

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA

VARIANTE DI BAULADU

SISMICA

Relazione Sismica Generale

DIRETTORE TECNICO	DIRETTORE della PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Ing. Massimo Galea	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. Andrea Polli Ordine Ing. Roma N°19540	Ing. Andrea Polli Ordine Ing. Roma N°19540

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA
RR15	0A	E	ZZ	RB	OC0000	001	C	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	L. Di Vittorio	25.01.2024	L.Landolfi	25.01.2024	S.Stefanizzi	25.01.2024	Ing. Andrea Polli
B	Rimissione	T. Di Palma	15/02/2024	L.Landolfi	15/02/2024	S.Stefanizzi	15/02/2024	
C	Rimissione per rdv	T. Di Palma	11/03/2024	L.Landolfi	11/03/2024	S.Stefanizzi	11/03/2024	
								11/03/2024

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI  Progettazione: PINI SMART ENGINEERING 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RR15	0A	E ZZ	RB 0C 00 00 001	C	2/24

Sommario

1	PREMESSA	3
2	LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO.....	3
3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3.2	RACCOMANDAZIONI E STANDARD PER LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	5
3.3	ELABORATI DI RIFERIMENTO (PE)	6
3.4	BIBLIOGRAFIA TECNICA E SITI TEMATICI DI SUPPORTO	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
5	SISMICITÀ DELL'AREA.....	8
5.1	INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	8
5.2	ANALISI DELLA SISMICITÀ STORICA	10
5.3	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	11
6	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	13
6.1	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	13
6.2	FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PER EFFETTI DI SITO	14
6.2.1	CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO E FATTORE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	14
6.2.2	FATTORE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....	23
6.3	PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE	23
7	RISCHIO CONNESSO ALLA LIQUEFAZIONE.....	24

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI  Progettazione: PINI SMART ENGINEERING 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RR15	0A	E ZZ	RB 0C 00 00 001	C	3/24

1 PREMESSA

La presente relazione contiene studio di inquadramento sismico e di definizione dei parametri sismici per il progetto esecutivo delle opere di velocizzazione della linea San Gavino – Sassari – Olbia, tratta ferroviaria variante di Bauladu a valle dell'integrazione d'indagine eseguita per la fase di progettazione esecutiva.

2 LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO

L'opera oggetto di studio si colloca nella Sardegna centro-occidentale in corrispondenza del tracciato ferroviario della linea San Gavino – Sassari – Olbia. La tratta di progetto corrispondente alla variante di Bauladu si sviluppa per una lunghezza di circa 8 km e interessa il territorio dei comuni di Bauladu, Paulilatino e Solarussa in provincia di Oristano (OR).

Dal punto di vista orografico il tracciato di progetto impegna settori di territorio posti a quote comprese tra circa 55 m s.l.m. (località Nuraghe Pranu Maiales) e 191 m s.l.m. circa in corrispondenza del rilievo di Pischina Arrubia mentre le quote progettuali variano da 55 m s.l.m. a 187 m s.l.m. circa.

Dal punto di vista morfologico l'area di studio è caratterizzata, verso sud, dall'ampia valle di origine tettonica del Campidano e dalle pendici collinari dell'esteso altopiano basaltico di Abbasanta, verso nord.

Il principale corso d'acqua dell'area di studio è rappresentato dal Fiume Tirso, posto più verso est, mentre gli altri elementi idrografici sono rappresentati, da sud a nord, dal Roia Cambaras, Riu Urasa e Riu Pizziu.

Appaltatore: manelli  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI  STRATER  SMART ENGINEERING	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 4/24

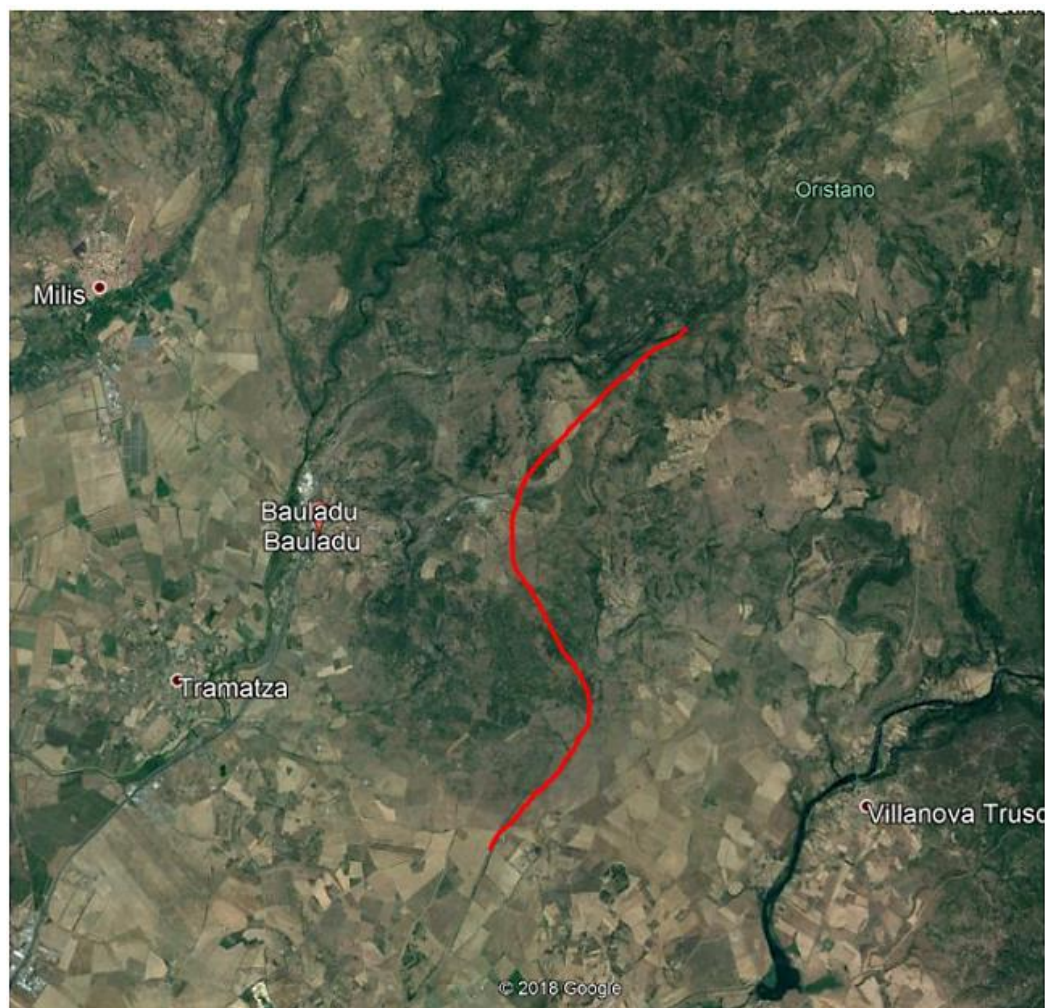


Figura 2-1 Ubicazione della linea ferroviaria in progetto

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI  Progettazione: PINI SMART ENGINEERING 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RR15	0A	E ZZ	RB 0C 00 00 001	C	5/24

3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Rif.[1] D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- Rif.[2] Circolare Applicativa del C.S.LL.PP. n.7 del 21/01/2019, "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".
- Rif.[3] UNI EN 1997-1:2005, EC 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- Rif.[4] UNI EN 1997-2:2007, EC7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini Geotecniche in sito e in laboratorio
- Rif.[5] UNI EN 1998-1:2005, EC 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole Generali, Azioni sismiche e regole per gli edifici
- Rif.[6] UNI EN 1998-5:2005, EC 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

3.2 RACCOMANDAZIONI E STANDARD PER LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

- Rif.[7] A.G.I. (1977). "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".
- Rif.[8] A.G.I. (1994). "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio".
- Rif.[9] RFI DTC SI MA IFS 001 F "Manuale di Progettazione delle opere civili", rev. 2022.
- Rif.[10] RFI DTC SI SP IFS 001 A – Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili
- Rif.[11] Associazione Geotecnica Italiana (AGI) 1977 –raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- Rif.[12] ASTM Standards
- Rif.[13] EN ISO Standards
- Rif.[14] CEN ISO/TS Standards
- Rif.[15] ISSMFE Standards
- Rif.[16] HRB- AASHTO Standars
- Rif.[17] ISRM Recommendations
- Rif.[18] BS 1377: 1990, Part 2 Test 9.2 Particle Size Distribution
- Rif.[19] BS 1377: 1990, Part 2 Atterberg Limit Test
- Rif.[20] BS 1377: 1990, Part 2 & ISRM (1974:2006) Test 3 Bulk Density (soil & rock)
- Rif.[21] BS 1377: 1990, Part 4 Test 3.5 Dry density/Moisture Content Relationship
- Rif.[22] ASTM D 5607 – 08 Direct Shear Test (Rock)

