



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato della Difesa dell'Ambiente

D.L. n. 180/98 convertito con L. n. 267/98.
Esecutività della D.G.R. n. 38/14 del 08.08.2017 di riprogrammazione delle risorse degli interventi di sistemazione idraulica per la mitigazione del rischio e della pericolosità idrogeologica.
Determinazione di delega del Dir. Serv. TNPf prot. 22133 rep. 676 del 20.10.2017

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SUL RIO CANNAS - SAN PRIAMO (SISTEMAZIONE IDRAULICA DELLA EX SS 125 AL RIO PICOCCHA CHIAVICA IN IMMISSIONE RIO CUGURRANTI - PROTEZIONE RILEVATO EX SS 125)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE GEOLOGICA

Il Progettista ing. Andrea Sanguinetti	Il Responsabile del Procedimento ing. Giampaolo Porru	Allegato 6
Il Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione geom. Giovanni Dessì	Il collaboratore alla progettazione geol. Pasqualino Littera	Scala
Il redattore della relazione geologica geol. Stefano Andrea Corda		Data: Ottobre 2021
		Revisione: Settembre 2022

1. GENERALITÀ

1.1. PREMESSA

La presente relazione Geologica-Geotecnica è parte integrante del progetto relativo agli “Interventi di sistemazione idraulica sul rio Cannas – San Priamo (sistemazione idraulica della ex SS 125 al rio Picocca chiavica in immissione. LOTTO I”.

Tale progetto si inserisce all'interno di una convenzione più ampia stipulata tra l'Assessorato della Difesa dell'Ambiente della Regione Autonoma della Sardegna e il Consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale, repertorio 24322-31 del 10.11.2014, avente ad oggetto “L'esecuzione di un programma rimodulato di interventi in difesa del suolo finanziato con i fondi della legge 18/05/1989 m.183 e del decreto legge 11/06/1998, n. 180 convertito, con modificazioni, in legge 03 agosto 1998, n. 267, e s.m.i. – annualità 1998-2001”, modificata con atto aggiuntivo repertorio 14756-32 del 11.07.2017.

Il presente elaborato avrà come obiettivo le seguenti finalità:

- caratterizzazione geologica dell'area vasta con riferimenti ad un idoneo contorno del sito di intervento, con ricostruzione dei caratteri litostratigrafici, idrogeologici, geomorfologici nonché degli aspetti legati alla pericolosità geologico-idraulica territoriale;
- ricostruzione del modello geologico;
- parametrizzazione geotecnica dei terreni interessati dall'opera;
- identificazione delle eventuali problematiche inerenti alla vulnerabilità sismica del territorio e la risposta sismica locale di base.

La buona conoscenza dei luoghi, maturata in occasione di numerosi studi pregressi a carattere geologico e geotecnico effettuati nelle aree immediatamente circostanti per altre iniziative di messa in sicurezza da parte del CBSM e dell' *Ente Acqua della Sardegna* (all'epoca *Ente Autonomo del Flumendosa*), con particolare riferimento a quelli predisposti sulla base del *Piano Straordinario per il riassetto idrogeologico L.N. 267/98* approvati successivamente con Decreto Interassessoriale n° 110 del 01 marzo 2004, assicura un importante supporto allo studio dei luoghi e consentono, in via preliminare, di elaborare un modello geologico e geotecnico del sito adeguato ad affrontare le specifiche problematiche connesse con la realizzazione delle opere previste nel progetto.

Nella presente fase preliminare è stata inoltre affidata allo studio “SoilTech” (determinazione D.tec. n.346 del 13/05/2020) l'esecuzione di una campagna geofisica finalizzata agli approfondimenti degli aspetti geologici e sismici per supportare adeguatamente la progettazione dell'intervento nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018 (NTC2018).

1.2. RICHIAMI NORMATIVI

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento dello studio e la compilazione del presente documento tecnico è la seguente:

- Circolare C.S. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009 «Istruzioni per l'applicazione delle nuove "Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008»;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018 «Norme Tecniche per le Costruzioni»;
- D.M. Infrastrutture del 06.05.2008 «Integrazioni al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni emesse ai sensi delle leggi n. 1086 del 05.11.1971 e n. 64 del 02.02.1974, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al D.P.R. n. 380 del 06.06.2001 e dell'art. 5 del D.L. n. 136 del 28.05.2004, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della Legge n. 186 del 27.07.2004 e ss.mm.ii.»;
- Ordinanza P.C.M. n. 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»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;
- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- D.M. LL.PP. 16.01.1996 «Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»;
- Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988;
- D.M. LL.PP. n. 11.03.1988 «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»;
- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche»;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale

n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 dell'11.03.2005, e relative Norme di Attuazione;

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali della Sardegna (PSFF) adottato in via definitiva con Delibera n.1 del 20.06.2013;
- D. Lgs. 03.04.2006 n. 152 «Norme in Materia Ambientale».
- A.G.I. 1977 «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche».

1.3. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area di ubicazione dell'intervento è posta in prossimità della costa orientale della Sardegna, nel territorio comunale di San Vito, in prossimità del limite comunale dell'adiacente comune di Muravera. Il settore, è adiacente all'area della piana di San Priamo e comprende, nello specifico, parte del bacino imbrifero del rio Cannas sotteso alla sezione di sbocco nel rio Picocca.

La piana di San Priamo si estende dal mar mediterraneo sino all'omonimo villaggio al km 56 della vecchia SS 125 e sino al vecchio ponte sul Picocca; i confini sono ben delimitati da una serie di rilievi collinari di natura granitoidi di età ercinica. Queste rocce granitoidi rappresentano il basamento di una coltre di depositi quaternari la cui potenza non supera i 50m.

Dal punto di vista cartografico l'area è compresa nel Foglio n. 558 Sezione I Muravera della Carta I.G.M. in scala 1:25.000 e nelle Sezioni n. 558-030 della Carta Tecnica Regionale della Sardegna (C.T.R.) in scala 1:10.000,



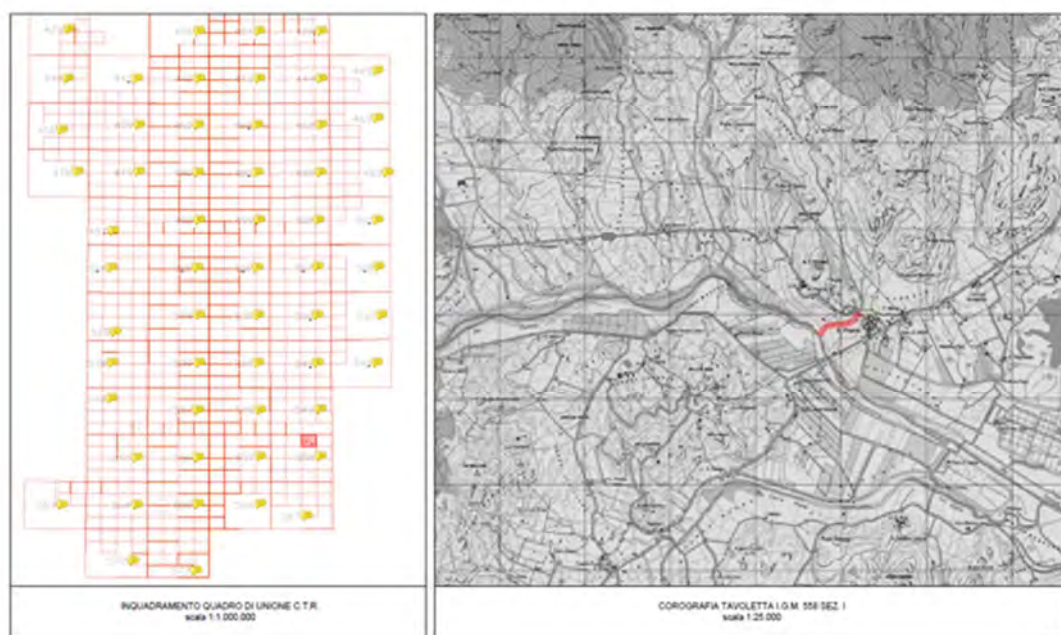
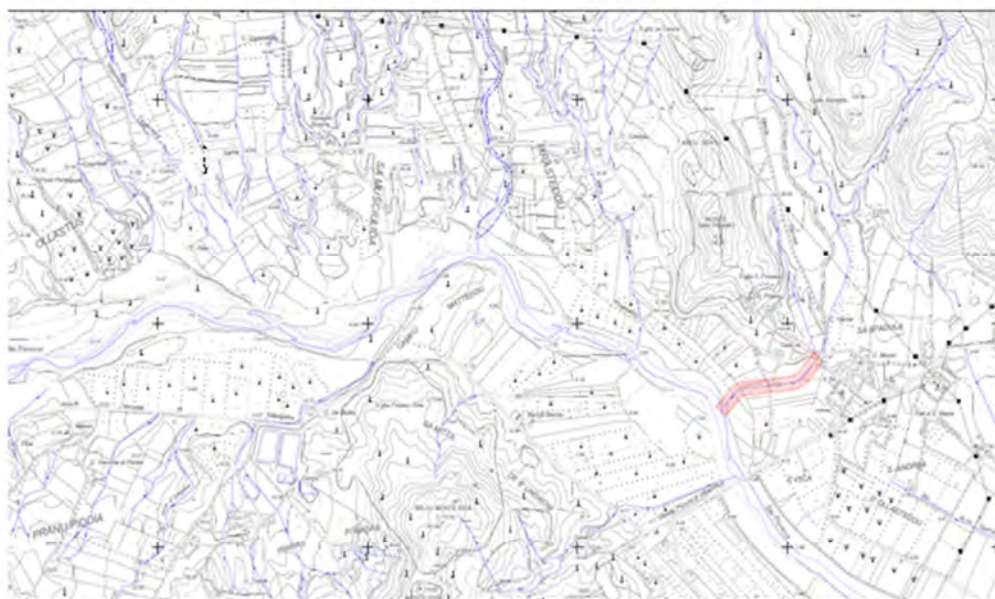


Fig. 1: inquadramento dell'area interessata dai lavori (area tratteggiata in rosso) su C.T.R. 1:10.000 della R.A.S., su stralcio della Carta Topografica d'Italia serie M 25 in scala 1:25.000 foglio 558 sez.1, su immagine satellitare da Google Maps.

1.4. DESCRIZIONE SOMMARIA DELL'INTERVENTO

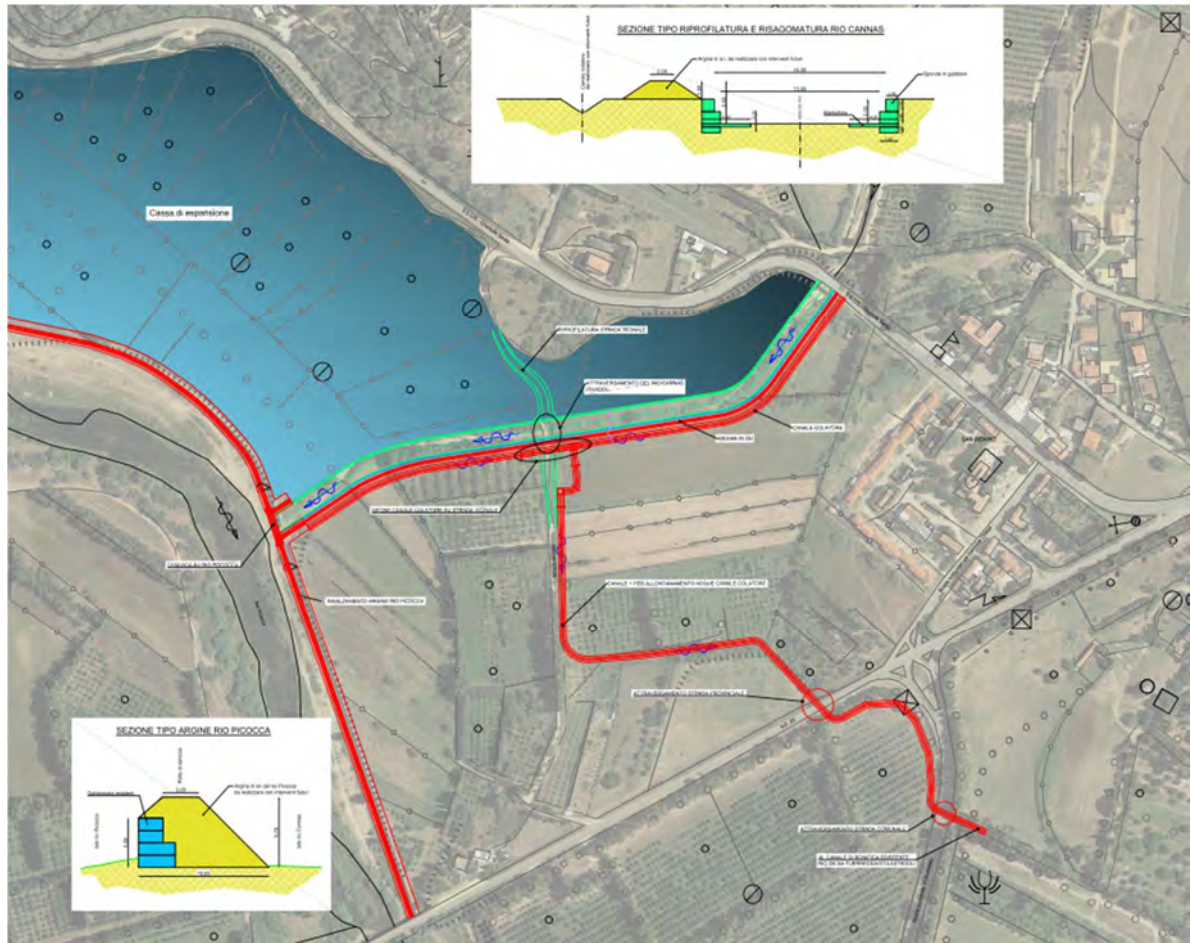
A seguito di diversi allagamenti dell'area compresa tra San Priamo e l'argine in sinistra del rio Picocca, l'Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente (ARPAS) ha individuato una serie di interventi atti alla mitigazione del rischio e della pericolosità idraulica oggetto della convenzione con questo Consorzio, consistenti in:

- adeguamento della esigua sezione idraulica del rio Cannas, ai parametri di calcolo idraulico oggi vigenti in dipendenza del PSFF, nel tratto compreso tra il ponte sulla ex SS 125 e lo sfocio sul rio Picocca;
- realizzazione nello sfocio sul rio Picocca di una chiavica multiparatoia, antireflusso, a protezione dell'abitato di San Priamo, in occasione degli eventi di piena del rio Picocca;
- esecuzione argine a tergo gabbioni, al fine di consolidarne la stabilità, creare una barriera idraulica e contestualmente una via d'accesso alla chiavica in scenari di criticità ambientale.

Non essendo possibile, allo stato attuale del finanziamento, poter realizzare tutti gli interventi sopra elencati, ci si è posti l'obiettivo di realizzare in questo primo Lotto le opere di mitigazione che possano dimostrare un significativo miglioramento della funzionalità idraulica rispetto alla situazione ante intervento, a parità di criteri utilizzati per tale verifica, e ottemperare comunque alle condizioni dettate dal suddetto dall'articolo 21 comma 2 quater delle Norme di Attuazione del PAI aggiornate nell'ottobre 2019.

Pertanto si è optato di mettere in sicurezza il rio Cannas mediante la realizzazione di argini in gabbioni, collegando il tratto che parte dal ponte sulla SS125, in sinistra e destra idraulica, sino al raccordo con gli argini del Rio Picocca, già oggetto d'intervento del CBSM nel 2001.

La riduzione delle pericolosità idraulica permetterà di salvaguardare il centro abitato da possibili danni a persone e cose che un'eventuale piena potrebbe causare, e nello stesso tempo consentirà di limitare i danni alle aree limitrofe dedite per la maggior parte ad attività agrumicole.



2. MODELLAZIONE GEOLOGICA

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TETTONICO DELL'AREA VASTA

L'area vasta è costituita da rilievi da aspri a dolci la cui ossatura è rappresentata dal basamento paleozoico, comprendente litologie appartenenti alla successione tettonico – stratigrafica della catena ercinica sarda, e da terreni di copertura riconducibili all'evoluzione geomorfologica avvenuta dal “Quaternario antico” fino ai depositi attuali.

Come è noto, la catena ercinica sarda è costituita da diverse falde di ricoprimento, messe in posto con movimento da NE verso SW durante il Carbonifero inferiore.

Le formazioni che costituiscono l'edificio a falde danno luogo, non lontano dalla zona di studio, ad un contatto tettonico di importanza regionale, noto con il nome di "Accavallamento di Villasalto", che, con direzione circa E-W, si estende dal Capo San Lorenzo fino a San Basilio.

Lungo tale contatto, l'Unità tettonica del Sarrabus si sovrappone all'Unità del Gerrei. Della prima unità nell'area presa in esame affiora solo la Sottounità di Genn' Argiolas, composta prevalentemente da metarenarie e metaquarziti cambro-ordoviciane; mentre della seconda affiora solo la Sottounità di Monte Lora, composta dalle formazioni vulcaniche, terrigene e carbonatiche ordoviciane e siluro-devoniche.

Le unità tettoniche durante l'orogenesi ercinica sono state deformate ed impilate; solo durante il Carbonifero superiore ed il Permiano si ebbe un'importante tettonica distensiva che portò anche alla messa a giorno di tali strutture deformative, nonché alla messa in posto del complesso magmatico tardoercinico (complesso granitoide del Sarrabus), caratterizzanti la geologia dell'area interessata dai lavori.

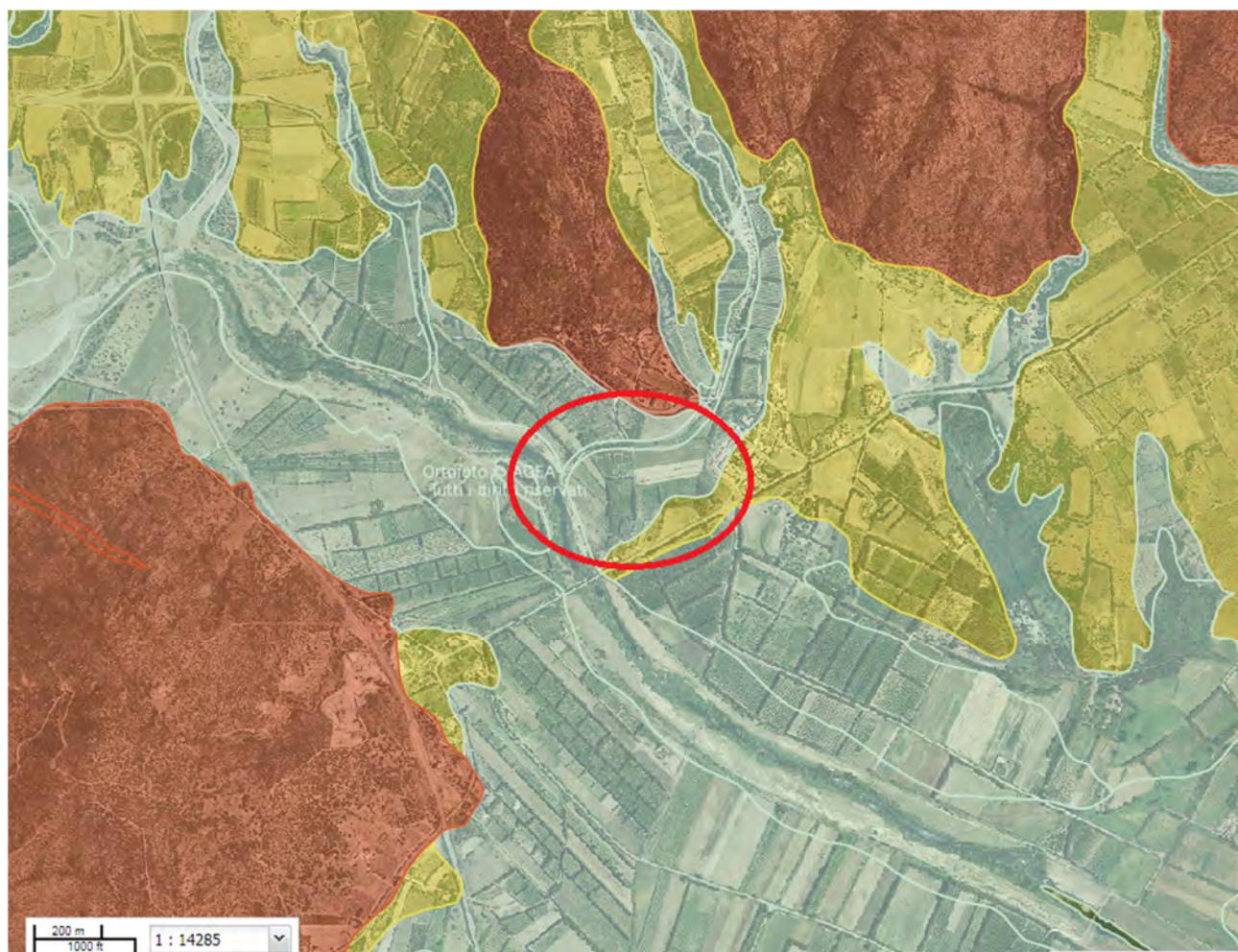
Successivamente all'esumazione dei rilievi paleozoici, iniziarono i processi di modellamento per effetto degli agenti esogeni, che portarono alla formazione del vasto penepiano ercinico del Sarrabus - Gerrei.

