

1. PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO TERRITORIALE

Il presente studio promossi redatto per incarico di **ATC MOBILITA' E PARCHEGGI SPA** è svolto a corredo della realizzazione di un intervento mirato al miglioramento e potenziamento della rete filoviaria della Spezia, con la finalità di incentivare il trasporto pubblico e ridurre il traffico di automezzi nell'ambito cittadino del capoluogo ligure.

I lavori previsti consisteranno nella realizzazione di un nuovo tratto di impianto filoviario che interesserà essenzialmente la zona centro settentrionale della città, nel settore che collega la zona dell'Ospedale San Andrea con la zona della stazione ferroviaria di Migliarina, passando a monte dal Centro Commerciale "Le Terrazze". I lavori saranno completati da una tratta minore che si svilupperà lungo una parte di Corso Nazionale e dalla realizzazione di una sottostazione elettrica di conversione, denominata "Stazione Baratta", posta nei pressi del Campo Sportivo "A. Tanca", nel Parcheggio Piazza Baratta. (**Foto n. 1, 2 e 3 e Fig. n. 1, 2 e 3**).

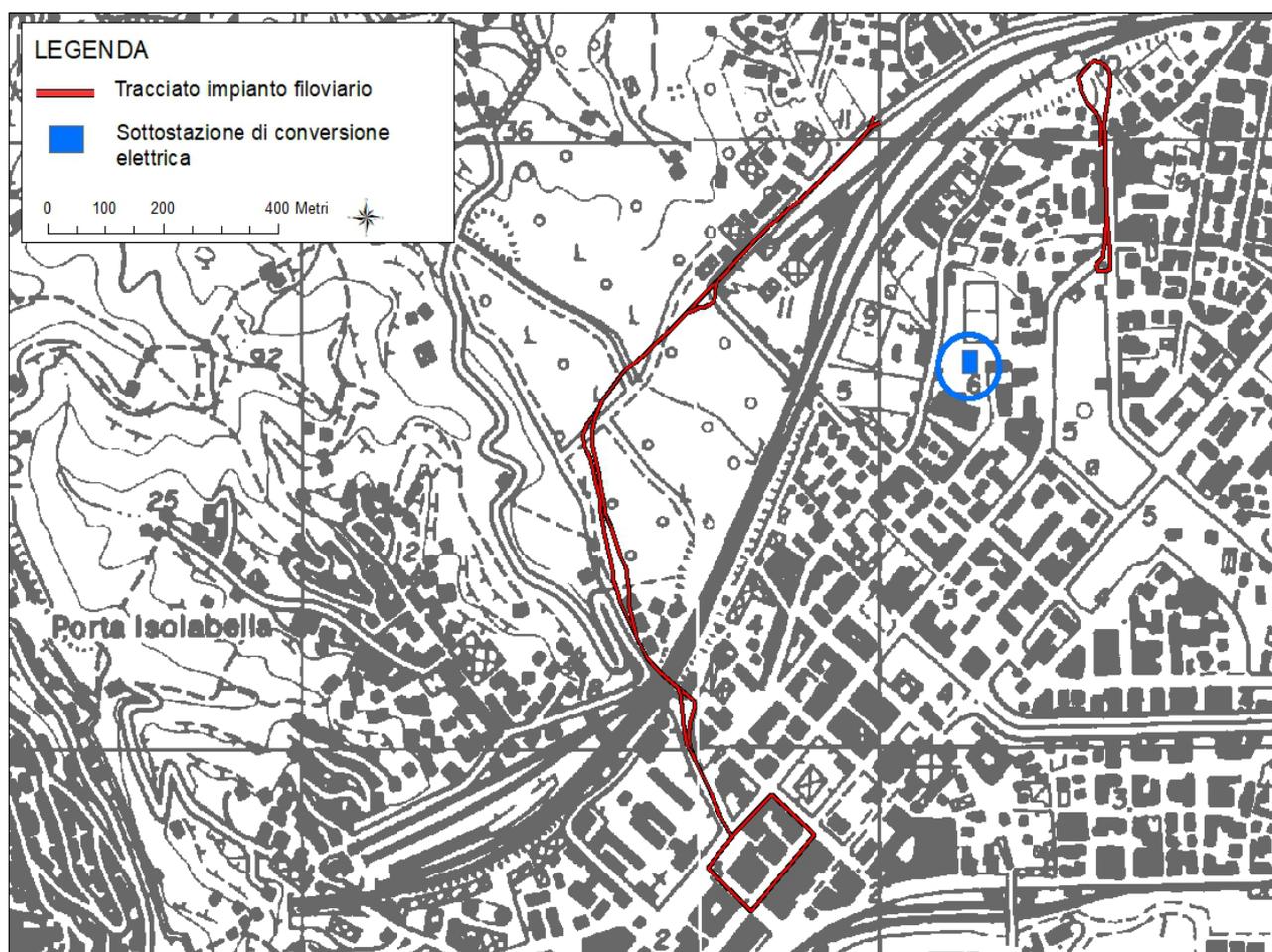


Fig. n. 1_ Stralcio C.T.R. Scala 1:25.000 Tav. n. 248.1 e 248.4, con indicazione dei nuovi tracciati filoviari e della Sottostazione elettrica di conversione

REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA



Foto n. 1_ Vista prospettica del settore più meridionale del nuovo impianto filoviario (in rosso), tratta da GOOGLE MAP

In prima analisi il lavoro è consistito nell'individuare le principali criticità idrauliche, geomorfologiche e idrogeologiche sulla base della cartografia redatta per l'area d interesse a livello comunale e sovracomunale. Le considerazioni svolte in tale fase, frutto dell'analisi della cartografia esistente e prodotta nei principali strumenti di pianificazione territoriale, verificate in fase di rilievo di campagna, costituiranno spunto e riferimento per valutare la sostenibilità dei lavori previsti e la compatibilità degli stessi con l'assetto geomorfologico esistente, contribuendo a fornire eventuali indicazioni in merito a modalità e procedimenti esecutivi ed accorgimenti tecnico – progettuali.

Chiaramente lo sviluppo delle opere previste, pur avendo un basso impatto ed implicando minimi carichi e sollecitazioni al terreno, per la loro tipologia interessano ampi settori di territorio, per cui accade che l'opera possa attraversare aree e terreni con diverse caratteristiche idrogeologiche ed esposizione a rischi e problematiche di varia natura. Si è quindi cercato di individuare aree omogenee con medesime caratteristiche geologiche e stratigrafiche e con medesimi comportamenti geotecnici e sismici, da associare e considerare in modo unitario.



Foto. n. 2_ Ortofoto del settore settentrionale dell'area di intervento con indicati il tracciato e l'area di posa della sottostazione elettrica di conversione, da GOOGLE MAP

Scopo del presente studio è analizzare e studiare gli aspetti geologici e sismici dell'intervento, con proposta di una modellazione sismica del sito ed una caratterizzazione stratigrafica dei terreni di sedime.

Tali finalità sono state raggiunte tramite un attento rilievo di campagna, a seguito di considerazione dedotte mediante idonea ricerca bibliografica su pubblicazioni di precedenti studi svolti nel settore interessato ed è

stata completata con n° 5 sondaggi penetrometrici di tipo dinamico (DPSH01 – 05),, ubicati come descritto nella **Fig. n. 16** e descritti nel dettaglio nell'**Allegato A**.

Relativamente agli aspetti sismici del sito ed alla sua modellazione è stata realizzata una campagna geofisica costituita dalla realizzazione di n. 5 stazioni di misura del microtremore sismico, con registrazione del rumore sismico di fondo di tipo HVSr, ubicati come descritto nella **Fig. n. 16** e descritti nel dettaglio nell'**Allegato B**, che hanno permesso di valutare l'andamento delle onde S in profondità e determinare la Categoria sismica del terreno di fondazione, con modalità semplificata, secondo quanto indicato dal D.M. 17.01.2018, in materia di costruzioni e prevenzione sismica.

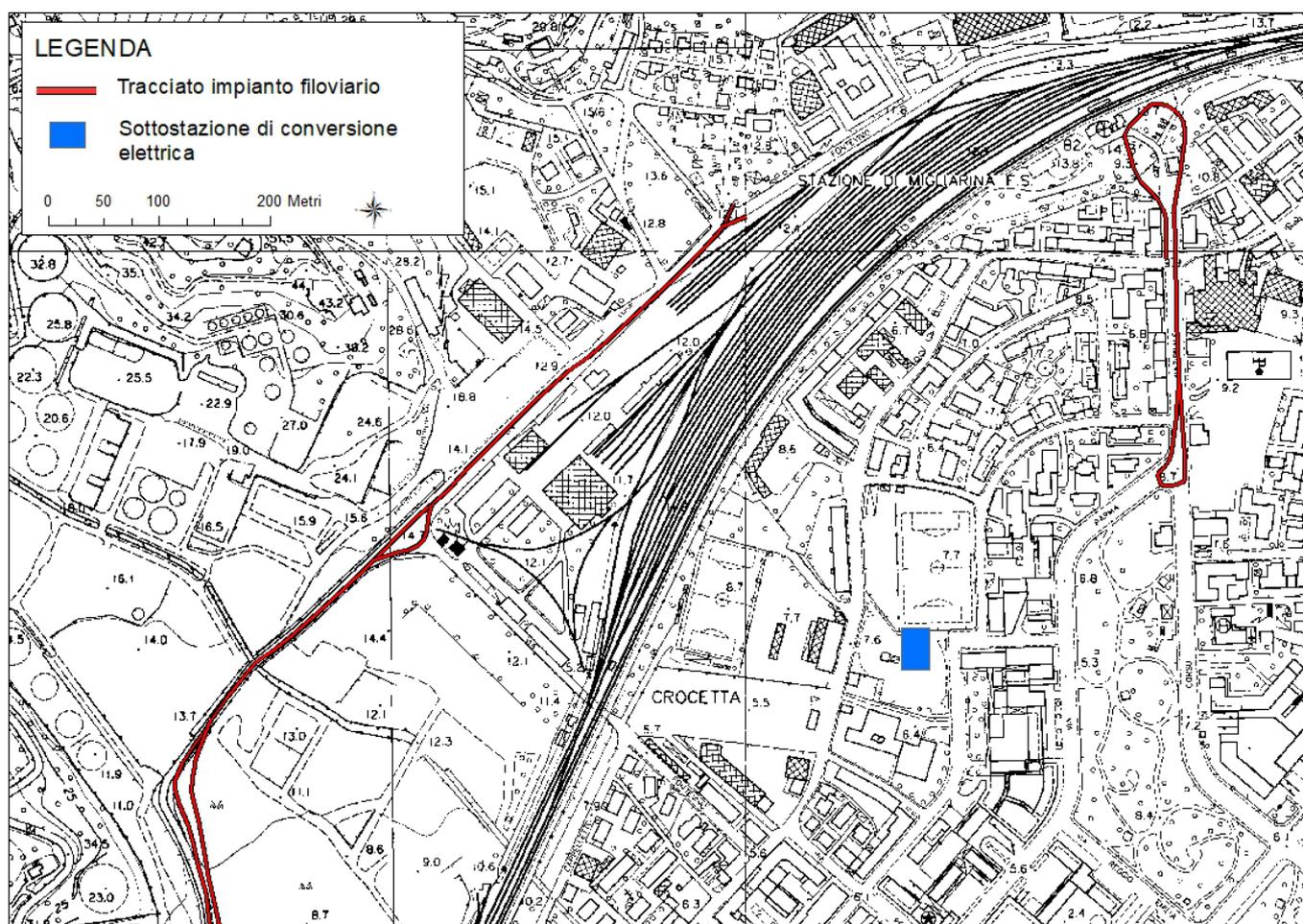


Fig. n. 2_ Stralcio C.T.R. Scala 1:5.000 Elementi 248062 e 248073, con indicazione del tracciato filoviario previsto e localizzazione della nuova sottostazione elettrica di conversione

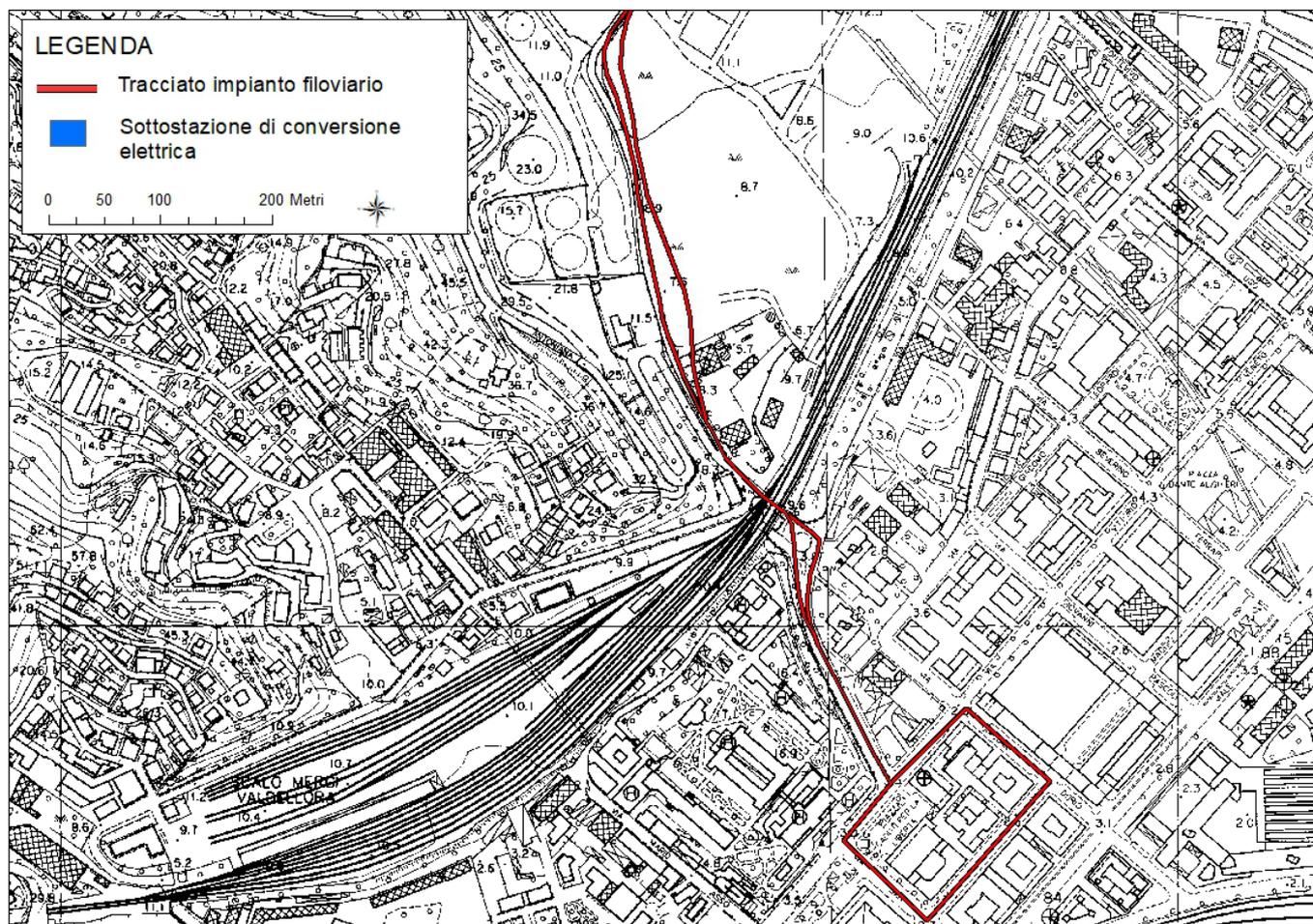


Fig. n. 3_ Stralcio C.T.R. Scala 1:5.000 Elementi 248062 e 248073, con indicazione del tracciato filoviario in progetto

I lavori previsti per la realizzazione della filovia non comporteranno scavi rilevanti e non porteranno a modifiche del profilo attuale dei terreni, ma saranno comunque numerosi, in quanto distribuiti lungo il tracciato previsto, mentre per la realizzazione della cabina elettrica, essi saranno praticamente nulli in quanto si ci limiterà ad uno scavo massimo di 60 cm di profondità per la posa del solettone cui poggiare la struttura prefabbricata. Lo spessore di terreno interessato dai lavori di posa degli elementi aerei della filovia sarà pari a circa 2,00 di altezza, corrispondente al valore della profondità di appoggio dei plinti cubici di fondazione e ancoraggio in cls non armato. Tali elementi avranno dimensione di 2,0 X 2,0 X 2,0 m.

Gli interventi previsti e le opere in progetto insistono su di un'area urbana e quindi diffusamente antropizzata e modificata nel tempo nei propri caratteri morfologici originari, con probabile presenza, nei primi metri di terreno, oltre a coperture tecniche e pavimentazioni stradali, anche di terreni di riporto rimaneggiati e di origine antropica.

L'attenta analisi dei luoghi attraversati, delle infrastrutture e dei manufatti presenti, in accordo con la cartografia tematica consultata, non ha evidenziato particolari criticità e problematiche, non evidenziando alcun particolare fenomeno o processo di dissesto interessante il tracciato e l'area di costruzione della sottostazione.



Foto n. 3_ Ortofoto panoramica dell'intera area interessata

Il presente Studio è stato redatto in osservanza della normativa vigente in materia di costruzioni e prevenzione sismica di seguito elencate:

- Testo Unico sulle Costruzioni recante anche le nuove norme in materia di prevenzione sismica: D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento Norme Tecniche per le costruzioni". Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- Circ. n. 7/2019 del 21.01.2019 del consiglio Superiore dei LL.PP. recante "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni".

- D.G.R. 216 del 17 marzo 2017 – Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria.
- L.R. n. 29 del 21 luglio 1983 – Costruzioni in zone sismiche - deleghe e norme urbanistiche particolari – così come modificata dalla L.R. n. 29 del 20 ottobre 2006, ed integrata dalla D.G.R. n. 471 del 22 marzo 2010 e dalla D.G.R. n. 714 del 21 giugno 2011 (Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico – tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale).
- Circolare n. 2/2010 Regione Liguria Dipartimento Ambiente - Circolare applicativa della nuova disciplina sul vincolo idrogeologico ai sensi dell'art. 35 della L.R. n. 4/1999, così come modificato dall'art. 15 della L.R. n. 63/2009.
- Piano di Bacino Stralcio "Ambito 20 – Golfo della Spezia" di rilievo regionale, relativamente all'individuazione delle zone a rischio geomorfologico, idrogeologico ed idraulico, ai sensi dell'art. 1, c. 1, del D.L. 180/1998 convertito con L. 267/1998, approvato con delibera del Consiglio Provinciale della Spezia n. 34 del 31/03/2003; ultima modifica dell'elaborato D.D.G. n. 143 del 13/06/2017, entrata in vigore il 05/07/2017.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Gli interventi e le opere previste si collocano nel settore centro – occidentale della città e vanno a migliorare il trasporto pubblico in un'area in cui la presenza del Centro commerciale "Le Terrazze", ha portato ad un aumento del traffico e della circolazione. In particolare il ramo principale di filovia, che partirà dall'Ospedale San Andrea, dopo aver percorso un anello lungo Via Vittorio Veneto, Via Giacomo Doria, Viale Italia e Via San Cipriano, si dirigerà in direzione del Centro commerciale "Le Terrazze", che verrà raggiunto e superato intervenendo lungo Via Fontevivo, che sarà percorsa sino al termine della tratta in esame, posto al bivio con Via Vailunga, nei pressi della Stazione Ferroviaria di Migliarina. Il secondo tratto di nuova filovia, costituisce il completamento di un ramo esistente, e si svilupperà lungo Corso Nazionale, dove percorso l'anello in prossimità della linea ferroviaria si muoverà in direzione sud, sino alla confluenza con Via Bologna.

La nuova sottostazione elettrica di conversione verrà realizzata nel parcheggio di Piazza Barata, nel settore adiacente al campo sportivo "A. Tanca". I dislivelli coperti dalle tratte in esame sono minimi, si va dai circa 2,00 – 2,50 m slm del tratto più meridionale sino ai 13,00 – 14,00 m slm della fine del tratto principale, passando per il punto più elevato posto a circa 16,00 m slm in prossimità del centro commerciale "Le Terrazze". La quota del piazzale su cui insisterà il nuovo locale tecnico è pari a circa 8,00 m slm.

L'area in oggetto è ubicata in un contesto territoriale di tipo urbano, in una zona da pianeggiante a leggermente inclinata, con declivio verso sud.

L'area di interesse è inclusa nelle C.T.R. scala 25.000 Tav. 248.1 e 248.4 e negli Elementi C.T.R. Scala 1:5.000 n. 248061, 248062, 248073 e 248074.

REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FIOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
 RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

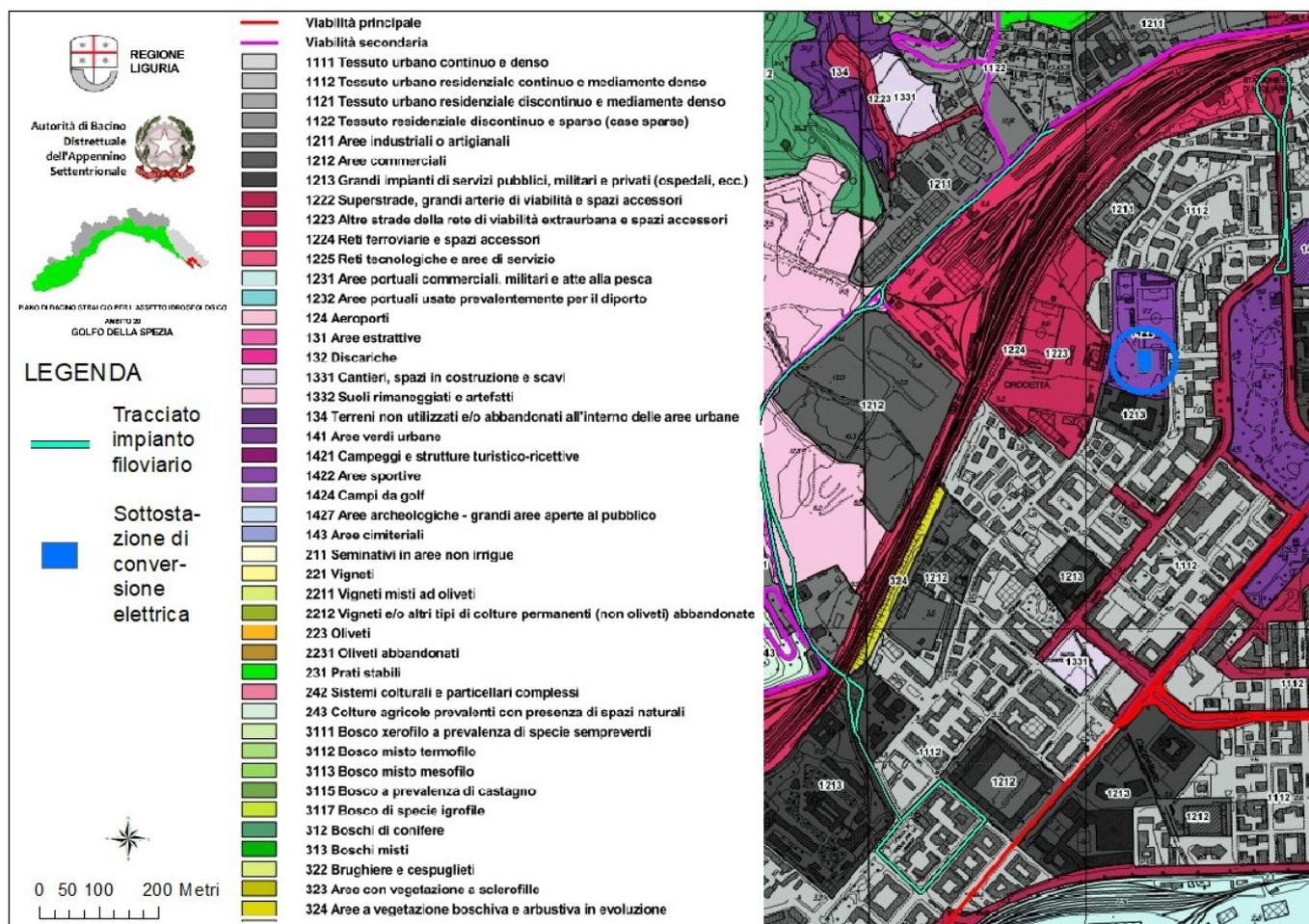


Fig. n. 4_ Stralcio Carta dell'Uso del Suolo. Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 “Golfo di La Spezia”

Da un punto di vista dell'uso del suolo e del tessuto urbano (**Fig. n. 4**), come emerge dalla Carta dell'Uso del Suolo (Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 “Golfo di La Spezia”), le opere previste interessano principalmente zone riferibili alle seguenti Zone:

- “Tessuto urbano residenziale continuo e mediamente denso” _ Cod. 1121;
- “Tessuto urbano residenziale discontinuo e mediamente denso” _ Cod. 1122;
- “Aree industriali artigianali” _ Cod. 1211
- “Aree commerciali” _ Cod. 1212;
- “Grandi impianti di servizi pubblici, militari e privati (ospedali, ecc..)” _ Cod. 1213;
- “Altre strade della rete di viabilità extraurbana e spazi accessori” _ Cod. 1223;
- “Reti ferroviarie e spazi accessori” _ Cod. 1224;
- “Suoli rimaneggiati ed artefatti” _ Cod. 1332;
- “Aree sportive” _ Cod. 1422.

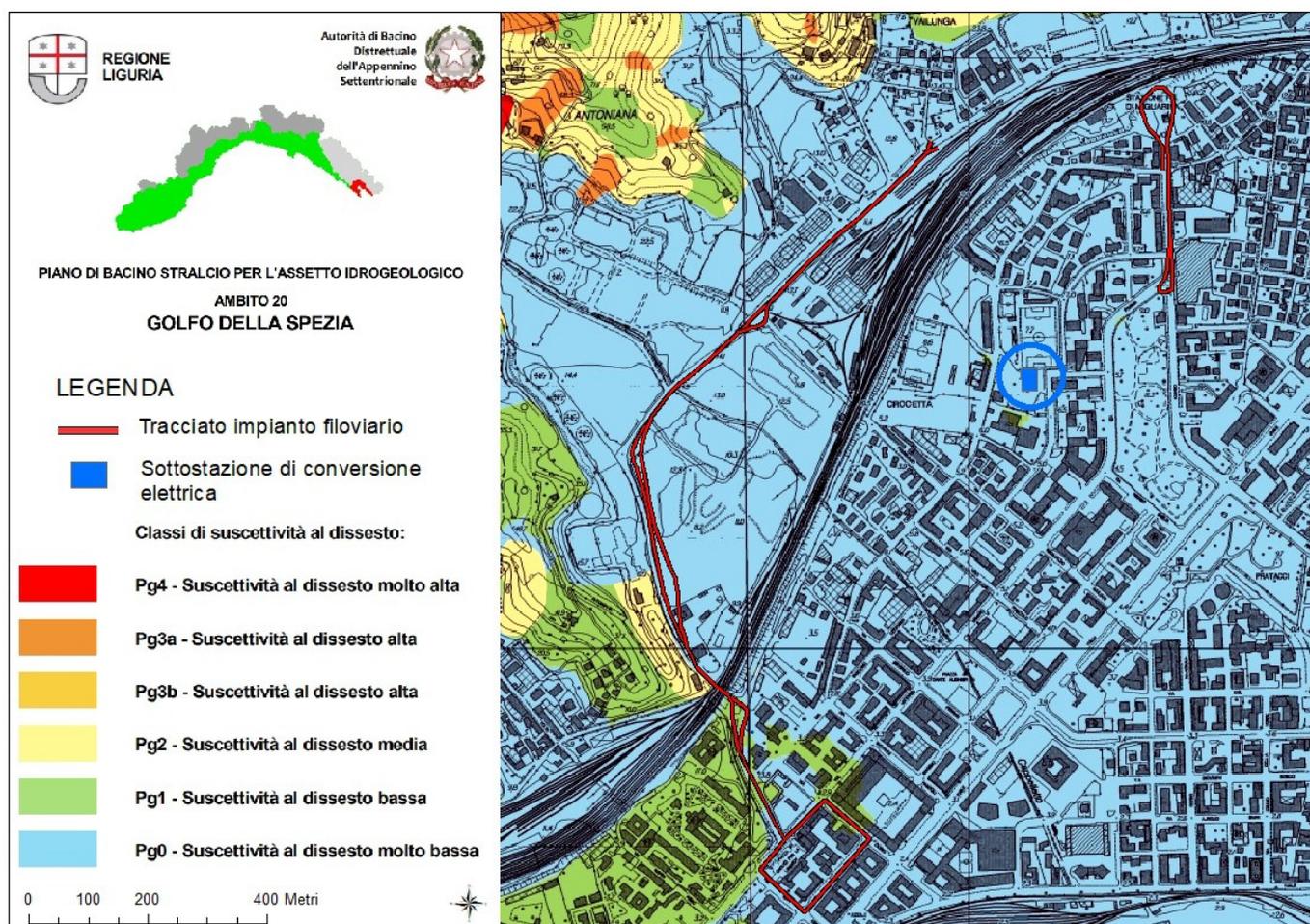


Fig. n. 5_ Stralcio Carta della suscettività al dissesto. Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 “Golfo di La Spezia”

3. VINCOLI

Di seguito vengono valutati i principali vincoli e le principali criticità del settore in esame da un punto di vista idrogeologico ed idraulico, facendo riferimento alla cartografia pianificatoria comunale e sovracomunale.

- Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico “Ambito 20 – Golfo della Spezia”, definisce le aree a diverso grado di suscettività al dissesto (**Fig. n. 5**), sulla base dei dati geomorfologici, idraulici e idrogeologici del comparto in esame emerge una generale condizione di bassa o nulla suscettibilità al dissesto, infatti gli interventi ricadono totalmente in terreni appartenenti alla classe di suscettività **Pg0** (*suscettività molto bassa*) e solo per brevissimi tratti, nei pressi dell'Ospedale in una classe **Pg1** (*Suscettività Bassa*).

- Da tale carte deriva direttamente la Carta del Rischio geomorfologico (**Fig. n. 6**), in cui sulla base degli insediamenti e delle infrastrutture presenti, la pericolosità viene vista sotto un'ottica di rischio. Anche in tal caso possiamo osservare che l'intero intervento previsto ricade in un settore con indice di rischio **Rg0** (*rischio molto basso*) e solo un piccolissimo tratto nei pressi dell'ospedale insiata su una zona caratterizzata da un rischio **Rg1** (*rischio basso*)

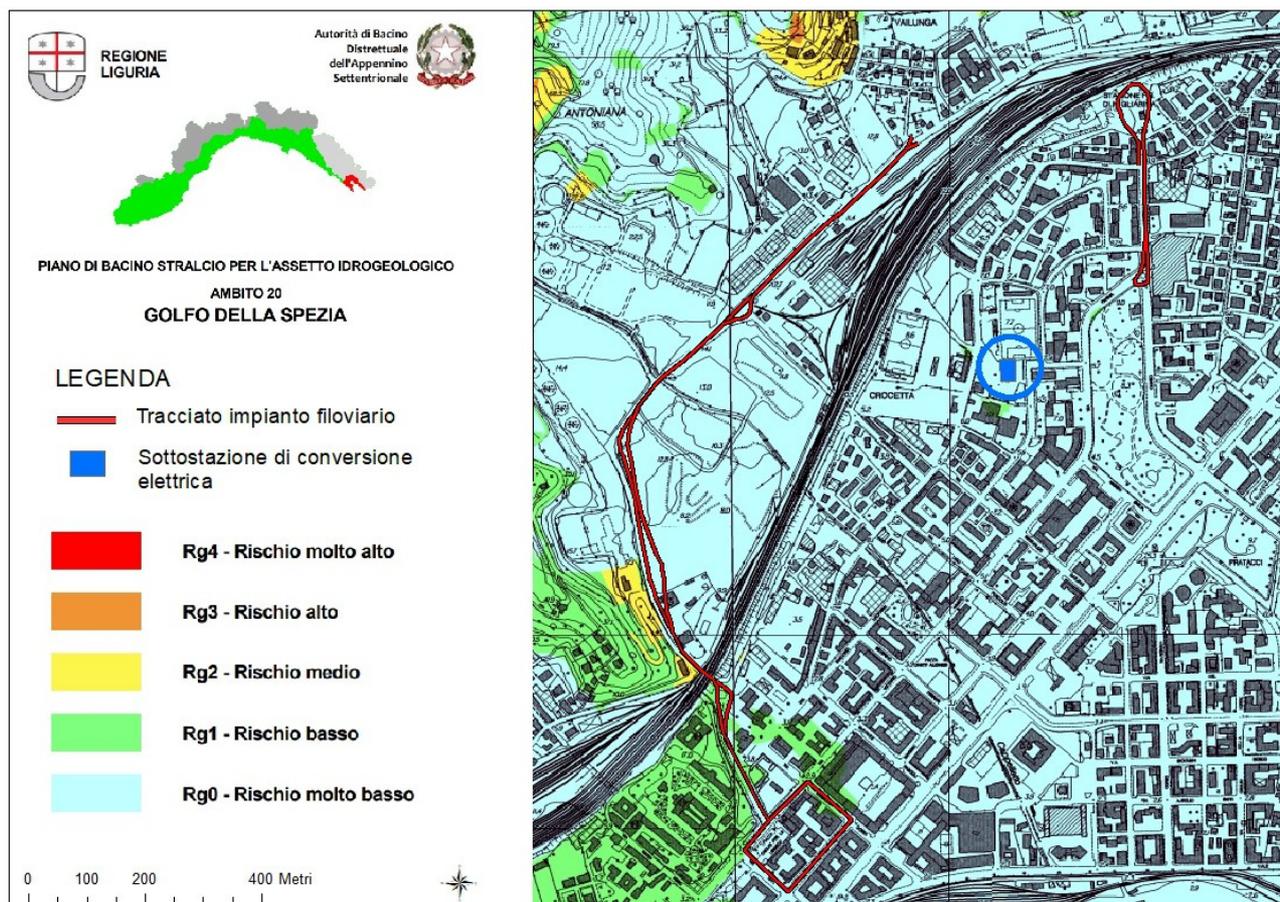


Fig. n. 6_ Stralcio Carta del Rischio Geomorfologico. Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 ‘Golfo di La Spezia’

- Per quanto riguarda le aree esondabili e critiche da un punto di vista idraulico possiamo osservare dalla Carta delle fasce di inondabilità (**Fig. n. 7**), che i due tracciati filoviari di nuova realizzazione si trovano in aree completamente protette e al di fuori di problematiche di esondabilità, mentre la sottostazione elettrica di conversione si colloca in un'area rientrante in **Fascia B** (pericolosità idraulica media (**Pi2**): aree perifluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni), al margine di un'area rientrante in **Fascia A** (pericolosità idraulica molto elevata (**Pi3**): aree perifluviali

inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=50$ anni). Occorrerà quindi realizzare l'opera con riguardo a tale problematica per ridurre il rischio di esondazione.