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 6/24

Rif.[23] ASTM D7012-10 Method C Uniaxial Compressive Strength

Rif.[24] ASTM D 5731-07 Point Load Test

3.3 ELABORATI DI RIFERIMENTO (PE)

Rif.[25] RR1500EZZSGGE0005001 - Indagini geognostiche, sondaggi, stratigrafie e prove in sito

Rif.[26] RR1500EZZPRGE0005001 - Indagini Geofisiche

Rif.[27] RR150BEZZRGGE0001001 - Relazione Geologica, Geomorfologica Ed Idrogeologica

Rif.[28] RR150BEZZRBOC0001002 - Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto

Rif.[29] RR150BEZZF6OC0001001...04 - Profilo geotecnico di linea - Tav 1 di 4 ... 4 di 4

Rif.[30] RR1500EZZIGGE0005002 B – Indagini geognostiche integrative Indagini geofisiche – Documentazione tecnica

3.4 BIBLIOGRAFIA TECNICA E SITI TEMATICI DI SUPPORTO

Rif.[31] ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from Capable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019 (ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>)

Rif.[32] Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Rif.[33] Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/)

Rif.[34] Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)

Appaltatore:  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione:   SMART ENGINEERING	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 7/24

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'infrastruttura in progetto si sviluppa prevalentemente nei complessi geologici costituiti dai termini ignei effusivi che si rinvencono diffusamente in gran parte dell'isola *Rif.[27]*, rappresentati da:

- **Basalti alcalini e transizionali (Unità BST):** lave a composizione basaltica di colore grigio e grigio scuro (BST), massive con struttura da compatta a vacuolare. Risultano in genere piuttosto fratturati con locale fessurazione colonnare; a luoghi si rinvencono passaggi di brecce vulcaniche in abbondante matrice argillosa di colore marrone, arancio e rossastro. Questa successione affiora diffusamente in tutta l'area di studio, in particolare lungo la parte alta della dorsale morfologica lungo cui si sviluppa il tracciato in progetto
- **Andesiti e andesiti basaltiche (Unità AND):** lave a composizione andesitica e andesitico-basaltica di colore grigio, rossastro e verdastro (AND), massive o in grosse colate, con struttura compatta o localmente vacuolare. Si rinvencono passaggi di spessore metrico con mesostruttura di breccia autoclastica a comportamento litoide. Affiora diffusamente nel settore orientale dell'area di studio, nei comuni di Paulilatino e Solarussa, mentre si rinviene in lembi meno estesi nella parte meridionale e nord-occidentale dell'area.

Gli affioramenti del substrato roccioso sono caratterizzati da un profilo d'alterazione di spessore variabile ma mediamente maggiore di 10 ÷ 15m caratterizzate da minore rigidezza e resistenza.

Localmente sono presenti coltri e depositi derivanti dall'alterazione della formazione rocciosa sottostante. Tra i depositi superficiali si possono individuare le seguenti unità:

- **Depositi di versante (Unità a):** ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-angolose, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e rossastro, generalmente abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose. Depositi di versante e di falda detritica. Lo spessore massimo è di circa 5 m.
- **Coltri eluvio-colluviali (Unità b2):** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e rossastro, a struttura indistinta, e abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di argille limose e limi argilloso-sabbiosi di marrone e rossastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e sporadiche ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate. Depositi di versante e di alterazione del substrato. Lo spessore medio è di qualche metro con spessore massimo di circa 5 m.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
Progettazione: PINI SMART ENGINEERING	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 8/24
SISMICA Relazione Sismica Generale						

5 SISMICITÀ DELL'AREA

5.1 INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Le caratteristiche di sismicità del Blocco Sardo-Corso sono da porre in relazione, sostanzialmente, con l'evoluzione geodinamica del Mediterraneo occidentale e delle catene montuose che lo circondano (Cherchi & Schroeder 1976; Barca & Costamagna 1997, 2000; Carmignani et al. 2001). Infatti, il basamento della Sardegna rappresenta un segmento della Catena Ercinica Sud-Europea, formatosi a partire dal Paleozoico e separatosi dalla stessa durante il Miocene inferiore (Cherchi & Montadert 1982; Cocco 2013; Barca et al. 2016).

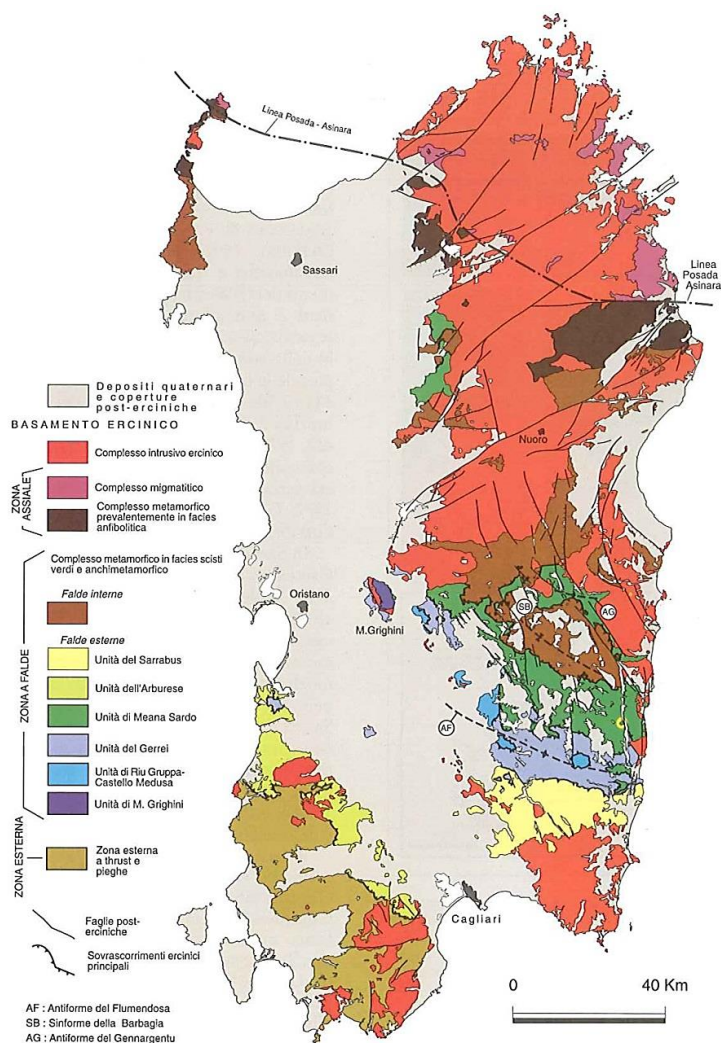


Figura 5-1 Schema dei principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (da Carmignani et al. 2001)

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 9/24

Durante il Miocene superiore, il principale evento geodinamico dell'area è rappresentato dalla strutturazione dell'attuale margine orientale dell'isola, che si protrae fino a parte del Quaternario (Masclé & Rehault 1990). In questo periodo, i principali eventi geodinamici che hanno condizionato la tettonica distensiva della Sardegna sono rappresentati quindi dalla migrazione dell'Arco Appenninico settentrionale sull'avanfossa del margine adriatico e, soprattutto, l'apertura del Bacino Tirrenico meridionale (Carmignani et al. 2001; Barca et al. 2016).

Allo stato attuale, il blocco Sardo-Corso si configura come una tra le zone più stabili dell'intera area mediterranea, sede di eventi rari anche se di energia non trascurabile localizzati in Sardegna o nelle sue immediate vicinanze (<https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/06/04/i-terremoti-nella-storia-cagliari-adi-4-juny-terremotus-factus-est-1616/>).

I database DISS (Database of Individual Seismogenic Sources, vers. 3.2.0 - 2015) ed ITHACA, relativi, rispettivamente, alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5 e alle faglie capaci (reperibili in formato webgis sullo stesso supporto, <https://diss.ingv.it/ithdiss/#>), mostrano che l'area di sviluppo dell'infrastruttura di progetto è prossima alla faglia capace n.94254 (*Baratili*) inquadrata come faglia secondaria del settore dominato dal graben di Campidano, con attività localizzabile nel Pleistocene (Figura 5-2). Per questa faglia e per la sub-parallela n.94255 (*Stagno de is Bénas-Isca Maiori*) non si dispone di dati sufficienti al suo impiego in analisi di stima di pericolosità sismica *Rif.[31]*.

Allo stato attuale della conoscenza delle sorgenti attive e capaci nell'area della Sardegna, si può asserire che l'infrastruttura di progetto non interferisce con faglie attive e/o capaci.

