

**S.S. n.130 "Iglesiente"**

Eliminazione degli incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
da km 3+000 a 15+600

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. CA316  
CA351

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

**PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

*Dott. Ing. Francesco Nicchiarelli (Ord. Ing. Prov. Roma 14711)*

**RESPONSABILI D'AREA:**

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

**RESPONSABILE SIA:**

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

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

*Dott. Ing. Francesco Corrias*

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

MANDATARIA:




MANDANTI:



**GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA  
RELAZIONE SISMICA**



CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	CA316_T00GE00GEORE02-A			
CA316351	D 19	CODICE ELAB.	T00GE00GEORE02	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	APR 2020	E. CURCURUTO	E. CURCURUTO	F. NICCHIARELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO


SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

## **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	<b>ELABORAZIONE DATI GEOFISICI E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE .....</b>	<b>17</b>
6.2	<b>RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....</b>	<b>41</b>
6.3	<b>CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....</b>	<b>45</b>
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 2019

ALLEGATO 2 – PLANIMETRIA CON CLASSIFICAZIONE SISMICA

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

## 1 PREMESSA

---

Scopo della seguente relazione è la caratterizzazione sismica dell'area interessata dal Progetto Definitivo degli interventi CA316 e CA351 che prevedono l'adeguamento al tipo B (extraurbana principale) ed eliminazione degli incroci a raso dal km 3+000 al km15+600 della S.S130 "Iglesiente". 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 Vseq.

## 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;*

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

*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**

---

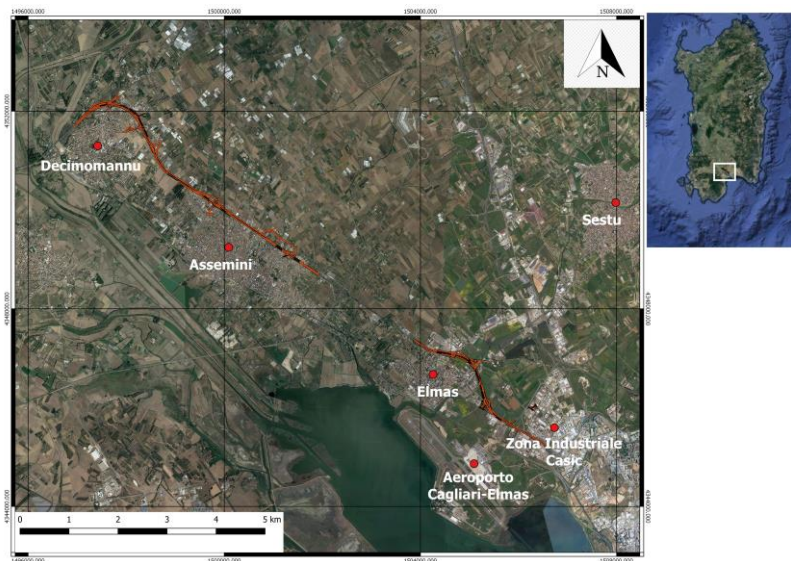
La S.S.130 collega il capoluogo Sardo con Iglesias; inizia appunto a Cagliari, dal nord della città, e scorre per i primi chilometri in direzione nord, passando a fianco dell’aeroporto di Cagliari - Elmas.

Il tratto in progetto è quello compreso dal km 3+000 al km 15+600, interessando i comuni di Elmas, Assemini e Decimomannu.

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

La finalità è quindi quella di fornire, oltre ad una connessione di breve percorrenza anche una interconnessione con la viabilità di lunga percorrenza.

Il tratto in progetto è quello compreso tra il km 3+000 e il km 15+600, interessando i comuni di Elmas, Assemini e Decimomannu, tutti in provincia di Cagliari, come illustrato nella figura che segue.



*- Ubicazione dell'area di intervento -*

Il tracciato insiste sul territorio comunale di Elmas (CA) dalla progressiva 0 alla progressiva 2+860,00 ; dalla progressiva 5+215,00 alla progressiva 9+280,00 il tracciato ricade nel territorio comunale di Assemini (CA) mentre dalla progressiva 9+280,00 alla progressiva 11+671,13 (fine tracciato) il tracciato ricade nel territorio di Decimomannu (CA).

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° 557 III "Cagliari";
- F° 556 II "Assemini";

Il tracciato ricade nelle sezioni N° 556080, 556120, 557050 e 557090 della Carta Tecnica Regionale.

#### **4 MACROSISMICITA' DELL'AREA**

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

L'area in studio è localizzata nel settore meridionale della pianura del Campidano, notoriamente conosciuto come un areale particolarmente importante nel quadro dell'evoluzione geodinamica recente della Sardegna e che si estende per circa 100 km con direzione NO-SE dal Golfo di Oristano al Golfo di Cagliari. Nella parte meridionale essa si sovrappone alla più vasta "fossa tettonica sarda" ("rift

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

oligo-miocenico sardo" Auct.) che attraversa l'isola in senso longitudinale, unendo il Golfo dell'Asinara con quello di Cagliari con una larghezza di circa 40 km.

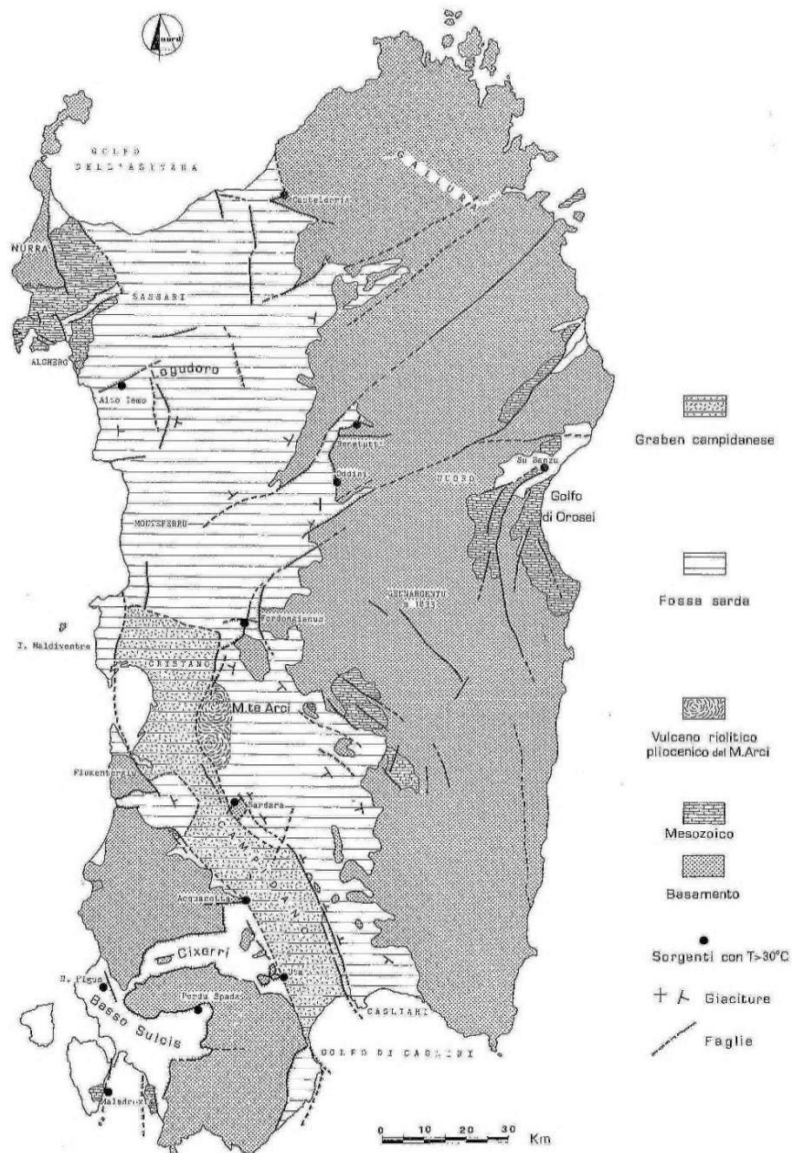
Un'intensa attività vulcanica sintettonica portò al parziale riempimento della stessa, come testimoniano le estese coperture vulcaniche della Planargia, del Bosano, del Montiferru, quelle carotate nel Campidano e quelle presenti ad est della dorsale del Grighini.

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

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

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

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



- Principali Unità strutturali della Sardegna -


### **Sismicità storica**

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

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

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

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

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  o con magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4.0$  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 ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

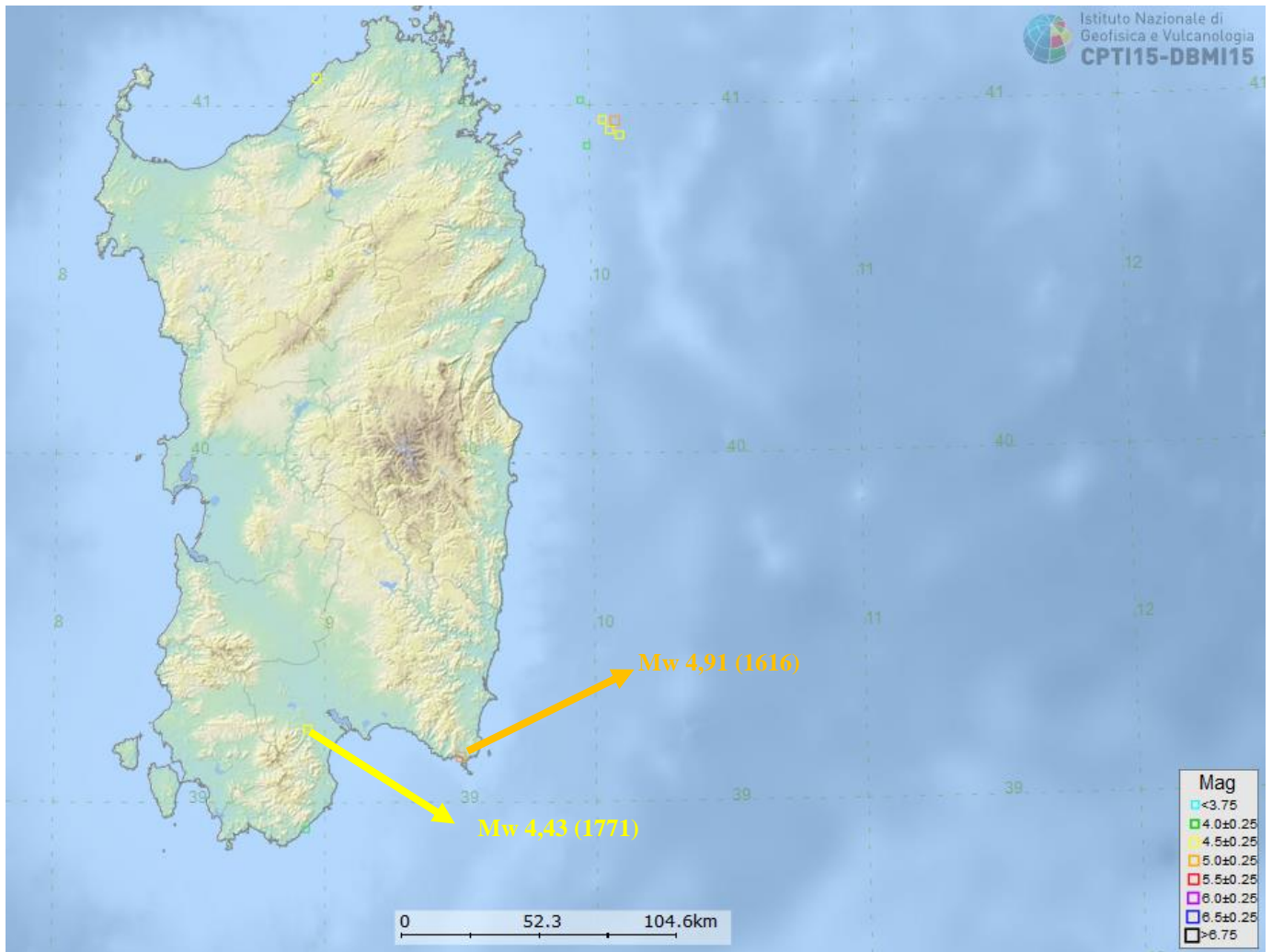
La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della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

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

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

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





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

SSS130 "Iglesiente"  
Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
da km 3+000 a km 15+600




CA-316  
CA 351

Relazione Sismica

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

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

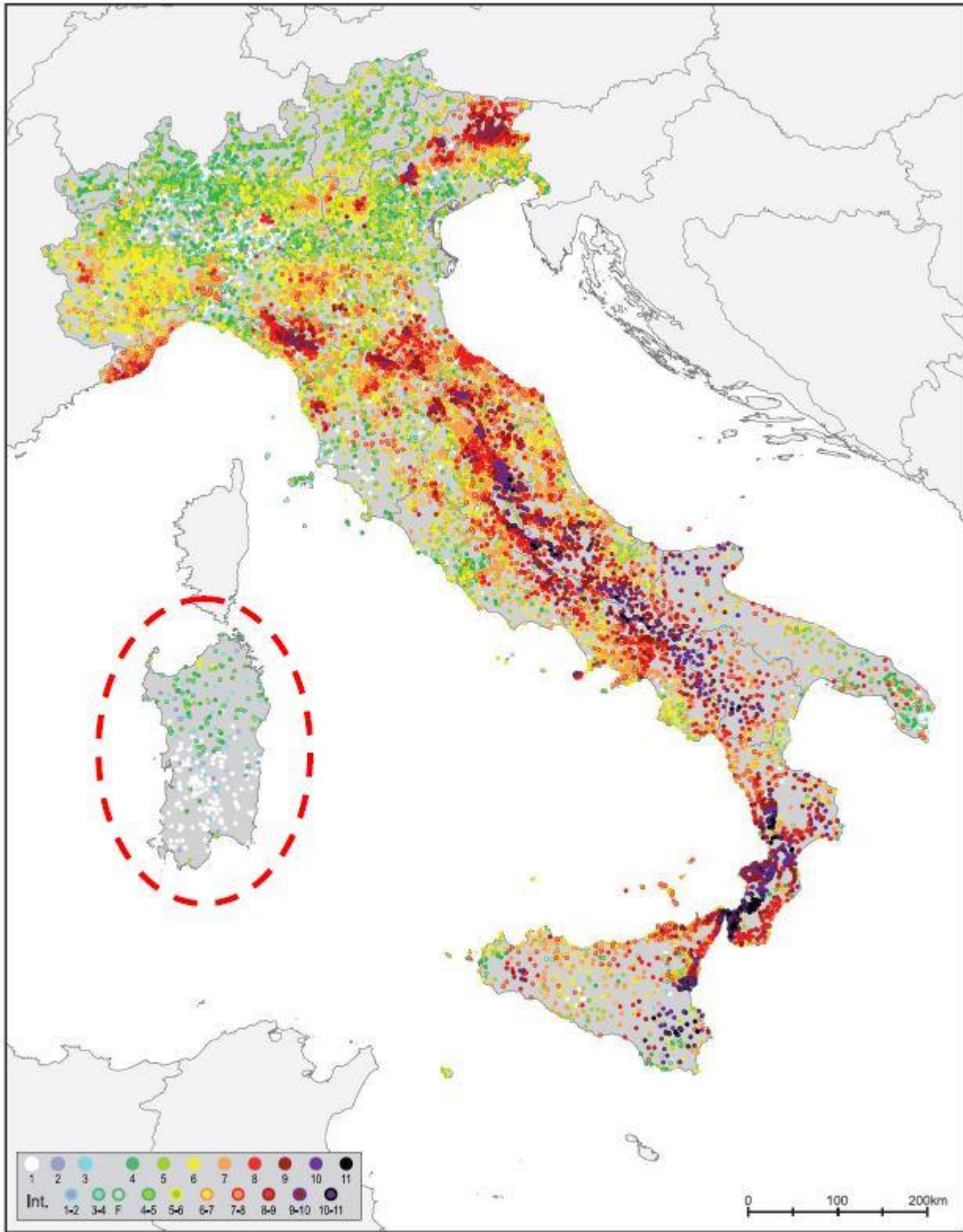
Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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


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

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



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

**Caratterizzazione sismogenetica**

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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.

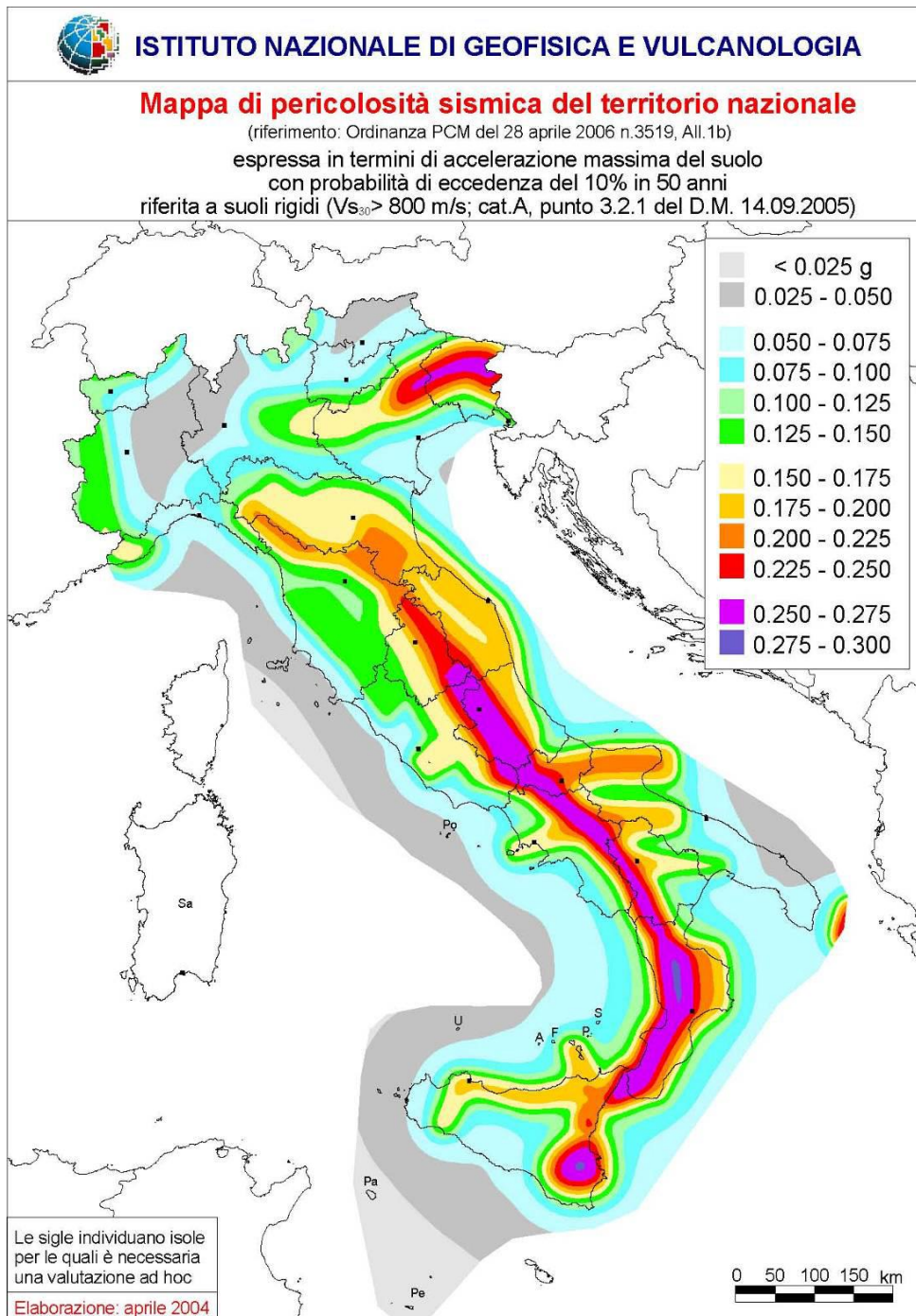
Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (*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, Assemmini, Decimomannu che ricadono in zona sismica **4**.

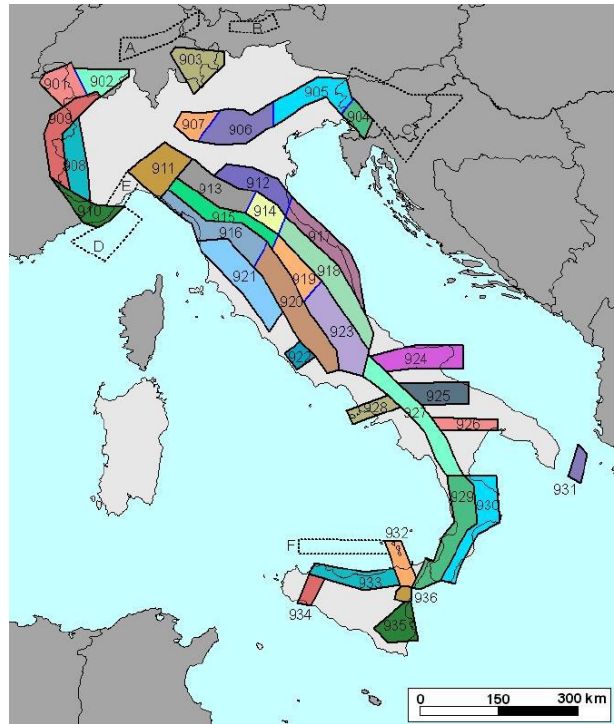


- Mappa pericolosità sismica del territorio nazionale -

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.