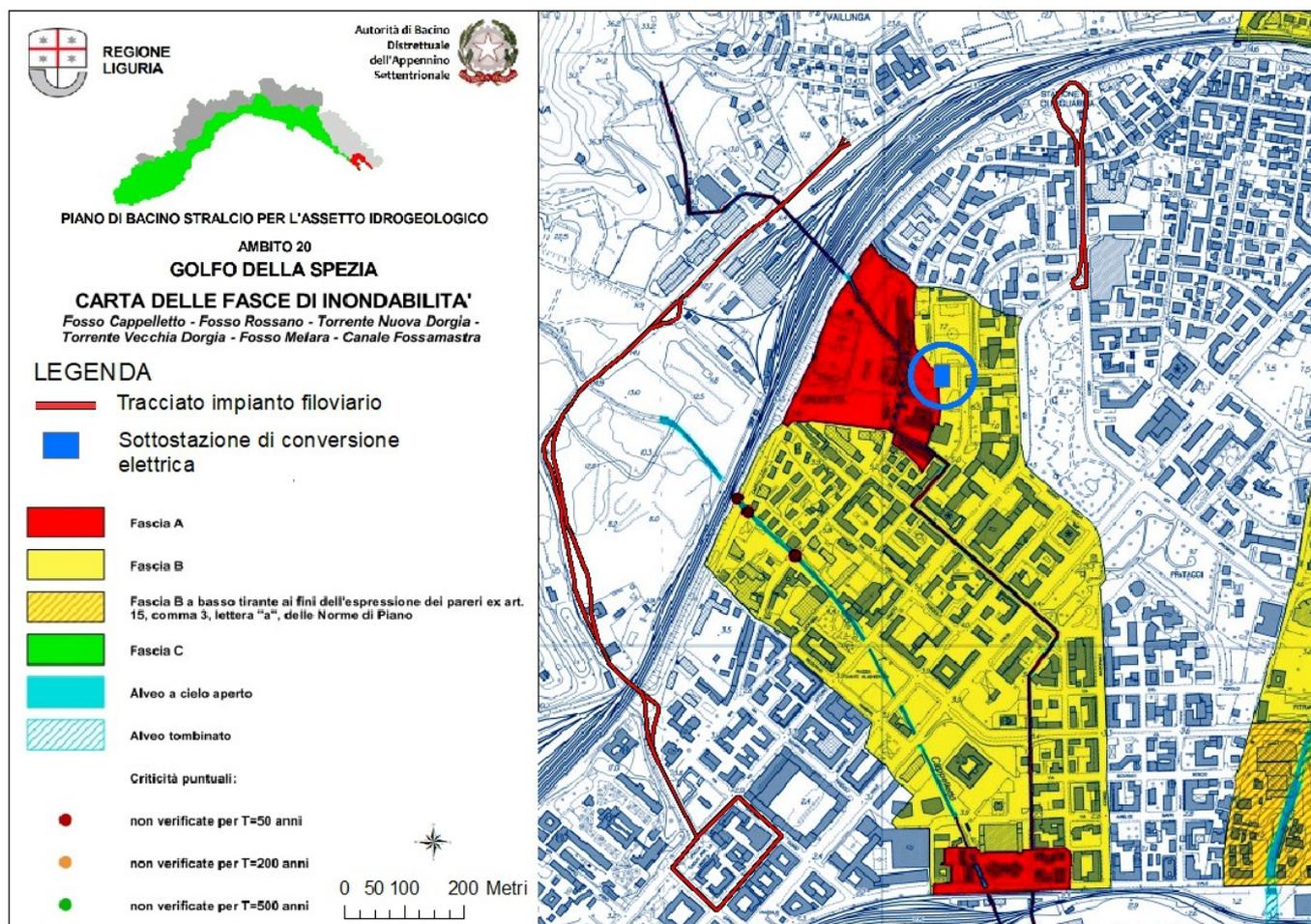


Fig. n. 7_ Stralcio Carta della Fasce di inondabilità. Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 “Golfo di La Spezia”

- Sulla base della carta precedente è stata redatta anche la Carta del rischio idraulico (**Fig. n. 8**), che in funzione della pericolosità presente ed in considerazione della tipologia, quantità e sensibilità dei manufatti e delle infrastrutture presenti, determina il rischi reale. In tale carta si osserva che per quanto riguarda l'impianto filoviario non sussistono rischi (*Rischio nullo*), mentre per l'area della cabina possiamo osservare che essa si delinea in una zona con rischio idraulico **Ri3** (*rischio alto*), al margine di una zona con rischio **Ri4** (*rischio molto alto*).

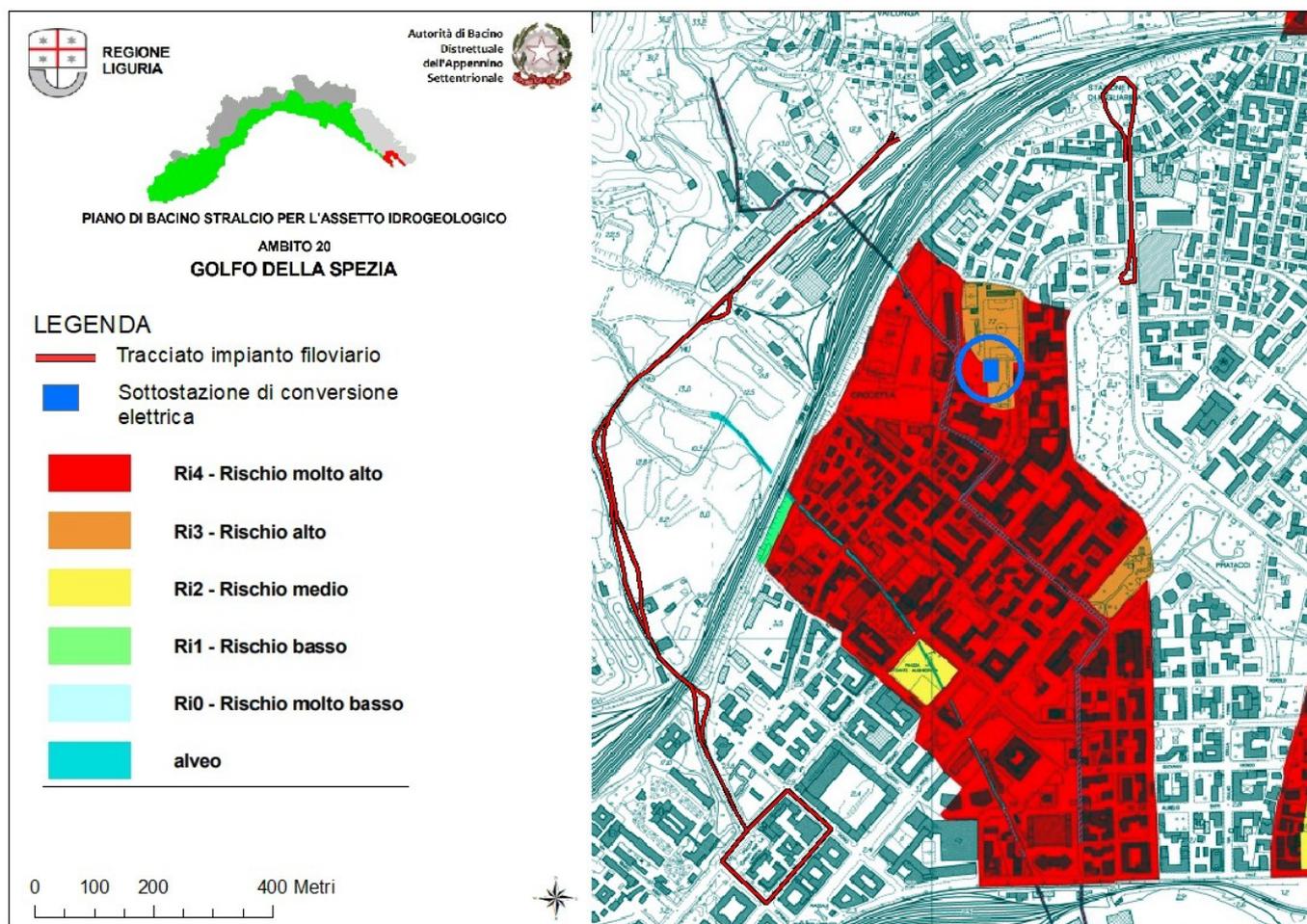
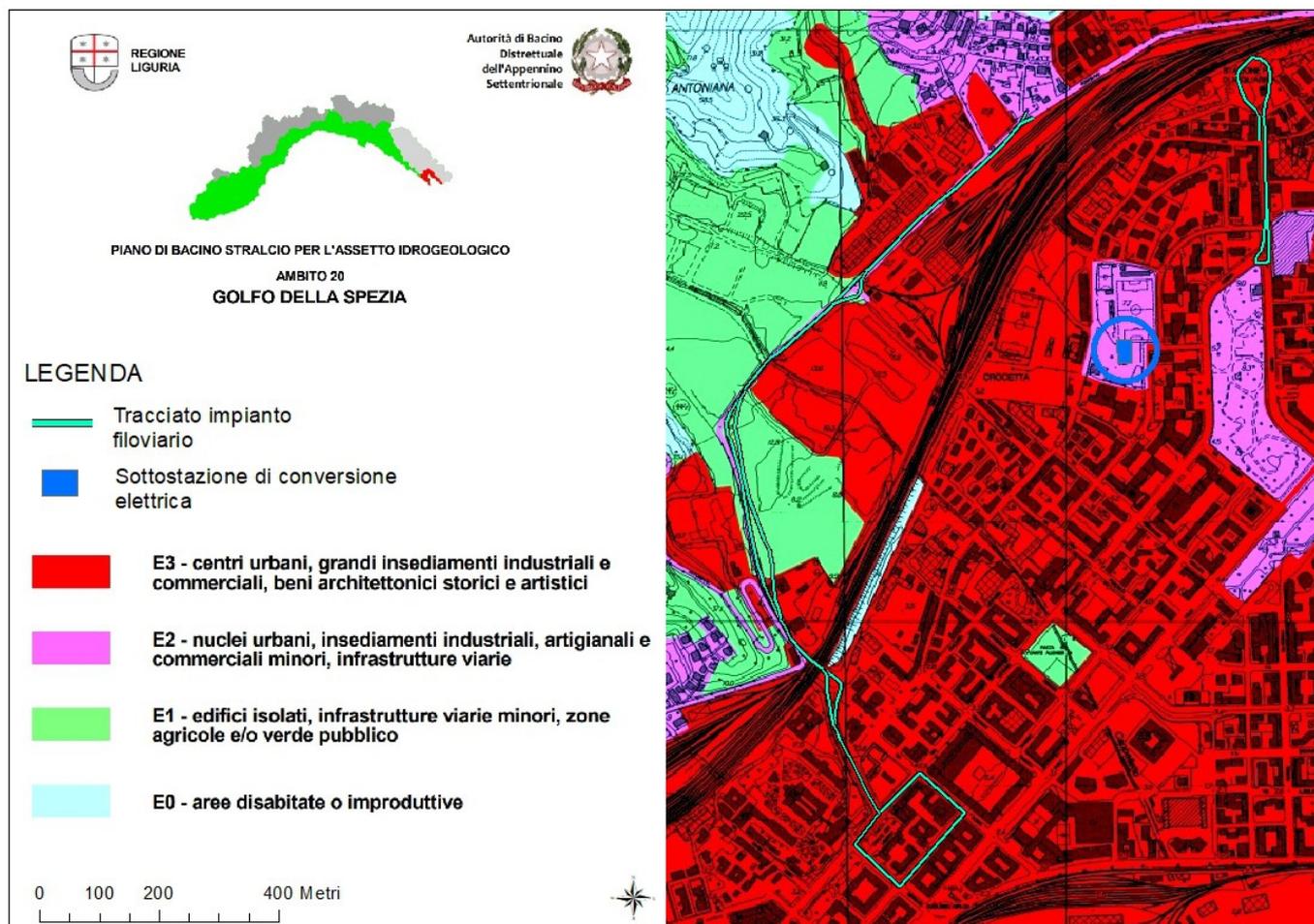


Fig. n. 8_ Stralcio Carta del Rischio idraulico. Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Ambito 20 “Golfo di La Spezia”

- Sulla scorta di quanto descritto nelle precedenti carte tematiche si è valutato infine la tipologia degli elementi soggetti o immuni alle criticità descritte nella Carta degli elementi a rischio (**Fig. n. 9**), in cui si può ricavare la tipologia e la classificazione delle varie porzioni di territorio coinvolte dai lavori previsti. Poiché l'opera interessa una vasta area urbana, ne consegue che la quasi totalità degli elementi classificati sono interessati ed infatti le opere da realizzare interessano i seguenti ambiti E1 (*Edifici isolati, infrastrutture viarie minori, zone agricole e/o verde pubblico*), E2 (*Nuclei urbani, insediamenti industriali, artigianali e commerciali minori, infrastrutture varie*) e E3 (*Centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, beni architettonici, storici e artistici*), per quanto riguarda l'impianto filoviario, mentre ricadono nel solo ambito E2 nel caso della sottostazione.
- L'area indagata ricade in ambito territoriale a *pericolosità sismica*, classificato a rischio sismico di **classe 3** secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Liguria regolamentato dalla D.G.R. 216/2017.

- Il sito d'intervento ricade al di fuori delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23.



Relativamente agli aspetti prettamente geologici analizzati nel dettaglio in seguito e sulla scorta di quanto evidenziato sopra si ricava che il settore di intervento, nella Carta della suscettibilità d'uso (**Fig. n. 10**), sulla base delle criticità evidenziate, ricade in zona con "**Suscettibilità d'Uso da Ampia**" e "**Suscettibilità d'Uso Condizionata**". In realtà la quasi totalità delle opere previste ricade nella seconda classe d'uso indicata, per cui a favore di sicurezza opereremo come se l'intero intervento fosse incluso in terreni soggetti a tale classe d'uso, relativa ad aree con condizionamenti di carattere geologico in senso lato, eliminabili con interventi di medio bassa difficoltà ed onerosità (**C1**), che nel caso di un intervento come quello prospettato che, pur risultando distribuito su di un'ampia area, localmente comporta interventi puntuali, che non vanno ad alterare

il profilo esistente e che comportano modesti interventi di scavo e sistemazione, sono resi ulteriormente meno gravosi.

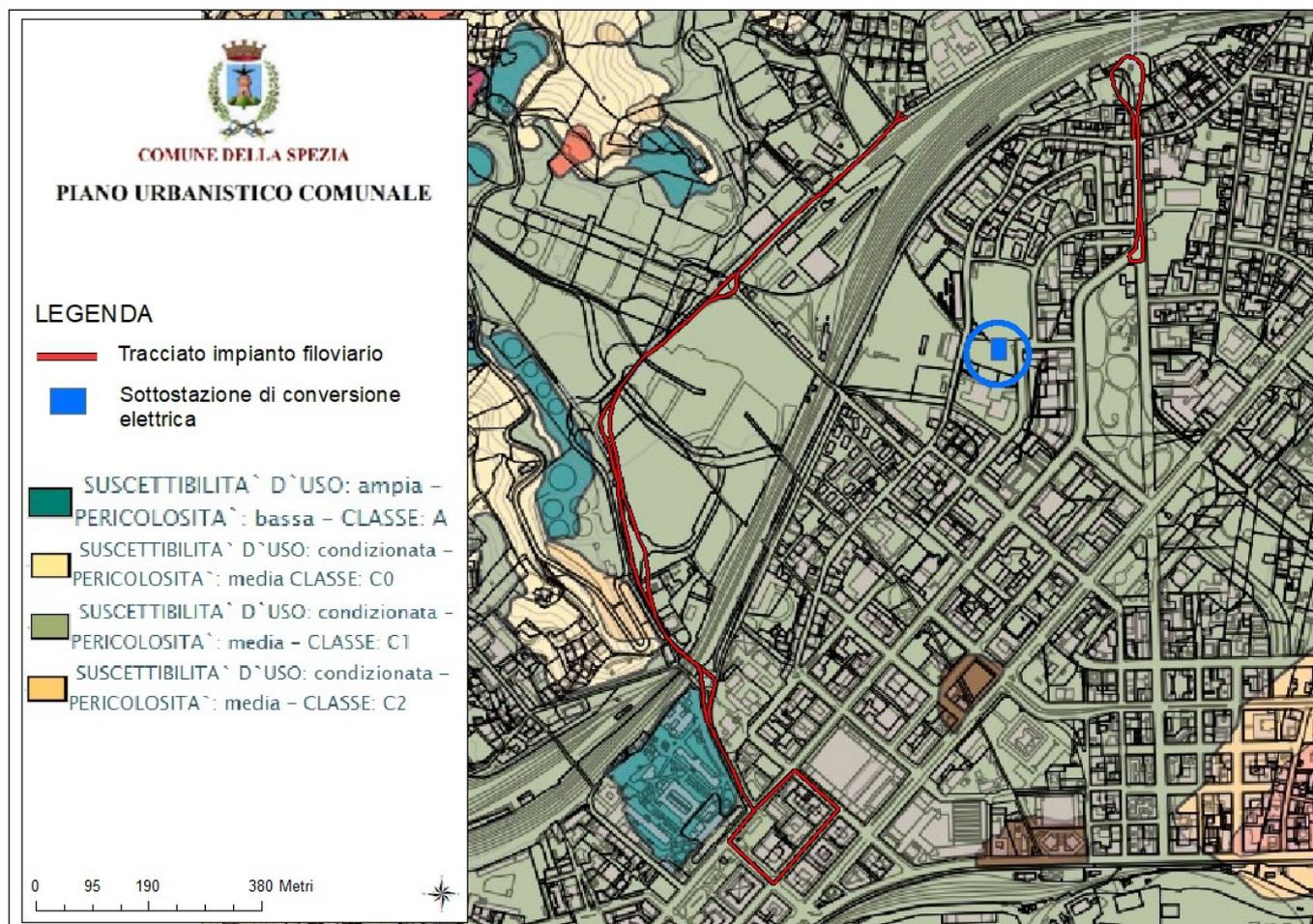


Fig. n. 10_ Stralcio Carta della Suscettibilità d'Uso – PUC 2003

Tali zone corrispondono a porzioni di territorio con pericolosità geomorfologica medio – bassa per opere mediamente o notevolmente incidenti sull'attuale assetto, che può essere superata con opere ed interventi di medio – bassa difficoltà ed onerosità. Tali azioni non dovranno in alcun modo incidere sulle aree limitrofe, né condizionarne la stabilità e la propensione all'edificabilità.

Per quanto riguarda l'assetto idraulico, l'area ricade nel **Piano di Bacino Ambito 20**, in cui si specifica all'**art. 5 bis** (*Indirizzi tecnici vincolanti volti alla mitigazione degli effetti della impermeabilizzazione dei suoli*), che dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti affinché il bilancio idrico dell'area non venga sensibilmente modificato dai lavori previsti, mediante interventi ed opere di mitigazione (piantumazione, inerbimenti, ecc..). Relativamente a tale aspetto la nuova opera non avrà alcun impatto ulteriore sull'impermeabilizzazione del

suolo, in quanto terminati i lavori e posizionati i plinti di fondazione, le opere a corredo della filovia saranno aeree e non avranno impatto alcuno sul bilancio idrico al suolo.

4. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area in oggetto, inserita nel contesto geologico dell'Appennino Settentrionale, si colloca nella piana di La Spezia, delimitata ad Ovest ed Est rispettivamente dal Promontorio di Porto Venere e di Punta Bianca. L'area si colloca nella zona costiera di ponente del Golfo della Spezia, che vede tratti costieri e collinari intensamente urbanizzati.

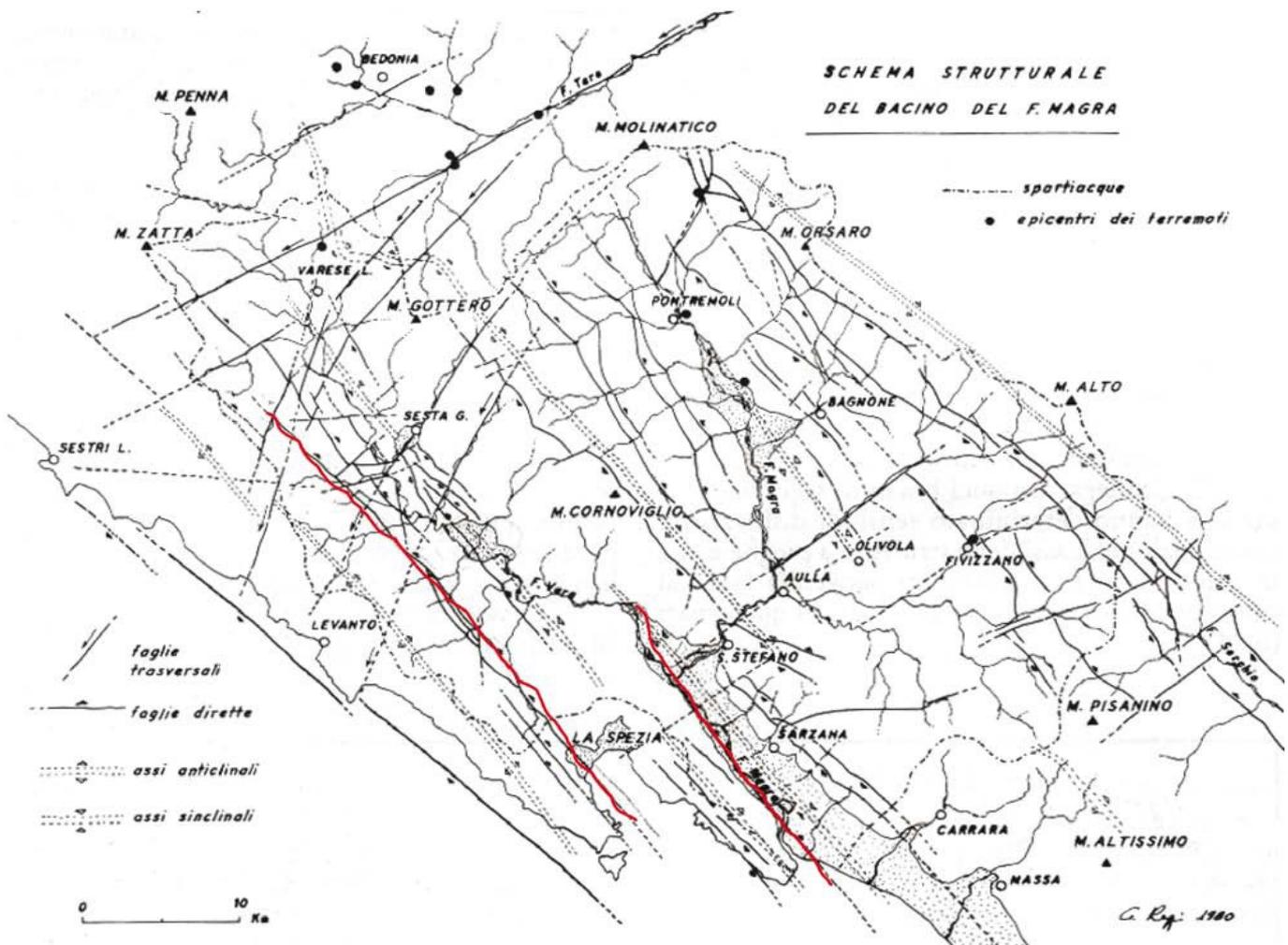


Fig. n. 11_ Schema tettonico della Provincia della Spezia (Raggi, 1984-86).

Il Golfo della Spezia costituisce una profonda insenatura che interrompe la continuità della linea di costa e rappresenta la porzione sommersa di una depressione morfologico - strutturale parallela al tratto terminale della Val di Magra. Tale configurazione è da riferirsi principalmente ad aspetti morfostrutturali, tra i quali risulta prevalente l'azione dei principali lineamenti tettonici dell'area che possono essere individuati nella Faglia della Spezia (**FdSP**) e nella Faglia del F. Magra (**FdFM**) rappresentate nello schema tettonico di **Fig. n. 12** (da Raggi, 1984-86). La morfologia pianeggiante della costa riparata del golfo ha condizionato lo sviluppo dell'area urbana, mentre lungo i versanti collinari si trovano sporadici insediamenti e case sparse in virtù delle aspre morfologie del territorio.

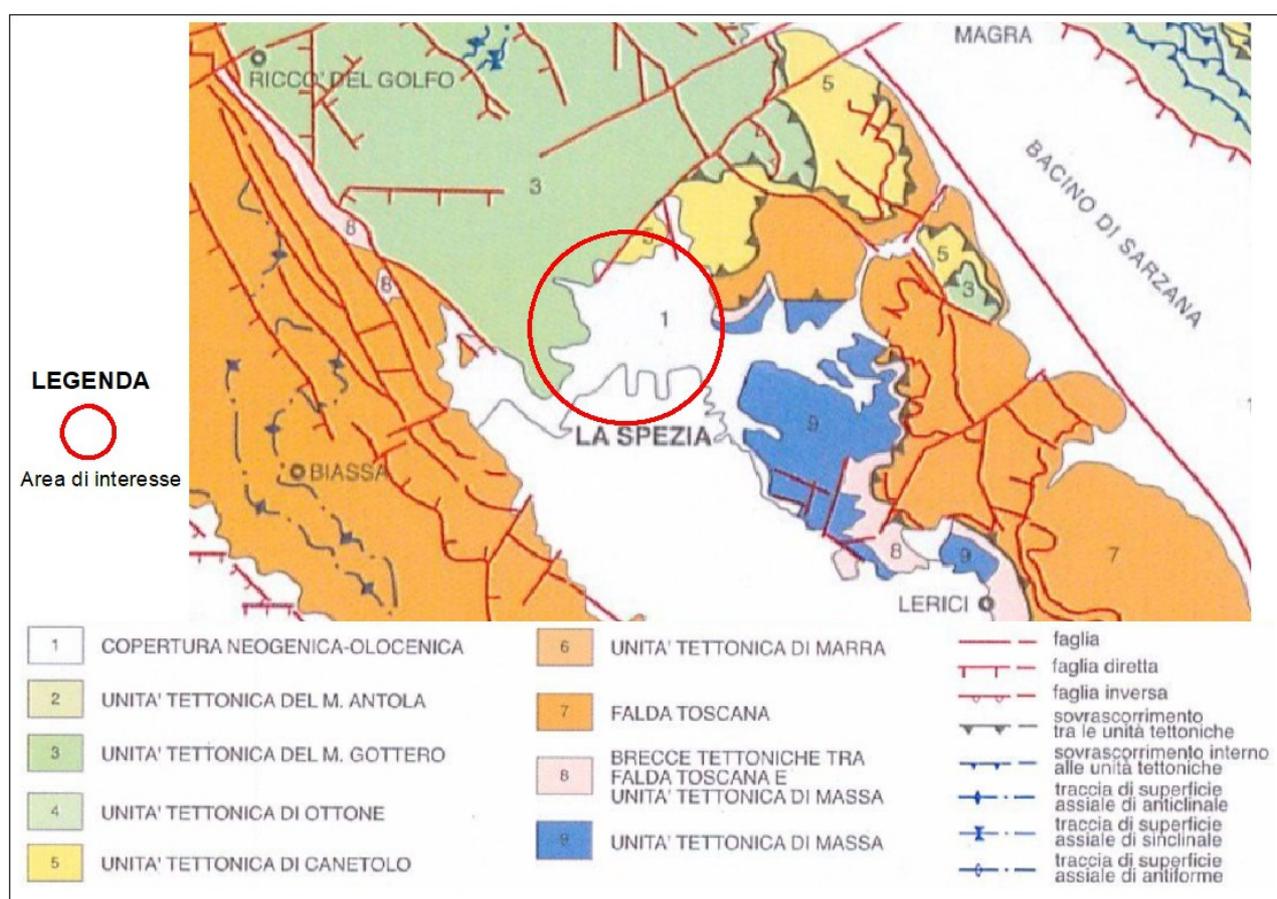


Fig. n. 12_ Schema geologico dell'appenino settentrionale (fonte: Note illustrative della Carta Geologica di Italia, Progetto. CARG – Foglio 248 “La Spezia”)

Altre alle faglie con direttrice NO – SE, sono osservabili sistemi di faglie secondarie alcune delle quali si coniugano con andamento sub-parallelo alle principali, ma con immersione opposta, ed altre con direzione ortogonale od obliqua rispetto al sistema principale. La Faglia della Spezia, passante nel settore dell'area di interesse e limita i termini stratigraficamente più bassi della Falda Toscana rappresentati dai litotipi calcarei e

calcareo-marnosi della Formazione di La Spezia (LSP), costituenti il bedrock dell'area di studio, mentre ad est affiorano le Arenarie di Monte Gottero (GOT) relative all'Unità tettonica di Monte Gottero (Dominio Ligure interno). Nel complesso, l'intersezione delle linee tettoniche longitudinali e trasversali, hanno portato allo sviluppo di sollevamenti differenziali causa della complessa morfologia dell'area.

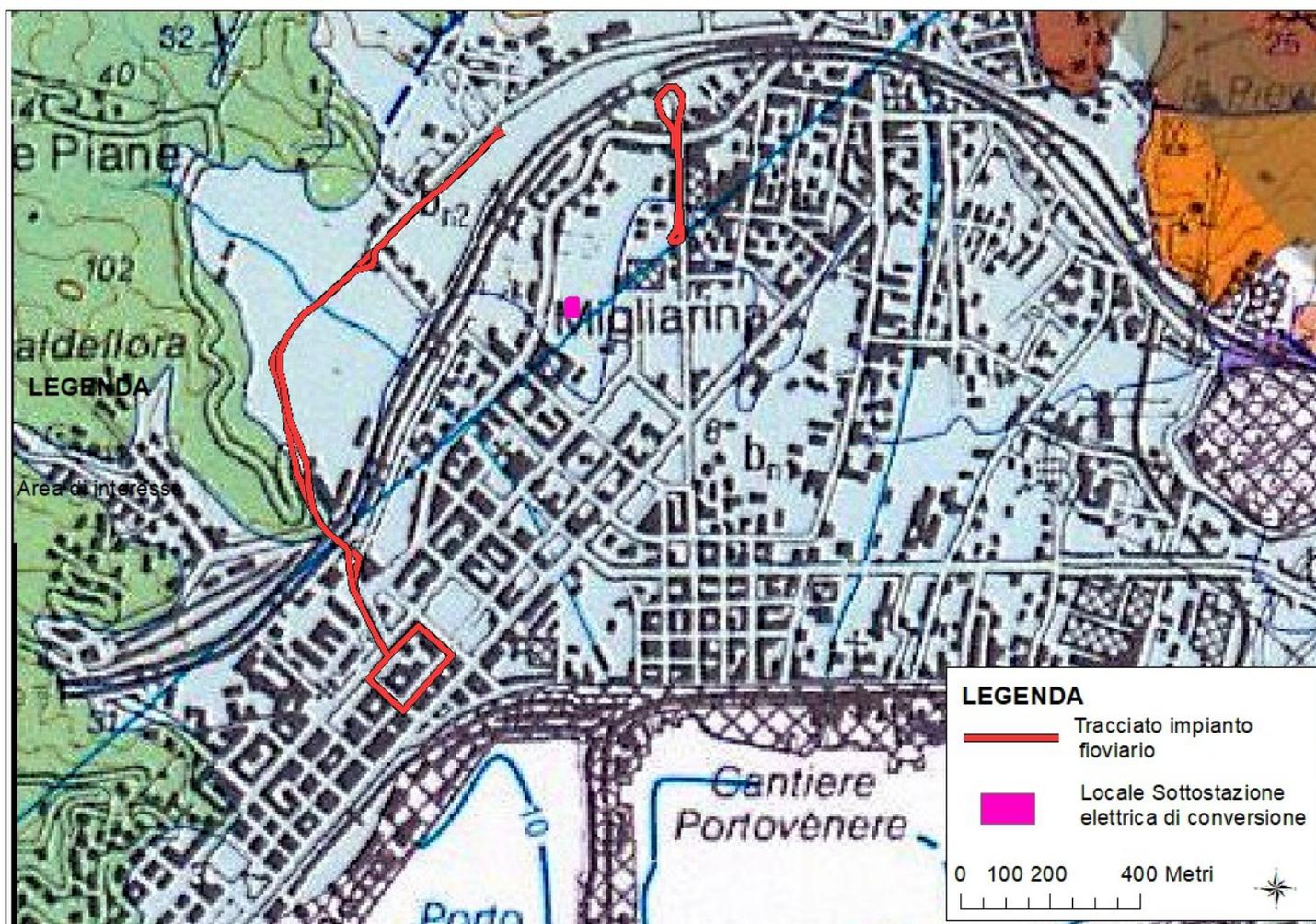


Fig. n. 13a_ Stralcio Carta Geologica d'Italia, Scala 1:50.000 – Foglio 248 “La Spezia”, con il cerchio individuata l'area di interesse

Il territorio spezzino, quindi dal punto di vista geologico, è caratterizzato dalla presenza di due serie sedimentarie distinte, correlate ad ambienti paleogeografici diversi:

- Serie Toscana – sequenza di depositi sedimentari di un mare epicontinentale con la tendenza ad approfondirsi;
- Serie Ligure – sequenze riferite al dominio oceanico profondo (Oceano Ligure-Piemontese).

