

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



Ing. Ezio Corrado

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI
VIA Ingegneria srl (Mandataria)
ATP Ambiente Trasporti Progettazione srl (Mandante)
Pini Swiss (Mandante)
Studio di Ingegneria Ing. Valerio Felli (Mandante)
Prometeo Engineering srl (Mandante)
SINAR srl (Mandante)
Ing. Ezio Corrado (Mandante)

SOGGETTO TECNICO : RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURE TERRITORIALE
CAGLIARI - S.O. INGEGNERIA

PROGETTO DEFINITIVO

Manutenzione straordinaria del ponte al km 4+676 della linea Cagliari - Golfo Aranci

Geologia e geotecnica
Relazione Geologica

SCALA: -
FOGLIO: 1 di 1

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
316521	003	PD	TG00	00	00	E031

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima emissione	R. Tommaselli	09/08/2024	S.Verni	09/08/2024	V.Bruno	09/08/2024		

LINEA

SEDE TECNICA

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
1.1	Inquadramento normativo.....	3
2	INQUADRAMENTO geografico	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	7
3.1	Cenni di tettonica.....	11
4	quadro geologico-stratigrafico area di progetto	12
5	geomorfologia ed idrogeologia.....	15
5.1	Elementi geomorfologici	15
5.2	Elementi di idrografia ed idrogeologia.....	15
5.3	Compatibilità con il PGRA.....	16
6	MODELLO GEOLOGICO AREA DI PROGETTO	18
6.1	Indagini pregresse consultate.....	18
6.2	Indagini geognostiche del 2024.....	26
6.3	Modello geologico stratigrafico.....	37
7	CARATTERIZZAZIONE sismica	38
7.1	Storia sismica del sito.....	39
7.2	Sorgenti sismogenetiche limitrofe.....	40
7.3	Caratterizzazione sismica sito di progetto	42

1 PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta nell'ambito del progetto definitivo, degli interventi di "Manutenzione straordinaria dei ponti ubicati al km 4+676, al km 143+610, al km 243+442 della linea Cagliari Golfo Aranci".

L'opera in oggetto è realizzata in cemento armato con fondazione a platea. La struttura, ha subito un progressivo abbassamento differenziale del piano di appoggio della platea di fondazione nel verso da Cagliari a Elmas e da monte verso mare. Gli spostamenti sono stati periodicamente rilevati dall'ufficio lavori di Cagliari a partire dal mese di ottobre del 1986.

Nel progetto di fattibilità tecnico-economica aveva analizzato le seguenti tre possibili soluzioni progettuali:

1. intervento di ripristino del calcestruzzo ammalorato e/o fessurato;
2. intervento di consolidamento dell'opera esistente attraverso il rinforzo della fondazione dello scatolare con micropali di diametro 250mm e lunghezza di circa 40m. In seguito all'ultimazione delle operazioni di rinforzo dello scatolare è prevista la demolizione della struttura in profili metallici presente all'interno della prima canna lato Elmas. Infine sono previsti gli interventi di ripristino del calcestruzzo ammalorato e/o fessurato;
3. **demolizione dell'impalcato esistente in c.a., demolizione dei due setti centrali e realizzazione di un nuovo impalcato del tipo a cassone metallico porta-ballast. Sarà eseguito il rinforzo delle spalle esistenti con una struttura in calcestruzzo armato posta a tergo delle stesse.**

La soluzione progettuale scelta è la n.3.

Il presente studio volto a definire il modello geologico-geotecnico e sismico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, con lo scopo di valutare il conseguente livello di pericolosità geologica ed il comportamento dei terreni direttamente interessati dalle strutture, in conformità con quanto previsto dalla normativa tecnica vigente (NTC 2018).

In seguito alla pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e.s.m.i. aggiornata con la D.G.R. n. 15/31 del 30.03.2004 il Comune di Cagliari viene classificato come zona sismica 4 *"Zona con pericolosità sismica molto bassa"*.

Le informazioni sui caratteri litologico-stratigrafici del sottosuolo e le principali caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrogeologiche dell'area interessata sono state acquisite mediante ricognizioni di superficie, condotte nella zona interessata ed in quelle limitrofe, confrontando i dati acquisiti con quelli desunti dalla bibliografia e dalla cartografia ufficiale esistente. Le informazioni sono state integrate dai dati di indagini dirette di tipo geognostico e sismico eseguite puntualmente sull'area di progetto.

Nello specifico sono stati utilizzati i dati di una pregressa campagna di indagini geognostiche condotta nel 1987 e di una successiva campagna del 2019 con indagini geognostiche e sismiche. Sulla base dei dati già a disposizione, è stata eseguita in sito, nel mese di aprile 2024 una nuova campagna con indagini geognostiche e sismiche.

Le ricognizioni di superficie, le notizie bibliografiche ed i dati ottenuti dalle indagini in sito, hanno permesso di raccogliere tutte le informazioni necessarie a ricostruire in maniera attendibile la situazione geologico-morfologica, litologico-stratigrafica, idrogeologica e geotecnica dell'area in esame.

1.1 Inquadramento normativo

Normativa Comunitaria:

- UNI EN ISO 14688-2: (2004) Indagini e prove geotecniche – Identificazione e classificazione dei terreni – Principi per una classificazione;
- UNI EN ISO 14688-1: (2003) Indagini e prove geotecniche – Identificazione e classificazione dei terreni – Identificazione e descrizione;
- UNI ENV 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI ENV 1997-3 (2002) - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito";
- UNI ENV 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture e contenimento ed aspetti geotecnici.

Normativa Nazionale:

- R.D. del 30.12.1923 n.3267 Riordino e riforma della legislazione in materia di boschi e terreni montani;
- R.D. del 16.05.1926 n.1126 Approvazione del regolamento per l'applicazione del regio decreto 30 dicembre 1923, n.3267, concernente il riordino e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani;
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 11 marzo 1988 Ministero dei Lavori Pubblici. Norme tecniche riguardanti le indagini su terreni e rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per progettazione, esecuzione e collaudo opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Coordinato con Circolare Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483 – Istruzioni per l'applicazione;
- O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 - Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici;
- O.P.C.M. 02 ottobre 2003, n. 3316 - Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003;
- O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. LL. PP. Del 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare del C.S. LL. PP. n.7 del 21.01.2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

Normativa Regionale

- D.G.R. n. 15/31 del 30.03.2004 Aggiornamento classificazione sismica Sardegna;
- D.G.R. n. 2 del 17.12.2015 – Adozione Piano Stralcio delle fasce fluviali;
- D.G.R. n. 12 del 21/12/2021, (BURAS n. 72 del 30/12/2021) adozione modifiche alle Norme di Attuazione del PAI;
- D.G.R. n. 2/8 del 20/1/2022 - Norme di Attuazione del PAI;

Linee Guida in materia

- A.G.I. 1977 - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- A.G.I. 1994 - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio;
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015;
- ISPRA Servizio Geologico d'Italia, 2022. ITHACA – Italy Hazard from Capable Faults - Inventario Delle Faglie Capaci In Italia. Guida Alla Consultazione E All'utilizzo;
- Rete Ferroviaria Italiana - Manuale di Progettazione Delle Opere Civili (Parte II – Sez.7);
- Rete Ferroviaria Italiana – Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (Parte II - Sez.3: Rilievi geologici ed indagini geognostiche).

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal presente elaborato ricade nella Provincia di Cagliari, integralmente in agro del Comune di Cagliari, nei pressi del confine amministrativo del Comune di Elmas.

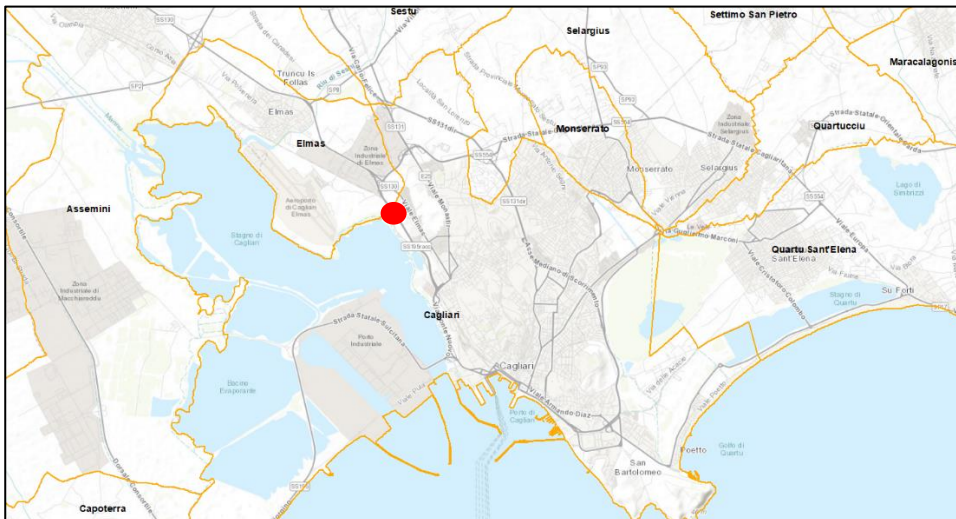


Figura 1 – Inquadramento area progetto

Trattasi della zona meridionale della Regione Sardegna, ove dalla Pianura del Campidano si arriva alle aree palustri e costiere presso le città di Cagliari e di Quartu S. Elena. La rete viaria risulta ben sviluppata nelle aree urbanizzate o in zone di espansione urbana e di penetrazione agraria. Dalle strade principali si dipartono numerose strade di penetrazione secondaria, spesso a fondo naturale, alcune delle quali permettono il collegamento con le zone montuose dell'interno. Nello specifico la tratta ferroviaria interessata corre in affiancamento su lato mare della S.S. 195 che dall'abitato di Cagliari porta verso l'aeroporto "Mario Mameli"

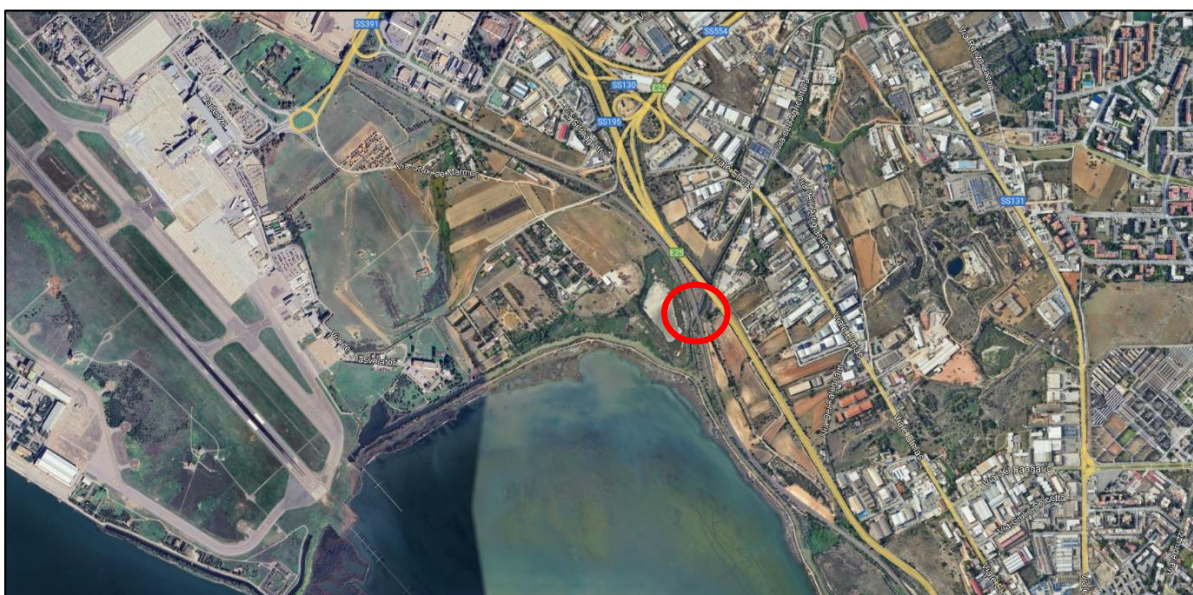


Figura 2 – Ubicazione area su foto satellitare google

Con riferimento alla cartografia ufficiale italiana il sito ricade nel settore nord-occidentale della Tavoletta IGM in scala 1:25.000 IV S.E. "Cagliari" del foglio n. 234 della Carta d'Italia.



Figura 3 – Stralcio Tavoleta IGM con ubicazione area in oggetto.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La storia geologica della Sardegna, insieme a quella della Corsica, sua isola gemella, cominciò circa 100 milioni di anni fa, attraverso gli spostamenti e gli scontri tra la grande placca africana, quella eurasiatica e quella nord-atlantica. Tra 35 e 13 milioni di anni fa, questi fenomeni crearono una profonda frattura che correva lungo tutta la costa che attualmente va dalla Catalogna alla Liguria. Lungo questa spaccatura, circa 30 milioni di anni fa, si originò il distacco di una microplacca che comprendeva a Nord-Est le attuali Sardegna e Corsica, e più a Sud-Ovest il complesso delle isole Baleari.

La Sardegna e gran parte della Corsica collocate ad ovest del Tirreno formano un gran blocco che è ritenuto come una microzolla. La rotazione che ha permesso alla Sardegna di raggiungere la sua attuale posizione è avvenuta tra l'Oligocene ed il Miocene. I dati paleomagnetici, suggeriscono una rotazione in senso antiorario di almeno 30° della Sardegna rispetto all'Europa durante l'Oligocene e il Miocene inferiore. Infatti la Sardegna, dal punto di vista geologico apparteneva in gran parte al foreland europeo della catena alpina, essendo insieme alla Corsica un'estensione del gruppo Maures Esterel e Montagna Nera nella Francia meridionale. Gran parte della Sardegna è formata da rocce Paleozoiche deformate durante la fase Caledoniana ed Ercinica e coperta da terreni mesozoici e terziari in gran parte non deformati.

Le rocce affioranti in Sardegna possono essere raggruppate in tre grandi complessi geologici pressappoco equivalenti per estensione: il basamento metamorfico paleozoico, il complesso intrusivo tardo-paleozoico, le coperture sedimentarie e vulcaniche tardo-paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche.

