Malcotti
Roberto
27.06.2025
14:10:41
GMT+01:00

Carra
Giovanni
27.06.2025
14:18:46
GMT+01:00

Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato dei Lavori Pubblici
Servizio del Genio civile di Oristano

Responsabile di Progetto (RUP): Ing. Stefano Piga

Servizio tecnico per la progettazione e coordinamento sicurezza in fase di progettazione dei lavori di regolarizzazione e adeguamento delle arginature del rio Mogoro nel tratto intermedio (tra il ponte ferroviario e la confluenza con il canale Acque Alte) per il conseguimento della percorribilità sul coronamento - Argine sinistro, con opzione ai sensi dell'art.120 comma 1 lett. a) del D.Lgs. n. 36/2023 di estensione del servizio per la Direzione Lavori e CSE dell'intervento - (Servizio di piena 2022)

CIG: A03DE7C075 - CUP: E54D22004370003

Progetto Esecutivo

ELABORATO 3.1

Relazione geologica

approvato Ing. Ivo Fresia
verificato Ing. Roberto Malcotti
elaborato Geol. Mattia Galletti / Geol. Giovanni Carra

0	MG	RM	FR	Aprile 2025
rev.	sigla			data

codice elaborato 1061-03-03-001R-00

Indice

1 Premessa 1

2 Inquadramento normativo 2

3 Inquadramento geologico 3

3.1 Assetto geologico locale 4

4 Inquadramento geomorfologico 6

4.1 Assetto geomorfologico del Fiume Mogoro 6

5 Inquadramento idrogeologico 8

6 Interferenza con il P.A.I. 9

7 Indagini geognostiche 11

8 Modello geologico 12

9 Sismicità 13

9.1 Sismicità storica dell'area 13

9.2 Zonazione sismogenetica 14

9.3 Azioni sismiche 15

10 Bibliografia 20

1 Premessa

La presente relazione geologica, idrogeologica e sismica è stata redatta su incarico del Servizio del Genio Civile di Oristano come supporto alla progettazione relativa a "*Servizio tecnico per la progettazione e coordinamento sicurezza in fase di progettazione dei lavori di regolarizzazione e adeguamento delle arginature del rio Mogoro nel tratto intermedio (tra il ponte ferroviario e la confluenza con il canale Acque Alte) per il conseguimento della percorribilità del coronamento – Argine sinistro, con opzione ai sensi dell'art. 120 comma 1 lett. a) del D.Lgs. n. 36/2023 di estensione del servizio per la Direzione Lavori e CSE dell'intervento – (Servizio di piena 2022)*".

Lo studio è stato effettuato allo scopo di definire il modello geologico e geotecnico del sito attraverso la ricostruzione dei caratteri litostratigrafici, idrogeologici, geomorfologici e strutturali, evidenziando, qualora presenti, gli elementi di pericolosità geologica.+

2 Inquadramento normativo

- Opcm n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Delibera del 30 marzo 2004, n. 15/31 - Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018– Testo Unitario – Norme tecniche per le costruzioni (G.U. del 20.02.2018) e Circolare 21 gennaio 2019 n. 7" Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- Norme di Attuazione del P.A.I. Testo coordinato – Del. C. I. n. 15 del 22 novembre 2022, rettificata con Del. C.I. n. 19 del 27 dicembre 2022.

3 Inquadramento geologico

L'area in esame ricade interamente in corrispondenza dei depositi quaternari nella pianura del Campidano, che si estende per oltre 100 km dal Golfo di Cagliari al Golfo di Oristano (Fig. 1).

L'attuale assetto geologico--strutturale è relativo a processi geodinamici iniziati nel Terziario, durante l'Oligocene medio, quando per collisione della placca africana con quella europea, ci fu la rototraslazione del blocco sardo-corso e l'apertura del rift sardo, con la suddivisione del basamento cristallino paleozoico, strutturalmente già evoluto, in due horst (pilastri) e sul quale andrà ad impostarsi successivamente il Graben (Fossa sarda). L'horst occidentale fu smembrato in blocchi, disposti in senso meridiano, rappresentati da: la Nurra, i Monti di Flumentorgiu, l'Arburese-Iglesiente ed il Sulcis di grandi dimensioni, ed altri come il sud-Algherese e l'isola di Mal di Ventre, di dimensioni assai ridotte. L'horst orientale, almeno apparentemente più omogeneo, è costituito dal complesso granitico del nord Sardegna, dalla zona assiale della catena ercinica della Sardegna nordorientale, dalla zona a falde della catena ercinica della Sardegna centrale e dall'intrusione ercinica del Sarrabus.

In seguito a fenomeni di subsidenza la Fossa sarda venne riempita dai sedimenti marini miocenici per un lungo periodo, come testimoniano i numerosi affioramenti di sedimenti marini nel Meilogu-Logudoro a nord e lungo i bordi della fossa campidanese a sud, nella Marmilla e nella Trexenta ad est e di Funtanazza e del Cixerri ad ovest. Nel settore meridionale della Fossa la serie miocenica, ricostruita sulla base dei risultati di perforazioni profonde eseguite nel Campidano e delle indagini di superficie, presenta uno spessore di circa 1500 m, di cui circa 300-400 m di ambiente continentale ed il restante di ambiente marino.

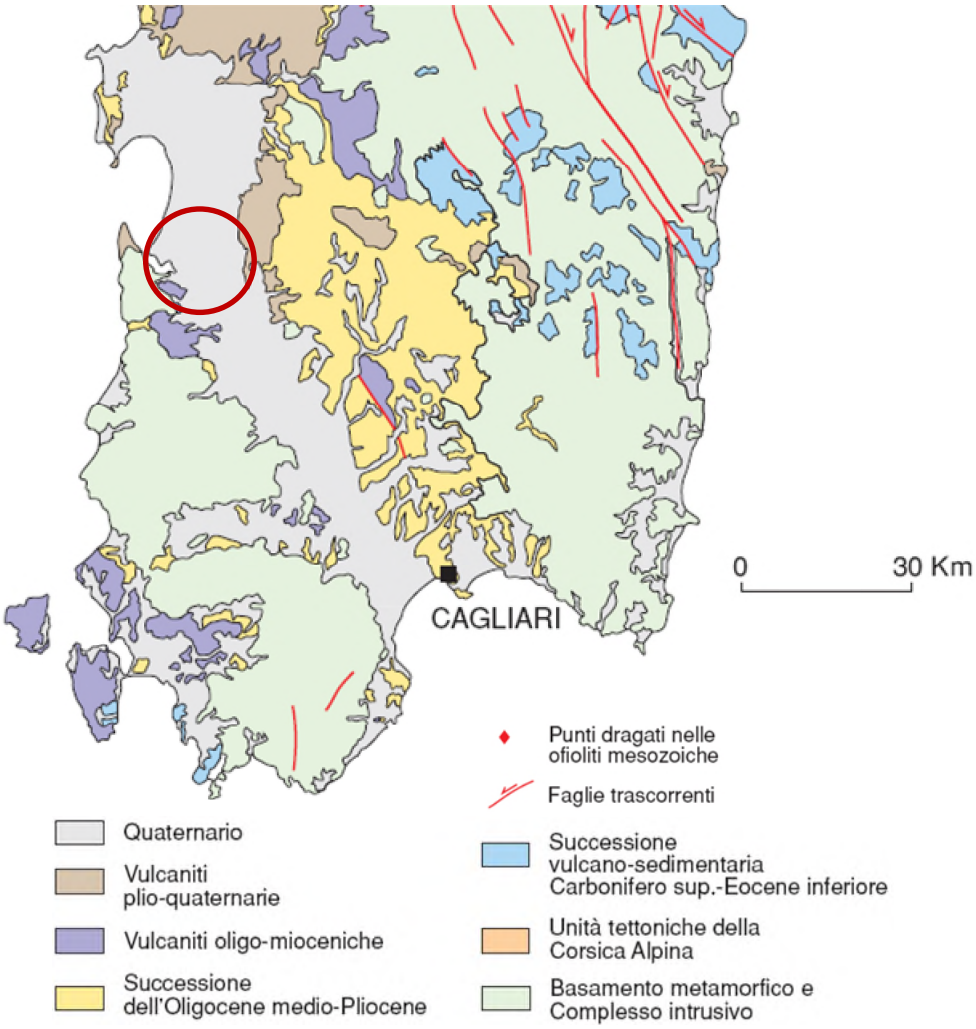


Fig. 1 Schema geologico strutturale con indicati i principali lineamenti della tettonica trascorrente terziaria in Sardegna (fonte: L. Carmignani et al., 2001)

Nel Messiniano in seguito alla crisi di salinità del Mediterraneo occidentale, il mare miocenico si ritirò e le aree precedentemente sommerse diventarono sede di un'intensa attività erosiva, come evidenziato da una netta superficie di erosione che tronca la sequenza stratigrafica miocenica. Durante la fase di regressione si passa gradualmente da un ambiente di mare aperto ad un ambiente di mare ristretto. Questi passaggi sono testimoniati nella penisola del Sinis, dove si rinvengono depositi evaporitici messiniani.