Oltre all'Accavallamento di Villasalto sono presenti altre importanti lineazioni tettoniche, che hanno influenzato notevolmente l'attuale conformazione della zona, determinando dislocazioni e fratture nel complesso metamorfico paleozoico.

Le principali lineazioni di dislocazione sono di età paleozoica, presentano direzioni NW-SE, NE-SW, E-W e N-S, e sono state comunque riprese e riattivate durante la tettonica alpina terziaria, causando un ringiovanimento del rilievo.

Nella zona oggetto d'indagine, come si può osservare dallo stralcio della mappa geologica redatta dalla R.A.S. seguente, che l'ossatura fondamentale della zona interessata dalle opere in progetto è costituita da:

- rilievi collinari caratterizzati dalle rocce del complesso Granitoide del Sarrabus , ovvero dalle plutoniti che si ritrovano in facies di leucograniti, di color rosa, equigranulari la cui paragenesi è costituita da quarzo, K-feldspato, plagioclasio, biotite e clorite.
- Quaternario e dai "terreni di copertura quaternari e attuali", che occupano tutte le aree di fondovalle, i compluvi e parte dei versanti, secondo la successione litologica dettagliatamente descritta nel seguito.



Legenda

- CR02-P00: Complesso Granitoide del Sarrabus – CARBONIFERO-PERMIANO
- PLE3-PLS3: Ghiaie Alluvionali Terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie- PLEISTOCENE SUP.
- HOL0-HOL0: Depositi alluvionali terrazzati- Ghiaie con subordinate Sabbie – OLOCENE-ATTUALE
- Area interessata dai lavori

Fig. 4: Carta Geologica del settore d'interesse su base planoaltimetrica CTR in scala 1:10.000-
Fonte cartografica geologica da "SardegnaMappe"

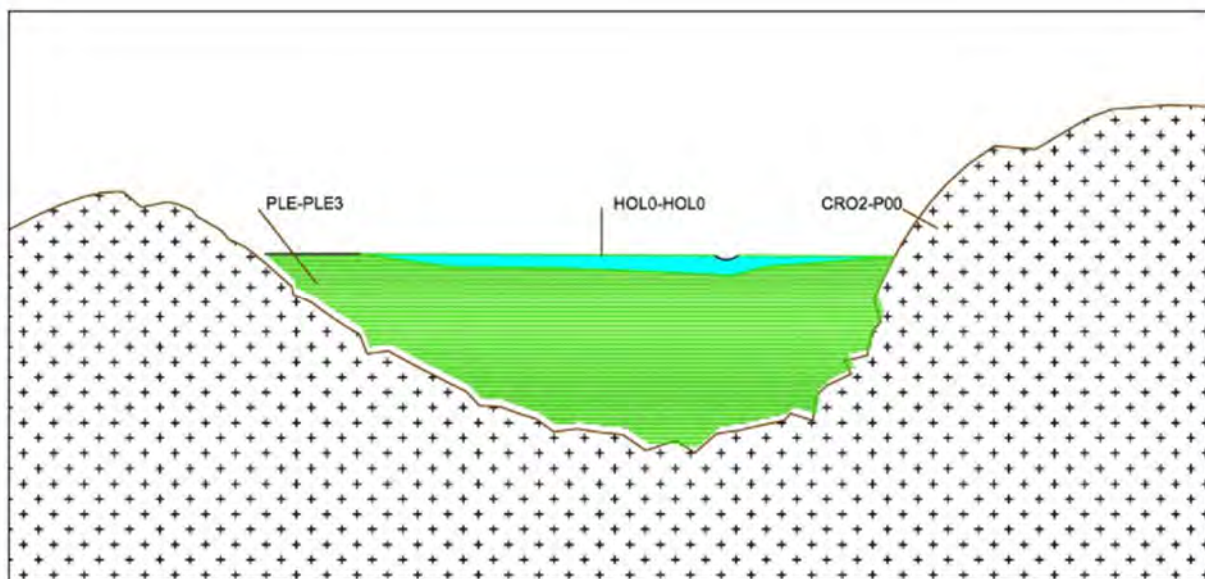


Fig. 5: Sezione tipo delle aeree indagate (disegno non in scala).

2.2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO E IDROGRAFICO

L'area interessata dalle opere in progetto è ubicata nella bassa valle del Rio Picocca, nel tratto compreso poco prima del centro abitato di San Priamo e il raccordo a mare tramite le zone umide di *Colostrai* e *Feraxi*.

In questa zona sono riconoscibili tre aspetti geomorfologici principali: forme accidentate, forme di raccordo e forme di pianura.

Forme accidentate

Occupano le zone montuose e collinari in cui affiorano le litologie paleozoiche e comprendono i rilievi che fanno da cornice all'area vasta.

Si tratta di aree in cui le litologie predominanti sono costituite da rocce metamorfiche (scisti più o meno arenacei ed argillosi) ed intrusive (porfidi e graniti), con permeabilità scarsa o nulla; sono caratterizzate da linee di cresta nette e da un'erosione areale di intensità variabile in funzione della pendenza, ma sempre piuttosto evidente. I processi erosivi in atto, spesso di notevole intensità, sono testimoniati anche dall'assenza di suoli profondi e quindi dalla presenza, assai diffusa, della roccia affiorante.

I versanti sono frequentemente a profilo convesso, molto acclivi, le pendenze infatti risultano mediamente superiori al 40%. Sui versanti sono assai diffusi i solchi e le incisioni permanenti e con profilo a "V", prevalentemente in roccia affiorante, indice di un'intensa azione erosiva lineare ad opera essenzialmente dell'acqua.

Un elemento morfologico assai caratteristico della testata delle valli, presente quindi nella parte alta dei bacini idrografici, è costituito dai coni di detrito formati da ciottolami eterometrici e spigolosi, generalmente sciolti e privi di matrice che potrebbe fungere da legante; i coni sono di forma allungata e disposti all'interno dei solchi di ruscellamento e delle vallecole, sono caratterizzati da un'estrema instabilità, causata dalla gravità e dall'azione erosiva dell'acqua. In occasione degli eventi meteorici più estremi queste caratteristiche determinano una facile erosione al piede e il conseguente trasporto di grosse quantità di detriti verso il bacino vallivo dei corsi d'acqua, dove vanno ad intasare gli alvei.

Nelle aree contraddistinte dalle forme accidentate le condizioni pedologiche poco favorevoli, con suoli poco evoluti e spesso troncati dall'erosione, determinano la presenza di una copertura vegetale assai scarsa e degradata. Tale stato di degrado è condizionato fortemente dall'intenso sfruttamento dovuto al pascolo ovino e caprino diffusissimo su tutto il territorio accompagnato, sia pur in minor misura, anche dal pascolo bovino e suino. A tutto ciò inoltre concorre anche la diffusa pratica degli incendi.

A questo proposito si può osservare che nelle zone più acclivi e con vaste plaghe di roccia affiorante, la vegetazione è di tipo ruderale (fico d'india, euforbia, cisto). Nelle zone meno acclivi e con suoli a spessore, comunque, piuttosto limitato è presente una macchia bassa e degradata a cisto, lentischio, fillirea, olivastri, rari lecci, e nei versanti esposti a sud anche euforbia. Nelle zone più preservate dall'erosione e dagli usi antropici, in particolare nei versanti esposti a nord, nelle zone a minor pendenza e lungo gli impluvi, la vegetazione può essere un po' più evoluta e costituita dalla macchia secondaria a olivastro, lentischio, leccio e corbezzolo. Localmente, in passato, sono stati realizzati diversi interventi di forestazione con essenze quali eucaliptus, conifere e latifoglie.

Nelle zone più prossime ai centri abitati si possono osservare i resti di antiche sistemazioni tradizionali costituite da muretti a secco che formano piccoli terrazzamenti, utilizzati in passato per le colture in asciutto (vite, mandorlo, olivi, peri, fichi). Molti di tali terrazzamenti, peraltro ormai abbandonati, sono in gran parte danneggiati, e non possono svolgere più, in modo adeguato, l'importante funzione di contenimento e di regimazione delle acque e del suolo.

Forme di raccordo

Occupano le zone pedemontane in cui affiorano prevalentemente litologie quaternarie, comprendono forme subpianeggianti o lievemente ondulate (conoidi alluvionali o "glacis", alluvioni antiche ferrettizzate), in genere debolmente acclivi, che dai rilievi paleozoici degradano dolcemente, convergendo verso la zona centrale della piana.

Si tratta di aree in cui le litologie predominanti sono costituite dai depositi di versante e dai depositi alluvionali antichi (depositi detritici ciottolosi a matrice argilloso-limosa o sabbioso-limosa) con permeabilità scarsa o molto limitata. L'erosione areale è di tipo diffuso e la sua intensità è funzione della pendenza.

Un carattere tipico delle conoidi alluvionali è la presenza di incisioni caratterizzate da scarpate di altezza modesta e dalla presenza di alvei a fondo piatto, occupati da corsi d'acqua stagionali od occasionali, con tendenza all'erosione regressiva (da valle verso monte). In questi alvei si può verificare, in occasione degli eventi meteorici più intensi, un progressivo arretramento dei solchi d'erosione ed uno scalzamento alla base delle scarpate.

Un altro carattere tipico di tali incisioni è l'indeterminatezza del loro tracciato, infatti nelle carte topografiche molto spesso la linea di impluvio, che indica la posizione del corso d'acqua sul fondo della vallecola, non è marcata chiaramente o addirittura è del tutto assente.

Ciò è da imputare al fatto che le acque vi scorrono solo occasionalmente, seppure con portate non trascurabili, ed inoltre localmente tendono ad infiltrarsi nel terreno in corrispondenza di zone a permeabilità più elevata, "scomparendo" improvvisamente nel sottosuolo, per poi riapparire magari più a valle.

Nelle aree contraddistinte dalle forme di raccordo le condizioni pedologiche sono caratterizzate dalla presenza di suoli mediamente evoluti, anche piuttosto profondi, con livelli argillosi in profondità che causano notevoli difficoltà di drenaggio e localmente ristagni idrici, con un'elevata pietrosità superficiale e assai ricchi di scheletro interno.

Tali condizioni determinano un uso prevalente a pascolo nudo od arborato (mandorleti, olivastri), spesso inframmezzato a macchia bassa e degradata. Sono anche presenti localmente impianti di eucaliptus e sporadicamente agrumeti, questi ultimi però sono fortemente condizionati dalle limitazioni dei caratteri pedologici sopra descritte.

Forme di pianura e fluviali

Le forme di pianura e fluviali occupano le zone altimetricamente più basse, in cui affiorano prevalentemente litologie recenti ed attuali (alluvioni recenti ed attuali e depositi palustri), comprendono forme subpianeggianti o lievemente depresse (terrazzi fluviali recenti, alvei di piena e di magra, zone palustri).

Nelle aree pianeggianti limitrofe ai corsi d'acqua, e comunque esterne agli argini, le litologie predominanti sono costituite dalle alluvioni recenti (ghiaie e sabbie debolmente addensate) con una permeabilità abbastanza elevata. Le zone depresse prossime alla costa

sono occupate essenzialmente dai depositi palustri (limi ed argille) poco permeabili, mentre all'interno degli alvei dei principali corsi d'acqua, per lo più racchiusi entro arginature artificiali, si osservano i depositi alluvionali attuali (ghiaie e sabbie sciolte) assai porosi e permeabili.

I processi in atto sono quindi di tipo fluvio-torrentizio strettamente legati alla particolare dinamica fluviale della zona, caratterizzata da fenomenologie più o meno intense in funzione delle porte liquide e del trasporto solido, quest'ultimo molto elevato nella gran parte dei corsi d'acqua presenti.

Attualmente le zone pianeggianti esterne agli alvei sono caratterizzate da esondazioni dei corsi d'acqua principali determinate quasi sempre dall'inadeguatezza o dall'assenza di efficaci opere di regimazione longitudinali (briglie, argini, difese spondali di vario tipo), dall'inadeguatezza delle infrastrutture di intersezione (luce dei ponti), ma soprattutto dall'assenza un efficace controllo e limitazione del trasporto solido che ha origine nei bacini montani.

Nelle zone pianeggianti esterne agli argini la presenza di suoli profondi, fertili e piuttosto porosi, sviluppati sulle alluvioni recenti, e la concomitante presenza di una falda freatica, originariamente assai ricca e molto superficiale, ha favorito in passato il diffondersi di un'agricoltura irrigua rappresentata dall'agrumicoltura.

All'interno degli alvei, caratterizzati da un fondo mobile ed inciso in sedimenti incoerenti, con sponde talvolta costituite da argini, si possono verificare fenomeni di mobilitazione e trasporto di tali sedimenti, spesso in concomitanza con un notevole trasporto solido da monte di materiali ghiaiosi e sabbiosi e di grossi blocchi e trovanti. A causa delle elevate intensità di pioggia, che si verificano con cadenza quasi decennale, si determina il sovralluvionamento repentino dell'alveo di piena e contemporaneamente erosioni e scalzamenti spondali che vanno ad interessare sia le sponde naturali che quelle arginate.

Gli alvei pertanto sono caratterizzati da un ampio letto ghiaioso con pendenze di pochi gradi, dove l'acqua si divide in molti rami divaganti o in canali anastomizzati che racchiudono barre ed isole di sedimenti sciolti, di forma per lo più allungata secondo la corrente fluviale. Si tratta cioè di fiumi intrecciati (braided), tipici dei corsi d'acqua delle regioni aride o semiaride, con portate molto variabili da un anno all'altro, e con lunghi periodi di assenza di scorrimento. In corrispondenza delle barre e lungo le sponde dei corsi d'acqua principali è possibile osservare le tipiche associazioni vegetazionali di questi ambienti fluviali (canneti, tamerici, salice rosso, oleandri, elicriso).

Assai di frequente il rigoglioso sviluppo vegetativo, soprattutto dei canneti, determina una parziale occlusione del letto dei fiumi, impedendo così il normale deflusso verso il mare delle portate di piena.

2.3. ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il reticolo idrografico che contraddistingue le zone montane dei singoli bacini, certamente influenzato dalle lineazioni tettoniche, è di tipo dendritico angolare grossolano, organizzato per linee ortogonali. Inoltre è caratterizzato dalla presenza di marcate incisioni formatesi per effetto di una riattivazione dell'energia erosiva, conseguente ai movimenti tettonici recenti che hanno portato alla formazione degli horst del Sarrabus – Gerrei, accompagnati dalle variazioni del livello di base dell'erosione, in coincidenza con le oscillazioni climatiche quaternarie. A testimoniare tale notevole attività erosiva basti ricordare la notevole ripidezza delle valli fluviali, cui si è già fatto cenno.

All'interno dei depositi clastici scorrono falde freatiche a regime stagionale che possono risultare molto ricche nei periodi di massima piovosità (autunno e inverno) sino a scomparire in estate o abbassarsi a notevole profondità sino al contatto con le formazioni paleozoiche basali.

Sono presenti numerose sorgenti nei contatti tra depositi clastici e rocce poco fratturate del basamento che, spesso scompaiono in periodo estivo.

L'alta permeabilità degli acquiferi superficiali e la scarsa permeabilità dei terreni paleozoici, associati alla scarsa copertura vegetale, rendono rapido il deflusso delle acque meteoriche che, confluendo verso valle in notevole quantità possono causare allagamenti nelle zone maggiormente depresse, soprattutto in assenza dell'adeguata manutenzione dei fondovalle.

Il Bacino d'interesse su cui si concentra il presente studio sono il rio Picocca e i suoi affluenti rio Cannas e Cugurranti:

- Il rio Picocca è situato nella provincia di Cagliari e drena le acque provenienti dal versante settentrionale del massiccio dei Sette Fratelli – Punta Serpeddi, e di quello meridionale del Monte Genis. Esso nasce dall'unione del rio Ollastu con il rio Cannas (diverso da quello oggetto di studio) e scorre prevalentemente da ovest verso est per poi sfociare a mare in corrispondenza dello stagno dei Colostrai.
- Il rio Cannas è un affluente in riva sinistra del rio Picocca che trova origine dal costone est/sud-est dei rilievi di Baccu Arrodas con una lunghezza dell'asta

principale di circa 7 km. Ha un carattere prevalentemente torrentizio, essendo generalmente in secca durante l'anno per poi mostrare importanti deflussi in seguito alle precipitazioni con trasporto anche di materiale solido. Drena un bacino dissimetrico nel quale maggior parte dei corsi d'acqua proviene dal settore occidentale, dove si trovano le maggiori altitudini.

Nella zona interessata dalle opere in progetto sono presenti i terreni descritti nel Capitolo precedente con le seguenti caratteristiche proprietà idrogeologiche derivanti dai dati bibliografici:

Terreni del substrato paleozoico:

- Graniti del Carbonifero-Permiano

In genere in Sardegna le rocce intrusive costituiscono degli acquiferi a bassa permeabilità nei quali l'acqua circola nella parte più superficiale, fino a una quota media di 40-50 metri ; infatti la parte più superficiale della roccia è sia interessata da fratture derivanti da fenomeni tettonici e di decompressione. Tra le varie fratture, quelle le più acquifere sono le verticali o sub-verticalmente la porosità efficace è generalmente molto bassa o nulla.

Alla rete di fratture che interessa la roccia granitoide si sovrappone una coltre superficiale discontinua, permeabile per porosità, costituita da un sabbione granitico grossolano misto a una frazione scarsa argillosa (vicino al regolite la frazione argillosa può sensibilmente aumentare determinando localmente l'intasamento delle fratture della roccia). Le fessure, come già detto generate da fenomeni tettonici e di decompressione, in condizioni climatiche favorevoli vengono interessate da una serie di fenomeni di alterazione fisica e chimica tra cui i più diffusi e frequenti sono quelli: termoclastici, crioclastici, di idratazione e idrolisi.

Anche gli apparati radicali contribuiscono a quest'opera di disgregazione della compagine rocciosa. Dalla fascia di alterazione si passa gradualmente alla roccia fessurata e di seguito alla roccia sana; altrettanto graduale è la diminuzione della permeabilità nello stesso senso.

Nel territorio indagato il grado generale di permeabilità è molto basso per porosità, da basso localmente, in corrispondenza di faglie e fratture, medio per fratturazione.

Terreni costituenti le coperture quaternarie:

- Depositi alluvionali antichi terrazzati e conoidi:

Dal punto di vista idraulico presentano una medio-bassa permeabilità per porosità, che può stimarsi dell'ordine di $10^{-3}\text{cm} / 10^{-4}\text{cm/sec}$;

- Depositi alluvionali recenti-attuali:

Dal punto di vista idraulico presentano una medio-alta permeabilità per porosità, che può stimarsi dell'ordine di $10^{-2}\text{cm} / 10^{-3}\text{cm/sec}$;

In figura si riporta il reticolo idrografico proprio del bacino del rio Picocca con in evidenza il rio Cannas.



Fig. 6: Reticolo idrografico nell'area di interesse - in giallo il rio Picocca e in rosso il rio Cannas.

2.4. PERICOLOSITA' E RISCHIO IDRAULICO

La pericolosità idraulica che caratterizza il territorio interessato dagli interventi, con riferimento all'area d'intervento del presente progetto inserito nella mappatura proposta dal P.A.I., si concentra nella delimitazione delle aree inondabili, caratterizzate da diversi tempi di ritorno (50, 100, 200, 500 anni), relativamente al Rio Picocca.



☒ Pericolo Idraulico Rev. 41 (Pericolo Alluvioni PAI)

Hi1

Hi2

Hi3

Hi4

 Area interessata dalle opere

Fig. 7: perimetrazione P.A.I. della pericolosità idraulica da Decreto del Presidente della G.R. n. 67 del 10.07.2006 e ss.mm. Stralcio da sardegnageoportale.it.

Il rischio, secondo la definizione usuale e ampiamente riconosciuta e riportata anche nel D.P.C.M. del 29 settembre 1998, è definito come prodotto fra la pericolosità (H), la presenza sul territorio di elementi a rischio (E) e la loro vulnerabilità (V).