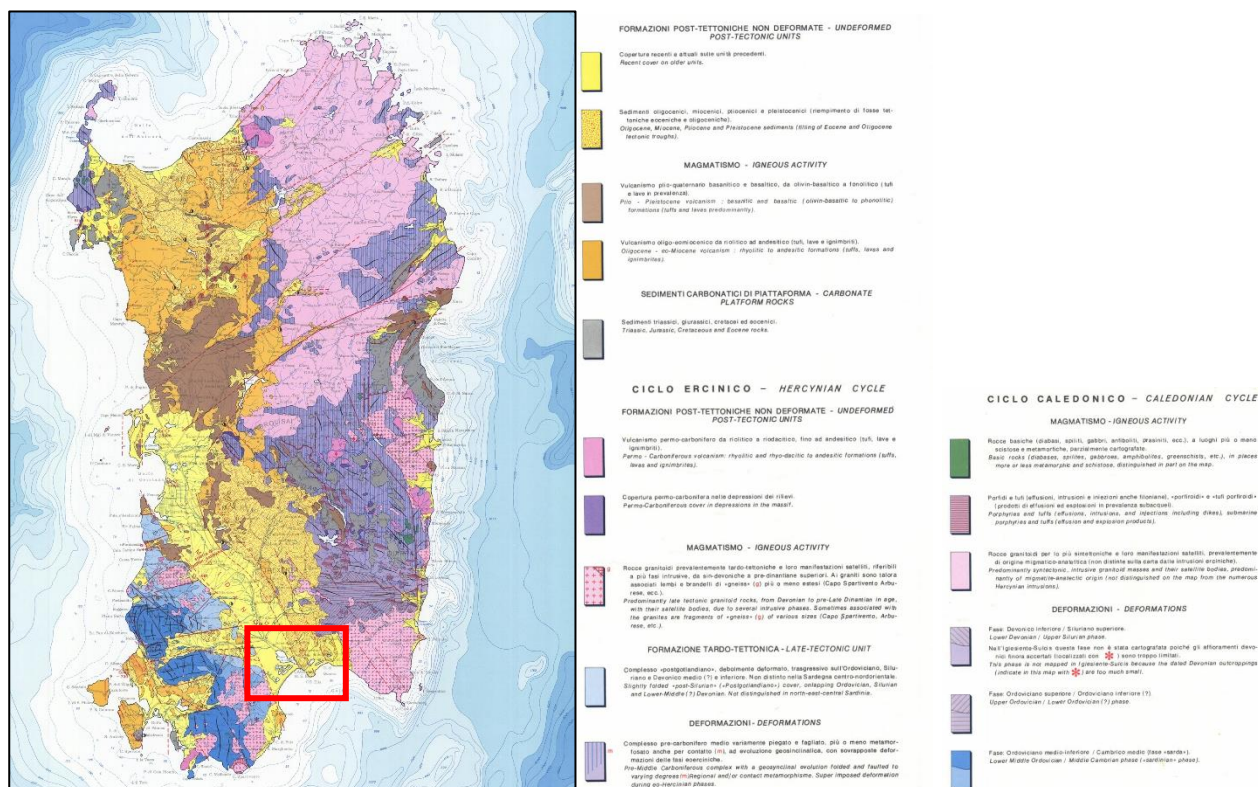


Figura 4 – Schema stratigrafico-strutturale della Sardegna (T. Cocozza)

Il basamento paleozoico sardo è considerato un tratto della Catena ercinica sud-europea; in origine esso doveva proseguire nel Massiccio Centrale Francese, nei Mauri e nella Montagna Nera (ARTHAUD & MATTE, 1977), prima del distacco e della deriva del Blocco sardo-corso nel Miocene inferiore. La Catena ercinica, secondo gran parte degli Autori, si sarebbe evoluta attraverso subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano e collisione continentale, con importante ispessimento crostale, metamorfismo e magmatismo, durante il Devoniano e il Carbonifero (MATTE, 1986a; 1986b; CARMIGNANI et alii, 1994b e bibliografia).

La geometria collisionale della Catena è ancora ben riconoscibile nel segmento sardo. Secondo CARMIGNANI et alii (1992; 1994b), il Complesso metamorfico di Alto Grado che affiora nella Sardegna settentrionale rappresenta il margine armoricano sovrascorso, mentre il Complesso metamorfico di Basso e Medio Grado, a sua volta suddiviso in Falde interne e Falde esterne ed affiorante nella Sardegna centrale e sud-orientale, rappresenta il margine di Gondwana subdutto. I due complessi metamorfici risultano separati dalla Linea di sutura Posada-Asinara, lungo la quale affiorano relitti di crosta oceanica (CAPPELLI, 1991). La fase di collisione e ispessimento crostale è associata ad un metamorfismo progrado di pressione intermedia e grado variabile da sud verso nord dalla facies degli scisti verdi a quella anfiolitica, quest'ultima sviluppata solo in prossimità della Linea Posada-Asinara.

Con riferimento all'areale sardo più prossimo alla Provincia Cagliaritano, il basamento paleozoico fa parte delle Falde esterne, che affiorano tra la Barbagia e l'Iglesiente-Sulcis e sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore. Queste falde si sono messe in posto con traslazione da NE verso SW nell'avanfossa della Catena durante il Dinantiano.

Nel Carbonifero superiore e nel Permiano, un'importante tettonica distensiva post-collisionale si sovrappone alle strutture collisionali, portando all'esumazione delle metamorfiti ed alla messa in posto del complesso magmatico calcalkalino tardo-ercinico.

In seno alla successione stratigrafica che caratterizza il Paleozoico della Sardegna sud-orientale sono presenti importanti discordanze. La più antica è una discordanza angolare che separa la successione del Cambriano-Ordoviciano inferiore dal sovrastante complesso vulcanico dell'Ordoviciano medio; essa è nota in letteratura come "*Discordanza sarrabese*" dell'Iglesiente. (CALVINO, 1959 e altri), (BARCA et alii, 1987; 1988). La seconda è una non-conformity tra il complesso vulcanico subaereo ordoviciano e la successione trasgressiva dell'Ordoviciano superiore "*Trasgressione caradociana*". La terza è una discordanza alla base della successione terrigena sinorogenica del Carbonifero inferiore. Questo contatto è quasi sempre tettonizzato e sulla sua originaria natura stratigrafica e/o tettonica mancano ancora dati certi.

Il complesso intrusivo tardo-paleozoico affiora estesamente sud orientale dell'isola, ove si osservano plutoniti e sistemi filoniani riferibili al magmatismo post-collisionale tardo-ercinico sardo. I prodotti intrusivi appartengono al cosiddetto "*Batolite sardo-corso*" che solo in Sardegna copre un'area di circa 6000 kmq, cioè circa la metà dell'intero basamento cristallino paleozoico. Tale batolite è composito, essendo costituito da un insieme molto eterogeneo di litotipi riferibili ad associazioni a differente affinità geochemica. La costruzione del batolite fra il Carbonifero e il Permiano inferiore (330-275 Ma) è contemporanea alla tettonica post-collisionale della Catena

ercinica, caratterizzata dalla sua riesumazione in regime estensionale con transizione alla fase anorogenica (CARMIGNANI et alii, 1992). Le intrusioni sono predominanti nella zona assiale mentre, procedendo verso la zona a falde nella Sardegna centro-meridionale, costituiscono vari massici intrusivi, sempre alto-crosta, isolati entro il complesso metamorfico (Complessi intrusivi dell'Arburese, del Sarrabus, del Sulcis-Iglesiente).

L'insieme del magmatismo filoniano e di quello effusivo esprime dunque una sequenza magmatica inizialmente calcalkalina o peralluminosa di derivazione crostale e subcrostale, in parte coeva con le diffuse manifestazioni intrusive, successivamente transizionale sino a francamente alcalina essenzialmente sub-crosta nelle fasi finali permo-triassiche post-orogeniche. Le orientazioni prevalenti dei sistemi filoniani variano progressivamente da una direzione media NE-SW in Corsica e nella Sardegna settentrionale, ad una direzione N-S fino a NNW-SSE in quella centrale e meridionale; direzioni che devono essere correlate ai principali sistemi di fratturazione tardo-ercinici connessi con la tettonica trascorrente continentale europea (ARTHAUD & MATTE, 1977; RONCA & TRAVERSA, 1996).

Per le successioni Mesozoiche e Cenozoiche, le stesse ricadono in un periodo in cui la Sardegna gode di una relativa calma tettonica e di una pressochè totale assenza di attività magmatica. In tale era l'isola non fu pertanto interessata da importanti fasi deformative. Durante tutto il Triassico e il Lias la Sardegna costituiva un alto strutturale in gran parte emerso, che nella paleogeografia alpina probabilmente rappresentava una propaggine del Dominio Brianzone. Questo alto strutturale fu ampiamente trasgredito solo a partire dal Dogger, i cui depositi dolomitici e calcarei di ambiente neritico ricoprono in discordanza sia il basamento ercinico, che la successione continentale stefano-permiana o permo-triassica. Nella successione mesozoica della Nurra e del Sulcis è ben documentata una lacuna, talvolta associata a discordanza angolare (Albiano-Cenomaniano: "*lacuna bauxitica*"). Una nuova emersione, che interessò l'intera isola, si manifestò alla fine del Cretacico e perdurò per quasi tutto il Paleocene.

Con maggiore riferimento all'areale della Provincia Cagliari, non affiorano sedimenti mesozoici; altresì molto diffusi in tutta la Sardegna centro-orientale e localmente sono presenti anche nella Sardegna sud-occidentale e nord-occidentale. Non è da escludere che la trasgressione giurassica possa avere interessato anche l'areale Cagliari, ma i relativi depositi sono stati completamente erosi durante i successivi periodi di continentalità. Anche i depositi trasgressivi dell'Eocene inferiore, ben rappresentati nella Sardegna meridionale (BARCA & DI GREGORIO, 1977; 1978), non si sono tuttavia conservati in tale areale.

Con l'Eocene medio-superiore si ristabiliscono in tutta l'Isola condizioni di continentalità che perdurano per quasi tutto l'Oligocene, come risulta dai depositi fluviali e lacustri di questa età.

Nell'Oligocene superiore-Miocene inferiore il Blocco Sardo-Corso subisce

i contraccolpi della collisione nord-appenninica, di cui rappresenta il retropaese. In questo periodo, nella Sardegna centro-settentrionale, così come nella Corsica ercinica, è attiva una importante tettonica trascorrente (CARMIGNANI et alii, 1994a; PASCI, 1995), con sistemi di faglie che seguono i lineamenti tettonici e le discontinuità del basamento ercinico.

La parte meridionale dell'Isola appare scarsamente interessata dalle dinamiche trascorrenti oligo-mioceniche. In quest'area sono attribuiti all'Oligocene superiore-Aquitano solo alcuni depositi, da continentali a marino-litorali, di spessore modesto, che sono affioranti anche nell'areale Cagliaritano (Formazione di Ussana). I rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che si depongono in questo intervallo di tempo in Sardegna meridionale.

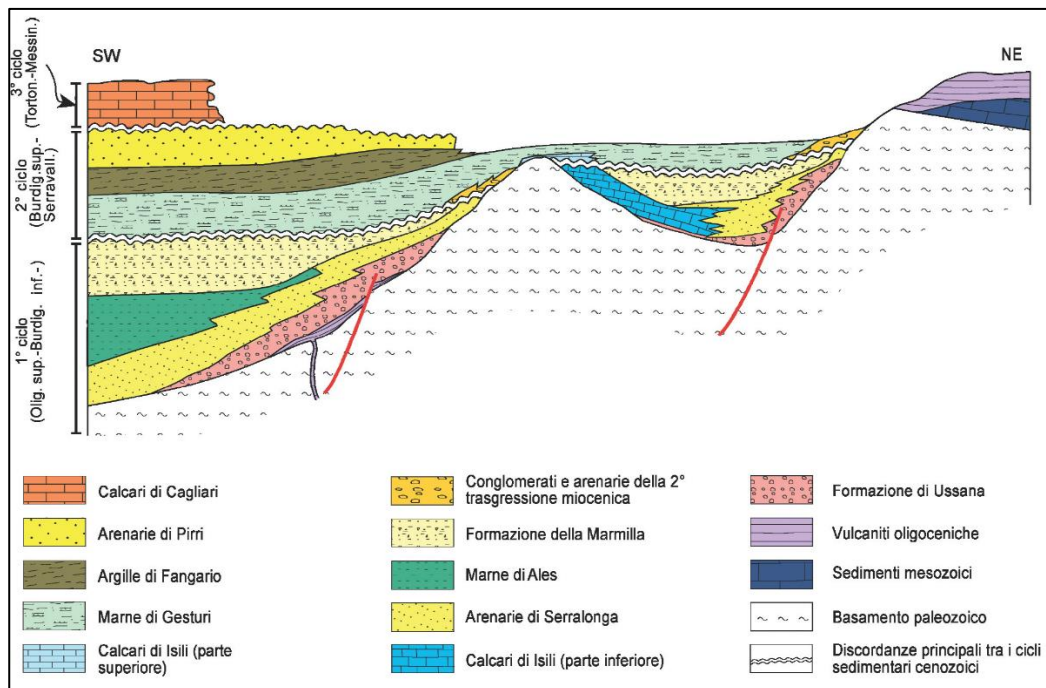


Figura 5 - Schema deposizionale (da Note Illustrative Foglio CARG 557 "Cagliari")

Durante il Miocene inferiore-medio, contemporaneamente alla rotazione del Blocco Sardo-Corso (Burdigaliano) e all'apertura del Bacino Balearico e del Tirreno centro-settentrionale, si sviluppa tra il Golfo di Cagliari e quello dell'Asinara un sistema di fosse (Rift Sardo: CHERCHI & MONTADERT, 1984; CASULA et alii, 2001) con sedimentazione prevalentemente marina, con intercalati notevoli spessori di vulcaniti calcaree. A partire dal Miocene superiore e fino al Pliocene-Pleistocene, tutta l'Isola è interessata da una nuova, importante fase distensiva da riferire all'apertura del Tirreno centro-meridionale, la quale favorì una breve e localizzata ingressione marina nel Pliocene inferiore. A questa tettonica distensiva sono da imputare le estese manifestazioni vulcaniche plio-pleistoceniche dell'Isola, prevalentemente basiche e ad affinità alcalina, transizionale e toleittica, di età isotopica 5.3 ± 0.14 Ma (BECCALUVA et alii, 1978).

