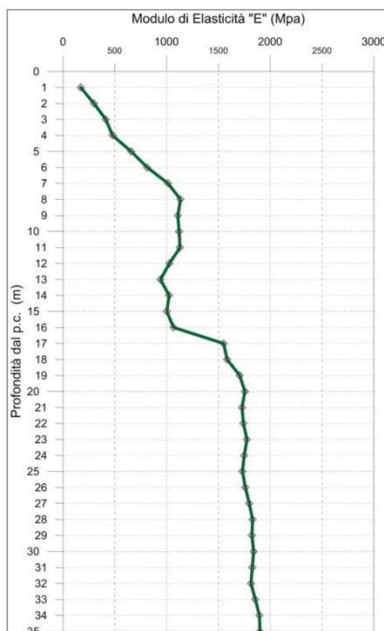
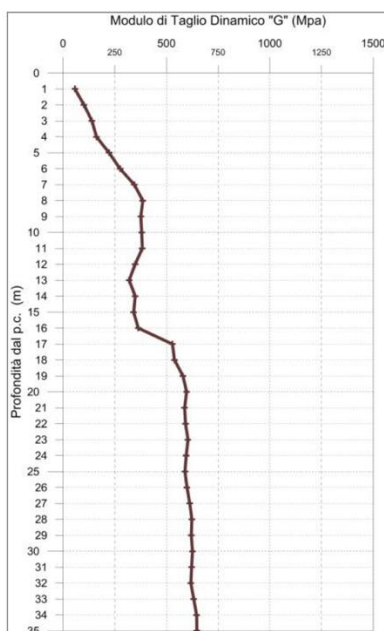
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, 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.

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 S01-DH profondità 35 metri



SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto (dal km 193 al km 199)



CA-357

Relazione Sismica

VSeq=428,28 m/s

Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	7	307
2	9	430
3	19	532



Calcola

Profondità complessiva

35

m

Vs, eq

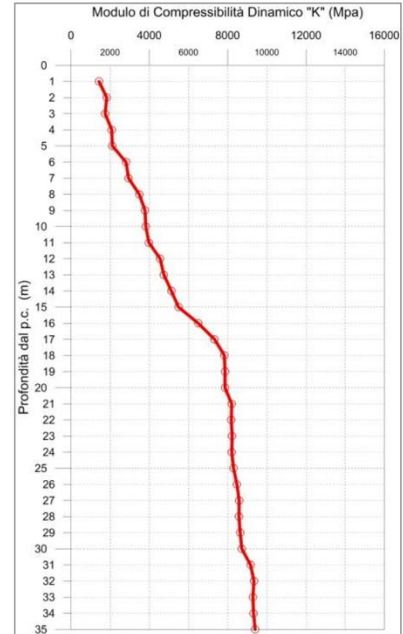
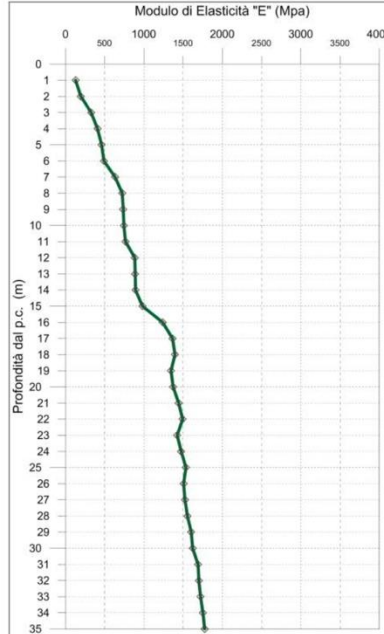
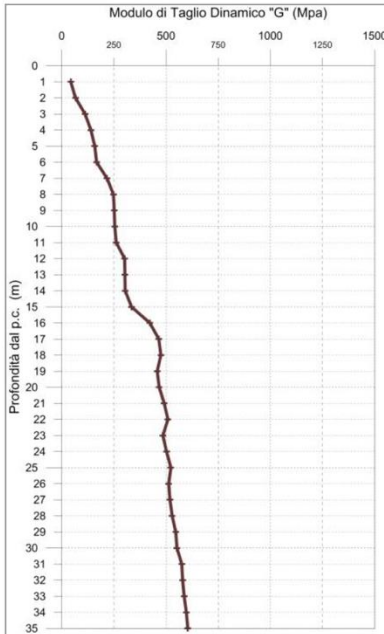
428.28

m/s

Categoria del suolo

B

Sondaggio S03-DH profondità 35 metri



VSeq=388,21 m/s

Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	7	257
2	8	398
3	20	501

- +

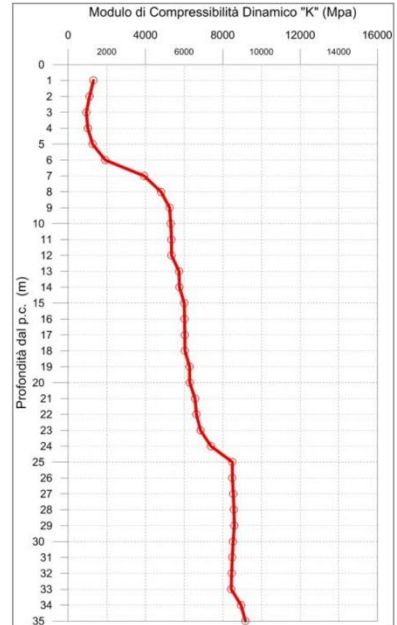
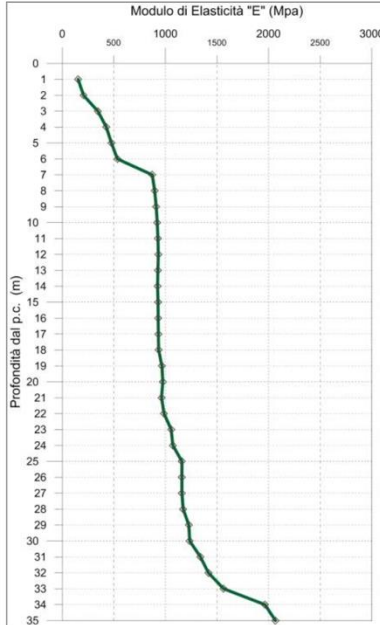
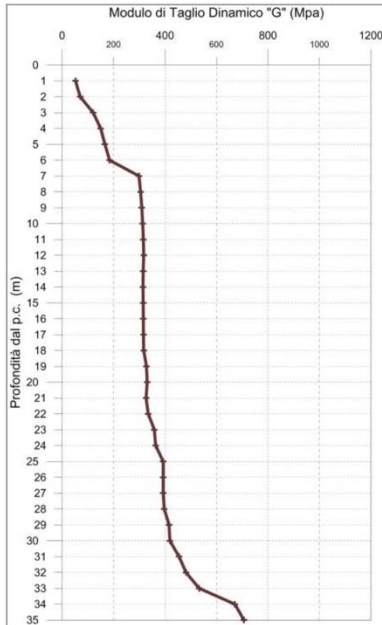
Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Sondaggio S07-DH profondità 35 metri



VSeq=372,37 m/s

Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	6	245
2	24	428
3	5	542

- +

Calcola

Profondità complessiva

35

m

Vs, eq

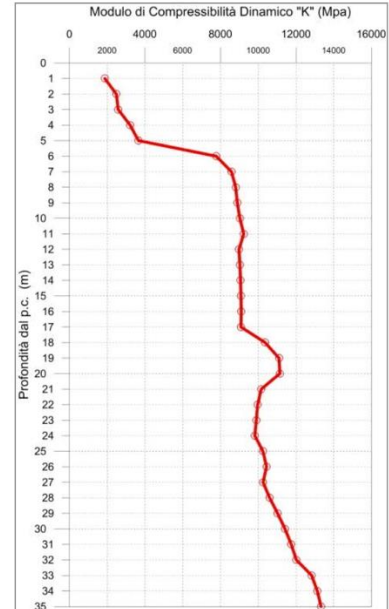
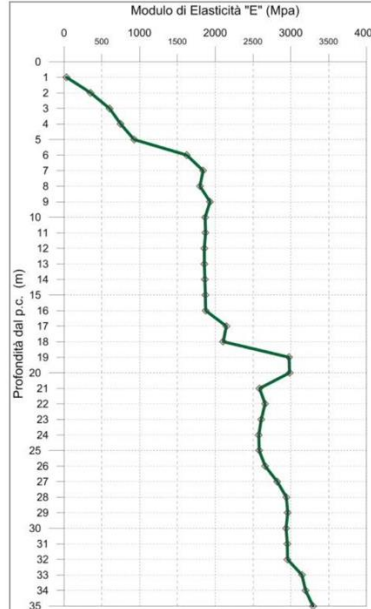
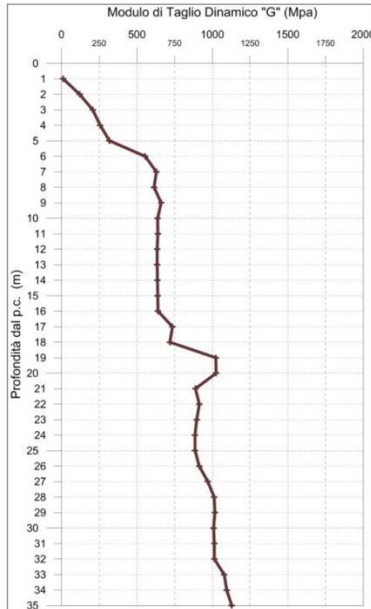
372.37

m/s

Categoria del suolo

B

Sondaggio S14-DH profondità 35 metri



VSeq=501,07 m/s

Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	5	248
2	13	563
3	17	722

- +

Calcola

Profondità complessiva

35 m

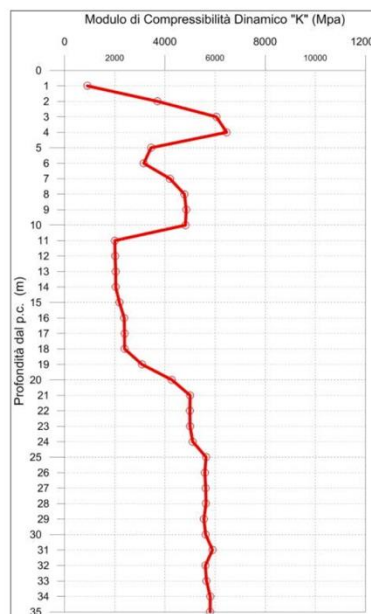
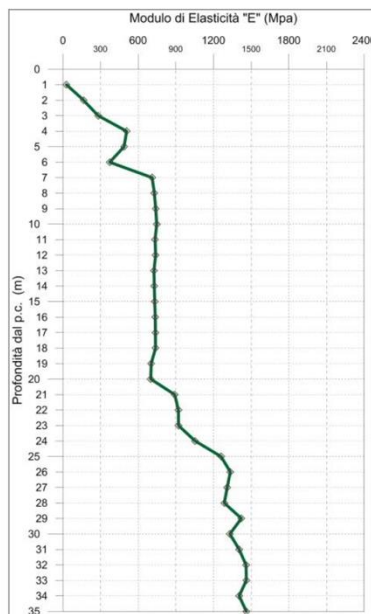
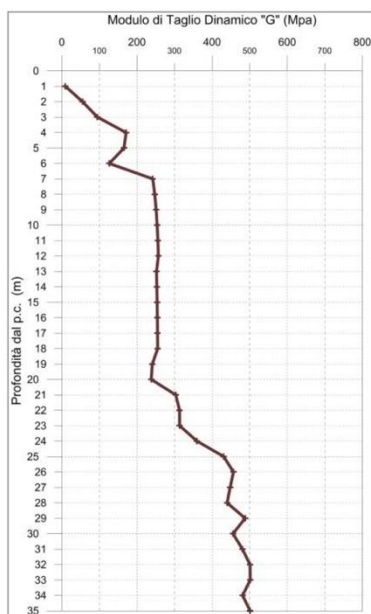
Vs, eq

501.07 m/s

Categoria del suolo

B

Sondaggio S16-DH profondità 35 metri



VSeq=337,81 m/s Cat. C

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	6	214
2	14	360
3	15	457

- +

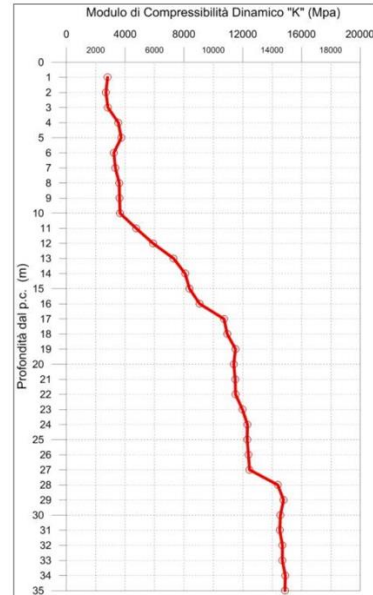
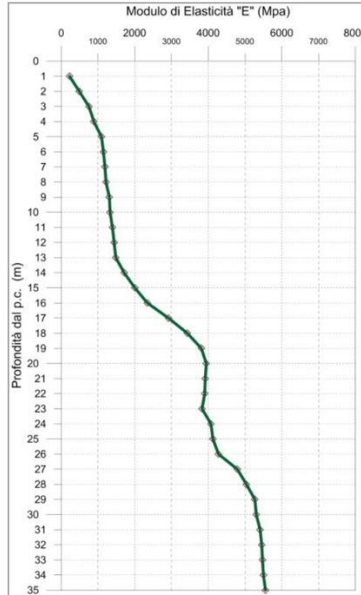
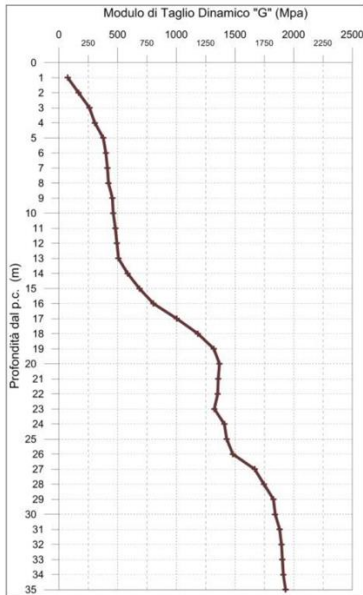
Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Sondaggio S24-DH - profondità 35 metri



VSeq=539,36 m/s Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	4	308
2	9	495
3	6	691
4	7	838
5	9	948

- +

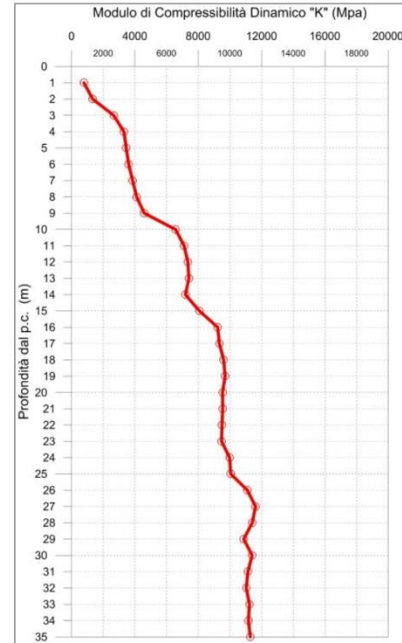
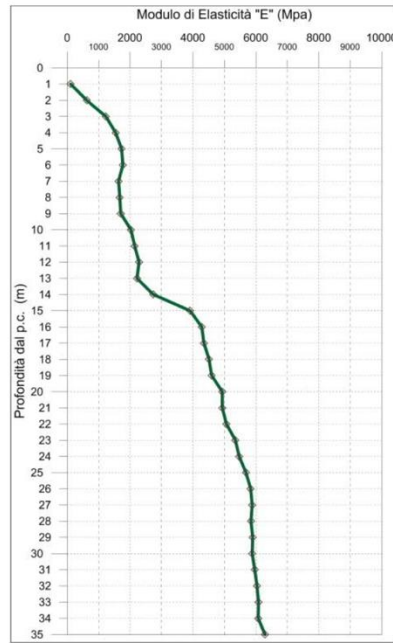
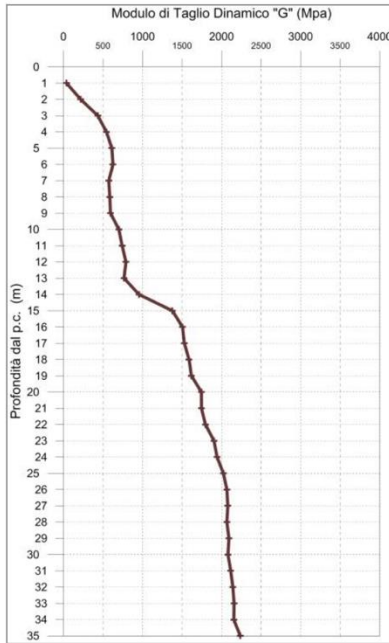
Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Sondaggio S25-DH - profondità 35 metri