Nel Plio-Quaternario una nuova fase tettonica a carattere distensivo, collegata con l'origine del bacino oceanico del Tirreno centro-meridionale, interessa l'isola, ed è responsabile dell'aperura del graben campidanese, che si sovrappone al settore centro-meridionale della fossa. A questa fase tettonica si aggiunge un nuovo ciclo vulcanico a carattere alcalino che contribuì a colmare tale fossa, e alla formazione di grandi edifici vulcanici (ne è un esempio il Monte Arci, nel Comune di Morgongiori) e della messa in posto di basalti di piattaforma.

Successivamente, dopo una fase di stabilità tettonica pleistocenica, in cui si depositarono i sedimenti marini e continentali attribuibili al Sintema di Portovesme, ci fu una ripresa della sedimentazione nell'Olocene, e la successiva ripresa dell'attività erosiva, guidata dalle discontinuità tettoniche, che ha agito con maggior intensità sulle litologie più erodibili, determinò la produzione di ingenti quantità di materiale detritico. Il materiale eroso, trasportato a valle dalle acque superficiali, incanalate e non, venne depositato nella fossa del Campidano fino a colmarla, con la formazione di potenti depositi detritici.

In questo settore pianeggiante la continua subsidenza e la mancanza di pendenze adeguate, ha localmente consentito il permanere di vaste zone depresse, come per esempio l'anello lacustre attorno al Golfo di Oristano.

3.1 Assetto geologico locale

Da un punto di vista geologico, l'asta del rio Mogoro, in prossimità della pianura incontra un substrato costituito essenzialmente da arenarie, marne e conglomerati dell'Eocene-Miocene (Formazione della Marmilla, Marne di Gesturi); sono inoltre presenti affioramenti di lave vulcaniche (basalti e rioliti) in prossimità delle pendici dei primi versanti, nei pressi degli abitati di Mogoro e Uras. Il basamento della serie plio-quaternaria è rappresentato dalle formazioni vulcaniche e sedimentarie oligo-mioceniche, che affiorano localmente nella fascia pedemontana, lungo i bordi della fossa, dove si rinvengono anche terreni cristallini paleozoici.

La piana costiera è invece costituita da alluvioni recenti e da depositi pliopleistocenici costituiti prevalentemente da arenarie di origine eolica, depositi di spiaggia e da alluvioni antiche. In particolare, le alluvioni recenti seguono il tracciato originale del Rio Mogoro (che proseguiva tra Terralba e Marubbiu fino allo stagno Sassu), mentre i depositi pliopleistocenici formano a tratti terrazzi, di poco rilevanti rispetto alle aree paludose e di bonifica, ma comunque in grado di contenere l'espansione dell'acqua di piena.

Di seguito si possono così descrivere le formazioni incontrate lungo il tracciato in esame.

DEPOSITI ALLUVIONALI

- **Depositi alluvionali attuali (b)** *(OLOCENE)*: generalmente costituiti da limi e argille prevalente e localmente intercalazioni di lenti e livelli di sabbie limose e ghiaie con sabbie argilloso limose.
- **Depositi palustri (e_5)** *(OLOCENE)*: costituiti da limi e argille limose ricche in materia organica. Sono di colore grigio scuro con presenza di gusci e molluschi attuali.

DEPOSITI PLEISTOCENICI

SINTEMA DI PORTOVESME *(PLESITOCENE SUP.)*

- **Subsintema di Portoscuso**: litofacies di ghiaie e sabbie alluvionali e di conoide alluvionale (**PVM_{2a}**) costituite da ghiaie medie e fini a spigoli sub-angolosi e sub-arrotondati, localmente intercalate a lenti e livelli di sabbie grossolane. I sedimenti più grossolani caratterizzano in

genere la parte superiore delle conoidi. La composizione dei clasti è costituita in prevalenza da vulcaniti terziarie, quarzo e magmatiti erciniche; litofacies di arenarie eoliche (**PVM_{2b}**) quarzose medie e grossolana con stratificazione incrociata e superfici di erosione e riattivazione. Ai livelli sabbiosi si intercalano lenti di sabbie colluviali o rimobilizzate dal ruscellamento diffuso, con clasti di basalti pliocenici e calcari messiniani. Lo spessore massimo è di 15 m e i limiti con la facies ghiaiosa sono da interpretare come eteropia di facies.

SUCCESSIONE VULCANICO-SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA

- **Unità di Cuccuru Aspru (UCU)** *(PLIO-PLEISTOCENE)*: basalti subalcalini generalmente ipocristallini da afirici a porfirici per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx, Ol; in colate. Basalti da alcalini a transizionali, generalmente olocristallini, da subafirici a porfirici per fenocristalli di Pl, Ol, Cpx.

4 Inquadramento geomorfologico

La conformazione geomorfologica del settore d'indagine ed in particolare il tracciato del corso d'acqua sono strettamente connessi alle caratteristiche lito-stratigrafiche e strutturali del territorio.

La porzione est dell'area in esame è costituita dai rilievi vulcanici che si presentano sottoforma di dorsala allungata in direzione Nord-Sud mostrando una forte asimmetria morfologica tra il versante che si affaccia sulla regione della Marmilla, fortemente accidentato con ripidi gradoni di faglia e attraversato da profondi canaloni, e quello che si affaccia sulla pianura del Campidano costituto da una ripida cornice rocciosa, di impostazione tettonica, ma fortemente interessata da fenomeni di erosione e frane, che raccorda le vaste superfici basaltiche della parte sommitale, sub-orizzontali o debolmente sbandate verso oriente, con i depositi vulcano-sedimentari miocenici sottostanti.

Queste pareti rocciose sono interrotte localmente dalle incisioni vallive, che suddividono il versante in piccole dorsali. Le valli sono caratterizzate da alvei incassati nella roccia, che mostrano pendenze anche accentuate e frequenti rotture di pendio, soprattutto in corrispondenza di cambiamenti litologici.

Nel settore pedemontano predominano terreni detritici con la presenza di conoidi alluvionali, tipiche dell'ambiente di transizione tra settore montano e pianeggiante, e da glacis di accumulo. Le acque dei torrenti montani raggiungono spesso una considerevole velocità, sia per le pendenze elevate sia perché costrette a scorrere in alvei incassati e quando raggiungono la pianura le acque incanalate subiscono un brusco decremento di velocità al cambiamento del gradiente topografico e, non essendo più costrette a scorrere in letti incassati, si possono espandere in un'area più aperta perdendo la capacità di trasporto ed il carico solido, soprattutto il più grossolano. In questo caso le conoidi possono essere caratterizzate da processi erosivi che si manifestano con l'approfondimento di canali.

La pianura del Campidano è invece caratterizzata da una vasta superficie pianeggiante o dolcemente ondulata modellata su potenti depositi detritici plio-quaternari di varia origine e raccordata con i versanti del massiccio dell'Arci dai depositi di conoide. In questa zona è ben marcato il limite tra le alluvioni delle conoidi e quelle della pianura del Mogoro; le prime terminano infatti abbastanza bruscamente con un bordo di qualche metro sulla piana del Mogoro, che le ha evidentemente terrazzate. Più a est, all'interno delle alluvioni recenti, si riconoscono, in corrispondenza di depressioni create dal divagare dei corsi d'acqua prima di raggiungere il mare, depositi palustri. Queste zone, oggi bonificate, costituivano le aree paludose del Campidano.

4.1 Assetto geomorfologico del Fiume Mogoro

Nel settore collinare la sezione è sostanzialmente naturale e il corso d'acqua è moderatamente inciso rispetto al fondovalle originale. A tratti sono riconoscibili dei vecchi piani terrazzati posti, comunque, a quote nettamente superiori rispetto alle potenziali fasce di esondazione. Nel complesso si osserva una moderata tendenza all'erosione di fondo, mentre processi di divagazione laterale sono quasi del tutto assenti.

Oltre il ponte ferroviario e sino alla Strada Provinciale SP47 (Fig. 2), allo sbocco della pianura costiera, il letto risulta canalizzato e arginato; in questo settore, in cui è stata fissata artificialmente l'originale morfologia unicursale con accentuata sinuosità, si osserva una maggiore tendenza alla divagazione laterale, che saltuariamente porta il corso d'acqua ad intaccare pericolosamente il piede dei rilevati arginali. Il fenomeno è da associare alla tendenza ad un approfondimento di fondo alveo.



Fig. 2 Vista verso monte dal ponte sulla SP47

Al piede dei rilevati arginali è da segnalare la presenza di controfossi per gestire le acque di versante (Fig. 3).



Fig. 3 Evidenza del controfosso al piede dell'argine in esame

Oltre il ponte della Strada Provinciale SP47 e sino alla confluenza del canale Acque Alte si osserva un marcato sovralluvionamento delle aree golenali che risultano a tratti sopraelevate di 1 m e più sul piano campagna circostante. Anche in questo tratto si riscontra una tendenza alla divagazione laterale, seppur meno marcata, ma che comunque saltuariamente porta il corso d'acqua ad intaccare pericolosamente il piede dei rilevati argina.