3.1 Cenni di tettonica

Su larga scala, gli elementi che testimoniano una tettonica eocaledoniana nel Cagliaritano sono:

- la netta discordanza angolare (“Fase sarrabese” Auct.), con valori fino a 90°, presente ad es. lungo la valle del Riu sa Ceraxa tra le arenarie di S. Vito (Cambriano medio-Ordoviciano inferiore) ed il complesso vulcanico- sedimentario dell’Ordoviciano medio (CALVINO, 1959; 1960; NAUD, 1981);
- la presenza di conglomerati e arenarie continentali che testimoniano estese e prolungate emersioni nell’Ordoviciano medio;
- il diffuso magmatismo calcalcalino subaereo dell’Ordoviciano medio.

Nel basamento paleozoico nell’areale Cagliaritano sono evidenti gli effetti dell’evoluzione orogenetica ercinica, caratterizzata fondamentalmente da due differenti eventi con caratteri strutturali, metamorfici e magmatici che sono stati riconosciuti in tutto il basamento della Sardegna (CARMIGNANI et alii, 1994b):

- un’importante tettonica compressiva, probabilmente diacrona, che ha interessato la Sardegna SE nel Viseano-Namuriano. Questo evento, correlato con la collisione continentale ercinica, ha determinato l’impilamento delle falde e un metamorfismo sincinemato progrado connesso con l’ispessimento crostale (fase sin-collisionale);
- una pervasiva tettonica distensiva tardo-orogenica, che probabilmente si sviluppa nel Westfaliano-Permiano inferiore. Questo evento è stato correlato con il collasso della Catena alla fine delle fasi di ispessimento crostale sin-collisionale (fase distensiva post-collisionale). Ad esso sono da imputare fenomeni di denudazione tettonica, con esumazione delle metamorfiti e produzione e messa in posto del magmatismo calcalcalino permo-carbonifero. La deformazione si è realizzata durante la risalita e il raffreddamento delle metamorfiti, e quindi a livelli strutturali sempre più superficiali. Ne deriva una grande varietà di strutture con stili differenti, che vanno da zone di taglio sin-metamorfiche ed associati sistemi di pieghe, a faglie dirette poco inclinate e faglie dirette molto inclinate e trascorrenti.

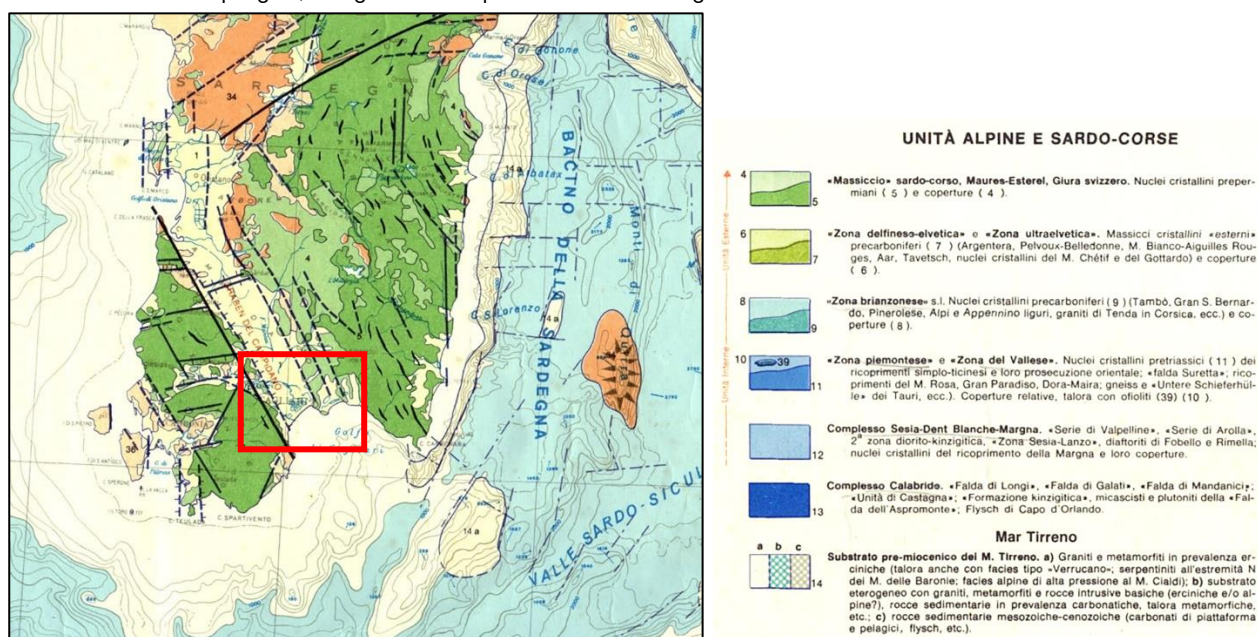


Figura 6 – Stralcio carta neotettonica d'Italia

4 QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO AREA DI PROGETTO

Il settore in cui si sviluppa il tracciato in oggetto ricade in un contesto pianeggiante, ed è costituita totalmente da depositi quaternari di origine alluvionale, e in minor misura, di natura fluvio-lacustre e marino-lagunare. Il Quaternario in Sardegna è rappresentato in gran parte da depositi continentali, in particolare, il Pleistocene è caratterizzato dalle cosiddette “Alluvioni Antiche”, diffuse in tutta l’Isola, ma in particolare nella piana del Campidano, nel cui margine meridionale ricade l’area di progetto. Si tratta di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, depositi durante le fasi climatiche freddo- aride e reinciati in condizioni caldo-umide. Nell’area in questione l’Olocene è rappresentato da depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali e da depositi limoso-argillosi della laguna. Le coperture alluvionali sono state deposte in seguito agli apporti detritici dei principali corsi d’acqua, rappresentati, procedendo da ovest verso est, dal Rio Santa Lucia, al Rio Flumini Mannu e Rio Cixerri. Tali coperture possono essere distinte in tre ordini di terrazzi, corrispondenti a differenti episodi di deposizione in un periodo compreso tra il Pleistocene Inf. e l’Olocene. L’individuazione dei limiti tra i terrazzi appare di difficile determinazione a causa sia della morfologia caratterizzata da forme piatte con profili pressoché uniformi, sia del diffuso degrado dato dalla concomitante azione erosiva naturale e dall’intensa attività antropica. L’area all’interno della quale si collocano gli interventi in progetto ricade nel Foglio n. 557 “Cagliari”, della Carta Geologica D’Italia in scala 1: 50.000.

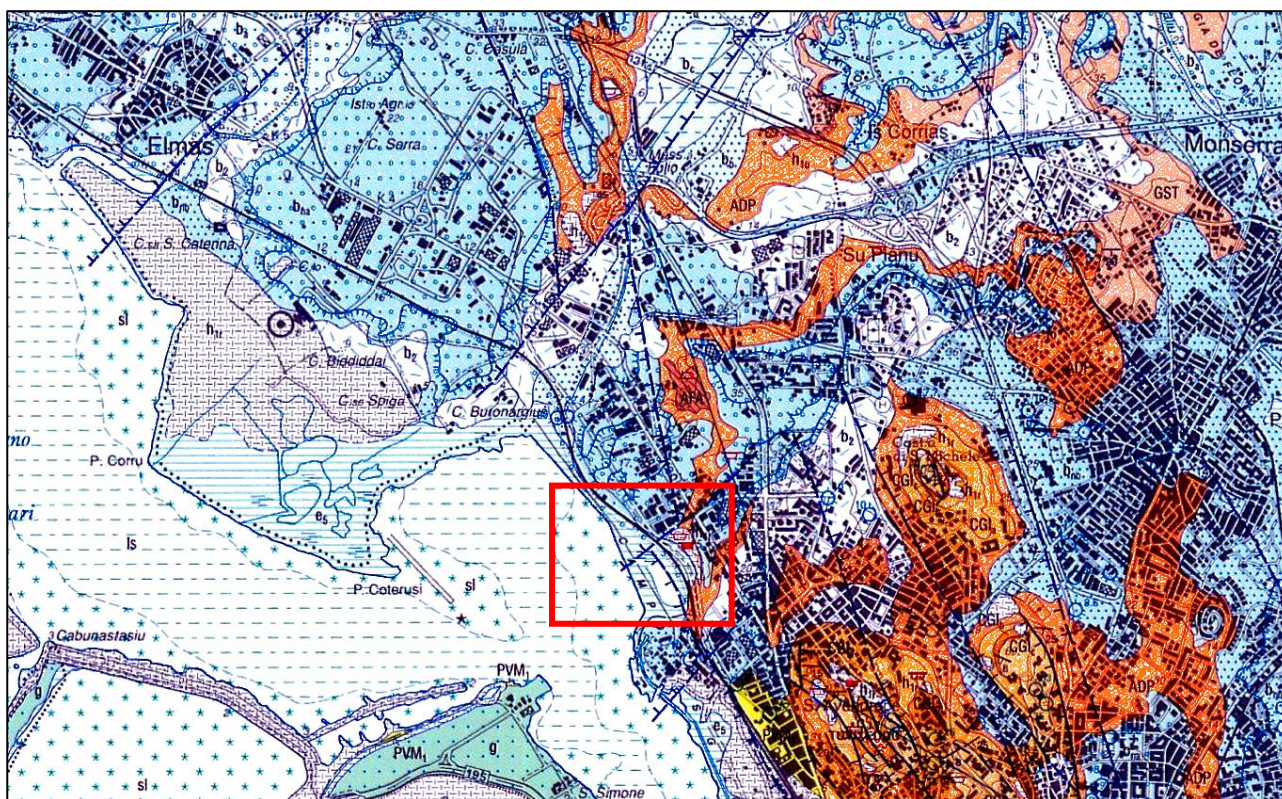


Figura 7 – Stralcio del Foglio n. 557 “Cagliari”, della Carta Geologica D’Italia in scala 1: 50.000

Nello specifico il sito in oggetto è caratterizzato esclusivamente dalla presenza dei depositi Olocenici. Tali depositi sono costituiti da sedimenti alluvionali e costieri che hanno caratterizzato sia le dinamiche attuali che quelle passate. Si tratta sia di depositi di pianura alluvionale che di estese conoidi alluvionali e di cordone litorale. La natura e la relazione laterale tra le varie facies è alquanto complessa. Dal basso verso l'alto stratigraficamente si distinguono:

- Depositi alluvionali terrazzati;
- Coltri eluvio-colluviali;
- Depositi palustri.

Depositi alluvionali terrazzati

Si tratta di depositi alluvionali grossolani contenenti limitate lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini, simili a quelli che si osservano sul letto attuale. Questi depositi sono posti ai lati dei letti attuali o dei tratti di alveo regimati, o su depositi alluvionali terrazzati, ed in genere non interessati dalle dinamiche in atto.

Lo spessore di questi depositi è, nella maggior parte dei casi, difficilmente valutabile, ma in alcune sezioni o lungo scarpate di erosione fluviale associate alle dinamiche attuali, si possono superare i 9/10 m. Tratti limitati di questa unità possono essere interessati da dinamiche alluvionali durante eventi idrometeorici eccezionali. Le pianure alluvionali del passato erano molto più estese di quelle attuali ad indicare la presenza, anche con tempi di ritorno molto lunghi, di eventi idrometeorici di estrema importanza che riattivavano settori molto ampi della pianura. In molti casi questi depositi hanno rappresentato i letti di piena straordinaria fino al secolo scorso. Anche per tale motivo si evidenzia la pericolosità da esondazione in molte di tali aree. Nella maggior parte delle porzioni del foglio i materiali alluvionali sono stati depositi da corsi d'acqua incanalati entro valli già ben delineate.

Ai lati delle pianure alluvionali incise dagli alvei attuali è stata riconosciuta un'unità alluvionale terrazzata principale e, localmente, alcune secondarie a quote lievemente superiori. Queste sono particolarmente evidenti sul fianco di alcuni corsi d'acqua. Le unità terrazzate minori sono state interpretate come modellate durante il progressivo approfondimento della valle attuale. Durante il modellamento di questi terrazzi alluvionali le dinamiche fluviali hanno dato vita a numerose variazioni del reticolo idrografico. Molti degli stagni presenti nell'areale di studio, parecchi dei quali bonificati in passato, occupavano depressioni chiuse la cui genesi è difficilmente spiegabile senza invocare movimenti neotettonici; l'incertezza nell'ubicazione delle probabili faglie ha tuttavia impedito una loro cartografia di dettaglio. Le differenze cronologiche tra un terrazzo e l'altro sono talora facilmente percepibili anche in foto aerea, data la freschezza dei sedimenti e l'assenza di importanti coperture pedologiche su alcune unità. In genere l'alterazione è quasi assente nei depositi terrazzati più recenti posti a pochi metri sui fondi vallivi attuali. La natura silicatica della maggior parte dei depositi e la mancanza di basi, unitamente ai forti contrasti stagionali del caratteristico clima mediterraneo, favoriscono infatti l'accelerazione dei processi di alterazione.

Coltri eluvio-colluviali

Si tratta di depositi in cui sono presenti percentuali variabili di materiali fini (sabbia, silt), più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica, mescolati con sedimenti più grossolani. L'elevata presenza della frazione organica suggerisce una loro derivazione dall'erosione del suolo durante l'Olocene e successivo mescolamento a sedimenti provenienti per degradazione fisica direttamente dal substrato.

Il loro spessore è in genere esiguo (qualche metro) ma, data la natura pelitico-arenacea del substrato terziario, sono estremamente diffusi ovunque ai piedi dei versanti e sulle testate delle vallecicole. Frequentemente questi sedimenti, malgrado l'esiguo spessore, impediscono il riconoscimento o l'osservazione diretta del substrato.

Localmente, al loro interno sono stati osservati suoli ad accumulo di carbonato di calcio in noduli, croste e lenti più o meno induriti. La genesi di tali suoli è legata a condizioni climatiche con forte contrasto stagionale e con scarsa copertura vegetale forestale, in condizioni non dissimili da quelle attuali; infatti non sono stati osservati processi di rubefazione.

Depositi palustri

Si tratta di sedimenti fini costituiti da argille limose grigio-verdastre con abbondante frazione organica e frammenti conchigliari, a luoghi ciottolose (depositi di tempesta), parzialmente stabilizzate e colonizzate dalla vegetazione, localmente antropizzate come nella parte interna dello Stagno di Cagliari.

I sedimenti palustri attualmente in evoluzione che bordano più o meno l'intero Stagno di Cagliari (S. Gilla) sono costituiti da argille limose grigio-scuere, a luoghi ciottolose, ricche in sostanze organiche carboniose e spesso anche in frammenti conchigliari di Molluschi marini e lagunari, a testimonianza della continua interazione tra ambiente marino-salmastro e fluviale.