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		
CA-316 CA 351	<b>Relazione Sismica</b>	

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



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

## 5 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

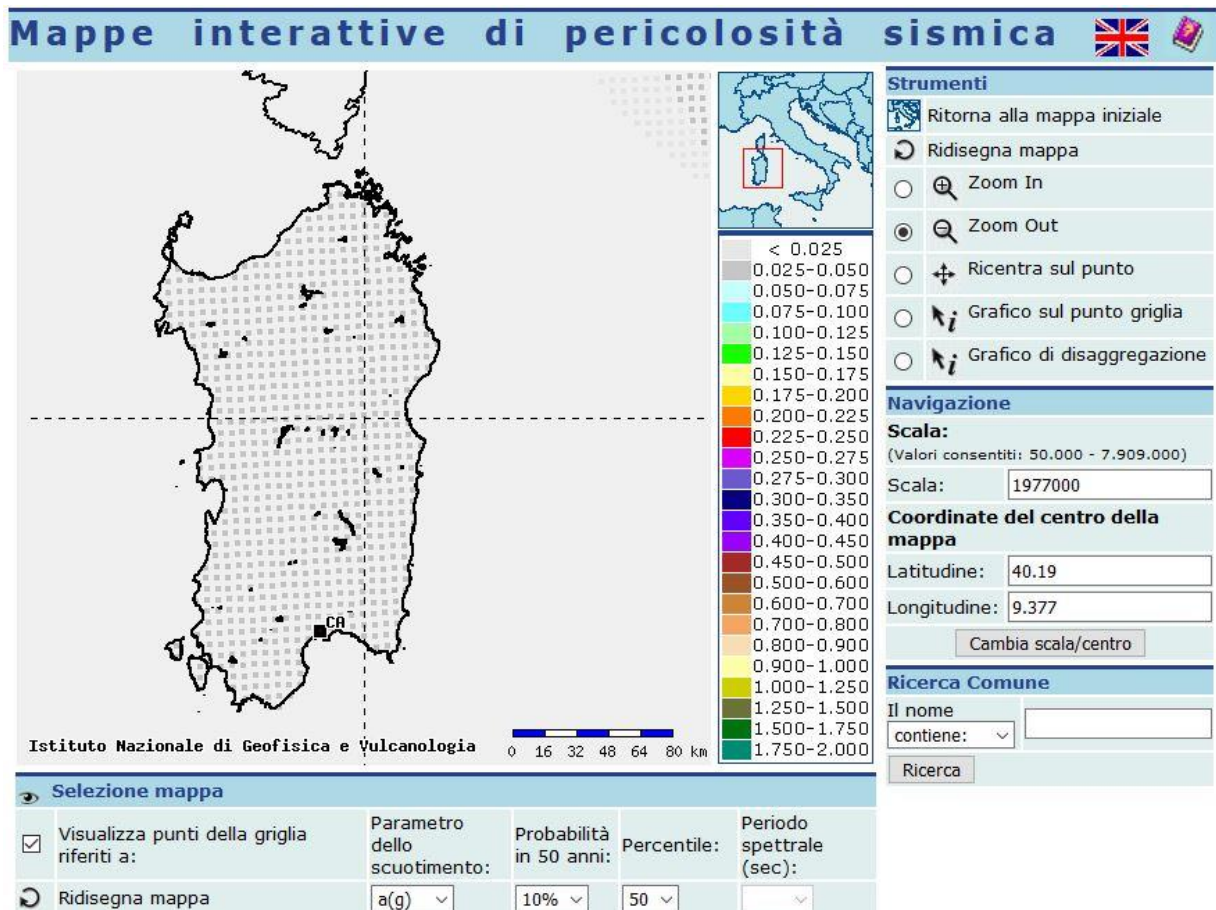
La pericolosità sismica del territorio definisce la probabilità statistica che si verifichi un evento tellurico di una data magnitudo, parametrizzata dalle serie storiche e statistiche, che viene definito come **terremoto di progetto**, la cui intensità, soprattutto in termini di danni attesi (Rischio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

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

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

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


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



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

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



SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<b>Relazione Sismica</b>	

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

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

Al posto della zonazione entrano in gioco quindi:

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

## 6 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

---

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

Si è proceduto quindi alla classificazione del sottosuolo secondo un approccio semplificato, che si basa sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

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

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


dove

dove

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

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

$N$  = numero di strati;

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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

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

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

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

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


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

- n.8 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica;
- n.6 indagini sismiche in foro down-hole .

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

Codice indagine	Lunghezza (m)	UTM WGS84			
		Coordinata iniziale EST	Coordinata iniziale NORD	Coordinata finale EST	Coordinata finale NORD
SR1	55	504671,244	4347027,460	504730,916	4347011,725
SR2	55	504587,647	4347033,850	504521,142	4347052,461
SR3	55	500634,596	4349512,797	500589,173	4349551,984
SR4	55	500518,524	4349588,675	500570,056	4349548,881
SR5	48	500131,075	4349854,667	500187,828	4349818,847
SR6	48	500080,136	4349880,175	500023,693	4349917,211
SR7	55	497768,296	4352109,550	497829,671	4352089,680
SR8	55	497639,681	4352115,847	497570,858	4352122,663

Ubicazione caposaldi profili a rifrazione tomografica

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<b>Relazione Sismica</b>	

Codice indagine	Profondità dal p.c. (m)	UTM WGS84		UTM WGS84
		Coordinata EST	Coordinata NORD	Quota (ellissoidica)
S1-DH	35	505201,738	4346385,125	56,470
S3-DH	35	505035,203	4346874,536	56,847
S7-DH	35	504675,043	4347058,156	56,324
S10-DH	35	501214,936	4349122,521	55,644
S13-DH	35	500136,775	4349901,632	57,351
S18-DH	35	497673,384	4352147,526	62,447

#### Ubicazione sondaggi testati con prova down hole

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

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

dove

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ esimo;

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

$N$  = numero di strati;

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

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

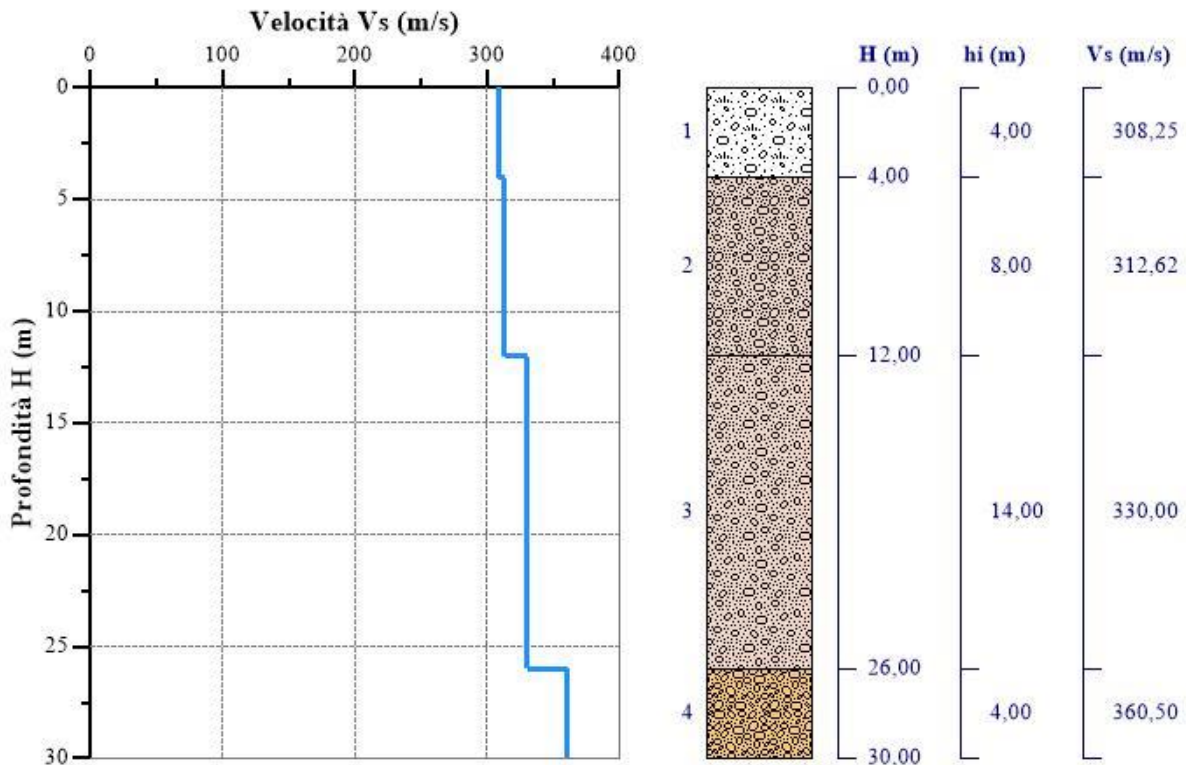
L'elaborazione è finalizzata all'individuazione della categoria del sottosuolo, secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018.

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

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

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

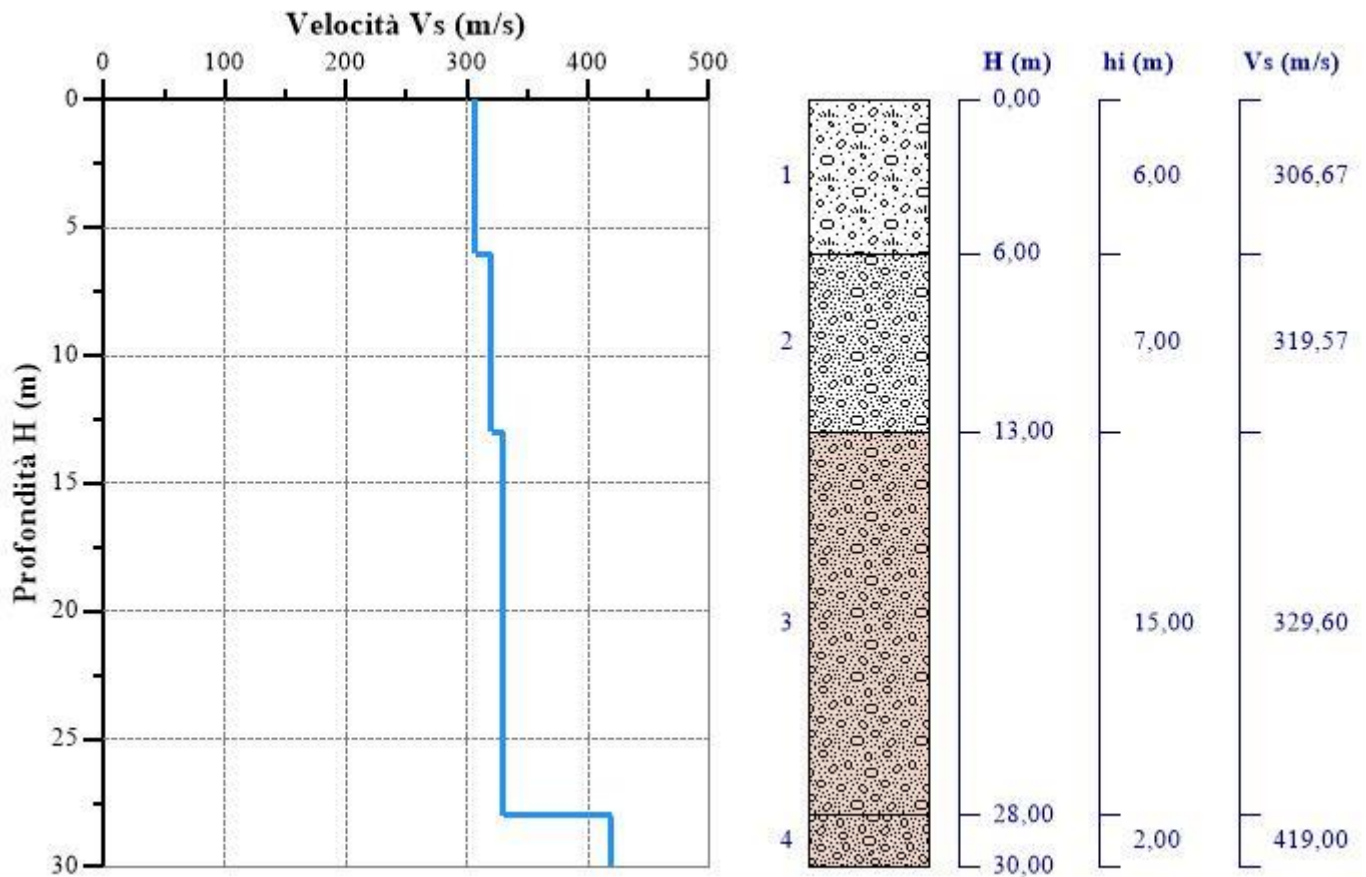
**Sondaggio S1-DH**



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V <sub>si</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /V <sub>si</sub> (s)
1	4	4	308,25	4	4	0,0129764801
2	12	8	312,62	12	8	0,0255901734
3	26	14	330	26	14	0,0424242424
4	30	4	360,5	30	4	0,0110957004

**VSeq=325,78 m/s                      Cat. C**

Sondaggio S3-DH

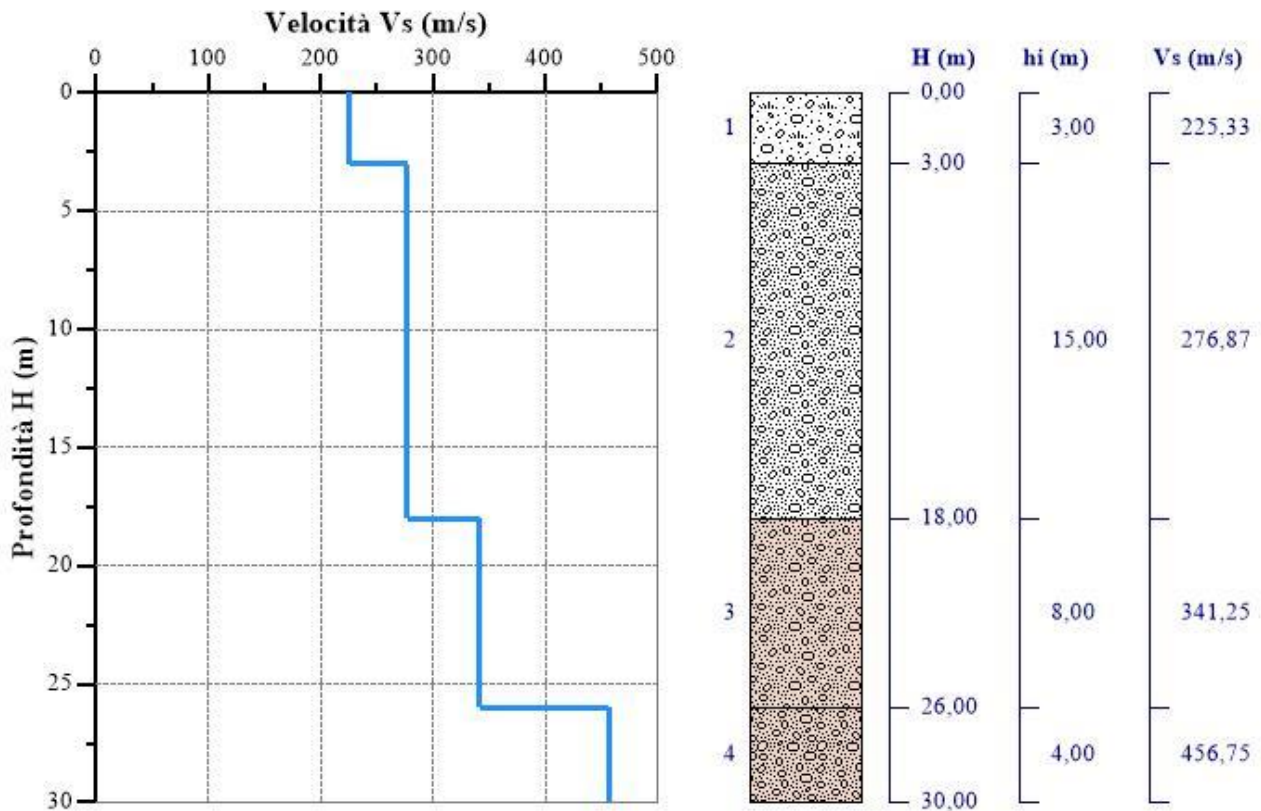


Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	6	6	306,67	6	6	0,0195650047
2	13	7	319,57	13	7	0,0219044341
3	28	15	329,6	28	15	0,0455097087
4	30	2	419	30	2	0,0047732697

**VSeq=326,97 m/s**

**Cat. C**

Sondaggio S7-DH

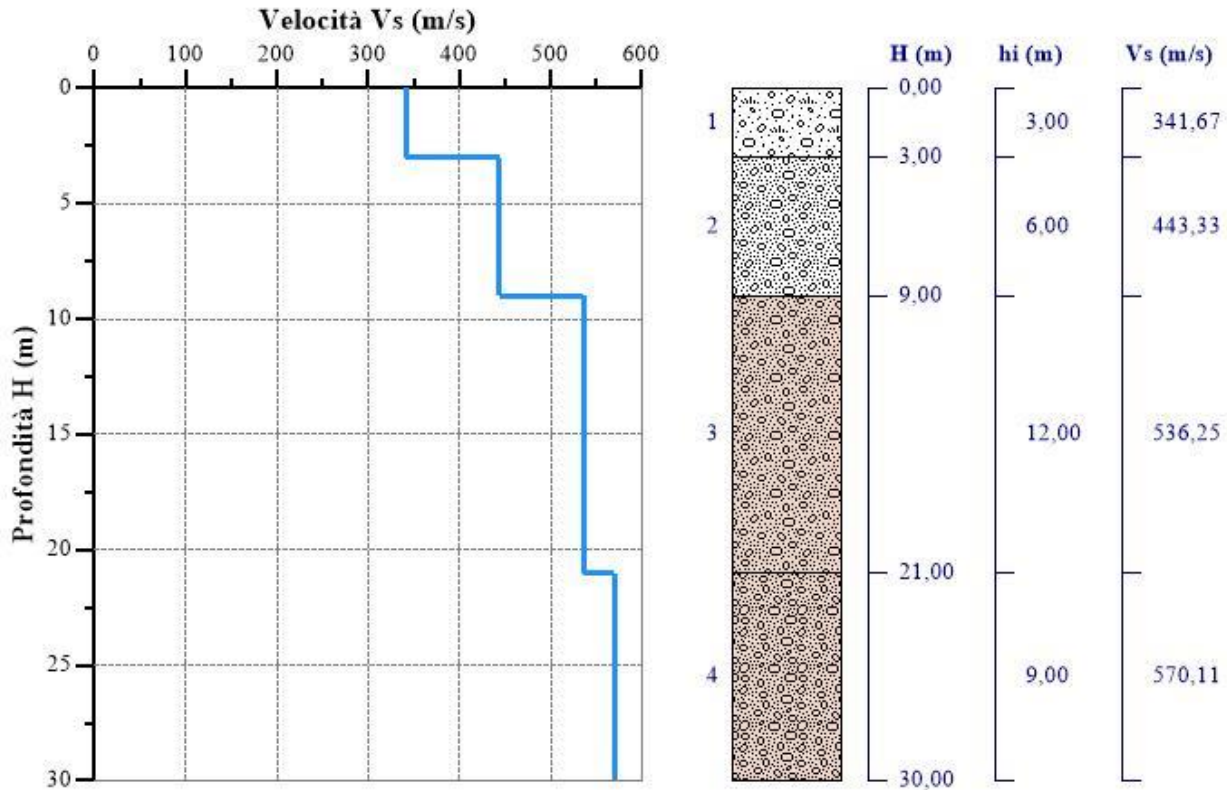


Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_{s_i}$ (m/s)	H (m)	$h_i$ (m)	$h_i/V_{s_i}$ (s)
1	3	3	225,33	3	3	0,0133138064
2	18	15	276,87	18	15	0,0541770506
3	26	8	341,25	26	8	0,0234432234
4	30	4	456,75	30	4	0,008757526