Con interposta la Successione o Unità tettonica di Canetolo, che presenta caratteri paleogeografici intermedi e comuni ai due domini principali e che costituisce il cuscinetto tettonico su cui sono avvenuti i movimenti tettonici tra le litologie a pertinenza toscana e ligure. Il rapporto tra i due Domini, aventi connotazione paleogeografica e caratteristiche litologiche molto differenti, è ben visibile nell'areale di La Spezia, anche se il settore di interesse vede la presenza esclusiva di unità Liguri, con lembi dell'Unità Canetolo che affiorano nel settore settentrionale dell'area di interesse. L'assetto geologico – strutturale è ben visibile nelle **Fig. n. 12, 13** e nella sezione di **Fig. 14**.

La Successione Toscana caratterizza il promontorio che si sviluppa ad ovest dell'area di interesse, sino a Portovenere, mentre ad ovest separato dal fronte di accavallamento si osservano le Unità Liguri interne, qui rappresentate dalle Arenarie di M. Gottero (GOT) che superiormente lasciano spazio all'interposta Unità tettonica di Canetolo, qui rappresentata dalle Argille e Calcari di Canetolo (ACC).

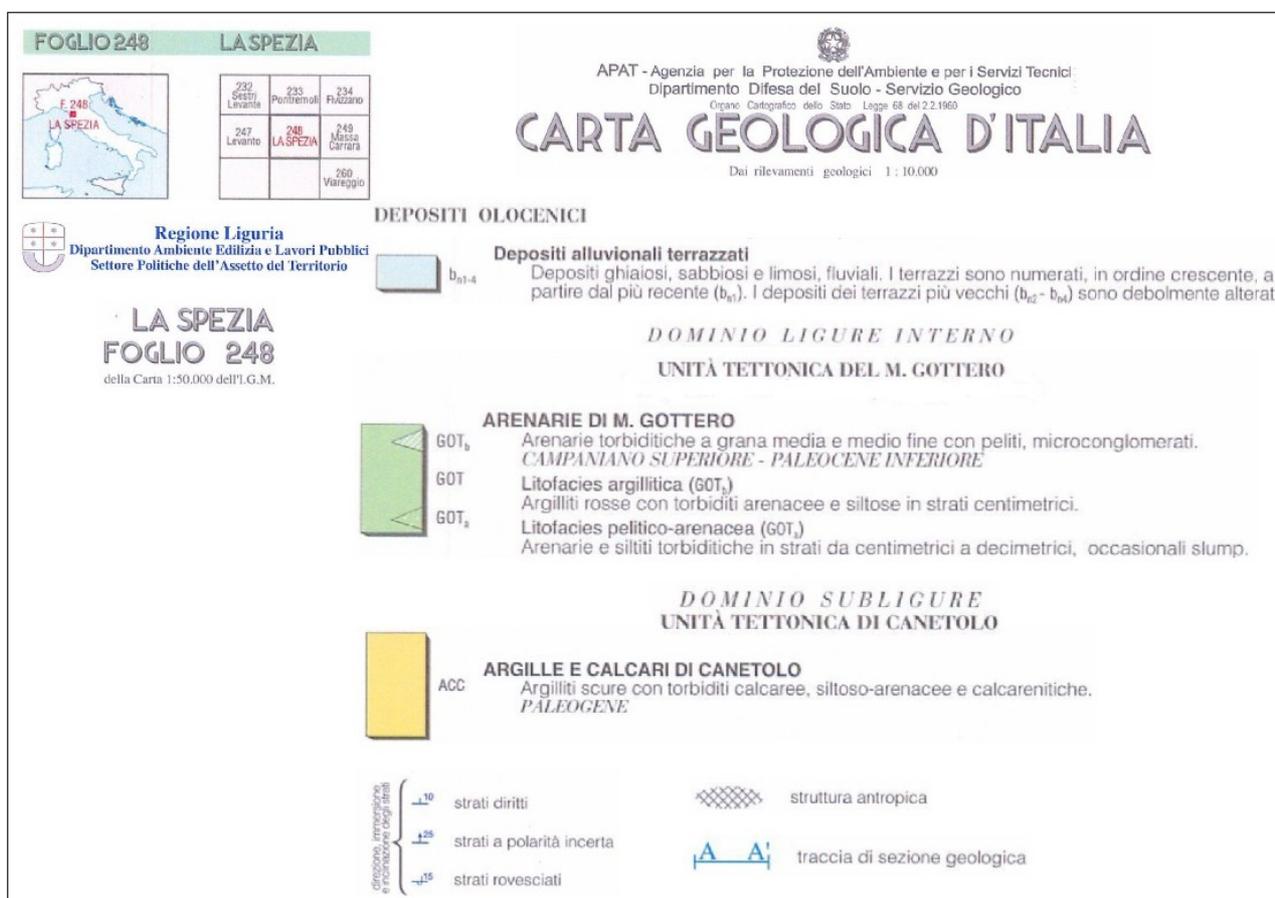


Fig. n. 13b_ Legenda Carta Geologica d'Italia, Scala 1:50.000 – Foglio 248 “La Spezia”

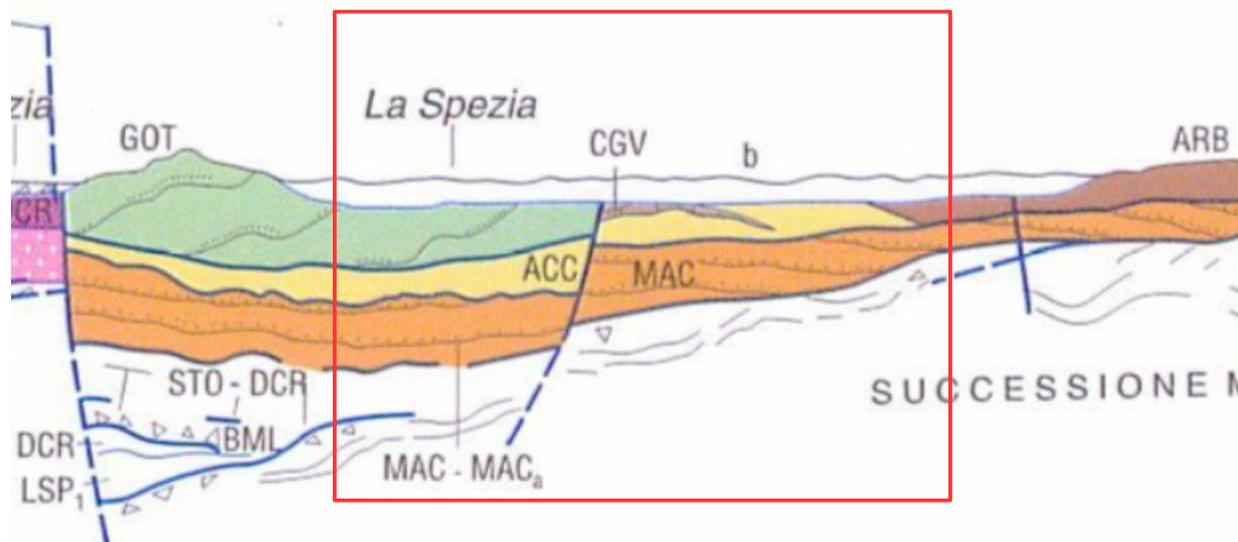


Fig. n. 14_ Estratto Sezione trasversale al Golfo della Spezia lungo la direttrice Monesteroli (sudovest) - Vezzano Ligure (nordest) – Val di Magra. ISPRA, Carta Geologica d'Italia Foglio 248 – La Spezia. Nel riquadro l'area di interesse specifico

L'area di piana è caratterizzata da sistemi di faglie dirette di età plio-pleistocenica ed è stata colmata da depositi alluvionali, marini e lagunari in eteropia laterale, costituiti da orizzonti e lenti di terreni a granulometria variabile. In particolare si rinvengono fitte stratificazioni di torbe e argille.

Nel dettaglio, i terreni interessati, si possono descrivere come superficialmente interessati da una potente copertura sedimentaria, che raggiunge spessori pari a circa 30 – 35 metri, la cui genesi è direttamente correlabile alle ingressioni e regressioni marine, variando quindi da depositi marini a depositi lagunari e continentali, come dimostrano alcune perforazioni eseguite nelle aree limitrofe, al di sotto di tale copertura olocenica il substrato geologico è costituito dalla falda Ligure nel settore Occidentale (Zona Ospedale San Andrea), rappresentata dalle Arenarie di M. Gottero (GOT) e dall'Unità subigure di Canetolo, nel settore orientale (Zona Migliarina), rappresentata dalle Argille e Calcari (ACC) e da lembi dei Calcari del Gruppo del Vescovo (CCV), non affioranti nell'areale di studio

La copertura presente appare contraddistinta da sedimenti disordinati e caotici, estremamente variabili, caotici ed eterogenei, frutto di varie fasi deposizionali, costituiti da sabbie con ghiaietto in matrice limosa abbondante, limi sabbiosi e argillosi molli, argille limose organiche, argille compatte con ghiaie e argille limose con sabbie.

L'esame dei dati a disposizione denota pertanto, oltre ad una estrema variabilità litologica, che i terreni di sedime delle opere in oggetto sono costituiti da depositi sciolti ed eterogenei, con caratteristiche geologico-tecniche piuttosto scadenti.

Nel dettaglio nell'areale di studio affiorano le seguenti coperture e litologie del substrato:

Depositi Olocenici

- **Depositi alluvionali terrazzati $b_{n1} - 4_$** Depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi fluviali. I terrazzi sono numerati in ordine crescente a partire dal più recente b_{n1} . I depositi dei terrazzi più vecchi $b_{n2} - b_{n4}$, sono debolmente alterati.

Dominio Ligure interno

- Formazione di M. Gottero

- **Arenarie di M. Gottero $G0T_$** Arenarie torbiditiche a grana media e medio fine con peliti e microconglomerati (Campaniano Sup. - Paleocene Inf.). Sono presenti anche una litofacies argillitica (**$G0Ta$**) ed una pelitico – arenacea (**$G0Tb$**) (Capmagnano Superiore – Paleocene Inferiore).

Dominio Subligure

- **Argille e Calcari di Canetolo $ACC_$** Argilliti scure con torbifiti calcaree, siltoso – arenacee e calcarenitiche (Paleogene).

Dal punto di vista geomorfologico, possiamo osservare che le oscillazioni eustatiche del livello del mare, i movimenti di sollevamento e di abbassamento relativo delle terre emerse, l'erosione, il trasporto e il deposito ad opera delle acque superficiali, l'azione della gravità, l'attività sismica e i processi morfogenetici climatici e ambientali, hanno contribuito al modellamento della linea di costa e dell'entroterra, definendo le forme attuali. I terreni di interesse complessivamente si presentano da pianeggianti a debolmente inclinato, con leggero declivio verso sud, con quote sul livello del mare oscillanti tra circa 7 – 8 m e 17 – 18 m.

Dagli elaborati del Piano di Bacino "Ambito 20 – Golfo della Spezia" l'area, dal punto di vista geomorfologico, allo stato e nelle condizioni attuali, appare stabile essendo presente un'area definita **$Pg0$** – *suscettività al dissesto molto bassa.*, da cui consegue una valutazione degli elementi esposti a rischio geomorfologico di tipo **$Rg0$** – *Rischio molto basso (Fig. n. 5 e 6)*

Occorre però evidenziare come nel corso dei decenni, in seguito all'espansione urbanistica, questa come altre porzioni del golfo, sia stata bonificata mediante opere di riduzione e riempimento di piccoli specchi d'acqua e depressioni acquitrinose. In epoca più recente inoltre si sono susseguiti importanti interventi di antropizzazione con la realizzazione di riporti, che possono anche raggiungere in alcuni casi due metri.

Il rilievo svolto, per quanto poco rilevante e significativo, in quanto la morfologia è stata profondamente modificata dall'azione antropica e focalizzato su eventuali effetti indiretti di problematiche idrogeologiche sui manufatti e sulle coperture presenti, non ha evidenziato criticità di natura geomorfologica, i terreni infatti si presentano pianeggianti e uniforme, privi di irregolarità, depressioni e rigonfiamenti, inoltre a sostegno della stabilità dell'area possiamo osservare che le strutture presenti, sia in cls, che di altra natura appaiono in ottimo stato di conservazione, immuni da processi di cedimento differenziale o assestamenti dei terreni.

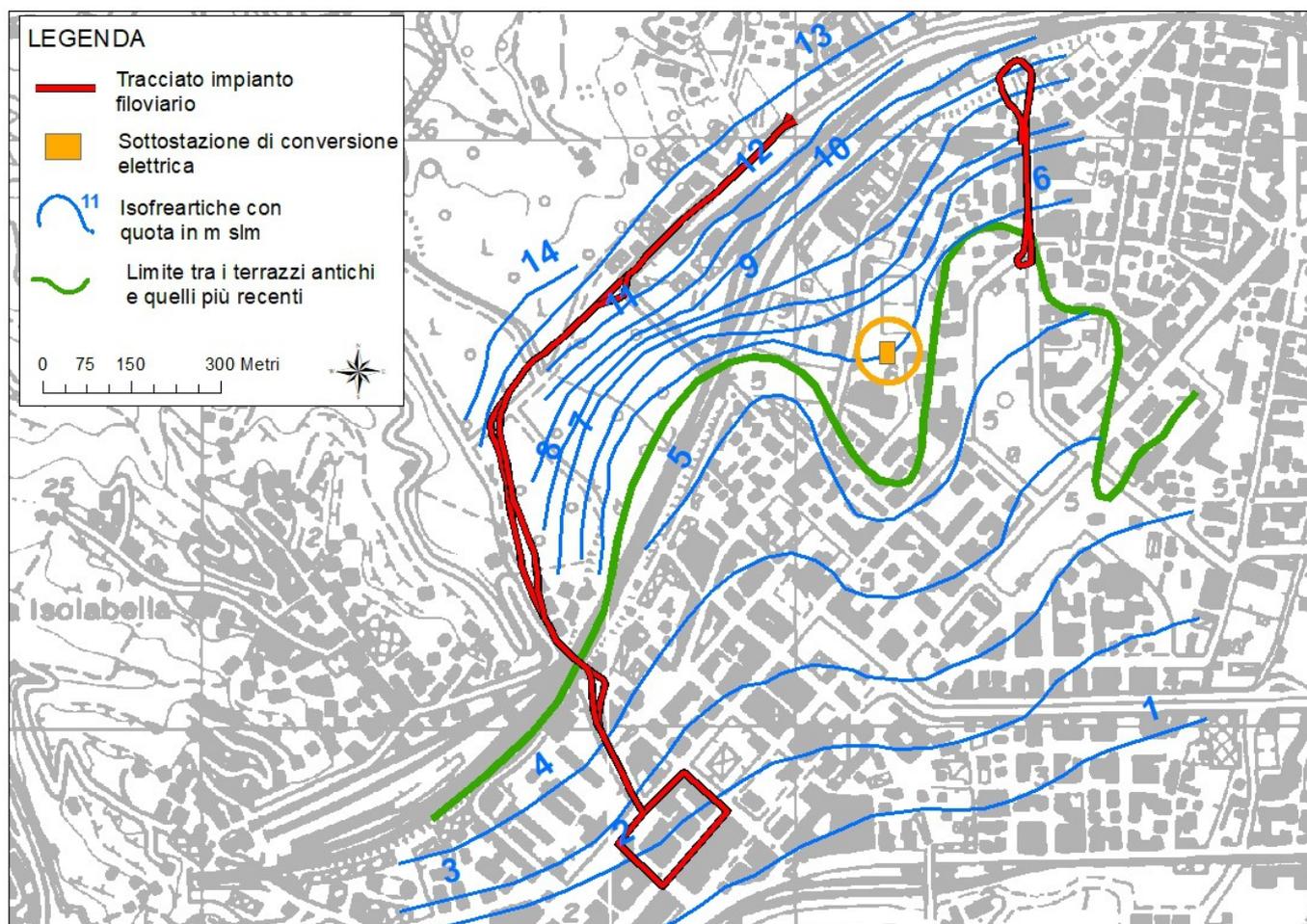


Fig. n. 15_ Carta delle isofratriche relative all'area di interesse

5. CENNI DI IDROGEOLOGIA

Attraverso l'analisi dell'assetto litologico-strutturale del territorio spezzino è possibile distinguere, a scala regionale, differenti domini idrogeologici, elencati di seguito in ordine di permeabilità crescente:

– **Dominio delle formazioni argilloso - calcaree.** Queste formazioni dalla composizione litologica eterogenea ospitano acquiferi di scarsa entità, localizzati essenzialmente nei livelli calcarei fraturati e più permeabili. Tali livelli, poco potenti e racchiusi tra strati a bassa permeabilità, costituiscono piccoli serbatoi acquiferi che alimentano alcune sorgenti di portata bassa.

– **Dominio delle formazioni flyschoidi arenacee.** Le sequenze torbiditiche delle formazioni arenacee del Gottero e del Macigno, permeabili per fratturazione e porosità, nonostante la presenza di livelli pelitici, formano estesi affioramenti su tutto il bacino e costituiscono in alcuni casi acquiferi di discreta potenzialità.

– **Dominio dei sedimenti alluvionali.** Gli acquiferi contenuti nei sedimenti alluvionali depositati dai Fiumi Vara e Magra rappresentano attualmente la maggior risorsa idrica non solo del bacino idrografico del Fiume Magra, ma anche della intera Provincia della Spezia. I diversi campi pozzi, utilizzati per approvvigionamento

potabile, localizzati lungo l'asta terminale del Fiume Magra, consentono di emungere portate totali pari a circa 900 L/s. I pozzi perforati non superano in genere la profondità di 30 m ed estraggono l'acqua da orizzonti acquiferi contenuti nei livelli ghiaiosi più permeabili.

L'idrogeologia di tutta l'area appare piuttosto complessa data la presenza di un sistema multifalda, con falde artesiane e falde sospese. La falda superficiale da posizionare nei terreni sciolti presenti, fortemente condizionata dai regimi idrometrici del mare, è stimabile posizionarsi tra valori di 1,50 – 2,50 m dal p.c. (come confermato anche dalle prove penetrometriche svolte). La falda profonda, che risiede nel substrato, presenta una forte discontinuità laterale e caratteristiche idrogeologiche differenti a seconda della litologia e dello stato di fratturazione. Pertanto, a scala regionale, non è possibile definire una chiara direzione di deflusso. Tuttavia da dati storici ed informazioni raccolte, si riferisce una direzione di deflusso della falda Nord Sud. Sulla base dati raccolti è stato possibile ricostruire una carta delle isofreatiche limitata all'area di intervento proposta in **Fig. n. 15**, in cui si nota chiaramente che le isofreatiche con il loro andamento tendono a replicare il confine tra i terrazzi antichi a nord e quelli più recenti a sud.

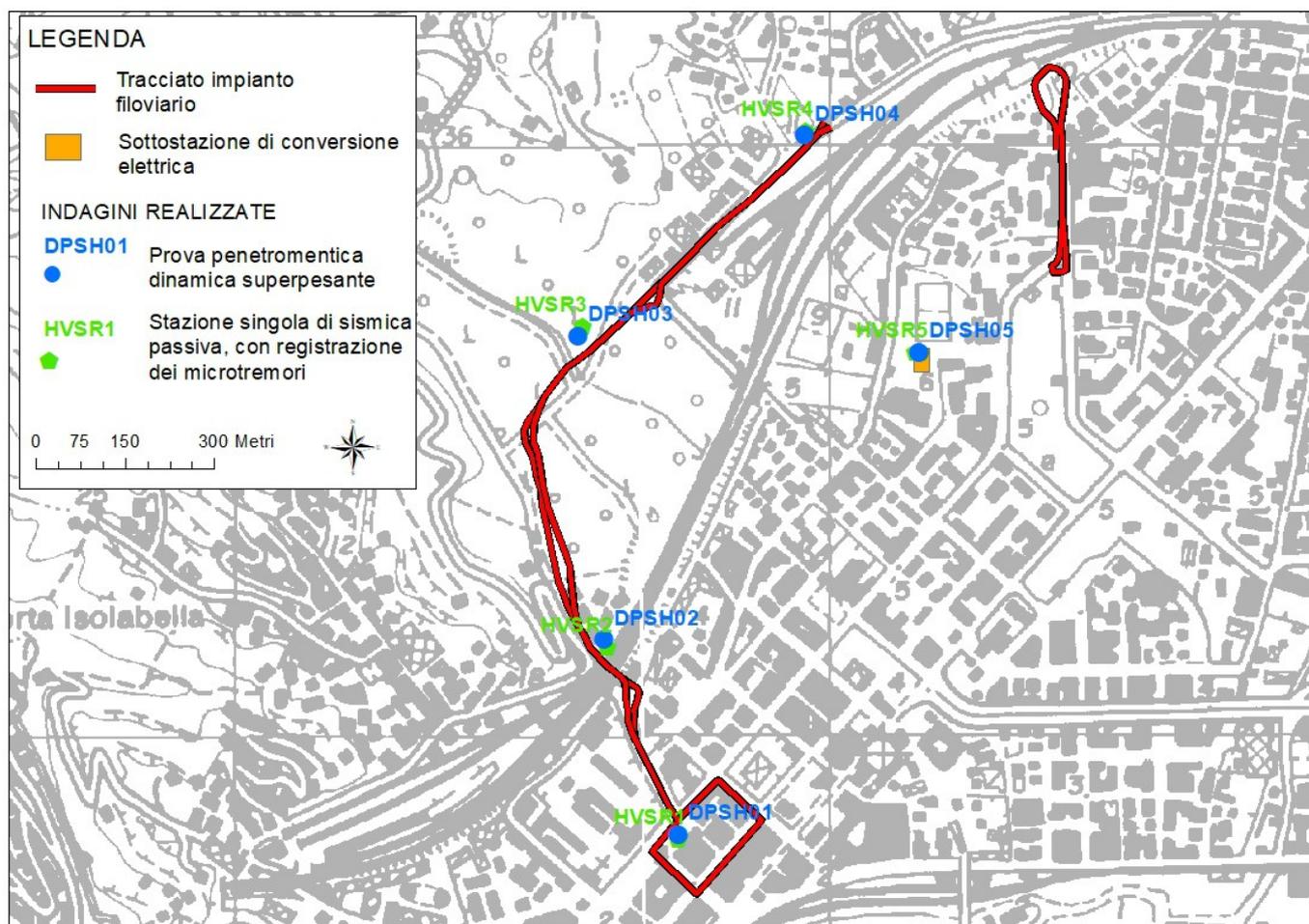


Fig. n. 16_ Localizzazione indagini geognostiche e geofisiche svolte

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

La caratterizzazione sismica del sito e la modellazione stratigrafica dei terreni e dei sedimenti è stata ampiamente valutata preliminarmente con dati presenti in letteratura e negli archivi pubblici esistenti e successivamente definita mediante una campagna geognostica costituita da (**Fig. n. 16**):

- n. 5 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH.
- n. 5 stazioni singole di sismica passiva di tipo HVSR.



Foto n. 4_ esecuzione prova penetrometrica dinamica

6.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Le prove penetrometriche dinamiche e statiche sono uno standard consolidato e accettato per l'indagine del sottosuolo e per la taratura di prove geofisiche indirette.

Queste indagini, in terreni granulari o coesivi ricchi in scheletro detritico anche di grosse dimensioni, costituiscono un'indagine geognostica, che consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi di 10 cm), misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento.

Agendo con una massa battente di peso noto M, da una altezza di caduta H su un'asta con punta conica di dimensioni note, è possibile, sulla base del numero di colpi N necessari ad un avanzamento di 10 cm, tramite correlazioni e formule riconosciute in letteratura, risalire alle caratteristiche dei terreni attraversati. Le prove e le elaborazioni sono descritte nell'**Allegato A**.

6.2 INDAGINI GEOFISICHE E DETERMINAZIONE PARAMETRO Vs30/Vseq

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geofisico i terreni appartenenti all'area in esame è stata eseguita una campagna geofisica costituita da n. 5 prove HVSR, posizionate come descritto in **Fig. n. 16** e tarate per per mezzo dei dati raccolti e delle indagini penetrometriche eseguite. Tali indagini hanno permesso la valutazione e determinazione dell'andamento delle Vs nei terreni di fondazione, determinando il parametro Vseq, con procedura semplificata ai sensi D.M. 17.01.18, che fornisce i criteri progettuali in materia di progettazione e prevenzione sismica. Oltre a ciò le prove svolte hanno consentito di determinare la frequenza caratteristica dei terreni di sedime e valutare i principali contrasti di impedenza delle onde S in profondità. Le tecniche e la strumentazione di acquisizione utilizzate sono descritte in dettaglio nell'**Allegato B** fuori testo.

Le prove HVSR hanno confermato quanto definito dalle indagini meccaniche, individuando un primo significativo salto di impedenza, intorno a circa 10,00 – 15,00 m dal p.c. attuale, ed un secondo a profondità comprese tra circa 25,00 – 35,00 m, dove la Vs passa a valori molto elevati superiori a 800 m/s, riferibili al substrato sano presente. In alcune prove la presenza di tale orizzonte con Vs > 800 m/s ha portato al calcolo di Vseq = VsH, secondo le nuove indicazioni proposte nel D.M.17.01.2018 (HVSR1 e HVSR5). Tale stratigrafia è in buon accordo con le conoscenze acquisite ed il modello stratigrafico proposto per l'areale di studio.

I valori di HVSR VALUE relativi all'ampiezza della vibrazione per le prove eseguite rimane compresa nell'intervallo 3,2 – 5,0, con la sola eccezione della prova HAVSR4, in cui il valore è risultato pari a 12,3.

7. STRATIGRAFIA, MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRIZZAZIONE DEI TERRENI

7.1 STRATIGRAFIA

L'insieme delle attività prodotte ha permesso di raggiungere un'adeguata conoscenza dei luoghi di indagine, consentendo di produrre una caratterizzazione stratigrafica del sottosuolo di sedime degli interventi in progetto, con particolare attenzione ai terreni più superficiali, all'interno dei quali agiscono i bulbi di pressione degli appoggi della struttura

Le risultanze sono state messe a confronto con valori bibliografici derivati da sondaggi a carotaggio continuo e relative prove di laboratorio da campioni indisturbati disponibili in letteratura.

Tali sondaggi sono stati eseguiti in terreni limitrofi ed analoghi dal punto di vista stratigrafico, litotecnico e geotecnico.

Non potendo per questioni logistiche e di costi estendere le prove all'intero tracciato, sulla base delle conoscenze acquisite con il rilievo ed in funzione della cartografia geologica disponibile, si è scelto di distribuire le prove in considerazione del modello geologico presente, individuando aree omogenee e paragonabili da un punto di vista stratigrafico – litotecnico. In tal modo si sono individuate tre ambiti distinti, che chiameremo **Aree Geotecniche 1, 2 e 3**, con caratteristiche simili, all'interno delle quali la

parametrizzazione e la stratigrafia dei terreni può essere considerata omogenea (**Fig. n. 17**). Le **Aree Geotecniche 1 e 2**, poste rispettivamente nel settore nord e sud dell'area di interesse, sono circa separate dal limite che separa i terrazzi antichi da quelli più recenti, mentre l'**Area geotecnica 3**, si riferisce al settore posto al margine occidentale dell'area, dove il tracciato filoviario lambisce il versante, in cui affiorano le torbiditi arenaceo – pelitiche dell'Unità Gottero.

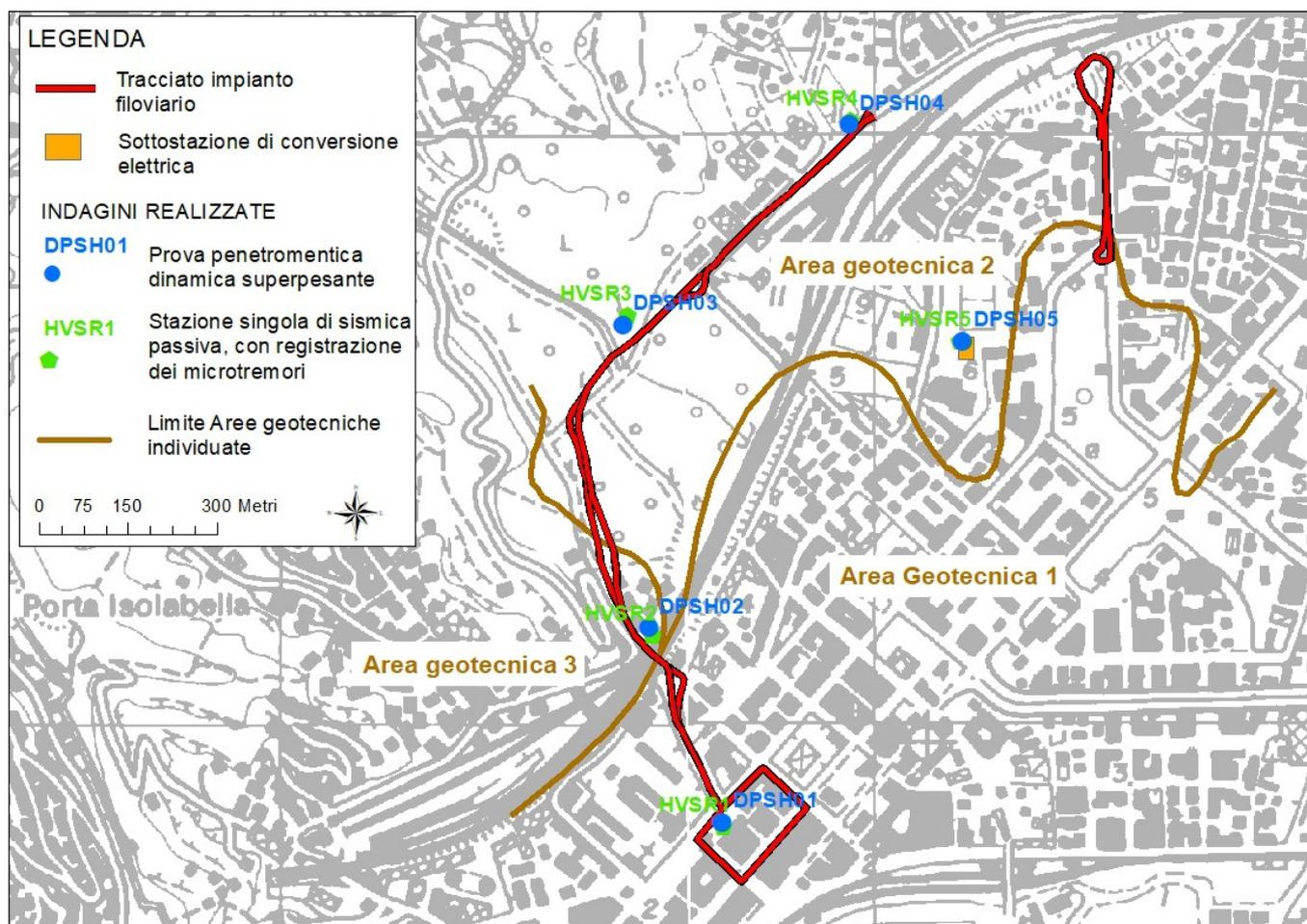


Fig. n. 17_ Delimitazione ed individuazione delle Aree geotecniche individuate ed interessate dalle opere previste.

Il sito in esame si colloca all'interno di un sistema deposizionale costiero, di mare poco profondo. Risultano presenti infatti depositi marini, di spiaggia, di laguna o di maggior energia (rii, torrenti ecc). Si riconoscono alternanze di depositi fini limo-sabbiosi e sabbiosi di spiaggia, depositi di laguna limoso-argillosi, con resti organici vegetali in decomposizione, nonché materiali argillosi sovraconsolidati spesso contenenti noduli litici.

Procedendo verso monte aumentano i depositi a maggior energia, caratterizzati da ghiaie, spesso in matrice argillosa o limosa (matrice-sostenuti). Raramente si rilevano depositi ghiaiosi clasto-sostenuti.

Il substrato non indagato dalle prove penetrometriche si rileva dalle indagini sismiche ad una profondità superiore a 20 – 25 m, esso risulta costituito nel settore occidentale dalle Arenarie di M. Gottero, mentre nel settore orientale troviamo le Argille e Calcari di Canetolo.

Successivamente gli strati di sedimenti con caratteristiche litologiche e geotecniche analoghe e/o omogenee sono stati raggruppati e distinti con un numero di riferimento in **Aree Geotecniche**.

Questo permetterà una migliore costruzione del modello geologico-tecnico attraverso la definizione di unità geotecniche funzionali, contraddistinte da parametri geotecnici comuni.

7.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRIZZAZIONE DEI TERRENI

L'individuazione del modello geotecnico del terreno su cui insisteranno le opere previste, è stato basato sulla interpretazione dei dati raccolti dalle prove penetrometriche e mediante l'acquisizione di dati bibliografici.

I dati geotecnici ricavati dalle prove in sito sono stati elaborati con metodi statistici, così come previsto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

In particolare è stata valutata la distribuzione dei valori di ogni singolo parametro (suddiviso per orizzonti) ed il valore caratteristico è stato attribuito al 5° percentile della distribuzione della media. Riguardo la coesione è stata utilizzata una distribuzione log-normale, mentre per l'angolo di attrito interno, una distribuzione normale. Le prove svolte sono descritte nel dettaglio ed in modo completo nell'Allegato A.

Per i moduli edometrico ed elastico, si è considerato il valore della media dei valori ricavati dalla prova in sito, poiché secondo le nuove normative, limitatamente a tali parametri, rappresenta il valore caratteristico.

I terreni incontrati costituiscono alternanze disordinate caotiche di limi sabbiosi, argille sabbiose, ghiaie sabbiose, limi, argille e ghiaie.