Quanto asserito è coerente con la zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 *Rif.[32]* che non individua alcuna zona sismogenetica omogenea nell'intera isola di Sardegna.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI SMART ENGINEERING STRATIER	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 10/24

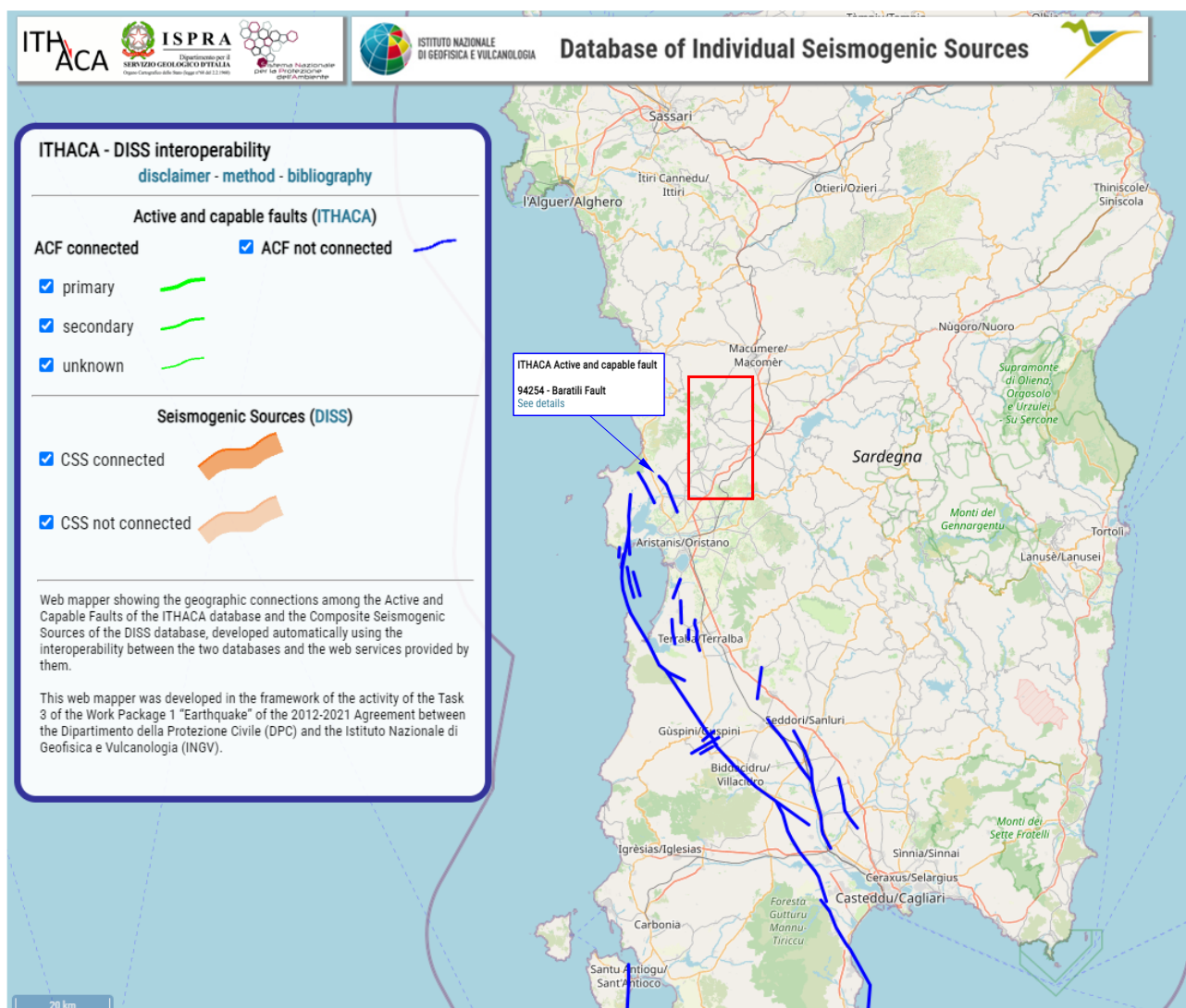


Figura 5-2 Localizzazione delle potenziali sorgenti attive e capaci nell'area di studio (da ITHACA - DISS).

5.2 ANALISI DELLA SISMICITÀ STORICA

L'analisi del catalogo parametrico dei terremoti registrati sul territorio nazionale (CPTI15 v4.0, *Rif.[33]*) mostra che gli eventi caratterizzati da un rilascio significativo che hanno interessato la Sardegna sono concentrati nell'arco temporale compreso tra il 1616 e il 2000. Questo dipende, evidentemente, dalla disponibilità di documentazione storica affidabile da cui ricostruire la magnitudo e l'intensità macrosismica da associare ad ogni evento. Il terremoto più recente è quello del 2000, con una Magnitudo momento pari a 4.7.

Nella seguente tabella sono riportati i dati relativi ai principali eventi registrati nell'area della Sardegna:

Appaltatore: manelli  COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI  STRATIER  SMART ENGINEERING	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 11/24

Data	Ora	Area epicentrale	I (Mcs)	I _o	M _w
04/06/1616	00:00	Sardegna meridionale	D	6-7	4.91
17/08/1771	18:00	Sardegna meridionale	HF	5	4.43
13/11/1948	09:52	Mar di Sardegna	D	6	4.72
26/04/2000	13:37	Tirreno centrale	5	-	4.77

Legenda: I = intensità massima, I_o = intensità epicentrale, M_w= Magnitudo momento

Tabella 5-1 Parametri sismici relativi ai principali terremoti storici dell'area sarda

In termini di intensità macrosismica (catalogo DBMI15 v4.0, *Rif.[34]*), gli eventi recenti di maggiore rilascio energetico non hanno prodotto effetti nell'area di studio, come mostrato nella seguente figura, in cui il riquadro circonda l'area di sviluppo dell'opera:

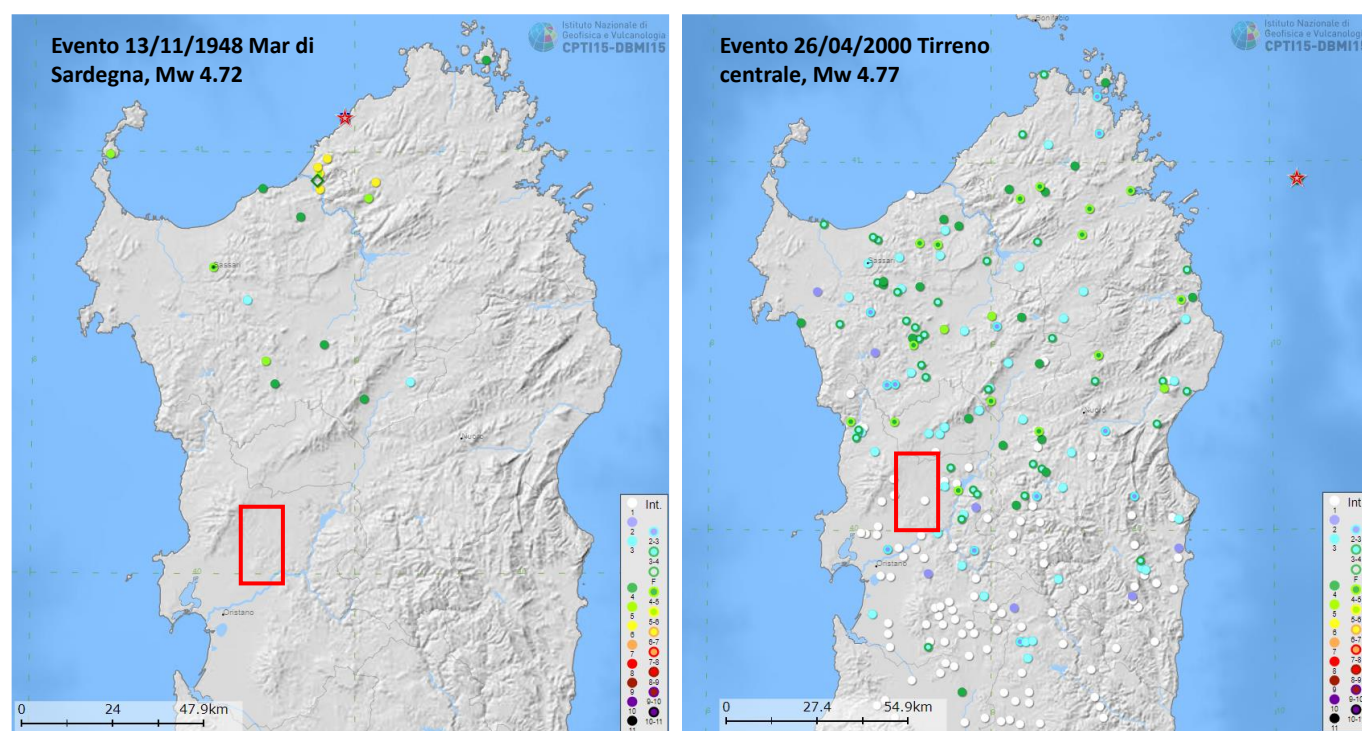


Figura 5-3 Distribuzione degli effetti in termini di intensità macrosismica: terremoto del 13/11/1948 Mw = 4.72 (Mar di Sardegna) e terremoto del 26/04/2000 Mw = 4.77 (Tirreno centrale)

5.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La normativa vigente (Decreto Ministeriale 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture - Norme Tecniche per le Costruzioni, GU n.42 del 20/02/2018) fa riferimento alla mappa di pericolosità sismica sviluppata

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI  Progettazione: PINI SMART ENGINEERING 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RR15	0A	E ZZ	RB 0C 00 00 001	C	12/24

dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Modello di pericolosità sismica MPS04 – S1, disponibile in formato digitale su <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) a partire dalla definizione di zone sismogenetiche omogenee rappresentative di tutte le sorgenti attive e potenziali esistenti sul territorio nazionale (*Zonazione Sismogenetica ZS9 – app.2 al Rapporto Conclusivo - INGV, 2004*).