**$V_{Seq}=300,93$  m/s**

**Cat. C**

**Sondaggio S10-DH (2019)**

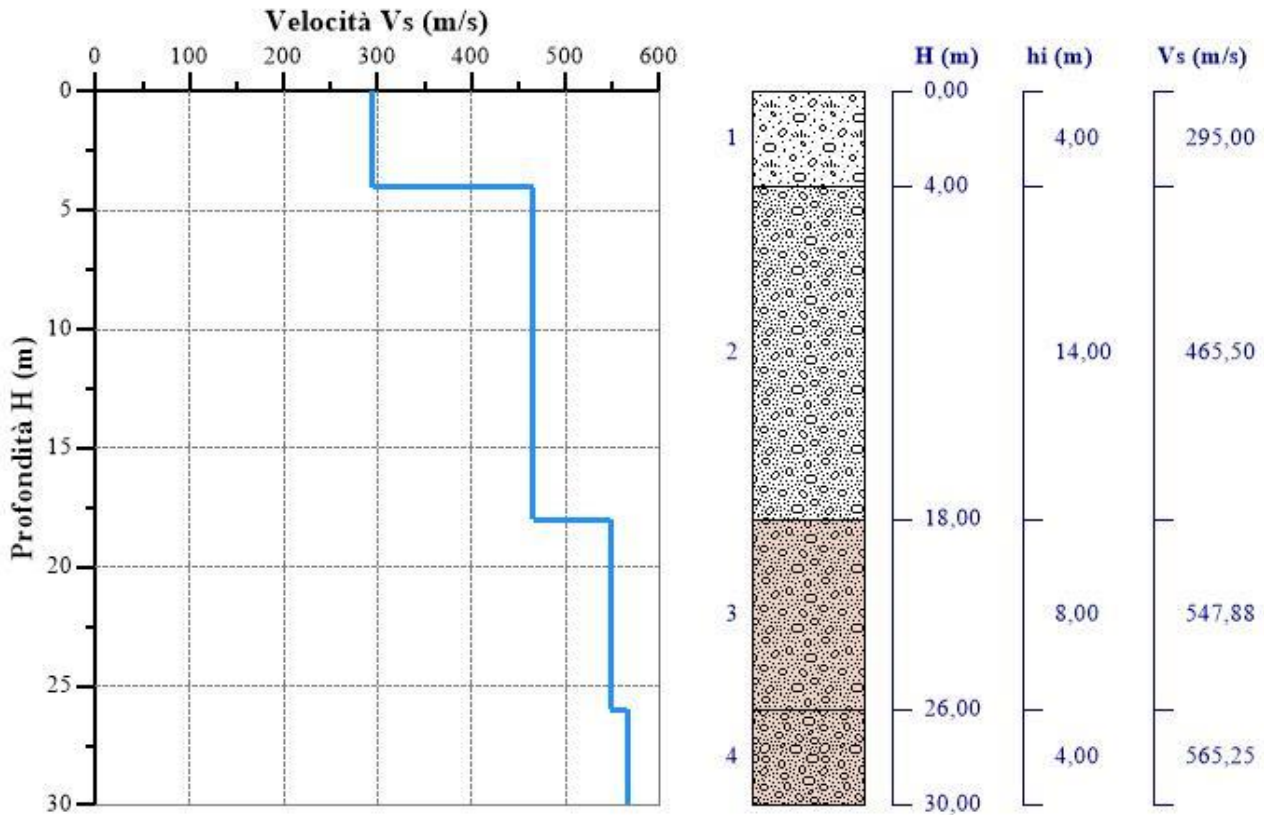


Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	3	3	341,67	3	3	0,0087804021
2	9	6	443,33	9	6	0,0135339363
3	21	12	536,25	21	12	0,0223776224
4	30	9	570,11	30	9	0,0157864272

**VSeq=496,04 m/s**

**Cat. B**

**Sondaggio S13-DH (2019)**



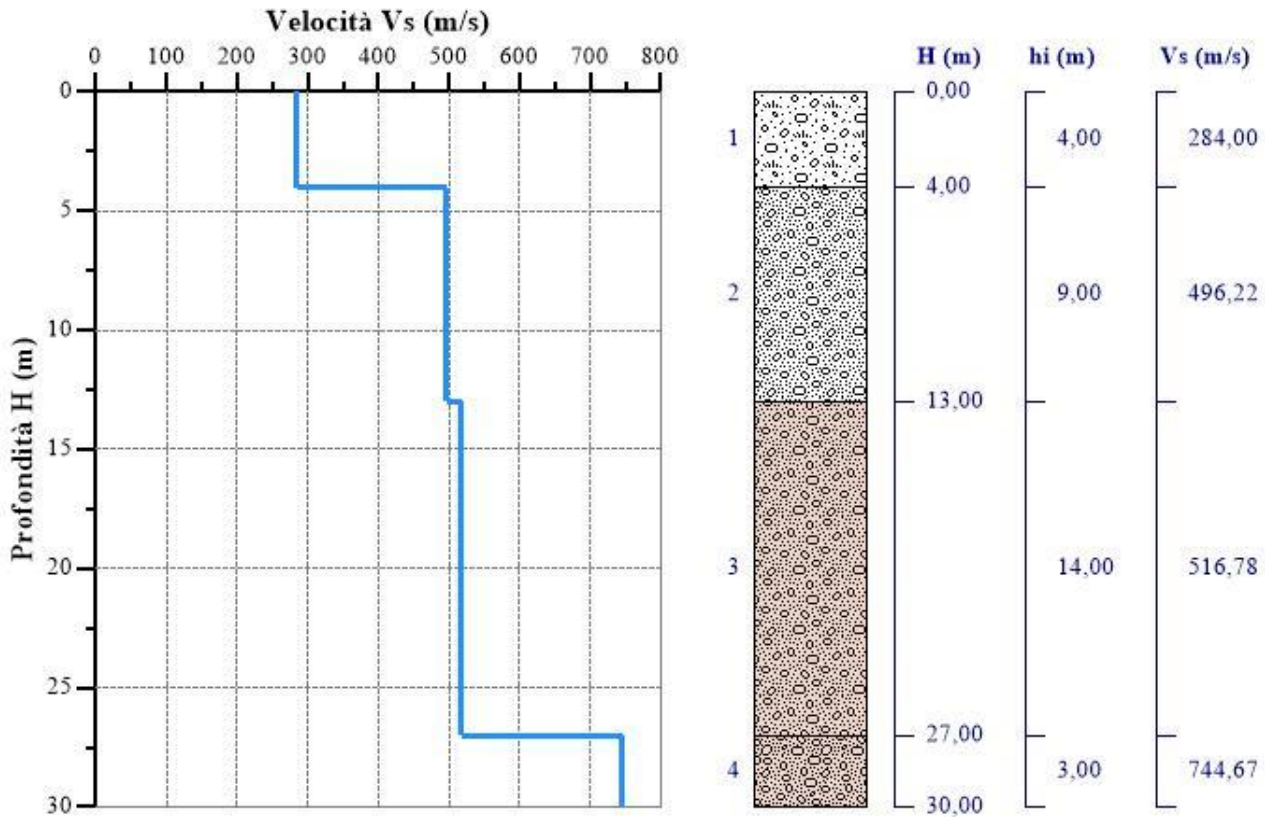
Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	4	4	295	4	4	0,013559322
2	18	14	465,5	18	14	0,030075188
3	26	8	547,88	26	8	0,0146017376
4	30	4	565,25	30	4	0,0070765148

**VSeq=459,33 m/s**

**Cat. B**

*Sondaggio S18-DH (2019)*






Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	4	4	284	4	4	0,014084507
2	13	9	496,22	13	9	0,0181371166
3	27	14	516,78	27	14	0,0270908317
4	30	3	744,67	30	3	0,0040286301

**VSeq=473,63 m/s**

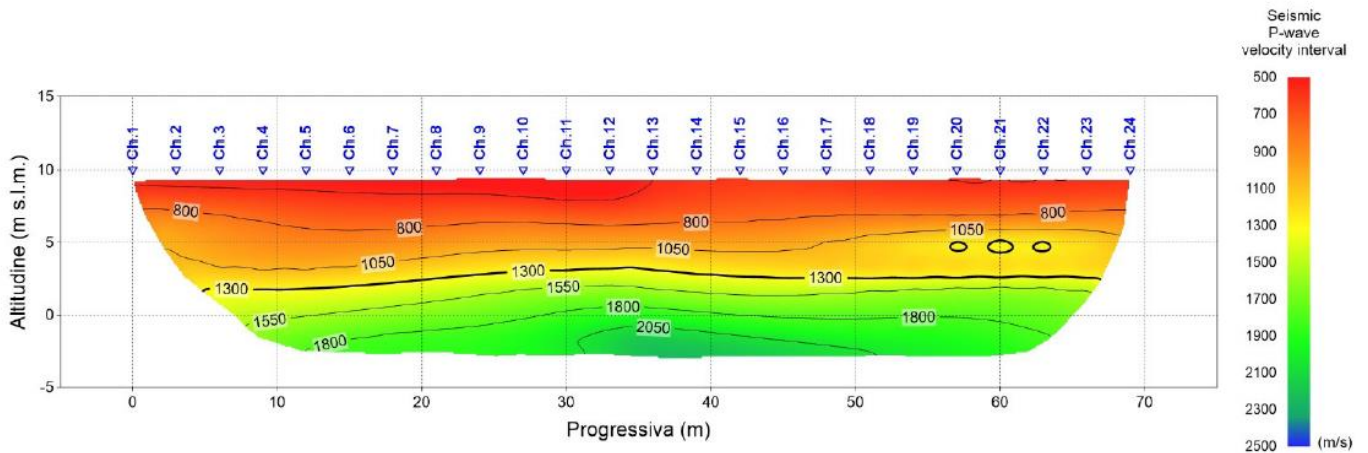
**Cat. B**

### **Tomografia sismica a rifrazione SR1**

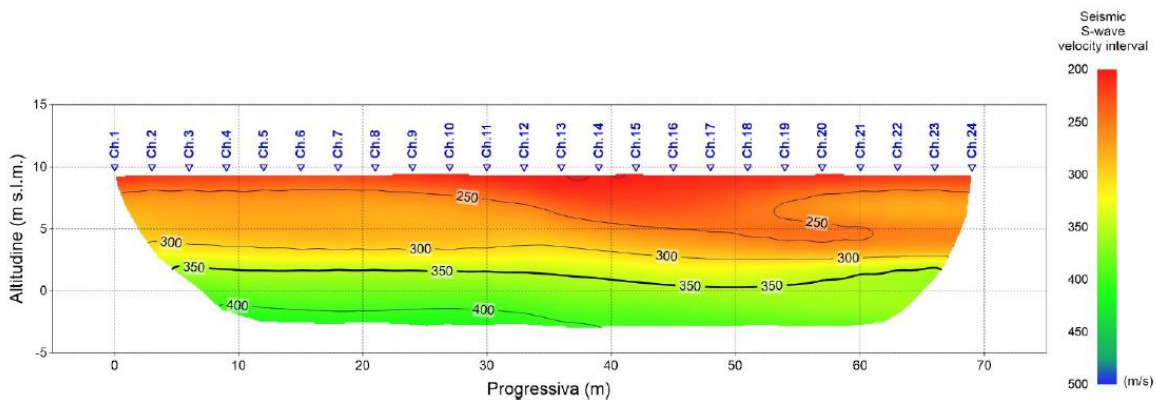
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR1 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 2 m s.l.m ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 500 e 1300 m/s.

<b>SSS130 "Iglesiente"</b> Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
<b>CA-316</b> <b>CA 351</b>	<b>Relazione Sismica</b>	

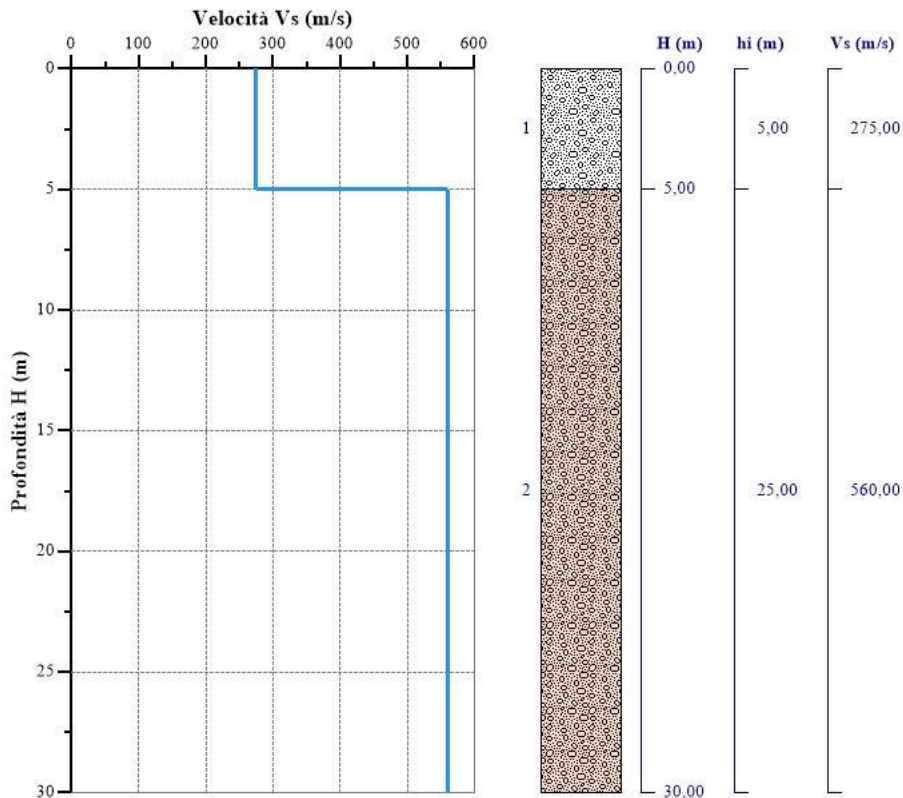
In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 420 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1300 e 2250 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR1.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR1.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	5	5	275	5	5	0,0181818182
2	30	25	560	30	25	0,0446428571

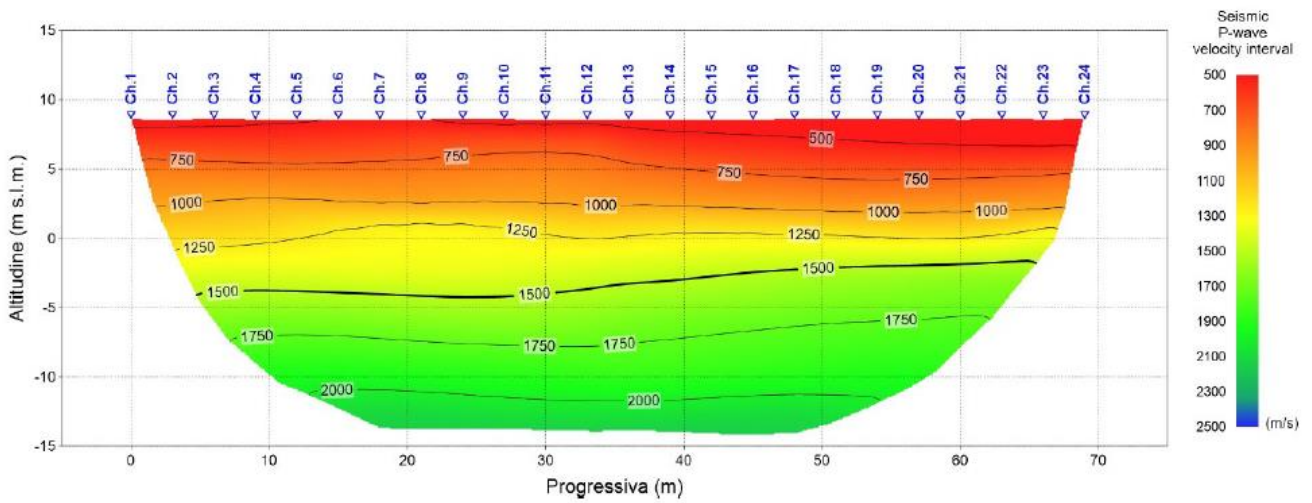
**VSeq=477,52m/s**

**Cat. B**

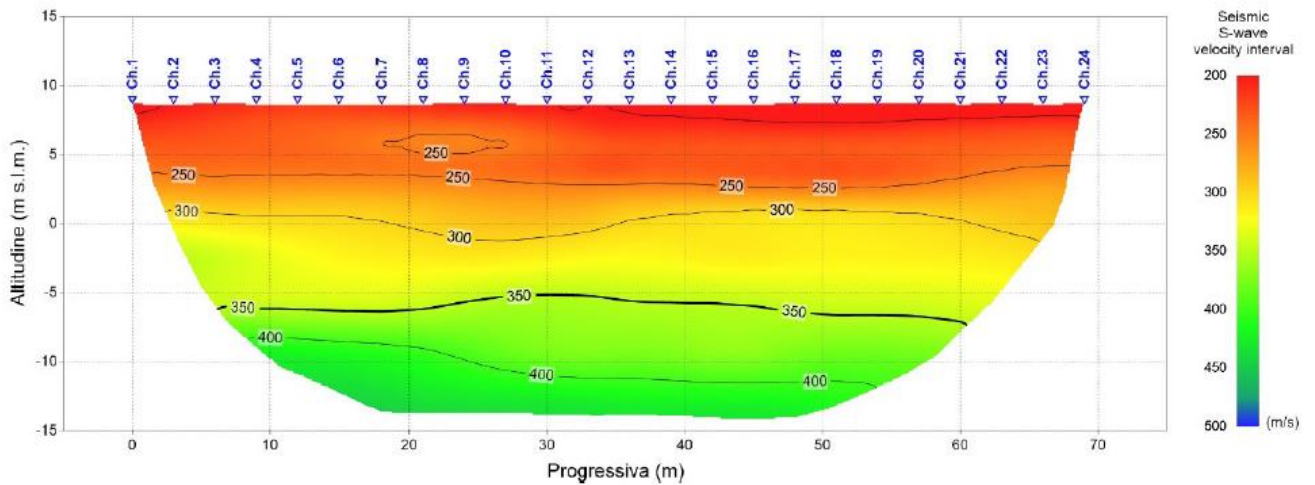
### **Tomografia sismica a rifrazione SR2**

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR2 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa -4 m s.l.m. ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1500 m/s.

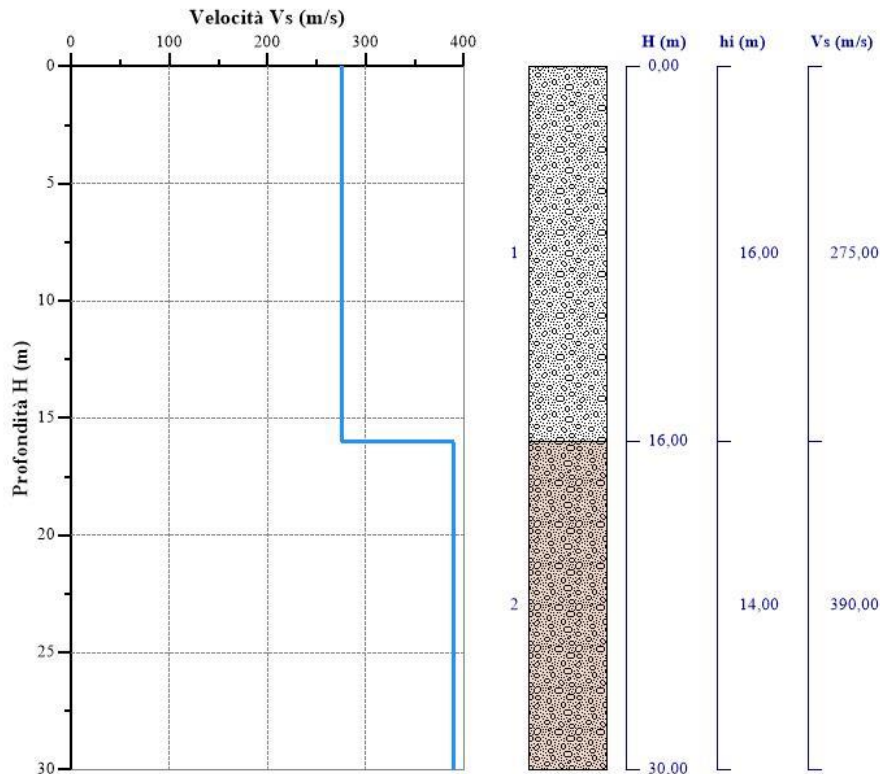
In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 430 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1500 e 2100 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR2.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR2.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V <sub>si</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /V <sub>si</sub> (s)
1	16	16	275	16	16	0,0581818182
2	30	14	390	30	14	0,0358974359

**VSeq=318,88 m/s**

**Cat. C**

### **Tomografia sismica a rifrazione SR3**

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR3 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 2 m s.l.m ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad

argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 230 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 450 e 1000 m/s.