Le profondità della falda freatica superficiale è da posizionare tra – 1,50 m e 2,50 m dal p.c.

Nel seguito viene proposta la caratterizzazione geotecnica di dettaglio dei singoli orizzonti, per ciascuna delle due verticali indagate

L'esame dei dati a disposizione denota pertanto che i terreni di fondazione della struttura in oggetto sono costituiti da depositi sciolti ed eterogenei, con caratteristiche geologico-tecniche piuttosto scadenti, dopo il primo strato ghiaioso e grossolano di riporto.

Si rinvencono infatti materiali molli o poco addensati.

Le caratteristiche migliorano in profondità con l'aumentare della percentuale di ghiaia e con il livello di consolidazione dei terreni fra 15 e 20 m da p.c.

Sulla base di quanto descritto distinguiamo le seguenti Aree geotecniche:

Area geotecnica di tipo 1

- **Unità geotecnica 1a (0.00 m – 1,50 m)**
Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.
- **Unità geotecnica 1b (1.50 m – 5,00 m)**
Limo sabbioso con argilla e lenti ghiaiose.
- **Unità geotecnica 1c (5,00 m – 15,00 m)**
Argille limose con sabbie molli.
- **Unità geotecnica 1d (15.00 m – 20,00 m)**
Argilla sabbiosa compatta con ghiaia.

L'esame dei dati a disposizione denota pertanto che i terreni di fondazione della struttura in oggetto sono costituiti da depositi sciolti ed eterogenei, con caratteristiche geologico-tecniche piuttosto scadenti, dopo il primo strato ghiaioso-sabbioso-argilloso.

Si rinvengono infatti materiali molli o poco addensati.

Le caratteristiche migliorano in profondità con l'aumentare della percentuale di ghiaia e con il livello di consolidazione dei terreni fra 15 e 20 m da p.c.

Oltre i 20 m circa, si rileva il substrato arenaceo costituito da arenarie torbiditiche a grana fine e medio fine con peliti, microconglomerati.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la determinazione dei parametri geotecnici ci si è basati, come detto, sulle prove eseguite in situ (Prove penetrometriche), nonché sulle stratigrafie di carotaggi eseguiti in aree limitrofe e presenti in letteratura.

Parametri geotecnici caratteristici.

Unità geotecnica 1a (0.00 m – 1,50 m)

- Ghiaia sabbiosa
- Angolo di attrito effettivo $\phi^k = 38-40^\circ$;
- Peso di volume $\gamma = 1,50 \text{ T/mc}$;
- Modulo elastico $E_{el} k = 1400 \text{ T/mq}$.
- Rapporto di Poisson = 0,33

Unità geotecnica 1b (1,50 m – 5,00 m)

- Limo sabbioso con argilla
- Angolo di attrito effettivo $\phi^k = 22-24^\circ$
- Coesione effettiva $c^k = 1 \text{ T/mq}$

- Coesione non drenata $C_{uk} = 1,5$ T/mq
- Peso di volume $\gamma_k = 1,60$ T/mc
- Modulo edometrico $E_{ed} = 270$ T/mq.

Unità geotecnica 1c (5,00 m – 15,00 m)

- Argille limose con sabbie
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 21-23^\circ$
- Coesione effettiva $c'k = 0,5$ T/mq
- Coesione non drenata $C_{uk} = 1$ T/mq
- Peso di volume $\gamma_k = 1,75$ T/mc
- Modulo edometrico $E_{edk} = 300-400$ T/mq.

Unità geotecnica 1d (15,00 m – 20,00 m)

- Argilla sabbiosa compatta con ghiaia
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 34-36^\circ$
- Coesione non drenata $C_{uk} = 10$ T/mq
- Rapporto di Poisson $m = 0,17$
- Peso di volume $\gamma_k = 1,95$ T/mc;
- Modulo elastico $E_{el} = 3000-3500$ T/mq.

Area geotecnica di tipo 2

- **Unità geotecnica 2a (0.00 m – 1,50 m)**

Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.

- **Unità geotecnica 2b (1.50 m – 7,00 m)**

Ghiaie, sabbie e limi, il deposito risulta matrice-sostenuto, debolmente alterato e di colore rossastro.

- **Unità geotecnica 2c (7,00 m – 14,00 m)**

Limi sabbiosi molli.

- **Unità geotecnica 2d (14.00 m – 19,00 m)**

Argilla sabbiosa compatta con ghiaia.

L'esame dei dati a disposizione denota pertanto che i terreni di fondazione della struttura in oggetto sono costituiti da depositi sciolti ed eterogenei, con caratteristiche geologico-tecniche piuttosto scadenti, dopo il primo strato ghiaioso- sabbioso alterato.

Si rinvennero infatti materiali molli o poco addensati.

Le caratteristiche migliorano in profondità con l'aumentare della percentuale di ghiaia e con il livello di consolidazione dei terreni fra 15 e 19 m da p.c.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la determinazione dei parametri geotecnici ci si è basati, come detto, sulle prove eseguite in situ (Prove penetrometriche), nonché sulle stratigrafie di carotaggi eseguiti in aree limitrofe e presenti in letteratura.

Parametri geotecnici caratteristici.

Unità geotecnica 2a (0.00 m – 1,50 m)

- Ghiaia sabbiosa
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 38-40^\circ$;
- Peso di volume $\gamma = 1,50 \text{ T/mc}$;
- Modulo elastico $Eel\ k = 1400 \text{ T/mq}$.
- Rapporto di Poisson = 0,33

Unità geotecnica 2b (1,50 m – 7,00 m)

- Ghiaie sabbie e limi
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 26-28^\circ$
- Coesione effettiva $c'k = 1 \text{ T/mq}$
- Peso di volume $\gamma_k = 1,60 \text{ T/mc}$
- Modulo elastico $Eel = 1000 \text{ T/mq}$.

Unità geotecnica 2c (7,00 m – 14,00 m)

- Limi sabbiosi molli
- *Angolo di attrito effettivo* $\phi'k = 24-26^\circ$
- Coesione effettiva $c'k = 0,5 \text{ T/mq}$
- Coesione non drenata $Cuk = 1 \text{ T/mq}$
- Peso di volume $\gamma_k = 1,75 \text{ T/mc}$
- Modulo edometrico $Eedk = 400-500 \text{ T/mq}$.

Unità geotecnica 2d (14.00 m – 19,00 m)

- Argilla sabbiosa compatta con ghiaia
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 34-36^\circ$
- Coesione non drenata $Cuk = 10 \text{ T/mq}$

- Rapporto di Poisson $\mu = 0,17$
- Peso di volume $\gamma_k = 1,95 \text{ T/mc}$;
- Modulo elastico $E_{el} = 3000-3500 \text{ T/mq}$.

Oltre i 20/25 m circa, si rileva il substrato arenaceo costituito da arenarie e siltiti torbiditiche (per zona T3 e T5), per T4 il substrato dovrebbe essere costituito da argille e calcari o calcari riferibili all'Unità Tettonica di Canetolo.



Foto n. 5_ Affioramento roccioso di Arenarie di M. Gottero, nei pressi del tratto ricadente all'interno dell'Area geotecnica 3 vedi Fig. n. 17

Area geotecnica di tipo 3

- **Unità geotecnica 3a (0.00 m – 1,50 m)**
Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.
- **Unità geotecnica 3b (1.50 m – 10,00 m)**
Ghiaie, sabbie e limi, il deposito risulta matrice-sostenuto, debolmente alterato e di colore rossastro.

L'esame dei dati a disposizione denota pertanto che i terreni di fondazione della struttura in oggetto sono costituiti da depositi sciolti ed eterogenei, con caratteristiche geologico-tecniche medie.

Le caratteristiche migliorano in profondità con l'aumentare della compattazione.

Oltre gli 8-10 m circa, si rileva il substrato arenaceo costituito da arenarie torbiditiche a grana fine e medio fine con peliti, microconglomerati.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la determinazione dei parametri geotecnici ci si è basati, come detto, sulle prove eseguite in situ (Prove penetrometriche), nonché sulle stratigrafie di carotaggi eseguiti in aree limitrofe e presenti in letteratura.

Parametri geotecnici caratteristici.

Unità geotecnica 3a (0,00 m – 1,50 m)

- Ghiaia sabbiosa
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 38-40^\circ$;
- Peso di volume $\gamma = 1,50 \text{ T/mc}$;
- Modulo elastico $E_{el} k = 1400 \text{ T/mq}$.
- Rapporto di Poisson = 0,33

Unità geotecnica 3b (1,50 m – 10,00 m)

- Ghiaie sabbie e limi
- Angolo di attrito effettivo $\phi'k = 26-28^\circ$
- Coesione effettiva $c'k = 1 \text{ T/mq}$
- Peso di volume $\gamma k = 1,60 \text{ T/mc}$
- Modulo elastico $E_{el} = 1000 \text{ T/mq}$.

8. DESCRIZIONE OPERE IN PROGETTO E DEI LUOGHI DI INTERVENTO

L'intervento previsto (**Fig. n. 18**), come più volte sottolineato appare di semplice cantieramento ed esecuzione, comportando unicamente degli scavi per la posa dei plinti di fondazione per il sostegno delle parti aeree della filovia. Inoltre, le opere, venendo realizzate a bordo strada, non dovrebbero nemmeno comportare gravi ripercussioni sulla circolazione. In ultima analisi da un punto di vista geologico le opere sono da ritenersi a basso impatto, in quanto non comporteranno variazioni dei profili topografici e richiederanno attenzione solo in fase di cantieramento relativamente a stabilità dei fronti di scavo e dei materiali di risulta stoccati. Terminati i lavori, interrati i plinti e colmati gli scavi si tornerà ad una situazione come quella in atto.

Per cui sommando tali caratteristiche operative alla bassa suscettività al dissesto dei terreni attraversati, ricaviamo che il rischio geomorfologico derivante dalle opere previste è moderato o assente.

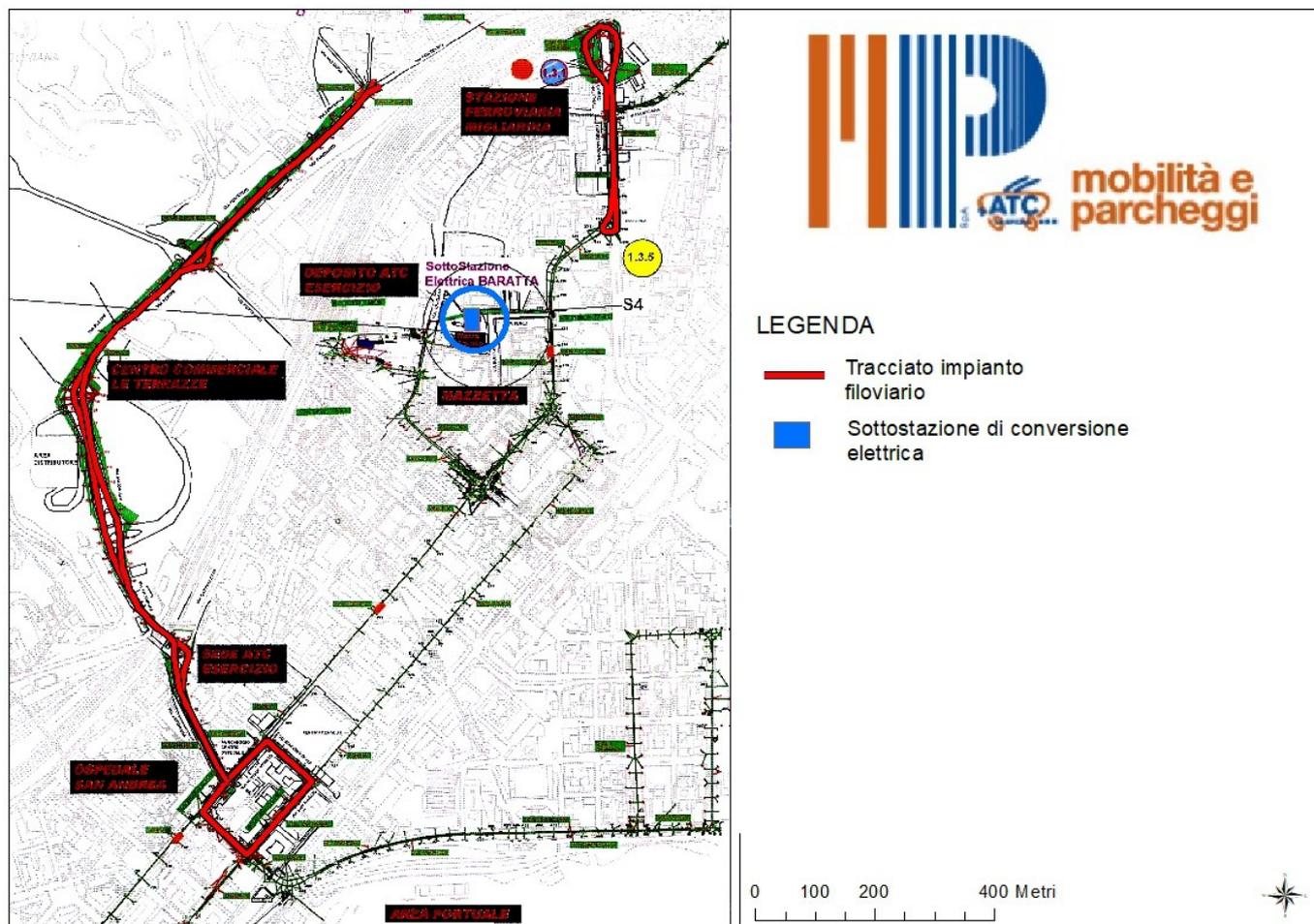


Fig. n. 18_ Schema progettuale delle opere previste

Le opere consisteranno essenzialmente nella posa di plinti di sostegno e ancoraggio (dimensioni di 2 x 2 x 2 m) dei pali di sostegno della della filovia, che saranno in acciaio con diametro massimo di 355 mm, spessore di 125 mm e altezza fuori terra massima di 9.500 mm. Questa altezza spiga le dimensioni e la profondità di appoggio del bulbo di ancoraggio costituito dal plinto cubico utilizzato.

Relativamente alla realizzazione della nuova sottostazione, le opere saranno più semplici in quanto si opererà solo con la rimozione di un cotico superficiale di terreno pari a circa 60 cm, su cui dopo il livellamento e la posa di un livello di pietriscone si provvederà a poggiare un solettone in cls armato di 40 cm di spessore su cui verrà poggiato il container metallico con pianta rettangolare (10 x 6 x 3 m), costituente il nuovo locale tecnico. I bilanci tra il peso del terreno rimosso, il peso della fondazione, il peso del container e delle attrezzature interne, porta ad un aggravio di peso pari a 28.900 kg, distribuiti su 60 mq, costituenti un peso del tutto sostenibile anche per i terreni scadenti presenti in loco.

Anche in questo caso non sussistono problematiche di dissesto in atto o che potrebbero essere innescate dalle lavorazioni previste, per cui non si hanno particolari prescrizioni ed indicazioni operative. L'unica criticità

evidenziata è relativa al fatto che l'area è adiacente ad un settore in Fascia A **Fascia A** (pericolosità idraulica molto elevata (**Pi3**): aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=50$ anni). Occorrerà quindi realizzare l'opera con riguardo a tale problematica per ridurre il rischio di danneggiamento dei trasformatori rispetto ad eventuali esondazioni che raggiungessero il fabbricato, ad esempio sollevandolo il più possibile rispetto al piano del parcheggio e in alternativa se possibile collocare le attrezzature interne su di un piano leggermente sollevato.

Concludiamo infine dicendo che le modalità di intervento previste, pur imponendo scavi sensibili e significativi, non andranno ad alterare l'assetto geomorfologico dei luoghi, che appare comunque stabile e non suscettibile al dissesto, come emerge dalla cartografia pianificatoria esistente e dal rilievo svolto.

Relativamente alle problematiche di tipo idraulico, l'area ricade nel **Piano di Bacino Ambito 20**, in cui si specifica all'**art. 5 bis** (*Indirizzi tecnici vincolanti volti alla mitigazione degli effetti della impermeabilizzazione dei suoli*), che dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti affinché il bilancio idrico dell'area non venga sensibilmente modificato dai lavori previsti, mediante interventi ed opere di mitigazione (piantumazione, inerbimenti, ecc..).

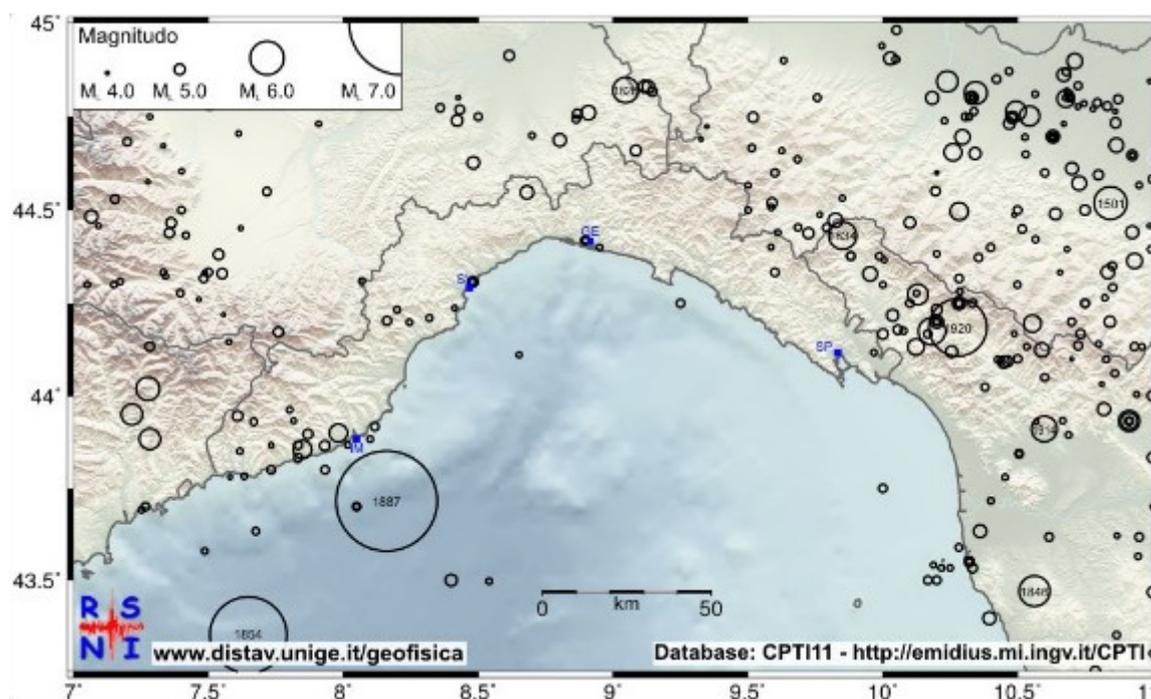


Fig. n. 19 - Terremoti registrati e significativi dell'area ligure con $M > 4$

9. CENNI SULLA SISMICITA' STORICA DEL SITO

La regione Liguria è interessata da una sismicità medio - bassa in rapporto alla sismicità nazionale, con terremoti storici significativi di magnitudo generalmente compresa tra 4 e 5

REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
 RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

I terremoti più intensi, di cui il territorio ligure ha risentito, si sono verificati lungo il crinale appenninico tosco emiliano, quest'ultimo risente di due importanti zone sismogenetiche della Toscana: il Mugello e la Garfagnana.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of La Spezia
 PlaceID IT_34214
 Coordinates (lat, lon) 44.105, 9.819
 Municipality (ISTAT 2015) La Spezia
 Province La Spezia
 Region Liguria
 No. of reported earthqu 59

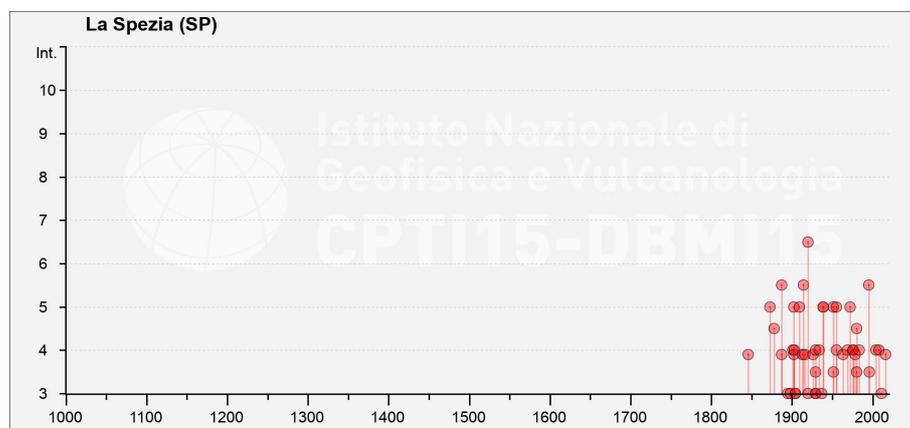
Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	DepDef	IoDef	MwDef
F	1191	1846	8	14	12			Colline Pisane	43,47	10,56		9	6,04
NF	1262	1857	2	1				Parmense-Reggiano	44,75	10,48		6-7	5,11
5	1363	1873	9	17				Appennino tosco-ligure	44,23	9,86		6-7	5,26
4-5	1411	1878	9	10	13	31		Lunigiana	44,22	10,04		6-7	4,98
5-6	1524	1887	2	23	5	21		50Liguria occidentale	43,89	7,99		9	6,27
F	1527	1887	2	24	1	50		Riviera italo-francese	43,7	7,27		4	4,59
2	1546	1889	3	8	2	57		4Bolognese	44,36	11,31		5	4,53
NF	1558	1889	12	8				Gargano	41,83	15,69		7	5,47
3	1653	1895	5	18	19	55		12Fiorentino	43,7	11,26		8	5,5
3	1726	1898	3	4	21	5		Parmense	44,66	10,26		7-8	5,37
4	1802	1901	10	30	14	49		58Garda occidentale	45,58	10,49		7-8	5,44
5	1813	1902	8	4	22	36		10Lunigiana	44,11	10,28		6	4,78
F	1818	1902	12	4	16	35		1Lunigiana	44,12	10,13		5	4,35
4	1832	1903	7	27	3	46		Lunigiana	44,33	9,95		7-8	5,19
3	1854	1904	6	10	11	15		28Frignano	44,2	10,84		6	4,82
3	1867	1904	11	17	5	2		Pistoiese	43,97	10,82		7	5,1
5	1976	1909	1	13	0	45		Emilia Romagna orienta	44,58	11,69		6-7	5,36
2-3	2033	1911	2	19	7	18		30Forlivese	44,12	12,07		7	5,26
F	2089	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	44,55	10,2		4-5	4,65
5-6	2106	1914	10	27	9	22		Lucchese	43,91	10,6		7	5,63
F	2164	1916	8	16	7	6		14Riminese	44,02	12,74		8	5,82
6-7	2261	1920	9	7	5	55		40Garfagnana	44,19	10,28		10	6,53
3	2269	1920	12	27	16	19		Garfagnana	44,16	10,19		4	3,7
2	2280	1921	11	29	12	4		Val di Taro	44,63	9,7		4	4,15
F	2352	1926	11	18	22	57		Lunigiana	44,31	9,79		5	4,25
2-3	2383	1928	8	3	23	9		Lunigiana	44,13	10,2		5	4,26
3	2394	1929	4	19	4	16		Bolognese	44,5	11,2		6-7	5,13

REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
 RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

4	2396	1929	4	20	1	10	Bolognese	44,48	11,15		7	5,36
3-4	2400	1929	4	29	18	36	Bolognese	44,49	11,11		6	5,2
3	2403	1929	5	11	19	23	Bolognese	44,48	11,11	6-7		5,29
4	2488	1934	6	13	9	6	Val di Taro-Lunigiana	44,44	9,73		6	5,14
3	2533	1937	12	10	18	4	Frignano	44,33	10,83		6	5,3
5	2554	1939	10	15	14	5	Garfagnana	44,13	10,26	6-7		4,96
5	2555	1939	10	31	6	47	Lunigiana	44,11	10,07	5-6		4,85
2-3	2668	1950	4	1			Livornese	43,39	10,46		6	4,99
3-4	2681	1951	5	15	22	54	Lodigiano	45,23	9,62	6-7		5,17
5	2688	1951	8	12	21	19	Garfagnana	44,03	10,38		5	4,59
5	2728	1955	4	11	15	24	Liguria orientale	44,14	9,89		5	4,07
4	2738	1955	12	13	17	4	Lunigiana	44,19	10,09		5	4,53
2	2774	1957	8	27	11	54	Appennino modenese	44,4	11		5	4,73
F	2870	1963	7	19	5	46	1,5 Mar Ligure	43,34	8,12			5,95
4	2979	1969	1	6	22	3	28 Appennino pistoiese	44,05	10,73	6-7		4,67
2	3040	1971	9	25	10	34	2,4 Mar Ligure	44,11	8,65	2,7 5-6		4,33
5	3059	1972	10	25	21	56	11,31 Appennino settentrion:	44,5	9,87	67,2	5	4,87
4	3124	1976	5	6	20	0	13,17 Friuli	46,24	13,12	9-10		6,45
4	3141	1976	8	22	2	49	13 Alta Val di Taro	44,5	9,76		5	4,54
F	3203	1978	12	5	15	39	4 Romagna	44,12	11,89	4-5		4,61
2	3207	1978	12	25	22	53	41 Bassa modenese	44,85	10,99		5	4,39
4-5	3243	1980	6	7	18	35	1 Garfagnana	44,07	10,56	6-7		4,64
3-4	3300	1980	12	23	12	1	6 Piacentino	44,81	9,79	6-7		4,57
4	3380	1983	11	9	16	29	52 Parmense	44,76	10,27	6-7		5,04
NF	3388	1984	4	29	5	2	59 Umbria settentrionale	43,26	12,53		7	5,62
5-6	3778	1995	10	10	6	54	21,72 Lunigiana	44,11	10	4,8	7	4,82
2	3811	1996	7	11	19	9	26,37 Lunigiana	44,15	9,94	0,6	5	4,06
3-4	3815	1996	10	15	9	55	59,95 Pianura emiliana	44,8	10,68	1,3	7	5,38
4	4246	2004	11	24	22	59	38,55 Garda occidentale	45,69	10,52	5,4 7-8		4,99
4	4358	2008	12	23	15	24	21,77 Parmense	44,54	10,35	22,9 6-7		5,36
3	4457	2011	7	17	18	30	27,31 Pianura lombardo-vene	45,01	11,37	2,4	5	4,79
F	4673	2016	10	30	6	40	17,32 Valnerina	42,83	13,11	10		6,61

Dove I_0 ed M_w = Intensità e Magnitudo sismica epicentrale; I_s = Intensità sismica percepita

**Fig. n. 20 – Tabella e grafico reperiti
 dall'Archivio DBMI15, Database
 Macrosismico Italiano 2015
 Fornisce un set omogeneo di
 intensità macrosismiche provenienti
 da diverse fonti relativo ai terremoti
 con intensità massima ≥ 5 e
 d'interesse per l'Italia nella finestra
 temporale 1000-2014. consultabili al
 sito <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>**



La sismicità storica del Comune di La Spezia è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani, utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15. Il database è stato realizzato dall'INGV con il contributo della Protezione Civile.

Nella tabella precedente e nella **Fig. n. 21** sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono elencate oltre alla stessa intensità al sito (Is), l'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Nell'elenco ovviamente compaiono anche eventi fuori dal territorio di interesse, che però sono stati percepiti ed hanno avuto ripercussioni sulla zona in esame.

La Provincia di La Spezia è soggetta ad un'attività sismica medio-bassa, indotta dai frequenti e storicamente documentati terremoti, con epicentro nell'ambito del territorio provinciale, e di riflesso dagli eventi più intensi provenienti dalle province limitrofe.

Località	Prov	Imax	EQs
Albiano Magra	MS	5	2
Ameglia	SP	6	6
Arcola	SP	5	4
Beverino	SP	4-5	4
Bolano	SP	7	5
Caprigliola	MS	7	1
Ceparana	SP	7	2
Chiappa	SP	6	1
Follo (Piano di Follo)	SP	2	2
Follo Monte	SP	5	2
Garbugliaga	SP	6-7	1
La Spezia	SP	6-7	59
Le Piane di Fabiano	SP	5	2
Lerici	SP	6	13
Madrignano	SP	6-7	1
Migliarina	SP	6-7	1
Montemarcello	SP	5	2
Palmaria	SP	4-5	2
Pignone	SP	6	2
Portovenere	SP	5	8
Riccò del Golfo di Spezia	SP	5	2
Riomaggiore	SP	3	7
San Terenzo	SP	5	1
Santo Stefano di Magra	SP	7	6
Sarzana	SP	7	42
Stadomelli	SP	7	1
Terrizzo	SP	5	1
Varignano	SP	4	1
Vernazza	SP	6-7	4
Vezzano Ligure	SP	5	7

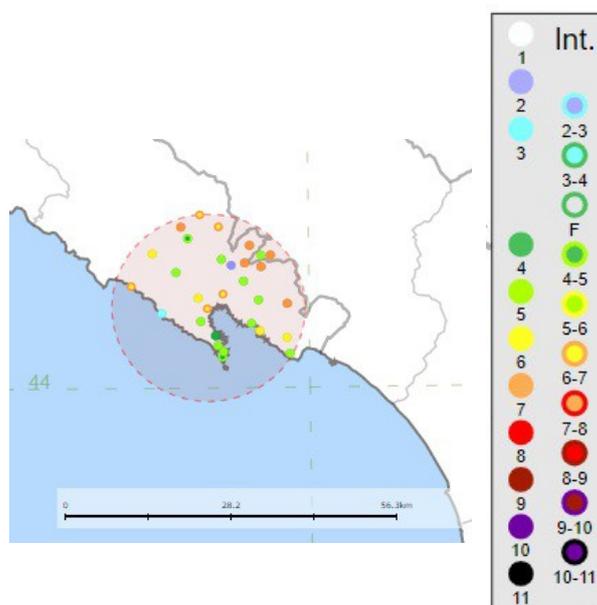


Fig. n. 21 – distribuzione ed intensità dei terremoti avvenuti nell'intorno dell'area di studio

Nel complesso il territorio provinciale può essere ritenuto potenzialmente pericoloso, anche se esso è caratterizzato da una sismicità molto bassa.

Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di La Spezia il Database Macrosismico DBMI15, utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI15 (Luglio 2016 *Rovida A., Locati M., Camassi R., Lollì*

B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>) documenta eventi sismici giungenti al 9° - 10° grado della Scala Mercalli – Cancani – Sieberg, con intensità massima corrispondente ad $M > 6$ e M_w pari a 6.61, come evidenziato nella tabella precedente, estratta dal suddetto catalogo. La sismicità del territorio comunale e dei terremoti di cui esso ha risentito è riassunta nel diagramma nelle **Fig. n. 19, 20 e 21**

8.1 ZONIZZAZIONE SISMICA NAZIONALE E REGIONALE

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 – 2000), che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). in seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.03.2003 n. 3274, è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'O.P.C.M. 20.03.2003 n. 3274. rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, Aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici”.

Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola, anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti.

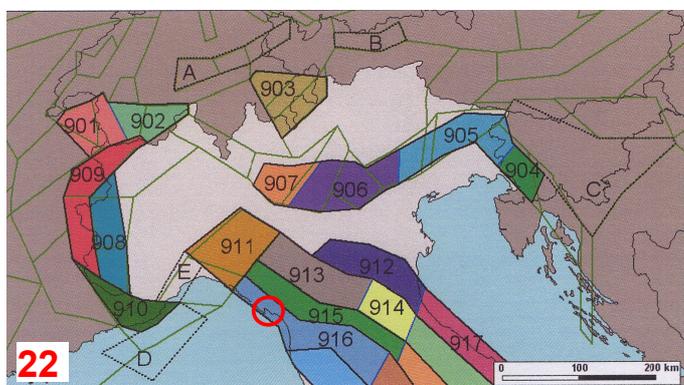
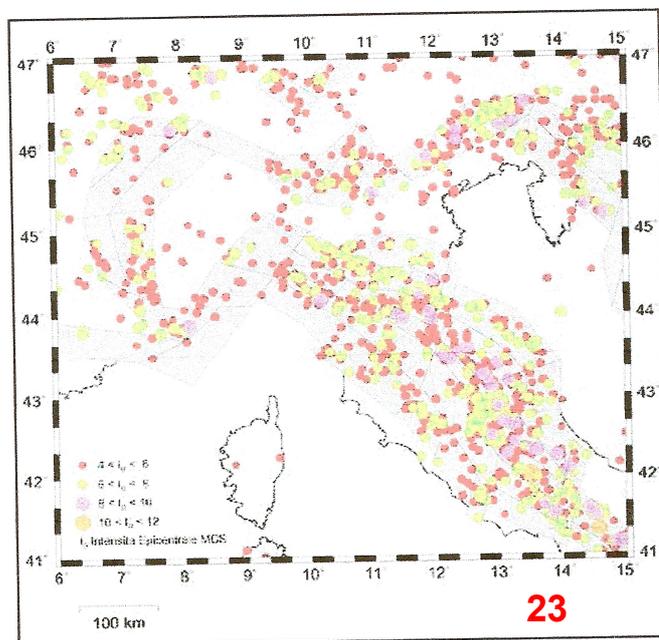


Fig. n. 22 e 23 - 22) Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004), cerchiata in rosso la zona di interesse; 23) Zone sismogenetiche e principali epicentri sul territorio italiano



La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le

informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – IV grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

L'area che interessa lo Studio si colloca in un settore contenuta nella Zona 916.

La zona 916 fa parte del Complesso “Appennino settentrionale e centrale” (Zone che vanno dalla 911 alla 923 (**Fig. n. 22 e 23**)). Ogni Zona sismogenetica è caratterizzata da un preciso modello cinematico il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che su quello europeo. Sulla base di tali Zone, per tutto il territorio nazionale, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica.

Nella Zona sismogenetica 916 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo inferiori $M_{WMAX} = 5,60$.