I rapporti stratigrafici con altre unità sedimentarie sono stati osservati sulle sponde occidentale ed orientale dello stagno, dove i depositi palustri giacciono su ghiaie alluvionali poligeniche, con clasti ben elaborati di metamorfiti prevalenti, ascritte ai depositi alluvionali recenti olocenici. Sedimenti fini sono stati descritti anche nella parte interna dello Stagno di Cagliari verosimilmente associati ai sedimenti deposti allo sbocco del Flumini Mannu.

5 GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

5.1 Elementi geomorfologici

Su larga scala l'area in studio è situata all'interno della porzione sud-occidentale della pianura del Campidano meridionale compresa tra gli abitati di Assemini, Uta e Capoterra. Tale settore di pianura è delimitato dal margine dei rilievi del massiccio del Sulcis (Monti di Capoterra) a sud-ovest, il Golfo di Cagliari a sud e il bacino dello stagno di Santa Gilla ad est.

L'area oggetto dell'intervento è posta ai margini dello Stagno di Cagliari. L'area lagunare posta nella zona ad Ovest del progetto, presenta quote mai superiori a 2/4 m.s.l.m. e pendenze pressoché nulle.

L'area in questione è ubicata in un antico fondovalle, colmato da depositi fluviali, palustri e marini. La genesi del sistema stagnale è da ricollegarsi alle recenti oscillazioni del livello del mare che hanno determinato in successive fasi evolutive, la chiusura di un ampio golfo ad opera di barre sabbiose, l'ultima delle quali rappresenta il cordone di La Playa, esteso circa 9 km, la cui deposizione è da riferire alla trasgressione versiliana (6.500 anni fa).

Il bacino imbrifero che alimenta il deflusso di acque dolci verso la laguna è molto ampio, abbraccia una vasta regione che comprende il bacino del Flumini Mannu e quello del Rio Cixerri, per una superficie totale di 2.242 kmq. Il flumini Mannu, che rappresenta il tributario più importante della laguna, drena estese regioni dell'Iglesiente, del Sarcidano, della Marmilla e della Trexenta per poi sfociare nel settore nord-orientale della stessa, quello più propriamente detto Stagno di Cagliari.

Lo scambio principale delle acque dolci con quelle marine avviene attraverso l'apertura de La Scafa che consente un discreto ricambio delle acque del bacino.

Il processo morfogenetico oggi maggiormente attivo è sicuro quello antropico che si è manifestato attraverso massicci interventi di ingegneria idraulica, viaria e attività industriale. Tali interventi, nell'area di progetto, consistono nella canalizzazione delle foci del fiume Cixerri e Fluminu Mannu, nella costruzione del polo industriale Macchiareddu, nell'attivazione delle saline e nella fitta rete viaria che serve l'area industriale.

5.2 Elementi di idrografia ed idrogeologia

Il reticolo idrografico presente nell'area è discretamente diffuso esso è caratterizzato da canali che permettono il drenaggio verso mare delle acque superficiali. L'opera zona è in prossimità dello Stagno di Cagliari ed è esposto al pericolo di inondazioni ed allagamenti. La natura del sottosuolo che prevalentemente è sabbiosa in sub ordine presenta ampie zone composte da formazioni fini (limi ed argille) che condizionano il normale percorso di filtrazione in profondità, creando le condizioni di ristagni ed impaludamenti. Le principali unità idrogeologiche sono:

Depositi olocenici alluvionali, palustri e detritici: terreni aventi una granulometria eterogenea, rappresentata da ciottoli e blocchi in matrice limo-sabbiosa ed i terreni costituenti le coltri eluvio colluviali e detritiche di modesto spessore. Le caratteristiche granulometriche di tali depositi, gli conferiscono dei valori di permeabilità variabili ed

un grado di trasmissività ridotto in ragione dello spessore ridotto del volume saturo. Inoltre, la permeabilità riscontrabile è di tipo primario (1×10^{-1} m/s $\div$ 1×10^{-3} m/s).

5.3 Compatibilità con il PGRA

Il Piano di bacino è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa, alla valorizzazione e alla corretta utilizzazione del suolo e delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali dei territori interessati. Esso rappresenta il quadro di riferimento a cui devono adeguarsi e riferirsi tutti i provvedimenti autorizzativi e concessori inerenti agli interventi comunque riguardanti il bacino e ha valore di piano territoriale di settore.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, previsto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 è finalizzato alla riduzione delle conseguenze negative sulla salute umana, sull'ambiente e sulla società derivanti dalle alluvioni. Esso individua interventi strutturali e misure non strutturali che devono essere realizzate nell'arco temporale di 6 anni, al termine del quale il Piano è soggetto a revisione ed aggiornamento.

Con la Deliberazione n. 12 del 21/12/2021, (BURAS n. 72 del 30/12/2021) il Comitato Istituzionale ha adottato alcune modifiche alle Norme di Attuazione del PAI. Le modifiche sono state successivamente approvate con la Deliberazione di Giunta Regionale n. 2/8 del 20/1/2022 e con Decreto del Presidente della Regione n. 14 del 7/2/2022.

Le Mappe della pericolosità da alluvioni individua le aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo diversi scenari di pericolosità idraulica, suddividendo in cinque differenti fasce:

- Hi1 – P1: Aree a pericolosità idraulica moderata (Tempo di ritorno $Tr = 500$ anni)
- Hi2 – P2: Aree a pericolosità idraulica media (Tempo di ritorno $Tr = 200$ anni)
- Hi3 – P3: Aree a pericolosità idraulica elevata (Tempo di ritorno $Tr = 100$ anni)
- Hi4 – P4: Aree a pericolosità idraulica molto elevata (Tempo di ritorno $Tr = 50$ anni)

Con riferimento al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali PSFF Rev. Dicembre 2023, le aree interessate dagli interventi, ricadono all'interno delle aree a pericolosità idraulica molto elevata. A seguire uno stralcio del PSFF dell'Autorità di Bacino Distrettuale della Sardegna.



Figura 8 – stralcio da Geoportale Regione Sardegna (<https://www.sardegnageoportale.it/>)

6 MODELLO GEOLOGICO AREA DI PROGETTO

Con riferimento a quanto previsto dalla normativa vigente (DM 17/01/2018, par.6.2.1), il modello geologico definisce, le caratteristiche litostratigrafiche e le proprietà idrauliche dei materiali direttamente interessati dall'interazione tra il sito di progetto e le opere oggetto della progettazione. L'unità fondamentale di un modello geologico è l'unità litologica ovvero un corpo separabile da quelli adiacenti per caratteristiche fisiche e idrauliche omogenee. Sulla base del rilevamento geologico, e dai dati di indagini dirette in sito è stato possibile definire un modello geologico sito-specifico del sottosuolo interessato dalle opere di progetto.

6.1 Indagini pregresse consultate

A dicembre del 1987 sono state eseguite delle indagini geognostiche il cui report è a firma dell'ing. Vittorio Falchi. Le indagini sono consistite in:

- N.2 sondaggi a carotaggio continuo profondi 22,40 m (S1) e 22 m (S2) dal p.c.
- Prelievo di n.3 campioni indisturbati entro i livelli coesivi;
- Prove SPT entro i livelli a granulometria grossolana.

I campioni indisturbati sottoposti a prove di caratterizzazione fisica (granulometria, umidità, peso di volume, limiti di Atterberg) e prove di caratterizzazione meccanica (TRX CU, edometrica)

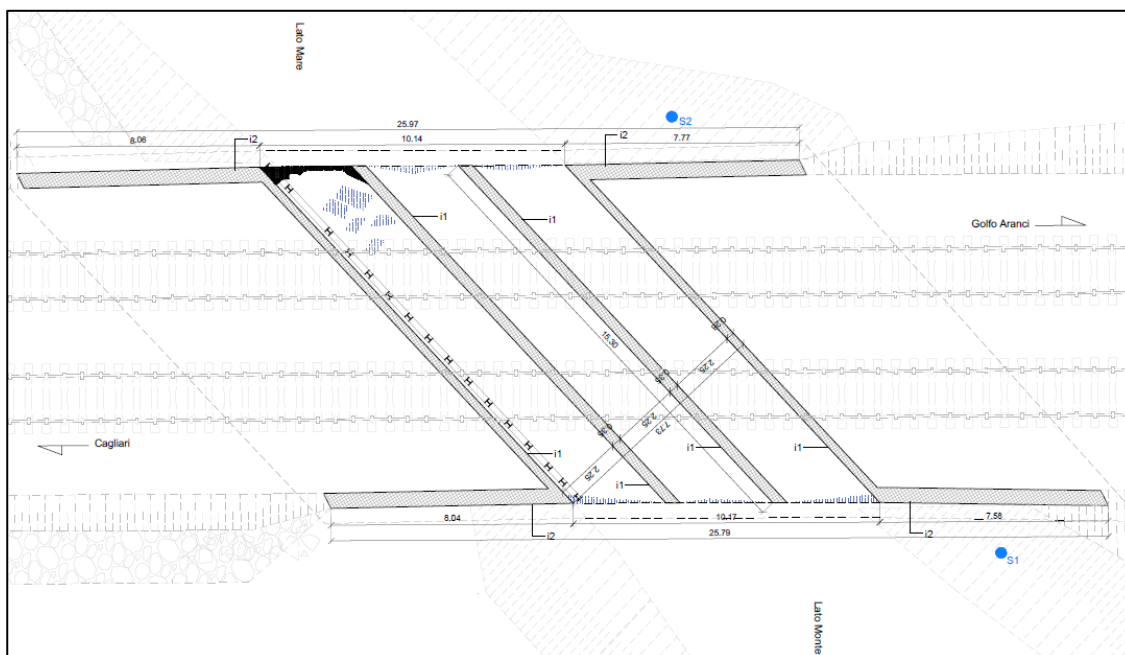


Figura 9 - Ubicazioni indagini 1987.

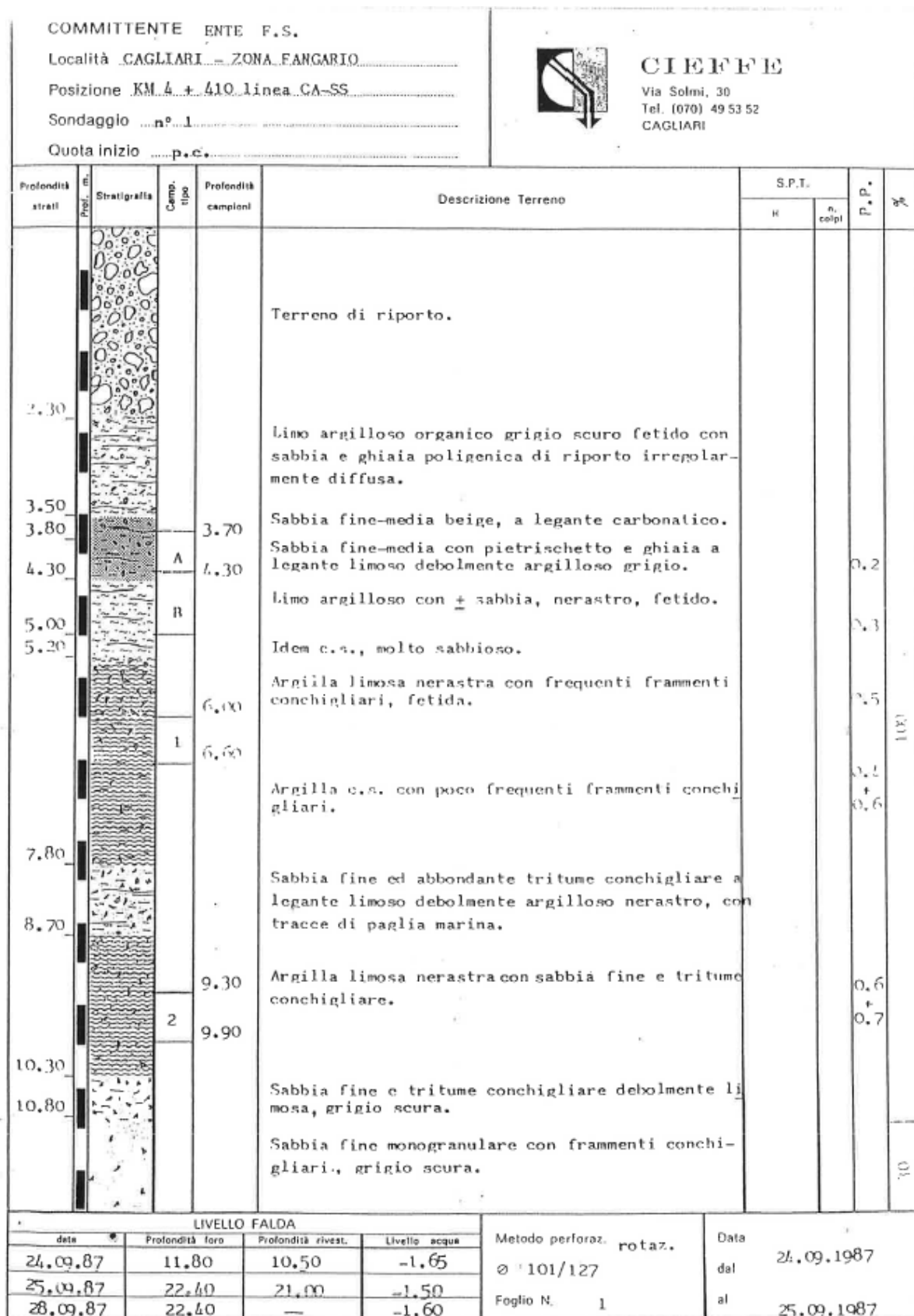


Figura 10 – Report stratigrafico del sondaggio S1 parte 1/2.

COMMITTENTE ENTE F.S.

Località CAGLIARI - ZONA FANGARIO

Posizione Km. 4 + 410 linea CA - SS

Sondaggio n° 1

Quota inizio 12,00 m dal p.c.