Si definisce il rischio idraulico l'insieme dei processi collegati ai sistemi fluviali e idrogeomorfologici, di origine naturale, indotta o mista, in grado di generare un danno fisico o economico su beni pubblici o privati o perdita di vite umane.

Il rischio idraulico in un qualsiasi punto del territorio ed in base a quanto detto in precedenza si definisce secondo la seguente espressione.

$$R_i = H_i \cdot E \cdot V$$

R_i = rischio idraulico totale, quantificato secondo 4 livelli illustrati nella Tabella 3-2, dove sono evidenziati gli estremi superiore delle classi;

H_i = pericolosità idraulica;

E = elementi a rischio;

V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e quindi dipendente dal grado di perdita degli elementi a rischio E , in caso del manifestarsi del fenomeno.

Classe	Rischio idraulico totale		Descrizione degli effetti
	Intensità	Valore	
R₁	Moderato	$\leq 0,25$	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R₂	Medio	$\leq 0,50$	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R₃	Elevato	$\leq 0,75$	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R₄	Molto elevato	$\leq 1,00$	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche





 Area interessata dalle opere

Fig. 8: Stralcio della perimetrazione P.A.I. del rischio idraulico da Decreto del Presidente della G.R. n. 67 del 10.07.2006 e ss.mm.. Stralcio da sardegnageoportale.it

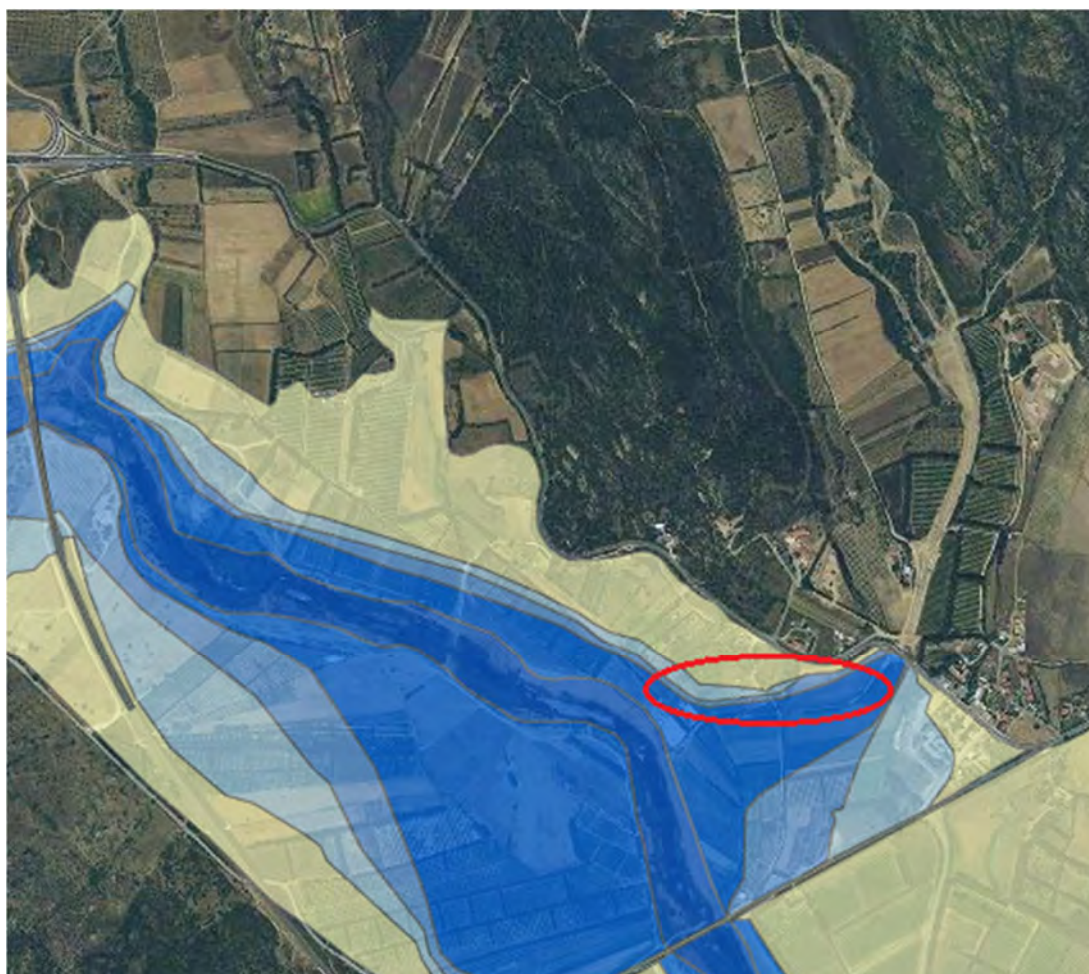
2.5. PERICOLOSITA' E RISCHIO GEOMORFOLOGICO

Da quanto potuto osservare nella cartografia allegata al P.A.I. (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico), revisione luglio 2004, approvato con Decreto del Presidente della G.R. n. 67 del 10.07.2006, pubblicato nel B.U.R.A.S. n. 25 del 29.07.2006, la zona che individua le aree assoggettate a pericolosità geomorfologica da frana non sono comprese nelle Tavole di riferimento per i rii Picocca, Cannas e Cugurranti.

2.6. PERIMETRAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI NEL P.S.F.F.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, limitato alla definizione della pericolosità idraulica, individua le fasce fluviali inondabili con diversi tempi di ritorno (A2, A50, B100, B200, C500 o fascia geomorfologica); a seguito della Delibera n.1 del 20.06.2013 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, le fasce fluviali di transito delle piene, caratterizzate da diversi tempi di ritorno, vengono disciplinate dalle N.A. del P.A.I. secondo il seguente schema di riferimento dove si può evincere la corrispondenza tra fasce fluviali del P.S.F.F. e classi di pericolosità idraulica del P.A.I.:

FASCIA	DESCRIZIONE	CLASSE DI PERICOLOSITA'
A_2	Fascia di deflusso della piena con tempi di ritorno $Tr = 2$ anni	Hi4
A_50	Fascia di deflusso della piena con tempi di ritorno $Tr = 50$ anni	Hi4
B_100	Fascia di deflusso della piena con tempi di ritorno $Tr = 100$ anni	Hi3
B_200	Fascia di deflusso della piena con tempi di ritorno $Tr = 200$ anni	Hi2
C	Fascia geomorfologica di deflusso della piena con tempi di ritorno $Tr = 500$ anni	Hi1



- A2: $Tr < 2$ anni
- A50: $Tr = 2 - 50$ anni
- B100: $Tr = 50 - 100$ anni
- B200: $Tr = 100 - 200$ anni
- C: Fascia Geomorfologica

○ Area interessata dalle opere

Fig. 9: perimetrazione P.S.F.F. delle fasce fluviali di cui alla Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n. 1 del 20.06.2013 e ss.mm.. Stralcio da sardegnageoportale.

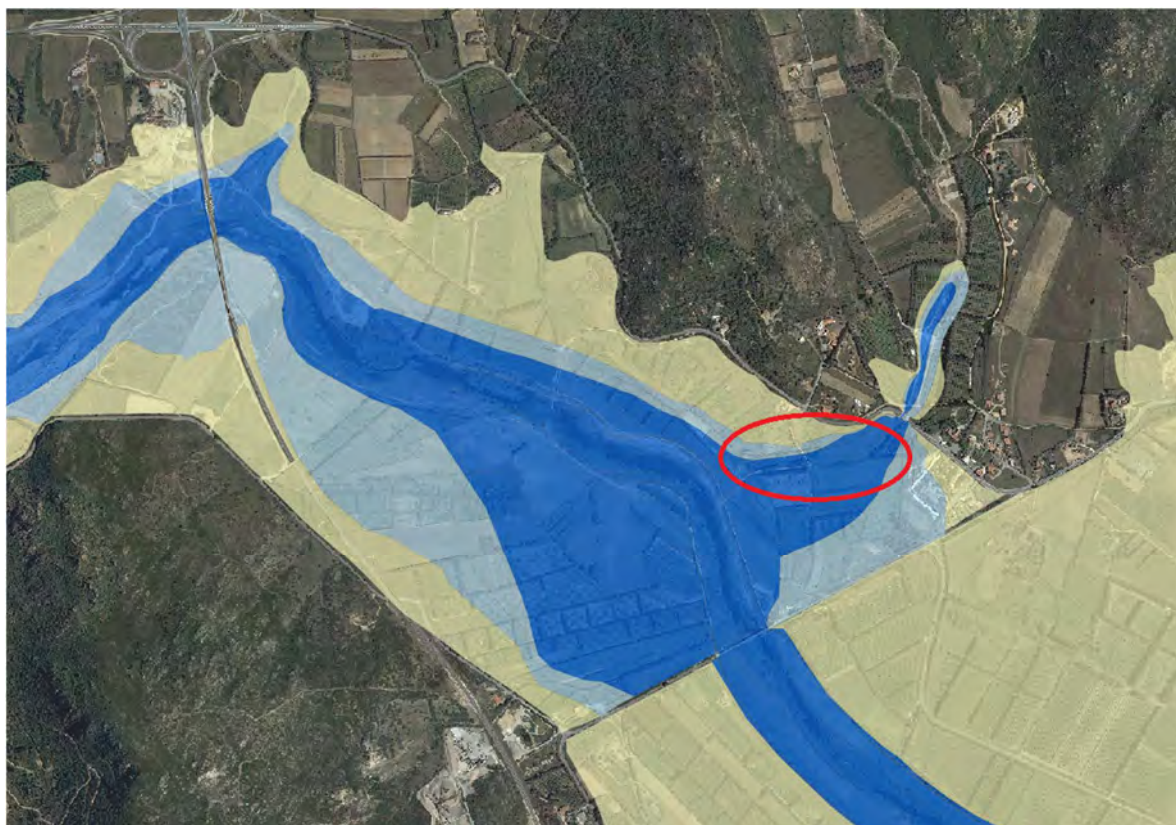
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

In attuazione delle previsioni dell'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e dell'art. 13 del D.Lgs. 152/2006, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 1 del 30.07.2015 è stata adottata la "Proposta di Piano di gestione del rischio di alluvioni" (di qui in poi PGRA) e la relativa documentazione per la Valutazione Ambientale Strategica, comprendente il Rapporto Ambientale, la Sintesi non tecnica e la Valutazione di incidenza ambientale.

Con successiva Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 2 del 30.07.2015 è stata approvata la proposta di variante al PAI costituita dall'integrazione del Titolo V alle N.A del PAI recante "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il PGRA così come riportato nell'allegato A alla presente deliberazione.

Con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 del 15/03/2016 venne approvata la prima versione del PGRA e tutti gli elaborati costituenti (relazioni, mappe, repertori, scenari d'intervento strategico e coordinato, atlanti, manuali, documenti VAS).

Le quattro classi di legenda utilizzate negli strumenti di pianificazione succitati (PAI, PSFF, studi ex art. 8 c.2 PAI e aree Cleopatra) sono state ricondotte a tre classi individuate dal D.Lgs. 49/2010 (P1, P2, P3).







-  **P3** – Classe di pericolosità elevata (eventi con tempo di ritorno minori o uguali a 50 anni);
-  **P2** – Classe di pericolosità media (eventi con tempo di ritorno compresi tra 50 e 200 anni);
-  **P1** – Classe di pericolosità bassa, (eventi con tempo di ritorno compresi tra 200 e 500 anni).
-  Area interessata dalle opere

Fig. 10 - Aree di pericolosità da PGRA (R.A.S.).

3. INDAGINE GEOTECNICA

3.1. PREMESSA

Dalla ricerca bibliografica preliminare che è consistita in una consultazione della documentazione tematica disponibile negli Uffici del CBSM, dal rilievo geologico di dettaglio estesa ad un'area significativa, si può asserire di avere un quadro attendibile circa la conformazione dei terreni di fondazione interessati dall'opera futura.

L'esecuzione dei pozzetti esplorativi, dei sondaggi geognostici e delle successive analisi di laboratorio eseguite per conto del CBSM con riferimento nello specifico ai lavori "*Sistemazione idraulica del Rio Picocca e Cannas a protezione dell'abitato di San Priamo (San Vito)*", hanno permesso di determinare le caratteristiche stratigrafiche, granulometriche e fisico meccaniche dei terreni.

Nella fattispecie i litotipi indagati sono essenzialmente costituiti da depositi sabbiosi in superficie e, più in profondità, da depositi alluvionali sabbiosi a granulometria da grossolana a fine in matrice limosa, da sciolti a poco addensati, con ciottoli di natura prevalentemente granitica. Possono essere talora presenti variazioni laterali significative, costituite da lenti ghiaiose in matrice sabbiosa, non correlabili. Su alcuni campioni sono state eseguite delle prove di laboratorio al fine di determinare le caratteristiche fisiche meccaniche dei terreni di fondazione.

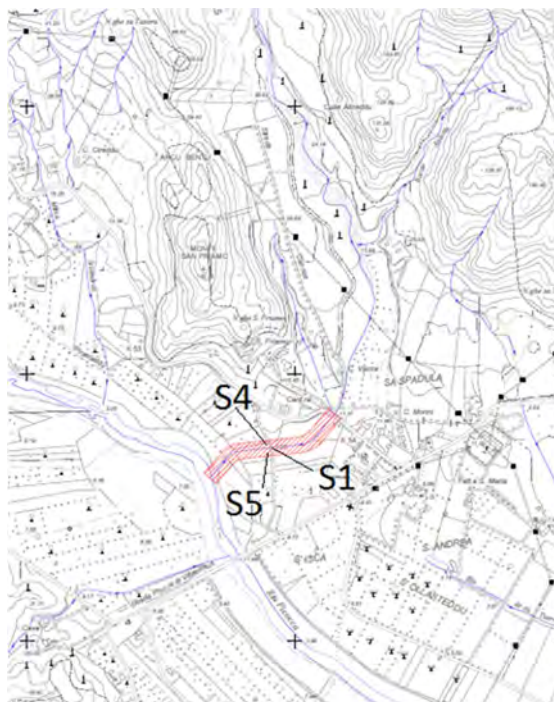


Fig. 11: inquadramento delle aree interessate dai lavori (aree tratteggiate in rosso) su C.T.R. 1:10.000 della R.A.S. e ubicazione sondaggi eseguiti dalla Geo Lavori Srl.

Nella zona interessata dalle opere in progetto sono presenti i litotipi descritti nel Capitolo precedente, che possono essere raggruppati nel seguente modo secondo un criterio geomeccanico sulla base dei dati acquisiti nelle campagne geognostiche effettuate:

Terreni del substrato paleozoico:

- Graniti del Carbonifero-Permiano

Terreni costituenti le coperture quaternarie:

- Depositi alluvionali antichi terrazzati e conoidi;
- Depositi alluvionali recenti-attuali.

3.2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Da come schematizzato nella Fig. 2 in corrispondenza e/o in prossimità delle opere in progetto sono stati eseguiti alcuni sondaggi geognostici (S1, S4 e S5). Durante la realizzazione dei sondaggi sono state compilate le stratigrafie, eseguite prove in situ (prove

SPT) e sono stati eseguiti dei campionamenti di litotipi al fine di determinare le loro caratteristiche geotecniche in laboratorio.

In questo paragrafo vengono riassunti i risultati derivanti dalle stratigrafie e certificati allegati nell'**appendice 1** della presente relazione:

- **Depositi alluvionali antichi terrazzati e conoidi:**

Si tratta di terreni che si sono formati per effetto dei processi di alterazione ed erosione delle rocce del substrato metamorfico e che successivamente hanno subito un trasporto misto, sia per gravità sia per effetto delle acque dei corsi d'acqua presenti nel Quaternario antico.

Dal punto di vista tecnico si tratta di terreni granulari costituiti da ghiaie e ciottolami con una frazione interstiziale argilloso-limosa, molto ossidata e di colore giallo-rossastro, abbastanza plastica e coesiva, che conferisce loro un certo grado di addensamento, particolarmente se asciutta. Le caratteristiche fisico – meccaniche dei depositi alluvionali antichi sono quelle tipiche dei mezzi granulari a grana grossa, dotati di un medio o alto stato di addensamento (le prove SPT vanno in rifiuto già dai primi m.l. dal p.c.).

Queste litologie si presentano abbastanza stabili nei confronti dello scavo, è piuttosto frequente osservare scarpate di altezza intorno a 3,5 – 4 m, che possono rimanere stabili anche per parecchio tempo.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici possono essere assunti i seguenti valori di riferimento: peso di volume (non saturo) 1,7 t/mc, angolo d'attrito 28°-35°, coesione 0,5 kg/cmq, la portanza varia da buona a mediocre, in funzione del grado di addensamento e dell'umidità.

Dal punto di vista della classificazione stradale, sulla base dei risultati delle prove di laboratorio effettuate, possono essere classificate come delle A2-4.

- **Depositi alluvionali recenti e attuali:**

Si tratta di terreni granulari formati da ghiaie e ciottolami di rocce di varia natura, eterometrici, con una frazione interstiziale sabbiosa, con lenti sabbiose, scarsamente ciottolose, prive di stratificazione. Le caratteristiche fisico – meccaniche delle alluvioni recenti sono pertanto quelle tipiche dei mezzi granulari a grana grossa, dotati di un basso stato di addensamento.

Pur non avendo eseguito specifiche prove di laboratorio, si possono fornire i seguenti valori dei parametri geotecnici principali: peso di volume (non saturo) 1,9 t/mc, angolo di attrito 28°. La coesione è sempre assai scarsa o nulla, in particolare nelle condizioni di completa saturazione per effetto della presenza della falda freatica, può quindi considerarsi

pari a 0. La portanza è da buona a mediocre, in funzione del grado di addensamento e della presenza della falda. E' importante tener presente che nelle situazioni più critiche possono essere immerse completamente in acqua.

Dal punto di vista della classificazione stradale possono essere considerare delle A1-a per i tipi più ciottolosi e A1-b per i tipi più sabbiosi.

- **Depositi alluvionali attuali:**

Si tratta di terreni granulari formati da ghiaie e sabbie di rocce di varia natura, eterometrici, con una frazione interstiziale sabbiosa, e con lenti sabbiose, scarsamente ciottolose, prive di stratificazione. Sono assai frequenti anche grossi trovanti di quarzo e metamorfiti. Le caratteristiche fisico – meccaniche delle alluvioni recenti sono pertanto quelle tipiche dei mezzi granulari a grana grossa, dotati di un bassissimo stato di addensamento, ma più frequentemente del tutto incoerenti.

Le prove di laboratorio eseguite consentono di fornire i seguenti valori dei parametri geotecnici principali: peso di volume (non saturo) 1,9 t/mc, angolo di attrito 30°. La coesione è sempre assai scarsa o nulla, in particolare nelle condizioni di completa saturazione per effetto della presenza della falda freatica, può quindi considerarsi pari a 0. La portanza è scadente.

Dal punto di vista della classificazione stradale possono essere considerare delle A1-a per i tipi più ciottolosi e A1-b per i tipi più sabbiosi.

- **Graniti del Carbonifero-Permiano**

Per i parametri geotecnici sia per il granito alterato che per quello in facies rocciosa si fa riferimento ai dati di bibliografia:

- il granito arenizzato, assimilabile ad un deposito sabbioso grossolano, presenta peso di volume (non saturo) 1,9 t/mc peso di volume, la coesione è sempre assai scarsa o nulla, in particolare nelle condizioni di completa saturazione per effetto della presenza della falda freatica, può quindi considerarsi pari a 0, angolo di attrito 36°.
- Il granito integro presenta peso di volume pari a 2,6 t/mc, una coesione pari a 150-500 kg/cm² e un angolo di attrito $\phi > 40^\circ$.

Riassumendo le indagini unitamente alle osservazioni effettuate in zona, le conoscenze bibliografiche ed i risultati si può affermare quanto segue:

1. I terreni alluvionali ed i depositi di versante possono sopportare carichi verticali nell'ordine di 2,5-3,0 Kg/cm²; già alla profondità di circa 0,50 m dal p.c. attuale;

2. Essi sono facilmente scavabili con normali mezzi meccanici pur potendosi mostrare maggiormente tenaci in alcuni strati più addensati;

3. Non si rinviene acqua di falda entro i primi metri dal p.c. nei depositi di versante e nel fondovalle, ma la falda risale rapidamente durante i periodi di massima piovosità;

Non sono in atto fenomeni franosi ad eccezione dell'erosione superficiale che causa, in coincidenza delle precipitazioni più intense, la caduta di ciottoli verso valle.