Con la confluenza del canale Acque Alte ha inizio il tratto di canalizzazione artificiale realizzato negli anni '20: la sezione è trapezia, rivestita in calcestruzzo, con savenella centrale sempre trapezia. Il tratto canalizzato si discosta, proprio dalla confluenza col Canale Acque Alte, dal vecchio tracciato originario naturale del Fiume Mogoro, che scorreva verso nord-ovest (vedasi carta geomorfologica allegata al presente studio).

5 Inquadramento idrogeologico

Il bacino del Fiume Mogoro, considerato tra i bacini minori della costa occidentale individuabile tra il Flumini Mannu di Pabillonis e il bacino del Tirso, ha un'estensione di 390 km^2, comprendendo sia gli affluenti naturali che i canali di bonifica effettuati nella prima metà del 1900 nella piana di Terralba e Arborea. È compreso tra i limitati bacini che culminano nella punta Trebina Longa a Ovest e la giara di Gesturi a Est, sfociando nello stagno di San Giovanni, nei pressi di Marceddì.

La circolazione idrica superficiale è pertanto controllata dal Rio e dai numerosi canali di scolo. Il sistema idraulico locale, rappresentato dai canali del sistema di infrastrutturazione irrigua, è stato in parte obliterato con la trasformazione dei terreni agricoli nel sistema insediativo, anche se le acque di precipitazione del settore di interesse sono ancora raccolte e drenate attraverso la rete di canalizzazione agricola.

Per la circolazione sotterranea, viste le diverse caratteristiche litologiche, è possibile fare una distinzione tra la parte montana e quella pianeggiante come già descritto per l'inquadramento geomorfologico.

Nella prima, costituita da vulcaniti, si ha una permeabilità da media a bassa per fratturazione, con l'acquifero principale rappresentato dai basalti e in subordine dalle altre lave.

Nel resto del territorio comunale, costituita da formazioni sedimentarie, è presente una circolazione sotterranea per porosità con permeabilità alte. La pianura del Campidano, inoltre, rappresenta il più importante serbatorio sotterraneo detritico-alluvionale della regione. Esso si estende per 2.330 kmq nella omonima piana alluvionale, ubicata nel settore sud-occidentale della Sardegna, tra il Golfo di Oristano a Nord e il Golfo di Cagliari a Sud. Dal punto di vista stratigrafico, il complesso alluvionale del Campidano può essere schematicamente distinto in una parte superiore, nella quale si presentano con maggiore continuità orizzonti di tipo ghiaioso - sabbioso, e in una parte inferiore, nella quale, invece, prevalgono litologie di tipo argilloso – limoso. La parte superiore di questo complesso è interessata dalla presenza di un acquifero multifalda, libero nella parte superiore e semi-confinato in quella più profonda, alimentato dall'infiltrazione efficace, dai travasi provenienti dai complessi idrogeologici che lo limitano lateralmente e dall'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale diffuso sulle formazioni meno permeabili adicenti. La permeabilità (per porosità) di questo acquifero, secondo una serie di prove di portata effettuate nell'ambito del Progetto Speciale n. 25 della Cassa per il Mezzogiorno negli anni '80 è molto variabile: si passa infatti dai 10^{-7} m/s per gli orizzonti a granulometria inferiore, sino a valori massimi dell'ordine dei 10^{-4} m/s per gli orizzonti dove prevalgono sabbie e ghiaie. (fonte: Piano di gestione del distretto idrografico della Sardegna).

6 Interferenza con il P.A.I.

Gli interventi previsti ricadono interamente in “aree di pericolosità idraulica moto elevata Hi4” perimetrate dalla Direzione Generale dell'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna, aggiornati a dicembre 2023 (Fig. 4).

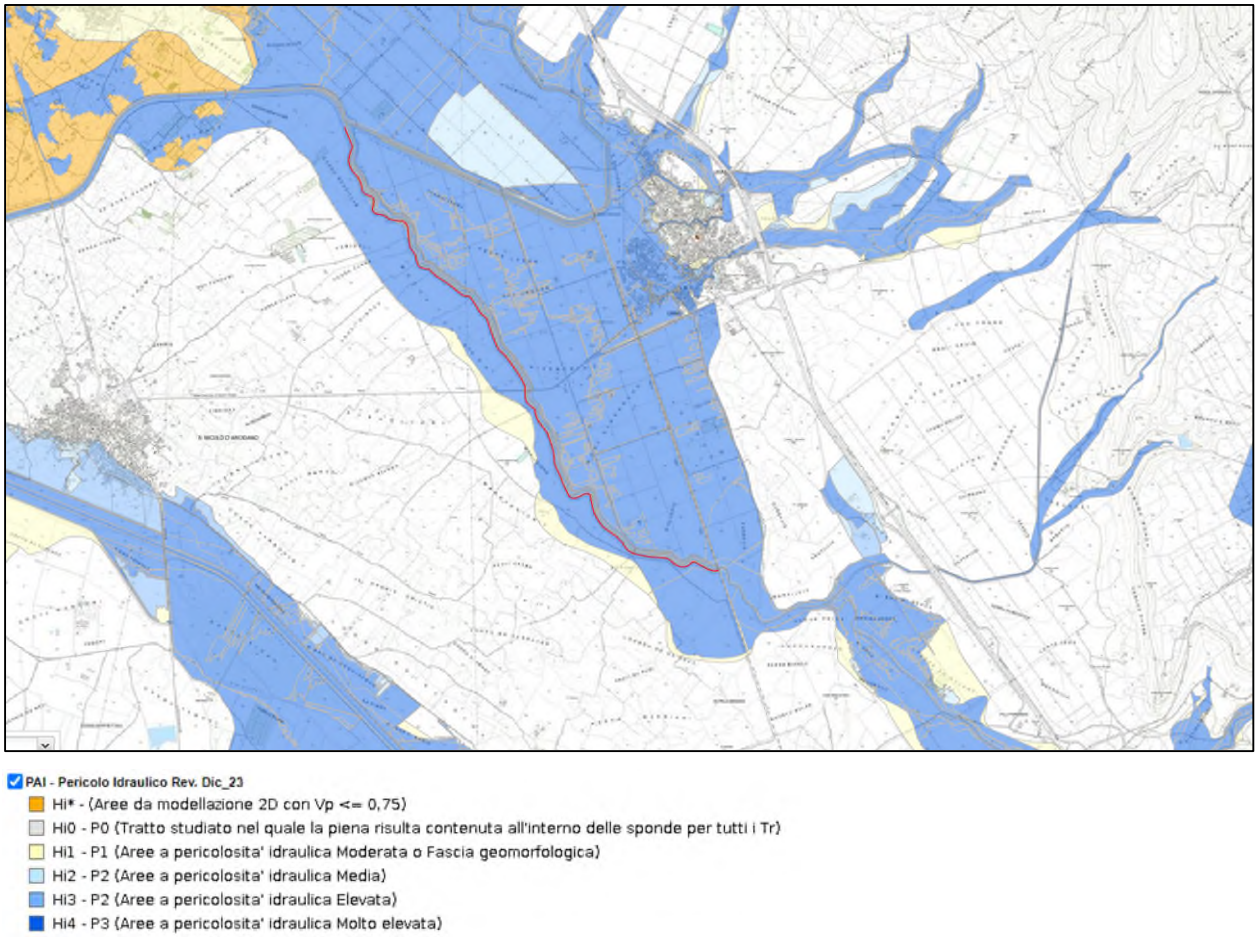


Fig. 4 Aree a pericolosità idraulica derivanti dal PAI (in rosso l’argine oggetto del presente studio)

A riguardo della pericolosità geomorfologica, invece, considerando l’area pianeggiante in esame non si segnalano interferenze con fenomeni gravitativi (Fig. 5).