VSeq=499,79 m/s Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	3	321
2	10	600
3	22	892

- +

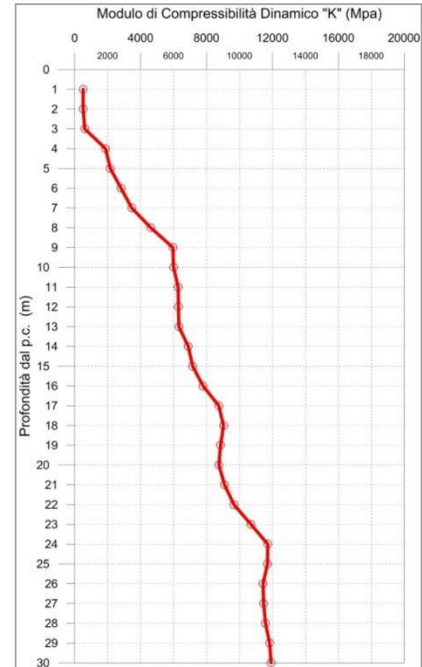
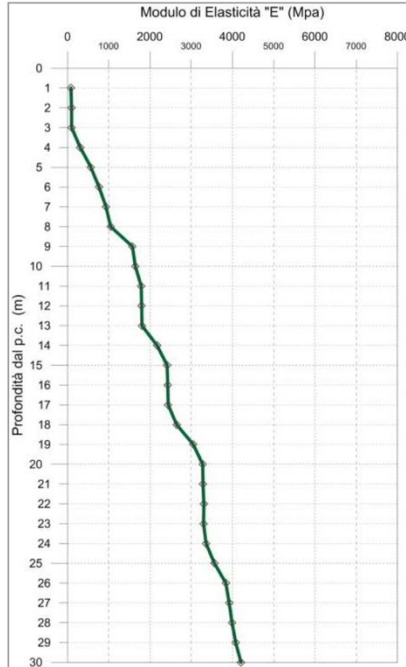
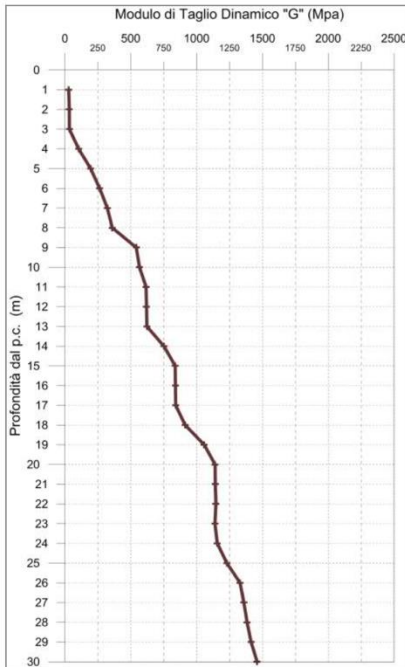
Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

Sondaggio S26-DH - profondità 30 metri



VSeq=461,86 m/s Cat. B

Nr.	Spessore [m]	Velocità [m/s]
1	4	177
2	4	377
3	10	604
4	12	790

- +

Calcola

Profondità complessiva m

Vs, eq m/s

Categoria del suolo

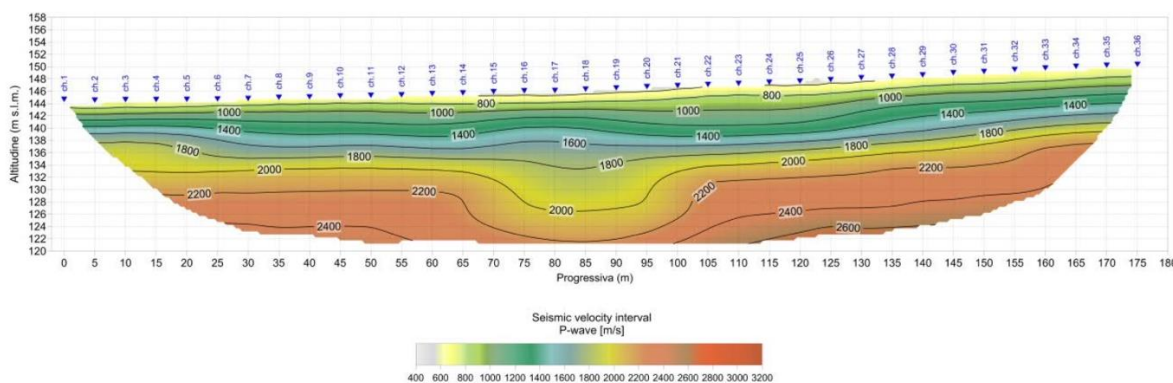
Tomografia sismica a rifrazione BS1D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS1D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

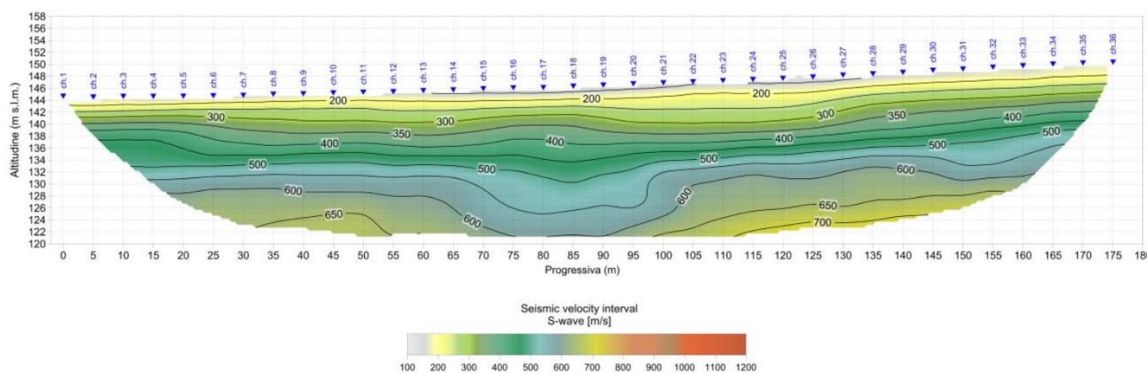
Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari a circa 7 m ed è costituito da limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 650 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato, la cui interfaccia ha una morfologia irregolare, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 15 e 25 m circa, ed è costituito da limo argilloso sabbioso con intercalazioni marnose. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 600 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.400 e 2.200 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da un'alternanza di argilla marnosa e marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 720 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.200 e 2.620 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS1D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS1D

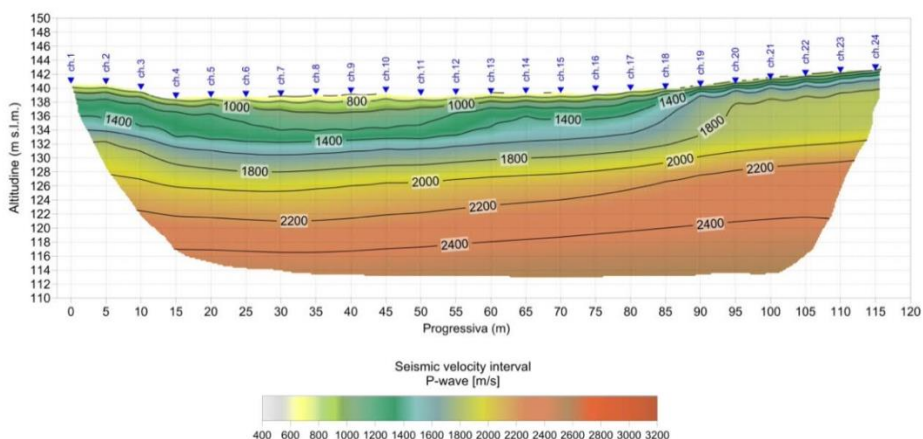
Tomografia sismica a rifrazione BS02D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS02D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

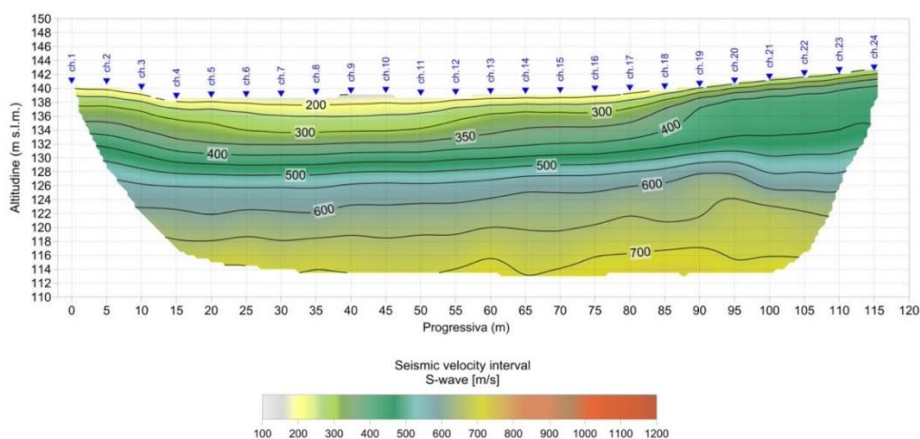
Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 2 e 6 m circa, ed è costituito da ghiaia limoso sabbiosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 750 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato, la cui interfaccia si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 12 e 14 m circa, ed è costituito da sabbia grossolana limosa e limo argilloso sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 600 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.400 e 2.200 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da limo argilloso sabbioso, molto consistente. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 725 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.200 e 2.540 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS1b.

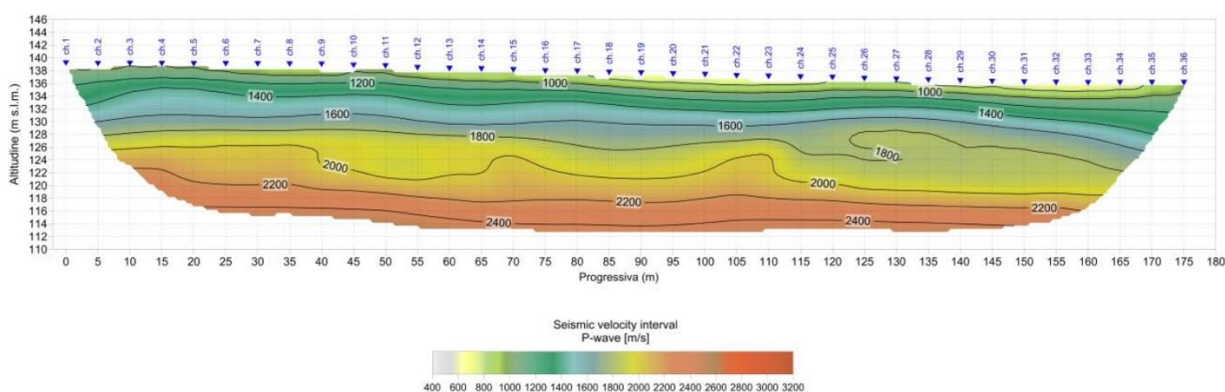
Tomografia sismica a rifrazione BS05D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS3 hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

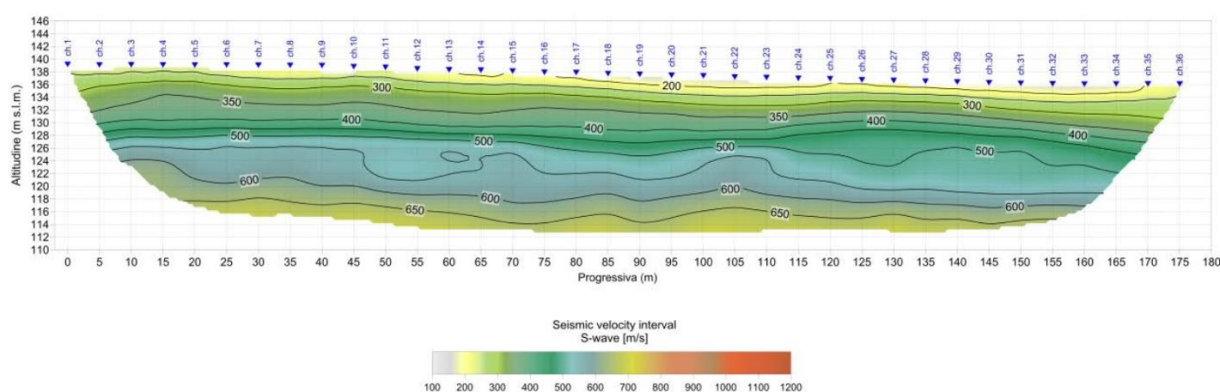
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 5 e 7 m circa, ed è costituito da sabbia limoso ghiaiosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 190 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 740 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 12 e 14 m circa, ed è costituito da sabbia limosa ghiaiosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 500 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.400 e 1.800 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da sabbia limosa ghiaiosa, maggiormente consistente. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 500 e 680 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.800 e 2.420 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS05D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS05D.