La pericolosità sismica di base esprime la probabilità di superamento di un determinato livello di scuotimento indotto da eventi originati da una o più zone sismogenetiche afferenti all'ambito territoriale in cui ricade la località esame.

Lo scuotimento è quantificato dal valore di accelerazione massima ($a_{g \max}$) al substrato rigido di base, in condizioni di superficie orizzontale e campo libero. Per substrato rigido di base si intende, convenzionalmente, quella formazione profonda o in affioramento caratterizzata da una velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s > 800$ m/s.

La mappa di pericolosità indica, su una griglia territoriale estesa all'intero territorio nazionale, i valori di $a_{g \max}$ associati ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno $T_R = 475$ anni).

L'area in esame ricade in un ambito territoriale caratterizzato da un intervallo di accelerazione massima di base per probabilità di superamento del 10% in 50anni:

$$a_{g \max} = 0.025 - 0.050g$$

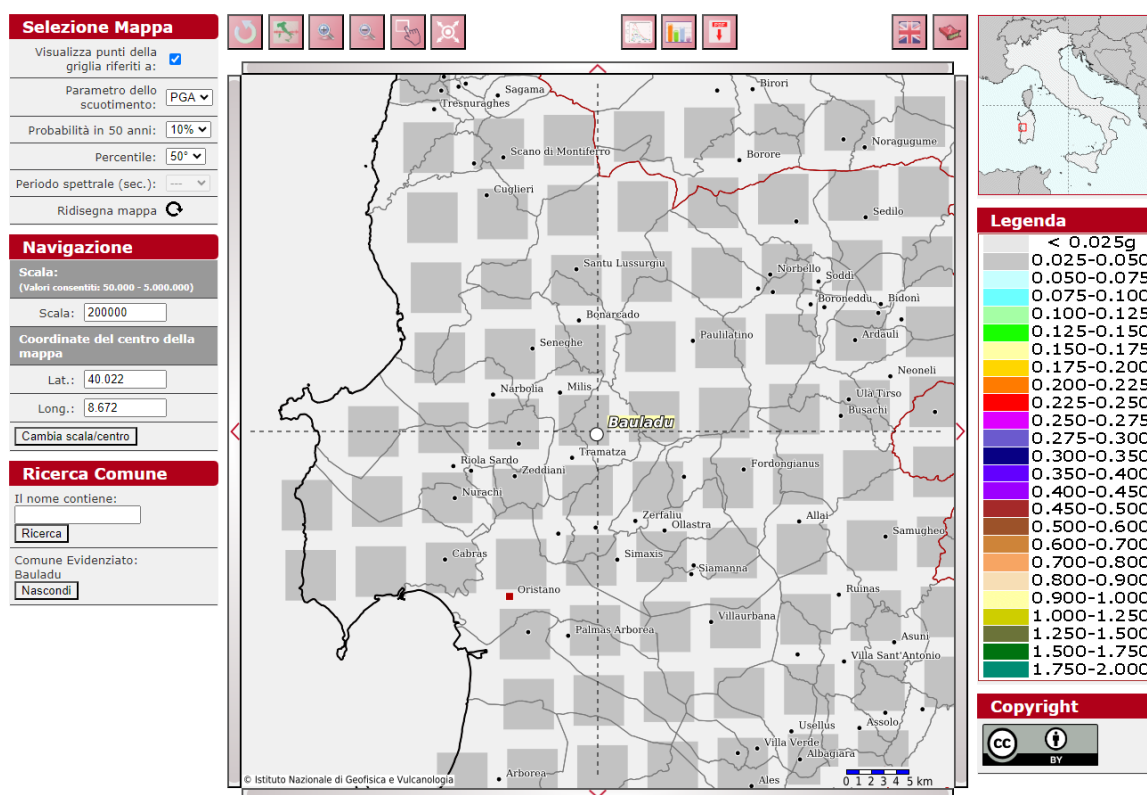


Figura 5-4 – Estratto della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV – MPS04-S1)

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 13/24

6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

6.1 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La normativa tecnica nazionale indica il procedimento per la stima semplificata dell'azione sismica di progetto definita dallo spettro di risposta elastico su sito di riferimento rigido orizzontale (NTC 2018, capitolo 3.2). Questo è inteso come il substrato profondo o affiorante caratterizzato da valori di velocità delle onde di taglio $V_s > 800 \text{ m/s}$, in assenza di interazione con strutture (condizione di *campo libero*).

I parametri d'azione su sito di riferimento rigido orizzontale sono:

- a_g/g , accelerazione massima normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità;
- F_0 , moltiplicatore di a_g/g che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- T^*_C , periodo proprio di vibrazione che caratterizza l'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione orizzontale.

e dipendono dalla probabilità di superamento dell'azione sismica di base associata ai diversi stati limite di verifica indicati dalla norma per le specifiche opere in progetto.

Il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto prevede, quindi, le seguenti fasi:

1. definizione della vita di riferimento dell'opera (V_R) sulla base della correlazione tra vita nominale (V_N) e classe d'uso (C_U):

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

2. stima del periodo di ritorno (T_R) sulla base delle probabilità di superamento (P_{VR}) associata agli stati limite di verifica, secondo la formula:

$$T_R = V_R / \ln(1 - P_{RV})$$

3. la stima dei valori dei parametri d'azione in funzione di T_R .

A partire dal modello di pericolosità sismica nazionale (MPS04-S1), la norma stessa, nella precedente versione (NTC 2008, Allegato B), indica i valori dei parametri d'azione per diversi periodi di ritorno dell'azione sismica attesa, specificandoli su una griglia territoriale di punti equispaziati di 5 km estesa sull'intero territorio nazionale. La versione vigente della normativa tecnica fa esplicito riferimento alla precedente versione per la stima dei suddetti parametri d'azione (NTC 2018, paragrafo 3.2).

Gli stati limite di verifica previsti dalla norma sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:

- | | |
|---|------------------------|
| • Stato Limite ultimo di Collasso | SLC, $P_{RV} = 5\%$; |
| • Stato Limite ultimo di Vulnerabilità | SLV, $P_{RV} = 10\%$; |
| • Stato Limite di esercizio, di Danno | SLD, $P_{RV} = 63\%$; |
| • Stato Limite di esercizio, di Operatività | SLO, $P_{RV} = 81\%$. |

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 14/24

Le probabilità di superamento indicate fanno riferimento ad un periodo di ritorno $T_R = 475$ anni. I parametri spettrali per un diverso periodo di ritorno possono essere ricavati per interpolazione tra i valori corrispondenti ai due periodi di ritorno che includono quello di calcolo secondo la formula seguente:

$$\log(P) = \log(P_1) + \log(P_2/P_1) \log(T_R/T_{R1}) [\log(T_{R2}/T_{R1})]^{-1}$$

dove:

- T_R è il periodo di ritorno richiesto;
- T_{R1} e T_{R2} sono i valori riportati nell'Allegato B alla NTC 2008 più prossimi a quello di calcolo.

Per l'infrastruttura in progetto si ha:

- $V_N = 75$ anni
- $C_U = 1$ (Classe d'uso II)

da cui

$$V_R = 75 \text{ anni}$$

I valori definiti in corrispondenza degli stati limite precedentemente indicati sono riportati nella seguente tabella e valgono per l'intera infrastruttura, tenendo presente che per le isole i valori riportati nell'Allegato B della NTC 2008, Tabella 2, sono costanti sul territorio di ciascuna isola.

