

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. ARCHITETTURA, AMBIENTE E TERRITORIO

S.O GEOLOGIA TECNICA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Collegamento Aeroporto Olbia

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

SCALA:

Relazione generale

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RR00 10 R 69 RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Pagne F. Fassinari	Ottobre 2022	P. Balbi	Ottobre 2022	T. Paoletti	Ottobre 2022	M.COMEDINI Ottobre 2022 <i>Marino Comedini</i>

File: RR0000R69RGGE0001001A

n. Elab.

INDICE

1	PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	7
3.1	ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE	7
3.2	UNITÀ SEDIMENTARIE E VULCANICHE TERZIARIE E QUATERNARIE DELLA SARDEGNA	12
3.3	ASSETTO STRATIGRAFICO DELLA PIANA COSTIERA DI OLBIA.....	15
	3.3.1 <i>Caratteristiche stratigrafiche sito-specifiche</i>	17
3.4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE A SCALA REGIONALE.....	19
	3.4.1 <i>Assetto geomorfologico sito-specifico</i>	20
3.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	21
	3.5.1 <i>Assetto idrogeologico sito-specifico</i>	24
4	INQUADRAMENTO SISMICO.....	25
4.1	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO	28
4.2	CATEGORIE TOPOGRAFICHE.....	29
4.3	MACRO SISMICITÀ DELLE AREE DI INTERVENTO.....	30
5	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRAULICA.....	32
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	33
6.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	33
	6.1.1 <i>Descrizione dei mezzi utilizzati</i>	34
	6.1.2 <i>Descrizione delle attività eseguite</i>	35
6.2	INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO	39

6.3	INDAGINI SISMICHE MASW	39
6.4	INDAGINE SISMICA HVSR	40
6.5	PROVA SISMICA IN FORO DOWN-HOLE	41
6.6	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P E ONDE S	42
7	RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE	44
7.1	RISULTATI PROVE SPT IN FORO	44
7.2	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ	44
7.3	RISULTATI PROVE DILATOMETRICHE	45
7.4	RISULTATI PROVE PRESSIOMETRICHE	49
7.5	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	49
8	PROGETTO DI COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA: QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO	50
8.1	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA	52
9	FRONTI DI SCAVO: CLASSIFICAZIONI E CARATTERIZZAZIONI GEOMECCANICHE	53
10	DESCRIZIONE DEI SETTORI D'INTERVENTO	56
10.1	Pk 0,0 – Pk 1,170 (PIANA DEL PAULE LONGA)	56
10.2	Pk 1,170 – Pk 1,855 (CRESTA MONTUOSA – VIA CALTANISSETTA)	57
10.3	Pk 1,855 – Pk 2,898 (ALLUVIONI TERRAZZATE DEL FIUME PADROGIANO)	58
10.4	Pk 2898 – Pk 3420,23 (AEROPORTO)	58
11	VERIFICHE DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	60
12	BIBLIOGRAFIA	62

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nell'ambito del servizio di progettazione per la realizzazione di una linea ferroviaria, di lunghezza 6,8 km circa, a semplice binario di collegamento tra la stazione di Olbia Terranova e l'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, è stato redatto il presente documento inerente lo studio dei terreni interessati dal Progetto di Fattibilità.

La modellazione geologica del territorio in esame è desunta dalle indagini in sito realizzate a supporto del progetto oltre che dallo studio del materiale bibliografico esistente e scopo del presente lavoro è analizzare e descrivere la situazione morfologica, idrogeologica e geo-litologica generale, determinare la natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo e le loro caratteristiche fisico-meccaniche.

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa del settore geotecnico e delle costruzioni ed in particolare modo si evidenziano:

- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- D.M 21 gennaio 1981 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Dir. Centr. Tecn. n°. 97/81 – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods, 1981.
- D.M LL.PP. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n°30483 – “Istruzioni applicative al D.M 11/03/88”.
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Circolare n. 5205 del 15/07/05 del Min. Ambiente – Indicazioni per l'operatività nel settore edile, stradale e ambientale ai sensi del D.M 08/05/03 n.203;

- D.M 14.09.2005 - “Norme tecniche sulle costruzioni”.
- D.M 14.01.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. II.TT. del 04/02/2008 - Circolare 617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. Infrastrutture del 14/01/2008”.
- D.M 17.01.2018 - “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- D.M 17.01.2018 - “Norme tecniche per le costruzioni”.