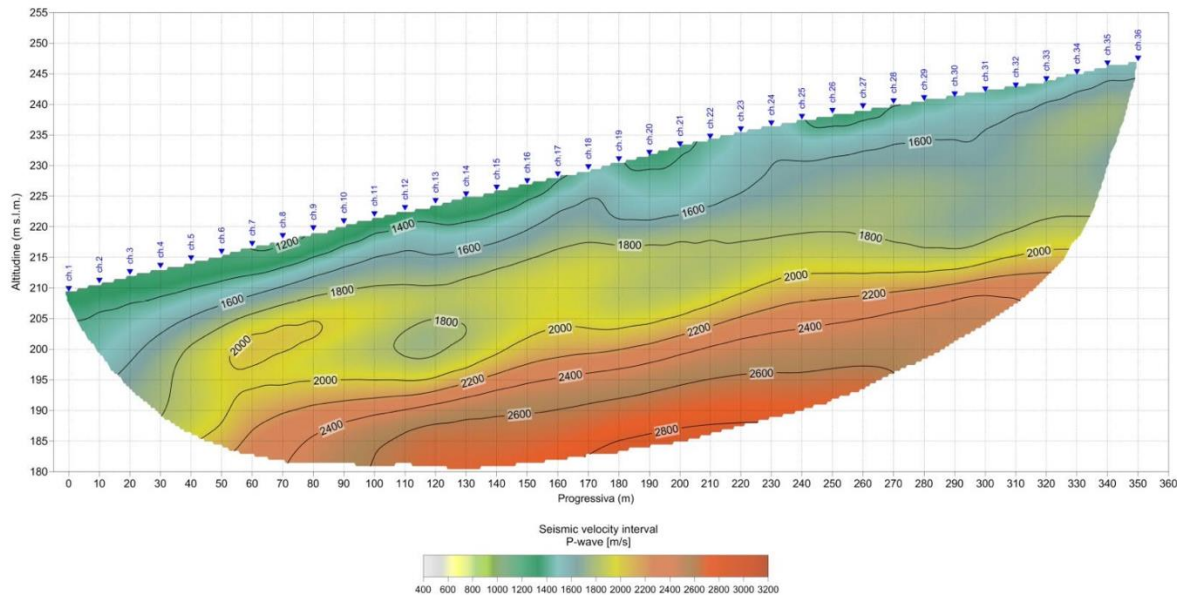
Tomografia sismica a rifrazione BS06D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS06D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

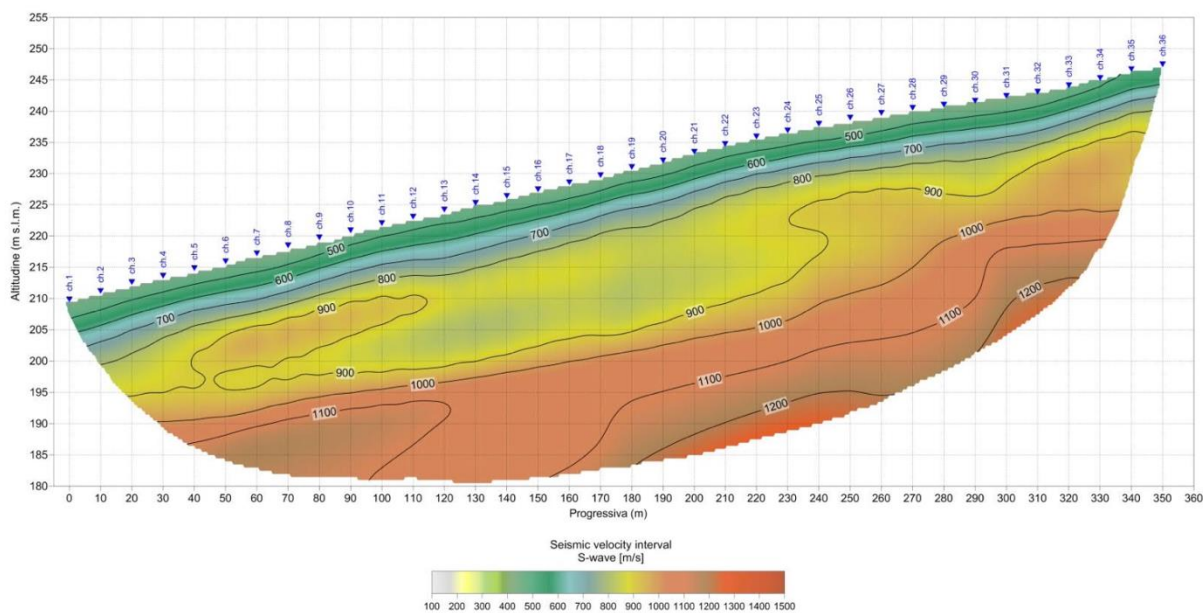
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 7 e 8 m circa, ed è costituito da depositi di terreni a grana grossa da moderatamente addensati ad addensati (arenarie più o meno cementate). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 400 ed 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.200 e 1.800 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 21 e 28 m circa, ed è costituito da alternanza di livelli marnosi ed arenacei. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.000 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.800 e 2.000 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito prevalentemente da marne. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 1.000 e 1.280 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.000 e 2.850 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS06D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS06D.

Tomografia sismica a rifrazione BS07D

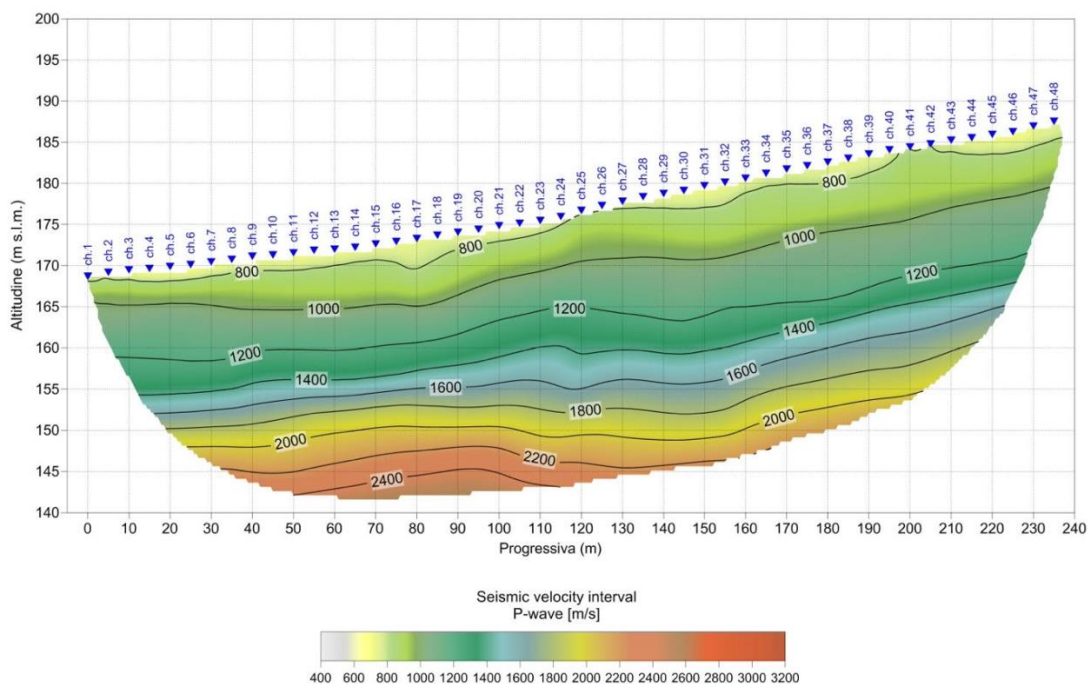
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS07D hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 12 e 18 m circa, ed è costituito da depositi di terreni a grana grossa da moderatamente addensati ad addensati (arenarie più o meno cementate). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 420 ed 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 700 e 1.600 m/s.

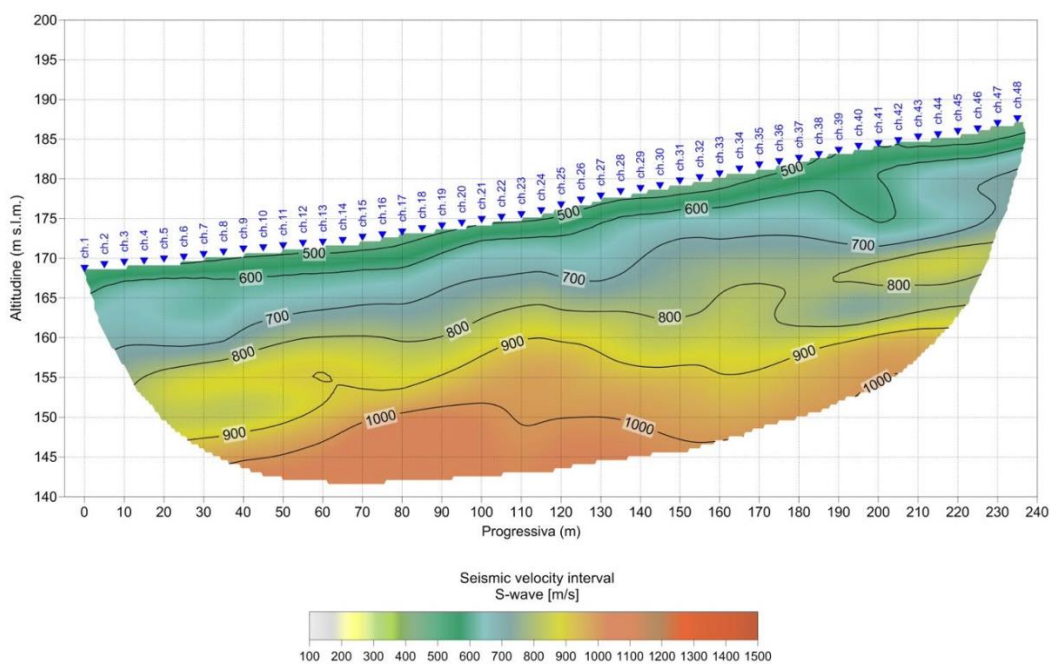
Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da alternanza di livelli marnosi ed arenacei che, all'aumentare della profondità, diventano prevalentemente marnosi. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.100 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.600 e 2.580 m/s.

CA357

Relazione Geologica



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR07D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS07D.

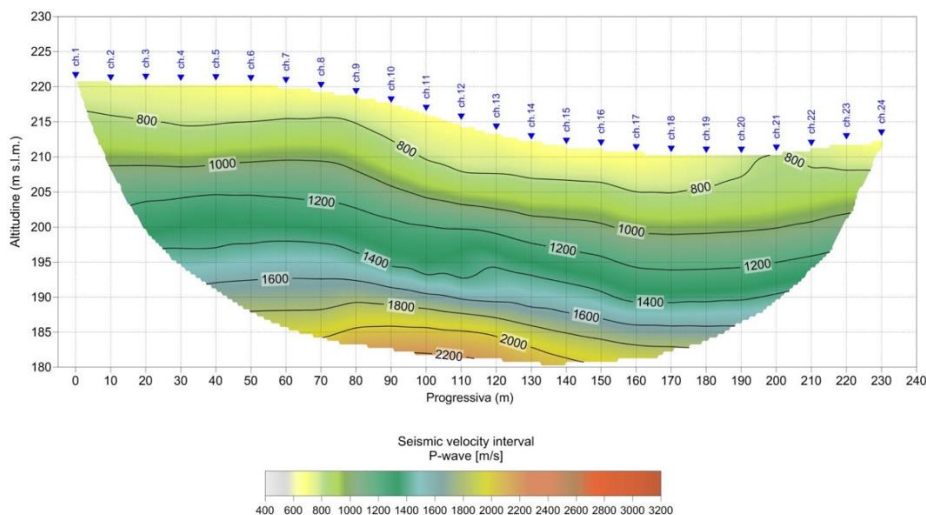
Tomografia sismica a rifrazione BS07bis

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS07bis hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

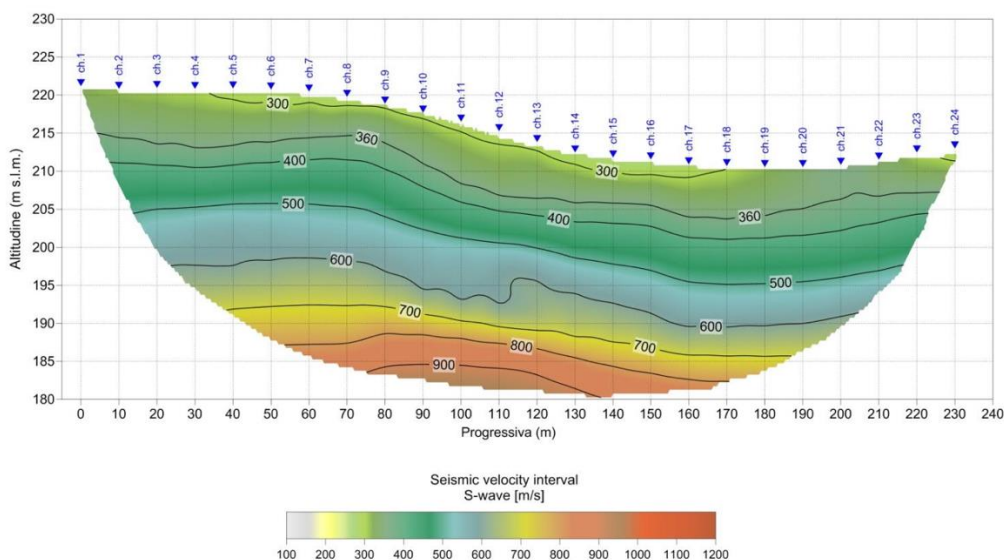
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 4 e 7 m circa, ed è costituito da depositi di terreni a grana grossa da mediamente addensate (arenarie poco cementate). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 270 ed 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 600 e 800 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 25 e 30 m circa, ed è costituito da depositi di terreni a grana grossa da moderatamente addensati ad addensati (arenarie più o meno cementate). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 800 e 1.600 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da alternanza di livelli marnosi ed arenacei. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 970 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.600 e 2.200 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS07bis.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS07bis.

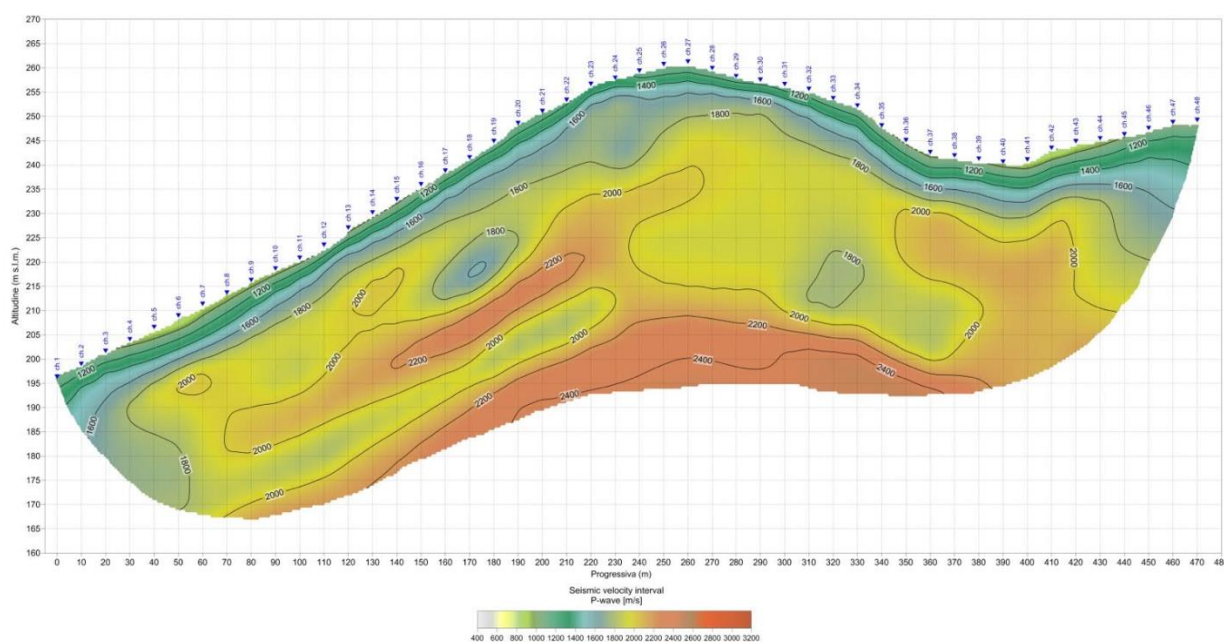
Tomografia sismica a rifrazione BS07tris

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS07tris hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

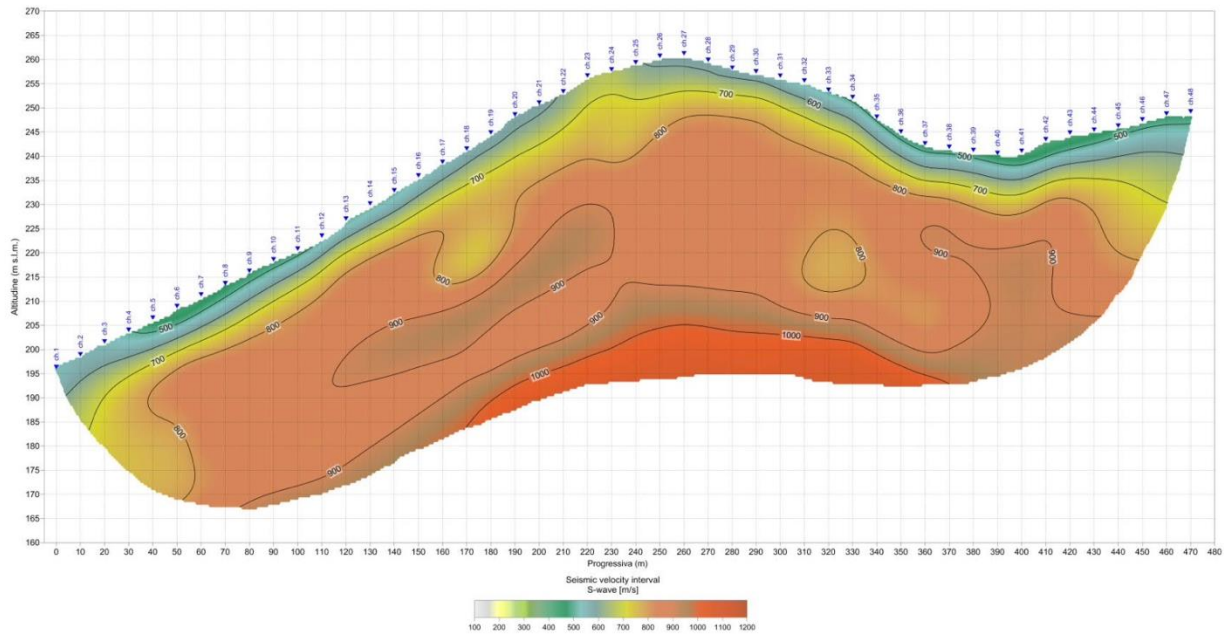
Il primo sismostrato si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 10 e 28 m circa, ed è costituito da depositi di terreni a grana grossa da moderatamente addensati ad addensati (arenarie più o meno cementate). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 420 ed 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 800 e 1.800 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna pari a circa 50 m circa, ed è costituito da alternanza di livelli marnosi ed arenacei. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.000 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.800 e 2.000 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da alternanza di livelli marnosi ed arenacei che, all'aumentare della profondità, diventano prevalentemente marnosi. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 1.000 e 1.100 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.000 e 2.450 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS07tris.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS07tris.