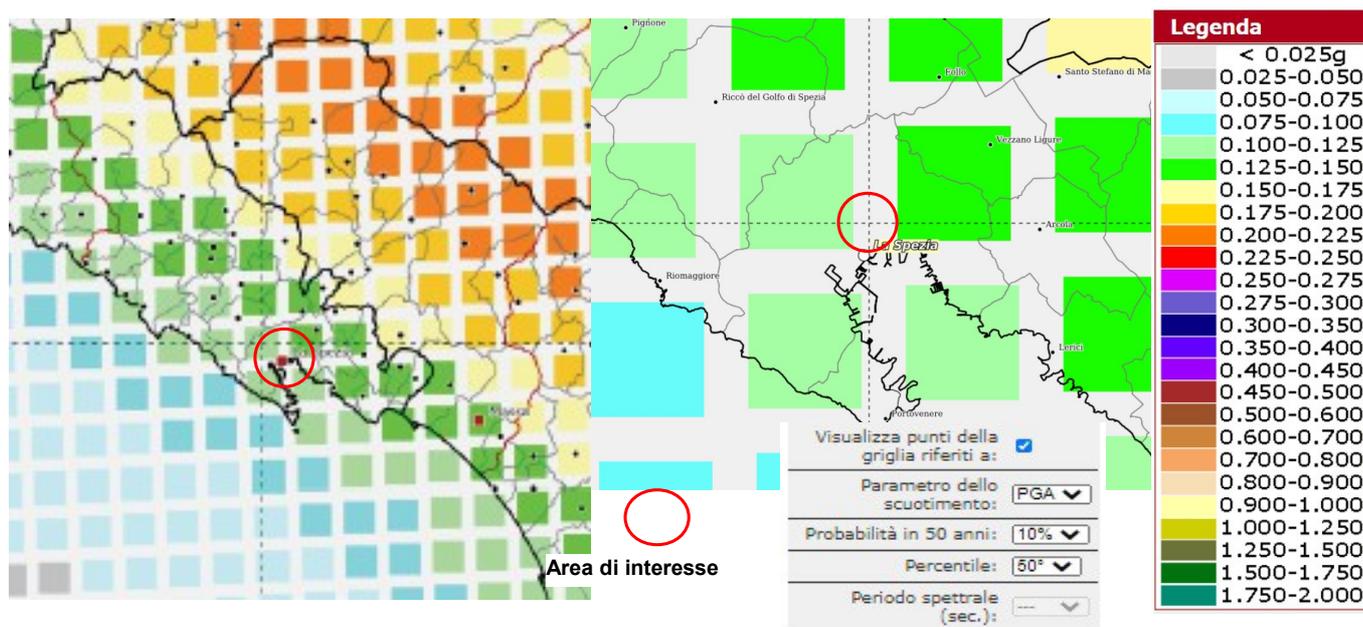


Fig. n. 24 – a) Carta di pericolosità sismica del territorio regionale espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni). Le aree a diverso PGA sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi. b) Mappa di pericolosità sismica ricavata dal sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV

La sismicità dell'area è essenzialmente legata al Sistema Sismico della Val di Vara a cui appartiene la Faglia della Spezia (FdS) già segnalata nella Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale da Bartolini et al. (1982, **Fig. n. 25**).

I terremoti che si registrano hanno area epicentrale a meno di 10 km di distanza sono generalmente con magnitudo compresa tra 4 e 5 e si sviluppano (**Fig. n. 26**).

Il risultato è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.

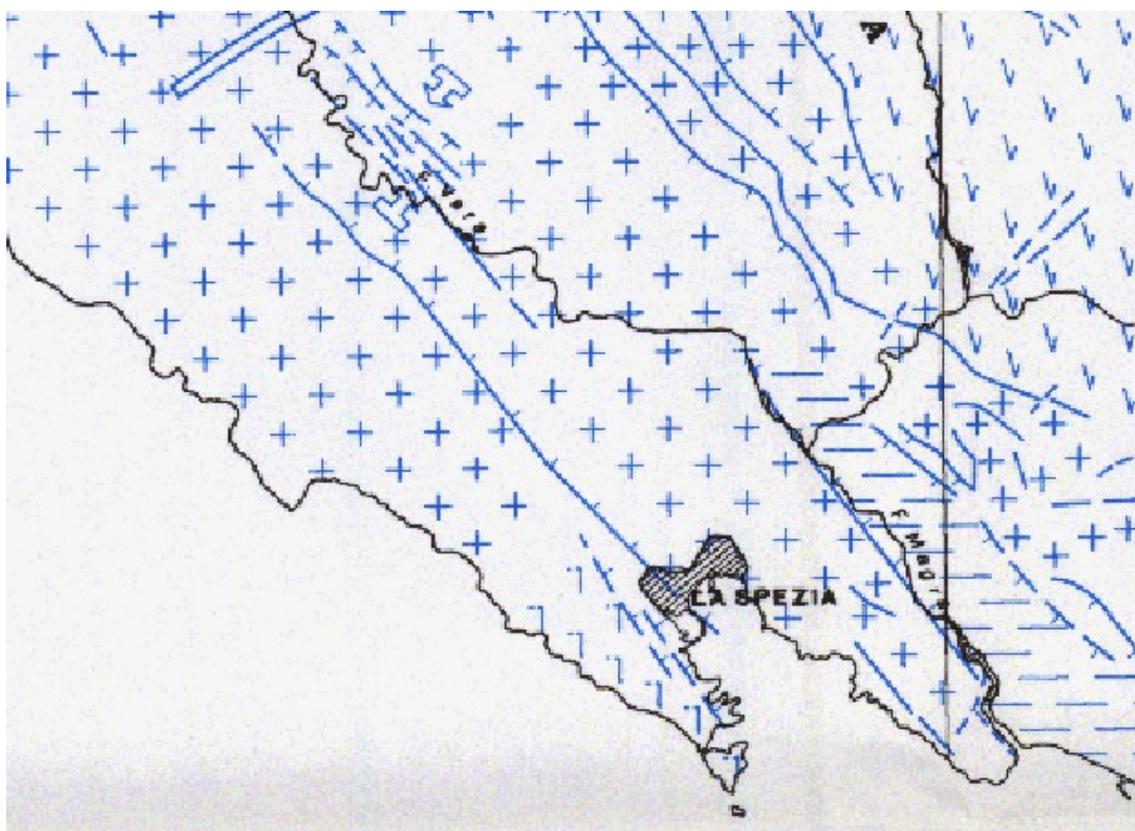
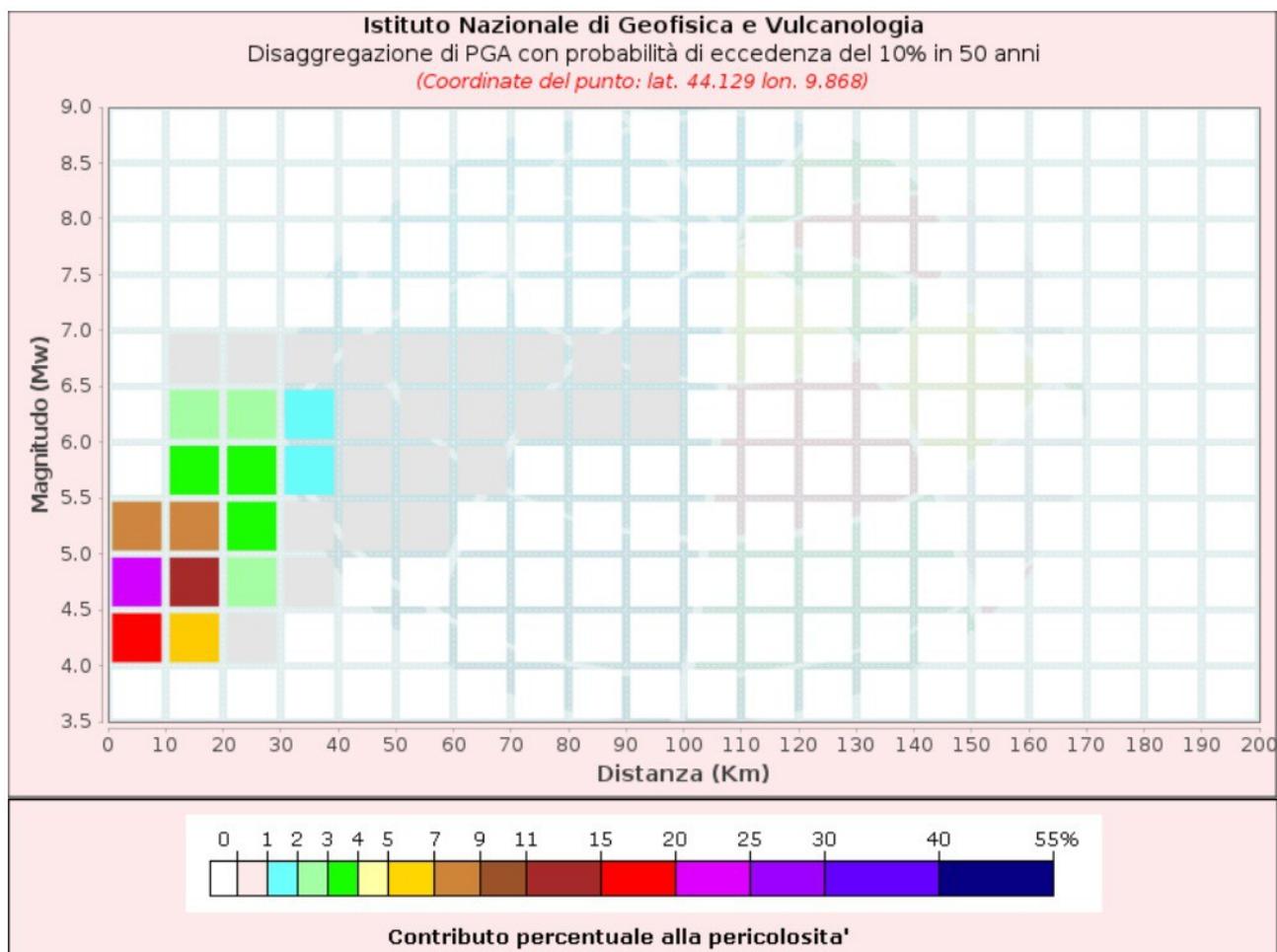


Fig. n. 25_ Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale (Bartolini et al., 1982). Intervallo IV+V – Pleistocene medio superiore – Olocene. È segnalato un sollevamento differenziale dei due blocchi di tetto e di letto della Faglia della Spezia.



Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.96	12.5	1.1

Fig. n. 26_ Grafico di disaggregazione Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon. Dal grafico si evince che il maggior contributo alla pericolosità sismica del sito è causato da terremoti registrati entro 10 km d distanza e con magnitudo (Mw) compresa tra 4,5 e 5,0

Il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone (o categorie) contraddistinte da differenti valori di PGA secondo la tabella seguente:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	<0.05

La riclassificazione sismica del territorio nazionale, attribuisce il Comune di La Spezia alla **Zona 3** con grado di sismicità, riferito alla previgente normativa, equivalente agli ambiti con **S = 6**.

L'azione sismica per detta zona, prevede un'accelerazione orizzontale massima (Tab. 3.2.1. G.U. n. 222 23/09/2005) equivalente ad: **ag = 0,15g**. Per tale zona l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g] è compresa tra **0,05** e **0,15** e l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ag/g] è pari a **0,15**.

L'elaborazione dei parametri della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta INGV (2004) e riportata nell'OPCM 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", identifica, per la fascia territoriale in oggetto, valori di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra **ag = 0,100-0,125g e 0,125g – 0,150g** (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV. **Fig. n. 25**).

Al Comune della Spezia, come da elenco Comuni contenuto nell'Allegato7 alla OPCM e come visibile da **Fig. n. 24**, viene assegnata una pericolosità espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni pari ad **Ag = 0,150** corrispondente al colore verde vivo sulle mappe.

10. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

10.1 CALCOLO Vseq

Per arrivare alla determinazione dell'azione sismica di progetto, il D.M.17.01.18 prevede una classificazione dei terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni ed il bedrock sulla base di Vseq, se nei primi 30 m di profondità è presente un orizzonte con Vs > 800 m/s o sulla base di Vs30, se tale orizzonte è assente e H = 30 m.

La determinazione del parametro Vs30 e la definizione della categoria topografica, sono propedeutici alla definizione dello spettro di risposta elastico secondo quanto previsto dalle norme.



Foto n. 6_ Fase di registrazione del rumore sismico di fonda durante l'esecuzione della prova HVSR1

Lo studio svolto e la prova eseguita hanno consentito di definire il parametro impiegando la formula riportata nel D.M. 17.01.18:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

da intendersi come la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi H o 30 m di sottosuolo, dove h_i e V_i , indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di di N strati presenti nei primi H o 30 m di profondità.

I risultati delle indagini sismiche HVSR sono sviluppati e descritti nell'Allegato B fuori testo.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori (quota iniziale = p.c.):

$$\mathbf{HVSR1 \ H = 20 \ \rightarrow \ V_{sH} = V_{seq} = 261 \ m/s}$$

$$\mathbf{HVSR2 \ H > 30 \ \rightarrow \ V_{s30} = 373 \ m/s}$$

$$\mathbf{HVSR3 \ H > 30 \ \rightarrow \ V_{s30} = 246 \ m/s}$$

$$\mathbf{HVSR4 \ H > 30 \ \rightarrow \ V_{s30} = 293 \ m/s}$$

$$\mathbf{HVSR5 \ H = 30 \ \rightarrow \ V_{sH} = V_{seq} = 277 \ m/s}$$

Per **HVS1** e **HVSR5** corrisponde la categoria di suolo di fondazione di **tipo E** descritto nella tabella seguente (D.M. 17.01.18, punto 3.2.2. - Tabella 3.2.II).

Per **HVSR2** corrisponde la categoria di suolo di fondazione di **tipo B** descritto nella tabella seguente (D.M. 17.01.18, punto 3.2.2. - Tabella 3.2.II).

Per **HVSR3** e **HVSR4** corrisponde la categoria di suolo di fondazione di **tipo C** descritto nella tabella seguente (D.M. 17.01.18, punto 3.2.2. - Tabella 3.2.II).

In considerazione della ampia estensione areale delle opere in progetto e non potendo studiare nel dettaglio l'intera superficie di interesse, si è proceduto sulla base delle conoscenze acquisite con le prove sismiche e penetrometriche svolte e dei dati presenti bibliografia sull'area spezzina, individuando delle zone omogenee, con analoghe e paragonabili caratteristiche sismostratigrafiche, all'interno delle quali si è potuto estendere ed applicare il risultato puntuale ottenuto dalle prove. Come detto tale attività è avvenuta interpretando il dato sismico alla luce delle conoscenze geologiche acquisite (**Fig.n. 27**).

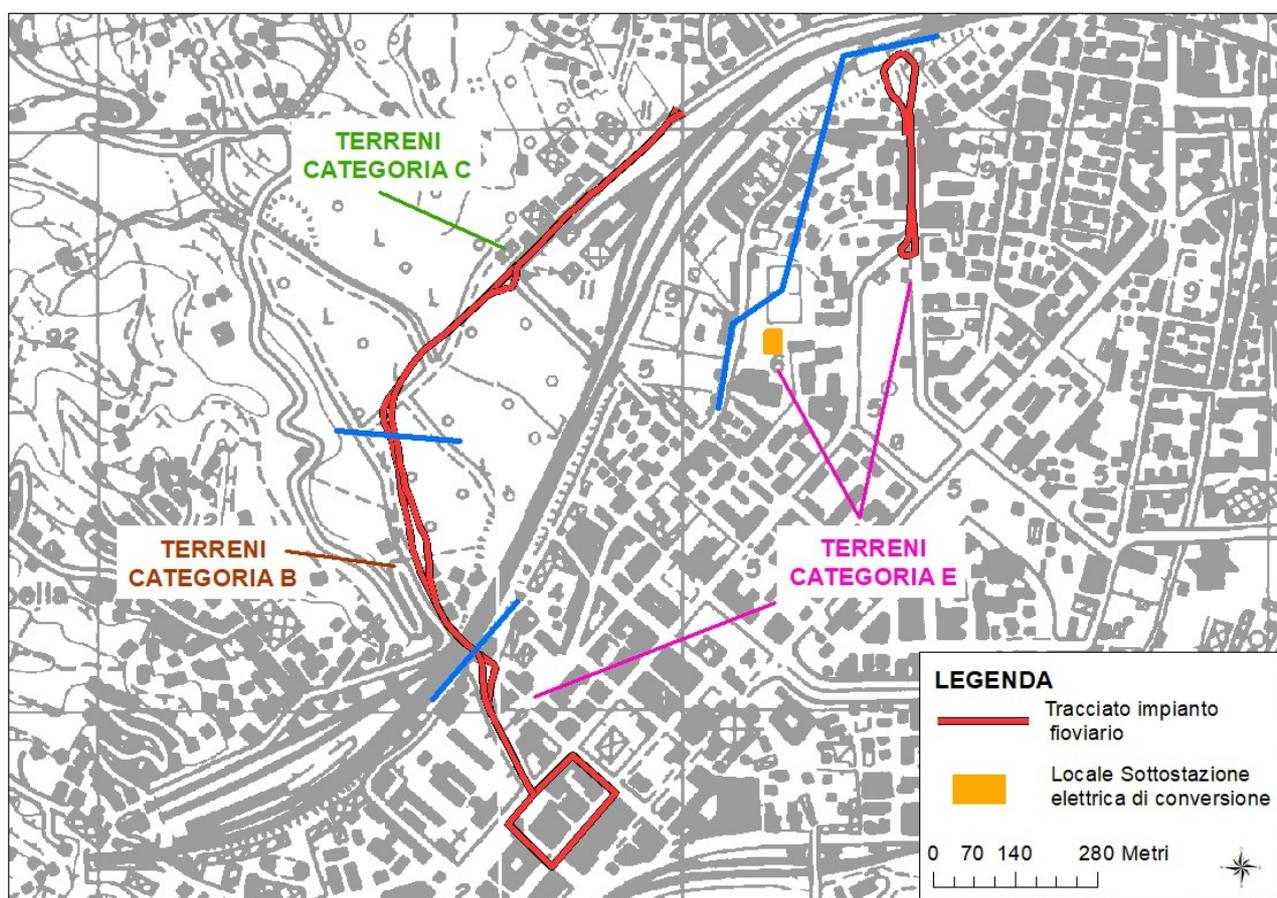


Fig. n. 27_ Individuazione delle aree omogenee con riferimento alla Categoria di suolo individuata per mezzo delle prove svolte e sulla base del D.M. 17.01.2018 e relativi settori degli interventi previsti ricadenti in ciascuna di esse

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

Tabella_ Categoria suolo di fondazione

10.2 PERICOLOSITA' SISMICA

La pericolosità sismica si quantifica in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A (Par. 3.2.2 D.M. 17.01.18), e in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento PVR (Par. 3.2.1) nel periodo di riferimento VR (Par. 2.4). Per la definizione dello spettro elastico e delle differenti modalità applicative si rimanda ai punti 3.2.3.2.1 e 3.2.3.2.2 del citato decreto (D.M. 17.01.18).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e delle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di 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.

Questi parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano tra loro più di 10 Km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni). Per la definizione dei parametri sismici del sito si è fatto riferimento al software GEOSTRU:

**REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA**

Localizzazione:

Sito in esame.	Siti di riferimento	Parametri sismici
latitudine: 44,10829	Sito 1 ID: 18262 Lat: 44,1272 Lon: 9,7987 Distanza: 2264,330	Categoria sottosuolo: B, C, E
longitudine: 9,809329	Sito 2 ID: 18263 Lat: 44,1293 Lon: 9,8683 Distanza: 5255,478	Categoria topografica: T1
Classe: 3	Sito 3 ID: 18485 Lat: 44,0794 Lon: 9,8712 Distanza: 5896,802	Periodo di riferimento: 75anni
Vita nominale: 50	Sito 4 ID: 18484 Lat: 44,0772 Lon: 9,8018 Distanza: 3507,254	Coefficiente cu: 1,5

Suolo B

Operatività (SLO):	Danno (SLD):	Salvaguardia della vita (SLV):	Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 81%	Probabilità di superamento: 63%	Probabilità di superamento: 10%	Probabilità di superamento: 5%
Tr: 30[anni]	Tr: 50[anni]	Tr: 475[anni]	Tr: 975[anni]
ag: 0,040 g	ag: 0,050 g	ag: 0,122 g	ag: 0,157 g
Fo: 2,534	Fo: 2,519	Fo: 2,403	Fo: 2,379
Tc*: 0,223[s]	Tc*: 0,244[s]	Tc*: 0,291[s]	Tc*: 0,298[s]

Coefficienti sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200
Cc: 1,490	Cc: 1,460	Cc: 1,410	Cc: 1,400
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,010	Kh: 0,012	Kh: 0,035	Kh: 0,045
Kv: 0,005	Kv: 0,006	Kv: 0,018	Kv: 0,023
Amax: 0,468	Amax: 0,585	Amax: 1,434	Amax: 1,849
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,240

Suolo C

Operatività (SLO):	Danno (SLD):	Salvaguardia della vita (SLV):	Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 81%	Probabilità di superamento: 63%	Probabilità di superamento: 10%	Probabilità di superamento: 5%
Tr: 30[anni]	Tr: 50[anni]	Tr: 475[anni]	Tr: 975[anni]
ag: 0,040 g	ag: 0,050 g	ag: 0,122 g	ag: 0,157 g
Fo: 2,534	Fo: 2,519	Fo: 2,403	Fo: 2,379
Tc*: 0,223[s]	Tc*: 0,244[s]	Tc*: 0,291[s]	Tc*: 0,298[s]

Coefficienti sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,480
Cc: 1,720	Cc: 1,670	Cc: 1,580	Cc: 1,570
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,012	Kh: 0,015	Kh: 0,044	Kh: 0,056
Kv: 0,006	Kv: 0,007	Kv: 0,022	Kv: 0,028
Amax: 0,585	Amax: 0,732	Amax: 1,793	Amax: 2,280
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,240

Suolo E

Operatività (SLO):	Danno (SLD):	Salvaguardia della vita (SLV):	Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 81%	Probabilità di superamento: 63%	Probabilità di superamento: 10%	Probabilità di superamento: 5%
Tr: 30[anni]	Tr: 50[anni]	Tr: 475[anni]	Tr: 975[anni]
ag: 0,040 g	ag: 0,050 g	ag: 0,122 g	ag: 0,157 g
Fo: 2,534	Fo: 2,519	Fo: 2,403	Fo: 2,379
Tc*: 0,223[s]	Tc*: 0,244[s]	Tc*: 0,291[s]	Tc*: 0,298[s]

Coefficienti sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,600	Ss: 1,600	Ss: 1,600	Ss: 1,590
Cc: 2,100	Cc: 2,020	Cc: 1,880	Cc: 1,870
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,013	Kh: 0,016	Kh: 0,047	Kh: 0,060
Kv: 0,006	Kv: 0,008	Kv: 0,023	Kv: 0,030
Amax: 0,624	Amax: 0,780	Amax: 1,912	Amax: 2,450
Beta: 0,20	Beta: 0,200	Beta: 0,24	Beta: 0,240

Il D.M. del 2008, introduce il parametro S, poi ripreso dal D.M. 17.01.2018 che amplifica il valore dell'azione sismica di progetto, variabile sia sulla base della Categoria del suolo di fondazione che delle condizioni topografiche del sito, mediante la seguente relazione:

$$S = S_s * S_T$$

Dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica; S_T = coefficiente di amplificazione topografica

Il coefficiente S_s per la **Categoria di suoli B** viene determinato mediante l'espressione (Tab. 3.2.V):

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 * F_0 * ag/g \leq 1,20$$

per la **Categoria di suoli C** l'espressione diventa a seguente:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 * F_0 * ag/g \leq 1,50$$

e per la **Categoria di suoli E** diventa a seguente:

$$1,00 \leq 2,00 - 1,10 * F_0 * ag/g \leq 1,60$$

Mentre il coefficiente S_T per la categoria topografica T1, che accomuna tutti i punti di interesse, viene assunto pari a 1,00 (Tab. 3.2.VI)

Pertanto nei casi in esame considerando:

Suolo B e SLV $S = S_s * S_T = 1,20 * 1,00 = 1,20$

Suolo C e SLV $S = S_s * S_T = 1,50 * 1,00 = 1,50$

Suolo E e SLV $S = S_s * S_T = 1,60 * 1,00 = 1,60$

Tale parametro S fornisce il valore dell'amplificazione S dello scuotimento sismico, necessario per valutare l'accelerazione massima attesa in superficie attraverso la seguente relazione:

$$a_{max} = S \times a_g$$

In caso di Salvaguardia della vita (SLV) con Probabilità di superamento pari al 10%

$$a_{max} = S \times a_g = 1,20 \times 0,122g = 0,1464g \text{ per terreni Categoria B}$$

$$a_{max} = S \times a_g = 1,50 \times 0,122g = 0,183g \text{ per terreni Categoria C}$$

$$a_{max} = S \times a_g = 1,60 \times 0,122g = 0,1952g \text{ per terreni Categoria E}$$

10,3 VERIFICA DELLA POSSIBILITA' DELL'OCCORENZA DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

I depositi e i terreni presenti hanno caratteristiche granulometriche e tessiturali tali da poter essere ritenuti non liquefacibili, con assenza di significativi livelli sabbiosi e presenza di limi, limi argillosi, torbe, torbe argillose e limi sabbiosi talora con presenza di ghiaie, per cui il rischio di liquefazione è molto ridotto o assente. Tuttavia, in favore di sicurezza, si è proceduto lo stesso al calcolo nel modo seguente

L'analisi della possibilità di liquefazione dei terreni in esame si è basata sul modello geotecnico ricostruito in relazione.

Attraverso l'analisi delle curve granulometrie costruite mediante campioni analoghi a quelli esaminati, si è verificata l'assenza di sabbie uniformi in falda che potrebbero generare il fenomeno della liquefazione.

Si è poi costruito un modello numerico sulla base delle formulazioni di Seed e Idriss.

L'elaborazione si è basata sui seguenti dati:

Profondità di calcolo = 15 m

Profondità della falda da p.c. = 2 m

Peso di volume del terreno = 1,8 T/mc

Numero di colpi SPT o SCPT = 14

Frazione argillosa = 40%

Accelerazione sismica massima = 0,193 g

Dati di calcolo:

Pressione totale del terreno = 2,7 kg/cmq

Pressione efficace del terreno = 1,4 kg/cmq

Fattore correttivo per la frazione argillosa = 8%

Numero di colpi standard corretto = Na = 19,3

Resistenza alla liquefazione (R) = 0,2681

Sforzo di taglio normalizzato = 0,1875

Coefficiente di sicurezza (Fs = R/T) = 1,43

Anche dal modello di calcolo di Seed e Idriss i terreni non risultano liquefacibili.

11. CONCLUSIONI

I rilievi svolti, lo studio di elaborati bibliografici e l'esecuzione di indagini in situ hanno permesso di acquisire una soddisfacente conoscenza delle caratteristiche stratigrafiche e sismiche del sito, non sollevando particolari criticità idrogeologiche e permettendo di concludere che l'area di intervento appare stabile e sicura.

Ad integrazione dei dati esistenti in letteratura, è stata programmata ed eseguita una campagna di indagini in situ.

Nell'area sono state eseguite indagini sia di tipo **sismico che di tipo geotecnico** (indirette), in particolare: n° 5 stazioni di misura con tecnica di analisi dei microtremori HVSR (Horizontal to vertical spectral ratio) e n° 5 prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH.

I valori ottenuti sono stati poi confrontati e integrati con valori bibliografici derivati da sondaggi a carotaggio continuo e relative prove di laboratorio da campioni indisturbati.

I dati sopra descritti sono riferiti a terreni limitrofi ed analoghi dal punto di vista stratigrafico, litotecnico e geotecnico. I valori sono stati confrontati anche con numerose altre indagini provenienti dalla zona est dell'area urbanizzata della Spezia.

L'analisi statistica dei valori ottenuti ha condotto poi alla definizione dei parametri geotecnici caratteristici dei vari strati, con conseguente raggruppamento dei medesimi per caratteristiche litologiche e geotecniche analoghe e/o omogenee.

La sintesi complessiva è consistita nella costruzione di un modello geologico-tecnico attraverso la definizione di 3 unità geotecniche funzionali, contraddistinte da parametri geotecnici comuni, ciascuna delle quali riferibile ad un determinato settore di intervento (**Fig. n. 17**).

Area geotecnica di tipo 1

- **Unità geotecnica 1a (0.00 m – 1,50 m)**
Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.
- **Unità geotecnica 1b (1.50 m – 5,00 m)**
Limo sabbioso con argilla e lenti ghiaiose.
- **Unità geotecnica 1c (5,00 m – 15,00 m)**
Argille limose con sabbie molli.
- **Unità geotecnica 1d (15.00 m – 20,00 m)**
Argilla sabbiosa compatta con ghiaia.

Area geotecnica di tipo 2

- **Unità geotecnica 2a (0.00 m – 1,50 m)**
Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.

- **Unità geotecnica 2b (1.50 m – 7,00 m)**
Ghiaie, sabbie e limi, il deposito risulta matrice-sostenuto, debolmente alterato e di colore rossastro.
- **Unità geotecnica 2c (7,00 m – 14,00 m)**
Limi sabbiosi molli.
- **Unità geotecnica 2d (14.00 m – 19,00 m)**
Argilla sabbiosa compatta con ghiaia.

Area geotecnica di tipo 3

- **Unità geotecnica 3a (0.00 m – 1,50 m)**
Ghiaia sabbiosa, il deposito risulta eterogeneo e clasto-sostenuto.
- **Unità geotecnica 3b (1.50 m – 10,00 m)**
Ghiaie, sabbie e limi, il deposito risulta matrice-sostenuto, debolmente alterato e di colore rossastro.

L'esecuzione di prove in situ ha permesso inoltre di individuare il **livello della falda freatica** nella zona.

Il livello della falda superficiale, nonostante la vastità dell'area investigata, risulta piuttosto omogeneo, è stato infatti rinvenuto (prove DPSH e censimento scavi) ovunque a circa 1-2 m da p.c.

La sintesi complessiva dei valori, rappresentata in **Fig. n. 15** nella "Carta delle isofreatiche", ben rappresenta il fenomeno.

Il livello di base risulta essere quello marino; l'evidente cambio di gradiente dovrebbe essere indotto da cambiamenti della permeabilità fra i materiali che costituiscono i terreni a nord e a sud rispetto allo sviluppo dell'area in progetto.

Si nota inoltre il controllo geomorfologico sulla forma del piano d'acqua, esso corrisponde al passaggio fra materiali geotecnici differenti.

In conseguenza di quanto descritto si consiglia, in fase progettuale, di valutare l'eventuale interferenza fra le strutture di fondazione della rete filoviaria e il livello superficiale della falda freatica.

Appare inoltre necessario segnalare che la posizione della "sottostazione di conversione elettrica" risulta in **area a rischio idraulico** alto (Ri3).

Al fine di mitigare il rischio che deriva dalla condizione precedente, risulta opportuno prevedere un eventuale e coerente innalzamento della struttura e delle attrezzature interne ad essa dal livello di p.c. in progetto.

In tutte le aree interessate dal progetto il conferimento delle acque dovrà essere coerente con la rete di raccolta pubblica.

A tale rete faranno riferimento eventuali nuove strutture di raccolta delle acque meteoriche che si rendessero necessarie.

L'insieme delle attività prodotte ha permesso di raggiungere un'adeguata conoscenza dei luoghi di indagine, consentendo di produrre una corretta **caratterizzazione stratigrafica, idrogeologica e geotecnica** del sottosuolo interessato dall'intervento in progetto.

L'intervento in esame appare compatibile con lo stato dei luoghi e le opere ad esso connesse appaiono sostenibili.

I lavori previsti non comporteranno scavi e movimenti terra significativi ed avranno impatto minimo sui luoghi in quanto non modificheranno l'assetto e l'andamento del profilo dei terreni

I terreni di sedime, seppur caratterizzati da medie proprietà geomeccaniche, come descritte nei capitoli precedenti, sono comunque idonei a sostenere i modesti carichi previsti.

I carichi indotti dalle varie strutture in progetto, inoltre, grazie ai tipi di strutture fondali ipotizzate, saranno distribuiti e trasferiti uniformemente sul terreno.

Il territorio del Comune della Spezia nella recente classificazione sismica nazionale è stato attribuito alla Zona 3.

Il suolo di fondazione, in riferimento alla normativa tecnica adottata (O.P.C.M. 3274/2003), è stato determinato sulla base di n. 5 stazioni di registrazione del rumore sismico con analisi dei microtremori di tipo HVSR, che hanno fornito i seguenti risultati

- | | |
|--|--------------|
| • HVSR1 $V_{seq} = 261$ m/s; f_0 (Peak HVSR value) = 4,7 hz; | Suolo tipo E |
| • HVSR2 $V_{s30} = 373$ m/s; $f_0 = 3,2$ hz; | Suolo tipo B |
| • HVSR3 $V_{s30} = 246$ m/s; $f_0 = 3,8$ hz; | Suolo tipo C |
| • HVSR4 $V_{s30} = 293$ m/s; $f_0 = 12,3$ hz; | Suolo tipo C |
| • HVSR5 $V_{seq} = 277$ m/s; $f_0 = 5$ hz; | Suolo tipo E |

Le varie analisi e prove HVSR eseguite e la modellazione stratigrafica prodotta hanno condotto ad individuare per le aree interessate dai lavori 3 microzone omogenee, all'interno delle quali le condizioni esistenti portano a riferire i suoli alla medesima categoria sismica, come definita nel D.M. 17.01.2018 - punto 3.2.2. - Tabella 3.2. Il . Tale caratterizzazione sismica, sintetizzata in **Fig. n. 27**, porta ad attribuire i terreni interessati dalla tratta meridionale della filovia (Zona Ospedale sino a Via Antoniana), la nuova sottostazione elettrica e il tratto filoviario di Corso Nazionale alla **Categoria E**, mentre il segmento di via Antoniana sino alla rotonda nei pressi del Centro Commerciale "Le Terrazze", è riferibile alla **Categoria B** e la restante parte del tracciato previsto, sino alla zona nei pressi della stazione ferroviaria di Migliarina, è riferibile alla **Categoria C**.