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Il tracciato di progetto si sviluppa a partire dalla linea ferroviaria esistente Olbia - Ozieri-Chilivani dalla quale, tramite una bretella si diramerà la nuova linea ferroviaria che raggiungerà l'aeroporto di Olbia.



Figura 2-1 – Tracciato di progetto.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	7 di 65

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Nel presente capitolo verrà descritta l'area in esame da un punto di vista geologico-geomorfologico e contestualmente verrà illustrata la componente idrogeologica locale.

3.1 Assetto geologico regionale

Poche altre regioni italiane presentano una storia geologica documentata tanto lunga e una varietà petrografica così vasta come la Sardegna. Nell'isola sono infatti rappresentate, in misura all'incirca equivalente, sia le rocce metamorfiche che quelle magmatiche e sedimentarie.

Il passato geologico della Sardegna è caratterizzato da più periodi evolutivi, ciascuno dei quali apporta sostanziali cambiamenti strutturali fino a raggiungere l'assetto attuale.

Le rocce affioranti più antiche, che hanno età compresa tra il Precambriano ed il Paleozoico superiore, mostrano un metamorfismo variabile da quello di alto fino a quello di basso grado e deformazioni che si sono prodotte fin dall'Orogenesi Caledoniana (490-390 milioni di anni fa) ma soprattutto durante quella Ercinica (350 e 250 milioni di anni fa).

Nel tardo Paleozoico la collisione delle placche continentali di Laurasia e Gondwana determina l'Orogenesi Ercinica. Durante questo periodo, compreso tra il Carbonifero inf. ed il Permiano, le spinte orogenetiche incominciano ad interessare anche la Sardegna.

Nei settori centrale e meridionale dell'Isola, le rocce paleozoiche, con spessori potenti migliaia di metri, vengono compresse, piegate, ribaltate, accavallate una sull'altra e subiscono un metamorfismo da medio a basso grado, tipico delle zone assiali e frontali di una catena a falde.

Oltre a ciò, l'orogenesi ercinica produce imponenti attività magmatiche di tipo intrusivo ed effusivo, con conseguenti processi di metamorfismo termico sulle rocce di contatto.

In Sardegna gli affioramenti di rocce magmatiche sono molto estesi e costituiscono quasi un terzo della superficie dell'isola, ed in particolare nel settore nord orientale di questa; si tratta essenzialmente di un complesso intrusivo tardoercinico, indicante un ambiente di margine convergente di arco insulare che si è formato, come detto in precedenza, nel Carbonifero-Permiano.

Le successive coperture post-erciniche sono invece rappresentate da rocce sedimentarie e vulcaniche solo debolmente deformate durante le fasi collisionali dell'ultima orogenesi alpina ed appenninica e durante le fasi di rifting che hanno portato all'apertura del Bacino Ligure - Balearico e successivamente del Mar Tirreno, tramite la cosiddetta "rotazione del blocco sardo-corso" e la successiva migrazione del fronte compressivo verso est.

Osservando la Figura proposta di seguito, si ha un quadro sintetico della distribuzione regionale e della

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A	FOGLIO 8 di 65

grande varietà petrografica delle diverse tipologie di rocce presenti sull'isola.

Il basamento sardo, come illustrato nella successiva Figura, si configura quindi come un segmento di catena ercinica in cui si distinguono: una Zona esterna nell'Iglesiente-Sulcis, una Zona a falde (interne ed esterne) dall'Arburese al Sarrabus-Gerrei e alla Sardegna centro-settentrionale ed una Zona assiale coincidente con la Sardegna settentrionale.