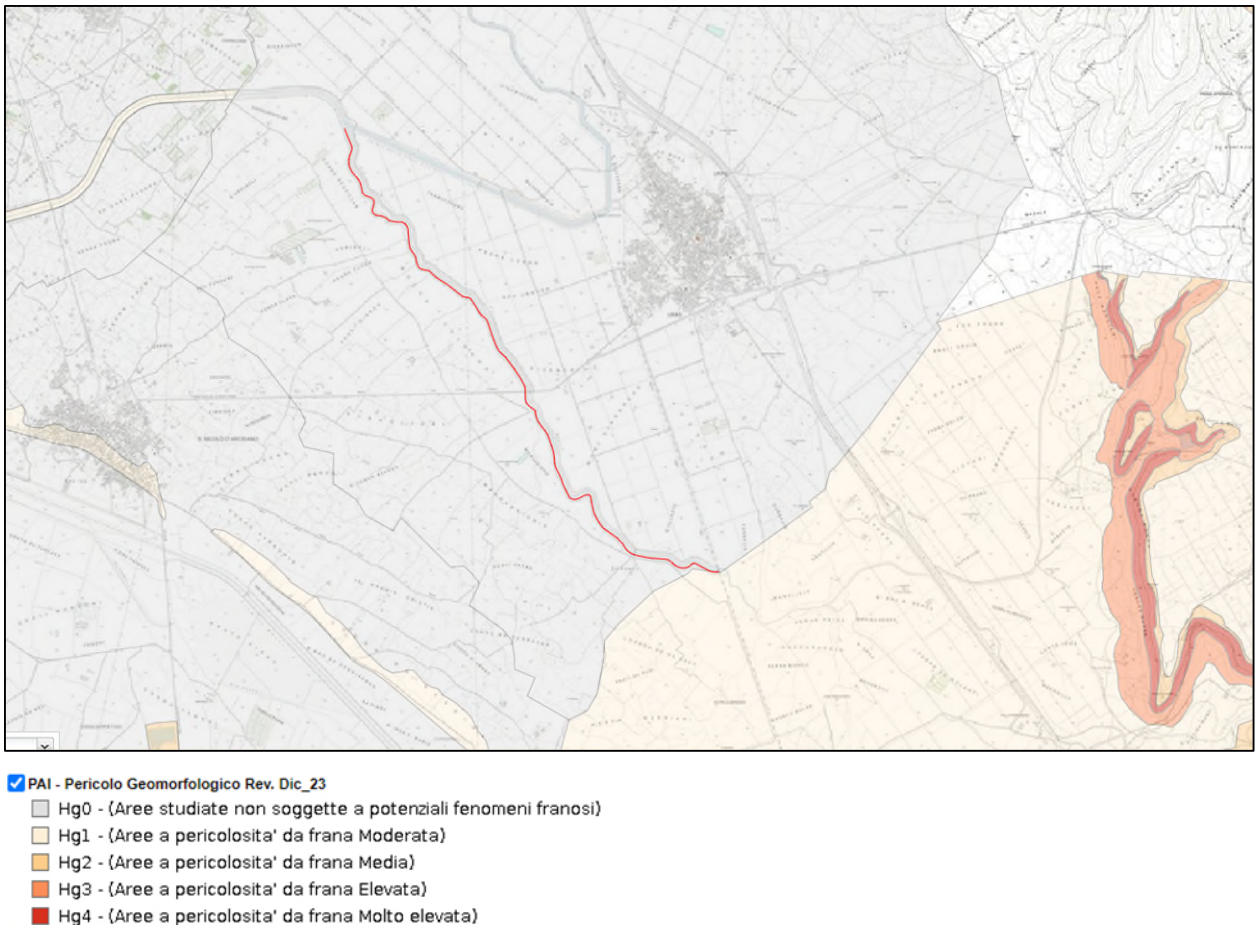


Fig. 5 Aree a pericolosità geomorfologica derivanti dal PAI (in rosso l'argine oggetto del presente studio)

7 Indagini geognostiche

Per analizzare in dettaglio i terreni di fondazioni sono state prese in esame le seguenti campagne di indagine:

- febbraio 2019, a supporto degli “Studi e predisposizione del Progetto di manutenzione dell'alveo e delle opere idrauliche del Fiume Mogoro e redazione dei progetti di fattibilità per la manutenzione straordinaria delle opere idrauliche di competenza regionale”:
  - n.° 4 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in sommità arginale (SN01, SN02, SN03 e SN04);
  - n.° 4 pozzetti esplorativi eseguiti sul lato campagna (PZ1, PZ2, PZ3 e PZ4);
  - n.° 8 prove SPT eseguite nei fori di sondaggio (2 per ogni sondaggio: SN01, SN02, SN03 e SN04);
  - n.° 8 prelievi di campioni rimaneggiati (2 per ogni sondaggio: SN01, SN02, SN03 e SN04);
  - n.° 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile in foro di sondaggio (SN01, SN02, SN03).
- maggio 2023 a supporto dei lavori di “Regolarizzazione e adeguamento delle arginature del Rio Mogoro nel tratto intermedio (tra il ponte ferroviario e la confluenza con il canale acque alte) per il conseguimento della percorribilità sul coronamento – argine destro”:
  - n.° 1 stendimento sismico Re.Mi.

Esse hanno permesso di analizzare l’assetto litostratigrafico dell’area in esame, ricostruendo il modello geologico, e di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni.

Per l’ubicazione si rimanda all’elaborato specifico.

8 Modello geologico

I sondaggi eseguiti nel corso degli anni hanno permesso di individuare una stratigrafia con un andamento piuttosto omogeneo lungo l'asta.

La stratigrafia rilevata, ripresa dall'apposita relazione di approfondimento geologico delle arginature alla quale si rimanda per ulteriori dettagli, è sintetizzabile come segue:

- nei primi 1,5-2 m circa è presente materiale prevalentemente coesivo costituito da argille limose di colore marrone bruno. Questa unità è associabile al rilevato arginale;
- fino ai 5 m circa, rispetto alla sommità arginale, si trova un materiale composto da argille e limi sabbiosi prevalentemente di colore marrone bruno e con granulometrie sempre più grossolane con l'aumento della profondità;
- oltre ai 5 m da sommità arginale, si sovrappongono livelli più grossolani costituiti da orizzonti sabbiosi con ghiaia argilloso limosa e livelli di sabbie argilloso limose di colore ocra.

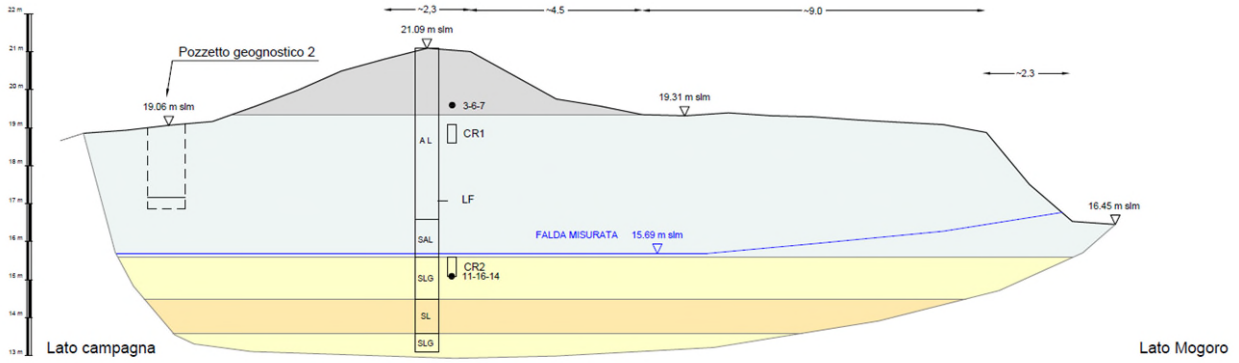


Fig. 6 Esempio di modello geologico e geotecnico ricostruito in corrispondenza del sondaggio SN02

9 Sismicità

A seguito dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la DGR della Sardegna n° 15/31 del 30-03-2004, il Comune di Uras è considerato in ZONA 4, in cui i terremoti sono molto rari, e per la quale il parametro a_g (corrispondente all'accelerazione orizzontale di picco con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) è assegnato un valore convenzionale di 0,05 g da adottare nella progettazione.

Tab. 1 Tabella di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale al suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% (SLV) in 50 anni (periodo di riferimento VR)

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-015	0,15
4	<0,05	0,05

9.1 Sismicità storica dell'area

La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, possono fornire indicazioni per l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive.

L'insieme delle informazioni disponibili sui terremoti avvenuti in passato, ottenute secondo metodi di analisi di tipo sia strumentale che non, consistono essenzialmente in registrazioni del moto del terreno dalle quali è possibile ricavare l'ipocentro (in termini di latitudine, longitudine, profondità e relative incertezze), così come la dimensione (in termini di magnitudo o momento sismico) e la tipologia del meccanismo del terremoto (in termini di parametri di faglia o di tensore momento). I dati strumentali sono integrati da informazioni sulla distribuzione spaziale degli effetti indotti dal terremoto sulle persone, sulle cose e sull'ambiente, dalle quali, attraverso la codifica di una scala macrosismica, è possibile ricavare la localizzazione, la magnitudo equivalente, le dimensioni fisiche ed anche l'orientazione della struttura sismogenetica.

Le informazioni riguardanti gli eventi sismici avvenuti nell'area in esame sono state ricavate dall'ultima versione del Database Macrosismico Italiano chiamata "DBMI15" (http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15), rilasciata nel gennaio 2022 la quale aggiorna e sostituisce la precedente DBMI11, e dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (http://iside.rm.ingv.it/).

Nella tabella sottostante è rappresentata la storia sismica di Terralba con elencati i terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio nelle vicinanze dell'area in esame.

Considerando i valori esposti in tabella si può notare come non si riscontrano terremoti significativi. L'unico evento, avvenuto nel 2000, non fu neanche percepito nel territorio comunale considerato.

Nella tabella il termine "Is" è riferito all'intensità al sito per ogni evento sismico e per ognuno di essi è indicata l'ora, il giorno, l'area e l'intensità macrosismica epicentrale, e la magnitudo del momento sismico (MMS – Moment Magnitude Scale). Quest'ultima è stata sviluppata come aggiornamento della scala Richter.