Per la Sardegna, nonostante l'estensione territoriale dell'isola, questa assunzione è coerente con la bassa sismicità dell'area.

Stato Limite	P_{VR} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [sec]
SLC	5	1462	0.066	3.03	0.38
SLV	10	712	0.056	2.94	0.36
SLD	63	75	0.028	2.70	0.30
SLO	81	45	0.022	2.66	0.29

Tabella 6-1 - Parametri spettrali al substrato rigido di base

6.2 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE PER EFFETTI DI SITO

6.2.1 Categoria sismica di sottosuolo e fattore di amplificazione stratigrafica

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 15/24

Secondo l'approccio semplificato di norma, il fattore di amplificazione stratigrafico è definito in funzione della categoria sismica di sottosuolo individuata in base alla stratigrafia e ai valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), attraverso il parametro $V_{s,eq}$ definito dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i = spessore dell'i-esimo strato compreso nei 30m di profondità;
- $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo sismostrato;
- N = numero di sismostrati;
- H = profondità del substrato, costituito da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_s \geq 800$ m/s (equivale allo spessore dello strato deformabile con $V_s < 800$ m/s)

Le categorie sismiche di sottosuolo definite dalla NTC 2018 sono riportate nella seguente tabella.

Cat.	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o teneri a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 6-2 - Categorie sismiche di sottosuolo.

Appaltatore:  Costruzioni Generali Progettazione:   Smart Engineering	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 16/24

Per la definizione puntuale della $V_{S,eq}$ e della corrispondente categoria di sottosuolo A. seguito dell'integrazione d'indagine eseguita per la fase progettuale corrente, si dispone delle prove sismiche elencate di seguito, distinguendo tra prove sismiche in foro e di superficie, rispettivamente di tipo down-hole (DH) e MASW.

Codice Prova	Anno	Fase	Tipo	pk	H [m]	$V_{S,eq}$ [m/s]	Cat. NTC2018
S2_DH	2018	PD	DH	2+225	4	679	B
MASW-1	2024	PE	MASW	6+935	10	667	B
MASW-2	2024	PE	MASW	7+315	14	521	B
MASW-3	2024	PE	MASW	8+365	18	435	B
SPEA03	2024	PE	DH	1+001	18	431	B
SPEA04	2024	PE	DH	1+827	14	301	E
SPES03	2024	PE	DH	5+310	12	465	B
SPES04	2024	PE	DH	5+990	12	392	B
SPEA06	2024	PE	DH	6+904	14	355	E
SPEA08	2024	PE	DH	7+716	17	414	B

Le prove sismiche indicano la prevalenza di una categoria sismica B di sottosuolo sull'intero tracciato.

Le aree nell'intorno delle DH SPEA04 e SPEA06 rispettivamente alle pk 1+826.7 e 6+904.6 ricadono in categoria sismica E, rispetto alla quota del piano campagna, per la presenza della coltre eluvio colluviale. Per le opere che ricadono nell'intorno delle progressive indicate, si provvederà, negli elaborati specifici, ad una definizione di dettaglio della categoria sismica in funzione del piano di posa delle opere di fondazione o, in caso di tratte in trincea, della posizione della coltre detritica rispetto alla quota della livelletta dell'asse ferroviario.

Le tomografie sismiche ibride finalizzate alla definizione dell'assetto geostrutturale lungo linea, mostrano nelle rappresentazioni in onde S relative alle tratte all'aperto ed agli imbocchi, la presenza di uno spessore superficiale variabile tra 10 e 20m con V_s mediamente minore di 500-550m/s, confermando, quindi, la prevalenza della categoria B di sottosuolo.

Nelle seguenti figure si riportano gli stralci delle linee sismiche eseguite nelle tratte all'aperto ed in prossimità degli imbocchi

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI SMART ENGINEERING STRAFER	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 17/24

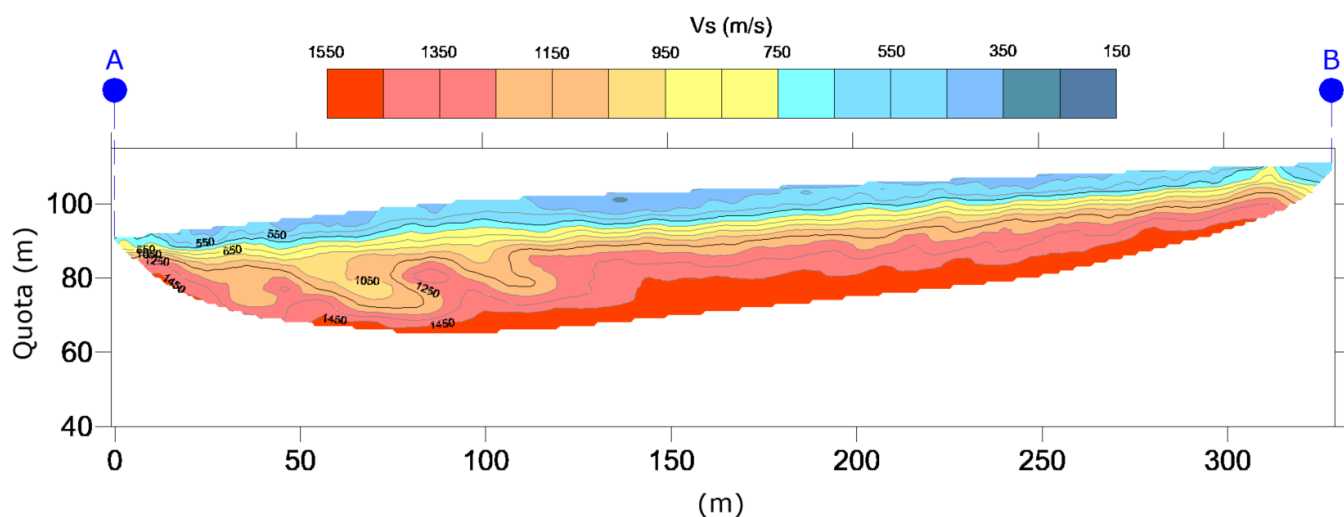


Figura 6-1- Tomografia sismica LS_1, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk2+200-2+500.

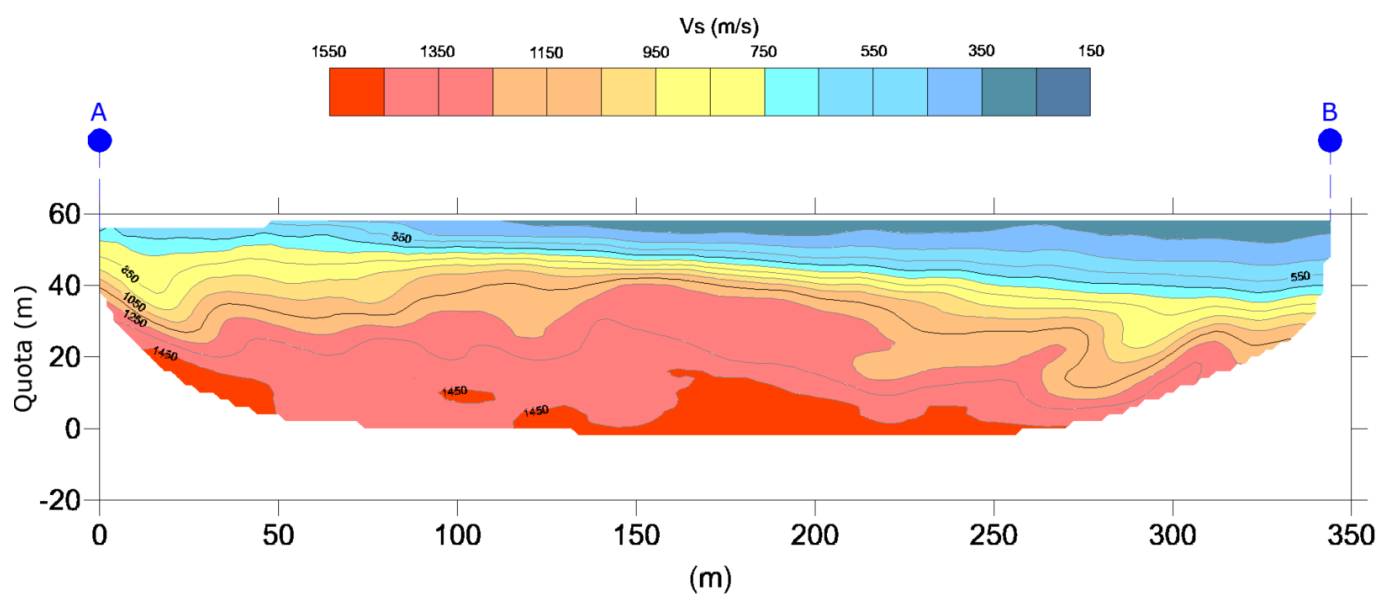


Figura 6-2- Tomografia sismica LS_1A_2A, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk0+200 e della pk0+500.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI SMART ENGINEERING	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 18/24