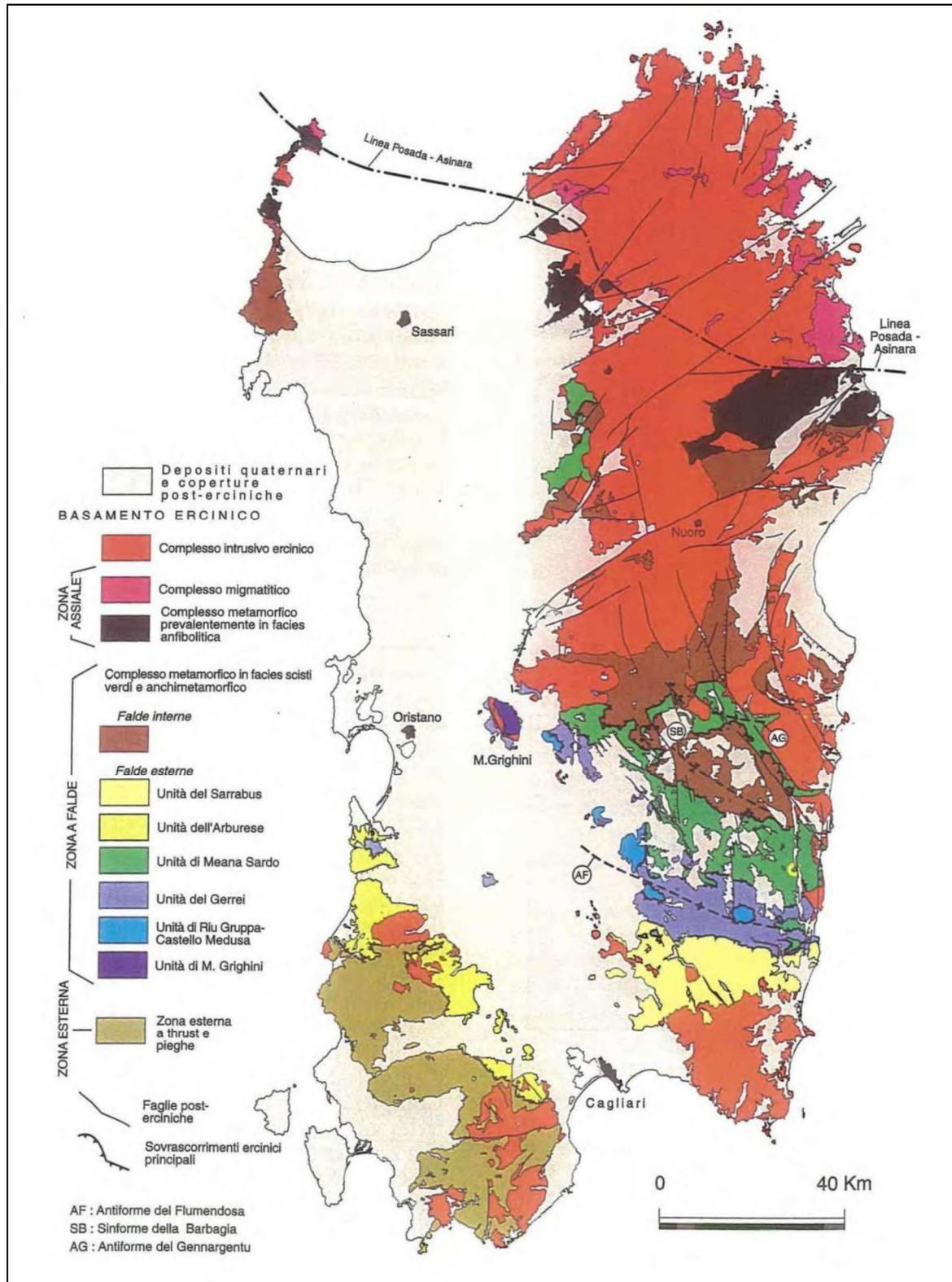


Figura 3-1 – Principali elementi strutturali del basamento sardo ercinico (Zona esterna, Zona a falde esterne e interne, Zona assiale) (Carmignani et al., 2001)

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

Tale basamento è caratterizzato da falde erciniche vergenti verso SO ("Zona a falde") interposte tra il Complesso metamorfico prevalentemente in facies anfibolitica della Sardegna settentrionale e la Zona esterna a sovrascorrimenti e pieghe ("Zona esterna") intensamente deformata, ma sostanzialmente autoctona, che affiora nella parte SO dell'Isola.

Trattandosi di un segmento della catena ercinica sud-europea separatosi dall'Europa solo nel Miocene inferiore (Burdigaliano), riposizionando, con una ricostruzione paleogeografica, il blocco sardo-corso nella sua originaria ubicazione pre-deriva miocenica, troviamo conferma che le strutture fondamentali del basamento delle due isole appartengono alla zolla europea ed hanno la loro prosecuzione in Provenza e Catalogna.