Nell'area sono presenti faglie superficiali di natura incerta, sono assenti discontinuità o cavità tali da indurre un pericolo sismico aggiuntivo.

Non sono prevedibili e attesi fenomeni di amplificazione locale dell'accelerazione sismica dovuti all'assetto topografico (pendenza media $< 15^\circ$ - Categoria Topografica T1) e sono assenti effetti di bordo (orli di terrazzo, ecc...).

Sono altresì attesi fenomeni di amplificazione dell'impulso sismico dovute alle condizioni stratigrafiche del sito, sulla base dei dati descritti sopra.

I terreni di sedime, grazie alle loro caratteristiche litologiche e tessiturali possono essere considerati non suscettibili a liquefazione, anche in presenza di sisma.

In conclusione, possiamo dire che dalle indagini eseguite non emergono particolari contrindicazioni di carattere geologico-geomorfologico alla realizzazione dell'intervento previsto e che, in considerazione delle condizioni plano-altimetriche dell'area, il rischio geologico derivante dall'intervento è da ritenersi trascurabile.

Relativamente alle condizioni idrauliche nel comparto (**Piano di Bacino – Ambito 20**), osserviamo che solo l'area interessata dalla realizzazione della "sottostazione di conversione elettrica" denota rischio idraulico alto (Ri3), mitigabile con gli accorgimenti già descritti.

Relativamente all'impermeabilizzazione dei suoli e al bilancio idrico al suolo, possiamo concludere che le varie tipologie di interventi previste non hanno influenza ed impatto su tali processi, data la loro natura puntuale.

Sempre nel medesimo Piano di Bacino emerge conferma che l'area sia caratterizzata da una suscettività al dissesto Bassa o Molto Bassa (Pg1 e Pg0), da cui discende un Rischio geomorfologico altrettanto Basso (Rg0).

Dal punto di vista normativo possiamo pertanto affermare quanto segue:

- Le opere in progetto risultano compatibili con le Norme di Attuazione del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto idrogeologico – Ambito 20 "Golfo della Spezia" e con le Norme di Attuazione Geologiche del P.U.C. della Spezia.
- Le opere in progetto ricadono in area non sottoposta a Vincolo Idrogeologico ed in ogni caso non prevederanno rilevanti opere di scavo e movimento terra.
- I risultati delle indagini penetrometriche e sismiche e le evidenze derivanti dai sopralluoghi sono coerenti, e non in contrasto, con le Cartografie Normative allegate.

Realizzando le opere descritte, nel rispetto delle indicazioni fornite nel presente studio, gli interventi previsti appaiono più che sostenibili e compatibili con lo stato dei luoghi; il rischio geologico derivante dall'intervento stesso è da ritenersi trascurabile o nullo.

REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI CONVERSIONE
RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

Provvedendo alla realizzazione delle opere descritte nel rispetto delle indicazioni fornite nel presente studio, esse appaiono più che sostenibili e compatibili con lo stato dei luoghi ed il rischio geomorfologico derivante dall'intervento è da ritenersi trascurabile e nullo.

Borgo Val di Taro, Novembre 2021



ALLEGATO A

Elaborati e grafici

prove penetrometriche dinamiche superpesanti

DPSH01 – 02 – 03 – 04 – 05

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH01 – DPSH02 – DPSH03 – DPSH04 – DPSH4

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA. Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviario e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale
Operatore: Dott. Geol. Gianluca Corsi

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING)

DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R _{pd}	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/ N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{\frac{Pa'}{\sigma_{vo}}} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_T \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C _S	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C _d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C _T	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt \text{ corretto}} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per **sabbie** con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per **ghiaie** Dr viene sovrastimato, per **limi** sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per **limi** e **sabbie** e **sabbie da fini a grossolane** NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per **sabbie fini** e **ghiaiose** NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per **sabbia pulita** e **sabbia con ghiaia** senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con N_{spt} < 8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u-N_{spt}-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con N_c = 20 e Q_c/N_{spt} = 2.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

- Shioi-Fukuni (1982), valida per **suoli poco coerenti e plastici**, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm^2)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15.
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ...DPSH01

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 08-11-2021

Profondita' prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	3	0.855	26.94	31.52	1.35	1.58
0.40	13	0.801	109.38	136.59	5.47	6.83
0.60	11	0.847	89.85	106.08	4.49	5.30
0.80	14	0.793	107.11	135.01	5.36	6.75
1.00	9	0.840	72.88	86.79	3.64	4.34
1.20	10	0.836	80.64	96.43	4.03	4.82
1.40	6	0.833	48.19	57.86	2.41	2.89
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	2	0.823	14.67	17.82	0.73	0.89
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	1	0.817	7.28	8.91	0.36	0.45
2.60	1	0.814	6.74	8.28	0.34	0.41
2.80	3	0.811	20.16	24.85	1.01	1.24
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	1	0.803	6.65	8.28	0.33	0.41
3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	1	0.798	6.18	7.74	0.31	0.39
4.00	2	0.796	12.32	15.47	0.62	0.77
4.20	2	0.794	12.28	15.47	0.61	0.77
4.40	1	0.791	6.12	7.74	0.31	0.39
4.60	1	0.789	5.73	7.26	0.29	0.36
4.80	3	0.787	17.14	21.77	0.86	1.09
5.00	2	0.785	11.39	14.51	0.57	0.73

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.4	9.43	92.9	Incoerente	0	1.85	1.94	0.13	1.46	13.77	Riporto
5	2	16.37	Incoerente - coesivo	0	1.63	1.86	0.42	1.49	2.98	Limo - sabbioso con argilla

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH01

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocita' onde di taglio (m/s)	Densita' relativa (%)
Strato (1) Riporto	0.00-1.40	13.77	Incoerente	1.52	1.95	39.98	--	55.75	143.85	0.33	764.74	100.52	85.56
Strato (2) Limo - sabbioso con argilla	1.40-5.00	2.98	Coesivo Incoerente	1.63	1.86	0	0.19	32.19	29.80	0.35	181.42	103.43	34.23

PROVA ...DPSH02

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 08-11-2021

Profondita' prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	7	0.851	62.58	73.55	3.13	3.68
0.60	12	0.847	98.02	115.72	4.90	5.79
0.80	13	0.793	99.46	125.36	4.97	6.27
1.00	12	0.840	97.18	115.72	4.86	5.79
1.20	15	0.786	113.73	144.65	5.69	7.23
1.40	12	0.833	96.38	115.72	4.82	5.79
1.60	8	0.830	59.14	71.29	2.96	3.56
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	4	0.823	29.34	35.64	1.47	1.78
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89
2.40	1	0.817	7.28	8.91	0.36	0.45
2.60	3	0.814	20.23	24.85	1.01	1.24
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	1	0.809	6.70	8.28	0.33	0.41
3.20	3	0.806	20.03	24.85	1.00	1.24
3.40	1	0.803	6.65	8.28	0.33	0.41
3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	2	0.798	12.35	15.47	0.62	0.77
4.00	3	0.796	18.47	23.21	0.92	1.16
4.20	1	0.794	6.14	7.74	0.31	0.39
4.40	3	0.791	18.37	23.21	0.92	1.16

4.60	2	0.789	11.45	14.51	0.57	0.73
4.80	2	0.787	11.42	14.51	0.57	0.73
5.00	1	0.785	5.70	7.26	0.28	0.36

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	10.38	100.51	Incoerente	0	1.88	1.95	0.15	1.46	15.15	Terreno di Riporto
5	2.18	17.71	Incoerente - coesivo	0	1.65	1.86	0.49	1.49	3.25	Limi sabbiosi, con ghiaiosi e con argille

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH02

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coeficiente di drenabilità (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocità di onde di taglio (m/s)	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno di Riporto	0.00-1.60	15.15	Incoerente	1.54	1.96	40.41	--	58.58	150.75	0.32	836.57	104.86	88.64
Strato (2) Limi sabbiosi, con ghiaiosi e con argille	1.60-5.00	3.25	Coesivo Incoerente	1.65	1.86	0	0.20	34.94	32.50	0.35	196.83	105.62	34.64

PROVA ...DPSH03

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 08-11-2021

Profondità prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	8	0.855	71.84	84.06	3.59	4.20

0.40	11	0.851	98.33	115.58	4.92	5.78
0.60	12	0.847	98.02	115.72	4.90	5.79
0.80	9	0.843	73.19	86.79	3.66	4.34
1.00	10	0.840	80.98	96.43	4.05	4.82
1.20	13	0.786	98.57	125.36	4.93	6.27
1.40	12	0.833	96.38	115.72	4.82	5.79
1.60	9	0.830	66.53	80.20	3.33	4.01
1.80	4	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.00	1	0.823	7.34	8.91	0.37	0.45
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89
2.40	1	0.817	7.28	8.91	0.36	0.45
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	3	0.811	20.16	24.85	1.01	1.24
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	3	0.806	20.03	24.85	1.00	1.24
3.40	2	0.803	13.31	16.56	0.67	0.83
3.60	1	0.801	6.20	7.74	0.31	0.39
3.80	2	0.798	12.35	15.47	0.62	0.77
4.00	3	0.796	18.47	23.21	0.92	1.16
4.20	2	0.794	12.28	15.47	0.61	0.77
4.40	2	0.791	12.24	15.47	0.61	0.77
4.60	1	0.789	5.73	7.26	0.29	0.36
4.80	1	0.787	5.71	7.26	0.29	0.36
5.00	2	0.785	11.39	14.51	0.57	0.73

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	10.5	102.48	Incoerente	0	1.89	1.95	0.15	1.46	15.33	Terreno di riporto
5	2	16.3	Incoerente - coesivo	0	1.63	1.86	0.48	1.49	2.98	Ghiaie, sabbie e limi

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH03

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocita' onde di taglio (m/s)	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno di riporto	0.00-1.60	15.33	Incoerente	1.54	1.96	40.48	--	58.95	151.65	0.32	845.91	105.08	89.12
Strato (2) Ghiaie, sabbie e limi	1.60-5.00	2.98	Coesivo Incoerente	1.63	1.86	0	0.19	32.19	29.80	0.35	181.42	104.05	33.38

PROVA ...DPSH04

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 08-11-2021

Profondita' prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	5	0.855	44.90	52.54	2.24	2.63
0.40	14	0.801	117.80	147.10	5.89	7.36
0.60	13	0.797	99.92	125.36	5.00	6.27
0.80	11	0.843	89.46	106.08	4.47	5.30
1.00	9	0.840	72.88	86.79	3.64	4.34
1.20	11	0.836	88.71	106.08	4.44	5.30
1.40	9	0.833	72.29	86.79	3.61	4.34
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	4	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	4	0.820	29.23	35.64	1.46	1.78
2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	1	0.809	6.70	8.28	0.33	0.41
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	1	0.803	6.65	8.28	0.33	0.41
3.60	2	0.801	12.39	15.47	0.62	0.77
3.80	1	0.798	6.18	7.74	0.31	0.39
4.00	1	0.796	6.16	7.74	0.31	0.39
4.20	3	0.794	18.42	23.21	0.92	1.16
4.40	4	0.791	24.49	30.94	1.22	1.55
4.60	3	0.789	17.18	21.77	0.86	1.09
4.80	0	0.787	0.00	0.00	0.00	0.00
5.00	0	0.785	0.00	0.00	0.00	0.00

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tension e efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.4	10.29	101.53	Incoerente	0	1.88	1.95	0.13	1.46	15.02	Terreno di riporto
5	2.17	18.03	Incoerente - coesivo	0	1.65	1.86	0.43	1.49	3.23	ghiaie, sabbie e limi

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH04

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coeficiente di drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocita' onde di taglio (m/s)	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno di riporto	0.00-1.40	15.02	Incoerente	1.54	1.96	40.49	--	58.32	150.10	0.32	829.82	102.04	89.25
Strato (2) ghiaie, sabbie e limi	1.40-5.00	3.23	Coeficiente Incoerente	1.65	1.86	0	0.20	34.74	32.30	0.35	195.69	104.88	35.57

PROVA ...DPSH05

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 08-11-2021

Profondita' prova 5.00 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	8	0.851	71.51	84.06	3.58	4.20
0.60	9	0.847	73.51	86.79	3.68	4.34
0.80	11	0.843	89.46	106.08	4.47	5.30
1.00	12	0.840	97.18	115.72	4.86	5.79
1.20	14	0.786	106.15	135.01	5.31	6.75
1.40	9	0.833	72.29	86.79	3.61	4.34
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	2	0.826	14.73	17.82	0.74	0.89
2.00	4	0.823	29.34	35.64	1.47	1.78
2.20	2	0.820	14.62	17.82	0.73	0.89
2.40	1	0.817	7.28	8.91	0.36	0.45
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	1	0.803	6.65	8.28	0.33	0.41
3.60	1	0.801	6.20	7.74	0.31	0.39
3.80	3	0.798	18.53	23.21	0.93	1.16
4.00	2	0.796	12.32	15.47	0.62	0.77
4.20	4	0.794	24.56	30.94	1.23	1.55

4.40	2	0.791	12.24	15.47	0.61	0.77
4.60	3	0.789	17.18	21.77	0.86	1.09
4.80	2	0.787	11.42	14.51	0.57	0.73
5.00	1	0.785	5.70	7.26	0.28	0.36

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
1.4	9.57	93.78	Incoerente	0	1.85	1.94	0.13	1.46	13.97	Terreno di riporti
5	2.17	17.66	Incoerente - coesivo	0	1.65	1.86	0.42	1.49	3.23	Ghiaie, sabbie e limi

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH05

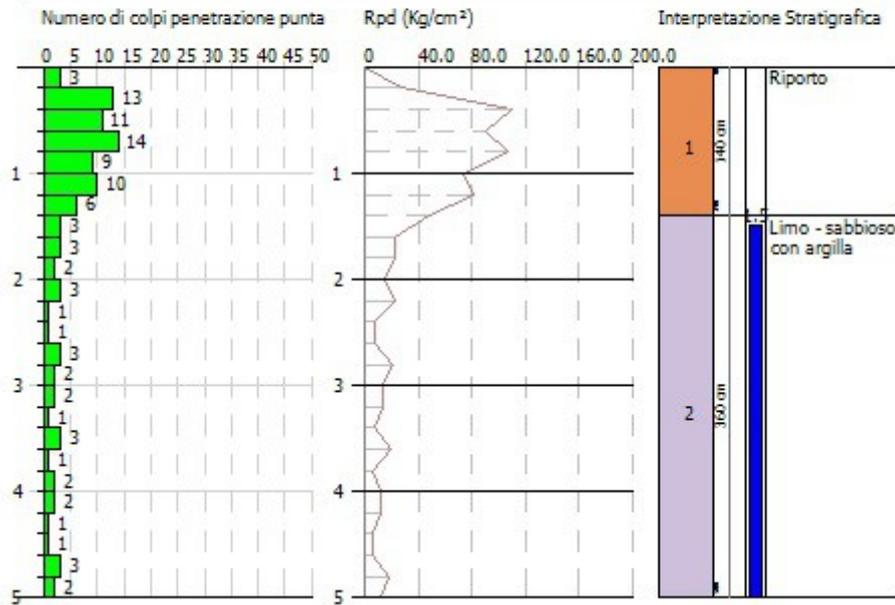
Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocita' onde di taglio (m/s)	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno di riporti	0.00-1.40	13.97	Incoerente	1.53	1.95	40.07	--	56.16	144.85	0.33	775.17	100.77	86.18
Strato (2) Ghiaie, sabbie e limi	1.40-5.00	3.23	Coesivo Incoerente	1.65	1.86	0	0.20	34.74	32.30	0.35	195.69	104.88	35.64

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH01
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviaro e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale

08-11-2021

Scala 1:50

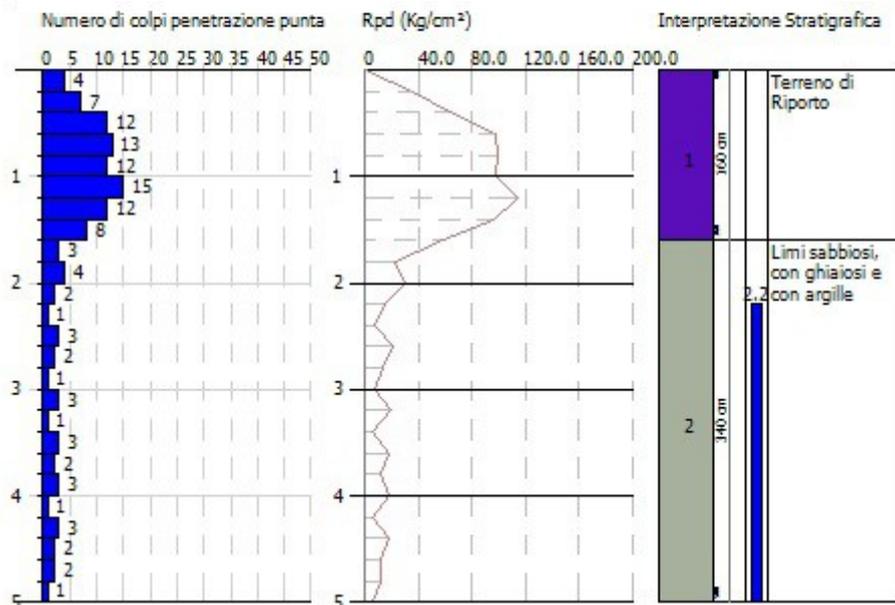


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPH02
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviaro e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale

08-11-2021

Scala 1:50

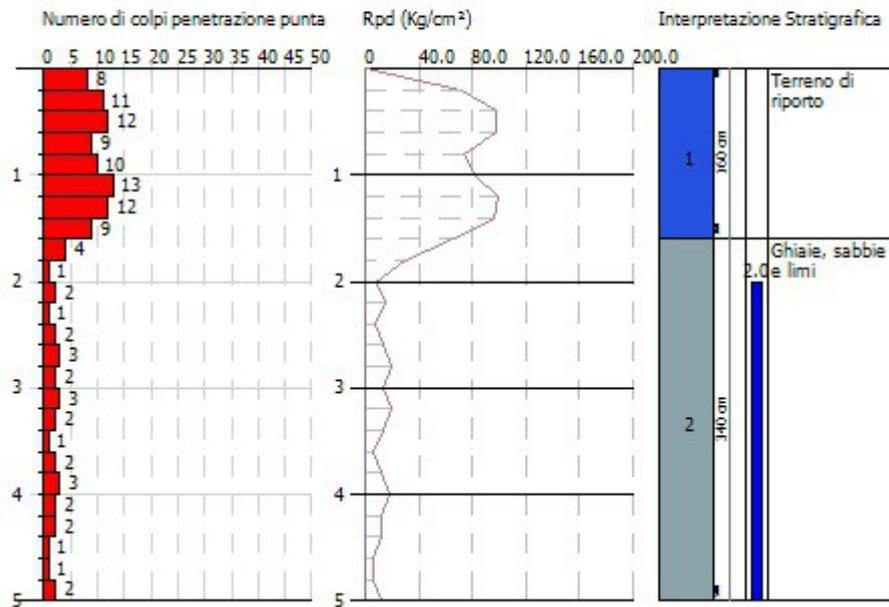


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH03
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviaro e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale

08-11-2021

Scala 1:50

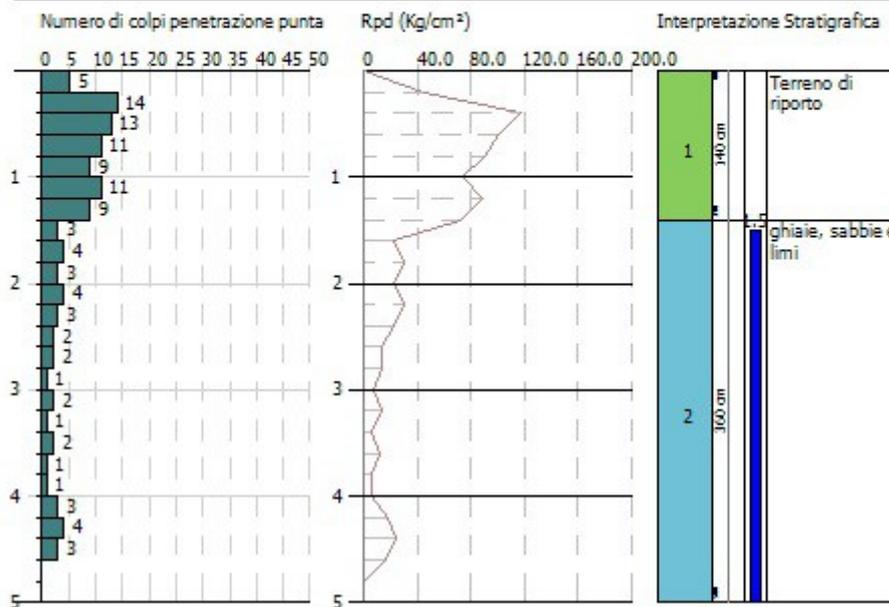


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPH04
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviaro e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale

08-11-2021

Scala 1:50

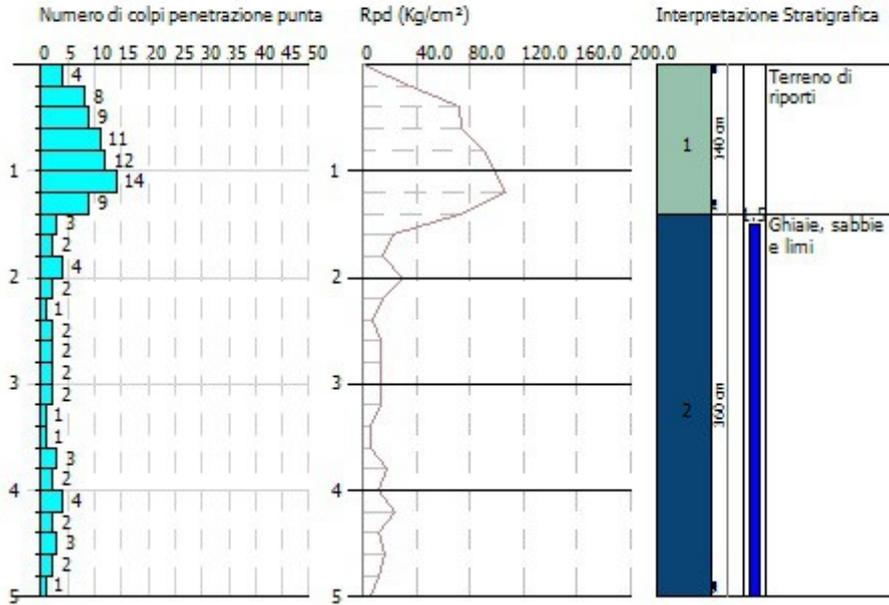


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH05
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviario e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale

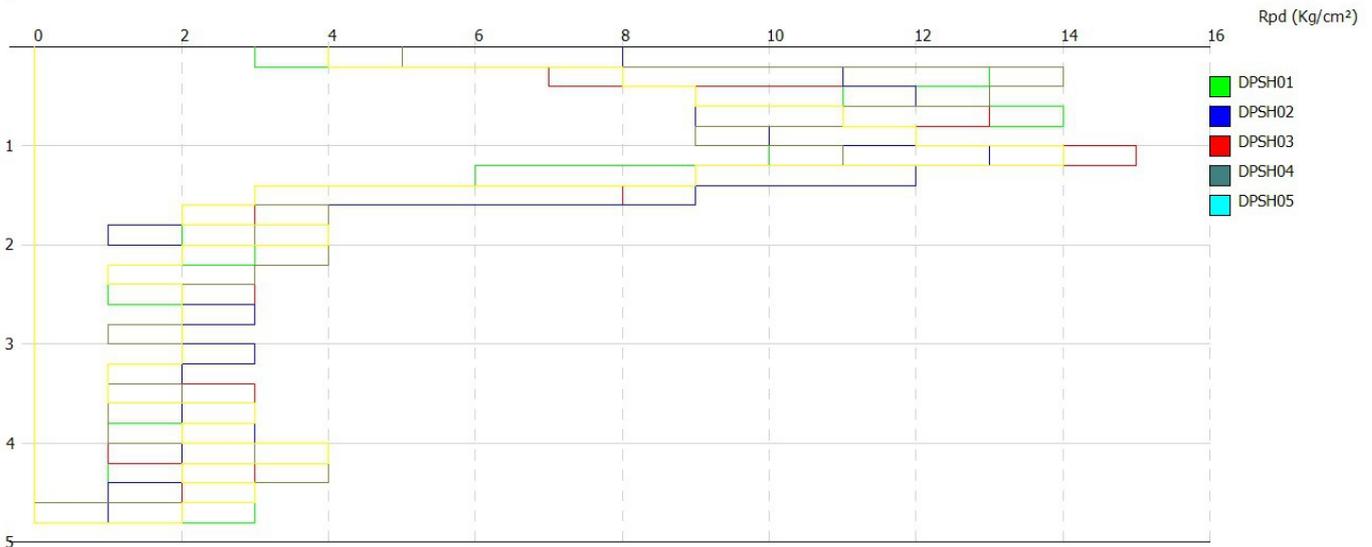
08-11-2021

Scala 1:50



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH01
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: ATC Mobilità e Parcheggi SPA, Sede Legale Via Saffi, 3 - La Spezia
Descrizione: Realizzazione di nuovo impianto filoviario e nuova sottostazione elettrica di conversione
Località: La Spezia - Zona centro occidentale



ALLEGATO B
Indagini geofisiche;
Stazione singola sismica passiva HVSR;
definizione del parametro $V_{seq}/VS30$ e categoria sismica
del suolo di fondazione
D.M. 17.01.2018

Dott. Geol. Gabriele Oppo
Vicolo San Clemente N°1
43043
Borgo Val di Taro (PR)

Cell: 320-2180522
E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

REPORT TECNICO

***INDAGINI SISMICHE PASSIVE HVSR
A CORREDO DEL
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DEL NUOVO
IMPIANTO FILOVIARIO E NUOVA
SOTTOSTAZIONE ELETTRICA DI
CONVERSIONE***

LA SPEZIA (SP)

NOVEMBRE 2021

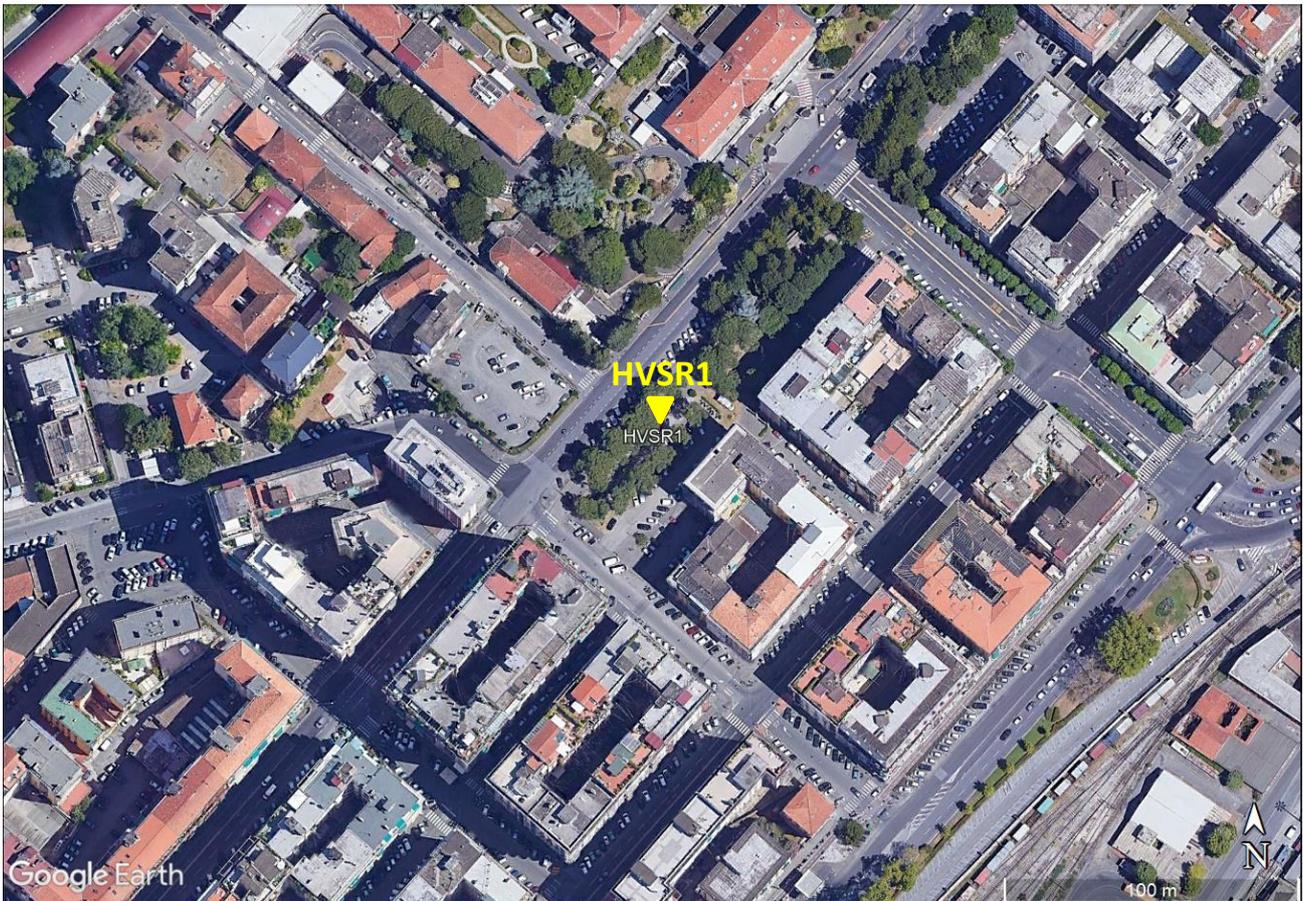
LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE → HVSr1

INDIRIZZO: Piazza Caduti per la Libertà

COMUNE: La Spezia (SP)

DATA ACQUISIZIONE: 08 11 2021

ORA: 9.11



Subsurface model

Vs (m/s): 150 350 260 200 240 450 900 1000 1100 1400 2400

Thickness (m): 0.5 1.0 3.5 5.0 5.0 5.0 10.0 50.0 60.0 80.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.76 1.99 1.91 1.84 1.89 2.06 2.25 2.28 2.30 2.37 2.52

Seismic/Dynamic Shear mod. (MPa) (appr val.): 40 244 129 74 109 417 1820 2276 2786 4642 14494

Poisson: 0.33 0.40 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.30 0.25 0.25 0.20

Vs, eq = VsH (m/s): 261

H = 20 m

CATEGORIA E

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 3-4,5 Hz

F1 → 1-2 Hz

Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).