In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore

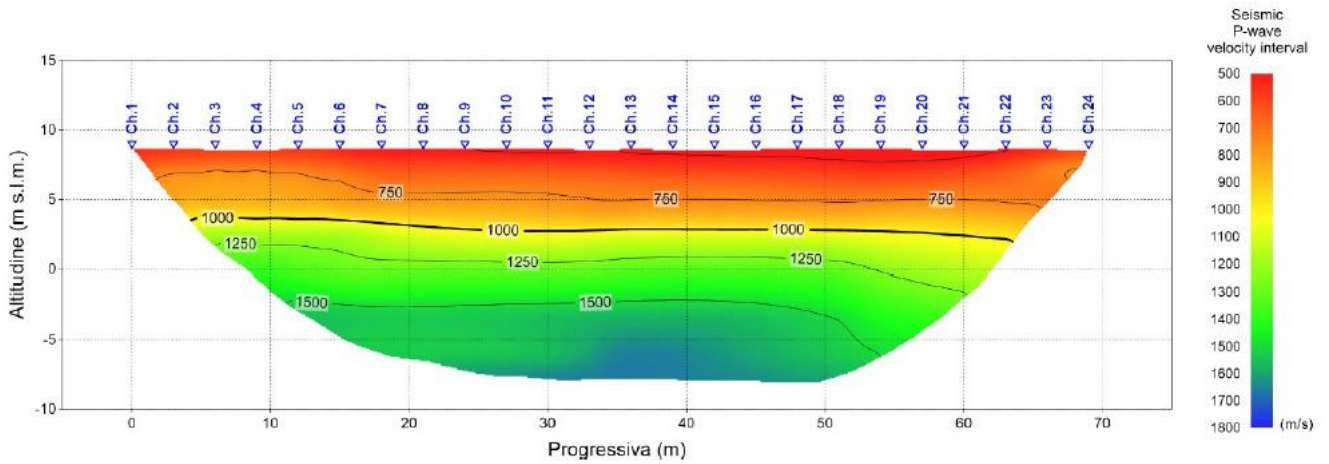
consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 560 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1000 e 1650 m/s.

SSS130 "Iglesiente"  
 Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
 da km 3+000 a km 15+600

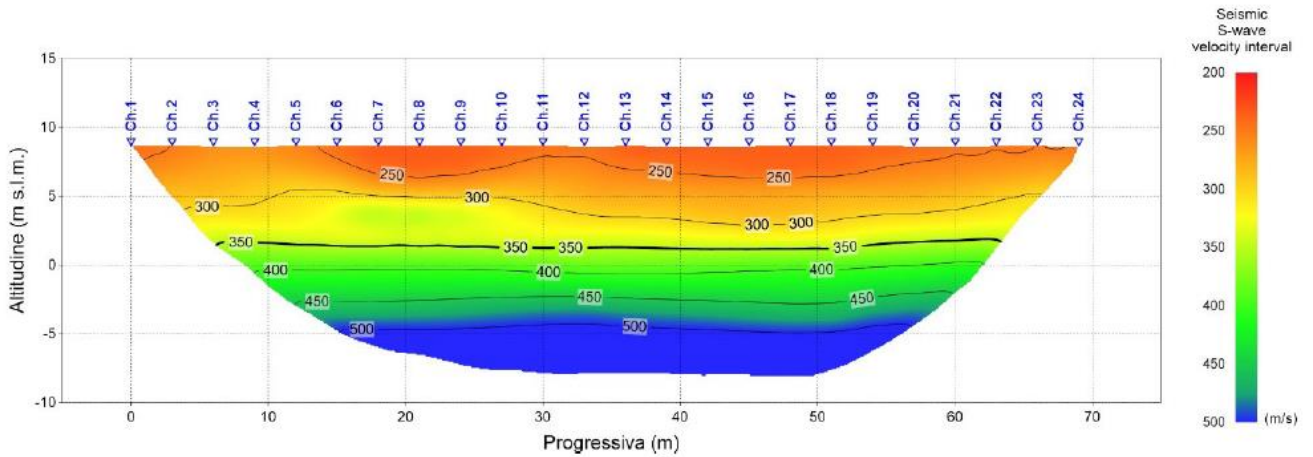


CA-316  
 CA 351

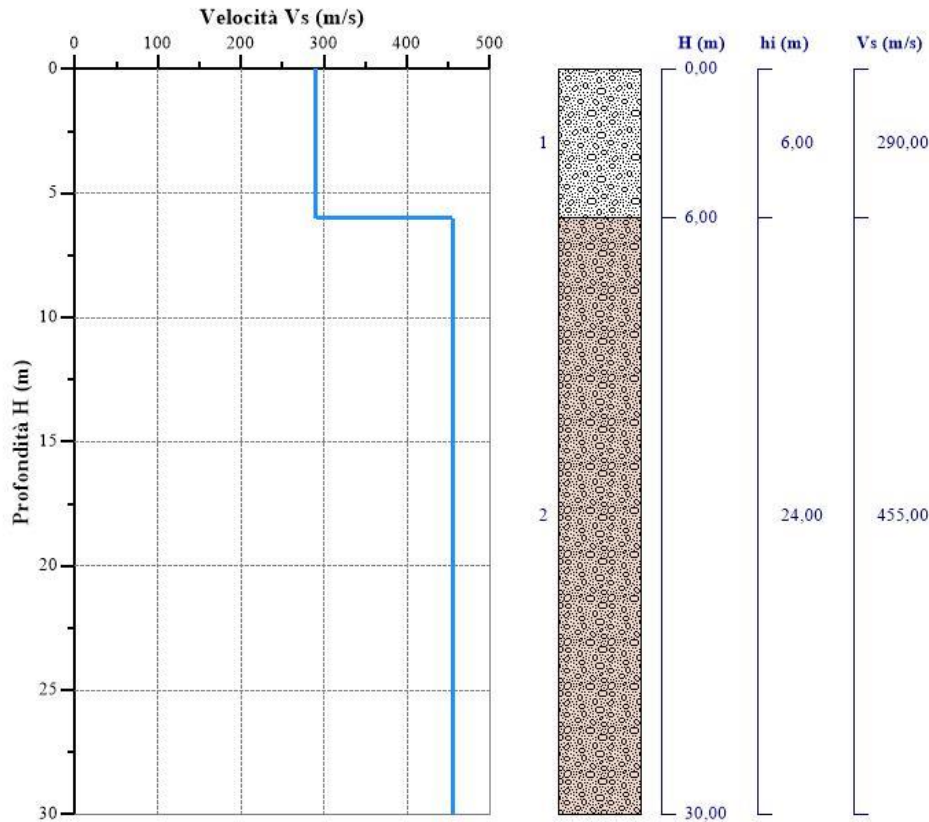
Relazione Sismica



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR3.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR3.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_{s_i}$ (m/s)	H (m)	$h_i$ (m)	$h_i/V_{s_i}$ (s)
1	6	6	290	6	6	0,0206896552
2	30	24	455	30	24	0,0527472527

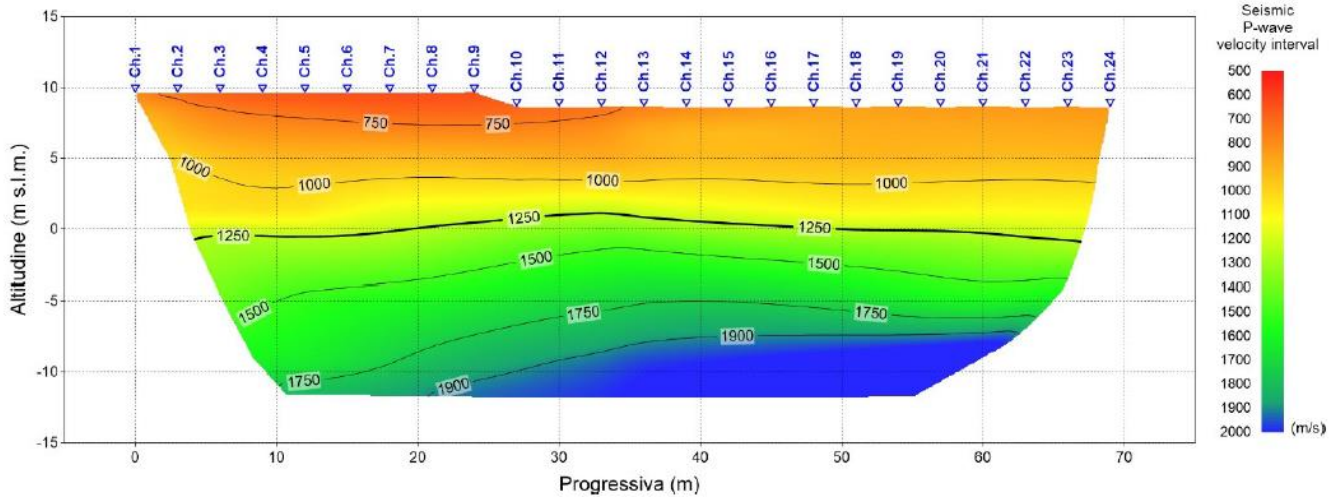
**$V_{Seq}=408,51$  m/s**

**Cat. B**

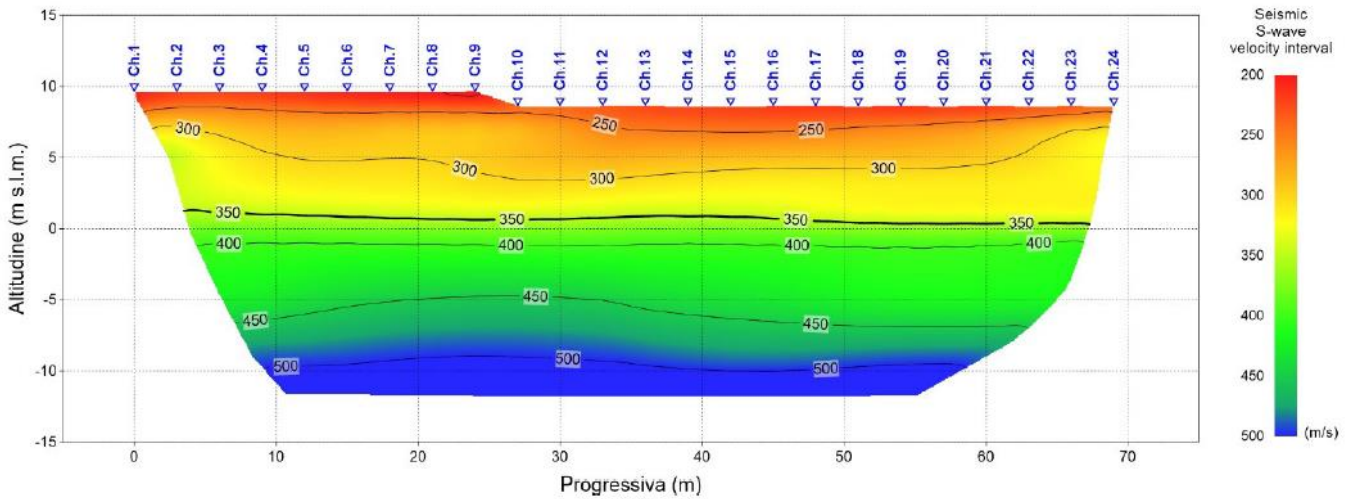
#### **Tomografia sismica a rifrazione SR4**

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR4 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 1 m s.l.m ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 640 e 1250 m/s.

In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 530 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1250 e 2200 m/s.

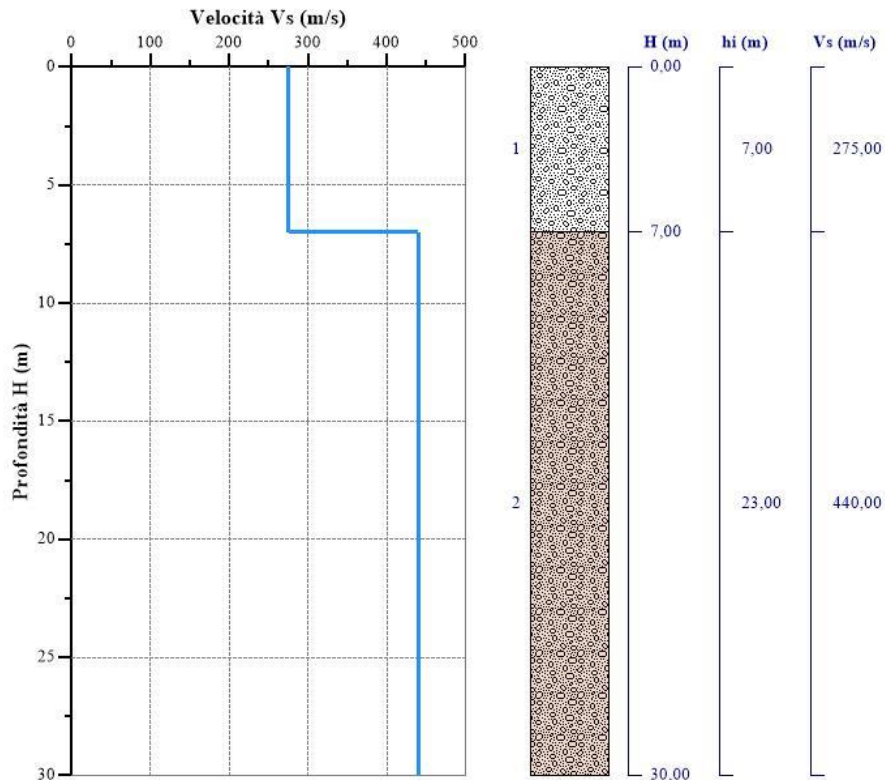


Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR4.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR4.





Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_{s_i}$ (m/s)	H (m)	$h_i$ (m)	$h_i/V_{s_i}$ (s)
1	7	7	275	7	7	0,0254545455
2	30	23	440	30	23	0,0522727273

**$V_{Seq}=385,96$  m/s**

**Cat. B**

### **Tomografia sismica a rifrazione SR5**

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR5 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 4 m s.l.m. ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 550 e 1100 m/s.

In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 500 m/s,

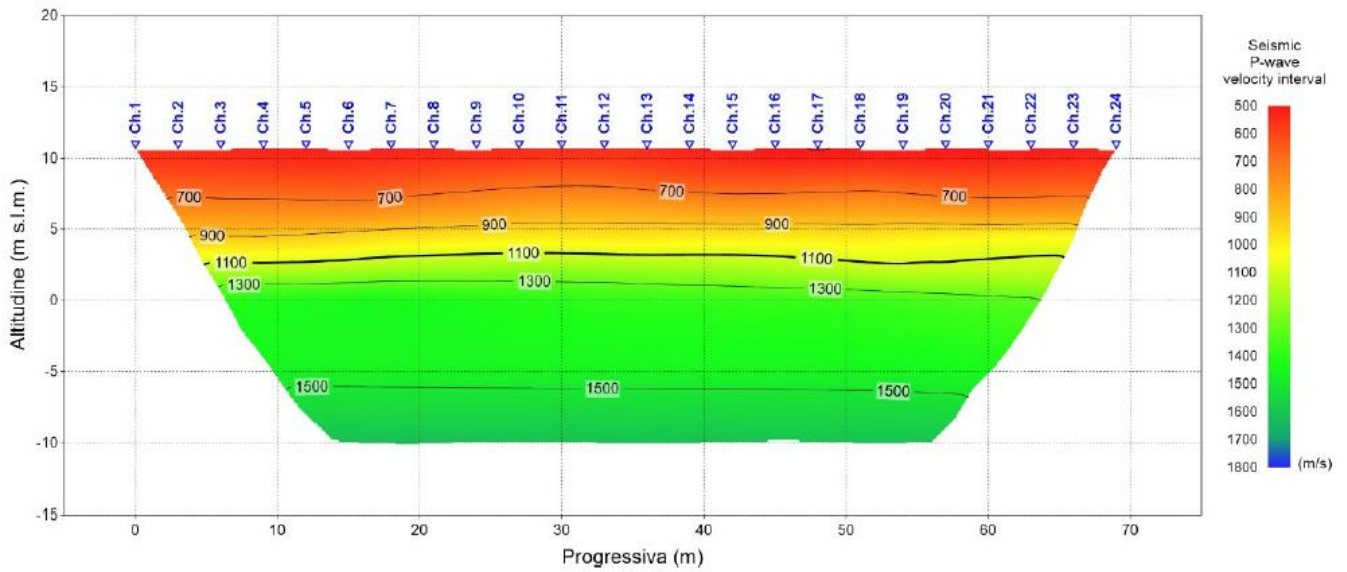
mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1100 e 1600 m/s.

SSS130 "Iglesiente"  
 Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
 da km 3+000 a km 15+600

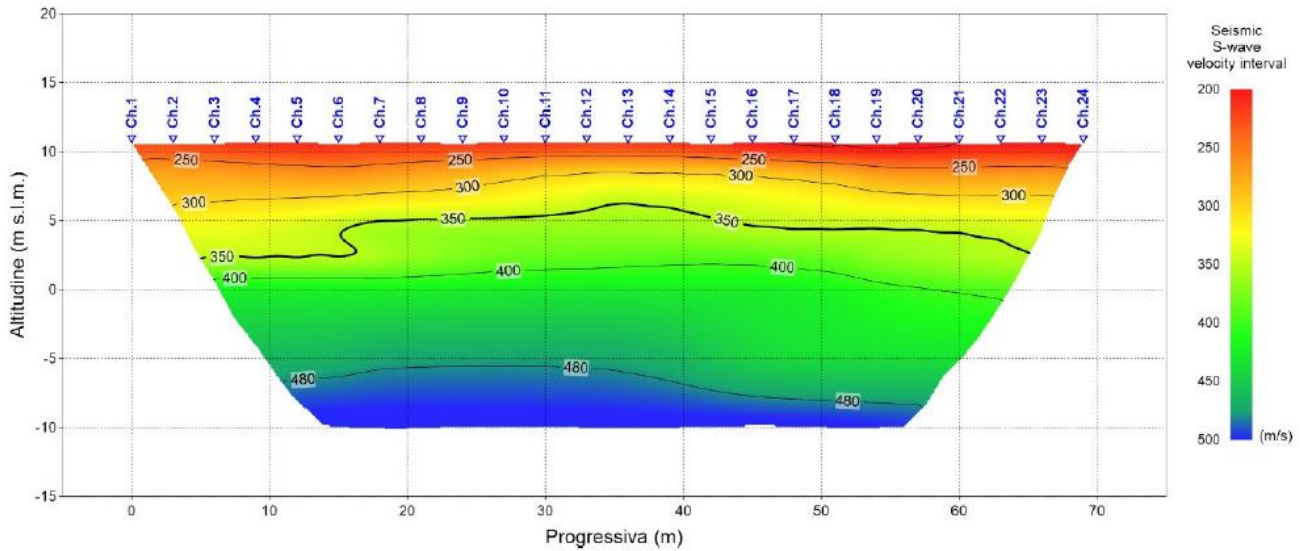


CA-316  
 CA 351

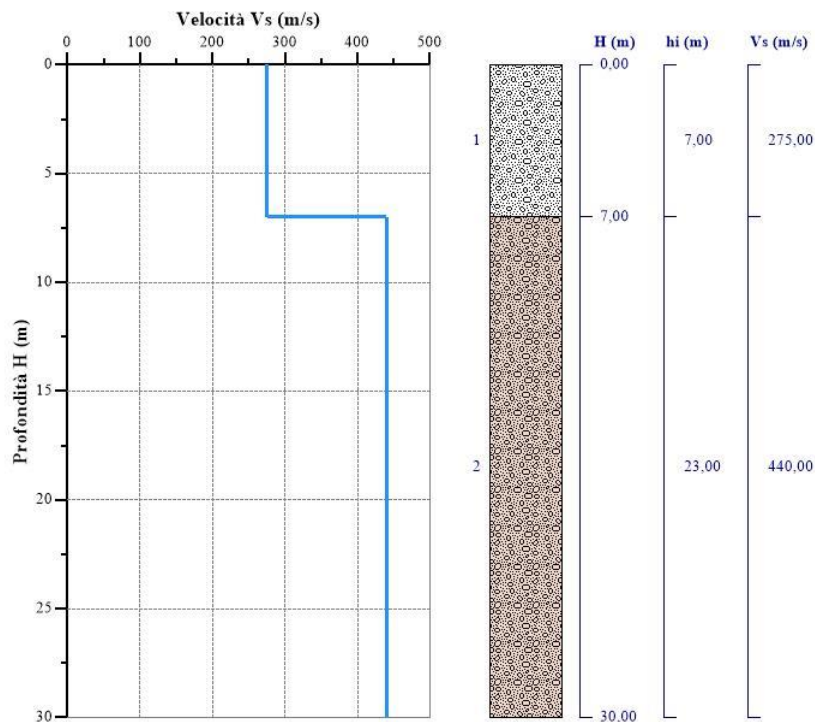
Relazione Sismica



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR5.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR5.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V <sub>s<sub>i</sub></sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /V <sub>s<sub>i</sub></sub> (s)
1	8	8	275	8	8	0,0290909091
2	30	22	425	30	22	0,0517647059