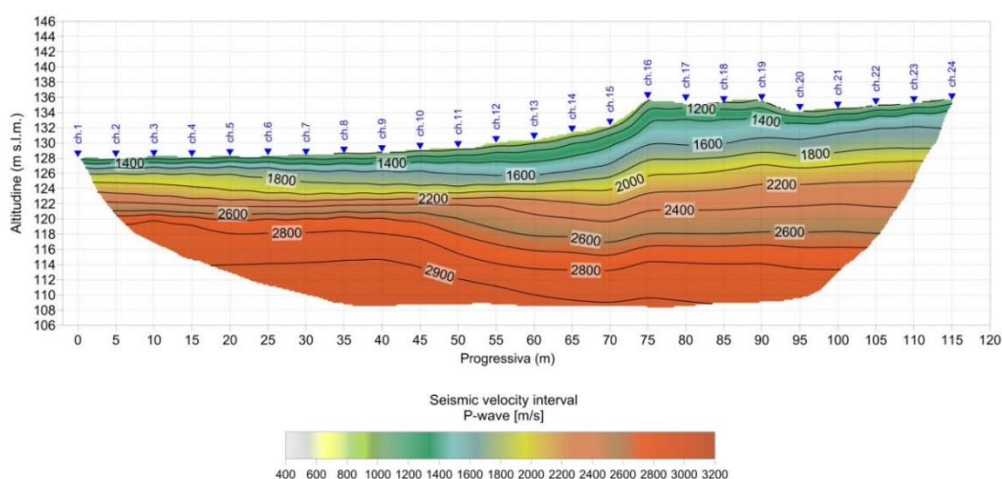
Tomografia sismica a rifrazione BS08D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS08 hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

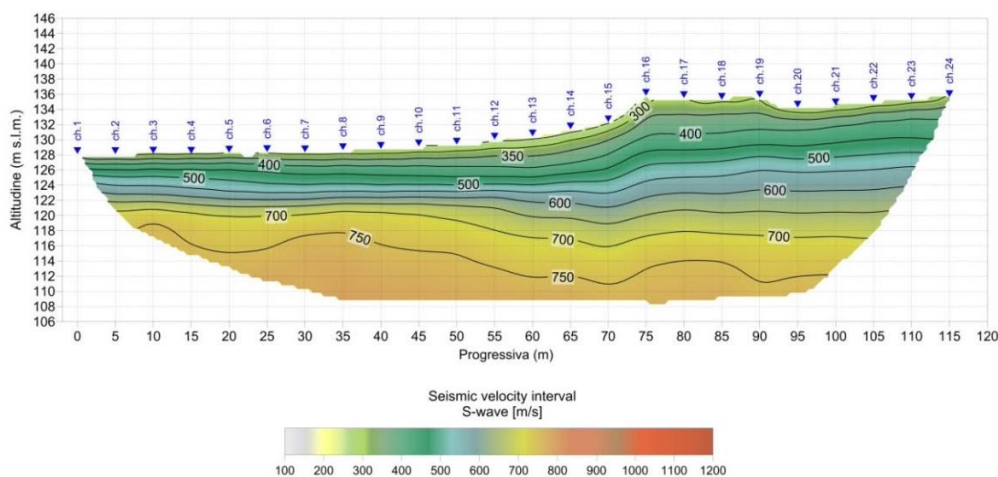
Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari a circa 2 m, ed è costituito da materiale di riporto e limo sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 230 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 830 e 1.300 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 5 e 8 m circa, ed è costituito da un'alternanza di limo sabbioso ed argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 500 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.300 e 1.800 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla marnosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 500 e 780 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.800 e 2.950 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS08.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS08.

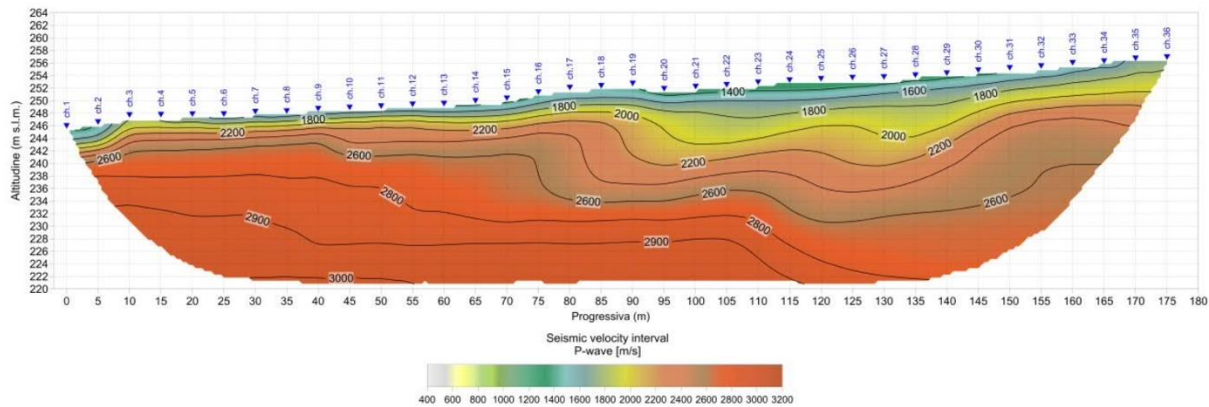
Tomografia sismica a rifrazione BS09D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS09D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

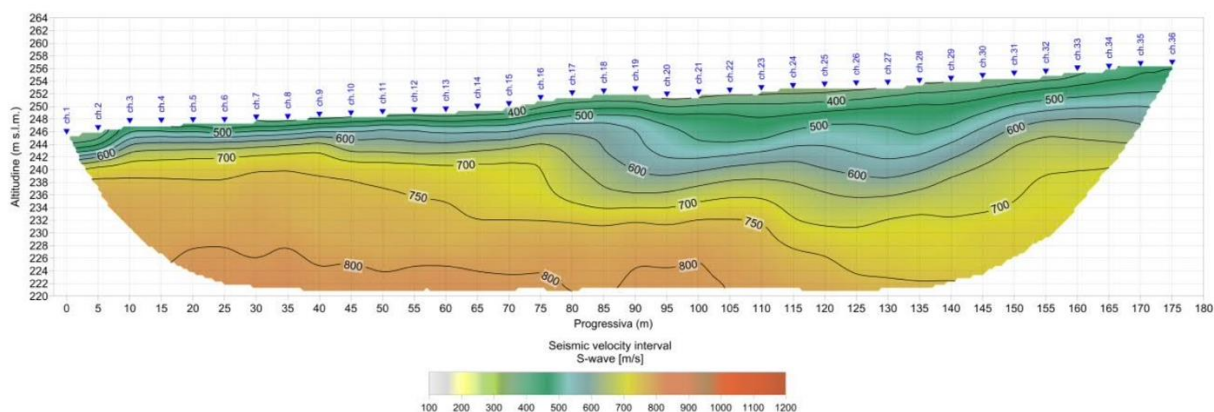
Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari a circa 2 m, ed è costituito da materiale di riporto e limo sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 500 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.350 e 1.800 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 5 e 8 m circa, ed è costituito da un'alternanza di limo sabbioso ed argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 500 e 750 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.800 e 2.700 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla marnosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 750 e 830 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.700 e 3.020 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS09D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS09D.

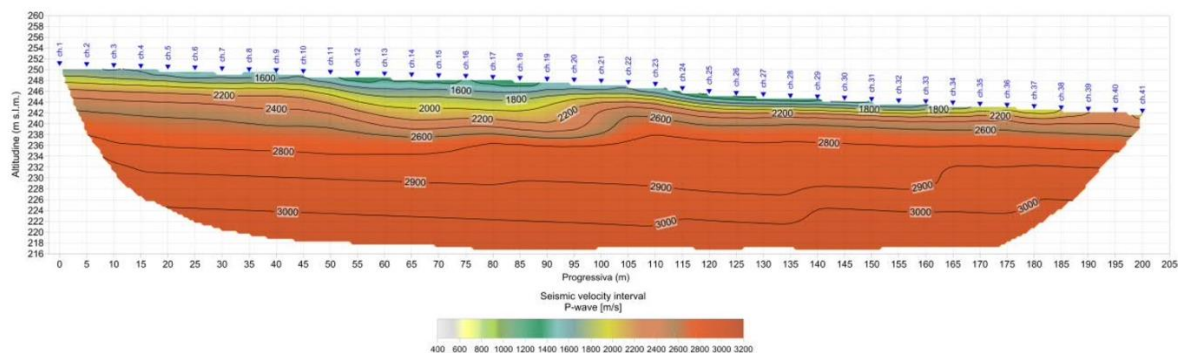
Tomografia sismica a rifrazione BS10D

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico BS09D hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari a circa 2 m, ed è costituito da materiale di riporto e limo sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 600 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.380 e 2.100 m/s.

Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 5 e 8 m circa, ed è costituito da un'alternanza di limo sabbioso ed argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 750 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.100 e 2.600 m/s.

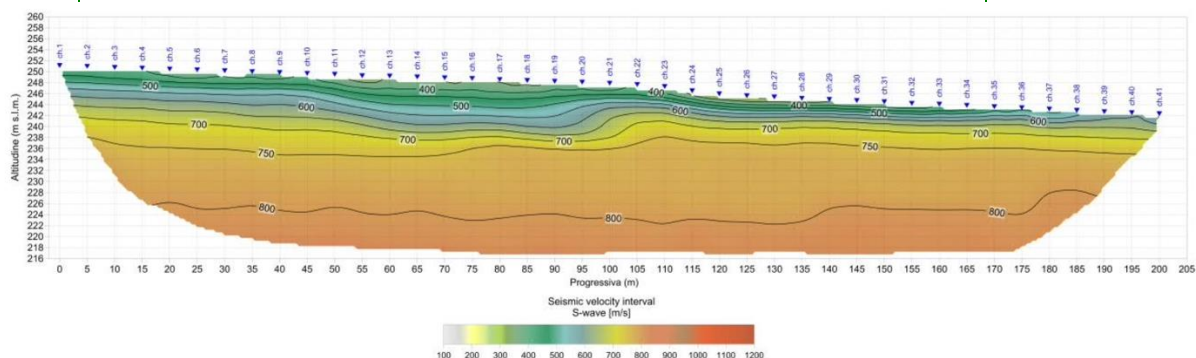
Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla marnosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 750 e 825 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.600 e 3.030 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS10D.

CA357

Relazione Geologica



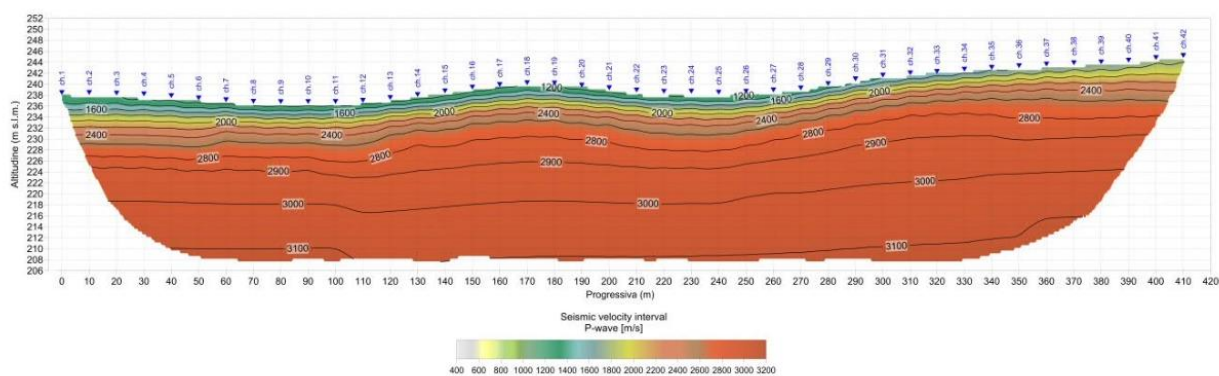
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS10D.

Tomografia sismica a rifrazione BS11D

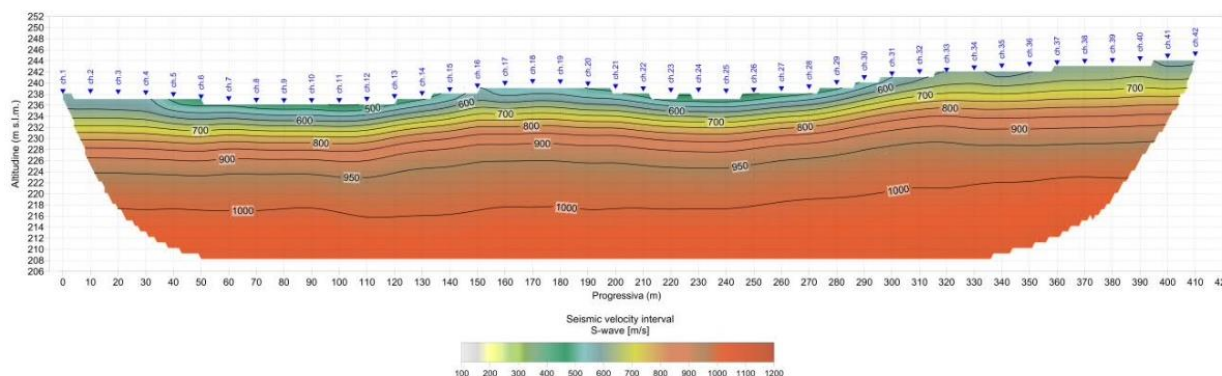
La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS11D ha permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 6 e 8 m circa, ed è costituito da calcare bioclastico. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 520 e 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.150 e 2.400 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.030 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.400 e 3.120 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS11D.