Tab. 2 Elenco degli eventi sismici che hanno influenzato il Comune di Terralba negli anni compresi tra 1000 - 2020 (nella prima colonna, in alcuni casi, sono presenti le seguenti sigle: "NF" ovvero "non segnalato")

Storia sismica di	Terralba				
Numero di eventi	1				
Effetti Is (MCS)	Data	Area epicentrale	Punti di osservazione macrosismiche	Intensità macrosismica epicentrale	Magnitudo momento Mw
NF	2000 04 26 13 37 46.78	Tirreno centrale	265		4,77

In conclusione, si può affermare che l'area in esame è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista di intensità che di frequenza di eventi.

9.2 Zonazione sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una zonazione sismogenetica (ZS9) del territorio nazionale per soddisfare diversi requisiti, ed in particolare per recepire le conoscenze più recenti sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, fornire per ogni zona una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l'analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde (INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004).

La ZS9 rappresenta la più recente zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale ed è stata elaborata tenendo in considerazione i principali riferimenti informativi sui terremoti: progetto DISS e il Database Macrosismico Italiano (DBMI11) che contiene i dati di intensità utilizzati per la compilazione dei parametri del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani rilasciato nel dicembre 2011 (CPTI11).

Il territorio italiano è suddiviso in 36 aree differenti numerate da 901 a 936 cui vanno aggiunte 6 zone non utilizzate in quanto non contribuiscono alla pericolosità del territorio italiano o hanno un numero di eventi interno molto basso. Si possono distinguere le seguenti porzioni (vedi Fig. 7):

1) Arco alpino: 901 ÷ 910
2) Appennino settentrionale e centrale: 911 ÷ 923
3) Appennino meridionale e avampaese apulo: 924 ÷ 928 e 931
4) Calabria: 929 – 930
5) Sicilia: 932 ÷ 936

Se si osserva l'immagine a seguire, la regione Sardegna non è caratterizzata da una zona sismogenetica di rilievo.

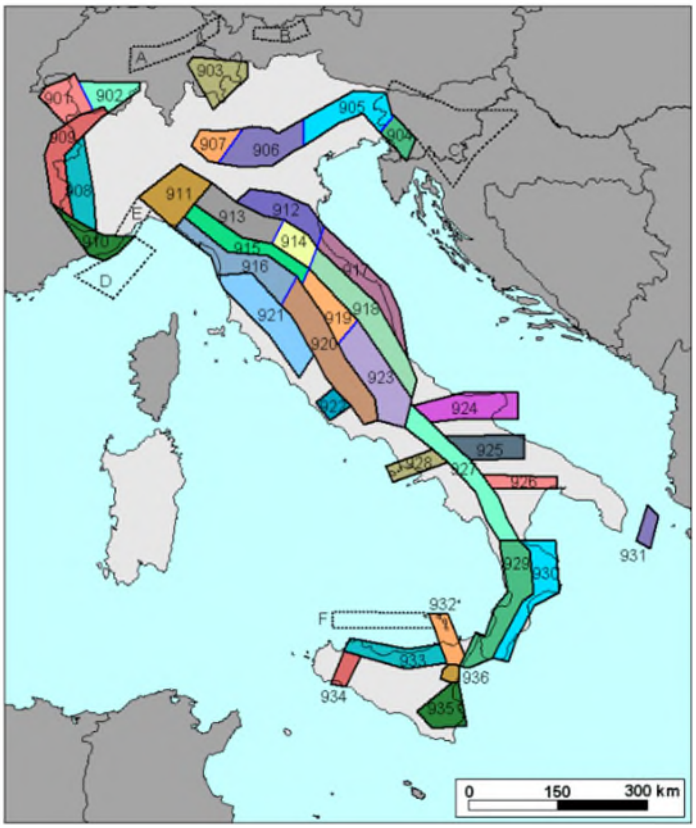


Fig. 7 Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti blu separano zone con analogo significato cinematico ma diverse caratteristiche sismiche (fonte: INGV, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, 2004)

9.3 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati dalle NTC 2018, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le NTC 2018 stabiliscono che le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag: accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo: 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.

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di ag, Fo e T*c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

La seguente Tab. 3 riporta i parametri sismici relativi all'area in esame, così come definiti dalle NTC 2018:

Tab. 3 Parametri sismici dell'area di intervento (Tabella 1 allegata alle NTC 2018)

Stato limite	Tr [anni]	Ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,019	2,610	0,273
SLD	50	0,024	2,670	0,296
SLV	475	0,050	2,880	0,340
SLC	975	0,060	2,980	0,372

È stata inoltre definita, sempre con riferimento ai criteri classificativi introdotti dalle NTC 2018, e alle caratteristiche stratigrafiche e simiche, la categoria di sottosuolo del sito. Dall'indagini di sismica passiva Re.Mi. eseguita nella campagna d'indagine del 2023 è emersa una Vs_{eq} pari a 265 m/s e attribuibile ad una categoria di sottosuolo di tipo C (Tab. 4). In allegato è presente la descrizione completa dell'indagine effettuata.

Tab. 4 Categorie di sottosuolo secondo le NTC 2018

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.

Per quanto riguarda inoltre la definizione dei coefficienti sismici sono state operate a livello preliminare le seguenti classificazioni tipologiche sia per quanto concerne l'opera in progetto, sia per quanto riguarda la stratigrafia del sito.

In primo luogo, è stata definita a livello preliminare la classe prevalente delle opere, facendo riferimento alla **II Classe**, così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 5).

Tab. 5 Classi degli edifici secondo le NTC 2018

Classe	Descrizione
I.	Presenza occasionale di persone, edifici agricoli
II.	Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali
III.	Affollamento significativo
IV.	Funzioni pubbliche o strategiche importanti

È stata quindi definita la "Vita nominale" dell'opera, facendo riferimento al valore di **50 anni**, così come definito dalle NTC 2018 (Tab. 6).

Tab. 6 Vita nominale delle opere secondo le NTC 2018

Tipo opera	Vita Nominale
Opere provvisorie	<=10,
Opere ordinarie	>=50,
Grandi opere	>=100

Per quanto riguarda infine la definizione della categoria topografica dell'area in esame è stato fatto riferimento alla categoria **T1** in ragione della morfologia pianeggiante e così come definita dalle NTC 2018 (Tab. 7).

Tab. 7 Categorie topografiche secondo le NTC 2018

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

Sulla base delle classificazioni sopra riportate è stato possibile calcolare i coefficienti sismici che permetteranno di definire gli spettri di accelerazione sia orizzontali che verticali, così come definiti dalle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC.

Le seguenti tabelle riportano i coefficienti sismici orizzontali e verticali, l'accelerazione massima attesa al sito e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione stessa nei diversi stati limite.

Tab. 8 Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,007	0,015	0,018
kv	0,003	0,004	0,008	0,009
amax [m/s²]	0,274	0,346	0,735	0,887
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

Tab. 9 Coefficienti sismici di fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,017	0,029	--
kv	--	0,008	0,014	--
amax [m/s²]	0,274	0,346	0,735	0,887
Beta	--	0,470	0,380	--

Tab. 10 Coefficienti sismici per muri di sostegno

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,017	0,029	--
kv	--	0,008	0,014	--
amax [m/s²]	0,274	0,346	0,735	0,887

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Beta	--	0,470	0,380	--

Tab. 11 Coefficienti sismici per muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,028	0,035	0,075	0,090
kv	0,014	0,018	0,038	0,045
amax [m/s²]	0,274	0,346	0,735	0,887
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

Tab. 12 Coefficienti sismici per paratie

Altezza paratia (H): 3,0[m]
Spostamento ammissibile us: 0,015[m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,022	0,027	0,058	0,070
kv	--	--	--	--
amax [m/s²]	0,274	0,346	0,735	0,887
Beta	0,776	0,776	0,776	0,776

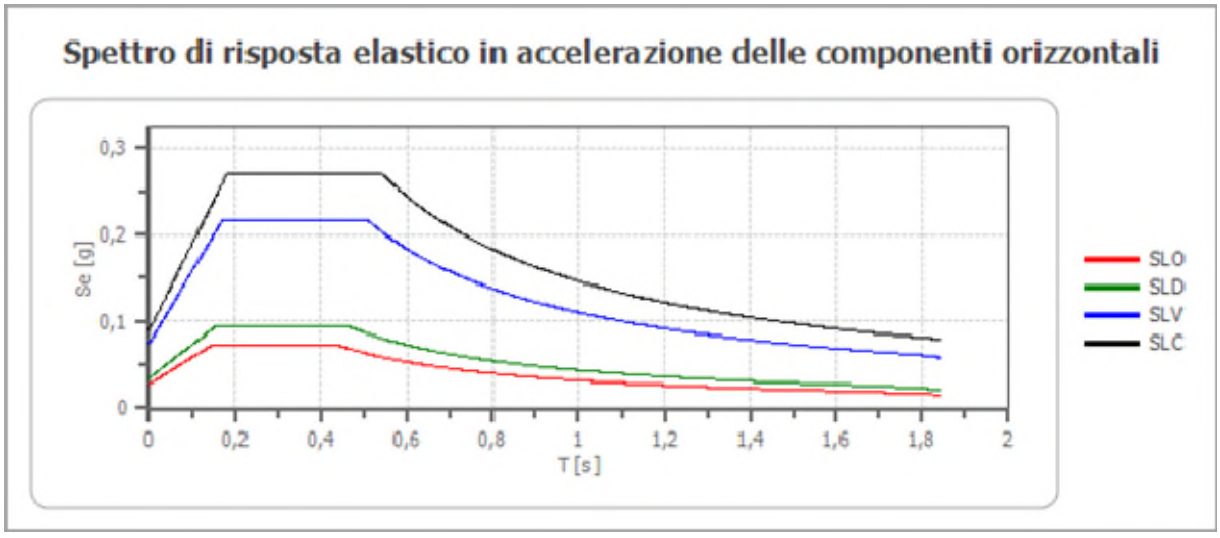
SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

Sono stati definiti gli spettri relativi alle componenti orizzontale e verticale, con riferimento agli stati limite contemplati dalle NTC-18 ed in particolare:

SLE Stati limite di esercizio	SLO	Stato limite di operatività
	SLD	Stato limite di danno
SLU Stati limite ultimi	SLV	Stato limite di salvaguardia della vita
	SLC	Stato limite di prevenzione del collasso

I grafici riportati nelle seguenti figure rappresentano i valori di accelerazione spettrali attesi (Sd [g]) rispetto ad un di periodo di oscillazione di riferimento (T [s]).