CIEFFE

Via Solmi, 30
Tel. (070) 49 53 52
CAGLIARI

Profondità strati	Prof. m.	Stratigrafia	Came- tipo	Profondità campioni	Descrizione Terreno	S.P.T.		P. m.	R
						H	n. colpi		
12.50					Idem c.s.				
14.30					Sabbia fine grigio scura, debolmente limosa, ciottoletti arrotondati, qualche Ø 2 cm max.				
15.50					Sabbia fine monogranulare, debolmente limosa, nerastra.				
16.30					Sabbia fine e media più o meno limosa, a tratti argillosa, con frammenti conchigliari.				
16.50					Idem c.s., con ciottoletti, molto addensato.				
17.10					Sabbia media a legante limoso argilloso beige/ marrone con pietrischetto.				
					Sabbia media beige, da pulita a debolmente li- mosa, con qualche ciottoletto.	17.50	11	2.1	2.8
19.00					Argilla marnosa, più o meno limosa, con irreg- lare diffusione di noduli e concrezioni carbo- natiche; a tratti sabbiosa, da beige a nocciola.			1.0 2.0	
20.30					Argilla marnosa debolmente limosa, compatta.			3.0 3.5	
21.00				21.00	Argilla c.s., molto sabbiosa.			3.5	
21.40			C	21.40	Argilla c.s.			3.5	
21.80					Argilla c.s.				
22.40					FINE FORO				

LIVELLO FALDA

data	Profondità foro	Profondità rivest.	Livello acqua

Metodo perforaz.

Ø

Foglio N.

Data

dal

al

Figura 11 - Report stratigrafico del sondaggio S1 parte 2/2.

COMMITTENTE ENTE F.S.

Località CAGLIARI - ZONA FANGARIO

Posizione Km 4 + 410 linea CA - SS

Sondaggio n° 2

Quota inizio p.c.

CIEFFE

Via Solmi, 30
Tel. (070) 49 53 52
CAGLIARI

Profondità strati	Stratigrafia	Camp. tipo	Profondità campioni	Descrizione Terreno	S.P.T.		P.C.	m
					H	n. colpi		
				Terreno di riporto.				
1.20								
2.80			3.00	Limo argilloso organico grigio scuro, fetido, con radici, ad inclusa ghiaia di riporto irre- golarmente diffusa.			0.2 +	100
3.00				Idem c.s., più sabbioso, di colore bruno.			0.3	
		1	3.50	Argilla limosa organica, nera, con frammenti conchigliari e più o meno sabbia.			0.4 +	
4.30				Idem g.s., con ciottoli e ghiaia a spigoli vivi, sino a 3 cm.			0.5	
4.70				Tritume conchigliare a legante limoso argilloso.				80
4.90				Argilla limosa c.s. con ciottoli e ghiaia a spigoli vivi.				100
5.60				Tritume c.s.				70
6.90				Ciottoletti e ghiaia a spigoli vivi, anche più riciclati max 3 cm, in matrice limo argil- losa grigio scuro; con più o meno sabbia.				80
7.80				Idem c.s. con più frequenti ciottoletti polige- nici arrotondati.	7.50	0 8 6		
8.00								
				Idem c.s., dimensioni max 3 cm.	9.00	9 12 6		50
10.50				Ciottoletti Ø 1 + 2 cm max, con più o meno più trischetto in abbondante matrice limo argillo- sa grigio scura.				100

LIVELLO FALDA

data	Profondità foro	Profondità rivest.	Livello acqua
25.09.87	10.50	10.50	0.45
28.09.87	20.00	—	0.80

Metodo perforaz. rotaz.

Ø 101/127

Foglio N. 1

Data

dal 25.09.1987

al 28.09.1987

Figura 12— Report stratigrafico del sondaggio S2 parte 1/2.

COMMITTENTE **ENTE F.S.**
 Località **CAGLIARI - ZONA FANGARIO**
 Posizione **Km 4 + 410 linea CA - SS**
 Sondaggio **n° 2**
 Quota Inizio **12,00 m dal p.c.**

CIEFFE

Via Solmi, 30
 Tel. (070) 49 53 52
 CAGLIARI

Profondità strati	Prof. m.	Stratigrafia	Camp. tipo	Profondità campioni	Descrizione Terreno	S.P.T.		P. m.	γ _s
						H	n. colpi		
					Idem c.s.				50
13.50									
13.80					Limo argilloso grigio scuro con frequenti ciottolini, addensato.	14.00	13		
14.50					Sabbia e ghiaia a legante limoso carbonatico bruno.		28		
							36	2.0	
					Argilla beige/marrone, addensata, ad alto contenuto carbonatico e con noduli e concrezioni.			3.0	
16.00								3.0	
16.60					Argilla c.s., variegata verde.			3.5	
					Argilla c.s., molto limosa, debolmente sabbiosa.			3.0	
17.20					Argilla c.s., con abbondanti concrezioni.			4.0	
17.50					Argilla c.s.				
18.00					Argilla c.s., molto limosa, debolmente sabbiosa.			3.5	
18.40					Argilla c.s.				100
19.30									
20.00					Noduli e concrezioni carbonatiche in matrice di argilla c.s.				
					FINE FORO				

LIVELLO FALDA

data	Profondità foro	Profondità rivest.	Livello acqua

Metodo perforaz.

Ø

Foglio N.

Data

del

al

Figura 13- Report stratigrafico del sondaggio S2 parte 2/2.

A luglio e agosto del 2019 è stata condotta una nuova campagna di indagini geognostiche il cui report datato 2020 è a firma del dott. Mauro A. Vitaletti. Le indagini sono consistite in:

- Esecuzione di 1 foro di sondaggio con tecnica di carotaggio continuo ad andamento verticale, con inclinazione inferiore o uguale a 15° e profondità pari a 36 m. dal piano di campagna.
- Esecuzione di N° 6 prove penetrometriche in foro di tipo S.P.T.
- Prelievo a metri 9,50 e metri 24,50 di N° 2 campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio terre,
- Esecuzione di 1 prospezione sismica nel foro di sondaggio di tipo Down Hole, con rilievo delle onde P e delle onde S (35 punti di misura), successivamente alla conclusione della perforazione e strumentazione del foro con tubatura in PVC cementata con boiaccia.

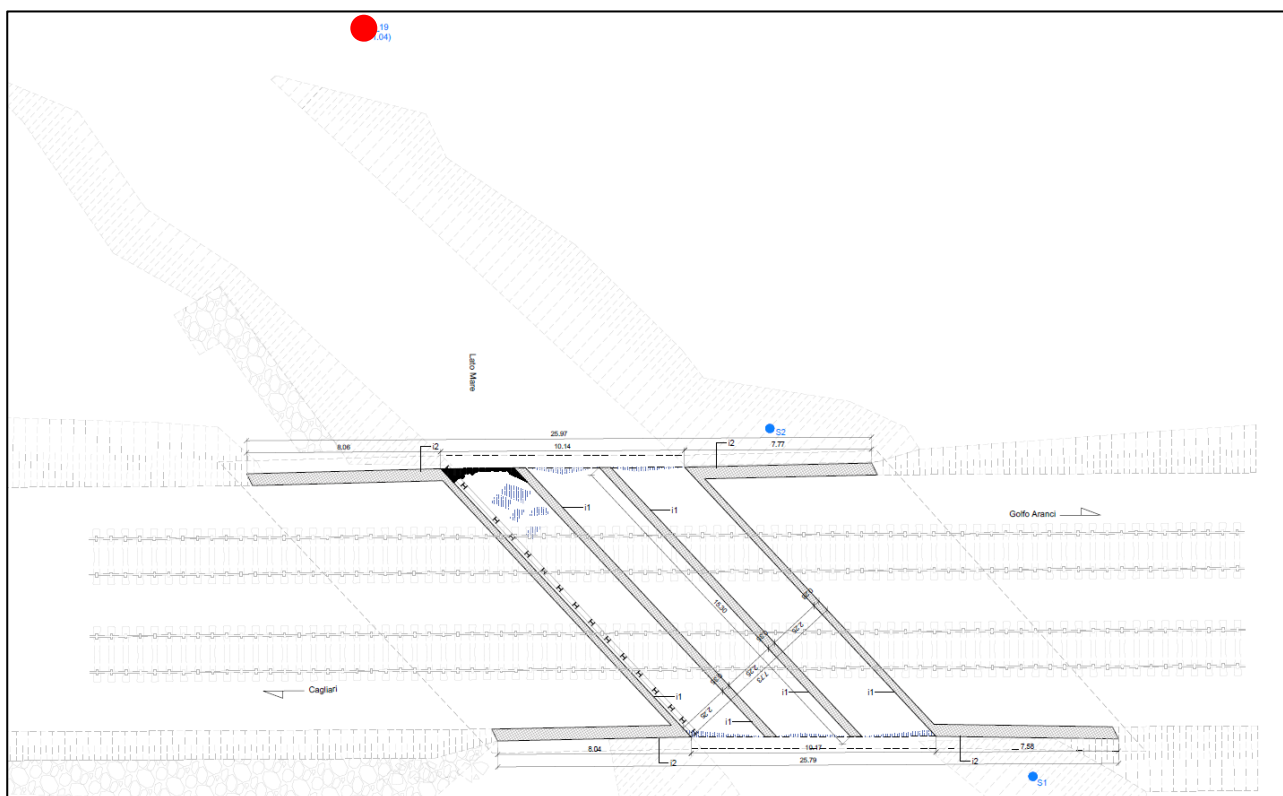


Figura 14 – Ubicazione indagini del 2019 (S2_19)

Committente: RFI	Sondaggio: Km 4+676 S2
Riferimento: D.T.P. Linea Ferroviaria Decimomannu Villamassargia	Data: 20/07/2019
Coordinate: 39.247653 9.080564 WGS84	Quota: 1.04 metri
Perforazione: Carotaggio Continuo	

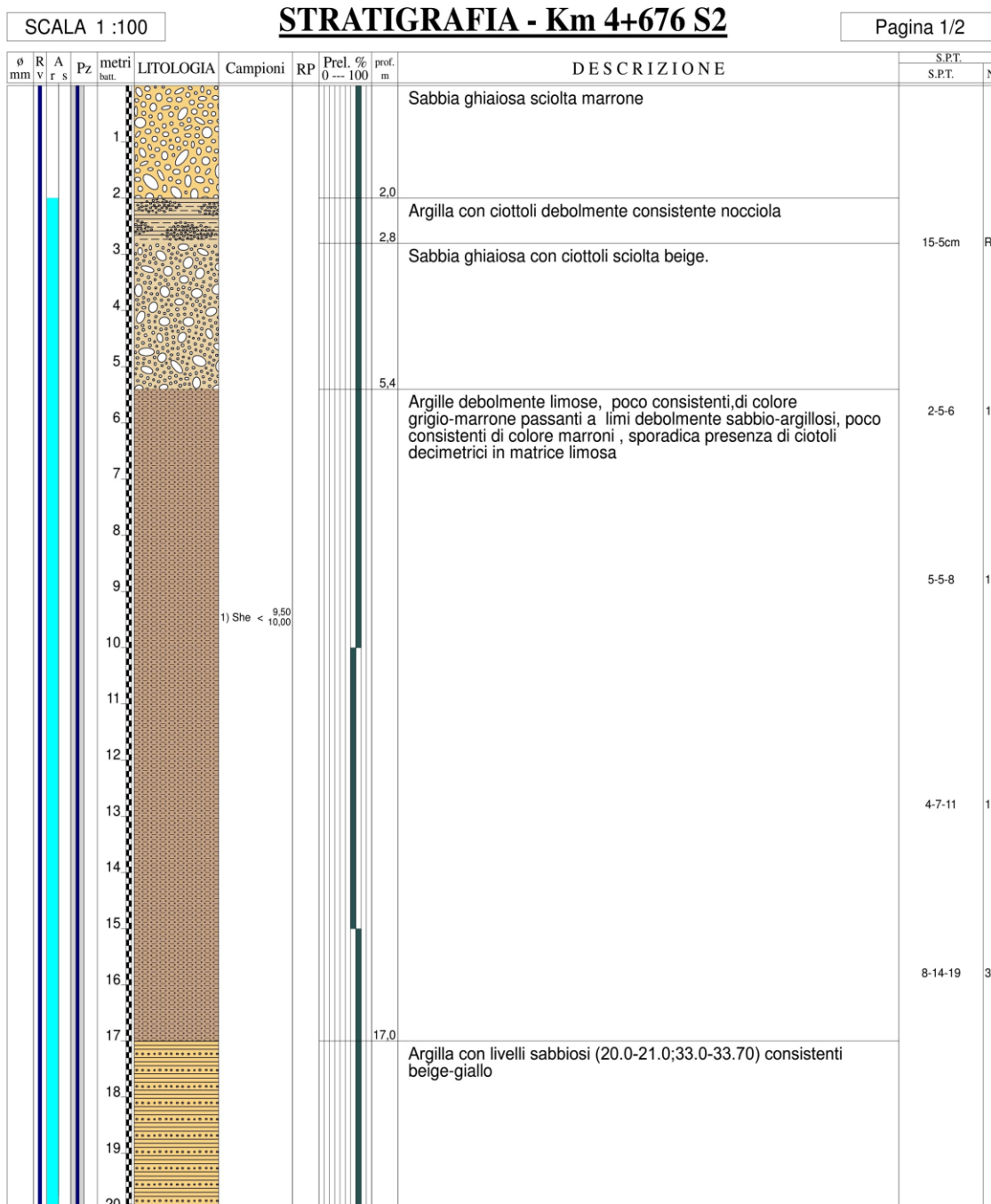


Figura 15 – Stratigrafia sondaggio S.2_19 pag.1/2

Committente: RFI	Sondaggio: Km 4+676 S2
Riferimento: D.T.P. Linea Ferroviaria Decimomannu Villamassargia	Data: 20/07/2019
Coordinate: 39.247653 9.080564 WGS84	Quota: 1.04 metri
Perforazione: Carotaggio Continuo	