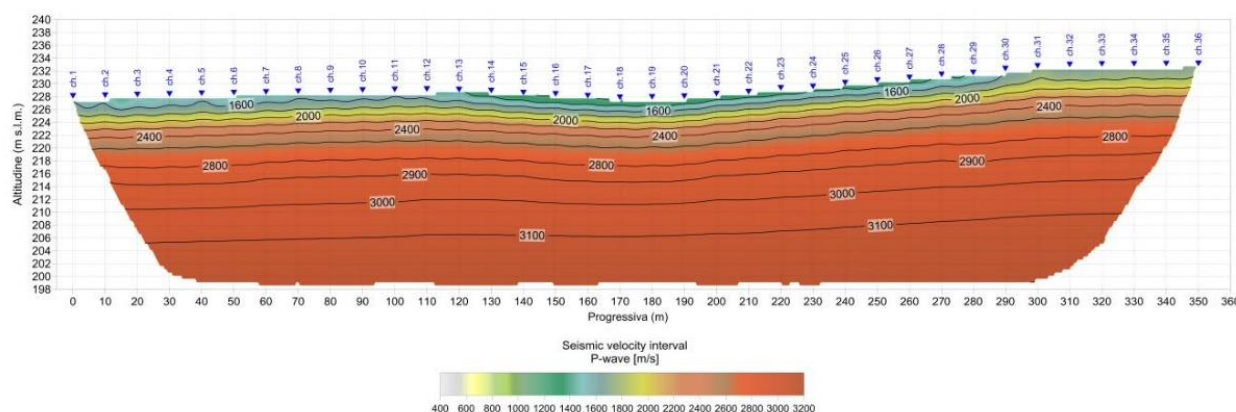
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS11D.

Tomografia sismica a rifrazione BS12D

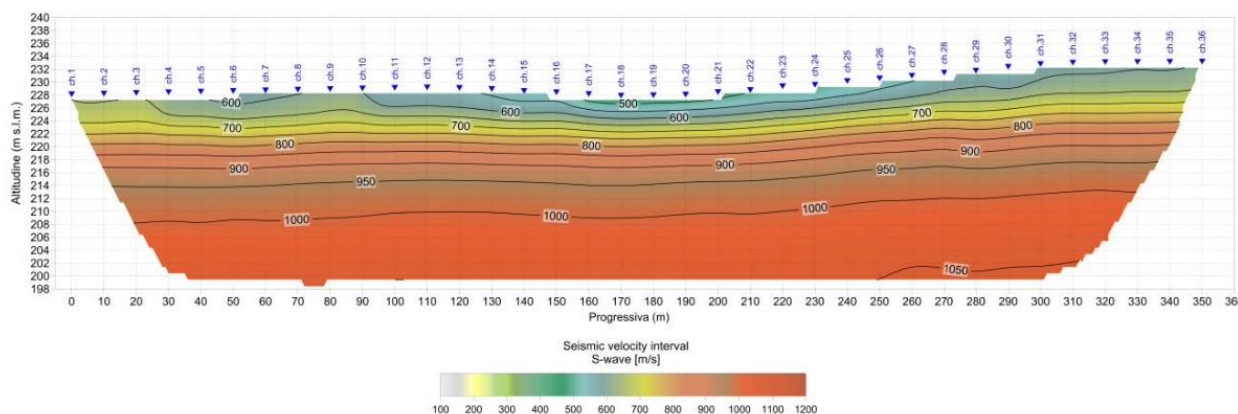
La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS12D ha permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 7 e 8 m circa, ed è costituito da calcare bioclastico. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 490 e 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.300 e 2.600 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 1.060 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.600 e 3.170 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS12D.



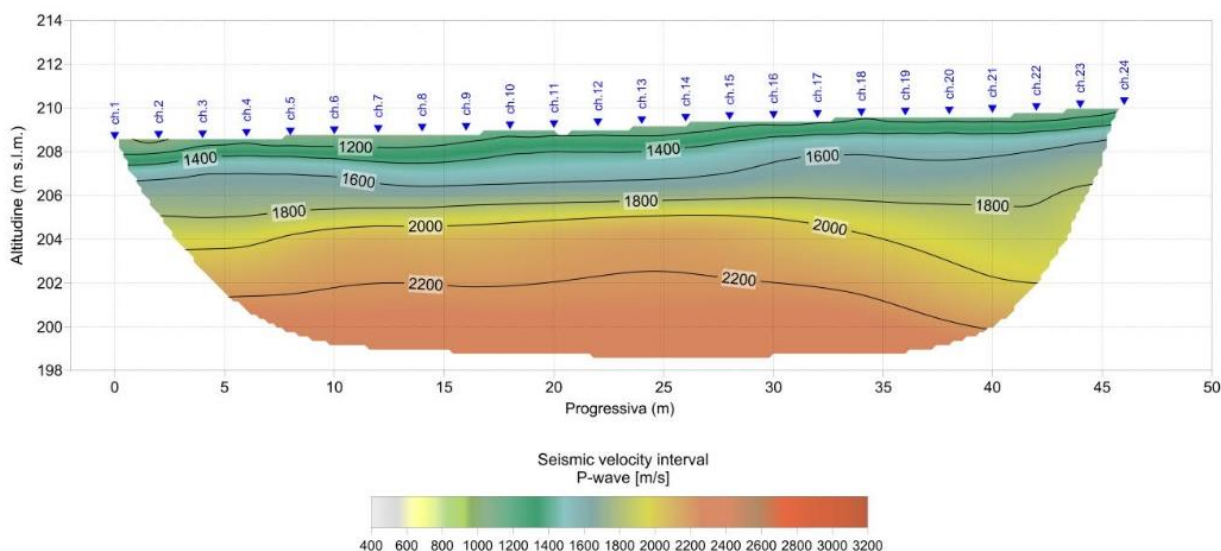
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS12D.

Tomografia sismica a rifrazione BS13D

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS13D ha permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 2 e 3 m circa, ed è costituito da materiale di riporto e sabbia limosa ghiaiosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 260 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.040 e 1.450 m/s.

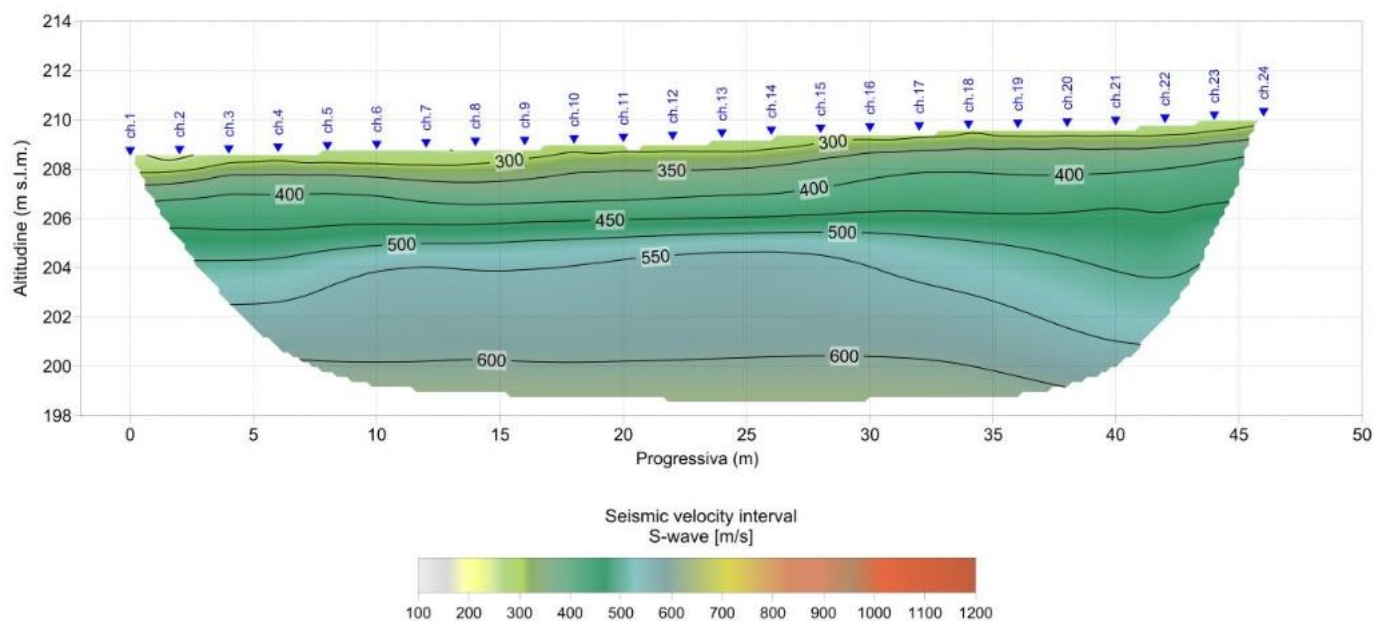
Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da sabbia calcarea. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 620 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.450 e 2.360 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS13D.

CA357

Relazione Geologica



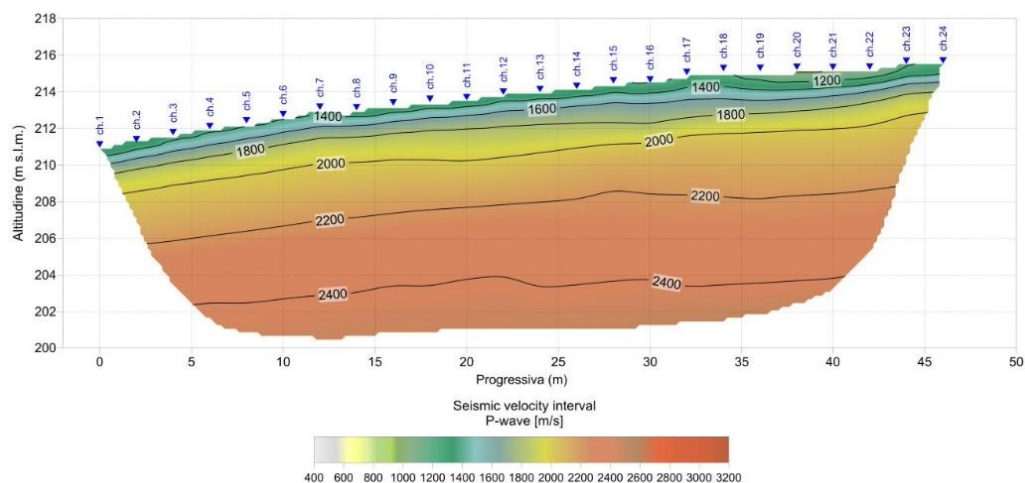
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS13D.

Tomografia sismica a rifrazione BS14D

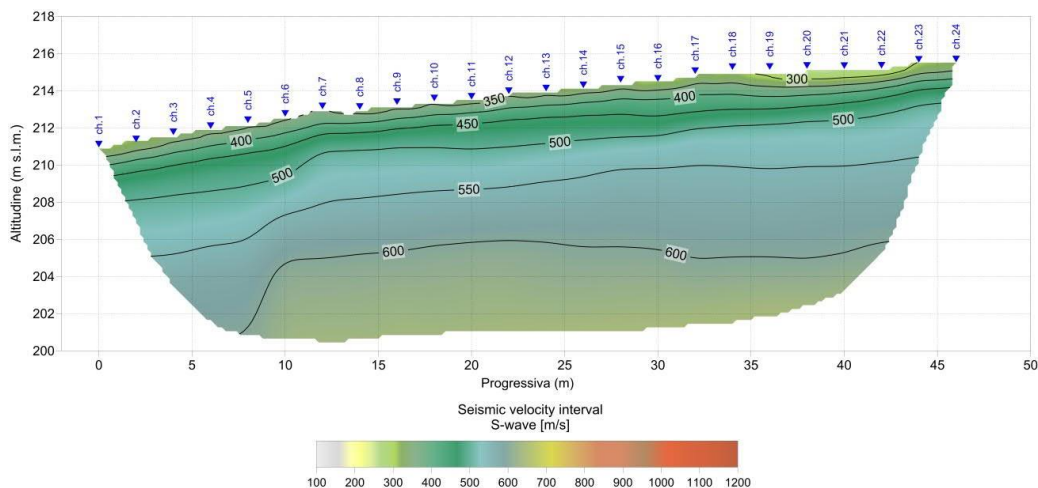
La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS14D ha permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato, si estende da piano campagna sino a circa 1 m di profondità, ed è costituito da materiale di riporto e sabbia limosa ghiaiosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 270 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.060 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da sabbia calcarea. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 630 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.400 e 2.450 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS14D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS14D.

Tomografia sismica a rifrazione BS15D

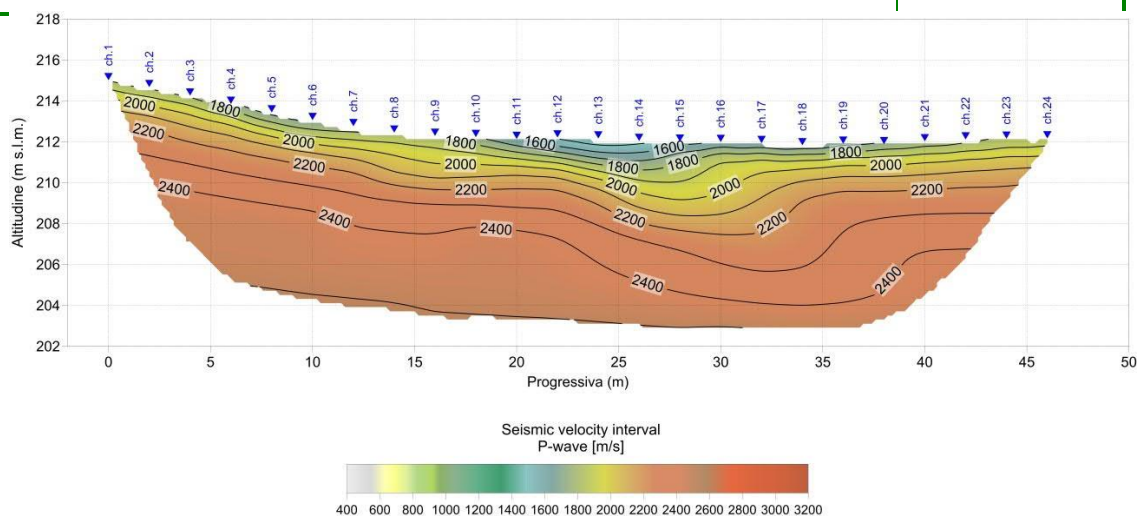
La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS15D ha permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato, si estende da piano campagna sino a circa 2 m di profondità, ed è costituito da sabbia calcarea. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 370 e 500 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.470 e 1.900 m/s.

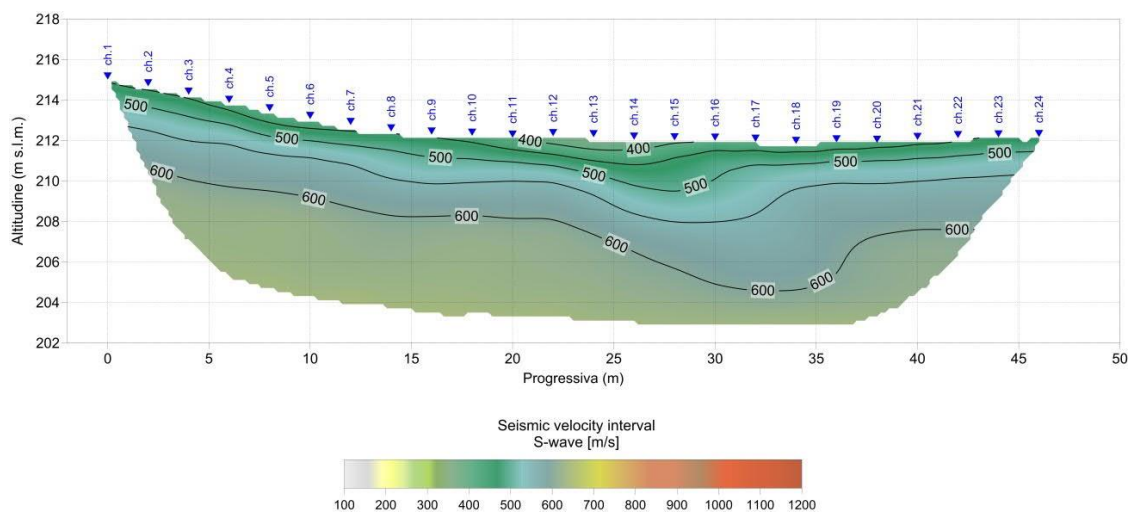
Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da sabbia calcarea maggiormente addensata. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 500 e 635 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.900 e 2.510 m/s.