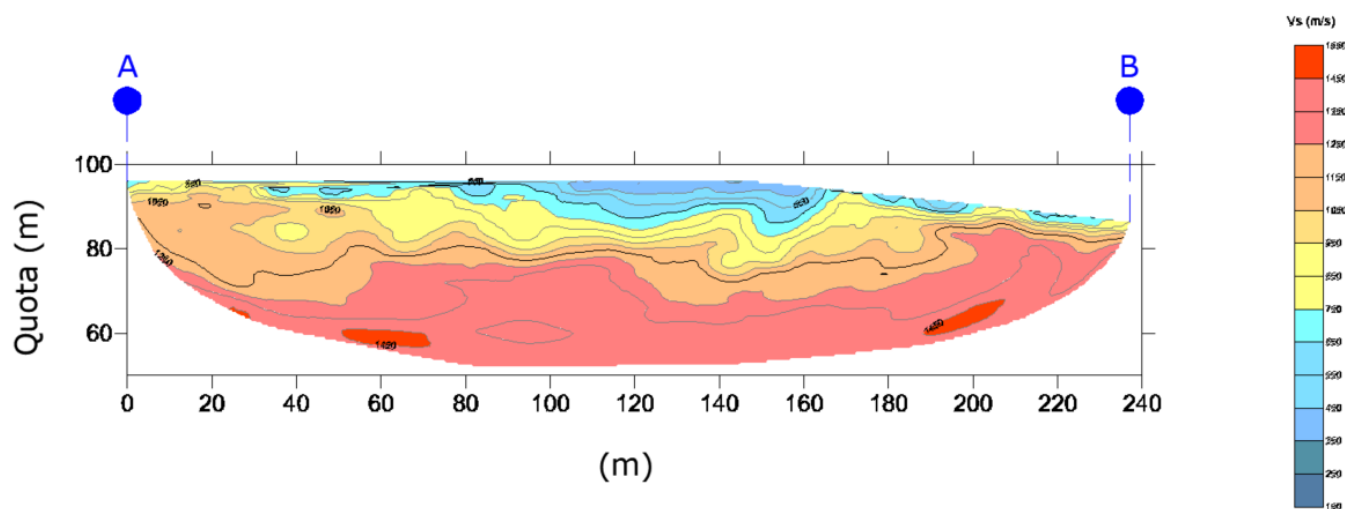


Figura 6-3- Tomografia sismica LS_1_T, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk2+234.76.

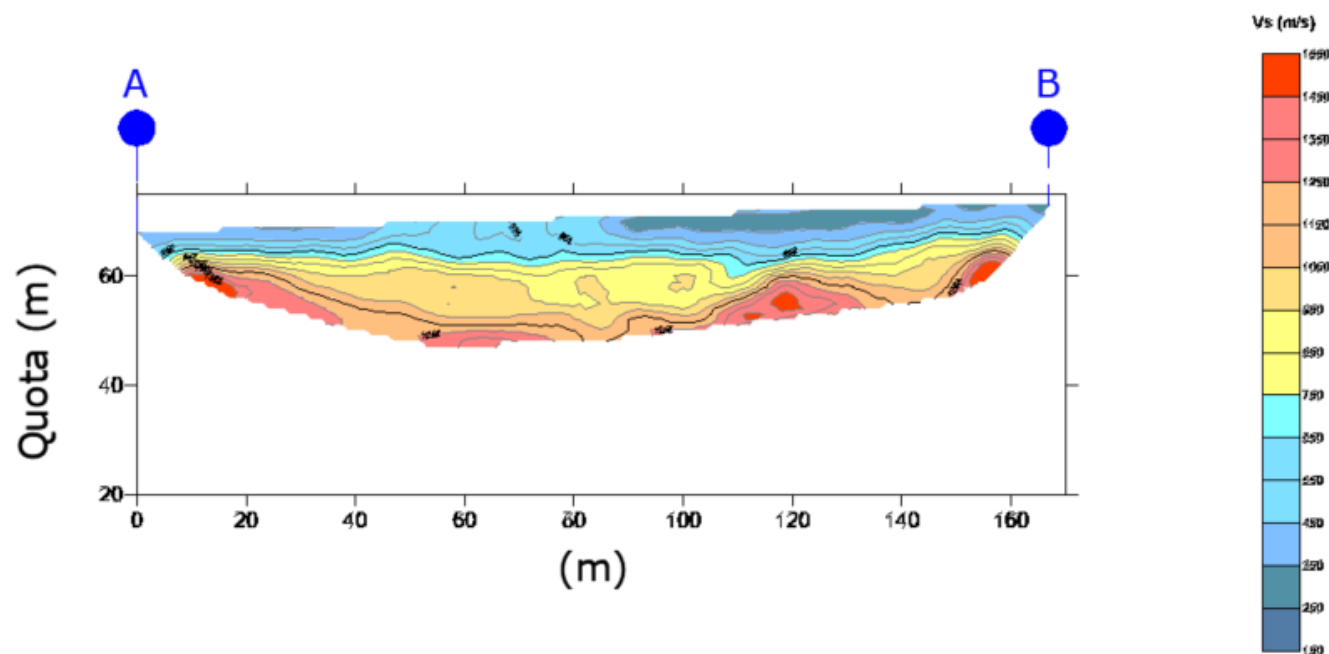


Figura 6-4- Tomografia sismica LS_4, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk1+775 e della pk1+875.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI SMART ENGINEERING	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 19/24

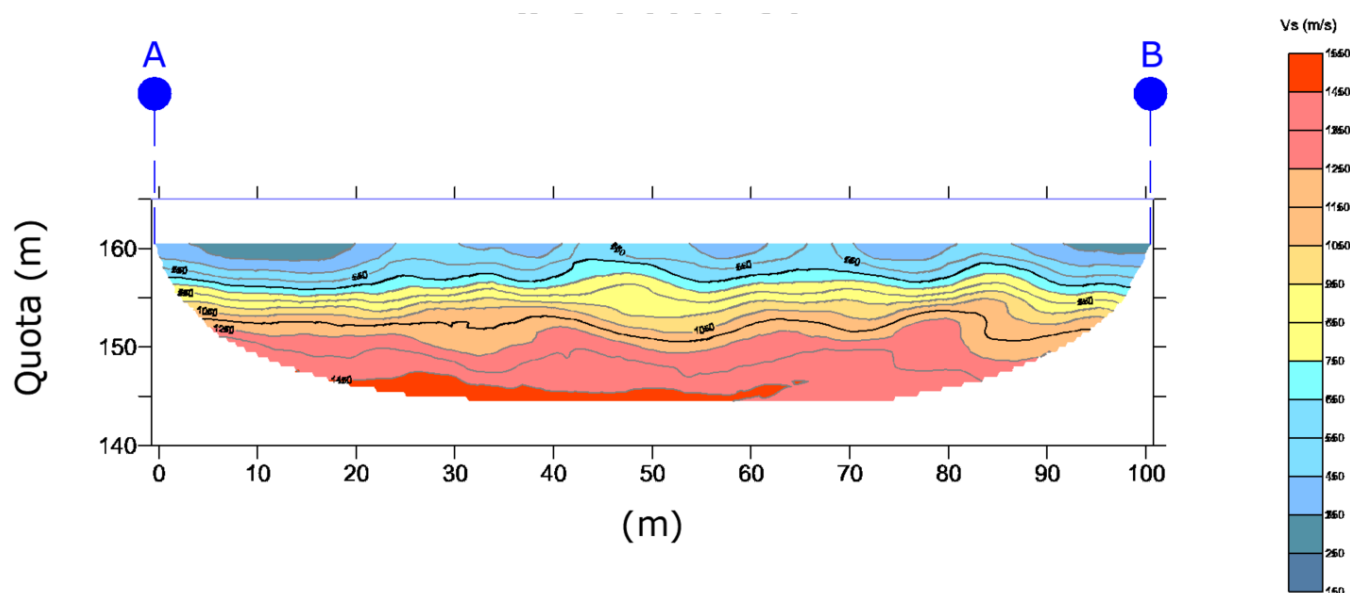


Figura 6-5- Tomografia sismica LS_5bis, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk5+975 e della pk6+100.