4. INDAGINE SISMICA

Con determinazione consortile n.346 del 13/05/2020 è stata affidata alla ditta "SoilTech" l'indagine volta alla caratterizzazione sismica del sito d'indagine mediante prospezioni di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves). Il report di tale studio, atto ad illustrare la metodologia delle prove e interpretazione dei risultati, è consultabile in **appendice 2**.

I dati acquisiti hanno permesso di caratterizzare con sufficiente approssimazione il sottosuolo di un'area in cui sono in progetto le realizzazioni degli argini in sinistra e destra idraulica del rio Cannas.

La prospezione ha permesso di determinare la categoria stratigrafica così come definita dalle NTC del 2018 e l'assetto sismo-stratigrafico dei terreni di fondazione fino ad una profondità stimata di circa 30 m. Dall'analisi dei dati ottenuti emerge quanto segue:

- L'assetto sismo-stratigrafico rilevato dall'analisi del profilo sismico indica la presenza di una copertura soffice o poco addensata potente circa 2 - 3 m. A questa segue una probabile formazione clastica caratterizzata da velocità di propagazione sismica sempre più elevate man mano che si procede con la profondità. Oltre la profondità di 20 metri è probabile la presenza del substrato di natura granitica.
- La $V_{s,eq}$ rilevata, è risultata mediamente pari a 443 m/sec, calcolata dalla base della fondazione ipotizzata posta a 2,0 m di profondità che permette di inquadrare il sottosuolo nella categoria stratigrafica B come definita dalle NTC del 2018.
- Tenuto conto delle basse V_s rilevate in alcuni tratti dei depositi più superficiali e della possibile loro composizione granulometrica di natura sabbiosa satura è possibile che si possano innescare fenomeni di liquefazione del terreno in caso di sisma di una certa rilevanza.

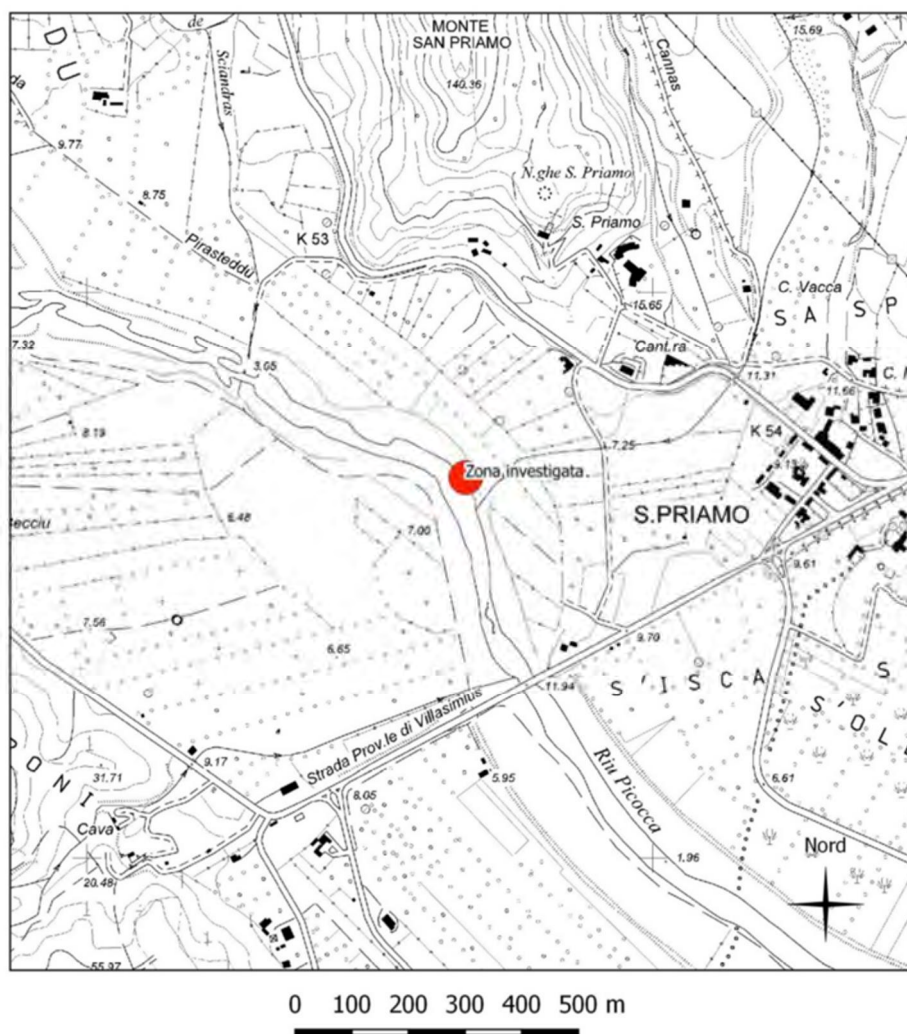


Fig. 12 Planimetria ubicazione indagine Sismica su CTR 1:10.000



Fig. 13 Allineamento dei geofoni (diretto e indiretto) nel sito oggetto d'indagine

5. CONCLUSIONI

Le analisi effettuate per interventi precedenti nella stessa area, basate sulle risultanze di specifiche campagne di indagine geognostica, sismica e geotecnica nonché su informazioni ricavate da dati provenienti da lavori condotti nell'immediato contorno per altri interventi simili, hanno consentito di elaborare le considerazioni preliminari di seguito illustrate che potranno eventualmente essere integrate completate a seguito di ulteriori campagne di indagine specifiche.

- La sequenza litostratigrafica locale, elaborata sulla base dei dati disponibili e valida sino a circa 30 m di profondità dal p.c. prevede per il sottosuolo il seguente insieme di litostrati, a partire dal più superficiale:

A] depositi sabbiosi sciolti [Olocene] (potenza massima 3,0 m);

B] depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi in matrice limosa di ambiente fluvio-deltizio [Pleistocene] (potenza massima per foce Rio Cannas 30 m, potenza massima per rio Cugurranti 5 m);

C] basamento lapideo granitico [Carbonifero-Permiano].

- Relativamente al contesto idrogeologico i terreni in esame, di origine fluvio-deltizia, ospitano una modesta falda il cui livello piezometrico oscillante con l'andamento del livello dei corsi d'acqua.
- Per quanto verificato mediante prove sismiche MASW, l'assetto litotecnico noto fa prevedere ai fini della progettazione sismica, un sottosuolo di categoria B.

Considerata la natura delle litologie costituenti l'alveo nella progettazione si dovrà tener presente che le strutture dovranno essere in condizioni di resistere alle maggiori sollecitazioni determinate oltre che dalla portata liquida anche dal trasporto solido. In generale si può ritenere che in corrispondenza degli eventi alluvionali estremi la forza erosiva può facilmente causare scalzamenti ed erosioni laterali (o di sponda), cioè proprio in corrispondenza del piede delle opere in progetto. Queste ultime pertanto dovranno essere progettate in modo tale che la profondità di imposta della fondazione annulli tale rischio e che la fondazione stessa sia adeguatamente protetta.

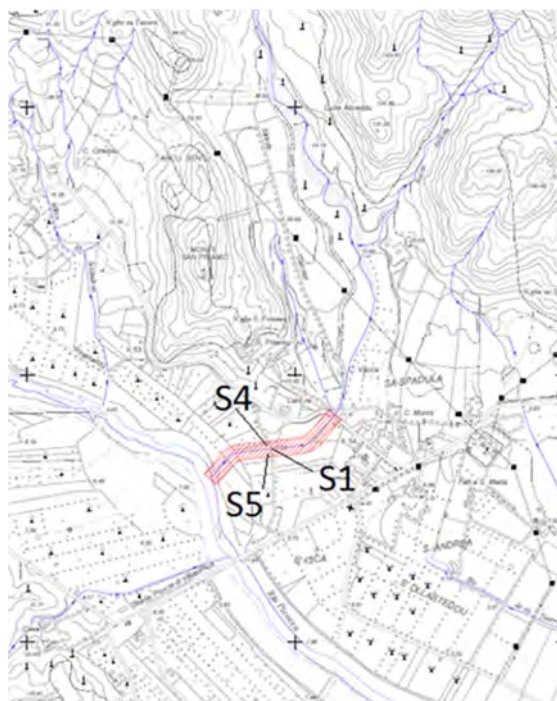
Per quanto riguarda infine la stabilità delle pareti di scavo, si può ritenere che le alluvioni attuali, costituenti il fondo del corso d'acqua, presentando un bassissimo grado di addensamento, hanno una marcata tendenza allo scavamento, ulteriormente accentuata dalla presenza dell'acqua di falda.

Si ritiene, quindi, di dover raccomandare la realizzazione di scavi con altezze limitate e con angolo di scarpa adeguato e comunque di provvedere alla predisposizione delle indispensabili e opportune opere provvisorie di sostegno per tutta la durata dei lavori.

APPENDICE 1

STRATIGRAFIE E PROVE DI LABORATORIO

RIO CANNAS



Committente : CONSORZIO DI BONIFICA DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

Cantiere: Indagini geognostiche per diversi lavori in territorio dei comuni di Muravera, S.Vito e della frazione S.Priamo

Progetto: Rio Cannas - Sifone

Data perforazione: 04/02/2000

Sondaggio: S1

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo - Diam. 101 mm

Pag. 1/1

	Prof. testim. (m)	Camp	Spess. strati (m)	Perc. Carot. (%)	Strat.	Descrizione terreno	Note
1,00	1,00		1,00	90		Suolo organico sabbioso limoso bruno nerastro	
2,00						Limo sabbioso, grigio nocciola, con sabbia media. Moderatamente consistente, bassa plasticità, resistenza secca da media a bassa	SPT 2.60: 7-10-10 Campione 3,2 - 3,7
3,00							
4,00							
5,00							
6,00							SPT 6,00: 5-6-8
7,00							
8,00	8,00		7,00	80			SPT 8.00: 9-10-10
9,00						Sabbia da media a grossa, sciolta, rosa nocciola	
10,00							
11,00							
12,00							
13,00							
14,00							
15,00	15,00		7,00	80		FINE SONDAGGIO 15,00	

Annotazioni:

Livello freatico: -1,40

Committente : CONSORZIO DI BONIFICA DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

Cantiere: Indagini geognostiche per diversi lavori in territorio dei comuni di Muravera, S.Vito e della frazione S.Priamo

Progetto: Ponte Rio Cannas

Data perforazione: 03/02/2000

Sondaggio: S4

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo - Diam. 101 mm

Pag. 1/1

	Prof. testim. (m)	Camp	Spess. strati (m)	Perc. Carot. (%)	Strat.	Descrizione terreno	Note
	0,50		0,50	90		Suolo organico sabbioso limoso bruno nerastro	
1,00						Limo sabbioso, grigio nocciola, con sabbia media. Moderatamente consistente, bassa plasticità, resistenza secca da media a bassa	Campione: 1,50 - 2,00
2,00							
3,00	2,80		2,30	90			
4,00	4,00		1,20	80		Ghiaia sabbiosa, sciolta, con elementi di natura granitica,	
5,00	5,00		1,00	80		Sabbia sciolta, rosa nocciola, con rari ciottoli di natura granitica	
6,00						Limo sabbioso con ghiaia, grigiastro, con sabbia media e ciottoli granitici, subarrotondati Moderatamente consistente, bassa plasticità, resistenza secca da media a bassa	SPT: -6,00 8-15-21
7,00	7,00		2,00	90			
8,00						Sabbia media limosa, con ciottoli, da sciolta a poco addensata Ciottoli di natura granitica e subordinatamente scistosi, subarrotondati	
9,00							
10,00	10,00		3,00	80			
11,00						FINE SONDAGGIO 10,00 m	
12,00							
13,00							
14,00							
15,00							

Annotazioni:

Livello freatico: -1,80

Committente: CONSORZIO DI BONIFICA DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

Cantiere: Indagini geognostiche per diversi lavori in territorio dei comuni di Muravera, S.Vito e della frazione S.Priamo

Progetto: Ponte Rio Cannas

Data perforazione: 07/02/2000

Sondaggio: S5

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo - Diam. 101 mm

Pag. 1/1

	Prof. testim. (m)	Camp.	Spess. strati (m)	Perc. Carot. (%)	Strat.	Descrizione terreno	Note
	0,50		0,50	90		Suolo organico sabbioso limoso bruno nerastro	
1,00							
2,00						Limo sabbioso, grigio nocciola, con sabbia media. Moderatamente consistente, bassa plasticità, resistenza secca da media a bassa	
3,00							
4,00							
5,00							SPT 4,70: 9-10-12
6,00							
7,00							
8,00							
9,00							
	9,50		9,00	80			
10,00							
11,00						Sabbia da media a grossa, sciolta, rosa nocciola	
12,00							SPT 12,00: 7-7-9
13,00							
14,00							
15,00	15,00		5,50	80		FINE SONDAGGIO 15,00	

Annotazioni:

Livello freatico: -1,70

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

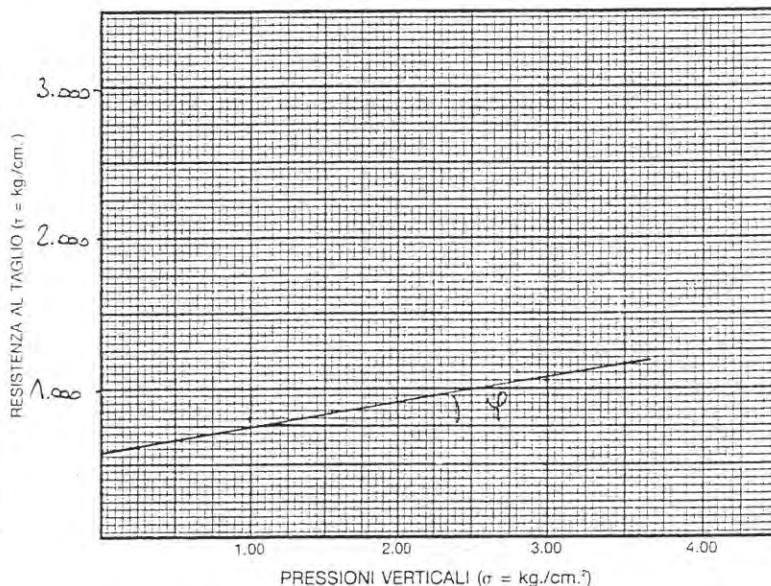
COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.
LOCALITÀ : SAN PIAWO - SAN VITO
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.
CAMPIONE N. S_1
PROFONDITÀ m. 3,20 - 3,70

CONDIZIONI DEL CAMPIONE		
Rimaneggiato <input type="checkbox"/>	Semidisturbato <input type="checkbox"/>	Indisturbato <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo di prova:	<u>U.U.</u>	<u>C.U.</u> <u>C.D.</u> <input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di deformazione:	0,060 mm./m'	
Dimensioni del provino:	60x60x20 mm.	

CARATTERISTICHE NATURALI		
w	8.789	% in peso
w _s	/	% in peso
e ₀	/	-
γ	2.341	gr./cm. ³
γ ₀	2.152	gr./cm. ³
γ _s	/	gr./cm. ³

CURVA INTRINSECA



Prova N.	Pressioni verticali $\sigma = \text{kg./cm.}^2$	Storzo di taglio $\tau = \text{kg./cm.}^2$
1	1.000	0.797
2	2.000	0.931
3	3.000	1.054
4	—	—

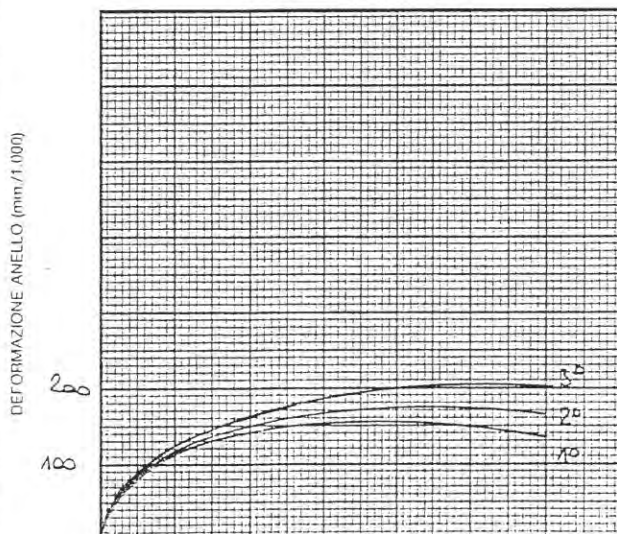
COESIONE

$$c = 0.55 \text{ kg./cm.}^2$$

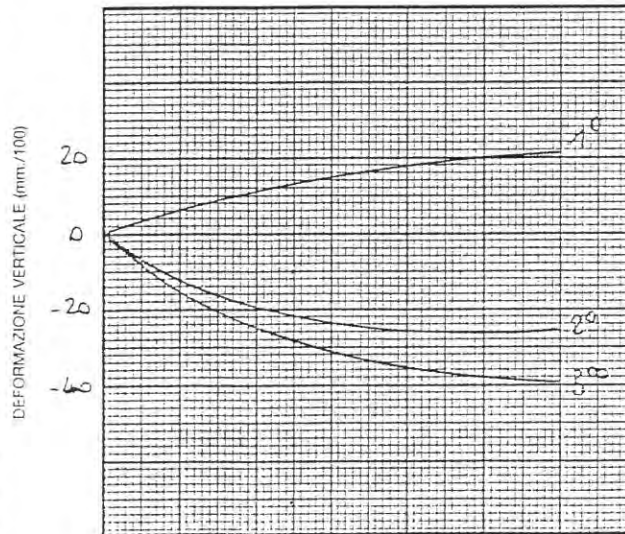
ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

$$c = 10^\circ$$

RESISTENZA AL TAGLIO



DEFORMAZIONE VERTICALE



DEFORMAZIONI ORIZZONTALI (mm.)

TIPO LITOLOGICO

LITO SABBOSO

DATA:

MAR 70 2000

DIRETTORE TECNICO

EXPERIMENT NO. 1

~~SECRET~~

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

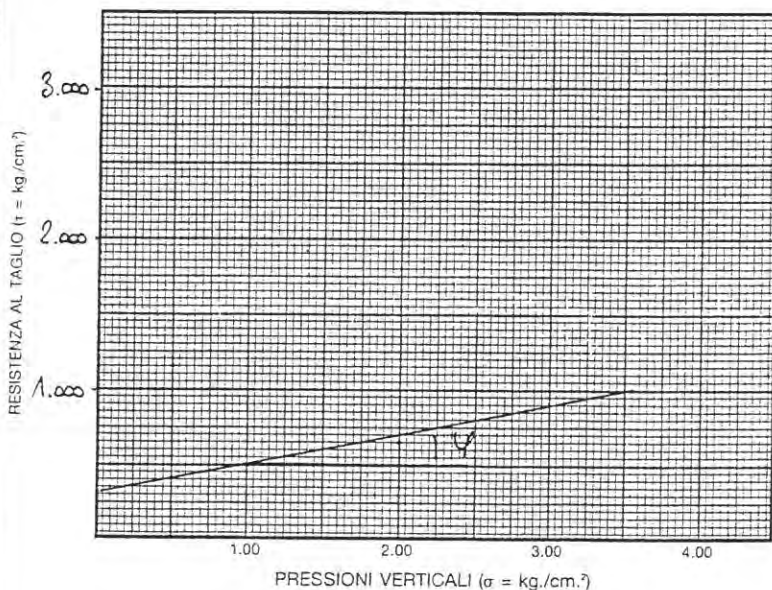
COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.
LOCALITÀ : SAN PRIAMO - SAN VITO
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.
CAMPIONE N. S₄
PROFONDITÀ m. 1.50-2.00

CONDIZIONI DEL CAMPIONE		
Rimaneggiato <input type="checkbox"/>	Semidisturbato <input type="checkbox"/>	Indisturbato <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo di prova: <input type="checkbox"/> U.U. <input type="checkbox"/> C.U. <input checked="" type="checkbox"/> C.D. <input checked="" type="checkbox"/>		
Velocità di deformazione: 0.06 mm./m'		
Dimensioni del provino: 60x60x20 mm.		