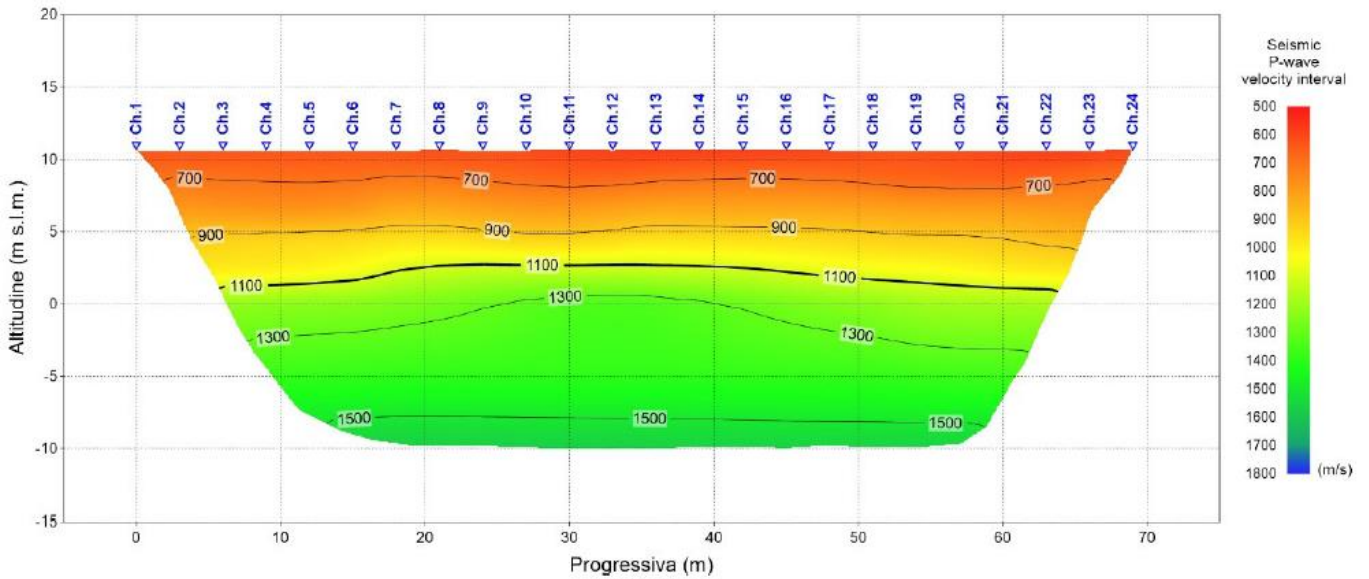
**VSeq=371,03 m/s**

**Cat. B**

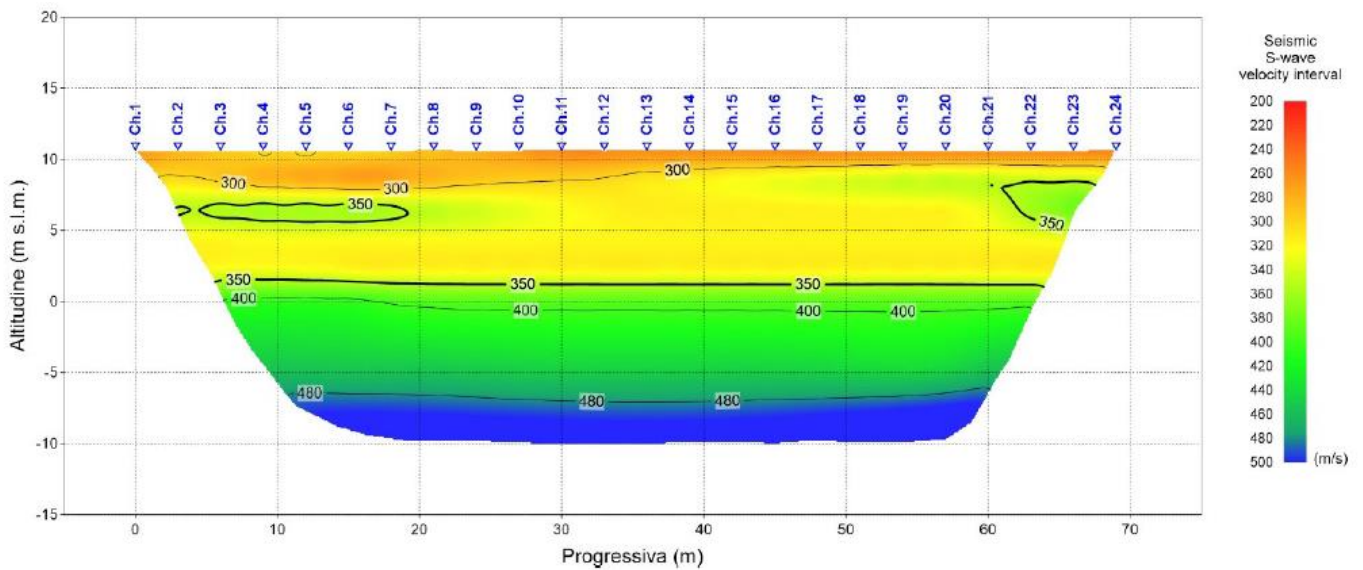
**Tomografia sismica a rifrazione SR6**

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR6 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 2 m s.l.m ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 260 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 590 e 1100 m/s.

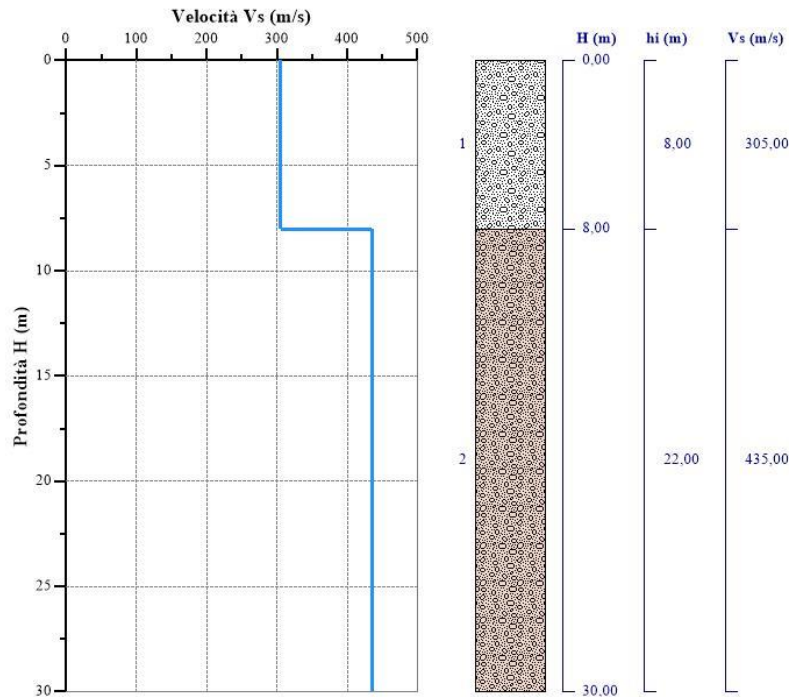
In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 520 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1100 e 1560 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR6.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR6.



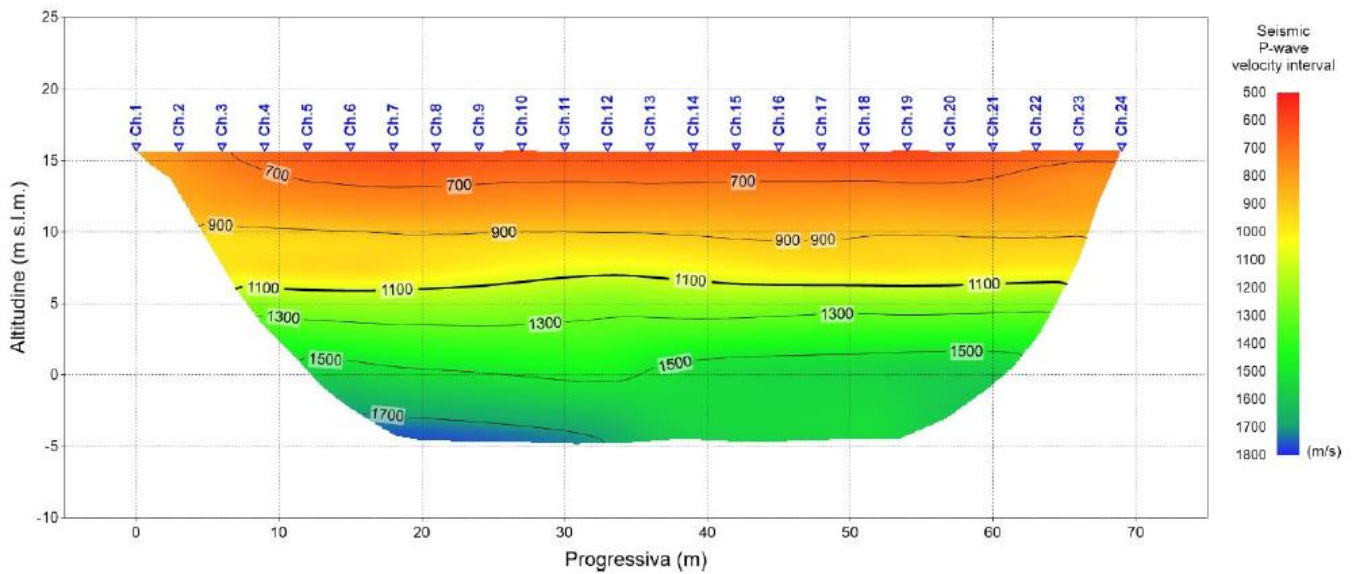
Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	V <sub>si</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /V <sub>si</sub> (s)
1	8	8	305	8	8	0,0262295082
2	30	22	435	30	22	0,0505747126

**VSeq=390,60 m/s**

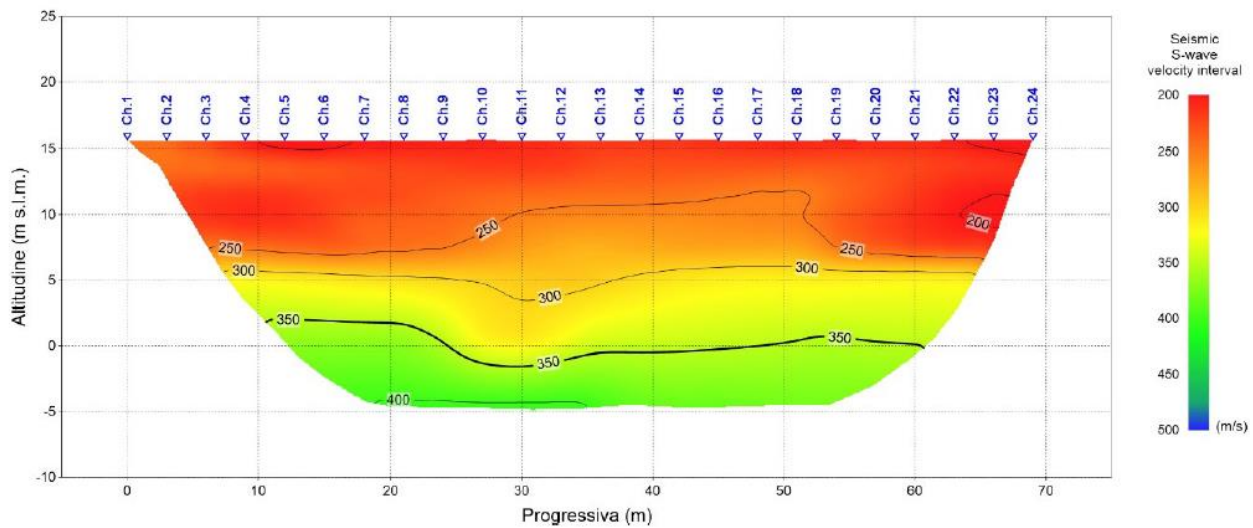
**Cat. B**

### **Tomografia sismica a rifrazione SR7**

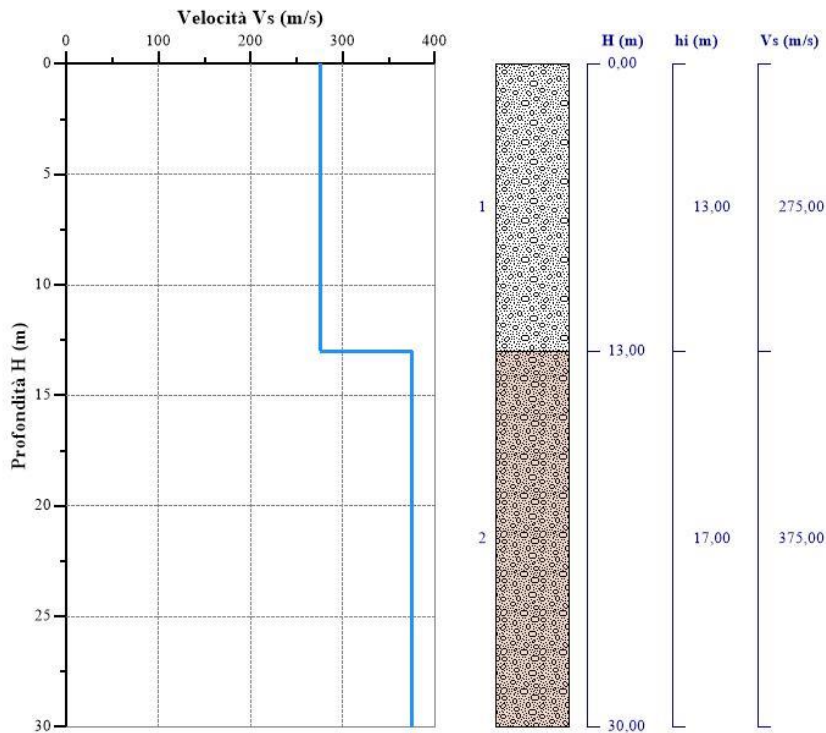
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR7 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 600 e 1100 m/s. In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1100 e 1760 m/s.



Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR7.



Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR7.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	$V_{s_i}$ (m/s)	H (m)	$h_i$ (m)	$h_i/V_{s_i}$ (s)
1	13	13	275	13	13	0,0472727273
2	30	17	375	30	17	0,0453333333

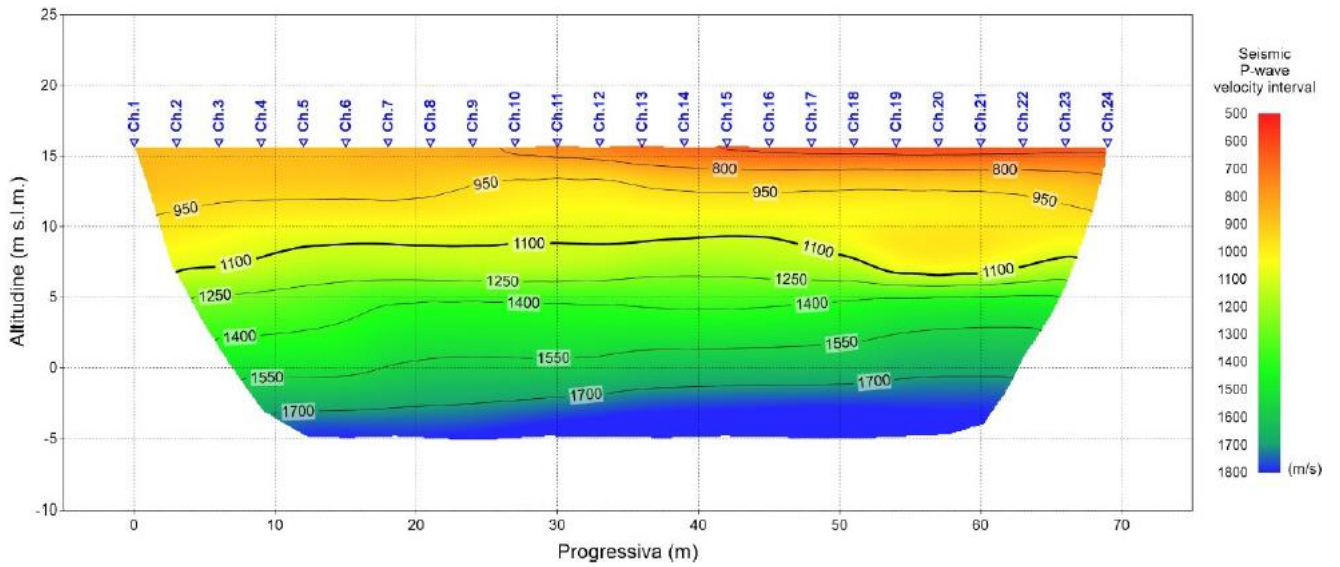
**$V_{Seq}=323,95$  m/s**

**Cat. C**

**Tomografia sismica a rifrazione SR8**

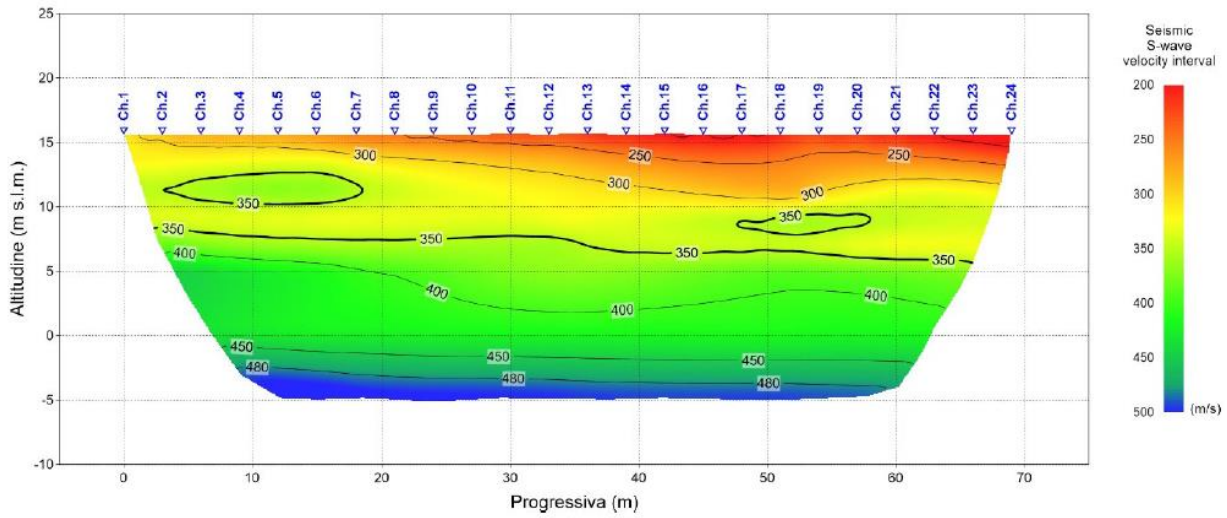
Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico SR8 hanno permesso di evidenziare due sismostrati. Il primo sismostrato si attesta ad una quota media di circa 7 m s.l.m ed è costituito da un'alternanza di depositi sedimentari, lentiformi, con grado di cementazione diverso, a granulometria da ghiaiosa ad argilloso limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 620 e 1100 m/s.

In profondità, sono ancora presenti i depositi sedimentari citati in precedenza caratterizzati, tuttavia, da un grado di addensamento più elevato (per i depositi a granulometria ghiaiosa) oppure a maggiore consistenza (per i depositi argillosi). La velocità delle onde di taglio è compresa tra 350 e 500 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1100 e 1900 m/s.

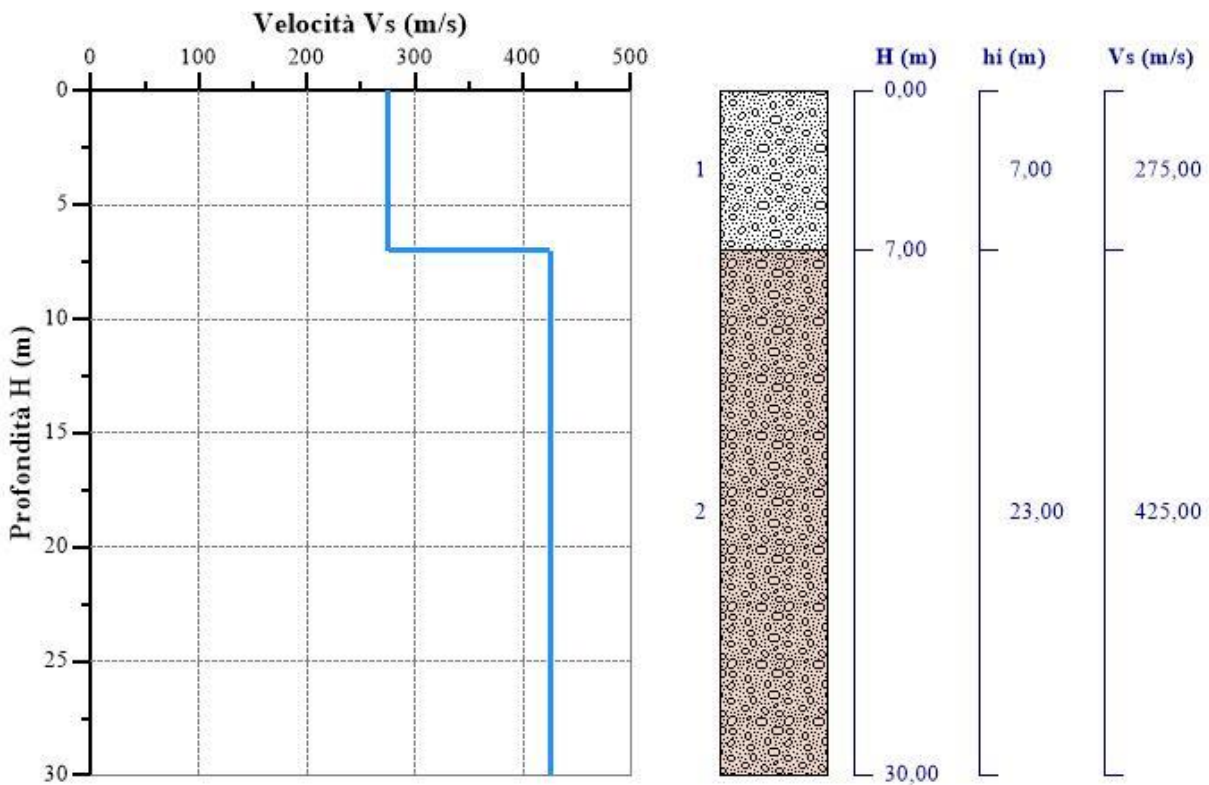


Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo SR8.






Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo SR8.



Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs <sub>i</sub> (m/s)	H (m)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Vs <sub>i</sub> (s)
1	7	7	275	7	7	0,0254545455
2	30	23	425	30	23	0,0541176471

**VSeq=377,02 m/s**

**Cat. B**

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

Gli esiti delle prospezioni Down-Hole e delle tomografie sismiche a rifrazione hanno rilevato per i sondaggi testati sempre un aumento delle velocità di entrambe le forme d'onda con la profondità, evidenziando il miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità, che è un requisito dell'approccio semplificato per la classificazione sismica del territorio, ad eccezione dei sondaggi S3 DH, S7 DH ed S13-DH.

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 S3 DH , S7 DH ed S13-DH. .

Le elaborazioni delle prove sono riportate nelle Tabelle seguenti. Come si osserva i valori ottenuti di Vs30 corrispondono alla categoria di sottosuolo B e C, ai sensi della normativa tecnica NTC2018.

Sondaggi Attrezzati per prova Down-Hole		
Sigla	V <sub>s<sub>eq</sub></sub> (m/s)	Categoria Sottosuolo (NTC 2018)
S1-DH	325,78	C
S3-DH	326,97	C
S7-DH	300,93	C
S10-DH	496,04	B
S13-DH	459,33	B
S18-DH	473,63	B

Tomografia sismica a rifrazione		
Sigla	V <sub>s<sub>eq</sub></sub> (m/s)	Categoria Sottosuolo (NTC 2018)
SR1	477,52	B
SR2	318,88	C
SR3	408,51	B
SR4	385,96	B
SR5	371,03	B
SR6	390,6	B
SR7	323,95	C
SR8	377,02	B

## 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.

**SSS130 "Iglesiente"**  
 Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
 da km 3+000 a km 15+600



CA-316  
CA 351

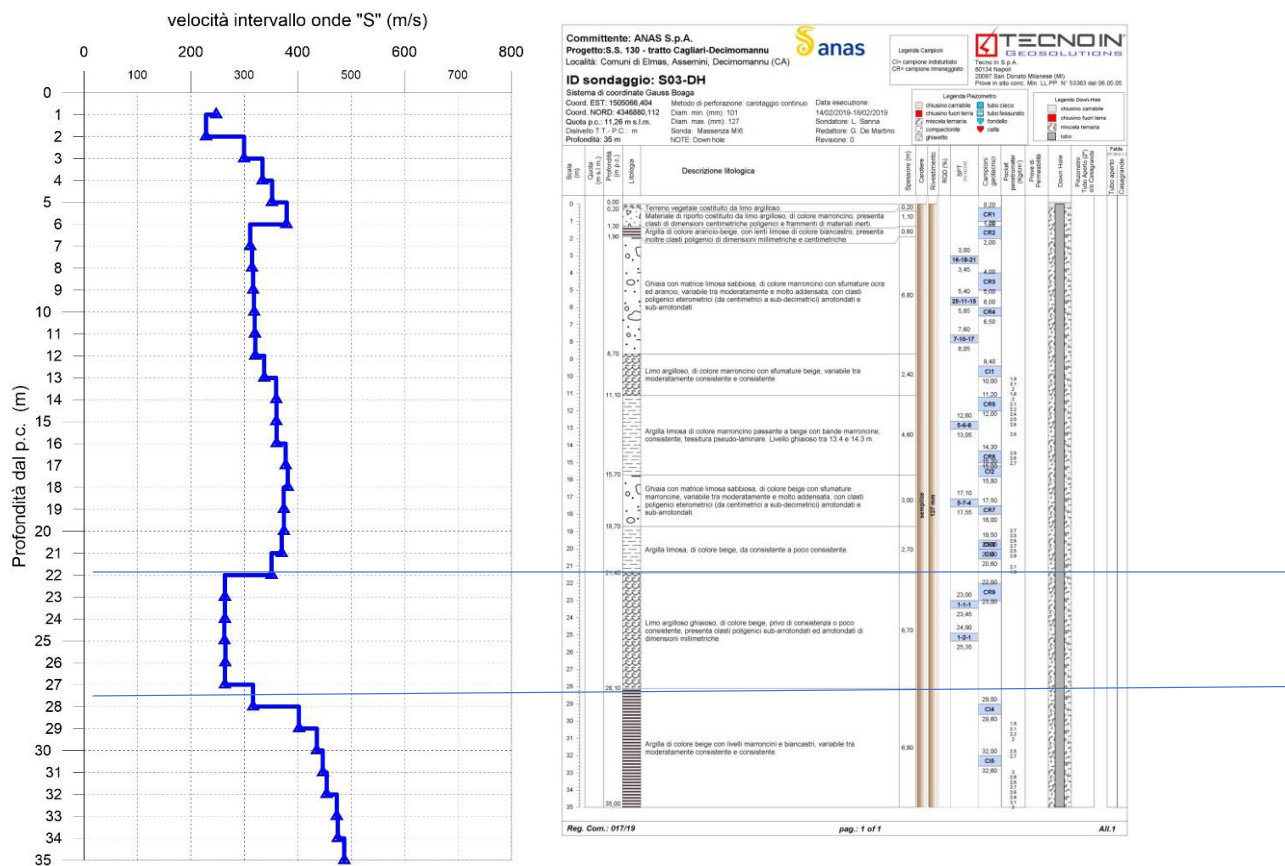
**Relazione Sismica**

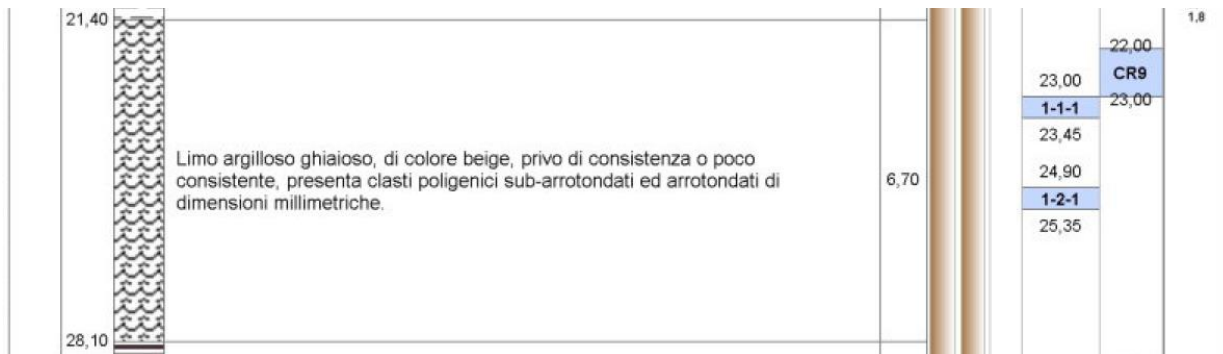
Sebbene i terreni in sito appaiono caratterizzati da un generale graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, le prove down-hole della campagna geognostica del 2019 rilevavano nei sondaggi S3 DH , S7 DH ed S13-DH contrasti di impedenza sismica e limitate inversioni di velocità nel profilo di Vs .

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

Nel sondaggio S03-DH si rileva tra le profondità di 22m e 28 m dal p.c. una diminuzione della velocità Vs che dai 351 m/sec di 22 m si riduce a 263 m/sec a 25 m, per risalire a 316 m/sec a 28 m, con una diminuzione massima di 88 m/sec.

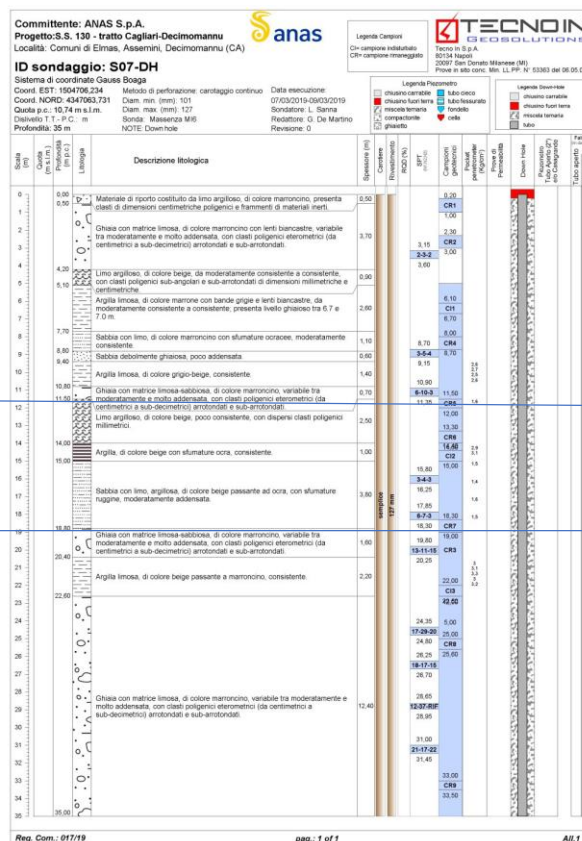
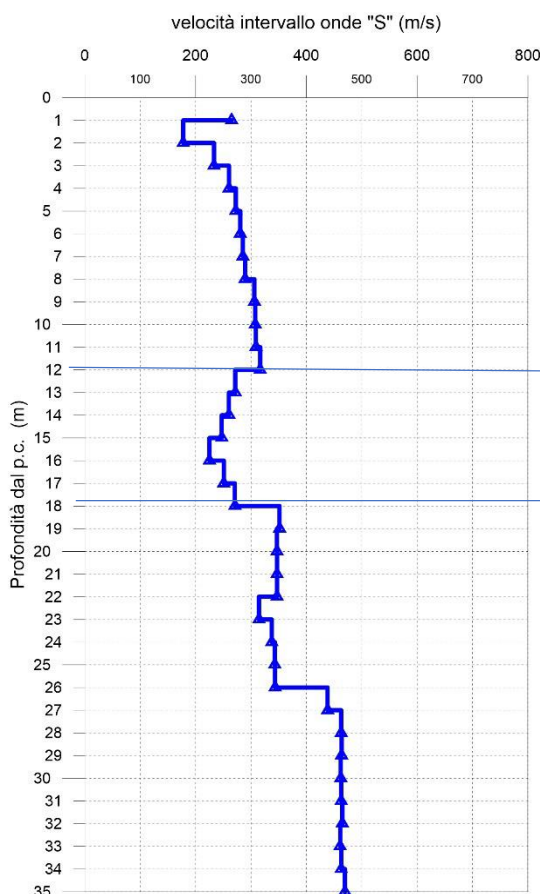
La diminuzione delle Vs si rileva, come evidenziato dall'analisi della stratigrafia, in corrispondenza di un livello limo-argilloso ghiaioso, presente da 21,40 a 28,10 m dal p.c., di consistenza da molle a scarsa ( SPT 6 prof 23-23,45 N<sub>30</sub> SPT=2 - SPT 7 prof 24,90-25,35 N<sub>30</sub> SPT=3)






Nel sondaggio S07-DH si rileva, tra le profondità di 12 e 19 m dal p.c., una diminuzione della velocità Vs che dai 317 m/sec di 12 m si riduce a 225 m/sec a 16 m, per risalire a 352 m/sec a 19 m, con una diminuzione massima di 92 m/sec.

La diminuzione delle Vs si rileva, come evidenziato dall'analisi della stratigrafia, in corrispondenza di livello limo-argilloso ghiaioso, di consistenza da scarsa a media, dello spessore di m 3,50, sovrapposto ad un livello di sabbie con limo argillose, da poco a moderatamente addensate, di spessore di 3,80 m (SPT 4 prof 15,80-16,25 N<sub>30</sub> SPT=7 - SPT 5 prof 17,85-18,30 N<sub>30</sub> SPT=10)

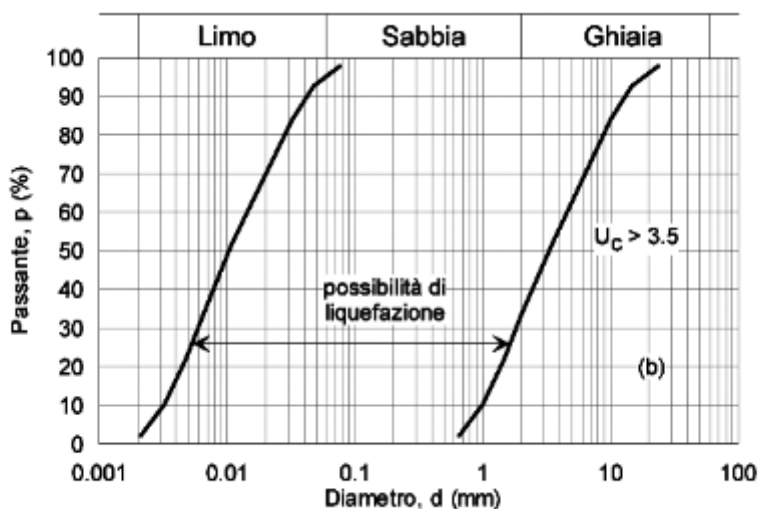




SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		
CA-316 CA 351	<b>Relazione Sismica</b>	

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, come evidenziato dalle granulometrie eseguite sui campioni CR9 del sondaggio S3-DH, CR6 e CI2 e CR7 del sondaggio S7-DH e CI1, CR5 e CR6 del sondaggio S13 DH, la composizione granulometrica, per la abbondante presenza di frazione limo-argillosa, si estende ben oltre il fuso granulometrico (con  $U_c > 3,5$ ) all'interno del quale i terreni possono essere suscettibili di liquefazione.



b)


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

### 6.3 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 tengono conto degli effetti morfologici locali prendendo in considerazione il fattore di amplificazione topografica, definito sulla base dell'inclinazione media dei versanti. L'area interessata dal progetto è subpianeggiante con pendenze medie inferiori a  $15^\circ$ . 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

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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 "Vn, 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 100 anni sia per le opere maggiori sia per quelle minori. L'adozione di tale valore di Vn 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.

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

L'incremento di costo di costruzione legato all'assunzione di  $V_n=100$  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  $V_n=100$ .
- 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  $V_n=100$ ), 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  $V_n=100$ , 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 elevati", cui corrisponde una  $V_n=100$ . 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.

## 7.2 CLASSE D'USO

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



SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a  $C_u = 2$ .

### 7.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

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

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

### 7.4 PARAMETRI DI PROGETTO

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.


Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

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

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

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $PVR$  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  $T_R$ , espresso in anni.

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

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

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


	Prob. superamento [%]	$T_r$ [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 rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

### 7.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

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

### 7.6 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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


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

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

Dove:

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

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

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<b>Relazione Sismica</b>	

- 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 di  $T_C$  e  $T_C^*$  sottosuolo;

-  $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  $T_B = T_C / 3$

-  $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:


$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6;$$

-  $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti:

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

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

## 7.7 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

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


Nelle quali T e S<sub>ve</sub> sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F<sub>V</sub> è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a<sub>g</sub> su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

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

## 7.8 SPETTRI DI PROGETTO

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto S<sub>d</sub>(T) da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto S<sub>d</sub>(T) da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito

SSS130 "Iglesiente" Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu da km 3+000 a km 15+600		 GRUPPO FS ITALIANE
CA-316 CA 351	<i>Relazione Sismica</i>	

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

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

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

Di seguito si riportano gli spettri di progetti determinati.

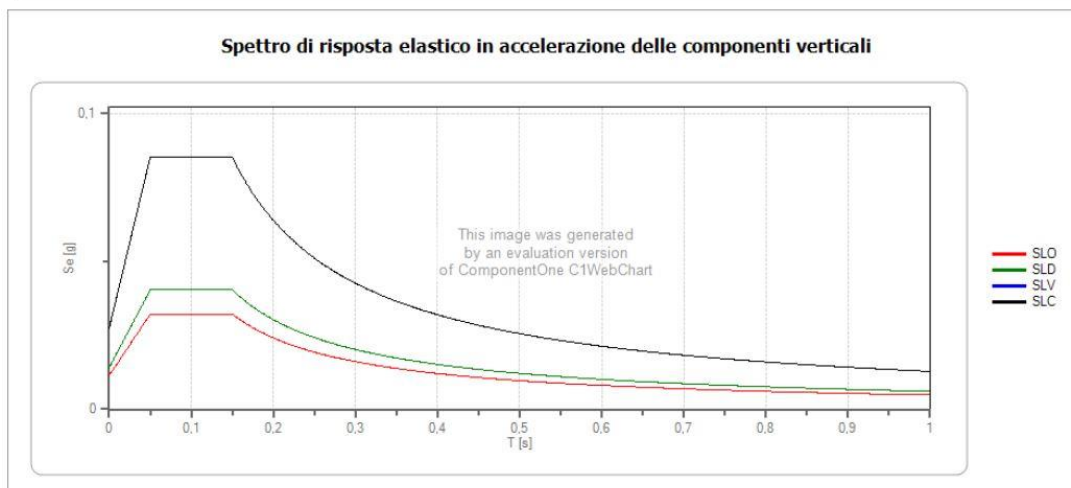
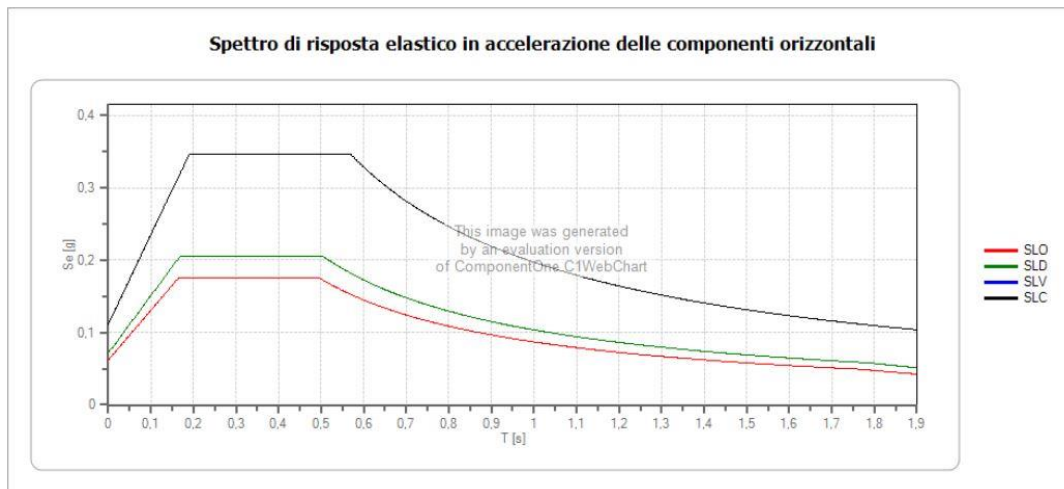
### Sondaggio S1-DH

**$V_{seq}=325,78$  m/s**

**Cat. C**

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

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,520	1,000	0,012	0,006	0,608	0,200
SLD	1,500	1,500	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLV	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200
SLC	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200