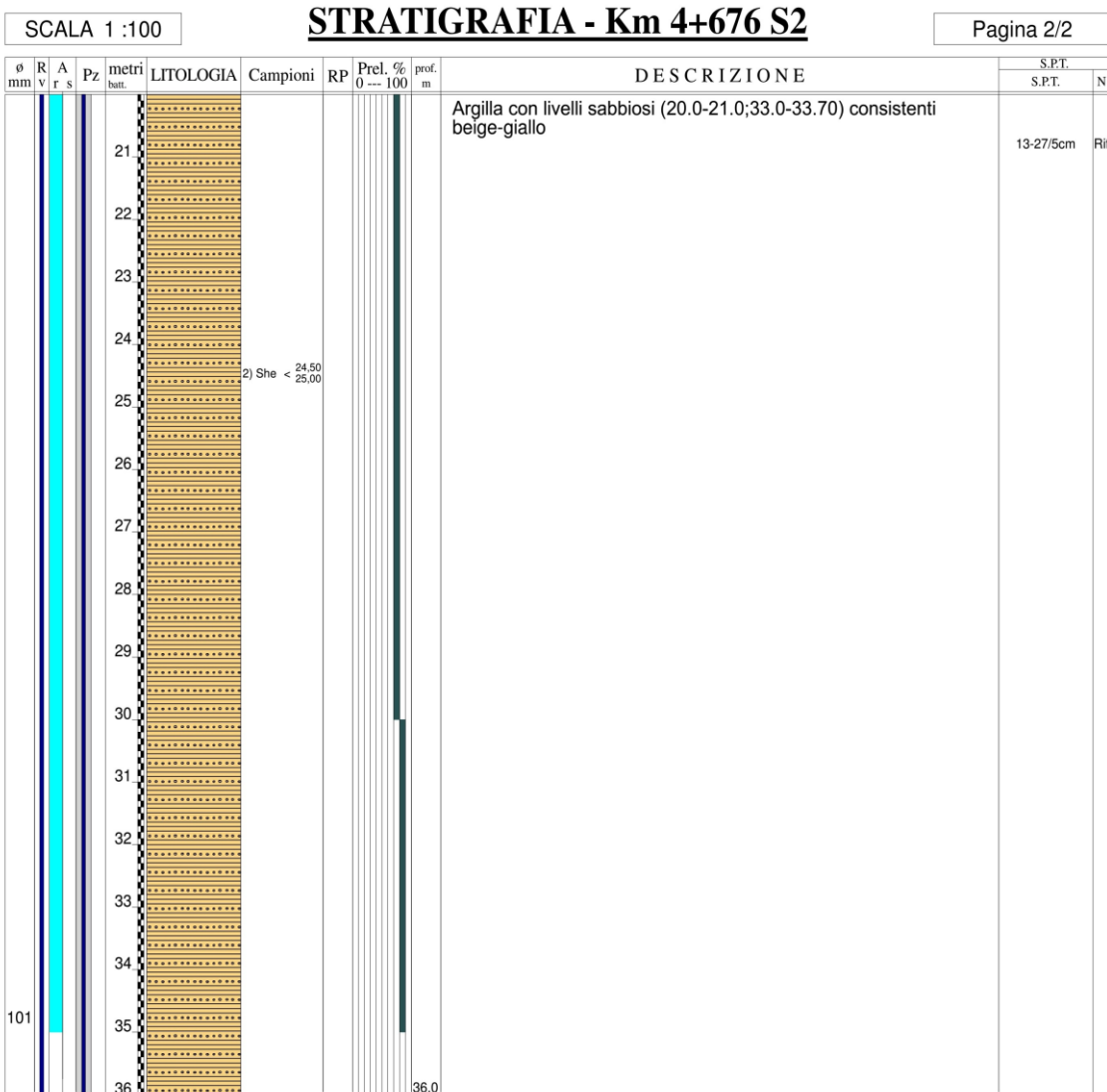


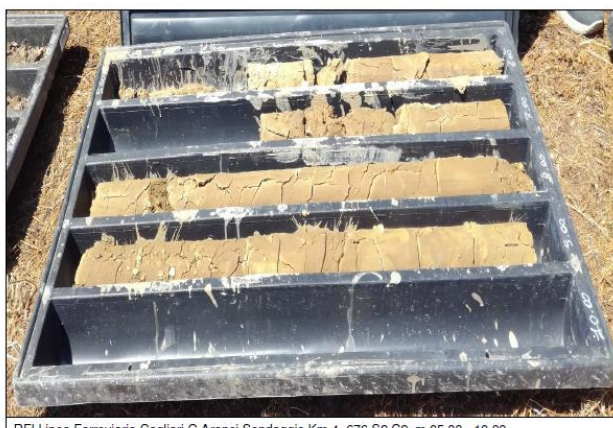
Figura 16 - Stratigrafia sondaggio S.2_19 pag.2/2



RFI Linea Ferroviaria Cagliari G.Aranci Sondaggio Km 4+676 S2 C1 m 0.00 - 05.00



RFI Linea Ferroviaria Cagliari G.Aranci Sondaggio Km 4+676 S2 C3 m 10.00 - 15.00



RFI Linea Ferroviaria Cagliari G.Aranci Sondaggio Km 4+676 S2 C2 m 05.00 - 10.00



RFI Linea Ferroviaria Cagliari G.Aranci Sondaggio Km 4+676 S2 C4 m 15.00 - 20.00

6.2 Indagini geognostiche del 2024

Come sopra anticipato, in questa fase di progettazione, sono stati eseguiti n.3 nuovi sondaggi a carotaggio continuo, di cui uno attrezzato a piezometro. Le nuove indagini geognostiche sono servite a meglio ricostruire la stratigrafia del sito di progetto ed a incrementare i parametri geotecnici, utili ai fini dei calcoli strutturali. Durante l'esecuzione dei sondaggi, sono stati prelevati campioni per successive analisi geotecniche di laboratorio e condotte prove penetrometriche in foro di tipo SPT.

Nello specifico sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.3 tre fori di sondaggio a carotaggio continuo (S2_23, S3_23 e S4_23), rispettivamente con le seguenti profondità dal piano campagna: S2_23 profondità 55,00 m; S4_23 profondità 50,00 m; S3_23 profondità 25,00 m ed attrezzato a piezometro a Tubo Aperto;
- 9 prove penetrometriche dinamiche in foro si tipo SPT;
- prelevati complessivamente n.12 campioni indisturbati e n.9 campioni rimaneggiati), successivamente avviati al laboratorio geotecnico per le analisi di laboratorio previste.
- n. 1 indagine sismica Masw , n.1 indagine sismica Esac e n.2 indagini sismiche deo microtremoni (HVSR).

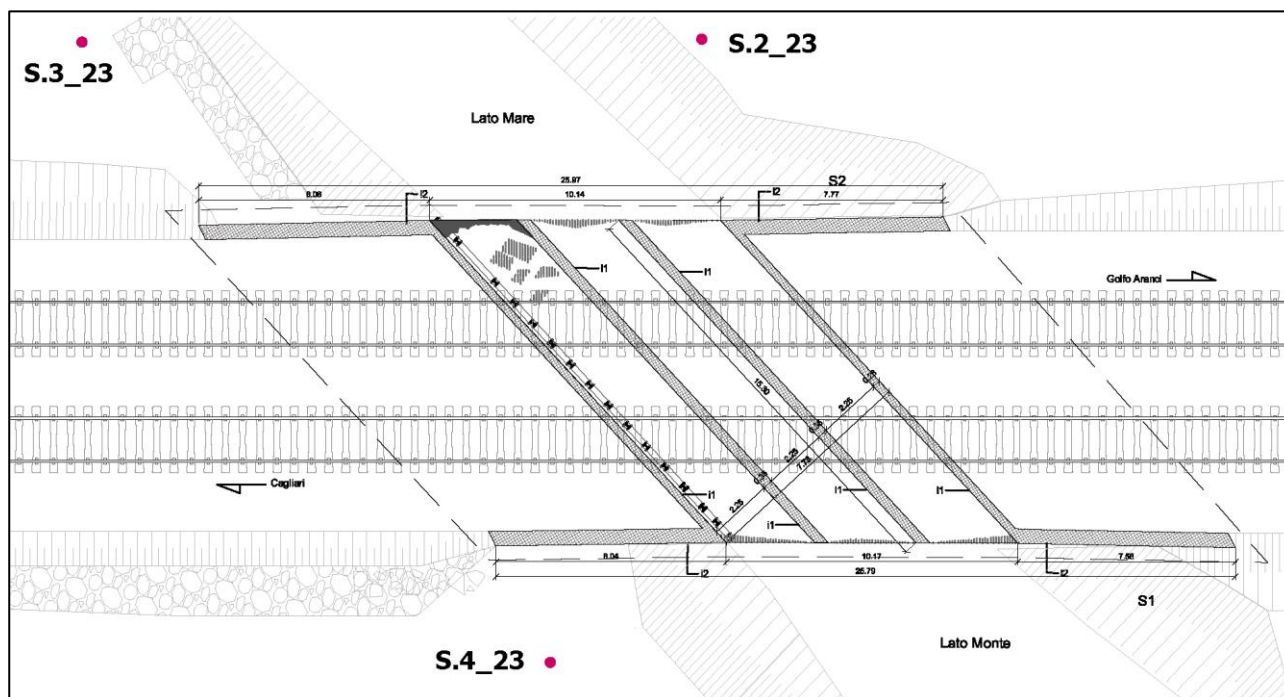
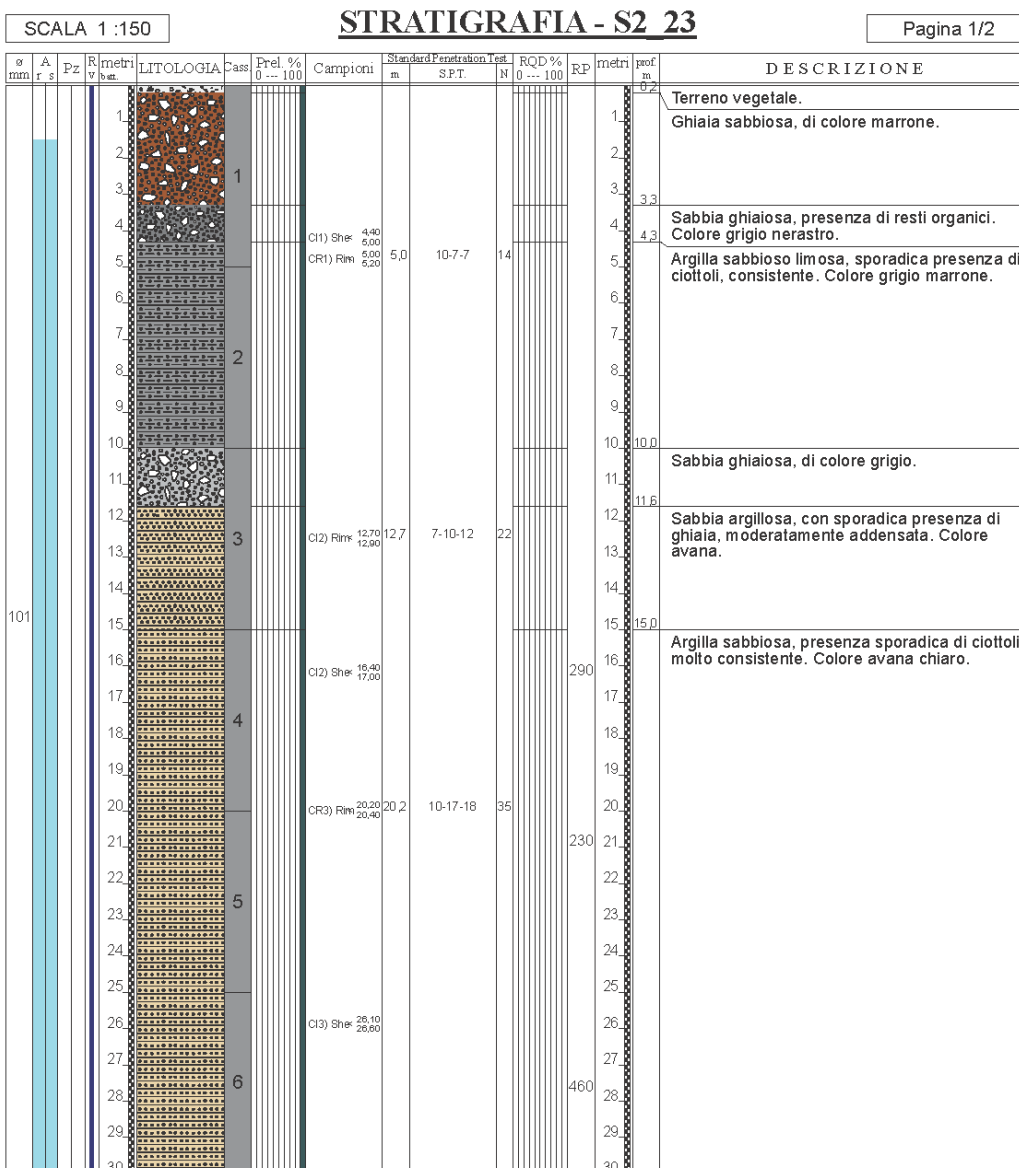


Figura 17 – Ubicazione indagini campagna 2024

A seguire si riportano le stratigrafie dei sondaggi e relative foto di ubicazione e cassette catalogatrici.

Committente: R.F.I. S.P.A. - DOIT di Cagliari	Sondaggio: S2_23
Riferimento: RFI Linea Cagliari-Golfo Aranci - Km 4+676	Data: 02-05/04/2024
Coordinate: Lat. 39.24778 Long. 9.080604	Quota: 0,90 m. s.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo con carotiere semplice e doppio con corona diamantata, perforatrice Beretta T44	



Committente: R.F.I. S.P.A. - DOIT di Cagliari	Sondaggio: S2_23
Riferimento: RFI Linea Cagliari-Golfo Aranci - Km 4+676	Data: 02-05/04/2024
Coordinate: Lat. 39.24778 Long. 9.080604	Quota: 0,90 m. s.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo con carotiere semplice e doppio con corona diamantata, perforatrice Beretta T44	

SCALA 1:150

STRATIGRAFIA - S2_23

Pagina 2/2

Ø mm	A r s	Pz	R v metri b et.	LITOLOGIA	Cass	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	RP	metri	prof m	DESCRIZIONE
101			31	7			Cl4) She: 32,40 33,00						31	32,0	Argilla sabbiosa, presenza sporadica di ciottoli, molto consistente. Colore avana chiaro.
			32										32	32,3	Ghiaia sabbiosa.
			33										33		
			34										34		Argilla sabbiosa, a tratti debolmente ghiaiosa, molto consistente. Colore marrone chiaro.
			35	8			Cl5) She: 38,40 39,00						35		
			36										36		
			37										37		
			38										38	490	
			39	9			Cl6) She: 42,10 42,70						39		Argilla debolmente sabbiosa, molto consistente. Colore avana
			40										40		
			41										41		
			42										42	470	
			43	10									43	44,2 44,5	Ghiaia sabbiosa.
			44										44		
			45										45		Argilla debolmente sabbiosa, molto consistente. Colore avana
			46										46		
			47	11									47		
			48										48		
			49										49	320	
			50										50		
			51				CR4) Rim: 48,50 60,00	49,5	28-35-45	80			51		
			52										52		
			53										53		
			54										54		
			55										55	55,0	

Sondaggio a carotaggio continuo 55,00 m, utilizzate n. 11 cassette catalogatrici, prelevati n. 6 campioni indisturbati e n. 4 campioni rimaneggiati, eseguite n. 4 prove S.P.T., posizionato rivestimento provvisorio diam. 127 mm spinto sino alla profondità di 55,00 m.