CARATTERISTICHE NATURALI		
w	14.189	% in peso
w _s	/	% in peso
e ₀	/	-
γ	2.065	gr./cm. ³
γ _s	1.808	gr./cm. ³
γ _w	/	gr./cm. ³

CURVA INTRINSECA



Prova N.	Pressioni verticali (σ = kg./cm.²)	Storzo di taglio (τ = kg./cm.²)
1	1.00	0.505
2	2.00	0.650
3	3.00	0.910
4	/	/

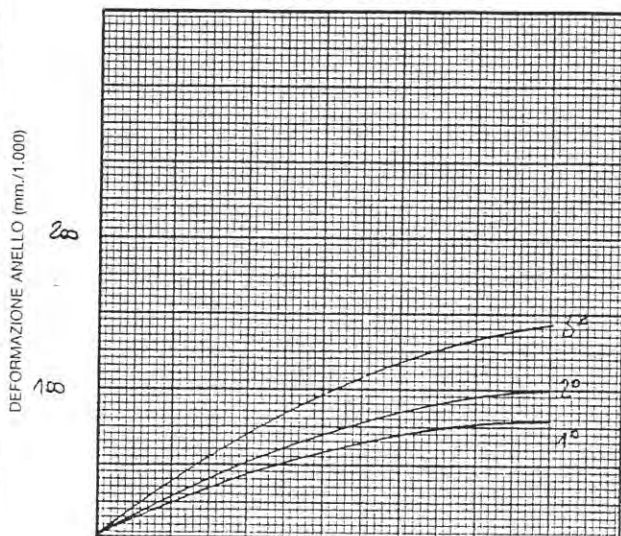
COESIONE

$$c = 0.30 \text{ kg./cm.}^2$$

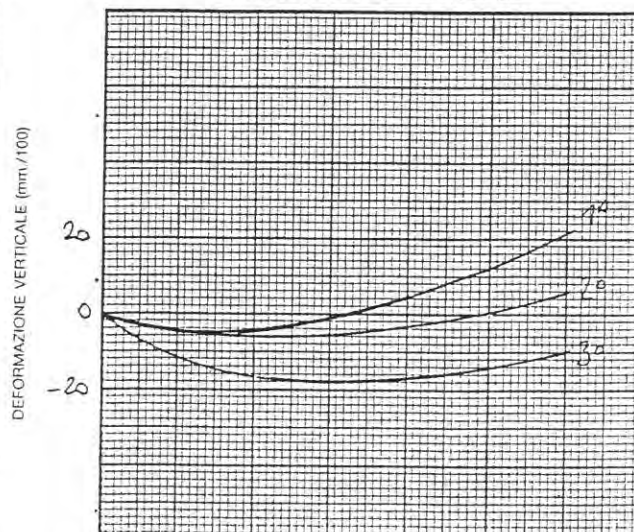
ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

$$\varphi = 11^\circ$$

RESISTENZA AL TAGLIO



DEFORMAZIONE VERTICALE



TIPO LITOLOGICO:

LIMO SABBIGLIO

DATA:

MARZO 2000

DIRETTORE TECNICO

[Signature]

OPERATORE

solitecnica
geotecnica - geognostica

08100 nuoro
via salfi n. 14
telef. 0784/37612
fax 0784/37254



S.r.l.

geotecnica e geologia applicata -
laboratorio materiali
indagini geognostiche
opere speciali nel sottosuolo

PROVA EDOMETRICA I.L.

COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.

LOCALITÀ : SAN PRIAMO - SANVITO

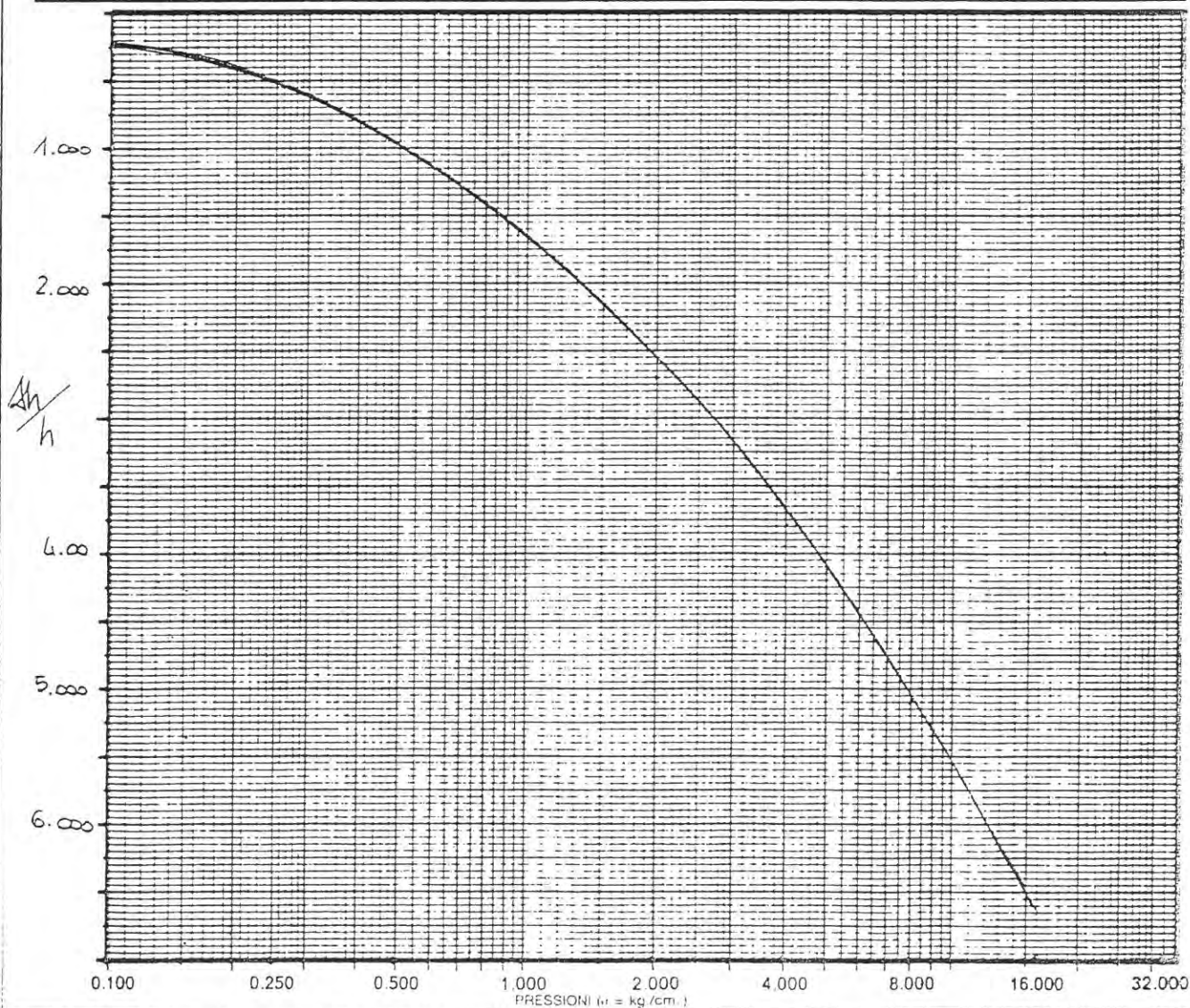
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.

CAMPIONE N. S₁

PROFONDITÀ m. 3.20 - 3.70

Pressioni $\sigma = \text{kg./cm.}^2$	Deformazioni verticali $(\Delta h/h) \cdot 100$	Indice dei pori e	Permeabilità k = cm./sec.	Modulo di compressibilità E' = kg./cm. ²	Coefficiente di consolidazione C _v = cm./sec.	DIMENSIONI DEL PROVINO		
0.100	0.200					d = 71.35 mm. h = 20.00 mm.		
0.250	0.500					CONDIZIONI DEL CAMPIONE		
0.500	1.000			50		SESMIDISTURBATO <input type="checkbox"/>		
1.000	1.800			62		INDISTURBATO <input checked="" type="checkbox"/>		
2.000	2.700			109		CARATTERISTICHE NATURALI		
4.000	3.800			177		W	8.789	% in peso
8.000	5.100			308		W _s	/	% in peso
16.000	6.650			475		e ₀	/	-
						γ	2.341	gr./cm.
						γ_d	2.152	gr./cm.
						γ_s	/	gr./cm.
						Indice di compressibilità C _c =		



TIPO LITOLOGICO:

LITO SABBIOSO

DATA:

MARZO 2000

DIRETTORE TECNICO:

Geotecnica

SPERIMENTATORE:



PROVA EDOMETRICA I.L.

COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.

LOCALITÀ : SAN PRIAMO - SAN VITO

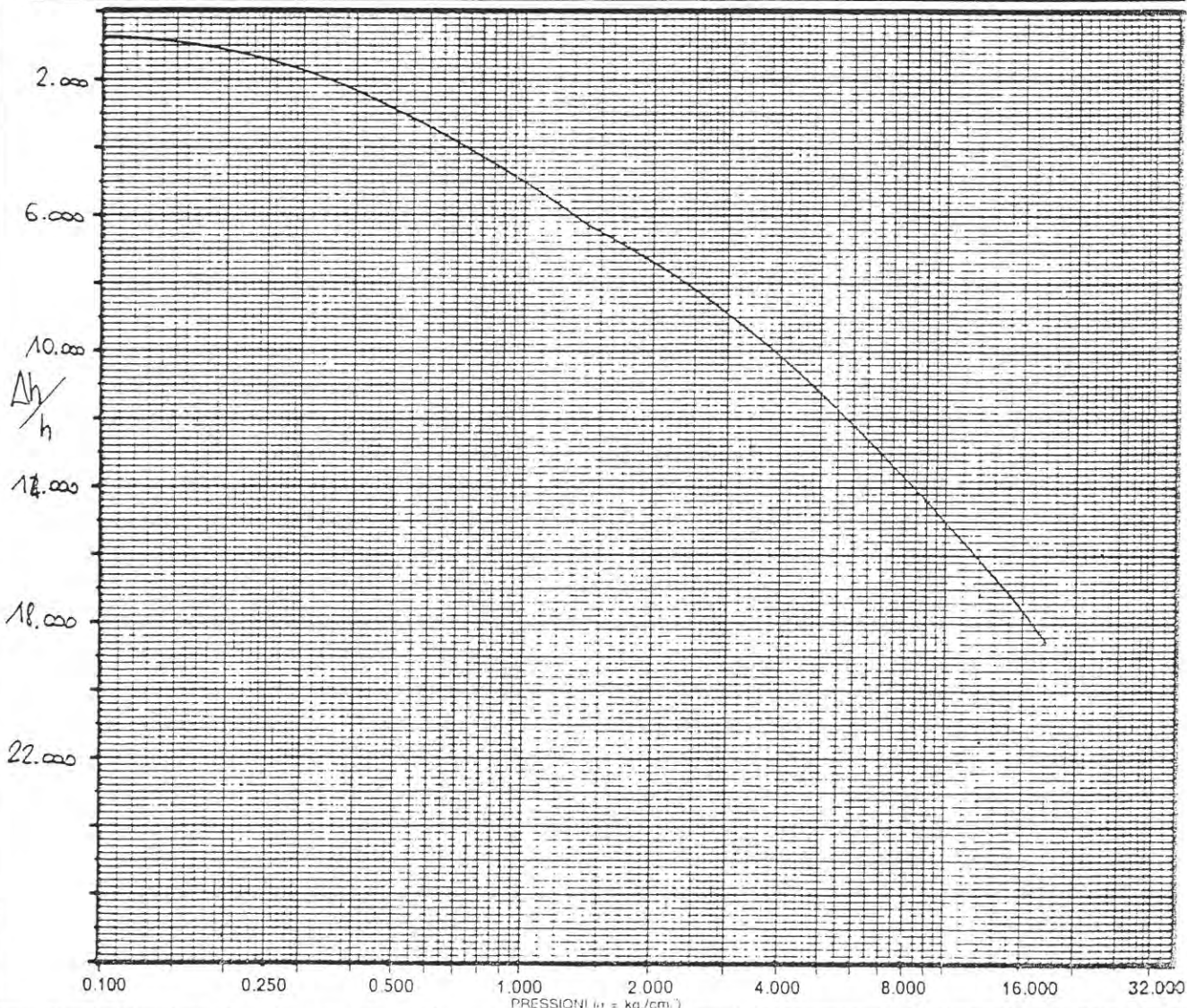
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.

CAMPIONE N. S4

PROFONDITÀ m. 1.50 - 2.00

Pressioni $\sigma_v = \text{kg./cm.}^2$	Deformazioni verticali $(\Delta h/h) - 100$	Indice dei pori e	Permeabilità $k = \text{cm./sec.}$	Modulo di compressibilità $E' = \text{kg./cm.}^2$	Coefficiente di consolidazione $C_v = \text{cm.}^2/\text{sec.}$	DIMENSIONI DEL PROVINO $d = 71.35 \text{ mm.}$ $h = 20.00 \text{ mm.}$		
0.100	0.850					CONDIZIONI DEL CAMPIONE		
0.250	1.450					SESMIDISTURBATO <input type="checkbox"/>		
0.500	2.950					INDISTURBATO <input checked="" type="checkbox"/>		
1.000	5.350					CARATTERISTICHE NATURALI		
2.000	8.100					W	14.189	% in peso
4.000	11.150					W _c	/	% in peso
8.000	14.250					e _c	/	-
16.000	17.450					γ	2.065	gr./cm.
						γ_{st}	1.808	gr./cm.
						γ_s	/	gr./cm.
						Indice di compressibilità $C_r =$		



TIPO LITOLOGICO

LINEO SABBOSO

DATA

MARZO 2000

DIRETTORE TECNICO

A.

Saitec - S.p.A.

SPELIMENTATORE

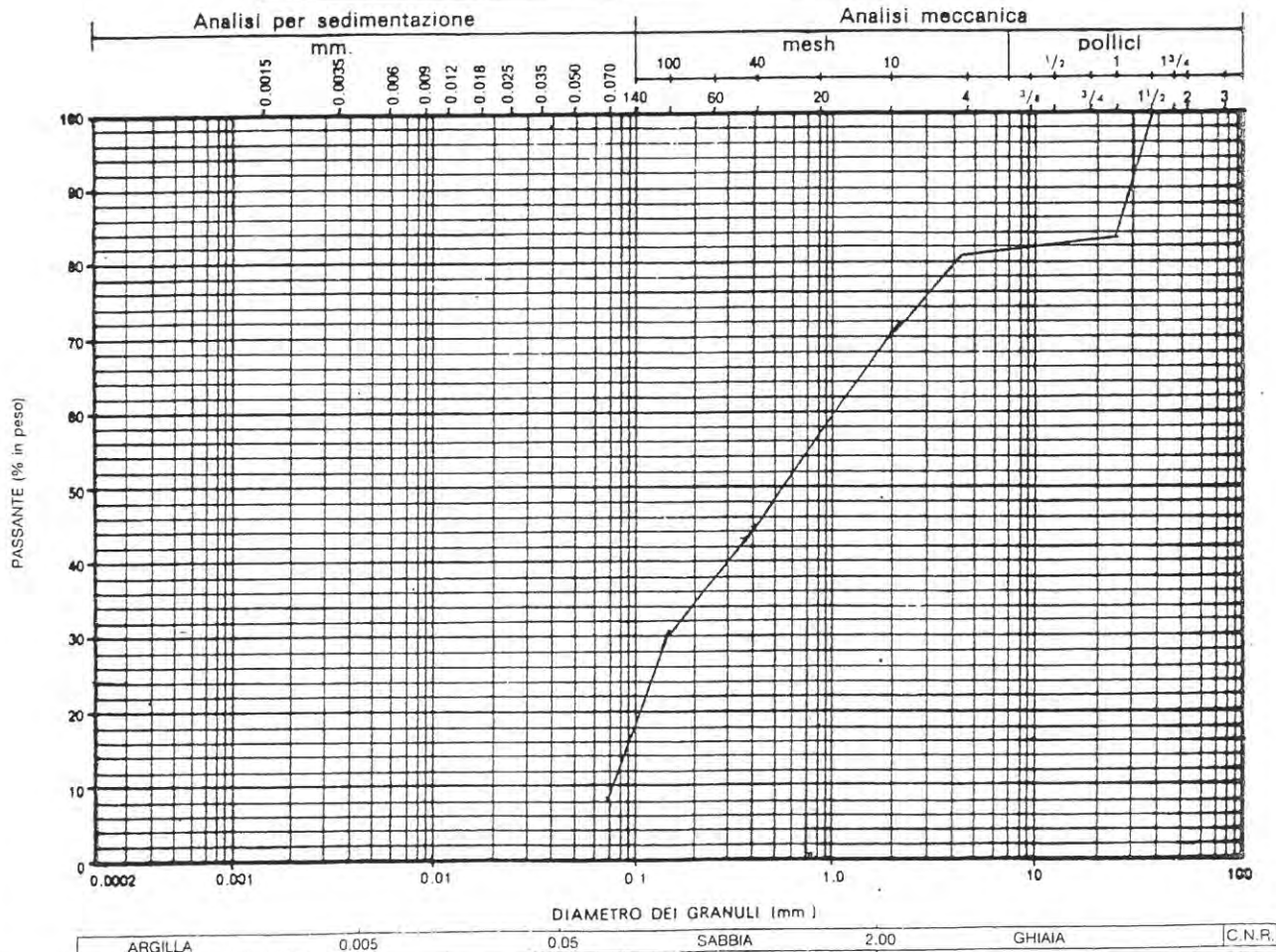
A.

ANALISI GRANULOMETRICA

COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.
LOCALITÀ : SAN PRIAMO - SAN VITO
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.
CAMPIONE N. S₁
PROFONDITÀ m. 3.20 - 3.70

Apertura maglie o diametri equivalenti			Passante % in peso	Residuo % in peso
Pollici	Mesh	mm.		
1 1/2		38.100	100	0
1		25.400	83.53	16.47
3/4		19.050	83.53	0
1/2		12.700	83.53	0
3/8		9.500	83.53	0
	4	4.750	81.83	1.70
	10	2.00	70.49	11.34
	40	0.425	44.13	26.36
	100	0.150	29.43	14.70
	200	0.070	8.30	21.13
			FONDO	8.30
Totale				100.00



TIPO LITOLOGICO

litio sabbioso

DATA:

MARZO 2000

DIRETTORE TECNICO

[Signature]

SPERIMENTATORE:

soiltecnica
geotecnica - geognostica

ANALISI GRANULOMETRICA

COMMITTENTE : GEOLAVORI S.R.L.

LOCALITÀ : SAN PRIATO - SAN VITO

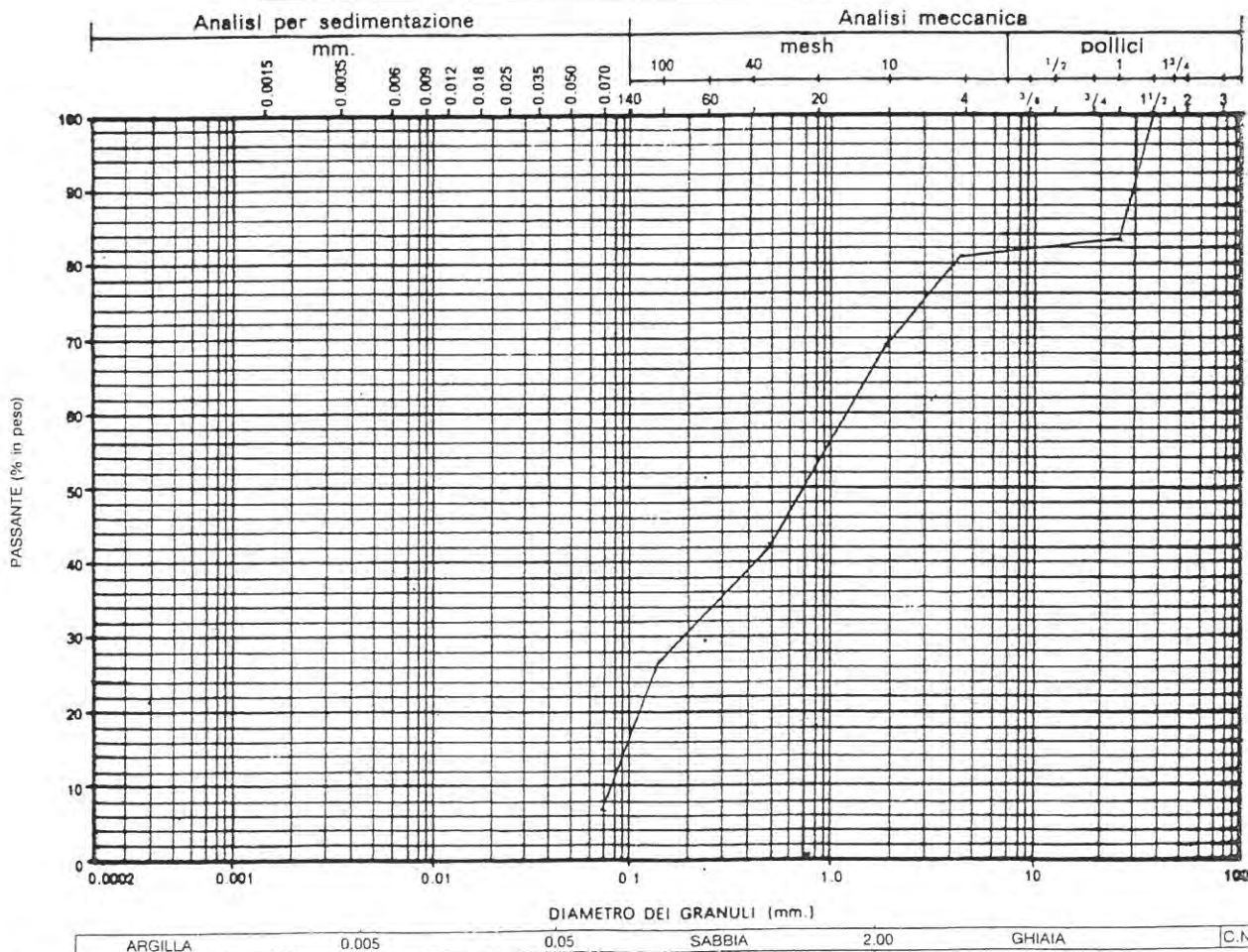
CANTIERE : CONS. BONIFICA SARDEGNA MERIDIONALE

SEZIONE N.