Tel. 320 -2180522

E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

ACQUISIZIONE HVSR1



Figura A. 1 - Acquisizione HVSR1 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR1

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET			
Comune: La Spezia (SP)		Indirizzo: Piazza Caduti per la Libertà	
Attività da svolgere: Indagine HVSR		Data: 08/11/2021	Ora: 9.11
DATI TECNICI			
Operatore: Geol. Gabriele Oppo		Indagine n° HVSR1	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>		Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 30 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input checked="" type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>passanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR1

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20211108_0911_HVSR1_T1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 21.3

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 3.8 (±1.1)

Peak HVSR value: 4.7 (±0.4)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $3.829 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $4978 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f+) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.6Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $4.7 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{mf}} < \epsilon(f_0)$]: $1.083 > 0.191$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.593 < 1.58$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

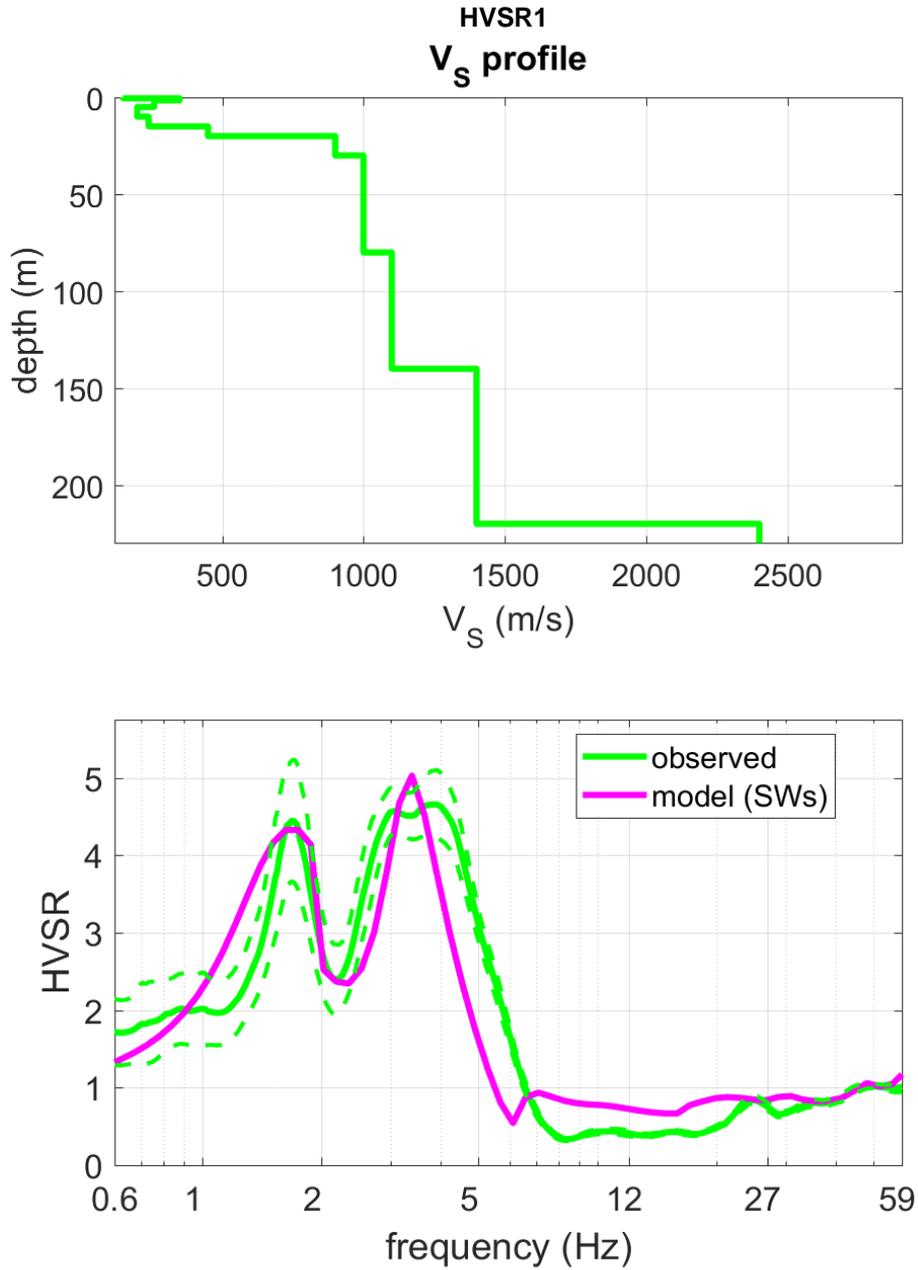
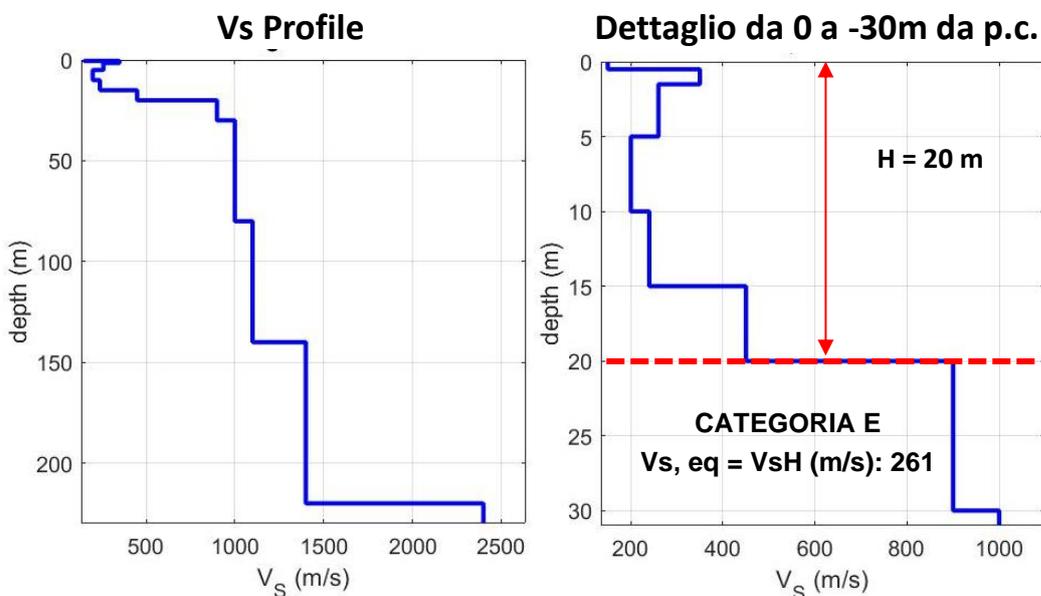


Tabella C - Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle prove HVSr negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0, 5 a 20 Hz) DA PROVE HVSr						
N°PROVA	CRITERI SESAME <i>Reliable H/V Curve</i>	CRITERI SESAME <i>Clear H/V Peak</i>	PICCHI <i>PRINCIPALE: F0 SECONDARIO: F1</i>	FREQUENZA <i>[Hz]</i>	VALORE DEL RAPPORTO <i>H/V</i>	QUALITÀ MISURA
HVSr1	3 su 3	4 su 6	F0 F1	3,8 +/- 1,1 ~ 1,7	4,7 +/- 0,4 ~ 4,3	B1

Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,5	150
2	0,5	1,0	350
3	1,5	3,5	260
4	5,0	5,0	200
5	10,0	5,0	240
6	15,0	5,0	450
7	20,0	10,0	900
8	30,0	50,0	1000
9	80,0	60,0	1100
10	140,0	80,0	1400
11	220,0	Inf.	2400



E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella E - Calcolo Vs, eq = VsH per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = VsH			
Profondità appoggio	Vs, eq = VsH [m/s]	H [m]	Categoria di sottosuolo
P.C.	261	20	E
-0,5m	266	19,5	E
-1m	264	19	E
-1,5m	263	18,5	E
-2,0m	263	18	E
-2,5m	263	17,5	E

LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE → HVSr2

INDIRIZZO: Via Antoniana
COMUNE: La Spezia (SP)
DATA ACQUISIZIONE: 08 11 2021
ORA: 10.03



Subsurface model

Vs (m/s): 65 350 260 200 360 500 1000 1000 1150 1300 2000

Thickness (m): 0.3 1.0 2.5 1.5 4.7 16.0 14.0 60.0 60.0 80.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.54 1.99 1.91 1.84 2.00 2.09 2.28 2.28 2.31 2.35 2.47

Seismic/Dynamic Shear mod. (MPa) (appr. val.): 6 244 129 74 259 522 2276 2276 3061 3968 9865

Poisson: 0.38 0.34 0.48 0.33 0.38 0.27 0.30 0.38 0.31 0.26 0.19

Vs, eq = Vs30 (m/s): 373

H = 26 m

CATEGORIA B

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 3-5 Hz

F1 → 1-2 Hz

Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).

Tel. 320 -2180522

E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

ACQUISIZIONE HVSr2



Figura A. 2 - Acquisizione HVSr2 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR2

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET			
Comune: La Spezia (SP)		Indirizzo: Piazza Caduti per la Libertà	
Attività da svolgere: Indagine HVSR		Data: 08/11/2021	Ora: 10.03
DATI TECNICI			
Operatore: Geol. Gabriele Oppo		Indagine n° HVSR2	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>		Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 30 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sottterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>passanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR2

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20211108_1003_HVSR2_T2.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 28.7

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 4.1 (\pm 2.1)

Peak HVSR value: 3.2 (\pm 0.7)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $4.142 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $8200 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 1.0Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 8.1Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $3.2 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$]: $2.071 > 0.207$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $1.179 < 1.58$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

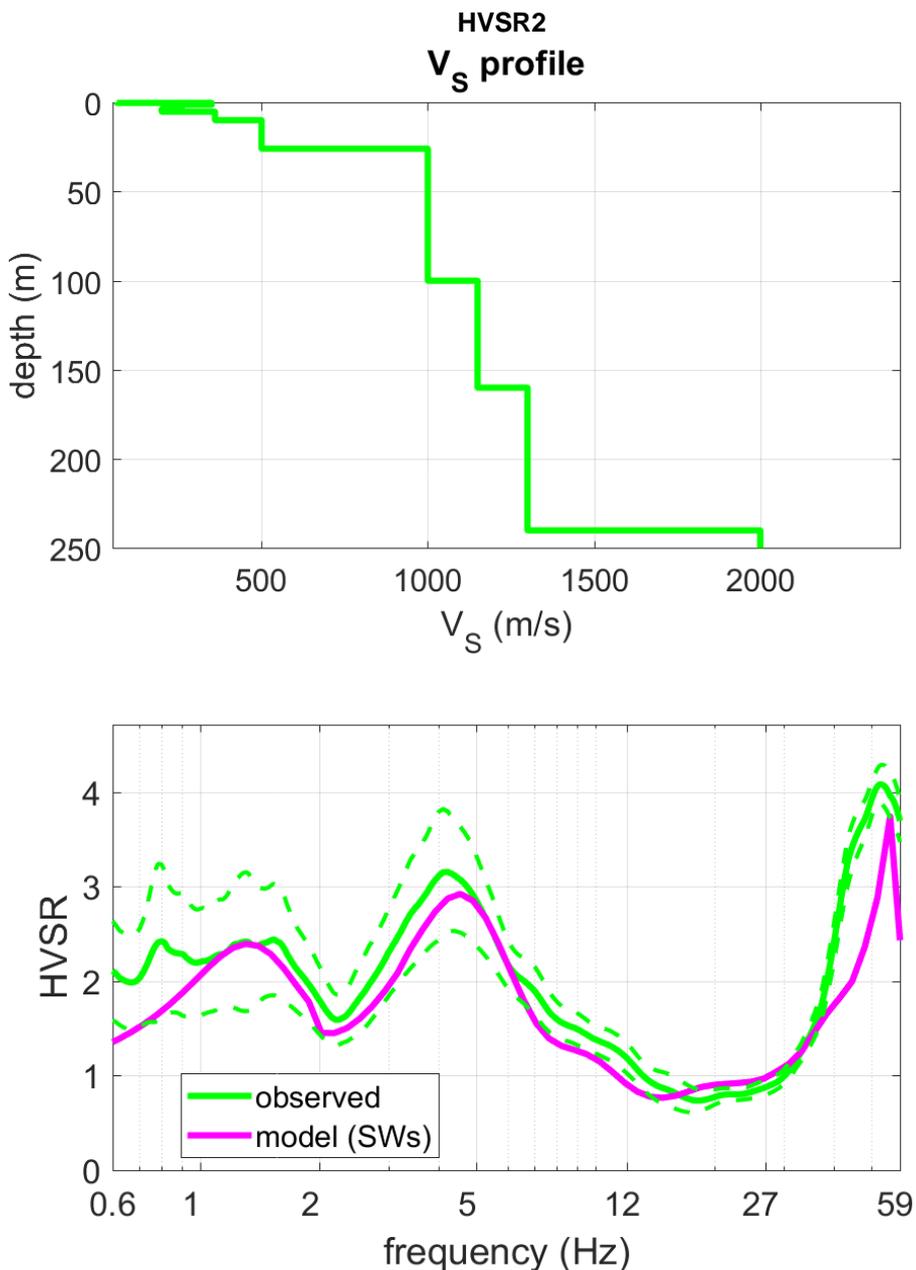
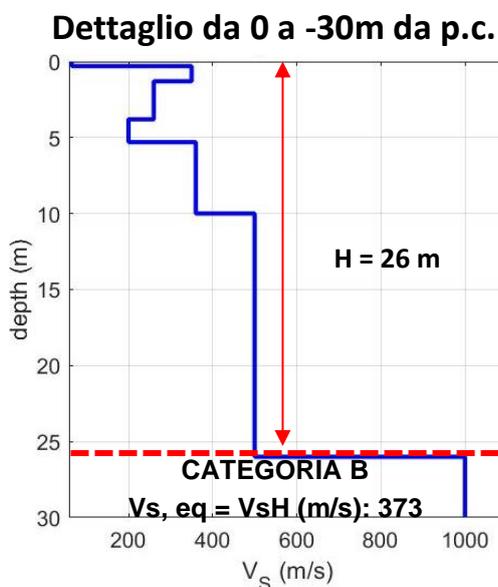
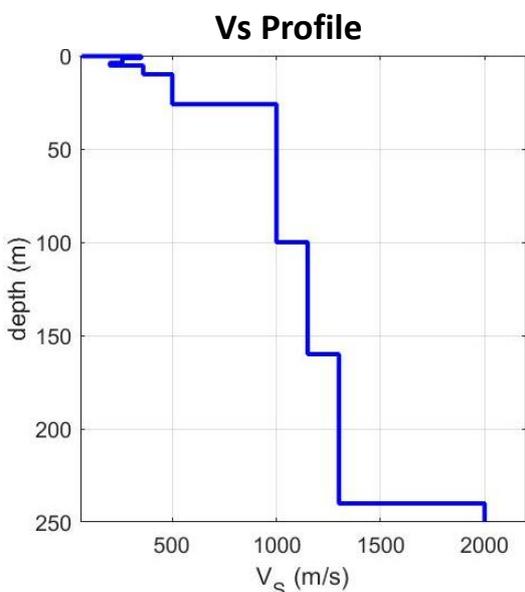


Tabella C - Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle prove HVSR negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0, 5 a 20 Hz) DA PROVE HVSR						
N°PROVA	CRITERI SESAME Reliable H/V Curve	CRITERI SESAME Clear H/V Peak	PICCHI PRINCIPALE: F0 SECONDARIO: F1	FREQUENZA [Hz]	VALORE DEL RAPPORTO H/V	QUALITÀ MISURA
HVSR1	3 su 3	4 su 6	F0 F1	4,1 +/- 2,1 ~ 1-2	3,2 +/- 0,7 ~ 2,4	B1

Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,3	65
2	0,3	1,0	350
3	1,3	2,5	260
4	3,8	1,5	200
5	5,3	4,7	360
6	10,0	16,0	500
7	26,0	14,0	1000
8	40,0	60,0	1000
9	100,0	60,0	1150
10	160,0	80,0	1300
11	240,0	Inf.	2000



B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Tabella E - Calcolo Vs, eq = VsH per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = VsH			
Profondità appoggio	Vs, eq = VsH [m/s]	H [m]	Categoria di sottosuolo
P.C.	373	26	B
-0,5m	396	25,5	B
-1m	397	25	B
-1,5m	399	24,5	B
-2,0m	404	24	B
-2,5m	408	23,5	B

Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).

Tel. 320-2180522

E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE → HVSr3

INDIRIZZO: Piazza Caduti per la Libertà
COMUNE: La Spezia (SP)
DATA ACQUISIZIONE: 08 11 2021
ORA: 11.15



Subsurface model

Vs (m/s): 90 100 190 220 260 330 300 500 600 800 900

Thickness (m): 0.5 1.0 2.0 3.0 9.0 3.0 18.0 30.0 60.0 80.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.62 1.65 1.82 1.86 1.91 1.97 1.95 2.09 2.14 2.22 2.25

Seismic/Dynamic Shear mod. (MPa) (approx. values): 13 17 66 90 129 215 175 522 769 1418 1820

Poisson: 0.38 0.34 0.48 0.33 0.38 0.28 0.30 0.38 0.31 0.26 0.19

Vs, eq = Vs30 (m/s): 246

CATEGORIA C

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1-2 Hz

ACQUISIZIONE HVSR3



Figura A. 3 - Acquisizione HVSR3 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR3

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET			
Comune: La Spezia (SP)		Indirizzo: Via Sandro Pertini	
Attività da svolgere: Indagine HVSR		Data: 08/11/2021	Ora: 11.15
DATI TECNICI			
Operatore: Geol. Gabriele Oppo		Indagine n° HVSR3	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>		Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 25 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>passanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR3

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20211108_1115_HVSR3_T3.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 29.3

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.6 (\pm 0.3)

Peak HVSR value: 3.8 (\pm 0.9)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.594 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $725 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $3.8 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{mf} < \epsilon(f_0)$]: $0.323 > 0.089$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $5.117 < 2$ (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

ACQUISIZIONE HVSr3

show current data

step#1 (optional) - decimate

128 Hz new frequency

step#2 - HV computation

remove events: L2H H2L & F1 clean axes

20 window length (s)

5 tapering (%)

Min. freq.: 0.5 Hz

5000 HVsr threshold

15% spectral smoothing (triangular window)

6 detrending order no equalization

full output

particle motion, all HVsr's time lapse videos

close windows

save videos quadratic mean

directivity analysis

direction to analyze:

save options: save HVsr as it is

save HV from: 0.5 to 60 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVsr pick data

save picked HV

quick analysis (HVsr4H)

200 average V_s (m/s) (from surface to bedrock)

20 depth of the bedrock (m)

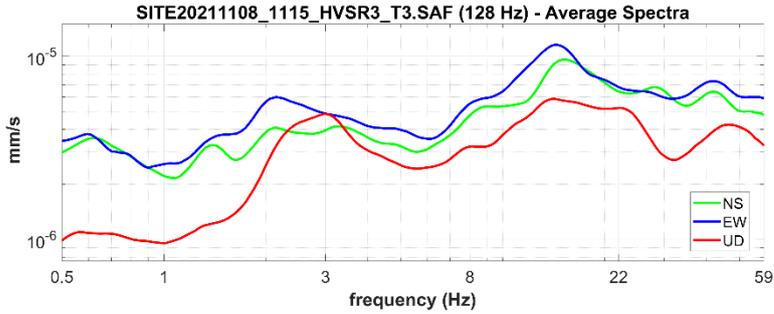
1000 V_s of the bedrock

highlight a frequency

draw/highlight: 10 Hz

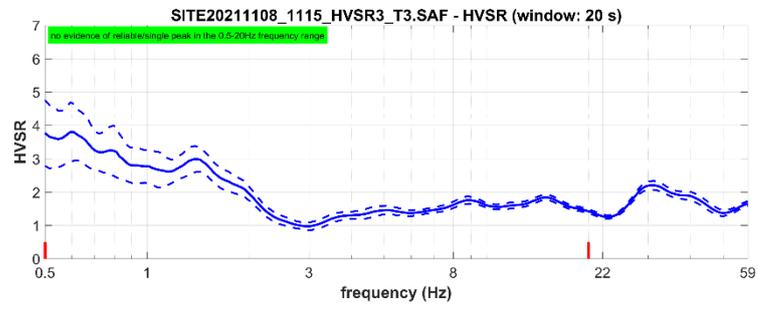
directivity over time

directivity in time: time: 60 s



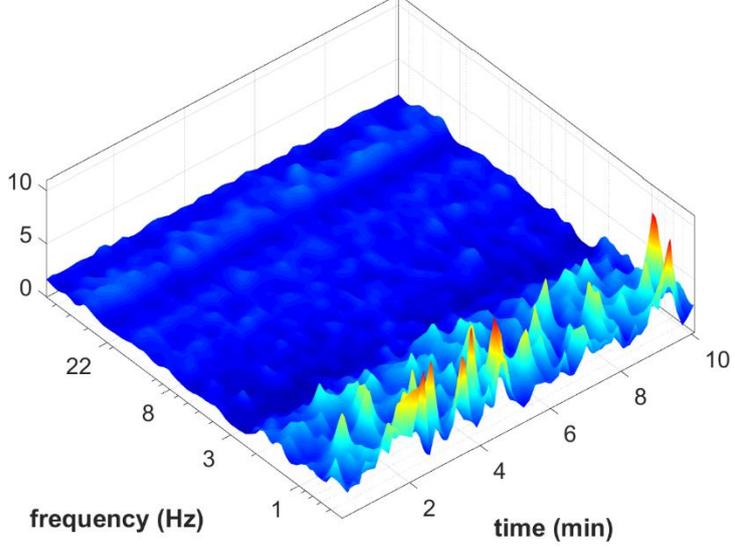
your comments

default axes

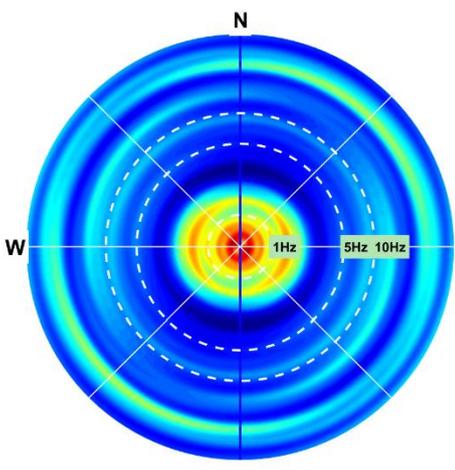
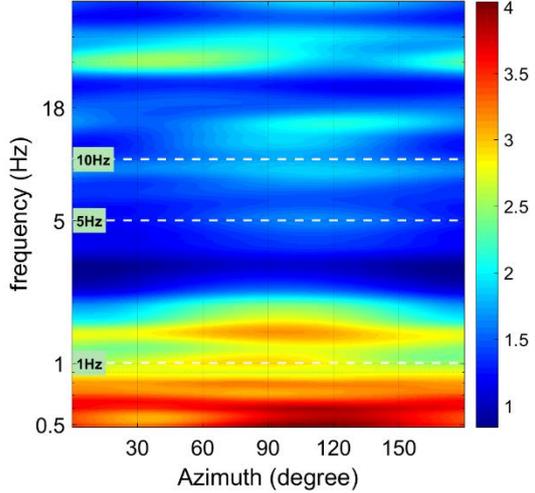


To model the HVSr (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HVsr curve

HVSr vs Time (3D view)



HVSr: directivity



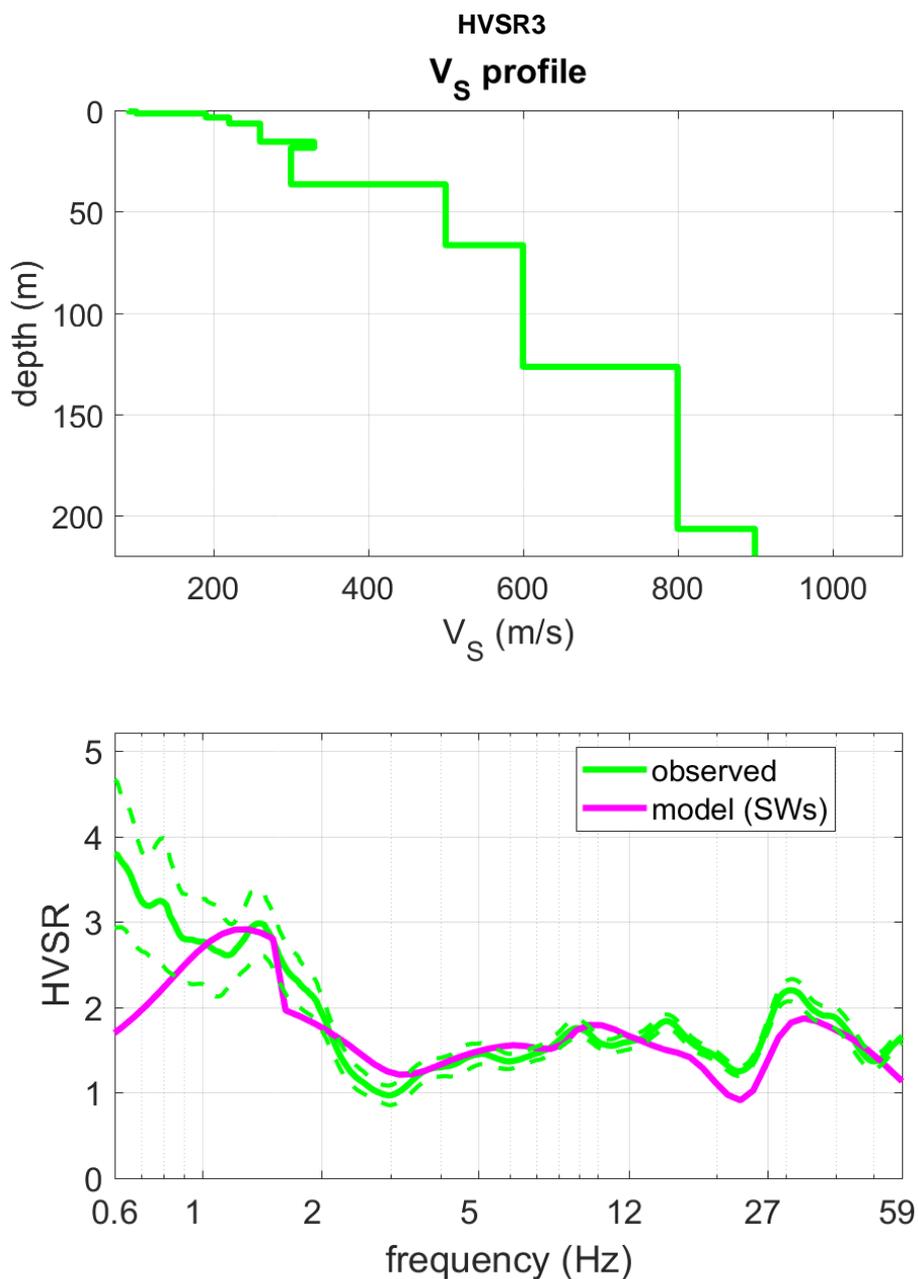
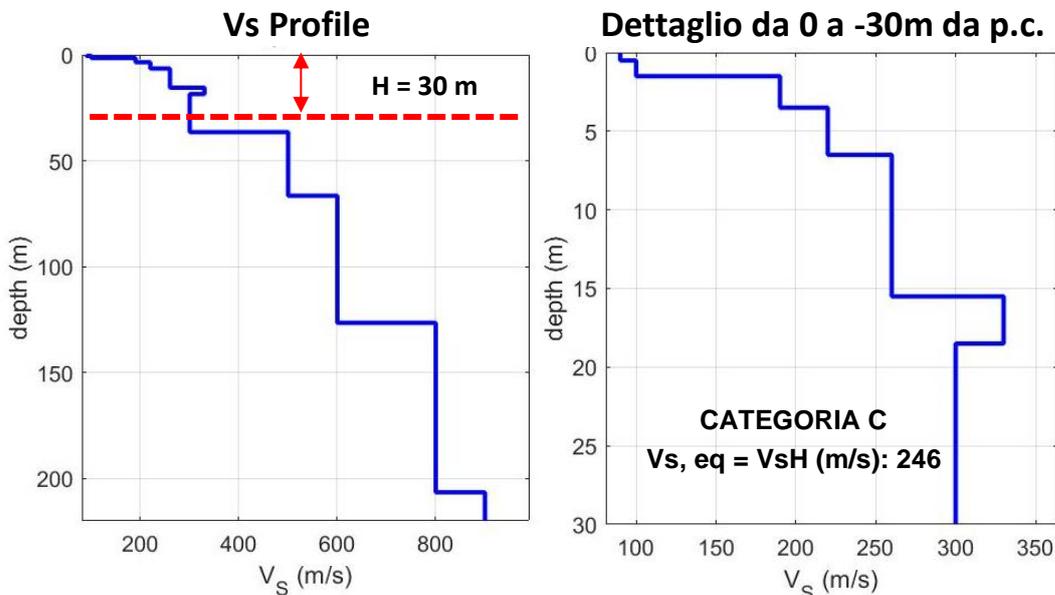


Tabella C - Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle prove HVSr negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0, 5 a 20 Hz) DA PROVE HVSr						
N°PROVA	CRITERI SESAME <i>Reliable H/V Curve</i>	CRITERI SESAME <i>Clear H/V Peak</i>	PICCHI <i>PRINCIPALE: F0 SECONDARIO: F1</i>	FREQUENZA <i>[Hz]</i>	VALORE DEL RAPPORTO <i>H/V</i>	QUALITÀ MISURA
HVSr1	3 su 3	2 su 6	F0 F1	0,6 +/- 0,3 ~	3,8 +/- 0,9 ~	B1

Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,5	90
2	0,5	1,0	100
3	1,5	2,0	190
4	3,5	3,0	220
5	6,5	9,0	260
6	15,5	3,0	330
7	18,5	18,0	300
8	36,5	30,0	500
9	66,5	60,0	600
10	126,5	80,0	800
11	206,5	Inf.	900



C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = Vs30		
Profondità appoggio	Vs, eq = VsH [m/s]	Categoria di sottosuolo
P.C.	246	C
-0,5m	255	C
-1m	262	C
-1,5m	270	C
-2,0m	272	C
-2,5m	275	C

LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE → HVSR4

INDIRIZZO: Via Fontevivo
COMUNE: La Spezia (SP)
DATA ACQUISIZIONE: 08 11 2021
ORA: 12.04



Subsurface model

Vs (m/s): 90 360 200 240 440 260 340 500 800 1200 1400

Thickness (m): 0.4 0.6 4.0 4.0 10.0 5.0 9.0 40.0 60.0 80.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.62 2.00 1.84 1.89 2.05 1.91 1.98 2.09 2.22 2.33 2.37

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa)(appr. val.): 13 259 74 109 397 129 229 522 1418 3349 4642

Poisson: 0.38 0.34 0.48 0.33 0.38 0.28 0.30 0.38 0.31 0.26 0.19

Vs, eq = Vs30 (m/s): 293

CATEGORIA C

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1-2 Hz

F1 → 6-8 Hz

ACQUISIZIONE HVSR4



Figura A. 4 - Acquisizione HVSR4 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR4

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET			
Comune: La Spezia (SP)		Indirizzo: Via Fontevivo	
Attività da svolgere: Indagine HVSR		Data: 08/11/2021	Ora: 12.04
DATI TECNICI			
Operatore: Geol. Gabriele Oppo		Indagine n° HVSR4	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>		Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 25 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>passanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR4

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20211108_1204_HVSR4_T4.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 22.9

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.5 (±0.2)

Peak HVSR value: 12.3 (±2.8)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $0.500 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $630 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f+) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $12.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.169 > 0.075$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $8.603 < 2$ (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

ACQUISIZIONE HVSR4

show current data

step#1 (optional) - decimate

128 Hz new frequency

step#2 - HV computation

remove events L2H H2L & F1 clean axes

20 window length (s)

5 tapering (%)

Min. freq.: 0.5 Hz

5000 amplitude threshold

15% HVSR threshold

spectral smoothing (triangular window)

6 detrending order no equalization

full output

particle motion, all HVSRs: time lapse videos

close windows

save videos quadratic mean

directivity analysis

direction to analyze:

save - optional: save HVSR as it is

save HV from: 0.5 to 60 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVSR pick data

save picked HV

quick analysis (F=Vs/4H)

200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)

20 depth of the bedrock (m)

1000 Vs of the bedrock

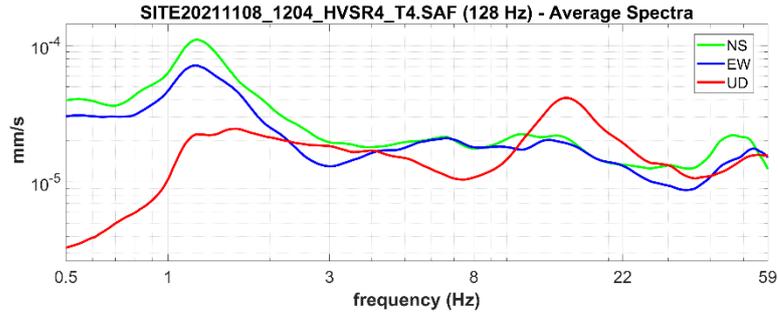
clean

highlight a frequency

draw/highlight: 10 Hz

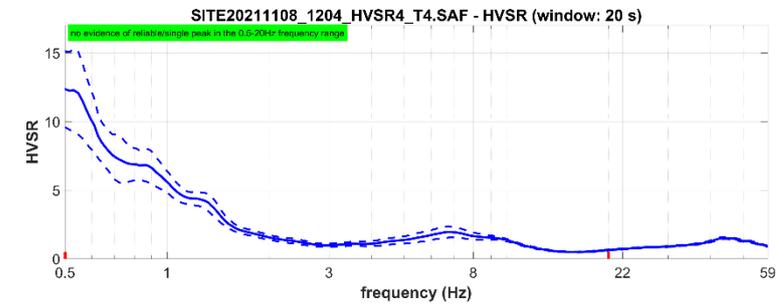
directivity over time

directivity in time: time: 60 s



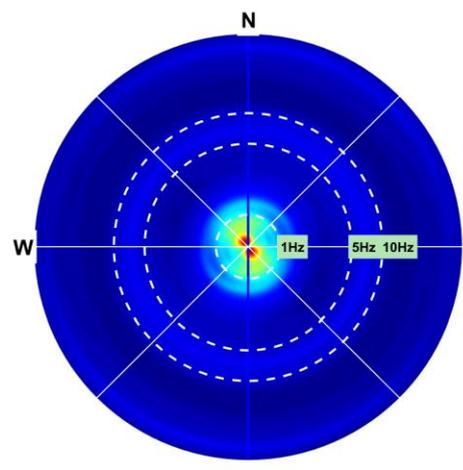
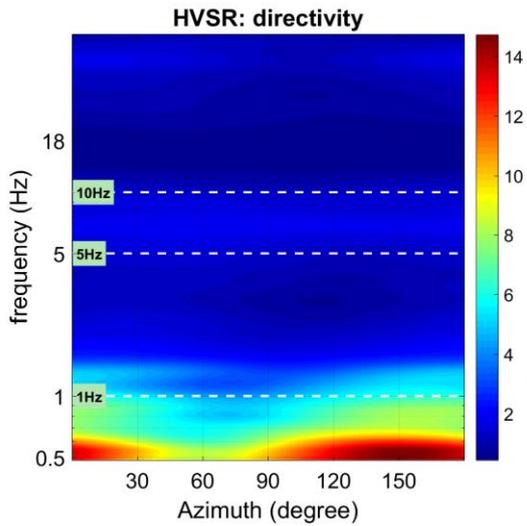
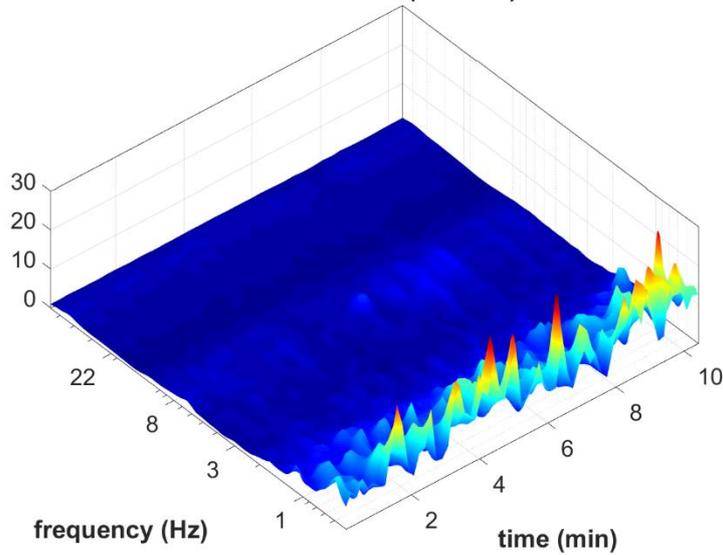
your comments

default axes



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

HVSR vs Time (3D view)