**Sondaggio S3-DH**

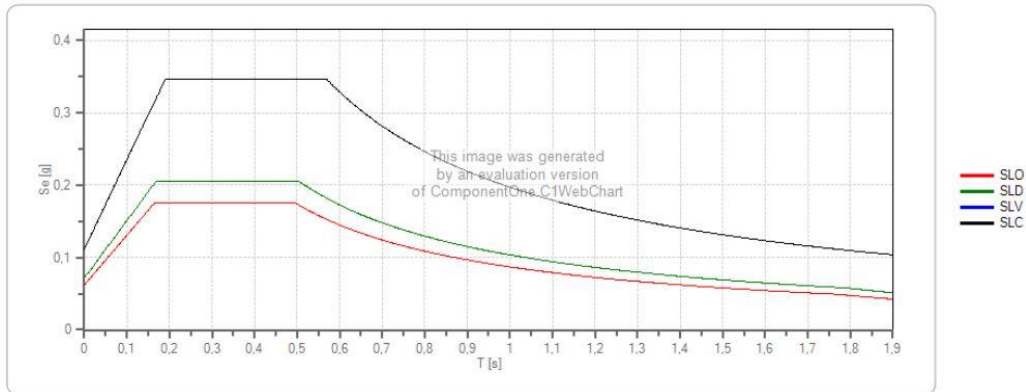
**VSeq=326,97 m/s**

**Cat. C**

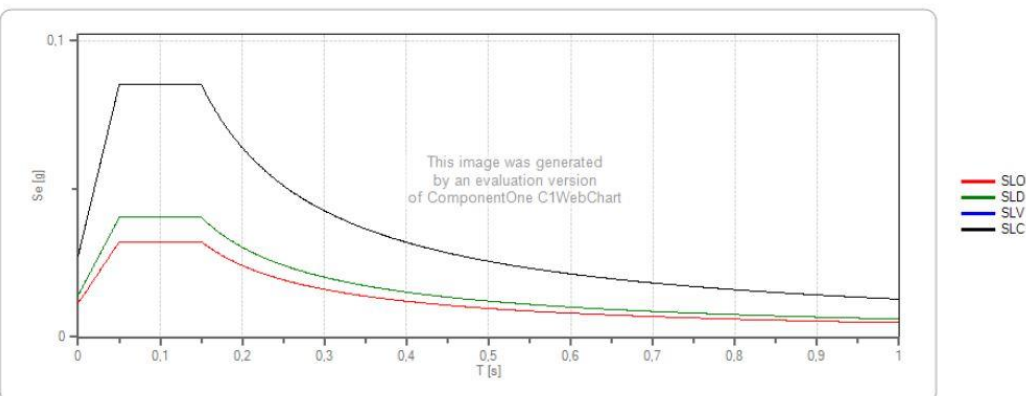
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,520	1,000	0,012	0,006	0,608	0,200
SLD	1,500	1,500	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLV	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200
SLC	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



Sondaggio S7-DH

**VSeq=300,93 m/s**

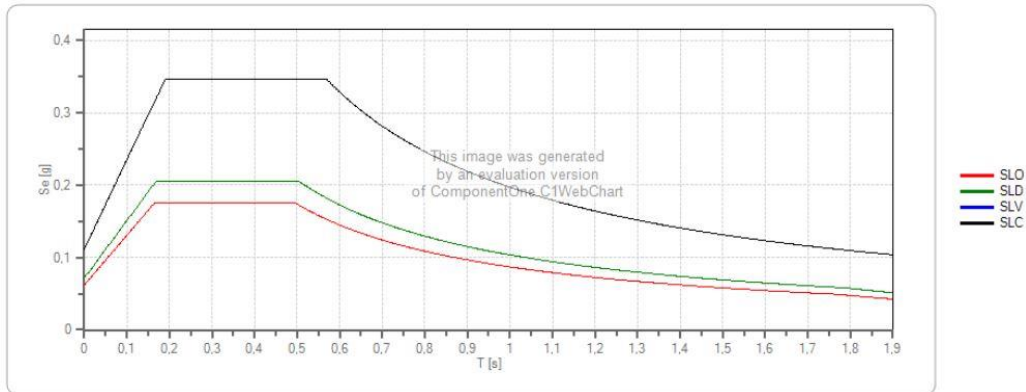
**Cat. C**

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

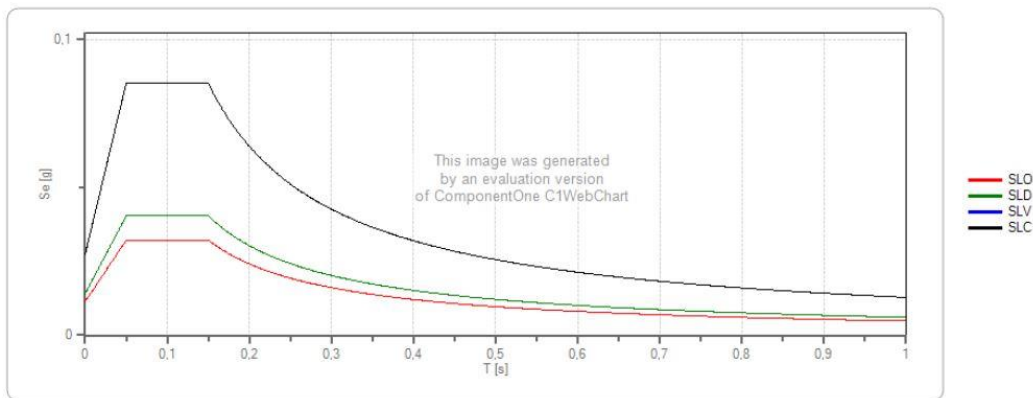
	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,520	1,000	0,012	0,006	0,608	0,200
SLD	1,500	1,500	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLV	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200
SLC	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200



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



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



**Sondaggio S10-DH (2019)**

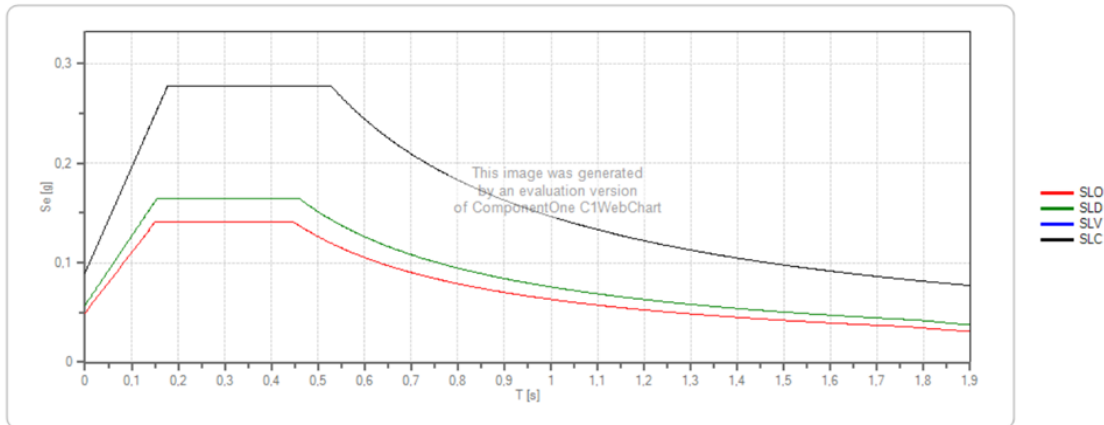
**VSeq=496,04 m/s**

**Cat. B**

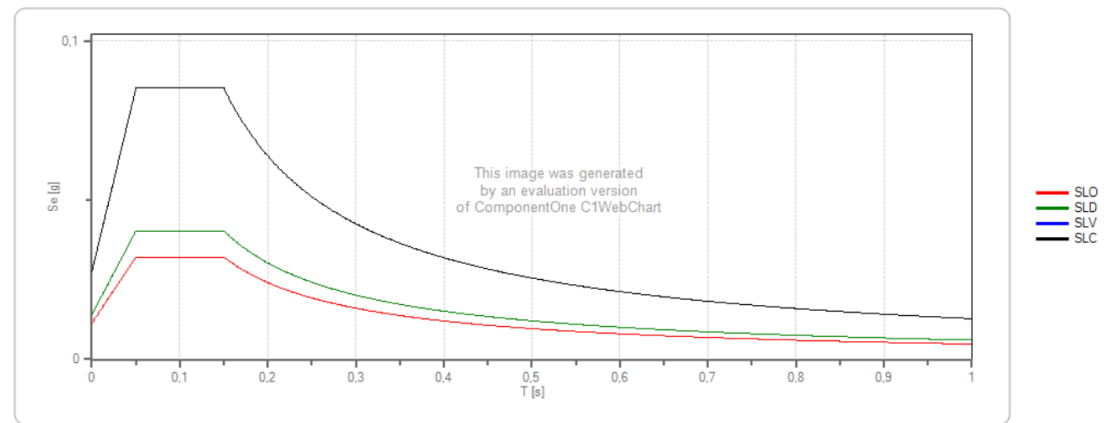
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

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

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



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



Sondaggio S13-DH (2019)

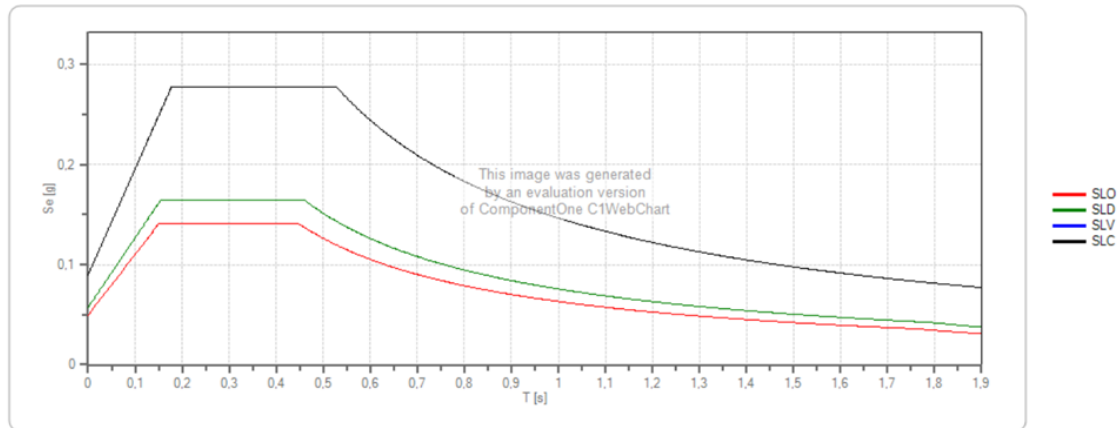
**VSeq=459,33 m/s**

**Cat. B**

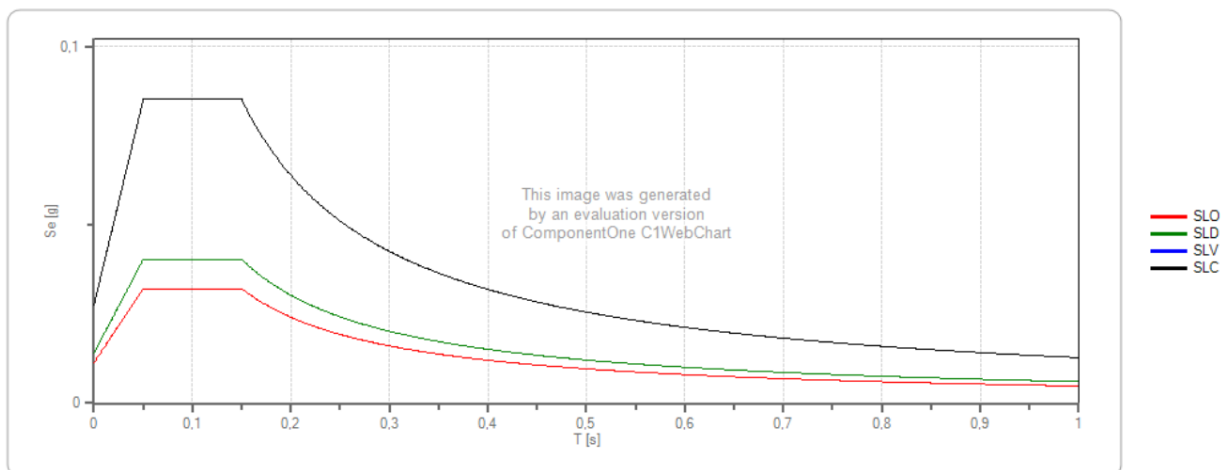
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

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

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



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



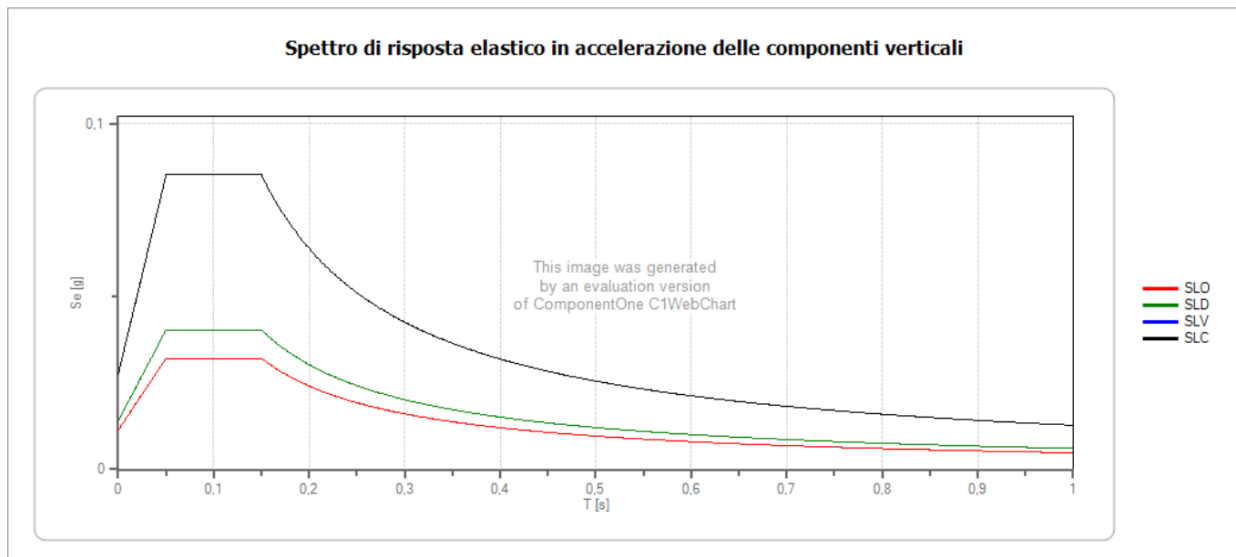
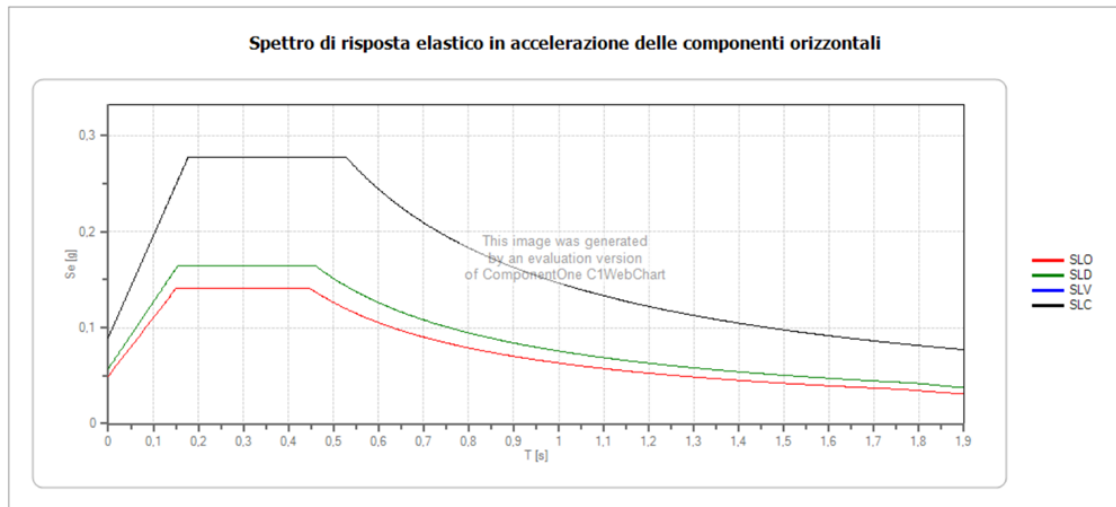
**Sondaggio S18-DH (2019)**

**VSeq=473,63 m/s**

**Cat. B**

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

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



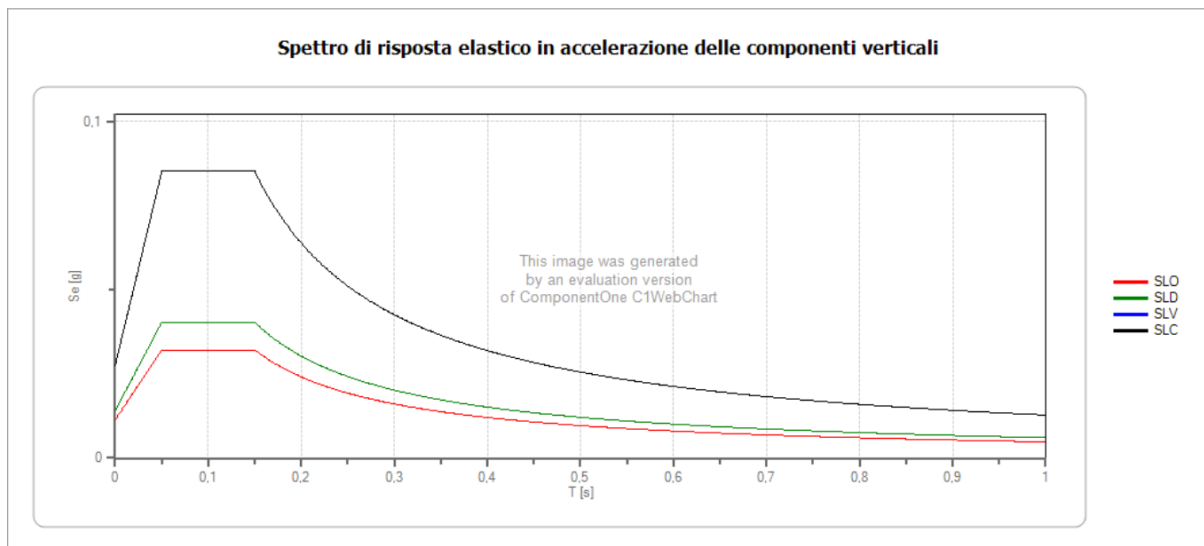
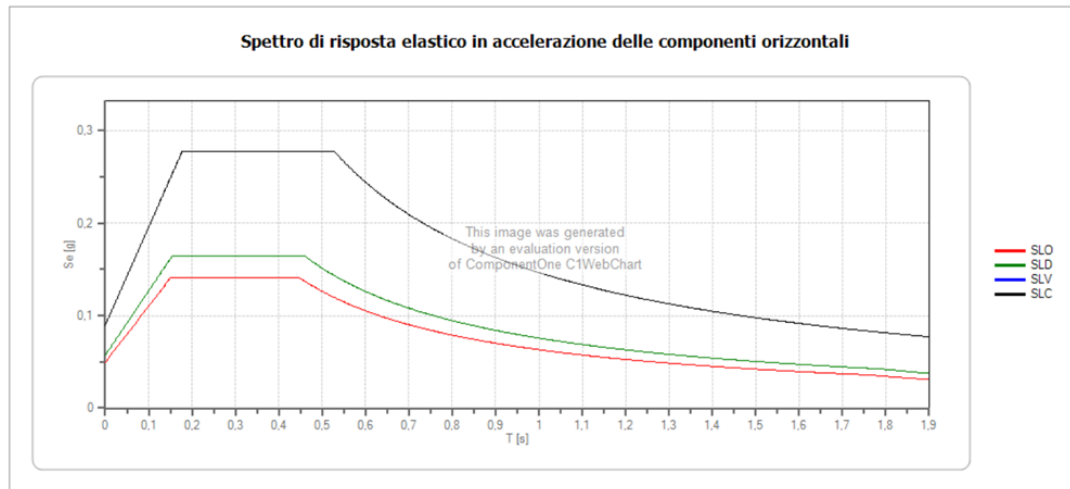
**Tomografia sismica  
a rifrazione SR1**

**VSeq=477,52m/s**

**Cat. B**

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

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



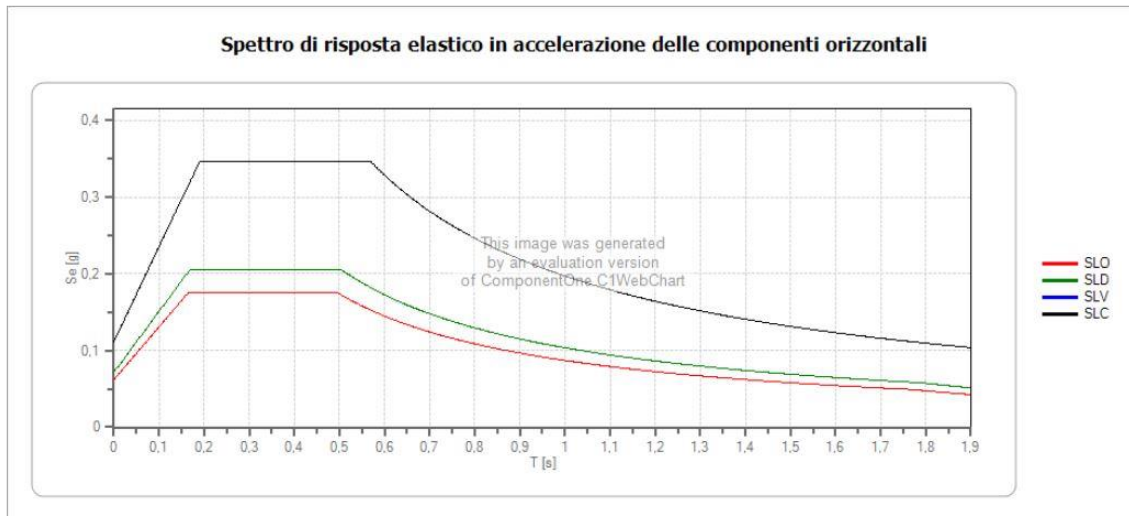
**Tomografia sismica  
a rifrazione SR2**