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

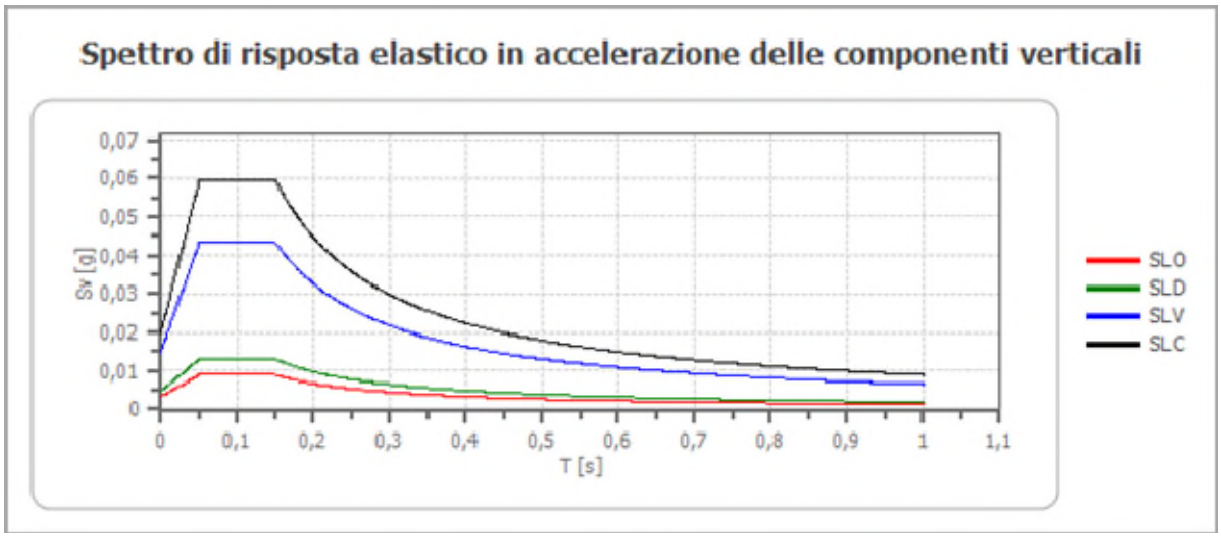


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,019	2,610	0,273	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,147	0,440	1,674	0,028	0,073
SLD	1,0	0,024	2,670	0,296	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,155	0,465	1,694	0,035	0,094
SLV	1,0	0,050	2,880	0,340	1,500	1,500	1,000	1,500	1,000	0,170	0,510	1,800	0,075	0,216
SLC	1,0	0,060	2,980	0,372	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,181	0,543	1,841	0,090	0,270

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ: 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+)ξ]^(1/2): 1



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,019	2,610	0,273	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,003	0,009
SLD	1,0	0,024	2,670	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,005	0,013
SLV	1,0	0,050	2,880	0,340	1	1,500	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,043
SLC	1,0	0,060	2,980	0,372	1	1,460	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,060

10 Bibliografia

- Carmignani, L., Oggiano, G., Barca, S., Conti, P., Salvadori, I., Eltrudis, A., et al. (2001). Geologia della Sardegna. (Note Illustrative della Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000.
- Piano Urbanistico del Comune di Uras – Relazione geologica.
- Piano Urbanistico del Comune di Oristano in adeguamento al PAI - Studio di compatibilità geologico e geotecnico (2009)
- NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4

ALLEGATO 1

Indagini geofisiche

T E R G A M S.r.l.
Territorio Geologia Ambiente
Via G. Verdi, 7 – 09045 Quartu S. Elena (CA) Tel./Fax 070813052

LAVORI DI REGOLARIZZAZIONE E ADEGUAMENTO DELLE ARGINATURE DEL RIO MOGORO NEL TRATTO INTERMEDIO TRA IL PONTE FERROVIARIO E LA CONFLUENZA CON IL CANALE ACQUE ALTE PER IL CONSEGUIEMNTO DELLA PERCORRIBILITÀ SUL CORONAMENTO – ARGINE DESTRO

STIMA DELLA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO VS_{eq} CON LA TECNICA Re.Mi.

COMMITTENTE: SarLand S.r.l.

DATA: MAGGIO 2023

STIMA DELLA VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO VS_{eq} CON LA TECNICA Re.Mi.

1 - PREMESSA

Lo studio in titolo si inserisce in quello più ampio di caratterizzazione geologica e geotecnica nell'ambito dei lavori di regolarizzazione e adeguamento delle arginature del Rio Mogoro nel tratto intermedio tra il ponte ferroviario e la confluenza con il canale acque alte per il conseguimento della percorribilità sul coronamento – argine destro. Questo studio risponde alle prescrizioni dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, del decreto attuativo n. 14 del 14/01/2008 e dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" del 17 gennaio 2018; in particolare quest'ultimo decreto apporta delle novità la più importante delle quali è l'abbandono del parametro Vs_{30} a favore di un simile parametro denominato "Velocità equivalente". Quest'ultima è calcolata in modo analogo alla Vs_{30}, ma invece di estendere la media pesata fino ai rigorosi 30 metri di profondità adesso viene portata fino ad una profondità H (che può essere pari a 30 m, ma anche ad un valore minore). A stabilire tale profondità H è il raggiungimento del "substrato" roccioso, caratterizzato da valori di velocità superiori a 800 m/s. L'aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni prescrive l'adozione di una classificazione dei terreni secondo cinque categorie (A, B, C, D, E) da determinarsi in base alla velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità "H" definita in base alla profondità del basamento roccioso, da calcolare mediante l'equazione:

$$Vs_{eq} = H/\sum_{i=1,n} (h_i/Vs_i) \qquad (1)$$

Dove:

- H rappresenta la profondità del basamento
- n rappresenta il numero degli strati nel modello del terreno;

- h_i sono gli spessori dei diversi strati;
- Vs_i sono le velocità delle onde di taglio nei diversi strati.

In dettaglio, le cinque categorie ordinarie sono:

A: amassi 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 fine 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 fine fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 metri, 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 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s;

E: terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con profondità del substrato non superiore a 30 metri.

Nel presente studio, ai fini della caratterizzazione del sito è stata eseguita una stima della Vs_{eq} con misure effettuate in corrispondenza di un profilo della lunghezza di 69 m.

2 - L'INDAGINE SISMICA PER LA STIMA DELLA Vs_{30}

2.1 Breve descrizione del metodo

Per la stima della Vs_{eq}, è stato adottato il metodo Re.Mi. (*Refraction Microtremor*), che consiste essenzialmente nei seguenti passi:

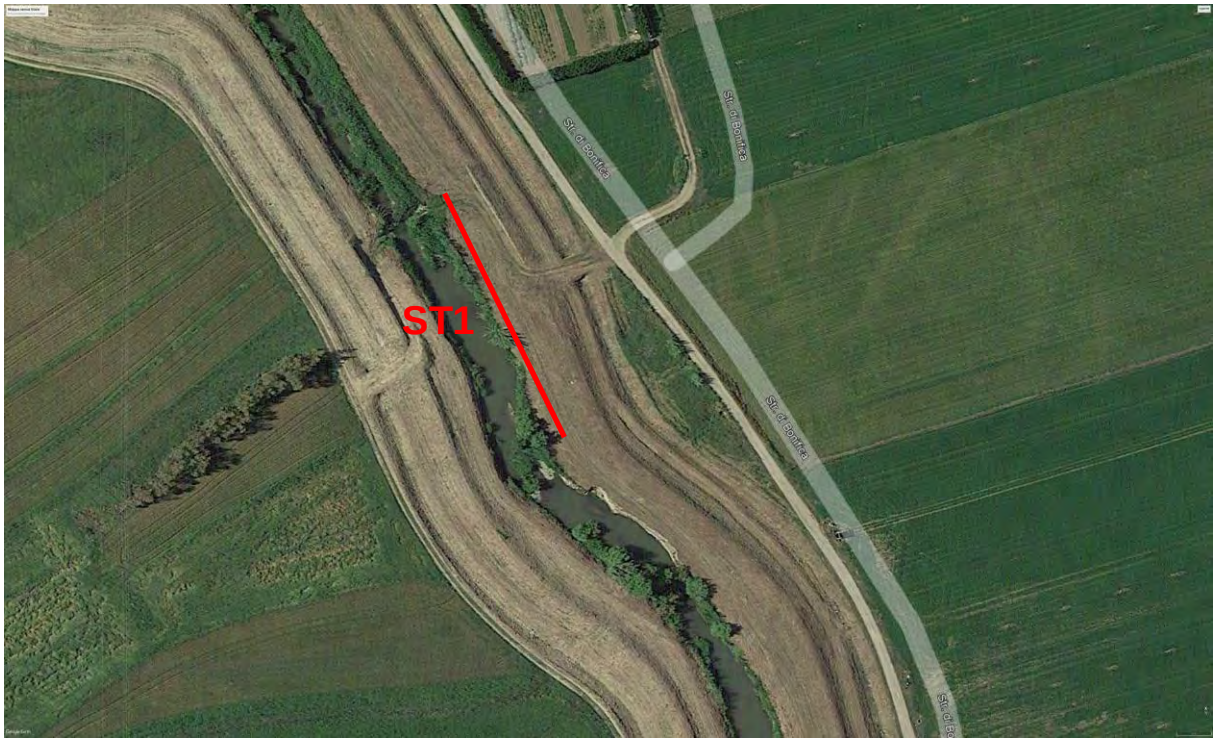
1) si esegue una registrazione sismica multicanale del disturbo naturale e/o indotto dalle attività antropiche, senza ricorrere ad energizzazioni di tipo

impulsivo come quelle normalmente impiegate nella sismica di prospezione (rifrazione, riflessione, tomografia cross-hole etc..); la registrazione deve avere lunghezza temporale adeguata (p.e. alcune decine di secondi); la geometria dello stendimento sismico deve essere stabilita in funzione delle caratteristiche e dell'obiettivo con l'ausilio di n. 24 geofoni con bassa frequenza naturale (8 Hz);

2) per uno stesso stendimento sismico vengono eseguite diverse registrazioni (da alcune a qualche decina);
3) dopo le fasi di preparazione (*pre-processing*) i dati, acquisiti nel dominio spazio-tempo (*s-t*), vengono trasformati nel dominio lentezza-frequenza (*p-f*), essendo la lentezza *p* il reciproco della velocità; questa operazione produce per ciascuna registrazione uno spettro di lentezza che, rappresentato graficamente, di norma secondo una scala cromatica, mostra la localizzazione nel piano *p-f* degli eventi dotati di maggiore energia; al fine di migliorare il rapporto segnale/disturbo, è possibile selezionare solo gli spettri migliori, i quali vengono sommati tra loro in modo da ottenere un solo spettro da interpretare;
4) una volta ottenuto lo spettro *p-f* si devono riconoscere, in esso, gli eventi sicuramente associati alle onde superficiali (onde di *Rayleigh* e/o onde di *Love*); dato che le onde superficiali hanno la caratteristica di essere dispersive, il loro riconoscimento può non essere difficile se i dati sono di buona qualità ed elaborati in modo corretto;
5) si esegue quindi il "*picking*" della curva di dispersione, ottenendo un file numerico contenente le coppie *p-f* riconosciute come appartenenti alle onde superficiali;
6) l'inversione della curva di dispersione delle onde superficiali fornisce i valori della velocità di propagazione delle stesse in funzione della profondità, e, poiché la velocità di propagazione delle onde superficiali è in rapporto noto con quella delle onde di taglio (p.e. $V_{Rayleigh} \approx 0.9\ V_s$), quest'ultima risulta stimata.

Una volta ottenuto un modello stratificato del terreno in cui sono stimati gli spessori e le relative V_s, si stima la Vs_{eq} mediante l'equazione (1) in premessa.

L'intera indagine si è concretizzata con l'esecuzione di uno stendimento geofisico indicato con la sigla ST1 ed ubicato come da fotografia aerea sottostante.



Fotografia 1 – Ubicazione profilo ST1

3 – ACQUISIZIONE DATI

Nel presente caso i dati sono stati acquisiti mediante uno stendimento di 24 geofoni con frequenza naturale di 8 Hz, in linea, ad intervallo costante di 3.00 m. Sono state eseguite n. 15 registrazioni che hanno sfruttato come "rumore di fondo" quello provocato dalla caduta di una massa battente in testa al profilo; in tutte le acquisizioni la lunghezza di registrazione è stata di 30 secondi con intervallo di campionamento di 0.002 secondi. Lo studio ha riguardato le onde di *Rayleigh*.



La curva di dispersione è stata interpretata in modo soddisfacente con un modello a cinque strati. Per quanto attiene gli spessori dei singoli strati, si sottolinea il fatto che essi sono puramente convenzionali e non possono essere interpretati direttamente in termini geologici; stessa considerazione vale per i valori di velocità.

4 – ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI

Stendimento ST1

Nelle figure seguenti 1, 2, 3 e 4 sono mostrati nell'ordine:

- lo spettro *p-f*;
- la curva di dispersione con sovrapposta la curva di migliore adattamento (la linea blu che separa i campi bianco e grigio);
- il modello corrispondente alla curva di migliore adattamento;
- il grafico della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

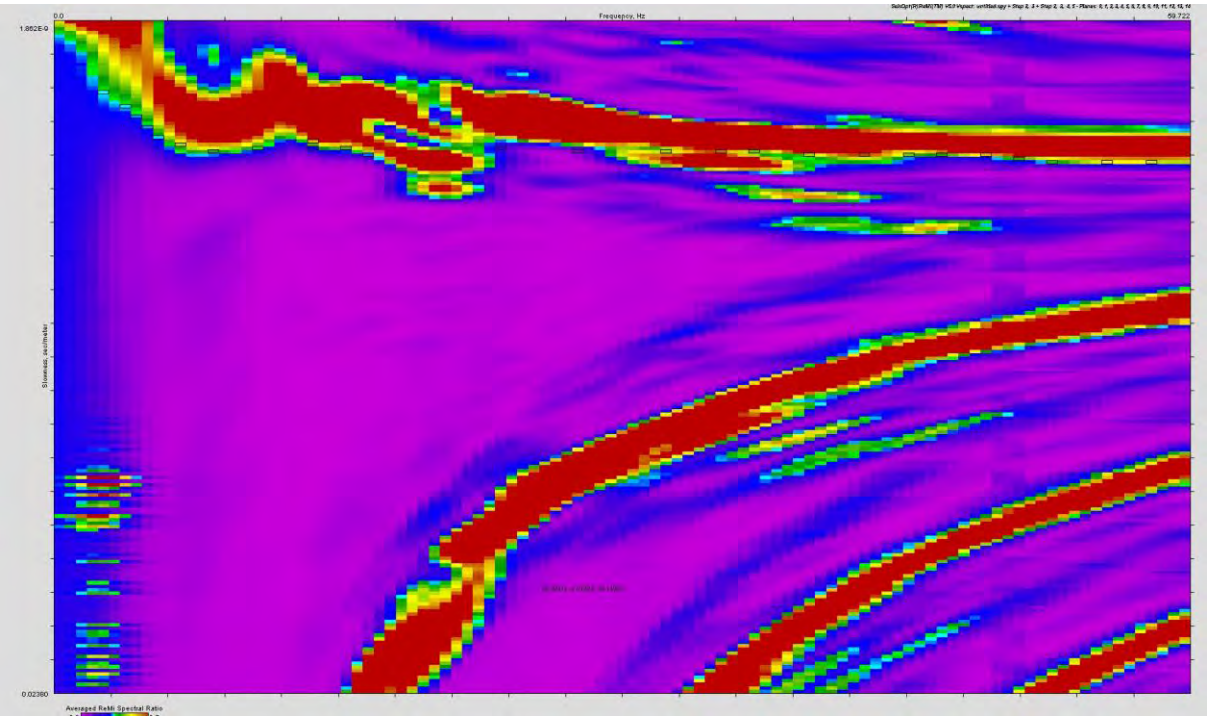


Fig. 1 – Spettro *p-f*.