CA357

Relazione Geologica



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS15D.

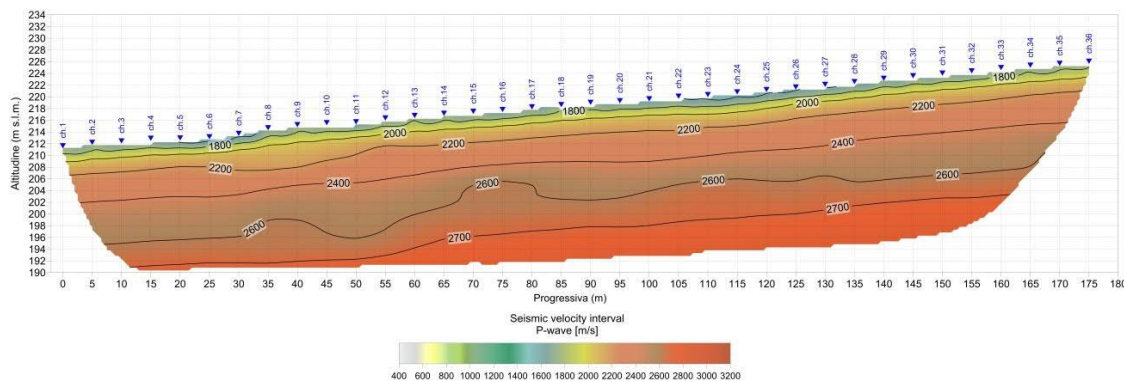


Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS15D.

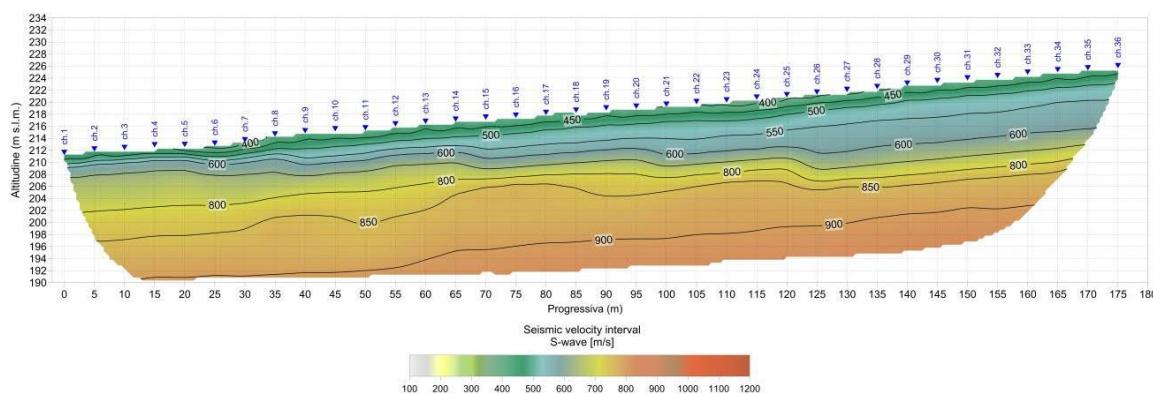
Tomografia sismica a rifrazione BS16D

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS16D ha permesso di evidenziare tre sismostrati. Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 3 e 9 m, ed è costituito da materiale di riporto e sabbia calcarea. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 410 e 600 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.650 e 2.300 m/s. Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 9 e 14 m circa, ed è costituito da sabbia calcarea maggiormente addensata. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.300 e 2.500 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 920 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.500 e 2.750 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS16D.

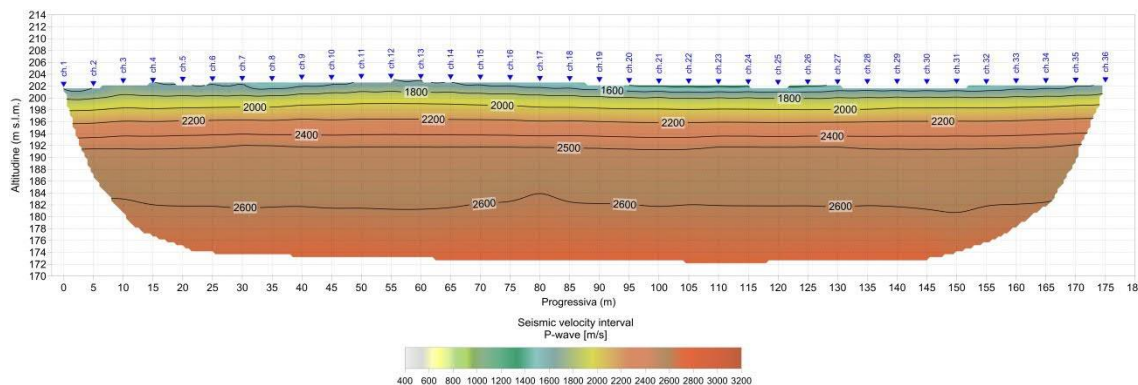


Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS16D.

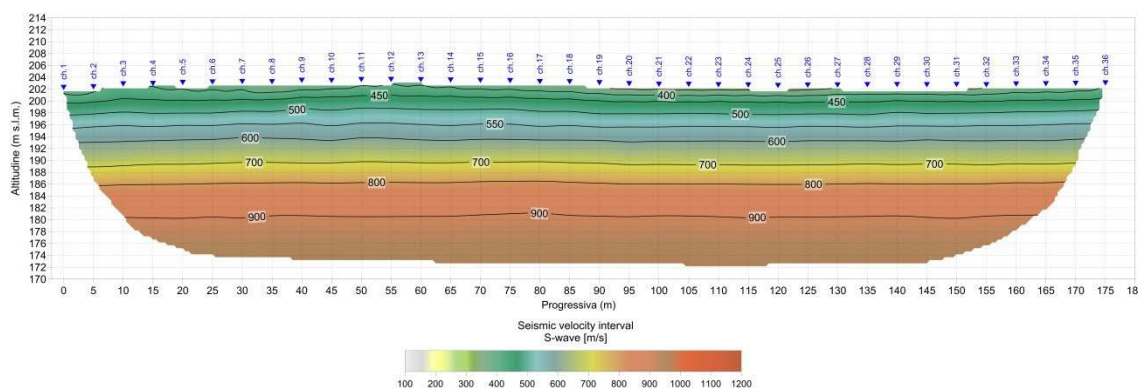
Tomografia sismica a rifrazione BS17D

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS17D ha permesso di evidenziare tre sismostrati. Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna compresa tra 3 e 9 m, ed è costituito da materiale sabbia con ghiaia. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 370 e 600 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.500 e 2.300 m/s. Il secondo sismostrato, si attesta ad una profondità media dal piano campagna pari a 16 m circa, ed è costituito da sabbia con ghiaia maggiormente addensata. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 800 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.300 e 2.550 m/s.

Il terzo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da marna argillosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 800 e 960 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 2.550 e 2.700 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS17D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS17D.

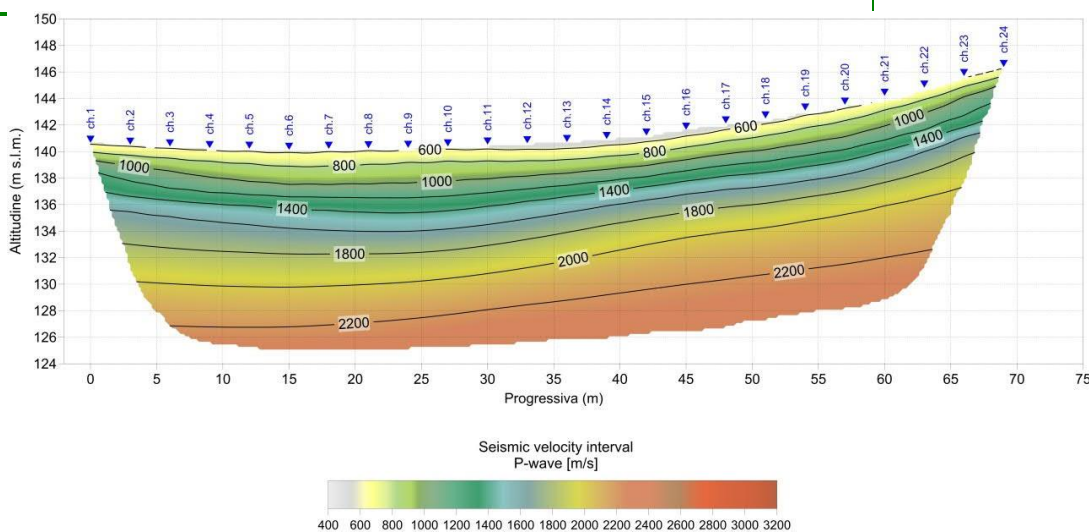
Tomografia sismica a rifrazione BS18D

La pseudosezione elaborata per il profilo sismico BS18D ha permesso di evidenziare due sismostrati, eccettuato una debole copertura superficiale caratterizzata da terreno di coltivo.

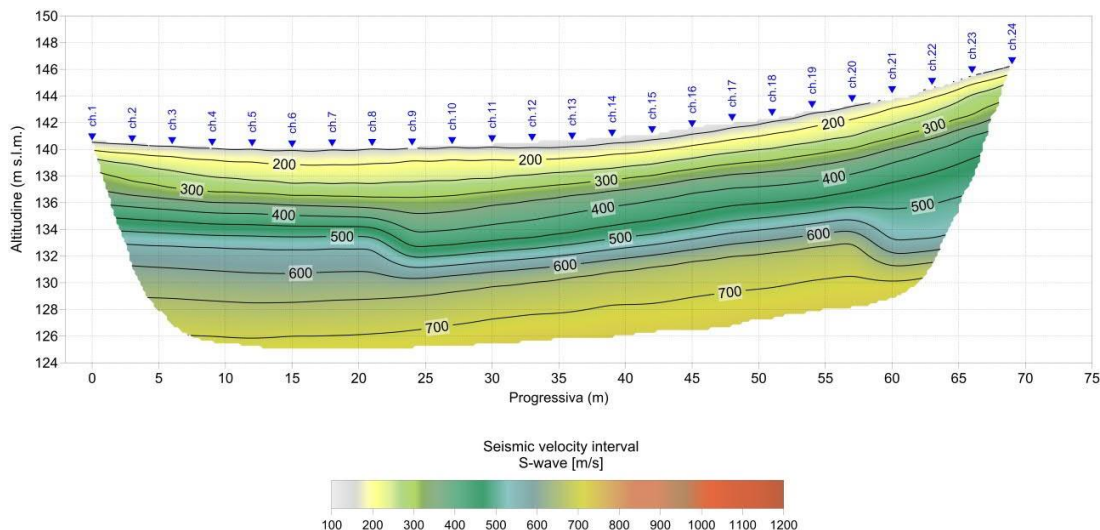
Il primo sismostrato, si attesta ad una profondità massima dal piano campagna pari a circa 4 m, ed è costituito da limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 360 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 600 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da limo argilloso da moderatamente consistente a consistente. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 720 m/s mentre la velocità delle onde di compressione è compresa tra 1.400 e 2.300 m/s.

Relazione Geologica



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS18D.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS18D.

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.

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 dai sondaggi.

Le elaborazioni delle prove sono riportate nelle Tabelle seguenti. Come si osserva i valori ottenuti di $V_{s,eq}$ corrispondono alla categoria di sottosuolo B e C, ai sensi della normativa tecnica NTC2018.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nel presente elaborato, l'elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ nelle prove geofisiche hanno ragionevole possibilità di indagare i metri 30 di profondità o nelle prove geofisiche che hanno superato i 30 metri di indagine.

Sondaggio con prova Down Hole		
Sigla	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria Sottosuolo (NTC 2018)
S01-DH	428,28	B
S03-DH	388,21	B
S07-DH	372,37	B
S14-DH	501,07	B
S16-DH	337,81	C
S24-DH	539,36	B
S25-DH	499,79	B
S26-DH	461,86	B

Progressive Asse Dx	Progressive Asse Sx	Categoria sottosuolo (NTC 2018)	Profondità Bedrock sismico (m da p.c.)
0+000 – 0+060	0+000 – 0+070	B	>30
0+060 – 0+100	0+070 – 0+105	C	>30
0+100 – 0+825	0+105 – 0+840	B	>30
0+825 – 1+040	0+840 – 1+110	C	>30
1+040 – 1+570	1+110 – 1+530	B	>30
1+570 – 1+675	1+530 – 1+660	C	>30
1+675 – 1+770	1+660 – 1+775	B	>30
1+770 – 1+825	1+775 – 1+825	C	>30
1+825 – 2+970	1+825 – 2+955	B	10
2+970 – 3+015	2+955 – 2+990	C	>30
3+015 – 3+225	2+990 – 3+205	B	>30
3+225 – 4+070	3+205 – 4+125	C	>30
4+070 – 4+760	4+125 – 4+760	B	25
4+760 – 5+700	4+760 – 5+700	B	15
5+700 – 6+654.85	5+700 – 6+651.12	B	10

6.2 RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

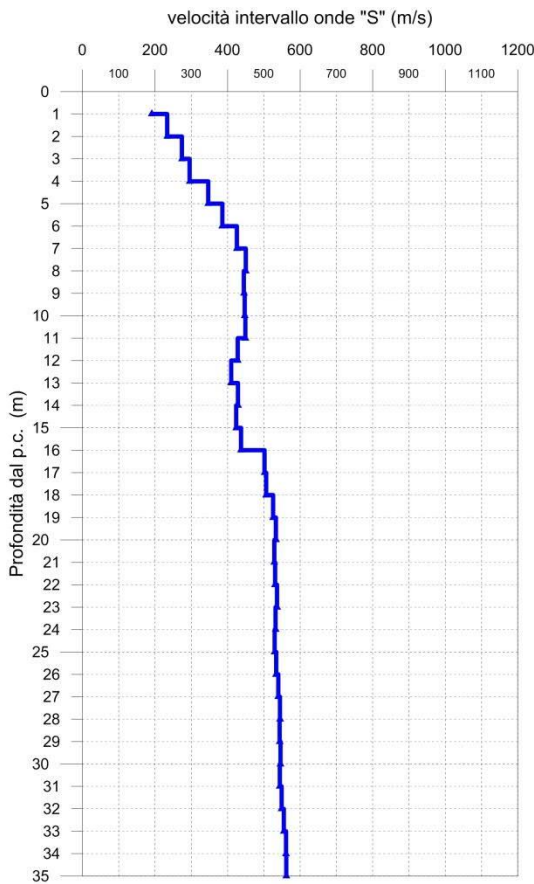
Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale. La liquefazione è l'insieme dei fenomeni associati alla perdita 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.

La campagna geognostica del 2020, e nello specifico le risultanze delle prove down-hole, mostrano come i terreni investigati siano caratterizzati da un generale graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.

Si fa presente che nei riepiloghi dei valori dei tempi di arrivo delle onde S di ogni indagine geofisica down-hole effettuata si rilevano minime inversioni di velocità non significative in quanto imputabili a variazioni di consistenza della coltre detritica (su scala centimetrica/decimetrica) o per cause strumentali.