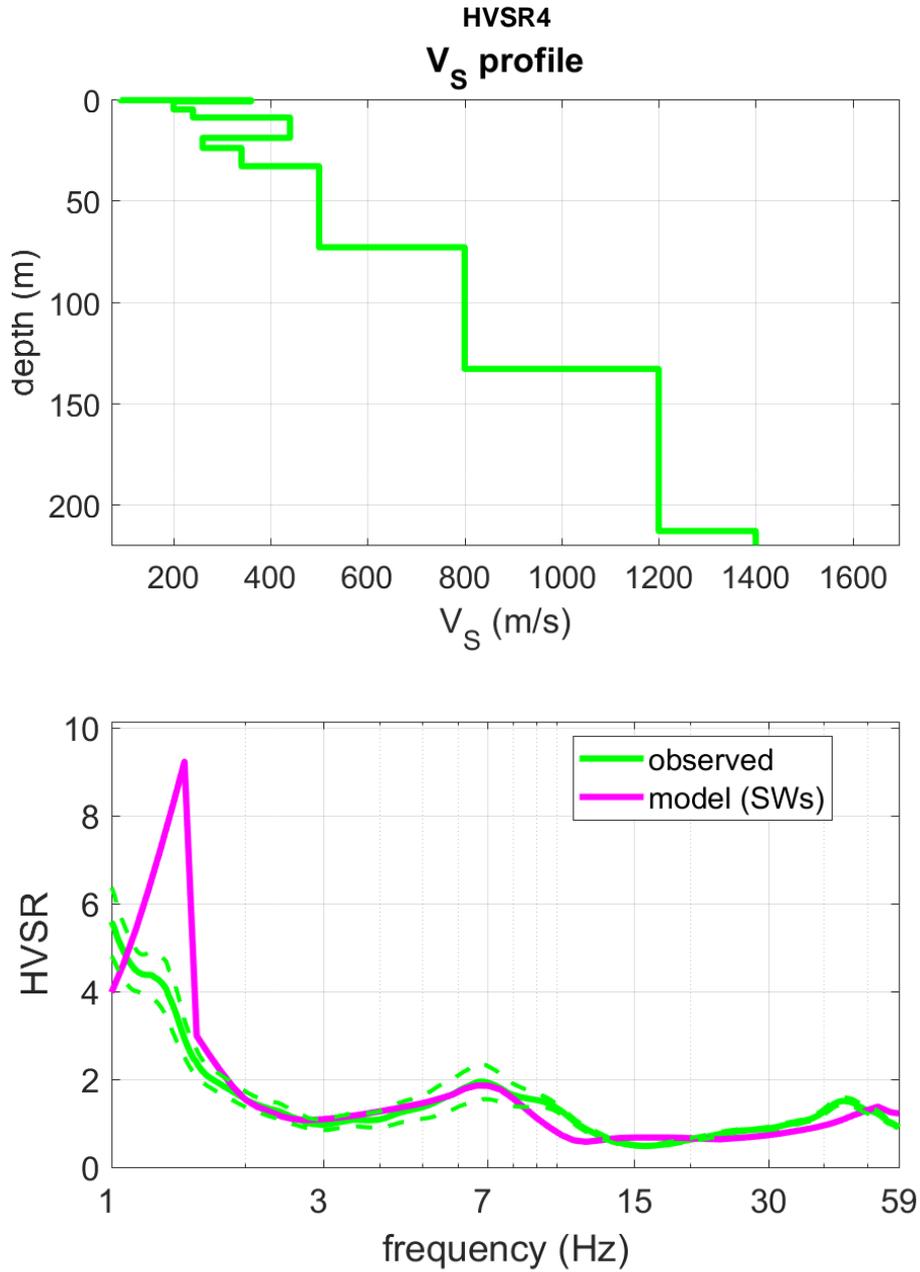
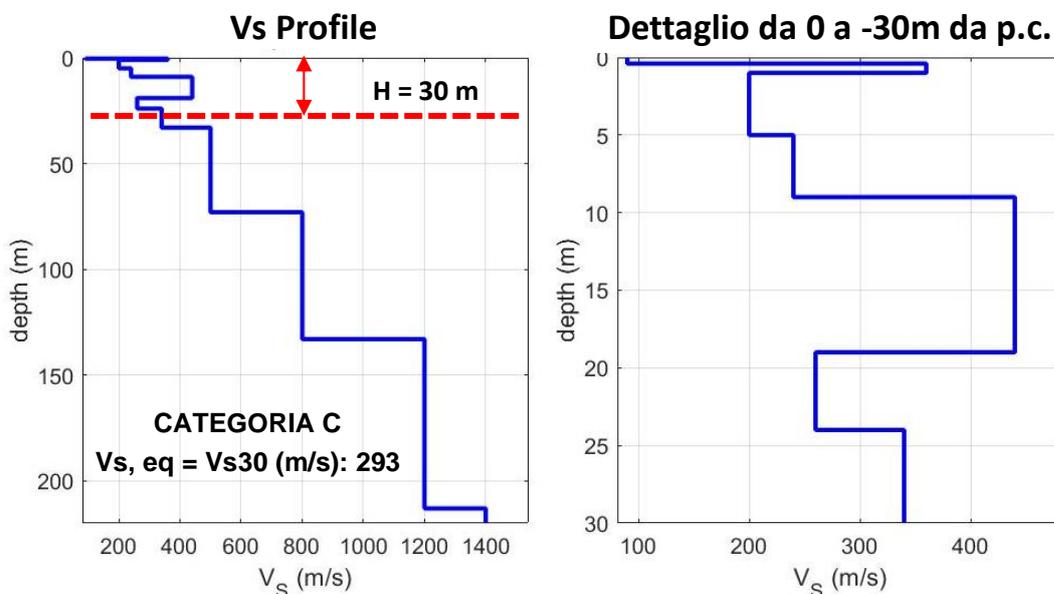


Tabella C - Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle prove HVSR negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0, 5 a 20 Hz) DA PROVE HVSR						
N°PROVA	CRITERI SESAME <i>Reliable H/V Curve</i>	CRITERI SESAME <i>Clear H/V Peak</i>	PICCHI <i>PRINCIPALE: F0 SECONDARIO: F1</i>	FREQUENZA <i>[Hz]</i>	VALORE DEL RAPPORTO <i>H/V</i>	QUALITÀ MISURA
HVSR1	3 su 3	2 su 6	F0 F1	0,5 +/- 0,2 ~7	12,3 +/- 2,8 ~ 2,0	B1

Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,4	90
2	0,4	0,6	360
3	1,0	4,0	200
4	5,0	4,0	240
5	9,0	10,0	440
6	19,0	5,0	260
7	24,0	9,0	340
8	33,0	40,0	500
9	73,0	60,0	800
10	133,0	80,0	1200
11	213,0	Inf.	1400



C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

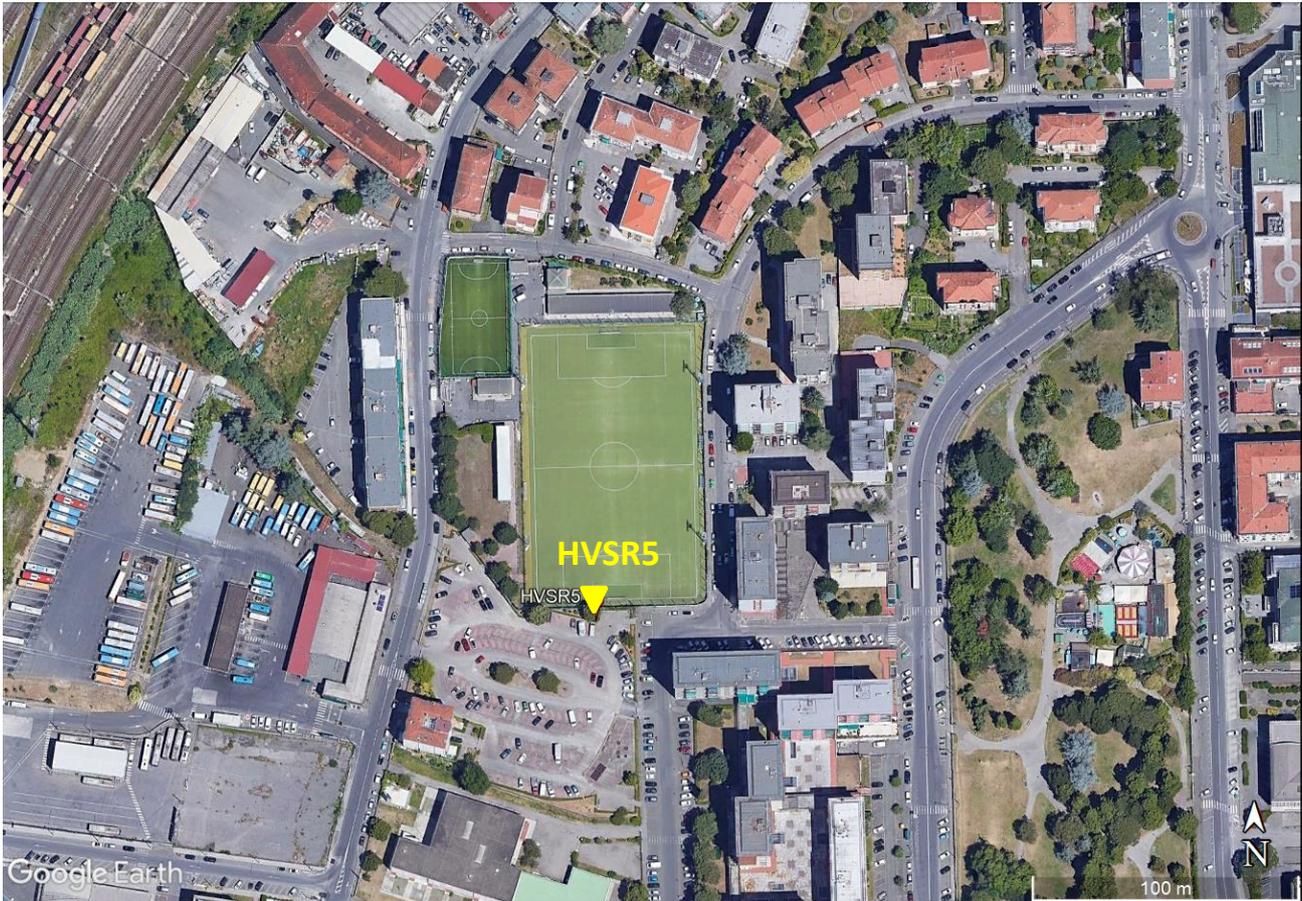
Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = VsH		
Profondità appoggio	Vs, eq = VsH [m/s]	Categoria di sottosuolo
P.C.	293	C
-0,5m	303	C
-1m	302	C
-1,5m	306	C
-2,0m	309	C
-2,5m	312	C

Dott. Geol. Gabriele Oppo, Vicolo San Clemente N°1, 43043 Borgo Val di Taro (PR).
Tel. 320-2180522
E-mail: gabrieleoppo.geo@libero.it

LOCALIZZAZIONE INDAGINI GEOFISICHE → HVSR5

INDIRIZZO: Via Bologna
COMUNE: La Spezia (SP)
DATA ACQUISIZIONE: 08 11 2021
ORA: 12.45



Subsurface model

Vs (m/s): 160 350 360 240 200 300 400 900 1100 1250 1900

Thickness (m): 0.5 1.0 1.5 4.0 8.0 5.0 10.0 50.0 60.0 80.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.78 1.99 2.00 1.89 1.84 1.95 2.03 2.25 2.30 2.34 2.45

Seismic/Dynamic Shear mod. (MPa)(appr. val.): 46 244 259 109 74 175 324 1820 2786 3652 8852

Poisson: 0.38 0.34 0.48 0.33 0.38 0.28 0.30 0.38 0.31 0.26 0.19

Vs, eq = Vs30 (m/s): 277

H = 30 m

CATEGORIA E

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Picchi di interesse ingegneristico fra 0,5-20 Hz:

F0 → 1,5-2,5 Hz

ACQUISIZIONE HVSR5

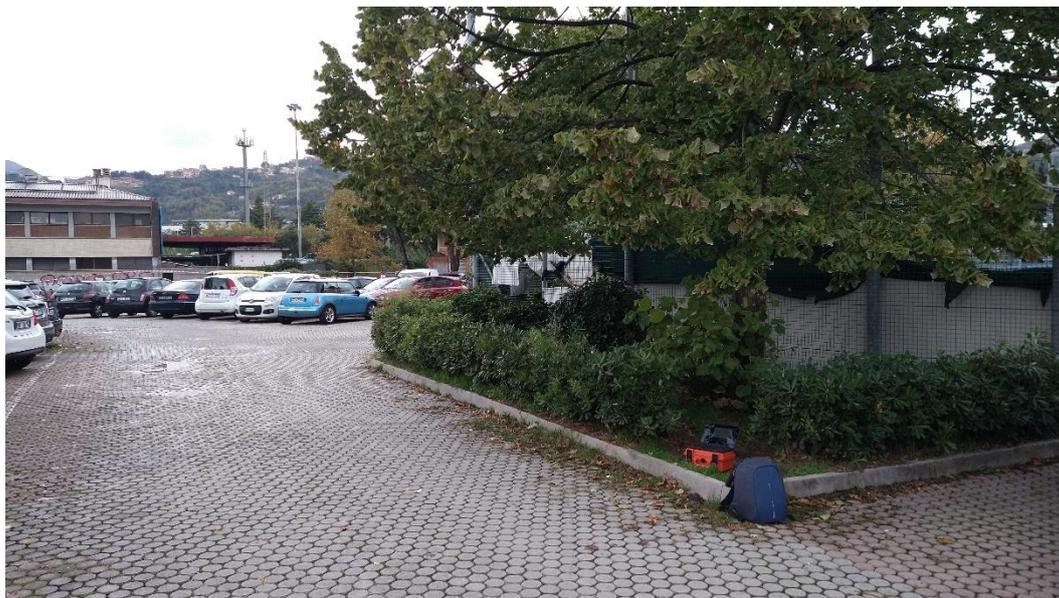


Figura A. 5 - Acquisizione HVSR5 realizzata in corrispondenza dell'area di studio.

ACQUISIZIONE HVSR5

CLASSE DI QUALITÀ DELLA MISURA	A	B1	B2	C
Descrizione delle Classi	CLASSE A: Prova affidabile ed interpretabile	CLASSE B1: Prova da interpretare che presenta almeno un picco chiaro	CLASSE B2: Prova da interpretare che non presenta picchi chiari nell'intervallo di frequenze considerato	CLASSE C: Prova scadente difficile da interpretare

SESAME HVSR MEASUREMENT FIELD SHEET			
Comune: La Spezia (SP)		Indirizzo: Via Bologna	
Attività da svolgere: Indagine HVSR		Data: 08/11/2021	Ora: 12.45
DATI TECNICI			
Operatore: Geol. Gabriele Oppo		Indagine n° HVSR5	Codice file /
Strumento: Geofono triassiale da 2 Hz "GEMINI 2" <i>PASI Instruments</i>		Freq. Campionamento: 200 Hz	Durata (min): 25 min

CONDIZIONI ATMOSFERICHE

Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderato	<input type="checkbox"/> forte
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> moderata	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA

Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso limoso duro	<input checked="" type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> sabbia e ghiaia	<input type="checkbox"/> roccia
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> sabbia
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> altro
	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento			

STRUTTURE CIRCOSTANTI

Abitazioni	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti		<input type="checkbox"/> Presenti	

SORGENTI DI RUMORE

Disturbo discontinuo	Assente	Raro	Moderato	Forte	Molto forte	Distanza (m)
	<i>auto</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>mezzi pesanti</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
	<i>passanti</i>		<input checked="" type="checkbox"/>			
	<i>altro</i>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Disturbo continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Assenti			<input type="checkbox"/> Presenti		

ACQUISIZIONE HVSR5

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Dataset: SITE20211108_1245_HVSR5_T5.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

HVSR computation: quadratic mean

Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz

Length of analysed dataset (min): 21.7

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.5 (±0.6)

Peak HVSR value: 5.0 (±0.9)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.532 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $1869 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.4Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.8Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $5.0 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.642 > 0.153$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $1.296 < 1.78$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

winMASW - Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

ACQUISIZIONE HVSr5

show current data

step#1 (optional) - decimate

128 Hz new frequency

step#2 - HV computation

remove events: L2H H&T & T clean axes

20 window length (s)

5 tapering (%)

Min. freq.: 0.5 Hz

5000 HVSR threshold

15% spectral smoothing (triangular window)

6 detrending order no equalizer

full output

particle motion, all HVSRs: time lapse videos

close windows

save videos

directivity analysis

direction to analyze:

save - optional: save HVSR as it is

save HV from: 0.5 to 60 Hz

save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra

HVSR pick data

save picked HV

quick analysis (HV=V_s/V_H)

200 average V_s (m/s) (from surface to bedrock)

20 depth of the bedrock (m)

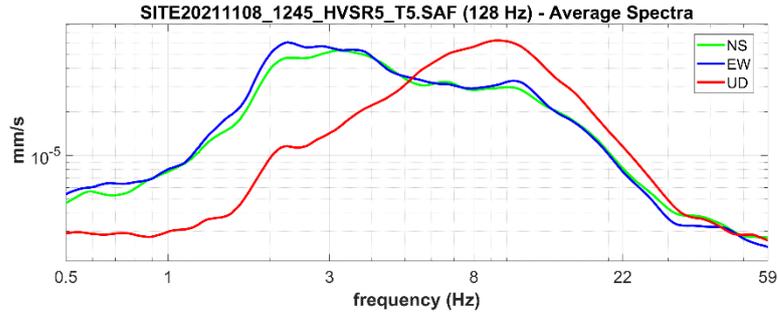
1000 V_s of the bedrock

highlight a frequency

draw/highlight: 10 Hz

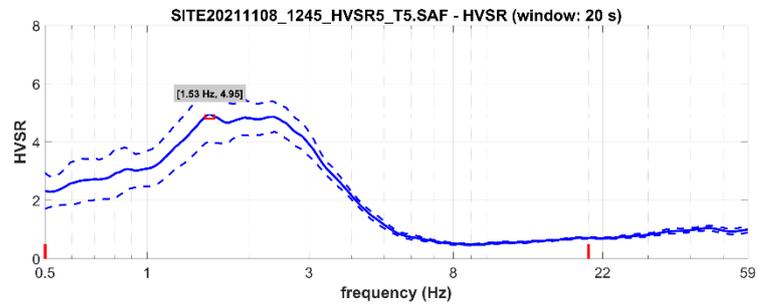
directivity over time

directivity in time: time: 60 s



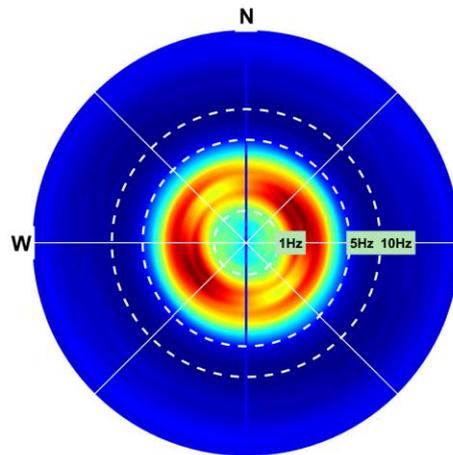
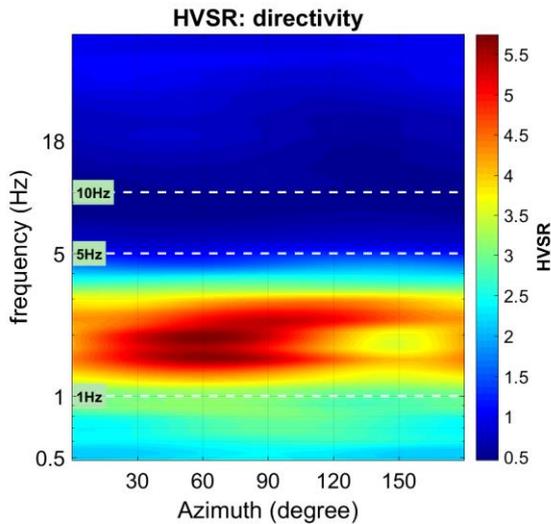
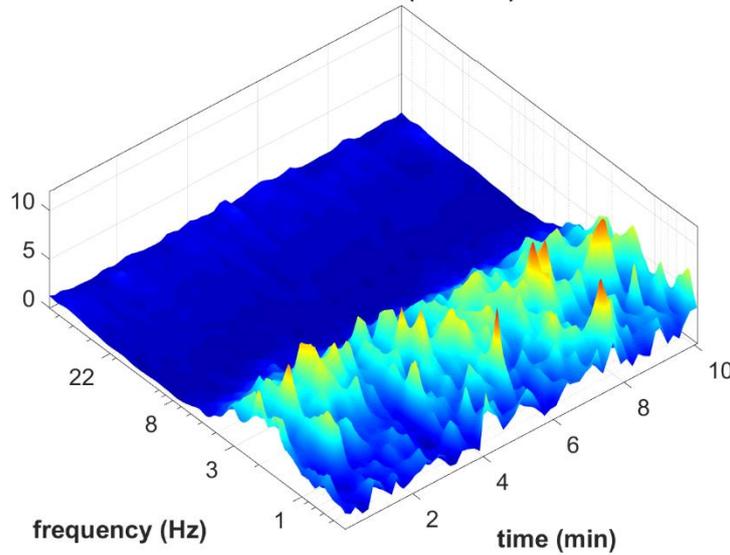
your comments

default axes



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

HVSR vs Time (3D view)



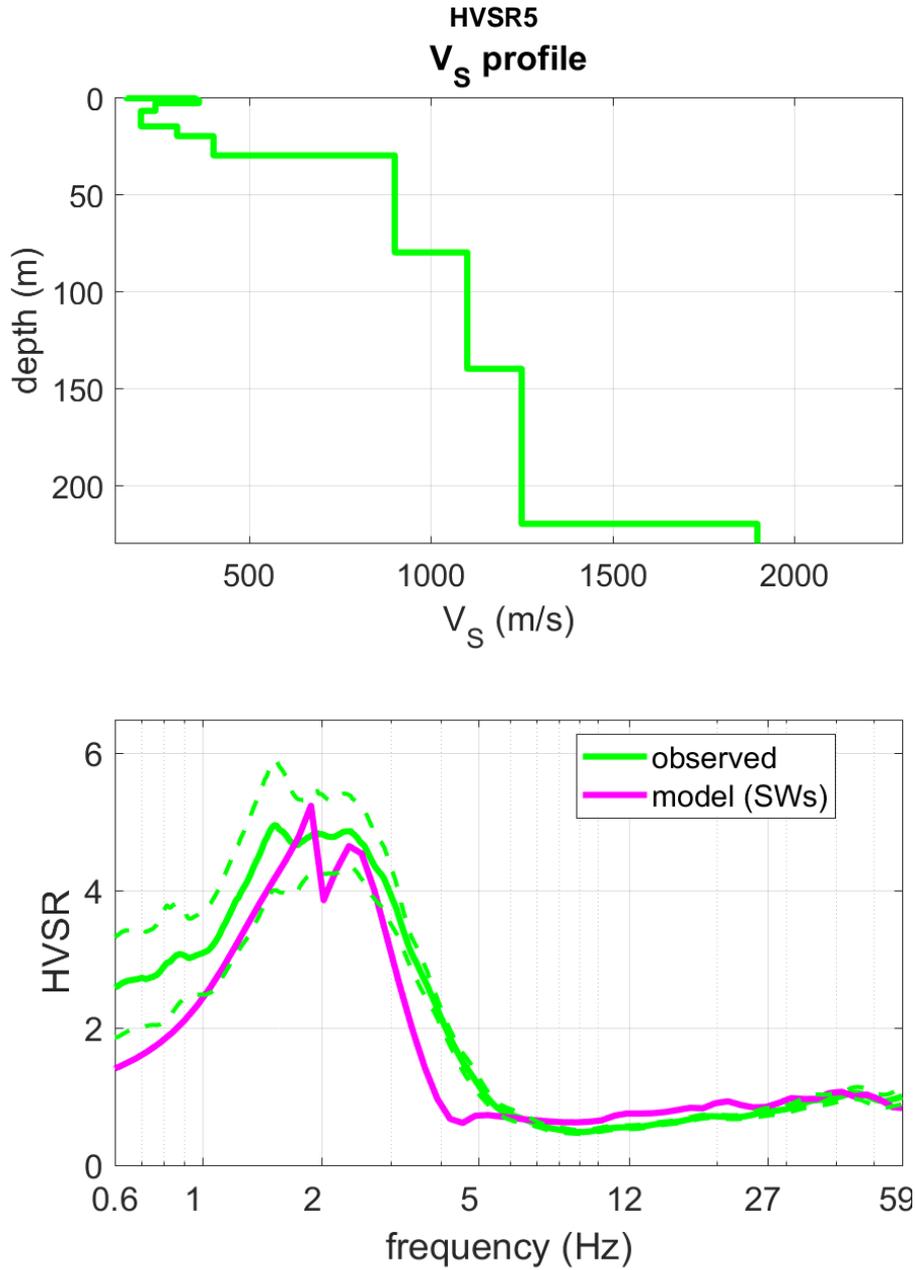
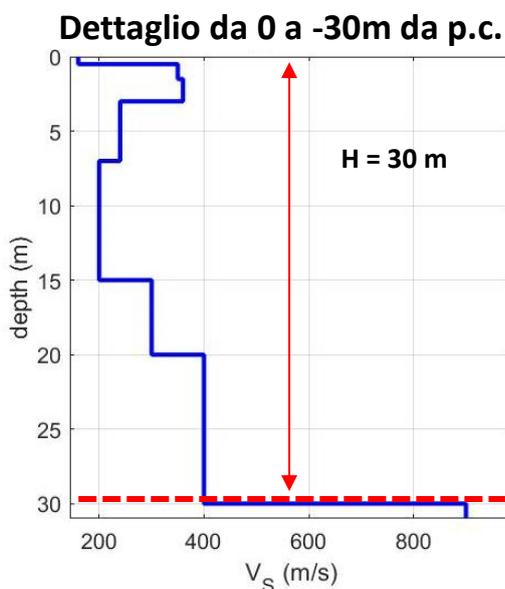
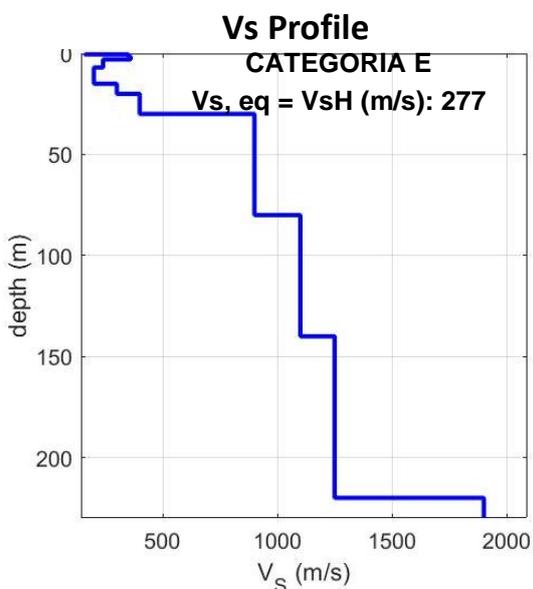


Tabella C - Picchi delle frequenze di risonanza determinate dalle prove HVSR negli intervalli di frequenze di interesse ingegneristico.

PICCHI DELLA FREQUENZA IN SITO (da 0, 5 a 20 Hz) DA PROVE HVSR						
N°PROVA	CRITERI SESAME <i>Reliable</i> <i>H/V Curve</i>	CRITERI SESAME <i>Clear</i> <i>H/V Peak</i>	PICCHI <i>PRINCIPALE: F0</i> <i>SECONDARIO: F1</i>	FREQUENZA <i>[Hz]</i>	VALORE DEL <i>RAPPORTO</i> <i>H/V</i>	QUALITÀ <i>MISURA</i>
HVSR1	3 su 3	4 su 6	F0 F1	1,5 +/- 0,6 ~	5,0 +/- 0,9 ~	B1

Tabella D - Stratigrafia sismica e parametri determinati.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio Vs [m/s]
1	0	0,5	160
2	0,5	1,0	350
3	1,5	1,5	360
4	3,0	4,0	240
5	7,0	8,0	200
6	15,0	5,0	300
7	20,0	10,0	400
8	30,0	50,0	900
9	80,0	60,0	1100
10	140,0	80,0	1250
11	220,0	Inf.	1900



E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella E - Calcolo Vs, eq = Vs30 per i primi 2,5 m dalla profondità di appoggio della fondazione.

DETERMINAZIONE Vs, eq = VsH			
Profondità appoggio	Vs, eq = VsH [m/s]	H [m]	Categoria di sottosuolo
P.C.	277	30	E
-0,5m	280	29,5	E
-1m	279	29	E
-1,5m	278	28,5	E
-2,0m	277	28	E
-2,5m	276	27,5	E

CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE PER L'ACQUISIZIONE GEOFISICA

Per effettuare le misure di sismica attiva/passiva è stato impiegato il “**GEMINI-MASW**” della **PASI S.r.l.** (Fig. A. 3a; Fig A. 3b). Per le specifiche tecniche dello strumento si rimanda alla **Figura A.4** e all'indirizzo internet del produttore: <https://www.pasisrl.it/>.



Figura A. 6a - Versione “GEMINI HVSR” basilare impiegata per la prospezione sismica passiva: dettaglio dei supporti intercambiabili in dotazione, da sostituire a seconda che si acquisisca su superficie rigida o su terreno.



Figura A. 6b - Versione “GEMINI MASW” impiegata per la prospezione sismica attiva: lo stendimento prevede il collegamento della strumentazione procedendo da sinistra verso destra. In aggiunta va inserito il PC come per una normale acquisizione HVSR.

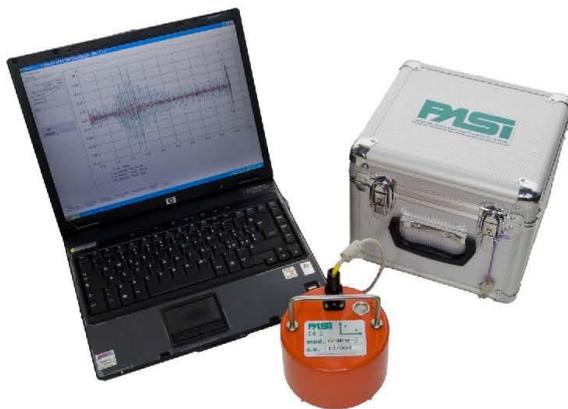


**GEOFONO 3D DA SUPERFICIE CON INTERFACCIA USB
MOD. GEMINI-2**

www.pasigeophysics.com



SPECIFICHE TECNICHE GEMINI -2	
SCHEDA ACQUISIZIONE DATI	
Alimentazione / Registrazione Dati	Tramite porta USB di un PC esterno (di fornitura Cliente)
Conversione Dati	Convertitore A/D Sigma-Delta 24 bit reali
Frequenza di Campionamento	Max. Freq. 8ksps, simultaneamente su 3+1 canali
Rapporto S/N	Max 117 db
Largh.Banda +/- 0.1 dB	108 Hz @ 1ksps
Largh.Banda -3 dB	212 Hz @ 1ksps
Numero di canali	3 + 1 (trigger)
Formato Dati	SAF (Sesame ASCII Format) / SEG2 (.dat)
SENSORI GEMINI 2	
Freq. nat. di risonanza	2 Hz ± 10%
Sensibilità	2 V/cm•S ⁻¹ ± 5%
Resistenza interna	5.8 kΩ ± 5%
Damping	0.7 ± 10%
Distorsione armonica	≤ 0.2%
Impedenza d'ingresso	≥ 10 MΩ
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	automatico quando non in uso
Dimensioni	Diam. 128 mm h. 175mm
Peso	2.4 Kg



Accessori Disponibili:

- Opzione trigger esterno
- Opzione GPS (georeferenziazione, temporizzazione e sincronizzazione)
- Geofono starter
- Cavo Prolunga Trigger (graduato in cm)

P.A.S.I. S.R.L. — Via Galliari 5/E — 10125 Torino - Italy
tel. +39 (0)11 6507033 - sales@pasisrl.it - www.pasigeophysics.com

Specifiche soggette a cambiamento senza preavviso

Figura A. 7 - Specifiche tecniche del "GEMINI MASW" della PASI S.r.l., impiegato per le prospezioni sismiche.

ACCESSORI “GEMINI HVSR”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

ACCESSORI “GEMINI MASW”

- n.1 geofono triassiale Gemini da 2 Hz;
- n°3 puntali per terreno;
- n°3 piedini regolabili (per utilizzo su asfalto o supporti/materiali rigidi);
- n.1 cavo USB per connessione a PC dotato di connessione per trigger (geofono starter o mazza di battuta);
- n.1 cavo schermato su rullo (Mt. 100) per trigger Gemini;
- n.1 geofono starter;
- n.1 mazza di battuta da 8Kg, con starter piezoelettrico;
- n.1 piattello di battuta in alluminio per energizzazione verticale, dimensioni 20x20x5 cm;
- n.1 traversina in legno per energizzazione laterale;
- n.1 chiave USB-GPS per geo-localizzazione;
- n.1 chiave USB con manuale, software di gestione e documentazione tecnica.

SOFTWARE DI ACQUISIZIONE DATI:

- ***PASI GEA 24 - Versione 2.1.2***
- ***PASI GEMINI - Versione 3.2.4***

SOFTWARE DI ELABORAZIONE DATI:

- ***WinMASW 3C - Versione 2019***
- ***HoliSurface - Versione 2019***
Per maggiori dettagli, si prega di consultare l'indirizzo Internet:
<https://www.winmasw.com/>
- ***ZondST2D - Seismic Tomography 2D (vers. 4.2).***
Per maggiori dettagli, si prega di consultare l'indirizzo Internet:
<http://zond-geo.ru/english>