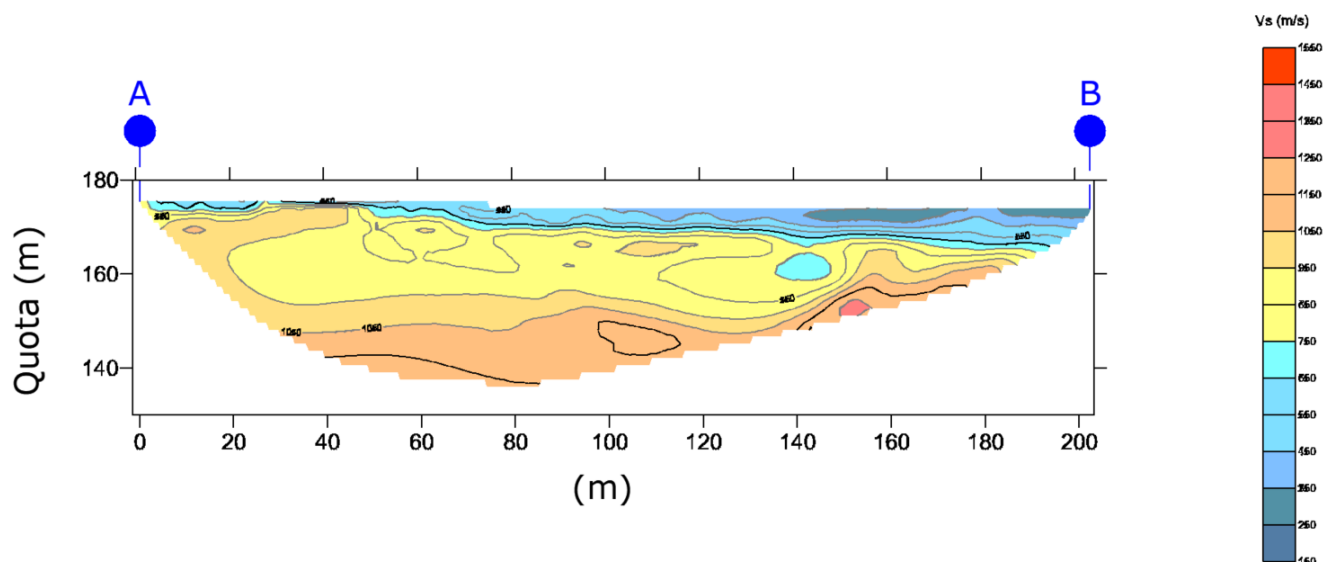


Figura 6-6- Tomografia sismica LS_5BA-2T, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk4+075 e della pk4+275.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI  Progettazione: PINI SMART ENGINEERING 	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RR15	0A	E ZZ	RB 0C 00 00 001	C	20/24

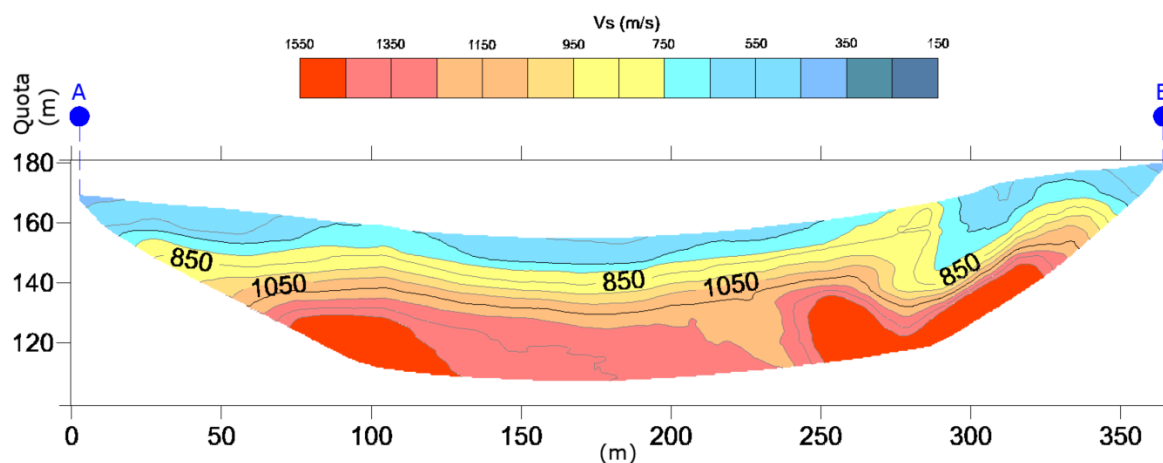


Figura 6-7- Tomografia sismica LS_6, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk7+550 e della pk7+900.

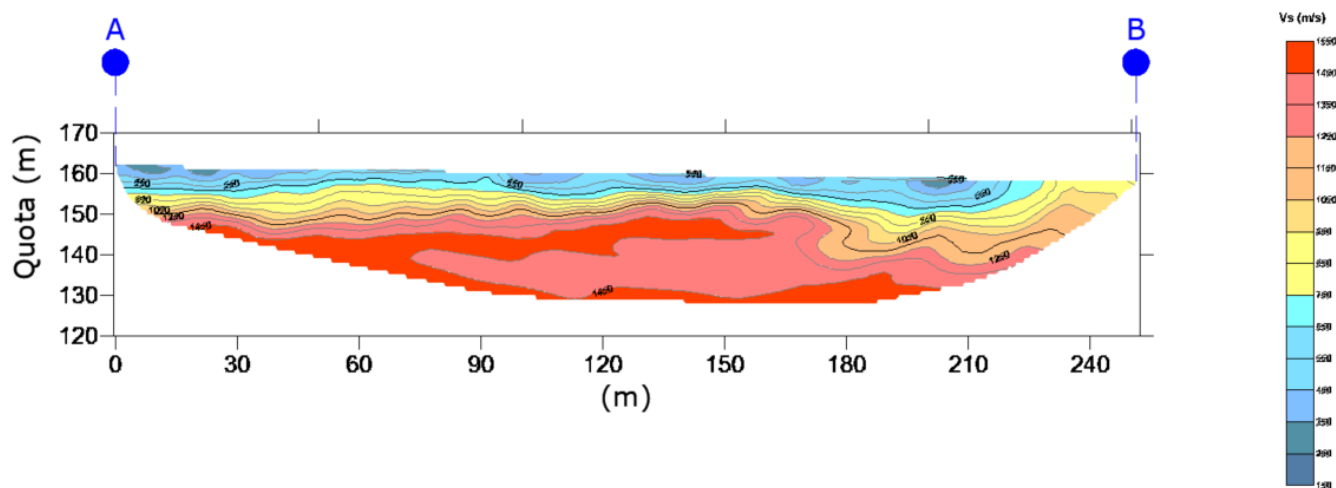


Figura 6-8- Tomografia sismica LS_IN08-1, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza della pk6+040.

Figura 6-10- Tomografia sismica 2b, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza dell'imbocco della GN alla pk 2+214.

Appaltatore: manelli COSTRUZIONI GENERALI Progettazione: PINI SMART ENGINEERING STRATER	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 22/24

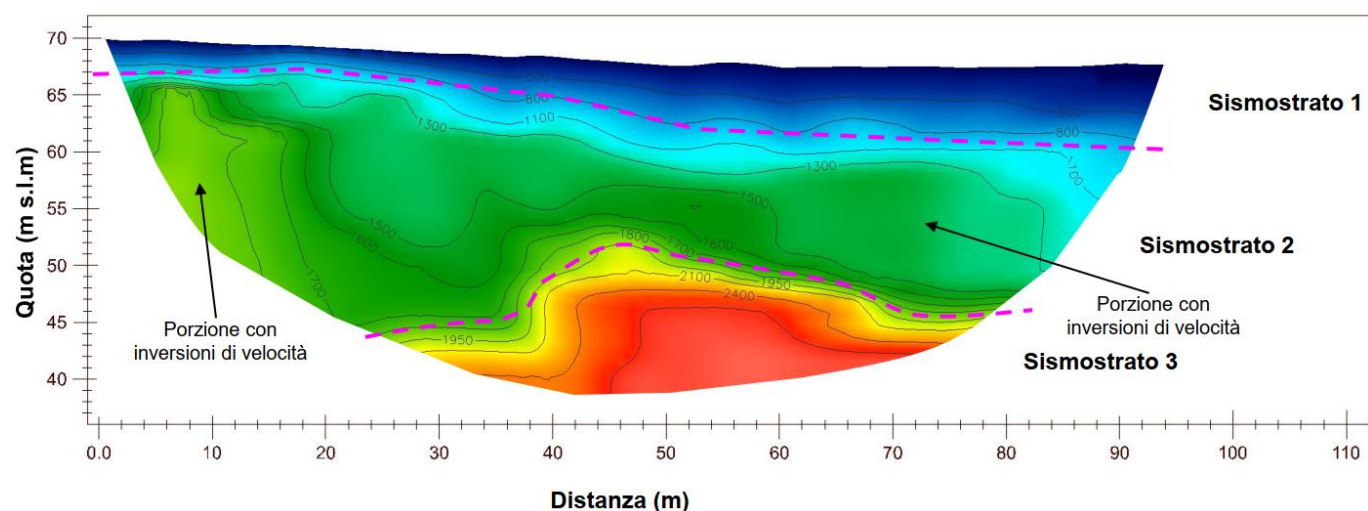


Figura 6-11 – Tomografia sismica 1, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza del viadotto compreso tra le pk 1+702.9 e 1+950.7