CAMPIONE N. S₄

PROFONDITÀ m. 1,50 - 2,00

Apertura maglie o diametri equivalenti			Passante % in peso	Residuo % in peso
Pollici	Mesh	mm.		
1 1/2		38.100	100	0
1		25.400	82.99	17.01
3/4		19.050	82.99	0
1/2		12.700	82.99	0
3/8		9.500	82.99	0
	4	4.750	81.07	1.92
	10	2.000	69.07	12.00
	40	0.425	42.07	27.00
	100	0.150	26.27	15.08
	200	0.070	6.92	20.07
			FONDO	6.92
Totale				100.00



TIPO LITOLOGICO

LIMO - SABBIA

DATA:

MARZO 2000

DIRETTORE TECNICO:

[Signature]

SPERIMENTATORE:

[Signature]

APPENDICE 2

INDAGINE SISMICA

Soiltech snc

del Dott. Geol. Paolo Caula e Dott. Geol. Ignazio Dessì

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA SUL RIO CANNAS – SAN PRIAMO
(sistemazione idraulica della ex SS 125 al rio Picocca chiavica in immissione
rio Cugurranti: protezione rilevato ex 125) CIG: ZOA2CD5892

COMUNE DI SAN VITO – Fraz. SAN PRIAMO

MAGGIO 2020

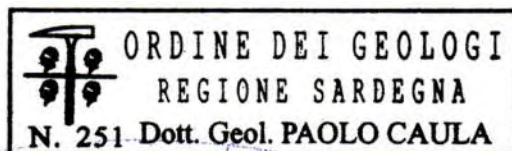
INDAGINE GEOFISICA PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

(MASW - ReMi)

Committente : Consorzio di Bonifica Sardegna Meridionale

Documento redatto da:

Dott. Geol. Paolo Caula



INDICE

1	DATI GENERALI	2
2	UBICAZIONE DELL'AREA INVESTIGATA.....	2
3	CENNI SULLA METODOLOGIA D'INDAGINE.....	4
3.1	MASW.....	5
4	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	6
4.1	CARATTERISTICHE TECNICHE DELLO STRUMENTO	6
4.2	SOFTWARE.....	7
5	CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO DI MISURA	7
6	ELABORATI GRAFICI.....	8
7	SINTESI DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA $V_{s,eq}$	15
8	SISMO-STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA	16
9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	19
ALLEGATI		21
SISMOGRAMMI		21

1 DATI GENERALI

COMUNE: San Vito fraz. San Priamo (CA);

PROGETTO: Interventi di sistemazione idraulica sul Rio Cannas – San Priamo
(sistemazione idraulica della ex SS125 al rio Picocca chiavica in
immissione rio Cugurranti: protezione rilevato ex SS125);

UBICAZIONE : Sfocio rio Cannas;

COMMITTENTE : Consorzio di Bonifica Sardegna Meridionale;

DITTA ESECUTRICE DELLA PROSPEZIONE : Soiltech snc;

RESPONSABILE TECNICO : Dott. Geol. Paolo Caula;

DATA ESECUZIONE INDAGINE : 20 maggio 2020;

Cartografia CTR scala 1:10000 : Tavoletta 558030 - San Priamo;

Cartografia IGM scala 1:25000 : Foglio 558 Sez. 1 – San Priamo.

2 UBICAZIONE DELL'AREA INVESTIGATA



Figura 1 - Mappa con l'ubicazione del sito investigato.

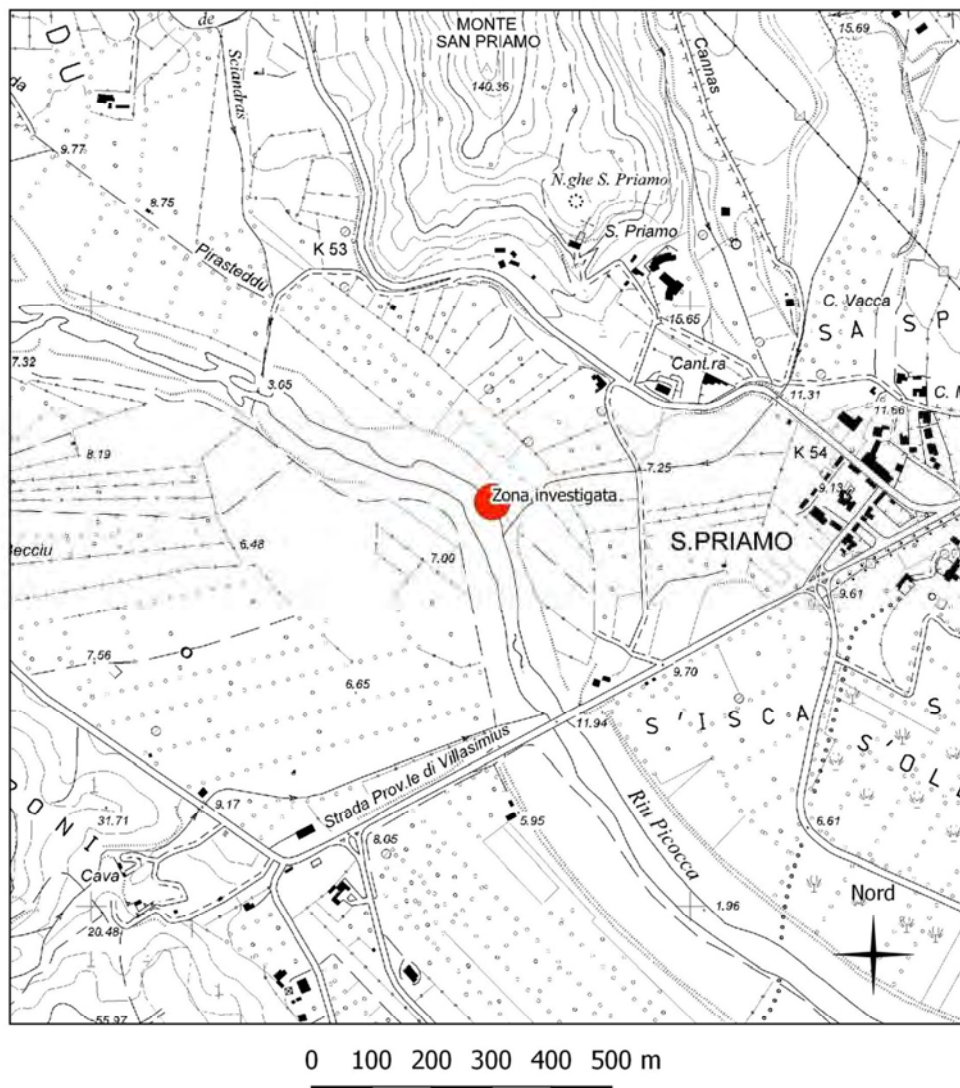


Figura 2 - Stralcio della CTR con indicato il sito oggetto della prospezione (punto rosso).

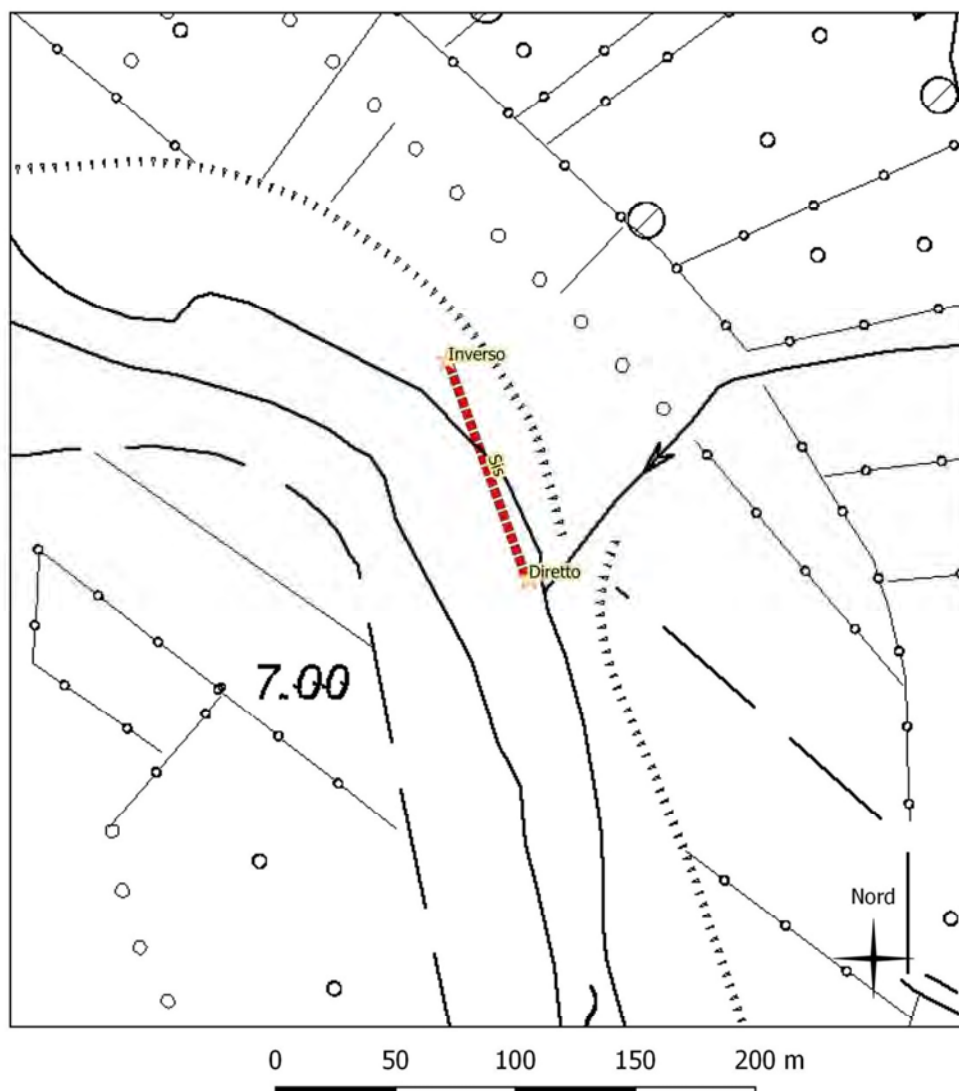


Figura 3 - Mappa di dettaglio su base CTR (lo stendimento sismico è indicato con la linea punteggiata rossa)

3 CENNI SULLA METODOLOGIA D'INDAGINE

La prospezione sismica tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) analizza le onde di superficie e utilizza la strumentazione che normalmente si adotta per la sismica a rifrazione convenzionale.

Si tratta di una tecnica d'indagine non invasiva in quanto per l'elaborazione del profilo delle onde di taglio verticali non ha bisogno di scavi o misure in foro, ma analizza le onde di Rayleigh che giungono ai geofoni disposti secondo stendimenti lineari e poggianti direttamente sulla superficie di campagna. La teoria MASW impone che il sito investigato non abbia variazioni stratigrafiche lungo lo stendimento in quanto, nella

fase di inversione, il modello del sottosuolo è considerato a strati piani e paralleli. Il software calcola il valore RMS che rappresenta l'errore o l'incertezza tra le determinazioni teoriche e sperimentali. RMS prossimo all'unità rappresenta la condizione di minimo errore, tuttavia il grado di incertezza generalmente aumenta con la profondità.

3.1 MASW

È un metodo di investigazione cosiddetto “attivo” in quanto la generazione di onde sismiche si effettua artificialmente a mezzo di idonea massa battente, fucile sismico o altro. Il punto di energizzazione è posto lungo l'allineamento dei geofoni ad una certa distanza dal primo (circa 2 - 3 volte la distanza intergeofonica). Il metodo consente di ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo e si basa sull'analisi delle onde di Rayleigh che si propagano entro un semispazio stratificato.

La procedura di elaborazione consiste nell'intervenire e modificare il profilo delle velocità Vs fino al raggiungimento di un buon accordo fra la curva di dispersione rilevata in sito e la curva simulata numericamente. Il processo di analisi può essere suddiviso nelle seguenti fasi;

- acquisizione dei sismogrammi di campagna;
- verifica della qualità dei tracciati con eventuali interventi di pulizia e correzione ed elaborazione;
- salvataggio del file in formato SEG-2 idoneo all'elaborazione finale;
- pre-processing;
- elaborazione dello spettro nel dominio Velocità – N d'onda;
- calcolo della velocità apparente sperimentale;
- calcolo della velocità apparente numerica;
- individuazione del profilo monodimensionale delle velocità delle onde Vs;
- calcolo della Vs,eq.

La strumentazione necessaria è costituita essenzialmente da uno stendimento lineare di 12 o più geofoni ad asse verticale con distanza intergeofonica di 0,5 / 4,0 m e da un sistema di acquisizione del segnale. Nell'ambito della prova è necessario analizzare frequenze molto basse anche dell'ordine di 20 Hz o inferiori, per cui è necessario l'impiego di geofoni con frequenze comprese tra 4 e 14 Hz. Il tempo totale di

campionamento deve essere di circa 4 sec con intervallo temporale raccomandato e di 2 – 4 m/sec.

Il software di elaborazione opera una trasformata bidimensionale nel campo frequenza – numero d’onda che analizza l’energia di propagazione del rumore di fondo nelle due direzioni dello stendimento e costruisce uno spettro su un grafico frequenza - numero d’onda. Nello spettro di elaborazione è possibile distinguere le onde di Rayleigh (che hanno potere dispersivo e contenuto in energia elevato) dai modi superiori, dal rumore incoerente e da altri tipi di onde. In questa fase interviene l’operatore che, in base alla propria esperienza e alle informazioni geologico - stratigrafiche del sito, estrae dallo spettro (intervenendo con un picking in corrispondenza dei massimi rilevabili nel modo fondamentale) la curva di dispersione sperimentale che il programma di calcolo inserisce in un diagramma nel quale compare una curva di dispersione teorica. Quest’ultima curva, intervenendo per modellazione sullo spessore degli strati, densità e velocità, dovrà adattarsi il più possibile alla curva sperimentale. A questo punto il programma elabora per inversione il modello di velocità (Vs) da cui è possibile individuare i vari sismo-strati intercettati nel sottosuolo rappresentati graficamente dall’andamento delle Vs in funzione della profondità.

4 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLO STRUMENTO

Per l’esecuzione dell’indagine è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- n° 24 canali per sismica a rifrazione da 24 bit;
- n° 24 geofoni verticali da 4,5 Hz High-gain;
- interfaccia con alimentatore;
- sensore per trigger;
- piastra di battuta;
- mazza battente da 10 kg;
- software di acquisizione;
- cavi sismici.

4.2 SOFTWARE

Il software di gestione del sismografo è il GEOEXPLORER DoReMi V.1.0.2 mentre per l'elaborazione delle Vs è stato utilizzato il programma SWAN su licenza della Geostudi Astier.

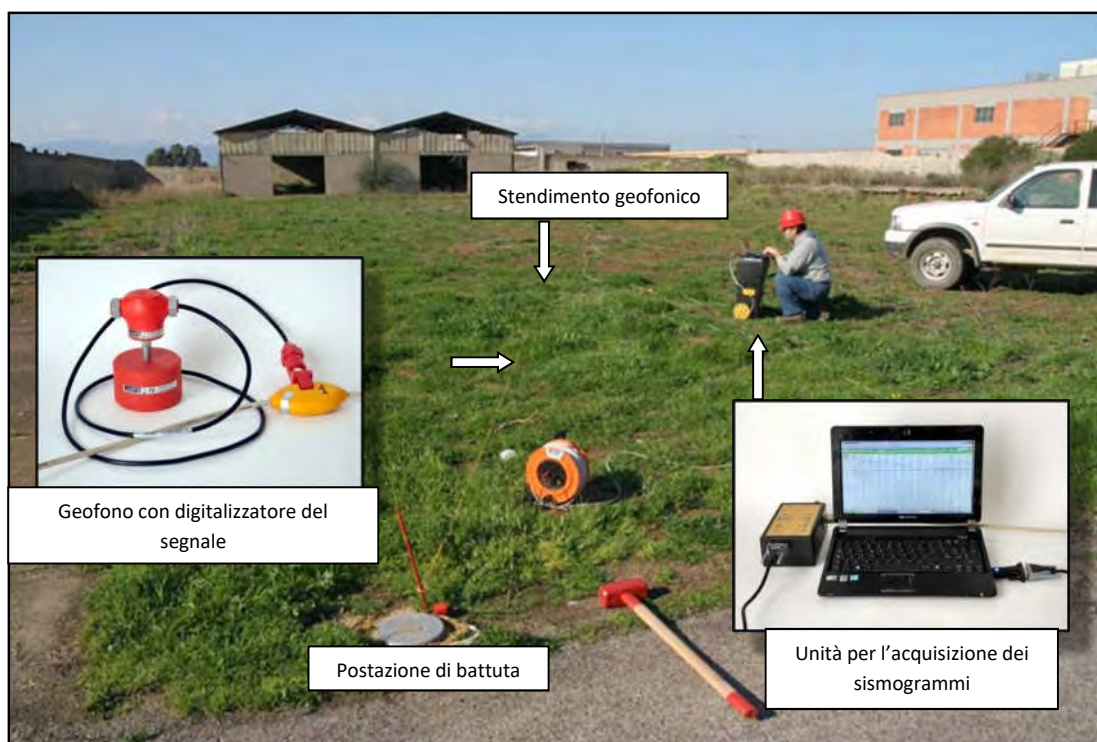


Figura 4 - Configurazione dello strumento utilizzato.

5 CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO DI MISURA

Sigla identificativa dello stendimento in planimetria: **Sis.**;

Numero geofoni: 24;

Interdistanza fra i geofoni: 3,5 m;

Offset di battuta : 7 m *diretta e inversa*;

Coordinate del punto intermedio dello stendimento (EPSG 3003):

E: 1547663,4 – N: 4356668,4

Numero complessivo di acquisizioni per ogni stendimento : 6 (*3 dirette e 3 inverse*);

Orientamento stendimento: NNO-SSE;

Differenze di quota fra i ricevitori: nulla o poco significativa;

Condizioni meteo: sereno, assenza di vento;

Condizioni della superficie del suolo: stendimento eseguito su terreno con presenza di manto erboso quasi assente.



Figura 5 - Allineamento geofonico (diretto a sinistra e inverso a destra).

6 ELABORATI GRAFICI

Nel seguito si riportano gli elaborati grafici di interpretazione dei sismogrammi di campo. Nella figura 6 e 8 sono rappresentati gli spettri MASW ottenuti dall'interpretazione dei dati di campo, in cui ad una prima analisi visiva è possibile osservare le onde di interesse aventi maggior energia. Queste sono differenziate con gradazioni di colore, variabile dal celeste chiaro al rosso (il colore rosso indica energia più elevata); il campo blu rappresenta il rumore incoerente. Il grafico riporta linee nere oblique che suddividono lo spettro in campi di velocità con intervalli di 100 m/sec crescenti dal basso verso l'alto. Gli strati più superficiali sono rappresentati a destra e al centro dello spettro (area di interesse geotecnico), mentre verso il lato sinistro è indicata la risposta sismica degli strati più profondi. Le misure sono risultate del tutto prive di disturbi, infatti gli spettri ottenuti con le diverse prospezioni sono stati di agevole interpretazione.

Analizzando lo spettro è possibile osservare che le onde di maggior energia presento a destra e al centro della figura indicano velocità ricadenti poco all'interno della fascia dei 300 m/sec ma procedendo verso sinistra a profondità maggiori le Vs intersecano campi sempre più veloci indicando un miglioramento delle caratteristiche sismiche e geotecniche man mano che si procede in profondità (si osservi la linea

obliqua che rappresenta il picking del modo di vibrazione fondamentale eseguito dallo scrivente su base normalizzata).