Postazione Sondaggio S2_23



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00



Cassetta n° 7 - profondità da m 30,00 a m 35,00



Cassetta n° 8 - profondità da m 35,00 a m 40,00



Cassetta n° 9 - profondità da m 40,00 a m 45,00



Cassetta n° 10 - profondità da m 45,00 a m 50,00



Cassetta n° 11 - profondità da m 50,00 a m 55,00

Committente: R.F.I. S.P.A. - DOIT di Cagliari	Sondaggio: S3_23
Riferimento: RFI Linea Cagliari-Golfo Aranci - Km 4+676	Data: 08/04/2024
Coordinate: Lat. 39.247499 Long. 9.080677	Quota: 2,30 m. s.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo con carotiere semplice e doppio con corona diamantata, perforatrice Beretta T44	

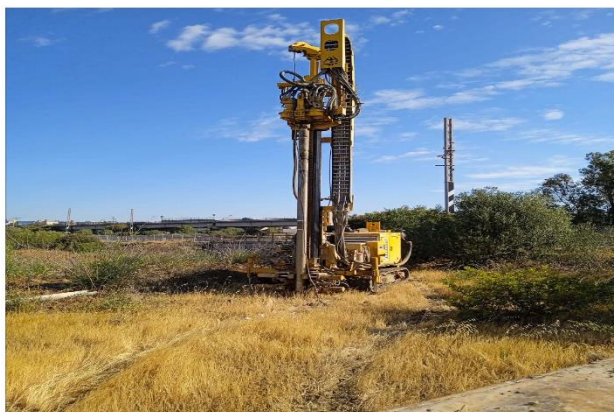
SCALA 1:150

STRATIGRAFIA - S3_23

Pagina 1/1

Ø mm	A r s	Pz	R v	metri batt.	LITOLOGIA	Cass	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	RF	metri	prof m	DESCRIZIONE
				1										1		Terreno vegetale.
				2										2		
				3										3	3.0	Sabbia argillosa, presenza di sporadici ciottoli. Colore marrone chiaro.
				4										4		
				5										5		
				6										6	6.0	Argilla debolmente sabbiosa, consistente. Colore avana.
				7										7		
				8										8		
				9										9		
				10										10		
				11										11		
				12										12		
				13										13		
				14										14		
				15										15		
				16										16		
				17										17		
				18										18		
				19										19		
				20										20	19.9	Argilla debolmente sabbiosa, molto consistente. Colore avana chiaro.
				21										21		
				22										22		
				23										23		
				24										24		
				25										25	25.0	

Sondaggio a carotaggio continuo 25,00 m, utilizzate n. 4 cassette catalogatrici, prelevato n. 1 campione indisturbato, posizionato rivestimento provvisorio diam. 127 mm spinto sino alla profondità di 25,00 m. Installata tubazione in pvc per piezometro a tubo aperto fino a 25,00 m.



Postazione Sondaggio S3_23



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00

Committente: R.F.I. S.P.A. - DOIT di Cagliari	Sondaggio: S4_23
Riferimento: RFI Linea Cagliari-Golfo Aranci - Km 4+676	Data: 09-12/04/2024
Coordinate: Lat. 39.247763 Long. 9.0810150	Quota: 1,50 m. s.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo con carotiere semplice e doppio con corona diamantata, perforatrice Beretta T44	

SCALA 1 :150

STRATIGRAFIA - S4 23

Pagina 1/2

Ø mm	A r s	Pz	R v	metri bat.	LITOLOGIA	Cass	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test	N	RQD % 0 --- 100	RP	metri	prof m	DESCRIZIONE					
101				1.				C1) Sher: 4,00 4,60				140	1.	1,0	Terreno vegetale.					
				2.	Ghiaia sabbiosa, di colore marrone.															
				3.	Argilla sabbioso limosa, presenza sporadica di ciottoli fino a 2,60 m, da consistente a molto consistente. Colore avana chiaro.															
				4.																
				5.																
				6.																
				7.	2									CR1) Rim: 8,20 6,70	6,2	2-4-4	8	90	7.	
				8.																
				9.																
				10.																
				11.																
				12.																
				13.	3									CR2) Rim: 10,20 10,60	10,2	11-12-12	24	280	13.	
				14.																
				15.																
				16.																
				17.																
				18.																
				19.	4									Cl2) Sher: 17,40 18,00				500	19.	
				20.																
				21.																
				22.																
				23.																
				24.																
				25.	5									CR3) Rim: 20,00 20,40	20,0	15-22-29	51	500	25.	
				26.																
				27.																
				28.																
				29.																
				30.																
27.	6		Cl3) Sher: 27,00 27,60				420	27.												
28.																				
29.																				
30.																				

Committente: R.F.I. S.P.A. - DOIT di Cagliari	Sondaggio: S4_23
Riferimento: RFI Linea Cagliari-Golfo Aranci - Km 4+676	Data: 09-12/04/2024
Coordinate: Lat. 39.247763 Long. 9.0810150	Quota: 1,50 m. s.l.m.
Perforazione: a carotaggio continuo con carotiere semplice e doppio con corona diamantata, perforatrice Beretta T44	

SCALA 1:150

STRATIGRAFIA - S4_23

Pagina 2/2

Ø mm	A r s	Pz	R v bet.	metri v	LITOLOGIA	Cass	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	RP	metri prof m	DESCRIZIONE
101				31		7				11-19-26	45			31	Argilla sabbioso limosa, presenza sporadica di ciottoli fino a 2,60 m, da consistente a molto consistente. Colore avana chiaro.
				32										Ghiaia sabbiosa molto addensata.	
				33											
				34											
				35											
				36	Cl4) She 38,00 38,60										
				37		8							320	37	Argilla sabbiosa, molto consistente. Colore marrone chiaro.
				38											
				39											
				40											
				41											
				42											
				43											
				44											
				45										Cl5) Rim 44,40 45,00	
				46										CR5) Rim 46,40 46,40	
47		9								500	47	Ghiaia sabbiosa.			
48											Argilla debolmente sabbiosa, molto consistente. Colore avana				
49															
50															

Sondaggio a carotaggio continuo 50,00 m, utilizzate n. 10 cassette catalogatrici, prelevati n. 5 campioni indisturbati e n. 5 campioni rimaneggiati, eseguite n. 5 prove S.P.T., posizionato rivestimento provvisorio diam. 127 mm spinto sino alla profondità di 50,00 m.



Postazione Sondaggio S4_23



Cassetta n° 1 - profondità da m 0,00 a m 5,00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5,00 a m 10,00



Cassetta n° 3 - profondità da m 10,00 a m 15,00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15,00 a m 20,00



Cassetta n° 5 - profondità da m 20,00 a m 25,00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25,00 a m 30,00



Cassetta n° 7 - profondità da m 30,00 a m 35,00



Cassetta n° 8 - profondità da m 35,00 a m 40,00



Cassetta n° 9 - profondità da m 40,00 a m 45,00



Cassetta n° 10 - profondità da m 45,00 a m 50,00

6.3 Modello geologico stratigrafico

Sulla base dei risultati delle indagini pregresse e quelle integrate per questa fase di studio è stato possibile definire in dettaglio il modello geologico del sito.

Dal piano campagna verso il basso, ad esclusione dello spessore di terreno vegetale, mediamente 0.50/1.0 metri, si possono discretizzare tre unità geologiche:

- Unità 1 – Ghiaia sabbiosa marrone e livelli di sabbie ghiaiose grigiastre, con uno spessore variabile da 2.0 metri a 5.0 metri;
- Unità 2 – Argilla sabbiosa con sporadica presenza di ciottoli, mediamente consistente, di colore avana, a luoghi intercalata da livelli di sabbie ghiaiose. Lo stato di addensamento si incrementa significativamente con la profondità. Presenta uno spessore medio di circa 20.0/25.0 metri;
- Unità 3: - Argille debolmente sabbiose con elevato stato di addensamento. A luoghi presenza di sottili livelletti di ghiaie sabbiose. Presenta uno spessore medio di oltre 20.0 metri.

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel presente capitolo si riporta nel dettaglio la modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito direttamente interessato dalle opere in progetto, in conformità a quanto previsto dalle NTC 2018.

Lo studio riferisce sulla categoria di sottosuolo, categoria topografica ed i coefficienti in base ai quali saranno determinate le azioni sismiche da applicare. Per la caratterizzazione sismica di base, si è utilizzato l’approccio semplificato, in quanto il sito di progetto non presenta contrasti di impedenza sismica lungo la verticale del sito e all’opera in progetto, nel rispetto di quanto sancito dalle NTC vigenti al paragrafo 3.2 e dalla Circolare esplicativa delle NTC al paragrafo C. 3.2. Il dato di partenza per la definizione dell’azione sismica ha come punto di partenza lo studio di pericolosità sismica italiana di base, i cui risultati sono stati prodotti e messi in rete dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). L’azione sismica è valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie topografica orizzontale. La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito un parametro che descrive il moto sismico superi un valore prefissato. Nelle NTC 2018, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” V_R e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} .

A seguito dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e.s.m.i., aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004 il Comune di Cagliari è sismicamente classificato in zona 4 “Zona con pericolosità sismica molto bassa”. I criteri per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell’Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l’intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell’accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni. Già con l’entrata in vigore delle NTC 2008, attualmente NTC 2018 è stata realizzata una mappa della pericolosità sismica che copre l’intero territorio nazionale. Dall’analisi di tale mappa messa a disposizione dall’INGV si evince che l’area in studio è caratterizzata da una accelerazione orizzontale al bedrock calcolata con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $< 0.025g$.

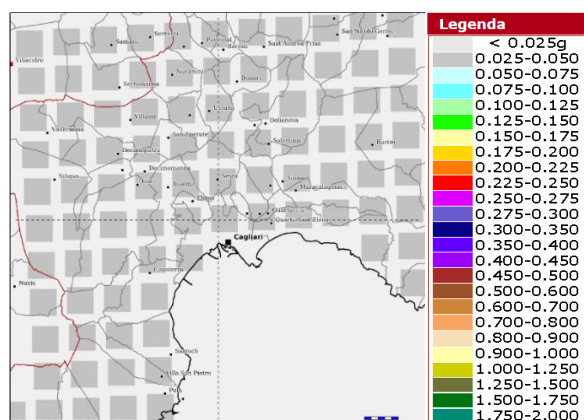


Figura 18 - Valori di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s cat.). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Tale discretizzazione sismica del territorio nazionale è stata recepita anche dalle NTC 2018. La normativa vigente prevede la verifica diretta della Risposta Sismica Locale con relativa identificazione dei parametri spettrali caratteristici del sito in studio, ovvero da la possibilità di eseguire una analisi semplificata utilizzando spettri di risposta sismica sintetici legati a specifiche categorie di suolo e alle caratteristiche topografiche del sito secondo quanto inserito nelle tabelle seguenti.

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1 - Classi di suolo (TAB 3.2.II NTC 2018)

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

Tabella 2 - Categorie topografiche (TAB 3.2.III NTC 2018)

7.1 Storia sismica del sito

Il terremoto è uno dei fenomeni che possono contribuire a innescare episodi di dissesto nel tessuto urbano, risulta necessario un esame puntuale della storia sismica di sito, per verificare se in passato si sono avuti effetti di danneggiamento nell'area di Cagliari. La Sardegna è di per se un territorio con bassa attività sismica, l'area del Cagliaritano appare interessata in modo molto marginale dalla attiva sismica Attraverso la consultazione del Database Macrosismico Italiano DBMI15 messo a disposizione dall'INGV è stato possibile individuare gli eventi sismici che hanno interessato il Comune di Cagliari a partire dall'anno 1000 fino al 2000.

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
F	1616	06	04				Sardegna meridionale	10	6-7 4.91
5	1771	08	17	18			Sardegna meridionale	7	5 4.43
NF	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9 6.27
3	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5 4.52
NF	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
2	2000	04	26	13	37	4	Tirreno centrale	265	4.77

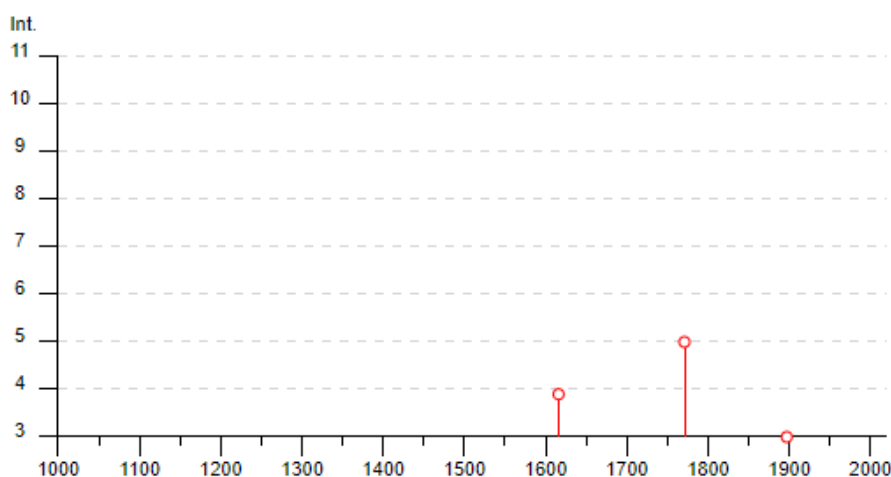


Figura 19 - Storia sismica e diagramma intensità sismiche (da INGV), abitato di Cagliari.

7.2 Sorgenti sismogenetiche limitrofe

La versione attuale (3.3.0) del “Database of Individual Seismogenic Sources – A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas” (DISS INGV <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>), contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. Obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Nel database non sono presenti sorgenti sismogenetiche per l'area in oggetto, la più vicina è posta a circa 100 Km a sud, denominata DZCS002 “Northern Africa offshore – East”.