Relativamente a quanto suddetto, si riporta, comunque, il dato riscontrato all'interno del sondaggio S01D_DH, in cui la velocità Vs da 428,28 m/sec a 12 m di profondità scende a circa 400 m/sec fino ai 16 m di profondità (diminuzione massima riscontrata pari a 60 m/sec). Si nota come l'inversione di velocità si trovi in corrispondenza unicamente delle Limo argilloso-sabbioso, di colore grigio cenere, consistente, con abbondanti clasti marnosi a spigoli vivi eterometrici (dmax 5 cm).

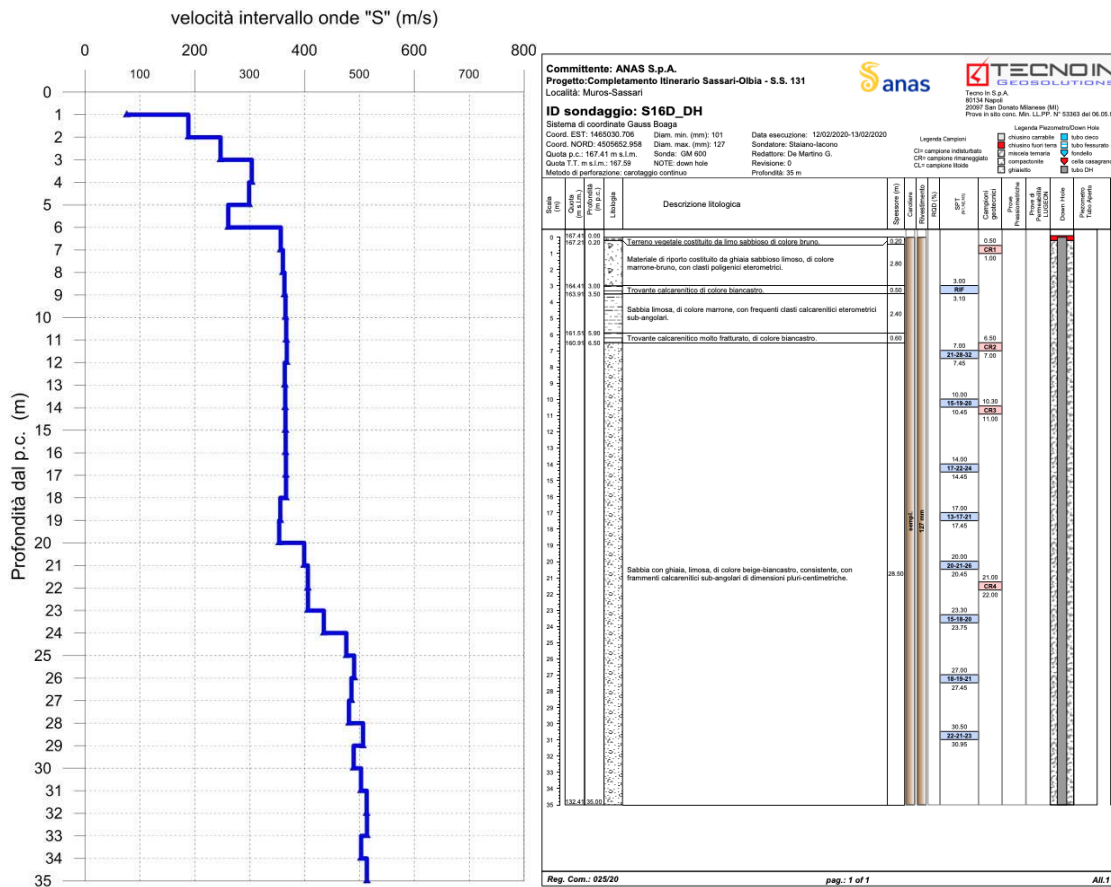
Non si rilevano quindi contrasti di impedenza sismica.



Committente: ANAS S.p.A. Progetto: Completamento itinerario Sassari-Olbia - S.S. 131 Località: Muros-Sassari		ananas		TECNOIN	
ID sondaggio: S01D_DH		Tecnico: S. P. A. 87534 Milano 20097 San Donato Milanese (MI) Presto in loco con: Miro, L.L.P.P. n° 23383 del 06.05.05		Legenda Parametri Down Hole	
Sistema di coordinate Gauss Boaga Coord. EST: 1467701.355 Coord. NORD: 4550505.098 Quota p.c.: 151.91 m s.l.m. Quota T.T. m s.l.m.: 151.91		Diam. min. (mm): 101 Diam. max. (mm): 127 Sonda: Mal T9 NOTE: down hole Metodo di perforazione: carotaggio continuo		Data esecuzione: 19/02/2020 Sondatore: Stefano Iacopo Redattore: De Martino G. Revisione: 0 Profondità: 35 m	
Metodo di perforazione: carotaggio continuo		Profondità (m)		Sondaggio	
Profondità (m)	Quota (m p.c.)	Descrizione litologica	Spessore (m)	Velocità (m/s)	Parametri geofisici
0	151.91	0.00	0.00		
1	151.90	0.09	1.45		
2	151.84	1.15	2.73		
3	151.77	2.20	1.40	3.00	
4	151.70	3.26	1.40	2.93-3.3	
5	151.63	4.30	0.62	3.45	
6	151.56	5.35	0.68		
7	151.49	6.40	1.75	5.75	
8	151.42	7.45	0.52	6.30	
9	151.35	8.50			
10	151.28	9.55			
11	151.21	10.60			
12	151.14	11.65			
13	151.07	12.70			
14	151.00	13.75			
15	150.93	14.80			
16	150.86	15.85			
17	150.79	16.90			
18	150.72	17.95			
19	150.65	19.00			
20	150.58	20.05			
21	150.51	21.10			
22	150.44	22.15			
23	150.37	23.20			
24	150.30	24.25			
25	150.23	25.30			
26	150.16	26.35			
27	150.09	27.40			
28	150.02	28.45			
29	149.95	29.50			
30	149.88	30.55			
31	149.81	31.60			
32	149.74	32.65			
33	149.67	33.70			
34	149.60	34.75			
35	149.53	35.80			

Come Per la S01-DH e relativamente a quanto suddetto, si riporta, comunque, il dato riscontrato all'interno del sondaggio S016D-DH, in cui la velocità Vs da 337,81 m/sec a 4 m di profondità scende a circa 250 m/sec fino ai 5 m di profondità (diminuzione massima riscontrata pari a circa 55 m/sec). Si nota come l'inversione di velocità si trovi in corrispondenza unicamente delle Sabbia limosa, di colore marrone, con frequenti clasti calcarenitici eterometrici sub-angolari. Altri eventi di minima incidenza dove si possono distinguere inversioni di velocità sono in prossimità dei 19-20 metri e in prossimità dei 30 metri di profondità. All'interno della stessa formazione che presente queste caratteristiche di variabilità se pur poco influenti e scarsamente distinguibili sull'andamento generale delle velocità delle Vs.

Non si rilevano quindi contrasti di impedenza sismica.



I requisiti che permettono di escludere la verifica a liquefazione, 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:

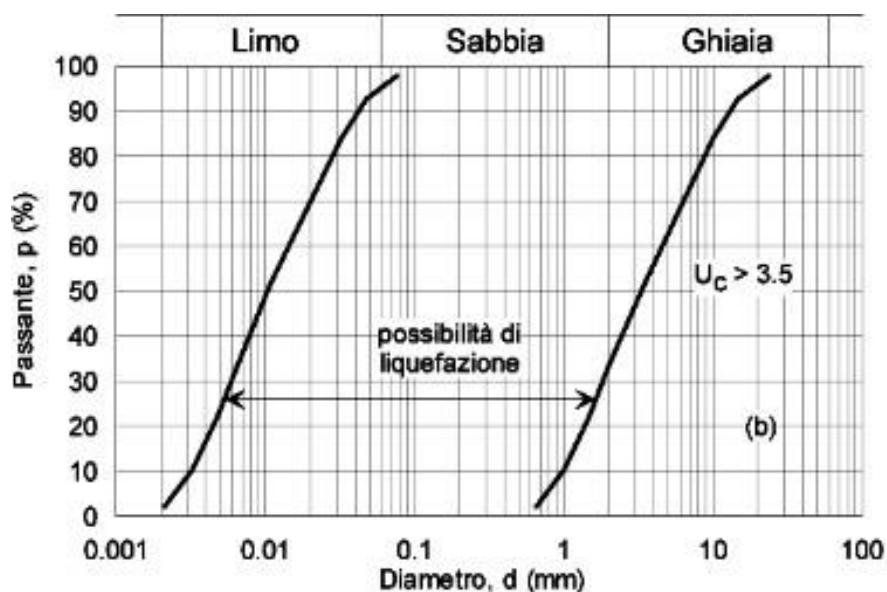
- a) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;

CA-357

Relazione Sismica

- b) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- c) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ 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 qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- d) 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 $U_c > 3,5$.

Nei casi in esame è possibile escludere la verifica alla liquefazione perchè viene soddisfatta la condizione a). 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, valutati i report di laboratorio relativi alle curve granulometriche si desume che è possibile escludere, per la quasi totalità dei campioni, la verifica alla liquefazione anche per la condizione d) trovandosi in presenza di materiale terrigeno uniforme con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (Fig. 7.11.1(b) D.M. 17/01/2018).



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; le limitate inversioni di velocità nel profilo di Vs 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 sub-pianeggiante 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.

E’ opportuno riportare quanto esplicitato nella Circ. applicativa alle NTC2018 “ V_n , è dunque il parametro convenzionale correlato alla durata dell’opera alla quale viene fatto riferimento in sede progettuale per le verifiche dei fenomeni dipendenti dal tempo, (ad esempio: fatica, durabilità, ecc.), rispettivamente attraverso la scelta ed il dimensionamento dei particolari costruttivi, dei materiali e delle eventuali applicazioni di misure protettive per garantire il mantenimento dei livelli di affidabilità, funzionalità e durabilità richiesti..”; la Circolare continua “E’ ragionevole attendersi che i dettagli dimensionali volti a garantire una maggiore durabilità producano, in generale, anche un incremento della sicurezza della costruzione. Ciò avviene anche per quanto attiene la capacità nei confronti dell’azione sismica, visto che per garantire una maggiore durabilità si progetta con un’azione sismica più grande.

L’adozione di una Vita nominale superiore al valore minimo indicato per ciascun livello di prestazione, infatti, conduce ad una costruzione dotata di una maggiore capacità resistente alle

azioni sismiche che, conseguentemente, subirà danni minori e, quindi, minori costi di manutenzione per la riparazione del danno prodotti".

Sulla scorta di tali riflessioni è stata adottata una Vita Nominale pari a 50 anni sia per le opere maggiori sia per quelle minori. L'adozione di tale valore di V_n da positivi influssi sulle opere garantendo quindi maggiore durabilità e (conseguentemente) resistenza delle opere strutturali, con benefiche ricadute su costi di manutenzione e di riparazione in caso di eventi sismici.

L'incremento di costo di costruzione legato all'assunzione di $V_n=50$ è in ogni caso limitato, dato che:

- Il valore di V_n influenza le azioni sismiche mentre non ha ricadute sulle rimanenti azioni di progetto;
- La zona di cui trattasi è caratterizzata da bassa sismicità, per cui le entità delle azioni sismiche sono in ogni caso relativamente contenute;
- I pali di fondazione di tutte le strutture sono dimensionati delle verifiche a fessurazione su cui il valore di V_n non ha incidenza, ove si consideri che il copriferro adottato (75 mm) per ragioni costruttive nel rispetto dell'EC2, è superiore ai valori minimi richiesti dalla norma per $V_n=50$.
- Relativamente ai viadotti, il cui importo, nel caso in esame, rappresenta la voce di gran lunga più importante tra le opere strutturali, l'incremento di costo è sostanzialmente trascurabile tenuto conto che la parte preponderante del costo è relativo alle strutture d'impalcato, per le quali il sisma non risulta dimensionante.
- l'adozione di 10 mm in più di copriferro (richiesto dalle norme per $V_n=50$), non penalizza le verifiche tenuto conto che la quasi totalità delle membrature delle opere di strutturali di cui trattasi hanno spessori rilevanti.

Fanno eccezione le solette dei viadotti, per le quali, in ogni caso, l'adozione di misure migliorative in termini di durabilità è doveroso, tenuto conto della relativa vulnerabilità e delle ricadute degli interventi di manutenzione sul costo e sulla fruizione dell'infrastruttura.

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).

Approssimativamente l'incremento sul costo complessivo delle opere strutturali legato all'adozione di $V_n=50$, nel caso in esame, è stimabile nel 5% del totale.

Tenuto conto che il costo delle opere strutturali è solo una parte del costo complessivo delle infrastrutture, l'incremento sul costo complessivo dell'infrastruttura è trascurabile.

Per quanto sopra illustrato, è possibile ritenere che per le opere d'arte che ricadono su infrastrutture di nuova costruzione dell'importanza dell'arteria in esame, siano da prevedersi "livelli di prestazione idonei", cui corrisponde una $V_n=50$. L'incremento delle prestazioni in termini di durabilità, a fronte di un incremento di costo di costruzione estremamente contenuto avrà benefiche ricadute sui successivi costi di manutenzione delle opere e sui eventuali costi di riparazione in caso di eventi sismici.

7.1 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 $C_u = 2$.

7.1 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).

8 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 TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- **ag** il valore previsto dalla pericolosità sismica
- **F₀** 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 VR della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR 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 **TR**, espresso in anni.

Fissata la vita di riferimento VR, i due parametri TR e PVR 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.

9 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.

10 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.
- η 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 (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 della categoria di sottosuolo;

- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante; $T_B = T_C$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

- 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

11 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

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

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

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

12 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 P_{VR} considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito

alla probabilità di superamento o nel periodo di riferimento P_{VR} considerata con le ordinate ridotte

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

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

Di seguito si riportano gli spettri di progetti determinati.