I dati riportati nelle figure 7, 10, 8, che riassumono l'andamento delle Vs in funzione della profondità, indicano che la velocità di propagazione delle onde sismiche, per la porzione di semispazio più superficiale, risultano piuttosto basse in quanto si collocano mediamente in un range compreso tra 90 e 200 m/sec; queste evidenziano la presenza di una copertura superficiale con modeste caratteristiche sismiche e geotecniche, probabilmente legate alla presenza di terreni di probabile natura coesiva e/o granulare poco addensati e saturi. L'assetto sismo-stratigrafico che segue indica terreni con velocità sismiche crescenti fino a portarsi a valori caratteristici di un vero e proprio bedrock litoide ($V_s > 800$ m/sec) dopo circa 20 m di profondità dall'attuale piano campagna.

BATTUTA DIRETTA

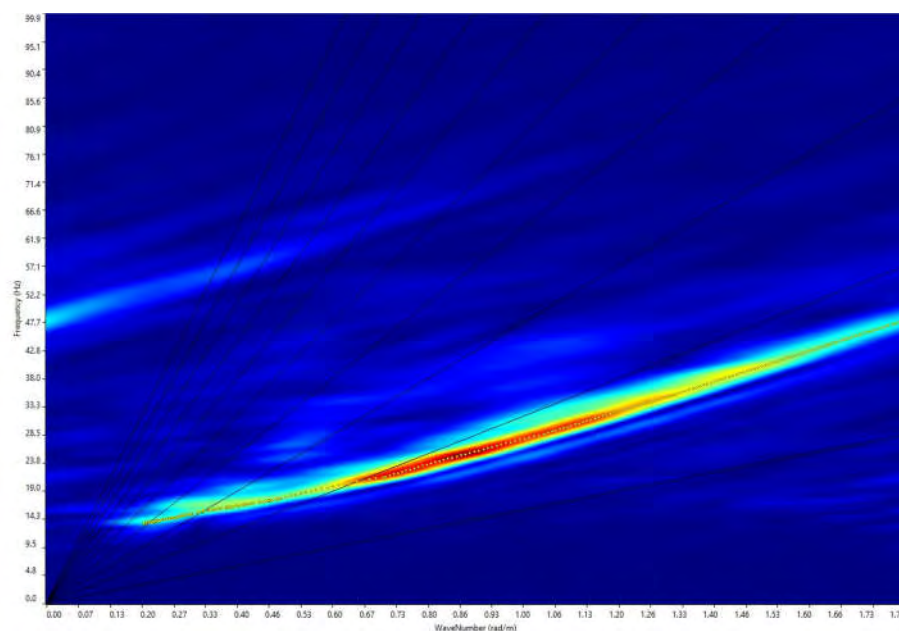


Figura 6 – Spettro (battuta diretta).

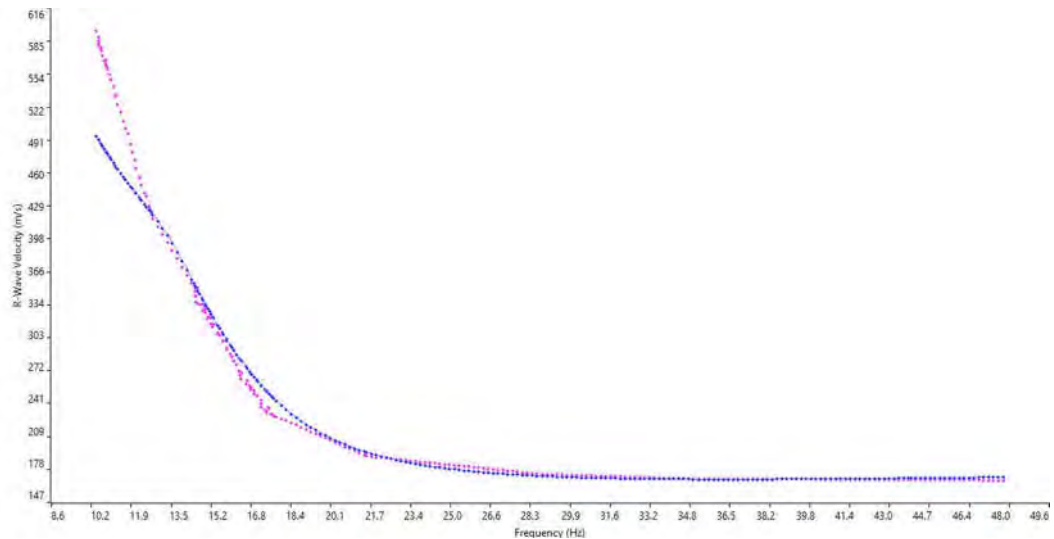


Figura 7 - curva sperimentale (in rosa) e teorica (in blu).

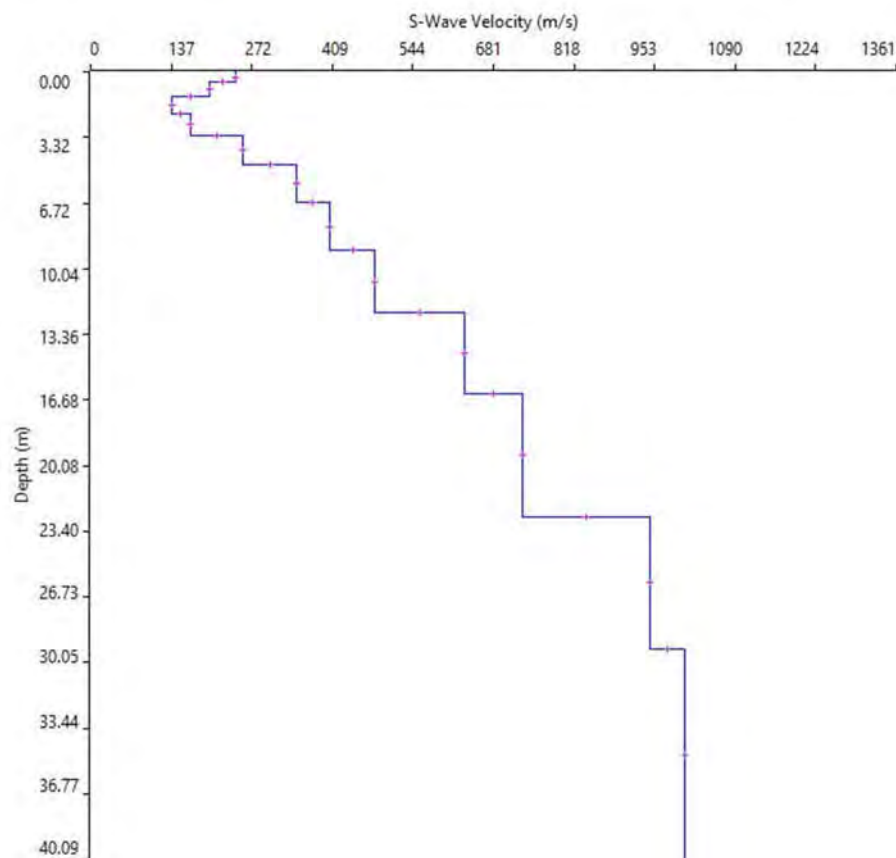


Figura 8 - Profilo sismo-stratigrafico (battuta diretta).

BATTUTA INVERSA

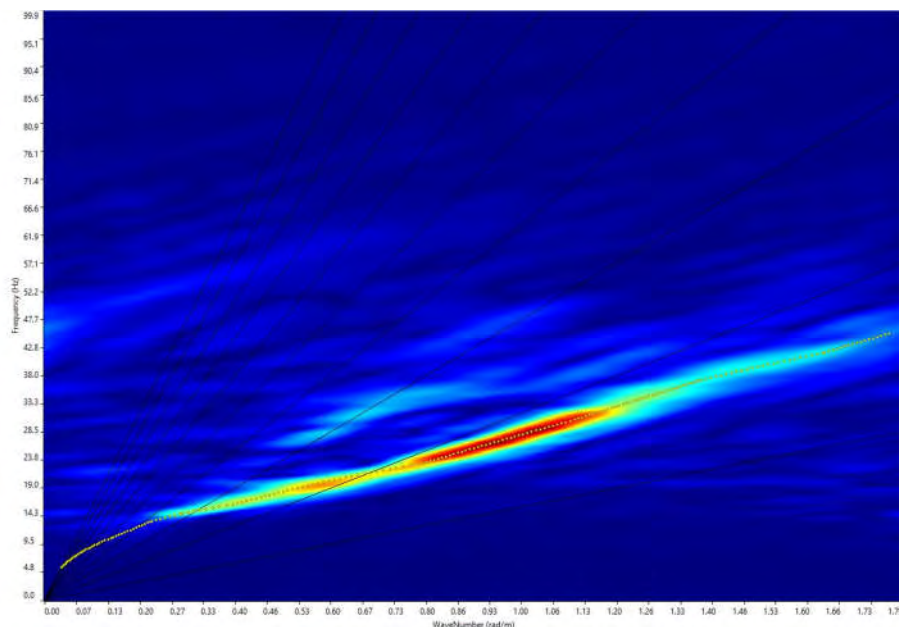


Figura 9: Spettro (battuta inversa).

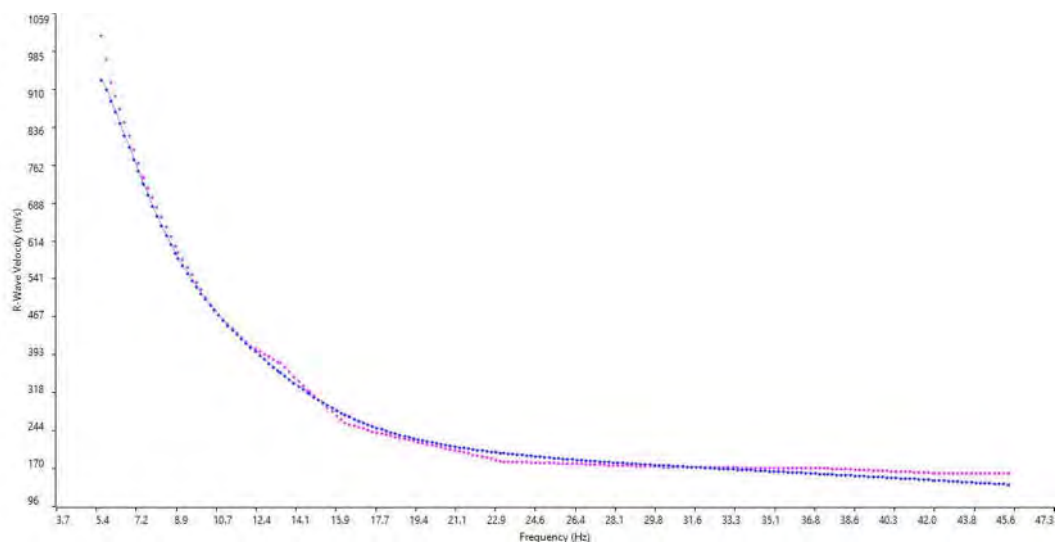


Figura 10 – Battuta inversa, curva sperimentale (in rosa) e teorica (in blu).

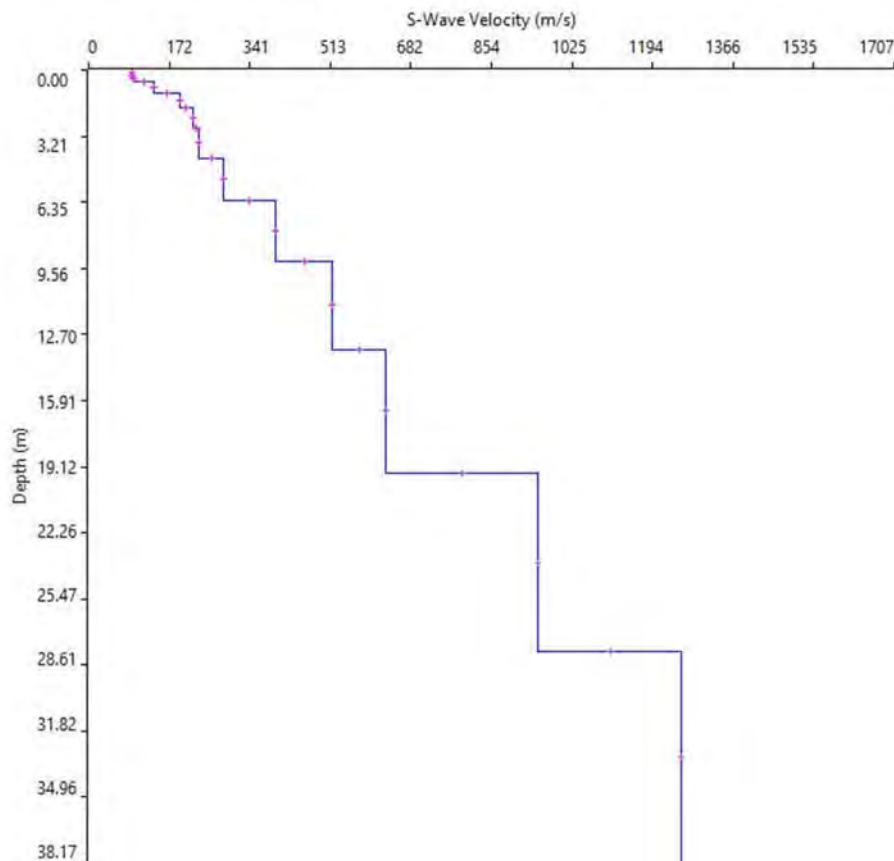


Figura 11- Profilo 1D relativo alla battuta inversa.

PROSPEZIONE ReMi (microtremori)

Tenuto conto delle condizioni ambientali particolarmente favorevoli nel corso dell'attività di campo, ai rilievi con la tecnica MASW, è stata aggiunta la misura dei microtremori (ReMi). La tecnica ReMi presenta molte analogie con la MASW in quanto si utilizzano gli stessi apparati di rilevazione e misura delle onde di taglio verticali con la principale differenza che la sorgente sismica è il rumore naturale (o artificiale) di fondo, non si usa quindi la massa battente, per cui tale procedura viene definita "passiva". Visto che i microtremori sono la sorgente sismica, la tecnica ben si adatta in contesti rumorosi come l'ambiente urbanizzato. Essendo, tuttavia, il segnale abbastanza debole rispetto alla MASW o alla sismica tradizionale è necessario prolungare il tempo di registrazione di 20-30 sec o più. A differenza della MASW questo metodo consente, in condizioni ottimali, una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle velocità di taglio fino a cento metri di profondità. Il software di elaborazione opera una trasformata bidimensionale nel campo frequenza – numero d'onda che analizza l'energia di

propagazione del rumore di fondo dello stendimento e costruisce uno spettro di potenza su un grafico frequenza - numero d'onda. Nello spettro di elaborazione è possibile distinguere le onde di Rayleigh (che hanno potere dispersivo e contenuto in energia elevato, in colore rosso) dai modi superiori, dal rumore incoerente e da altri tipi di onde.

In questa fase interviene l'operatore che in base alla propria esperienza e alle informazioni geologico - stratigrafiche del sito, estrae dallo spettro (mediante picking eseguito non sui massimi) la curva di dispersione sperimentale che il programma di calcolo inserisce in un diagramma nel quale compare una curva di dispersione calcolata. Dopo questa fase di elaborazione la procedura è del tutto analoga a quella descritta per la MASW.

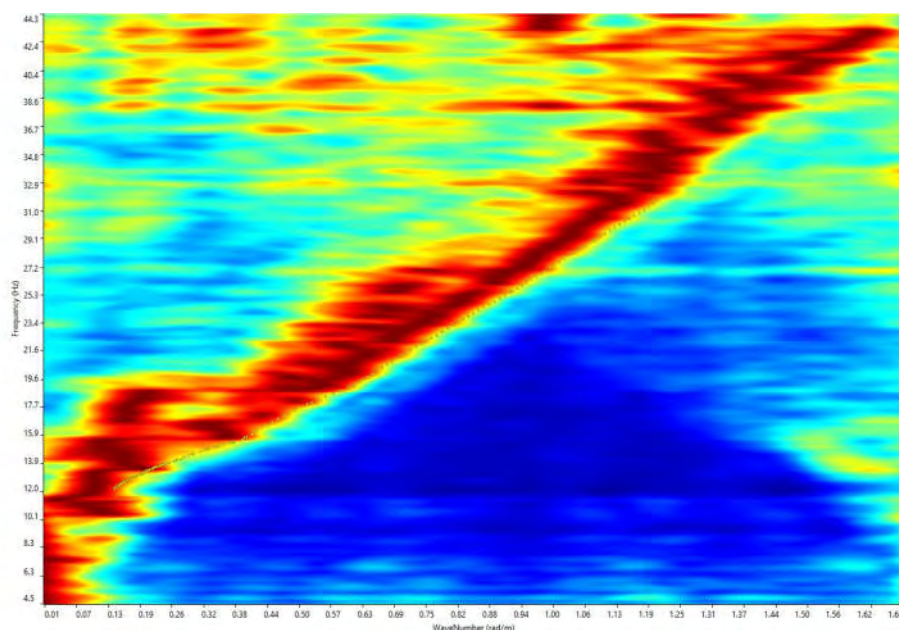


Figura 12- Spettro ReMi.

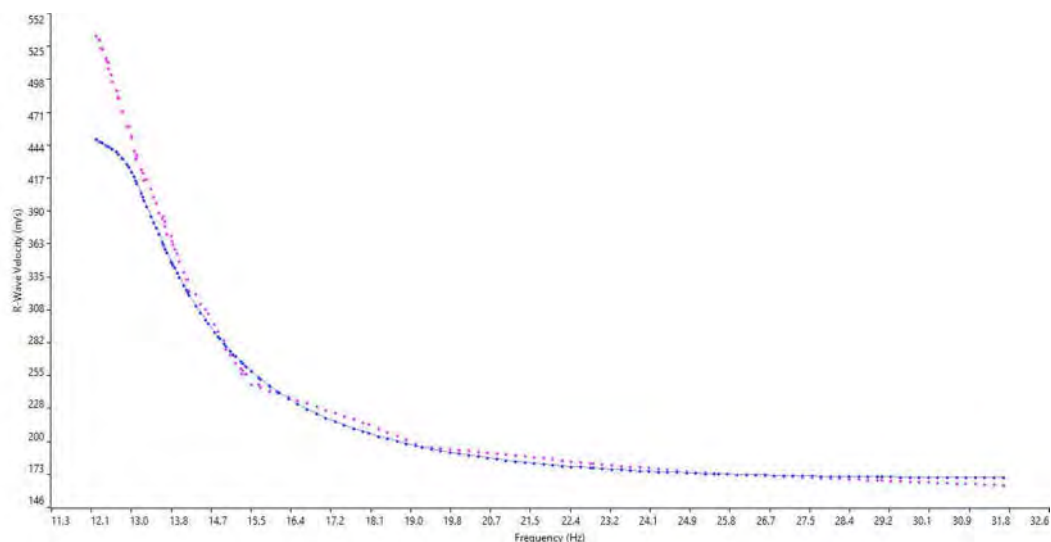


Figura 13 – Curve ReMi (sperimentale e teorica).

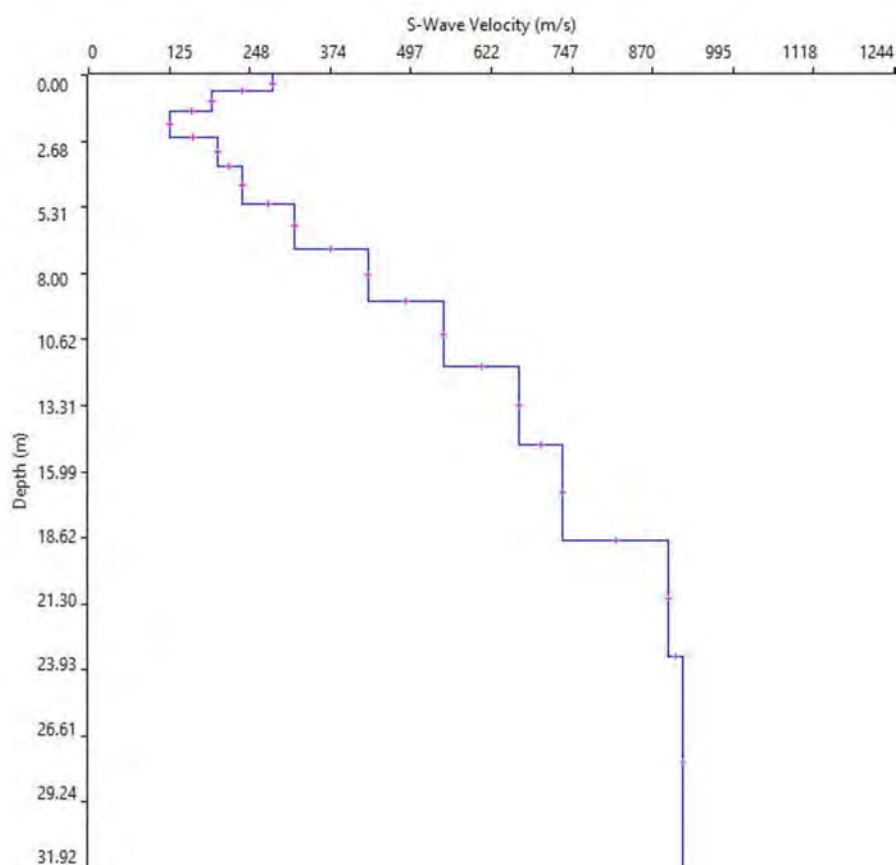


Figura 14 - Profilo 1D ReMi.