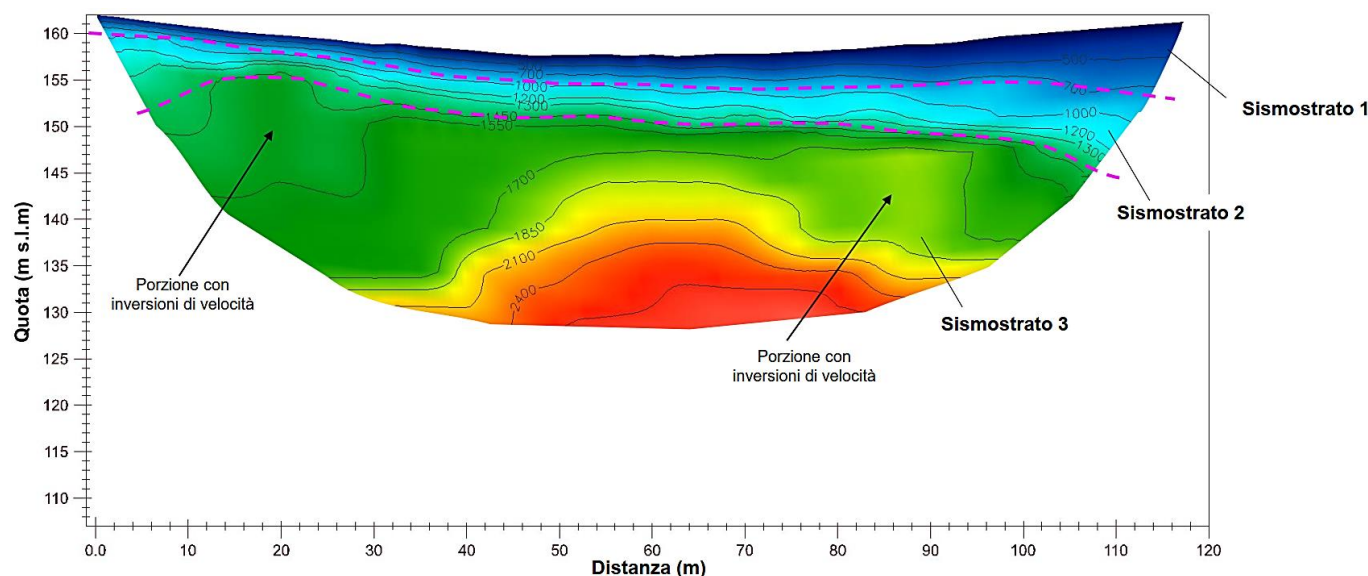


Figura 6-12 - Tomografia sismica 6, profilo in onde S relativo al sottosuolo in corrispondenza del viadotto compreso tra le pk 7+639.6 e 7+812.4

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 23/24

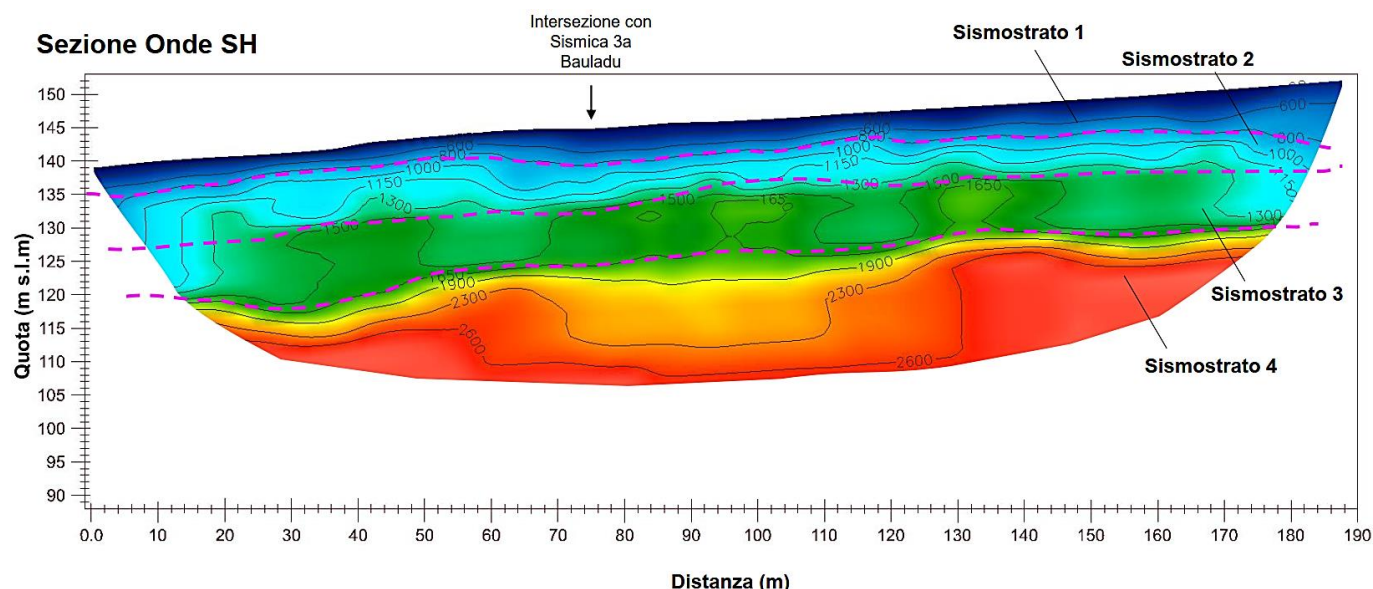


Figura 6-13 - Tomografia sismica 3b, profilo in onde S del sottosuolo.

6.2.2 Fattore di amplificazione topografica

La normativa vigente consente la stima semplificata dell'amplificazione dovuta alla morfologia superficiale del sito in cui si sviluppano le opere in progetto. In particolare, per configurazioni superficiali schematizzabili con un pendio a pendenza costante si può adottare la classificazione riportata nella seguente tabella.

Nel caso specifico la morfologia dell'area di intervento non implica effetti di amplificazione topografica, per cui si assumerà $S_T = 1$.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6-3 - Categorie topografiche NTC 2018

6.3 PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE

Sulla base delle indagini integrative e delle valutazioni sulla categoria di sottosuolo prevalente i parametri spettrali in superficie sono indicati di seguito, rispettivamente per categoria B ed E di sottosuolo:

Appaltatore:  Progettazione:  	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO – SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BAULADU PROGETTO ESECUTIVO					
SISMICA Relazione Sismica Generale	COMMESSA RR15	LOTTO 0A	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RB 0C 00 00 001	REV. C	PAG. 24/24

Stato Limite	P _{VR} [%]	T _R [anni]	S _S	C _C	a _g [g]	T _c * [sec]
SLC	5	1462	1.2	1.33	0.079	0.51
SLV	10	712	1.2	1.35	0.067	0.49
SLD	63	75	1.2	1.4	0.034	0.42
SLO	81	45	1.2	1.41	0.026	0.41

Tabella 6-4 - Parametri spettrali in superficie per categoria B di sottosuolo

Stato Limite	P _{VR} [%]	T _R [anni]	S _S	C _C	a _g [g]	T _c * [sec]
SLC	5	1462	1.6	1.69	0.106	0.51
SLV	10	712	1.6	1.73	0.090	0.49
SLD	63	75	1.6	1.86	0.045	0.42
SLO	81	45	1.6	1.89	0.035	0.41

Tabella 6-5 - Parametri spettrali in superficie per categoria E di sottosuolo

7 RISCHIO CONNESSO ALLA LIQUEFAZIONE.

Le tratte all'aperto dell'infrastruttura in progetto attraversano in prevalenza gli affioramenti delle formazioni lapidee di base e, localmente, i depositi di versanti o le coltri eluvio-colluviali (Unità a e b2).

La sismicità dell'area e le caratteristiche delle formazioni superficiali evidenziate dalle prove sismiche integrative definisce un quadro di pericolosità con valori di accelerazione sismica in superficie variabile tra 0.067 e 0.09 (SLU SLV).

L'accelerazione attesa in superficie, min condizioni di campo libero, pertanto, non supera il valore di esclusione del rischio definito dalla condizione 1 di norma: $a_{g, \max} < 0.1g$ (NTC2018 paragrafo 7.11.3.4.2).