Sondaggio S01-DH

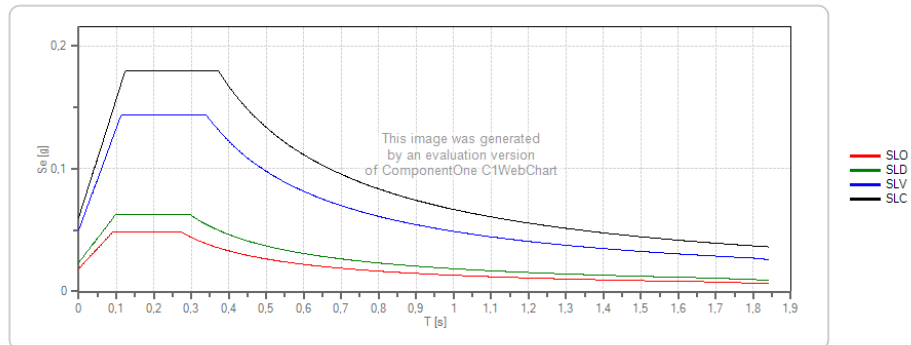
VSeq = 428,28 m/s

Cat. B

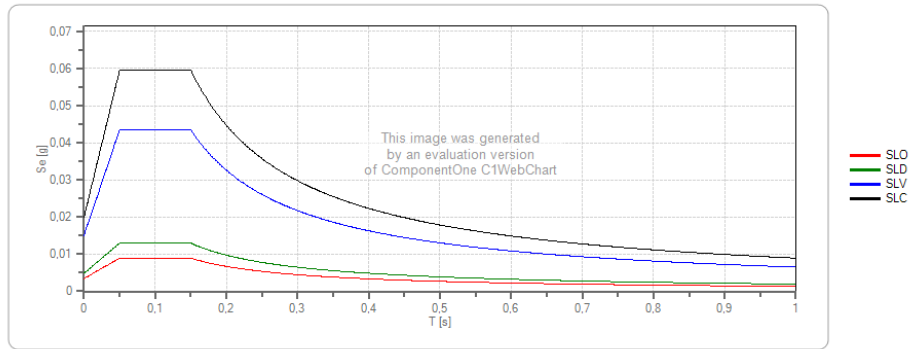
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S03-DH

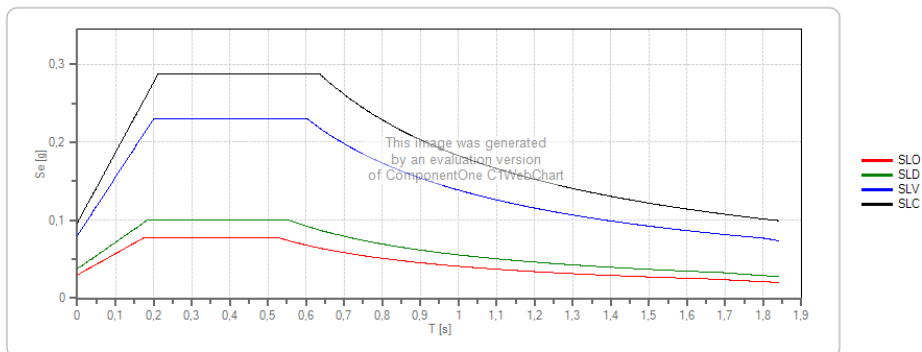
VSeq = 388,21 m/s

Cat. B

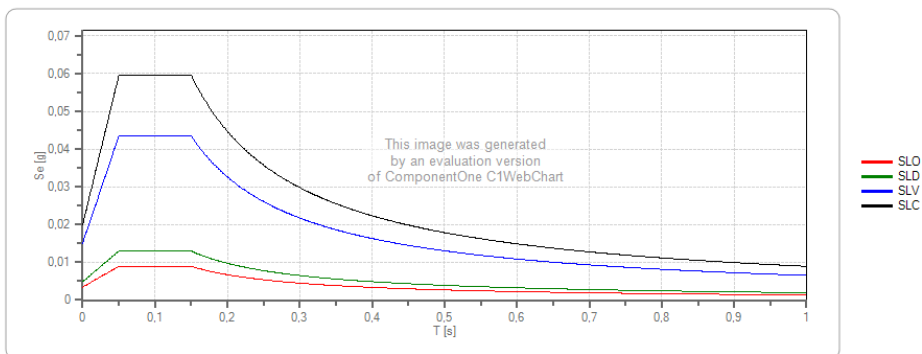
Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S7-DH

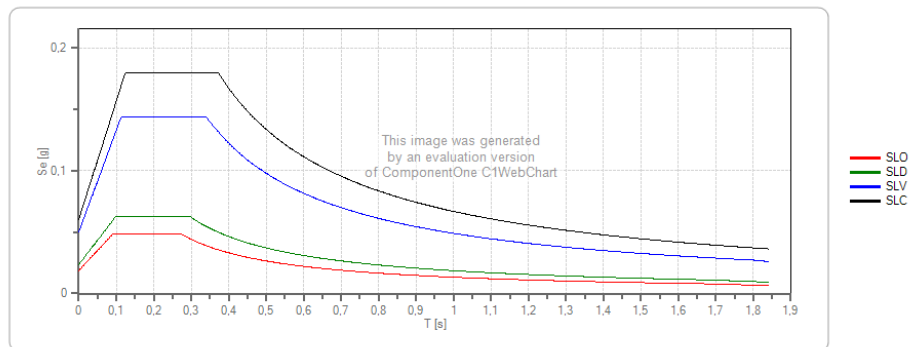
VSeq = 372,89 m/s

Cat. B

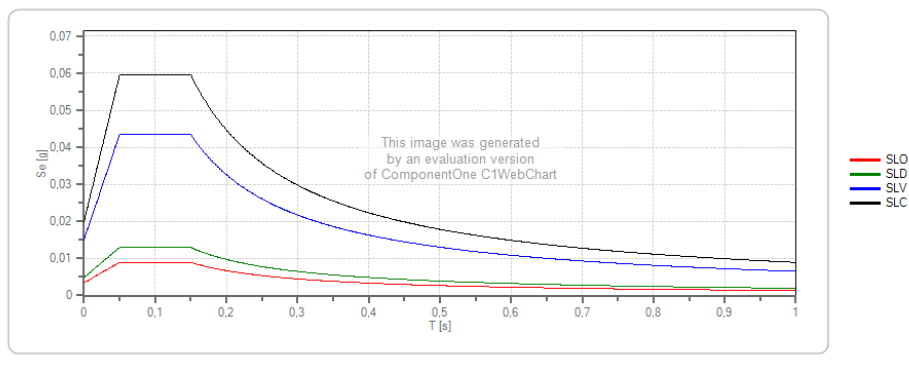
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²] Beta [-]	
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S14-D

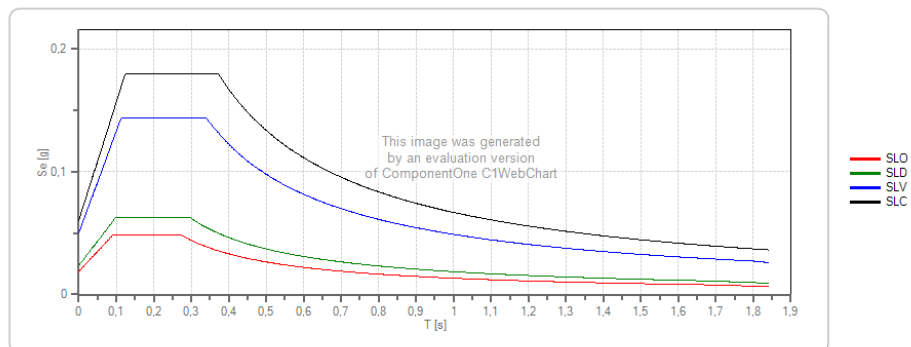
VSeq=501,07 m/s

Cat. B

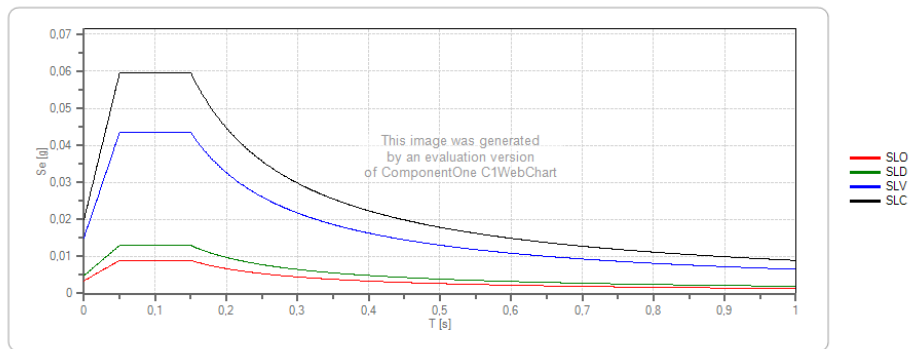
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



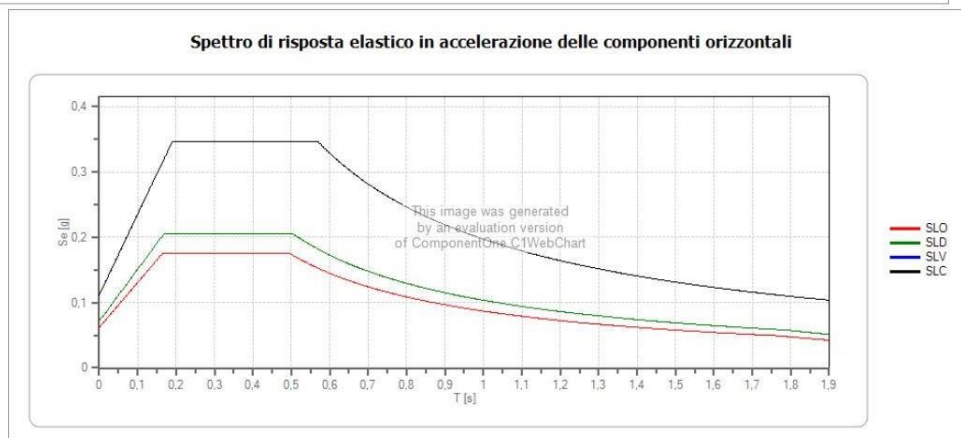
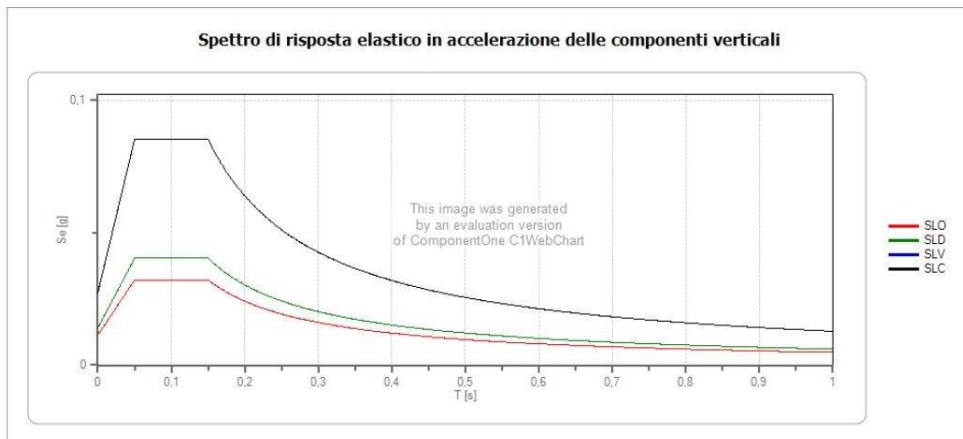
Sondaggio S16-DH

VSeq=337,81 m/s

Cat. C

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc' [s]				
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299				
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307				
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371				
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100							

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,560	1,000	0,008	0,004	0,373	0,200
SLD	1,500	1,550	1,000	0,009	0,005	0,462	0,200
SLV	1,500	1,460	1,000	0,018	0,009	0,881	0,200
SLC	1,500	1,430	1,000	0,021	0,011	1,040	0,200



Sondaggio S24-DH

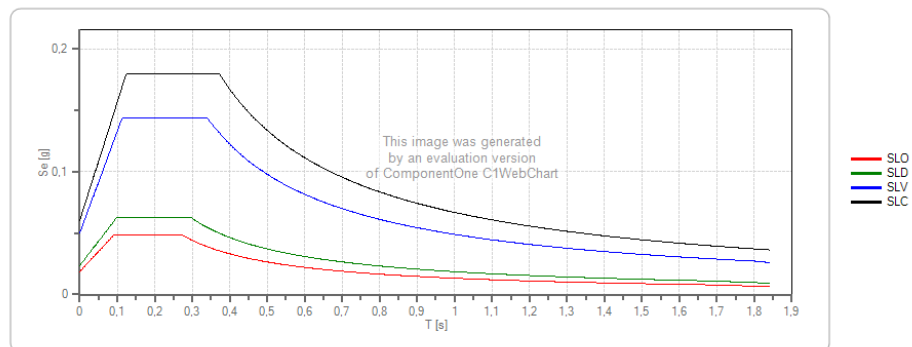
VSeq=539,36 m/s

Cat. B

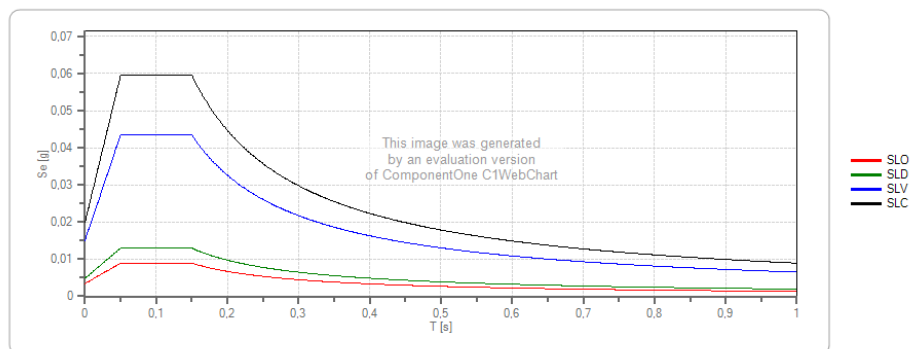
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	3.061	0.393
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S25-DH

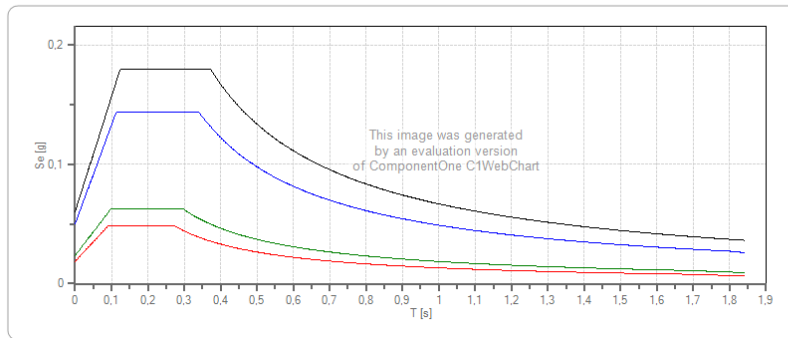
VSeq=499,79 m/s

Cat. B

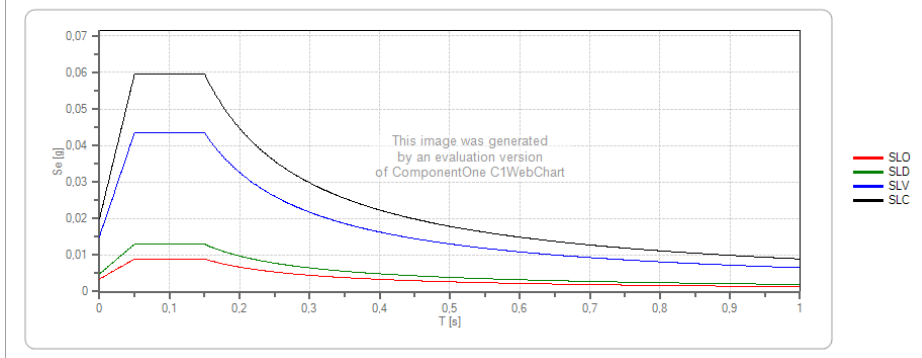
Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S26-DH

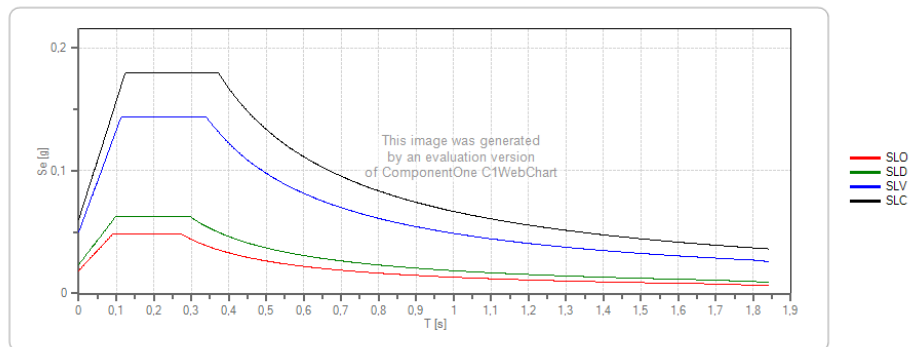
VSeq=461,86 m/s

Cat. B

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.025	2.685	0.299
Danno (SLD)	101	0.031	2.730	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.060	2.976	0.371
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.071	0.393	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,299	0,200
SLD	1,200	1,390	1,000	0,008	0,004	0,370	0,200
SLV	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,705	0,200
SLC	1,200	1,330	1,000	0,017	0,008	0,832	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