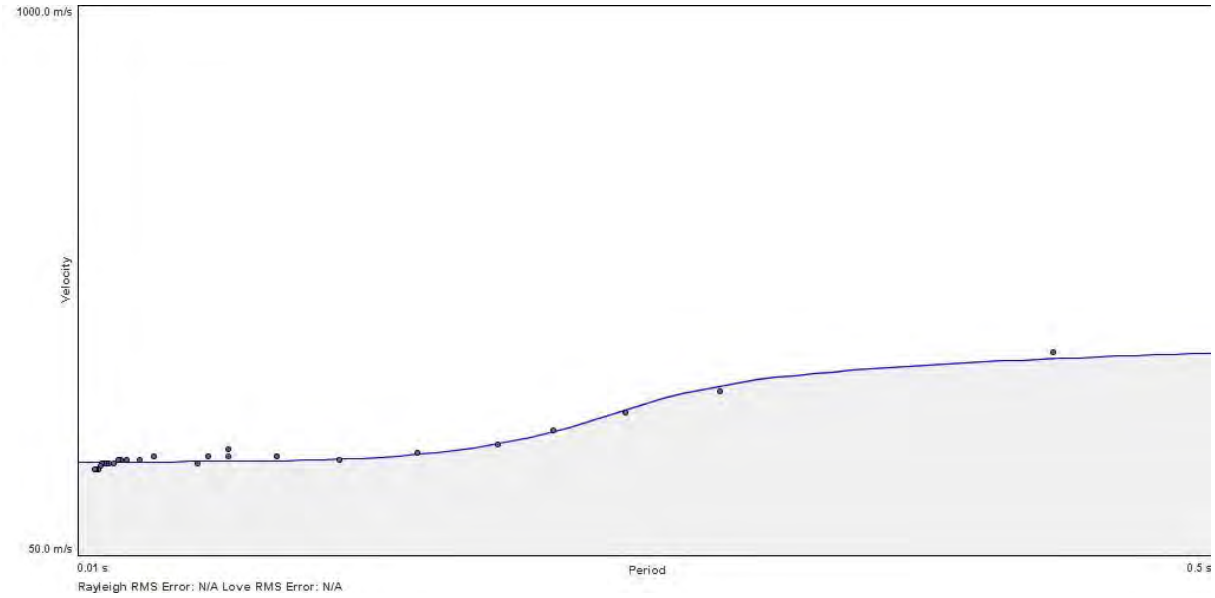


Fig. 2 – Curva di dispersione.

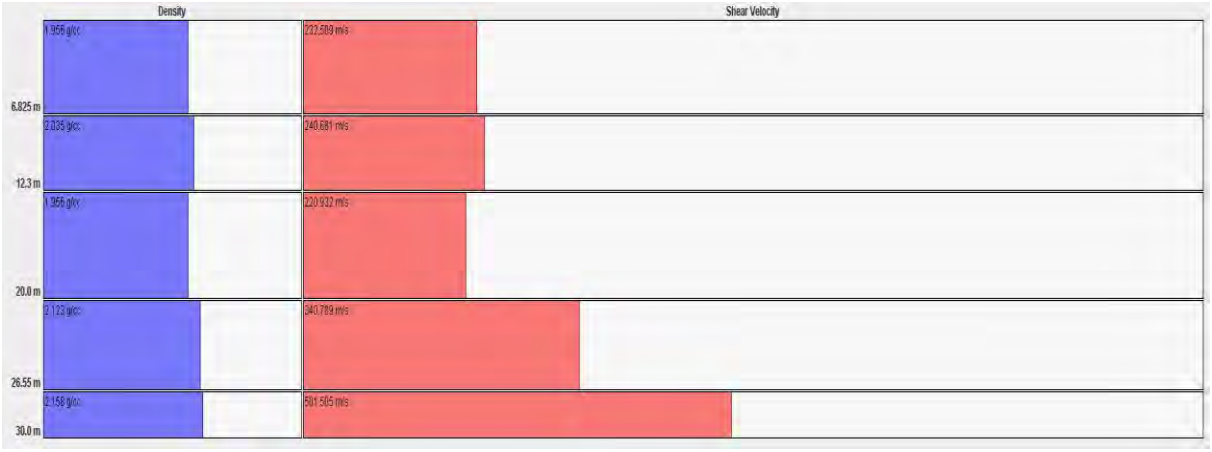


Fig. 3 – Modello di interpretazione.

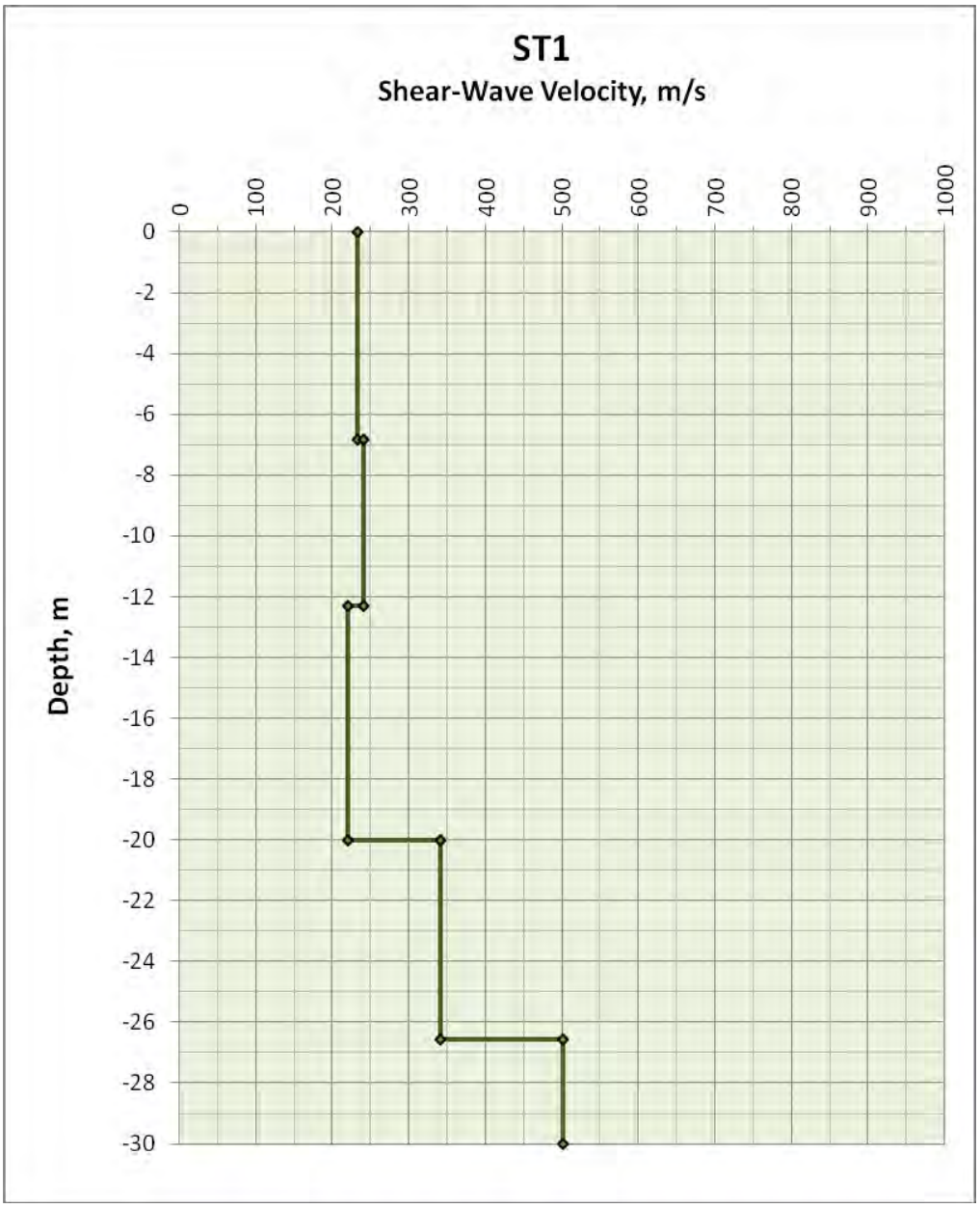


Fig. 4 - Velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dal confronto tra le funzioni di velocità ricavate con l'inversione delle curve di dispersione delle onde di *Rayleigh*, si osserva che la velocità di propagazione delle onde di taglio si attesta tra 230 e 340 m/s raggiungendo valori di velocità di 500 m/s, ma a partire dalla profondità di 26.50.

4.1 - Stima delle Vs_{eq}

Nella tabella A sono sintetizzati i risultati dell'inversione della curva di dispersione; in particolare, nella prima colonna è indicato il numero progressivo dello strato; nella seconda la profondità; nella terza il valore di densità assegnato;

nella quarta il valore di Vs. La quinta colonna riporta i valori stimati per la velocità delle onde compressionali per un rapporto Vp/Vs = 1.73, assunto arbitrariamente.

N. strato	**Profondità** (m)	**Densità** (g/cm^3)	**Vs** (m/s)	**Vp** (m/s)
1	0.00 – 6.83	1.96	232.51	402.24
2	6.83 – 12.30	2.04	240.68	416.38
3	12.30 – 20.00	1.96	220.93	382.21
4	20.00 – 26.55	2.12	340.79	589.56
5	26.55 – 30.00	2.16	501.51	867.60

Tabella A: sintesi dei risultati dell'inversione della curva di dispersione.

Per quanto riguarda la stima dalla Vs_{eq}, è stata applicata la formula in premessa per cui si ottiene un valore di Vs_{eq} pari a 265.31; pertanto m il profilo stratigrafico in questione (ST1) è da classificare come appartenente alla **categoria C** del decreto del 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni, ovvero "depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 metri, 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".

ALLEGATO 4: Analisi chimica