**VSeq=318,88 m/s      Cat. C**

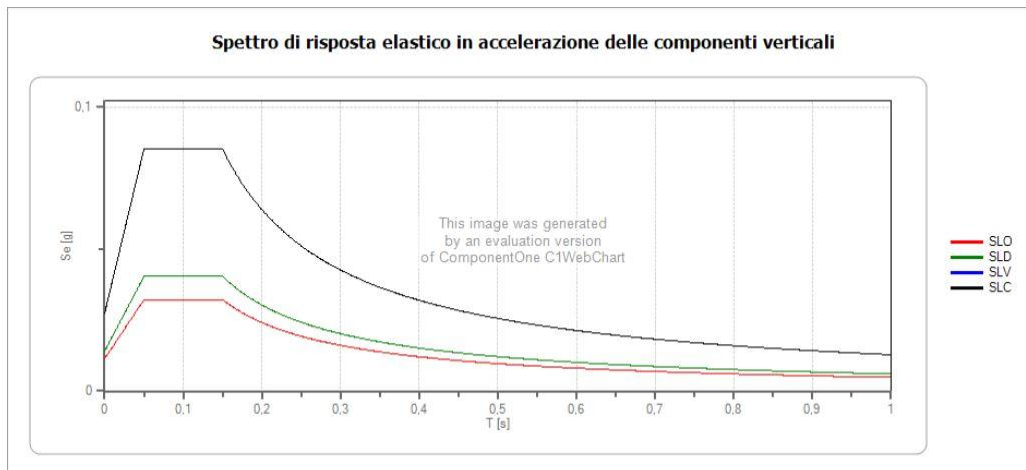
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,520	1,000	0,012	0,006	0,608	0,200
SLD	1,500	1,500	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLV	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200
SLC	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200

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



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



**Tomografia sismica  
a rifrazione SR3**

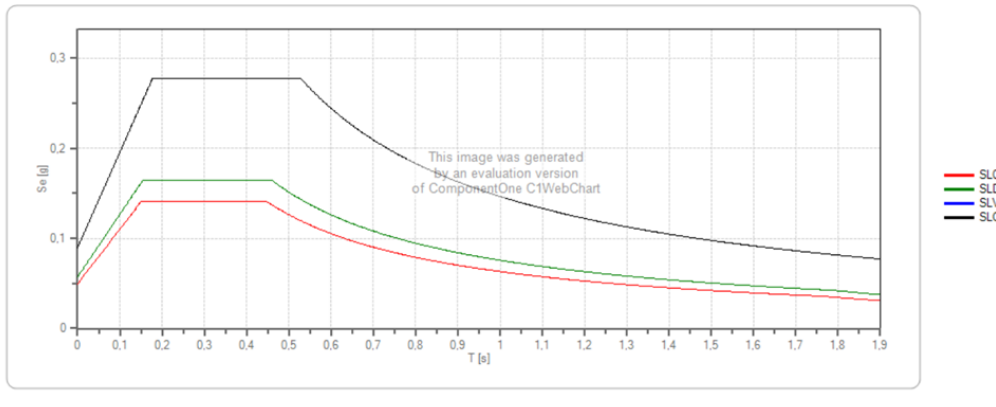
**VSeq=408,51 m/s**

**Cat. B**

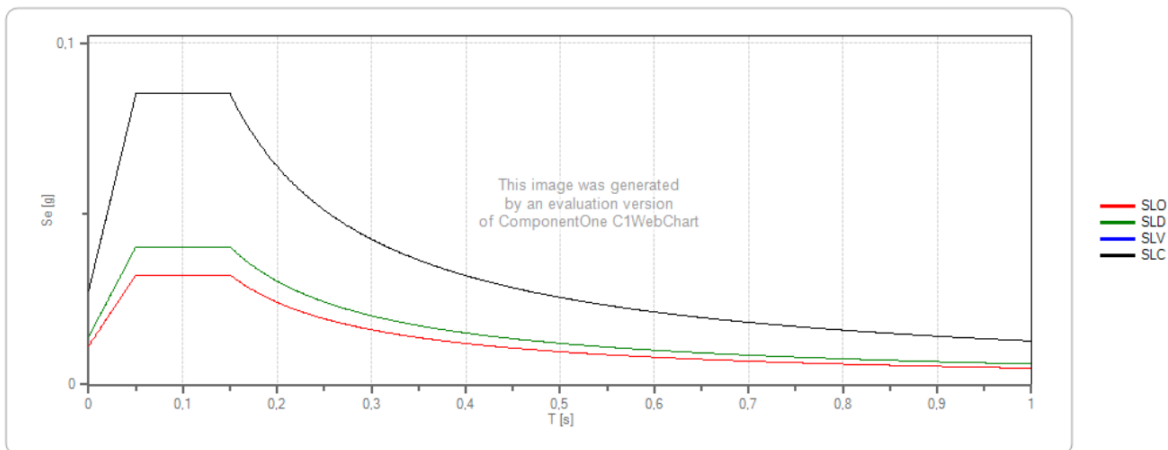
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	241	0,041	2,833	0,326
Danno (SLD)	63	402	0,048	2,868	0,336
Salvaguardia della vita (SLV)	10	2475	0,075	3,090	0,401
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	2475	0,075	3,090	0,401

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

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



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



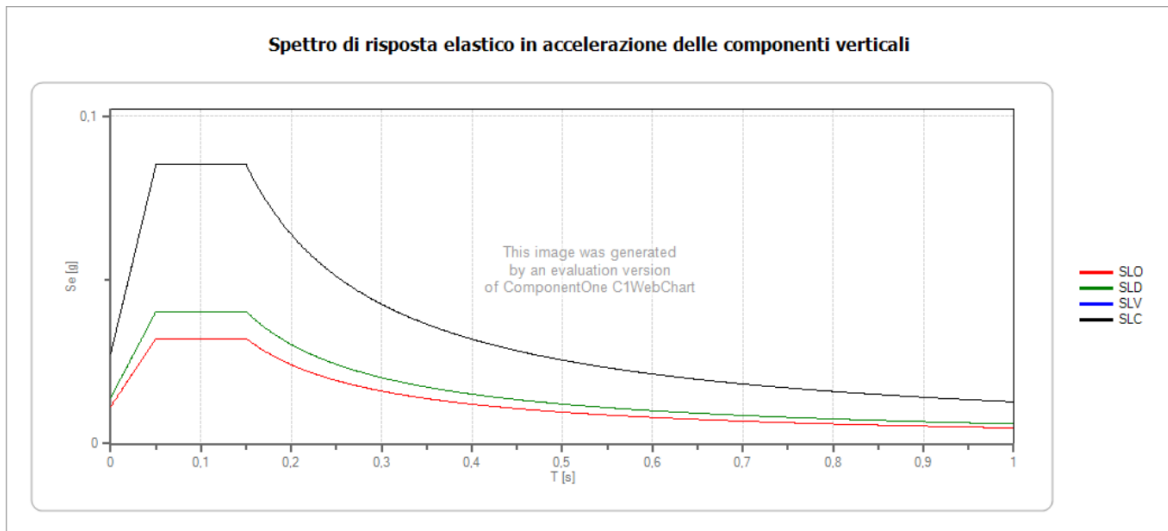
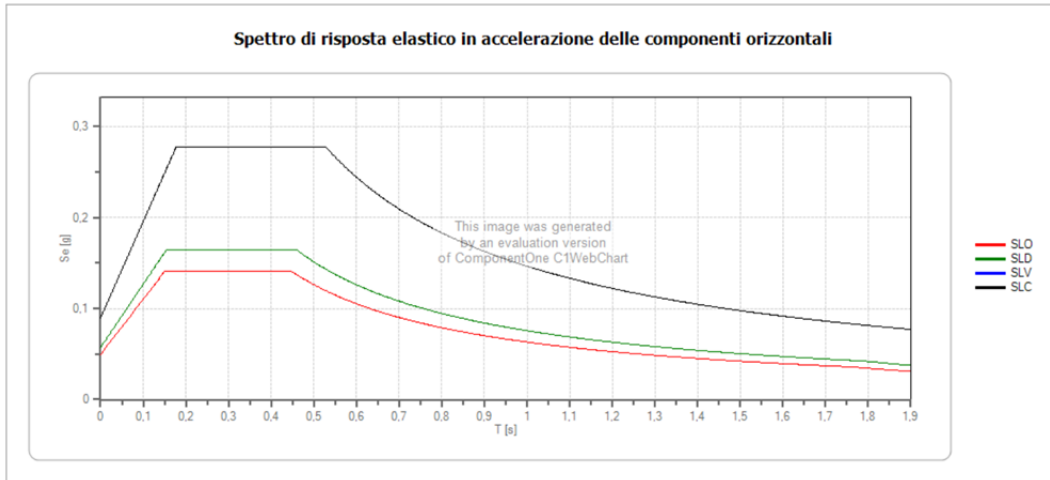
**Tomografia sismica  
a rifrazione SR4**

**VSeq=385,96 m/s**

**Cat. B**

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

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



**Tomografia sismica  
a rifrazione SR5**

**VSeq=371,03 m/s**

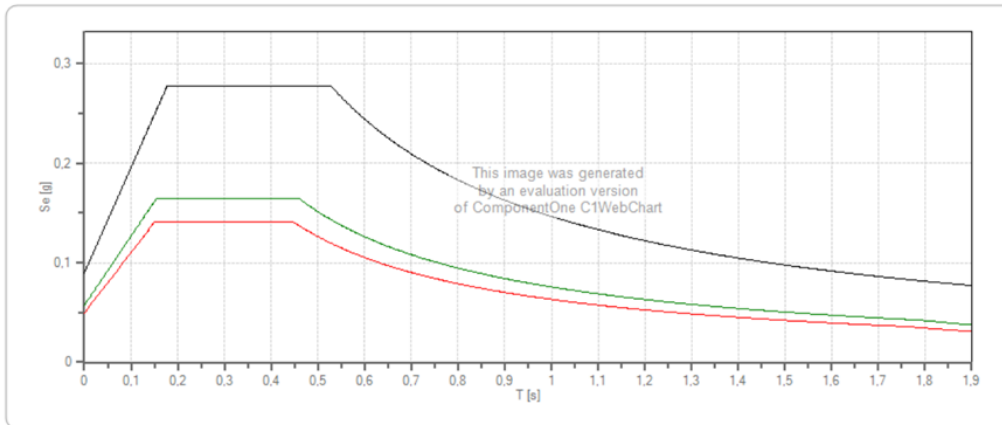
**Cat. B**

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

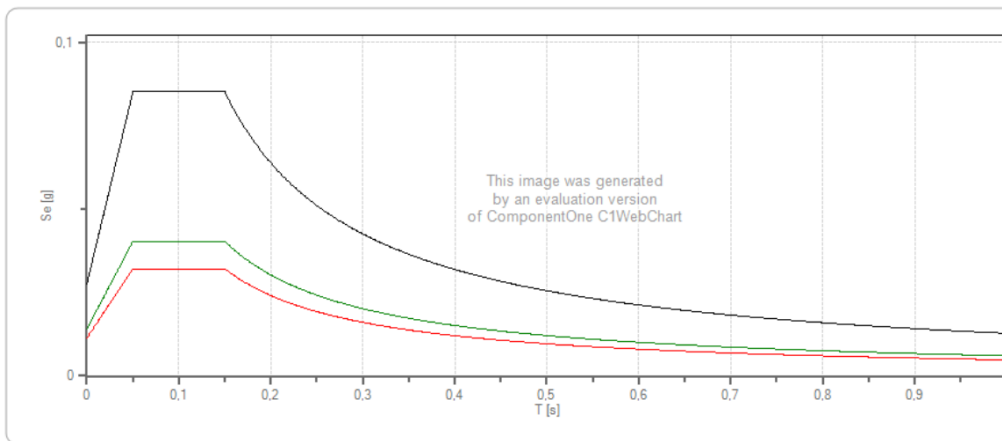
	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,380	1,000	0,010	0,005	0,487	0,200
SLD	1,200	1,370	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200
SLV	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200
SLC	1,200	1,320	1,000	0,018	0,009	0,879	0,200



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



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

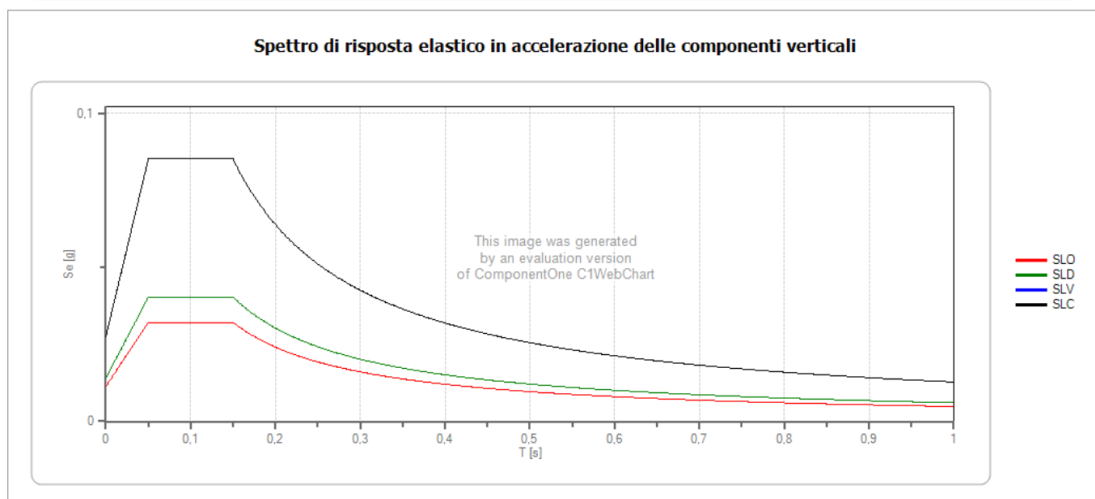
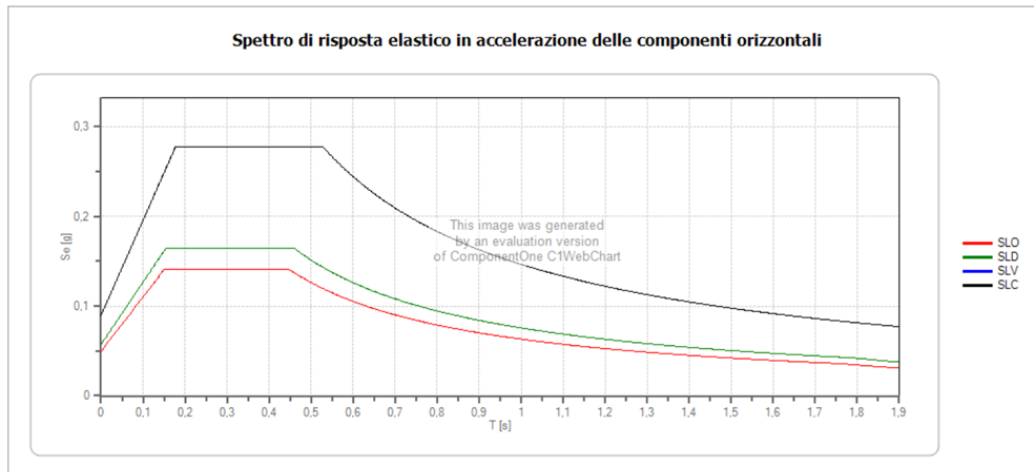


**Tomografia sismica a  
 rifrazione SR6**

**VSeq=390,60 m/s      Cat. B**

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

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



**Tomografia sismica a  
 rifrazione SR7**

**VSeq=323,95 m/s**

**Cat. C**

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

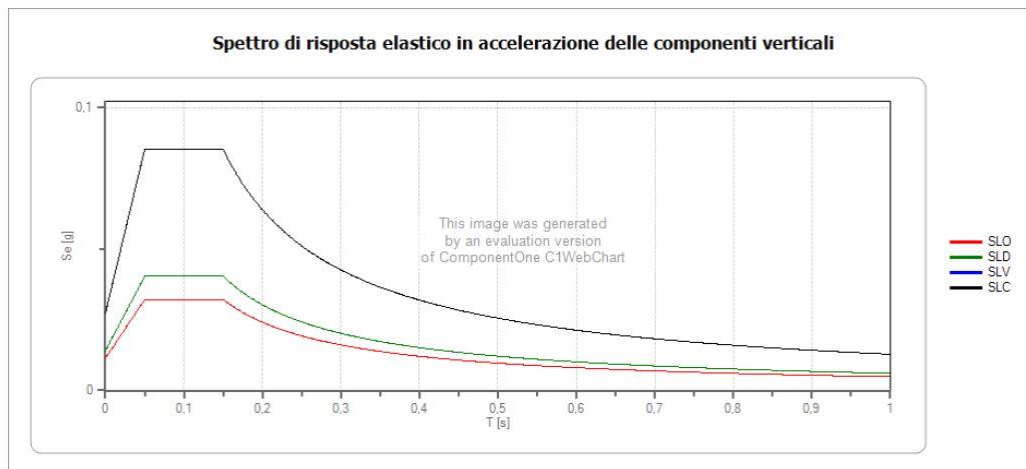
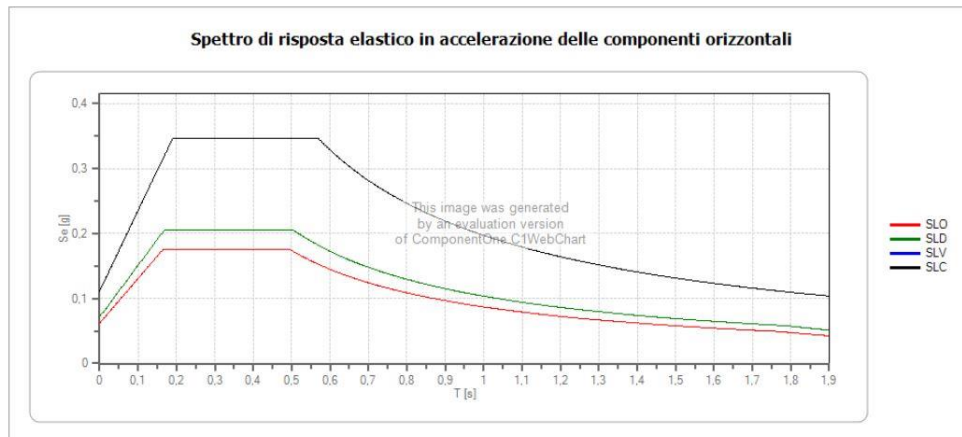
**SSS130 "Iglesiente"**  
 Eliminazione incroci a raso da Cagliari a Decimomannu  
 da km 3+000 a km 15+600



CA-316  
CA 351

**Relazione Sismica**

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,520	1,000	0,012	0,006	0,608	0,200
SLD	1,500	1,500	1,000	0,014	0,007	0,702	0,200
SLV	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200
SLC	1,500	1,420	1,000	0,022	0,011	1,099	0,200



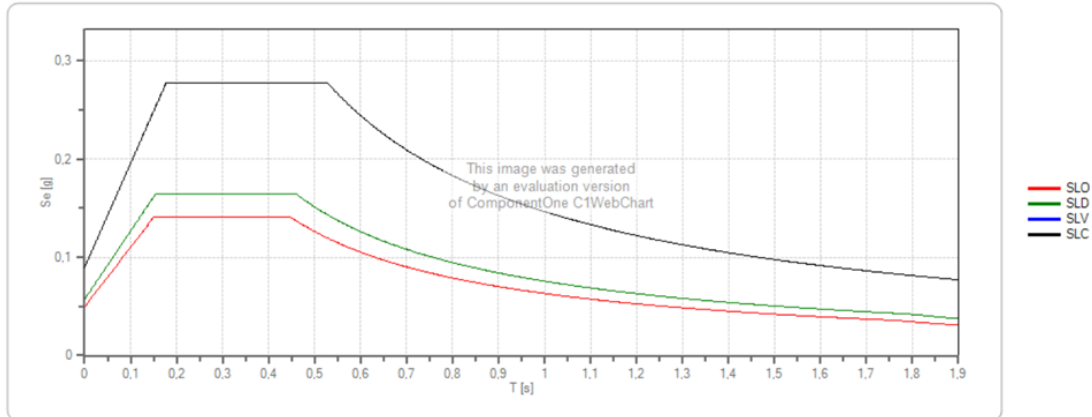
**Tomografia sismica  
a rifrazione SR8**

**VSeq=377,02 m/s      Cat. B**

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

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

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



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