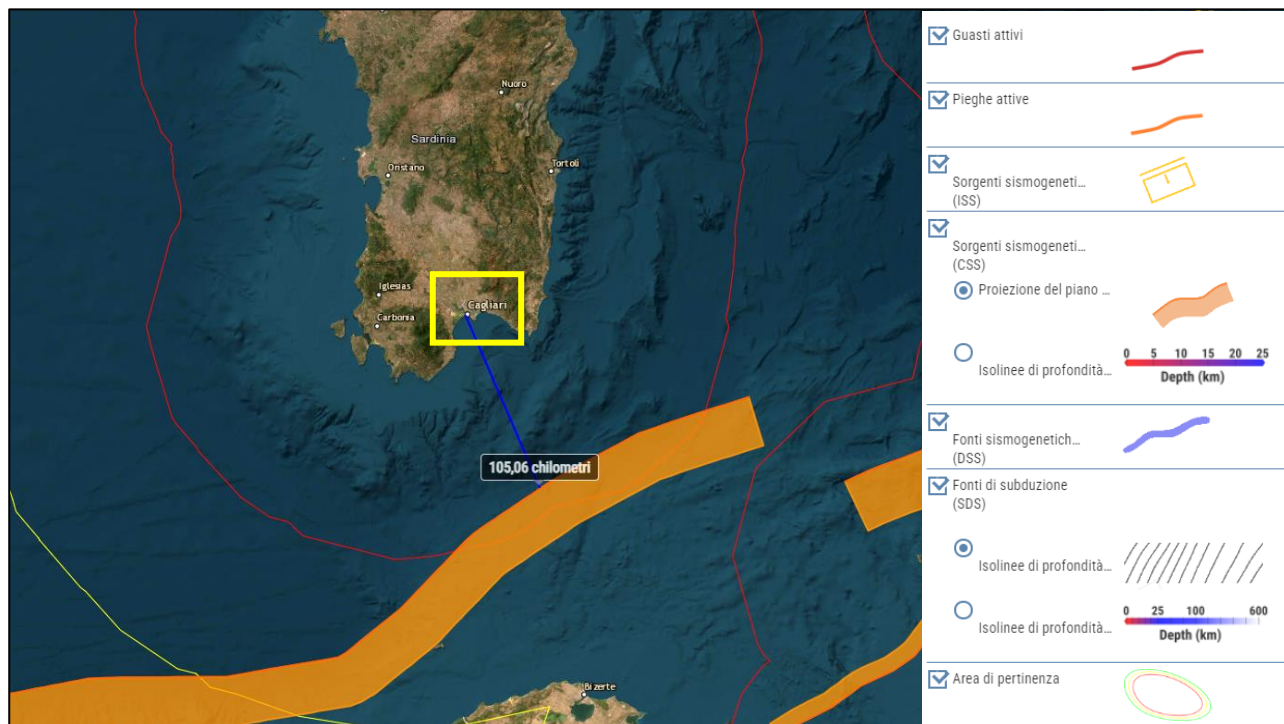


Figura 20 - Sorgenti sismogenetiche contenute nel DISS 3.3.0 per l'area in oggetto (indicata in giallo)

INFORMAZIONE GENERALE

ID DISS	DZCS002
Nome	Nord Africa al largo - Est
Compilatore/i	Tiberti MM(1), Petricca P.(2), Basili R.(1)
Contributori)	Tiberti MM(1), Petricca P.(2), Basili R.(1)
Affiliazione/i	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italia 2) Università di Roma La Sapienza; Dipartimento di Scienze della Terra; Roma, Italia
Creato	03/08/2006
Aggiornato	20/05/2010

INFORMAZIONI PARAMETRICHE

Parametro	Qualità	Evidenza
Profondità minima [km]	1.0	EJ Dedotto da considerazioni tettoniche regionali.
Profondità massima [km]	25.0	EJ Dedotto da considerazioni tettoniche regionali.
Colpo [gradi] min... max	40...90	EJ Dedotto da considerazioni tettoniche regionali.
Dip [gradi] min... max	30...50	EJ Dedotto da considerazioni tettoniche regionali.
Spoglia [gradi] min... max	80...110	EJ Dedotto da considerazioni tettoniche regionali.
Velocità di scorrimento [mm/a] min... max	0.9000... 1.7000	L.D Basato su dati geologici (Kherroubi et al., 2009).
Magnitudine massima [Mw]	8.0	E.R Stimato dalle relazioni di scala di Leonard (2014).

LD=Dati Di Letteratura; OD=Dati Originali; ER=Relazione Empirica; AR=Relazione Analitica; EJ=Giudizio Esperto

Figura 21 - Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica maggiormente vicine all'area in oggetto

7.3 Caratterizzazione sismica sito di progetto

Per la caratterizzazione di un sito, il D.M. 14/01/2008 prevedeva la determinazione della Vs30, dall'entrata in vigore delle nuove N.T.C./2018 (D.M. 17 gennaio 2018), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione, la classificazione può effettuarsi in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni.

La velocità equivalente delle onde di taglio è definita dalla seguente espressione:

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

Dove:

- h_i : spessore (in metri) dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N: numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Nel presente studio, per la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione sono stati utilizzati i dati dell'indagine sismica MASW ed ESAC condotte nel 2024, confrontando le risultanze con la prova sismica in foro di tipo down hole condotta nel 2019.

La prospezione geosismica attiva di superficie di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), è una tecnica attiva multicanale per la generazione e registrazione di onde di superficie (surface waves), che permette di studiare le proprietà dispersive medie del mezzo lungo l'intero stendimento.

L'indagine sismica con metodologia ESAC è una tecnica di elaborazione di misure passive che può essere vista come una generalizzazione del metodo ReMi e una estensione del metodo SPAC. Tale metodo consente di investigare frequenze più basse rispetto alla indagine Masw, ottenendo informazioni sugli strati più profondi di terreno.

L'indagine in foro di tipo down hole consente di avere lungo l'intera verticale del foro di sondaggio una misura diretta delle onde P ed onde S con passo di lettura ad ogni metro.

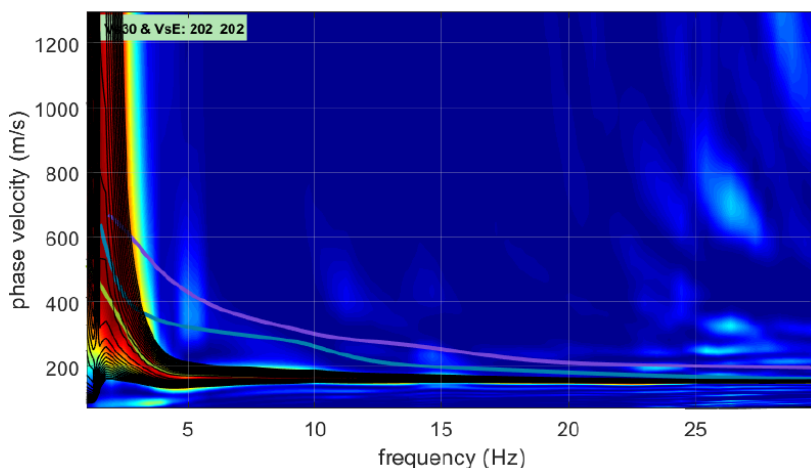


Figura 22 - Spettro di velocità di fase – frequenze (onde di Rayleigh) MASW

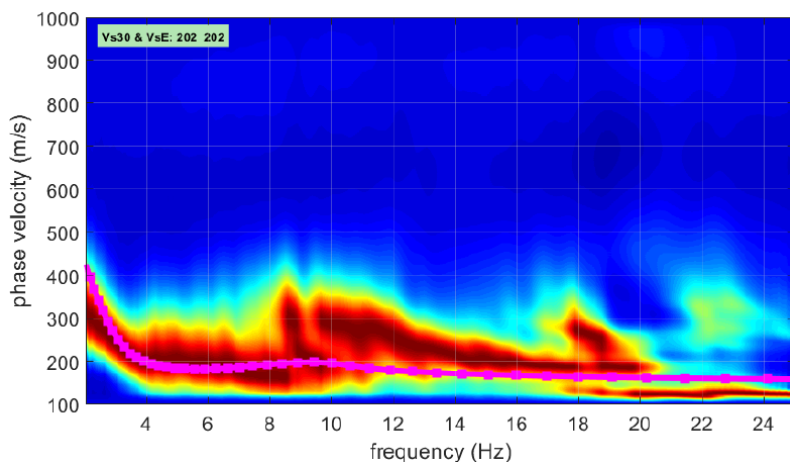


Figura 23 - Spettro di velocità di fase – frequenze (onde di Rayleigh) ESAC

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1	0.2	0.2	145
2	0.4	0.2	76
3	1.1	0.7	151
4	5.6	4.5	175
5	13.6	8.0	210
6	20.6	7.0	150
7	32.6	12.0	320
8	>32.6	==	350

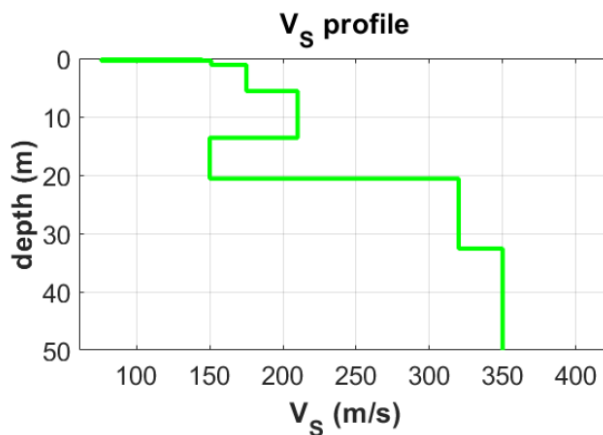


Figura 24 – Risultati elaborato congiunto MASW - ESAC

Dai risultati si evince un valore di $V_{s,eq} = 202$ m/s. La categoria di sottosuolo è la **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.

Analogha categoria di suolo era stata riscontrata nella prova down hole, ove la $V_{s,eq}$ misurata è stata di 291 m/s.

Relazione Geologica

REV. A | FOGLIO 44 di 44

Riferimento RFI Linea Cagliari Olbia
Località Elmas
N° Sondaggio S2
Prova Km 4+676
Coordinate 39,247653 9,080564

Data : 09/10/19
Quota foro 1,04 m. s.l.m.
Quota Fondazione -1,89 metri
Offset Battuta 3
Falda -1

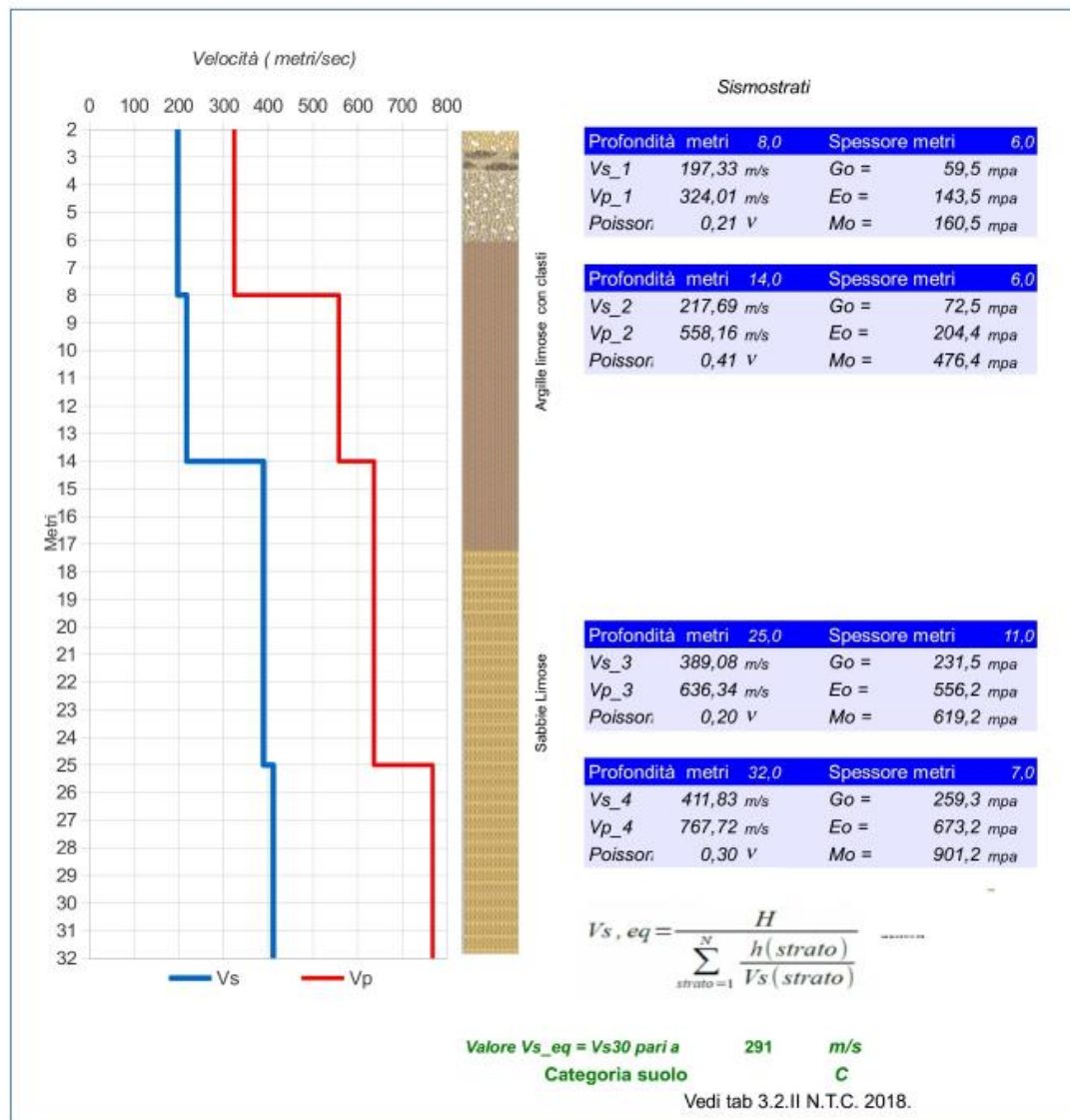


Figura 25 – Elaborato prova down hole (2019)

Altro valore sismicamente importante è stato fornito dalle risultanze delle due prove dei microtremori in campo libero (HVSr). Le misure, eseguite in prossimità degli estremi dello stendimento MASW-ESAC, hanno evidenziato la presenza di un “picco” nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0,5 – 20 Hz) ad una frequenza di circa 1.2/1.3 Hz.