7 SINTESI DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA $V_{s,eq}$

Nel calcolo della $V_{s,eq}$ si è tenuto conto di tutti gli strati in cui, in fase di elaborazione, è stato suddiviso il profilo riportato in precedenza (12 strati). $V_{s,eq}$ rappresenta la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità di 30 m (o del bedrock) calcolata dal piano d'imposta della fondazione (stimata a 2,0 m di profondità), con la seguente formula (NTC 14 gennaio 2018):

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i/V_{s,i})$$

In cui;

H = profondità del substrato (formazione con $V_s \geq 800$ m/sec),

h_i = spessore dello strato i-esimo (m);

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato considerato (m/s).

Per depositi con H superiore a 30 m, la $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ che si ottiene ponendo 30 al posto di H.

$V_{s,eq}$ E CATEGORIA SISMICA DEL SITO

Posizione battuta	Profondità imposta fondazione	Profondità del bedrock	V_{seq}	Categoria stratigrafica (NTC 2018)
	m da p.c.	m da p.c.	m/sec	
Diretta (MASW)	1	22,5	463	B
Inversa (MASW)	1	19,4	440	B
ReMi	1	18,7	426	B

Scheda 1- V_{seq} e categoria sismica del sito.

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

Scheda 2 - Categorie dei terreni di fondazione secondo le NTC del 2018
(in grassetto è indicata la categoria stratigrafica di appartenenza rilevata nell'area d'indagine)

8 SISMO-STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA

L'assetto sismo-stratigrafico rilevato dalla prospezione evidenzia la presenza di una copertura superficiale, potente circa 2 – 3 m, tenera o poco addensata probabilmente costituita dai depositi alluvionali recenti prodotti dal vicino corso d'acqua. A questa segue una formazione più compatta, probabilmente costituita da ghiaie e sabbie ascrivibili alle formazioni terrazzate di età olocenica ben documentate e diffuse in questo settore della Sardegna meridionale. Oltre la profondità di 20 m circa è probabile la presenza del substrato cristallino appartenente al Complesso granitoide del Sarrabus. L'escavabilità della copertura è sicuramente praticabile con i normali mezzi di cantiere.

Le schede che seguono contengono i principali parametri fisici e sismici del sito investigato rilevati con le due battute MASW.

Strato	Spessore medio	Profondità base	V _s	V _p	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	m	m da p.c.	m/sec	m/sec	G ₀ MPa	Edin MPa	m/sec x kN/mc	Hz	sec
1	0,55	0,55	245	424	110	221	4410	111,36	0,009
2	0,69	1,24	200	346	73	147	3600	72,46	0,014
3	0,87	2,11	138	239	35	70	2484	39,66	0,025
4	1,15	3,26	168	291	52	104	3024	36,52	0,027
5	1,47	4,73	258	447	122	245	4644	43,88	0,023
6	1,93	6,66	347	601	221	442	6246	44,95	0,022
7	2,44	9,1	404	700	299	600	7272	41,39	0,024
8	3,17	12,27	480	831	423	847	8640	37,85	0,026
9	4,09	16,36	632	1095	733	1468	11376	38,63	0,026
10	6,28	22,64	730	1264	978	1958	13140	29,06	0,034
11	6,75	29,39	945	1637	1639	3281	17010	35,00	0,029
12	0,61	30	1004	1739	1850	3704	18072	411,48	0,002

Scheda 3 - Parametri fisici da dati MASW diretto.

Strato	Spessore medio	Profondità base	V _s	V _p	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	m	m da p.c.	m/sec	m/sec	G ₀ MPa	Edin MPa	m/sec x kN/mc	Hz	sec
1	0,25	0,25	93	161	16	32	1674	93,00	0,011
2	0,34	0,59	94	163	16	32	1692	69,12	0,014
3	0,49	1,08	137	237	34	69	2466	69,90	0,014
4	0,72	1,8	193	334	68	137	3474	67,01	0,015
5	1	2,8	221	383	90	179	3978	55,25	0,018
6	1,43	4,23	233	404	100	199	4194	40,73	0,025
7	2,07	6,3	287	497	151	303	5166	34,66	0,029
8	2,94	9,24	397	688	289	579	7146	33,76	0,030
9	4,19	13,43	517	895	490	982	9306	30,85	0,032
10	6	19,43	630	1091	728	1458	11340	26,25	0,038
11	8,54	27,97	953	1651	1666	3337	17154	27,90	0,036
12	2,03	30	1255	2174	2890	5787	22590	154,56	0,006

Scheda 4 - Parametri fisici da dati MASW inverso.

Il significato dei simboli è il seguente:

Frequenza fondamentale (F) e periodo fondamentale (T) (relativi ad ogni strato):

$$F = V_s / 4H,$$

$$T = 4H / V_s$$

Velocità delle onde longitudinali (Vp)

$$V_p = \sqrt{3} \times V_s$$

Modulo di taglio dinamico (G)

$$G = V_s^2 \times \gamma / g$$

Modulo elastico dinamico (Edin)

$$E_{din} = \rho \times V_p^2 \times (1+\nu) \times (1-2\nu)/(1-\nu)$$

In cui:

$\rho = \gamma/g$ (con $\gamma=18$ kN/mc);

$g =$ accelerazione di gravità;

$\nu =$ coefficiente di Poisson (è stato considerato un valore medio pari a 0,33);

$H =$ spessore dello strato.

Rigidità sismica (R)

La rigidità sismica è un parametro legato all'amplificazione sismica locale; tanto più alto risulta R tanto minore sarà l'incidenza del danno dovuto al sisma;

$$R = \gamma \times V_s$$

In cui:

$\gamma =$ peso di volume naturale (18 kN/mc);

$V_s =$ Velocità di taglio.

Gli autori Law e Campbell (1985) propongono le curve di rigidezza che tengono conto dell'andamento delle V_s con la profondità. Nel grafico riportato in fig. 10 si osserva che a destra della linea rossa ricadono i terreni rigidi, mentre la curva blu indica il limite superiore dei terreni soffici. Il campo delimitato dalle due linee rappresenta una condizione di rigidezza intermedia. Le due curve sono messe a confronto con i profili di rigidezza rilevati dai dati MASW (diretto e inverso) e ReMi nel sito investigato (vedasi linee in tratteggio); Il grafico mostra la presenza di una copertura soffice superficiale e relativamente poco potente (circa 2,5 – 3,0 m). A questa segue un andamento di

crescita costante in tutte le misure effettuate in quanto le Vs si portano rapidamente verso terreni rigidi già dopo circa 7 -8 m di profondità.

Acquisizione MASW diretta			Acquisizione MASW inversa			Acquisizione ReMi		
Strato	Profondità	Vs	Strato	Profondità	Vs	Strato	Profondità	Vs
n°	mezzeria strato	m/sec	n°	mezzeria strato	m/sec	n°	mezzeria strato	m/sec
	m			m			m	
1	0,275	245	1	0,125	93	1	0,33	283
2	0,895	200	2	0,42	94	2	1,07	191
3	1,675	138	3	0,835	137	3	1,985	125
4	2,685	168	4	1,44	193	4	3,095	198
5	3,995	258	5	2,3	221	5	4,44	238
6	5,695	347	6	3,515	233	6	6,075	317
7	7,88	404	7	5,265	287	7	8,045	432
8	10,685	480	8	7,77	397	8	10,425	548
9	14,315	632	9	11,335	517	9	13,31	664
10	19,5	730	10	16,43	630	10	16,815	732
11	26,015	945	11	23,7	953	11	21,08	895
12	29,695	1004	12	28,985	1255	12	26,71	917

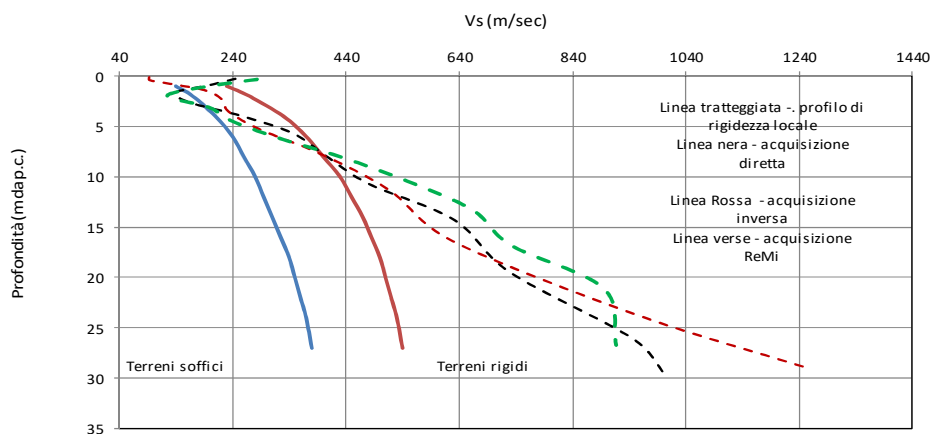


Figura 10 - Profilo di rigidezza locale ottenuta dai dati MASW e ReMi.

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati acquisiti con la presente indagine sismica in onde di superficie hanno permesso di caratterizzare con sufficiente approssimazione il sottosuolo di un'area in cui sono in progetto gli **"Interventi di sistemazione idraulica della ex SS 125 al rio Picocca chiavica di immissione rio Cugurranti"**, ricadenti entro in limiti amministrativi del Comune di San Vito, fraz. San Priamo.

La prospezione ha permesso di determinare la categoria stratigrafica così come definita dalle NTC del 2018 e l'assetto sismo-stratigrafico dei terreni di fondazione fino

ad una profondità stimata di circa 30 m. Dall'analisi dei dati ottenuti emerge quanto segue:

- L'assetto sismo-stratigrafico rilevato dall'analisi del profilo sismico indica la presenza di una copertura soffice o poco addensata potente circa 2 - 3 m. A questa segue una probabile formazione clastica caratterizzata da velocità di propagazione sismica sempre più elevate man mano che si procede con la profondità. Oltre la profondità di 20 metri è probabile la presenza del substrato di natura granitica.
- La $V_{s,eq}$ rilevata, è risultata mediamente pari a 443 m/sec, calcolata dalla base della fondazione ipotizzata posta a 2,0 m di profondità (vedasi la scheda n°1 a pag. 15), che permette di inquadrare il sottosuolo nella categoria stratigrafica **B** come definita dalle NTC del 2018 (vedasi scheda 2 alla pag. 16).
- Tenuto conto delle basse V_s rilevate in alcuni tratti dei depositi più superficiali e della possibile loro composizione granulometrica di natura sabbiosa satura è possibile che si possano innescare fenomeni di liquefazione del terreno in caso di sisma di una certa rilevanza.

Dott. Geol. Paolo Caula

Data: Maggio 2020

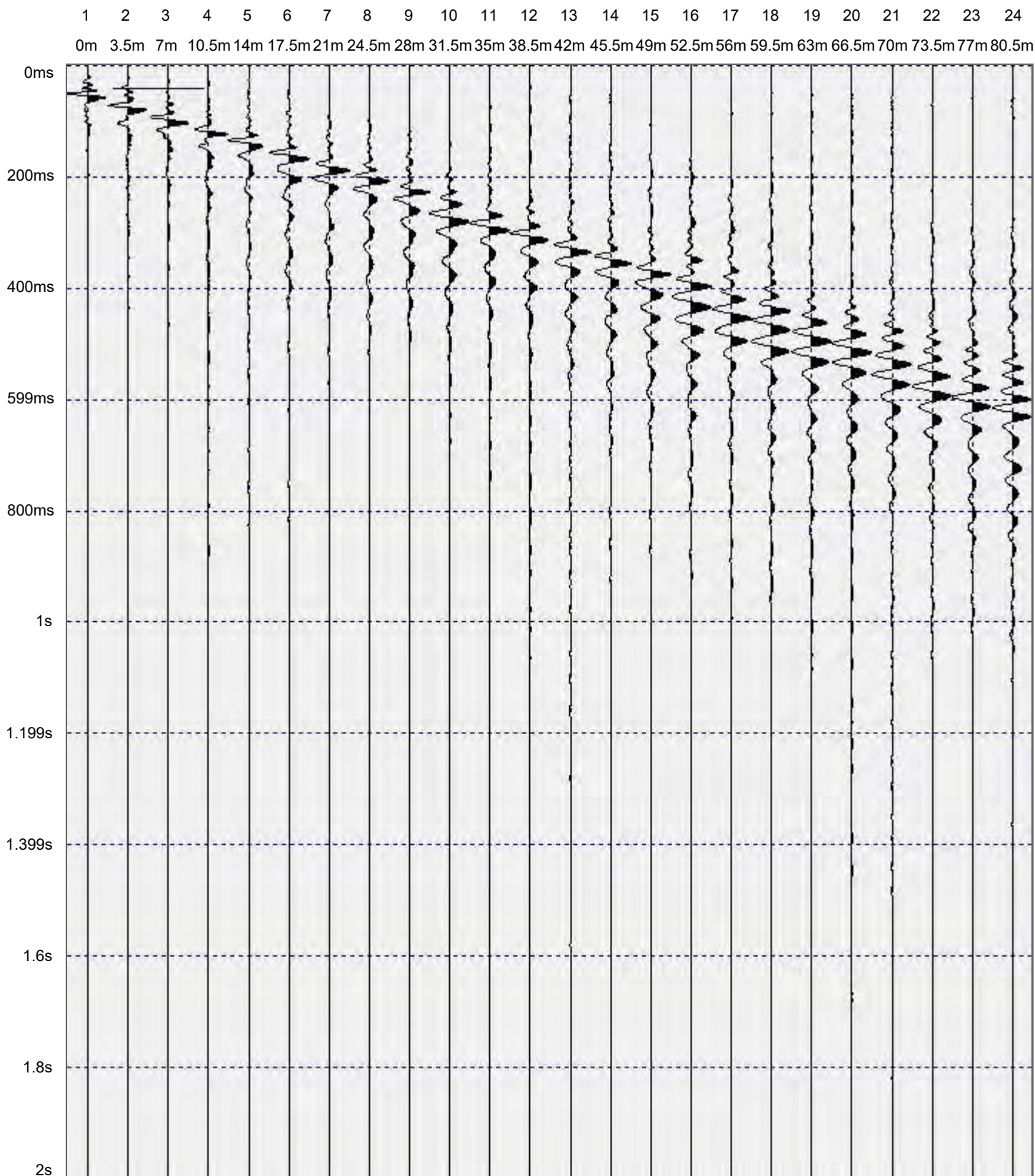


ALLEGATI

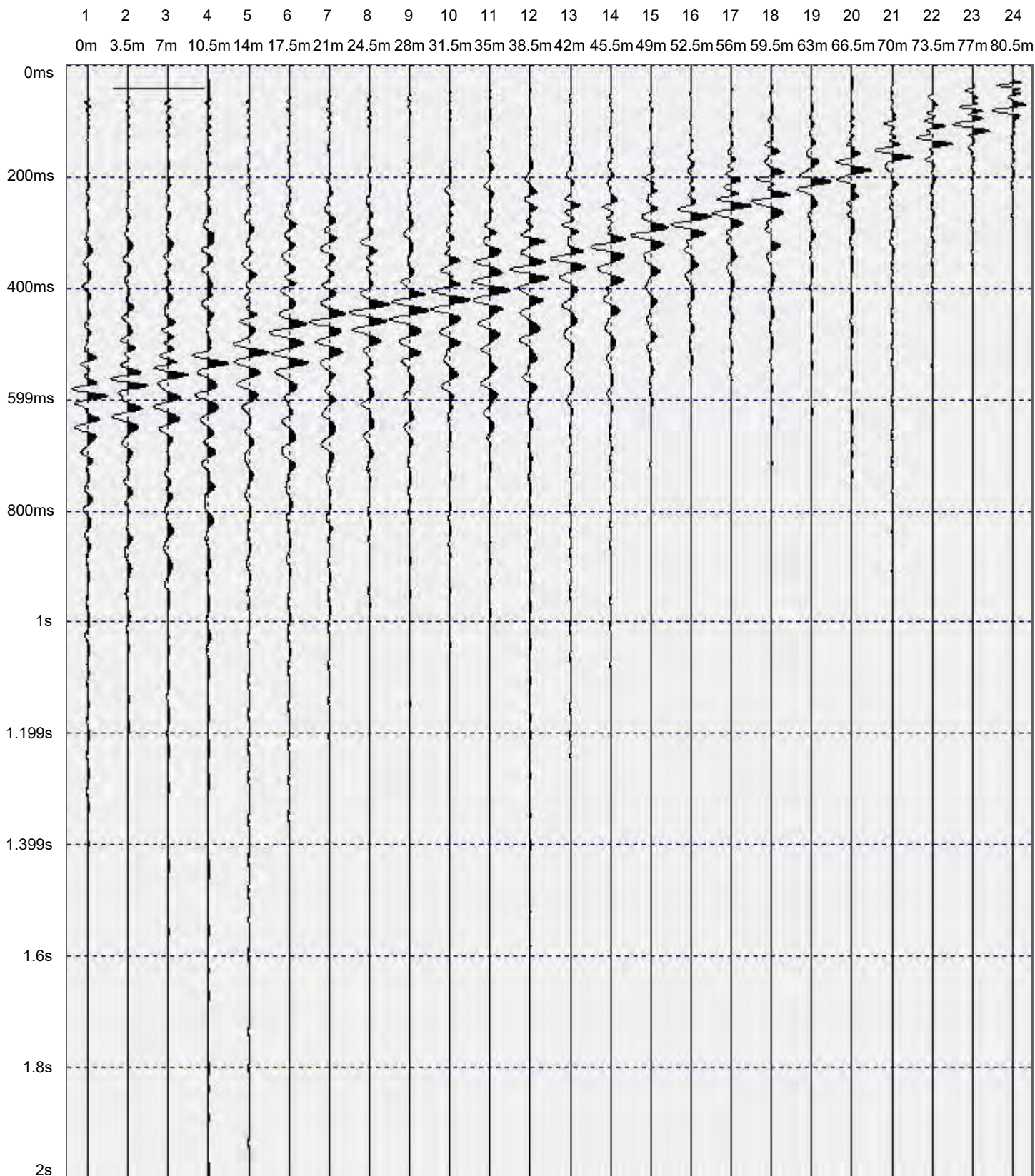
SISMOGRAMMI

Sismogramma dopo stacking

Nome ditta: Soiltech snc	Nome operatore: Dott. Geol. Paolo Caula		Nome cliente: CBSM
Strumento: DOREMI	Data: 20/05/2020	Ora: 10.01.32	Luogo: Chiavica San Priamo
Nome del file: 2020-05-20_12-29-43_01000_00200_024_StckSm.drm			
Coordinate del sito:	Periodo di campionamento: 1000uS (1000 SPS)	Durata: 2s	Offset: -7 m
Note: San Priamo diretto			



Nome ditta: Soiltech snc		Nome operatore: Dott. Geol. Paolo Caula		Nome cliente: CBSM	
Strumento: DOREMI		Data: 20/05/2020	Ora: 10.11.03	Luogo: Chiavica San Priamo	
Nome del file: 2020-05-20_12-30-58_01000_00200_024_StckSm.drm					
Coordinate del sito:		Periodo di campionamento: 1000uS (1000 SPS)		Durata: 2s	Offset: 87,5
Note: San Priamo inverso					



Nome ditta: Soiltech snc		Nome operatore: Dott. Geol. Paolo Caula		Nome cliente: CBSM	
Strumento: DOREMI		Data: 20/05/2020	Ora: 10.26.23	Luogo: Chiavica San Priamo	
Nome del file: 2020-05-20_10-26-23_00500_03000_024_Acq v2.drm					
Coordinate del sito:		Periodo di campionamento: 2000uS (500 SPS)		Durata: 30s	Offset:
Note: San Priamo REMI					