Infatti, nell'Oligocene la Corsica e la Sardegna si distaccarono dalle regioni di Francia e Spagna a cui erano contigue. La piccola placca che costituiva il blocco sardo-corso ruotò in senso antiorario e raggiunse la posizione attuale nel Miocene, circa 16-18 milioni di anni fa.

Anche i dati paleomagnetici, strutturali e le affinità litologiche e stratigrafiche confermano questa ricostruzione paleogeografica e indicano che il basamento sardo-corso era unito al basamento sud-europeo prima di staccarsi dal continente europeo e giungere nella sua attuale posizione.

Lo spostamento del blocco sardo-corso si accompagnò all'apertura di un piccolo oceano, il bacino Ligure - Provenzale. Il blocco sardo-corso ruotando verso Est andò a collidere con il promontorio di Adria e determinò l'attuale morfologia del settore occidentale dell'arco alpino.

Questa collisione provocò una serie di accavallamenti della crosta che, come illustrato schematicamente nella Figura 3-2, portarono alla formazione di una catena montuosa che possiamo definire come Appennini ancestrali.

Le diverse ricostruzioni della geometria di questa catena sono generalmente concordi nel delineare una cintura orogenica arcuata che dalla Spagna giungeva al Massiccio Centrale francese (Arco iberarmoricano).

La catena era bivergente, verso Nord e Sud, con al centro un'ampia fascia di rocce metamorfiche di medio e alto grado provenienti dai livelli medio-crostali, di età precedente al Carbonifero superiore in quanto i depositi di questa età la ricoprono in discordanza.

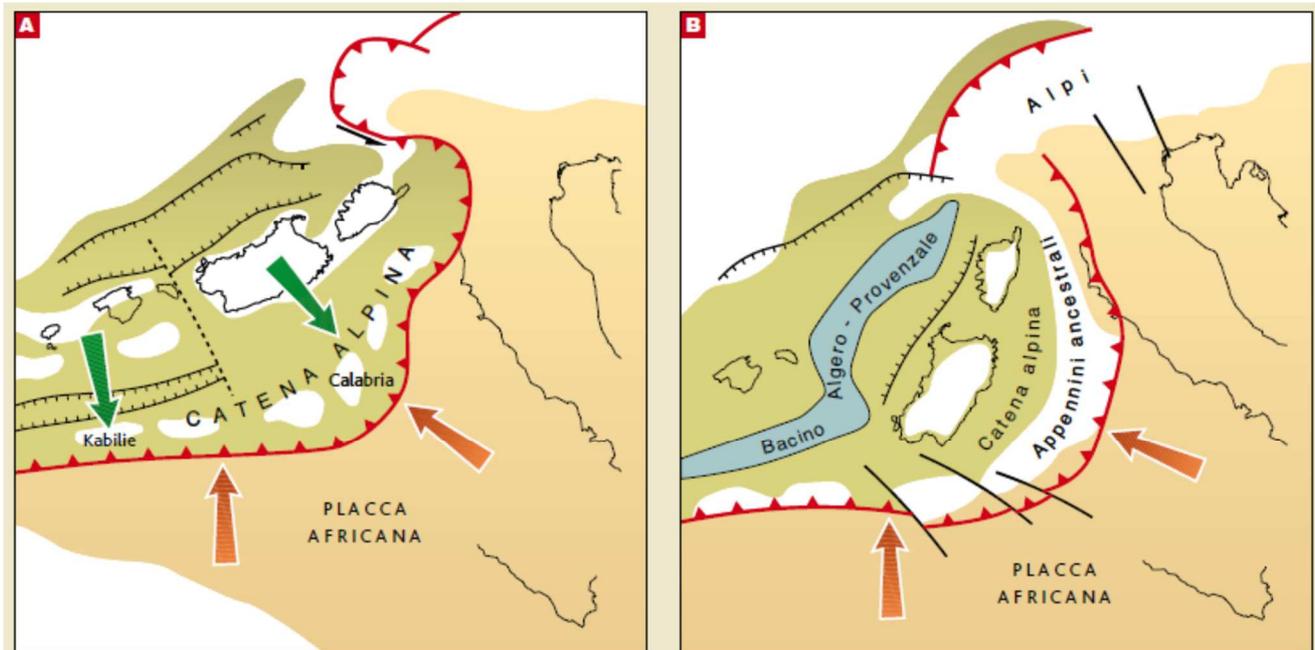


Figura 3-2 – In A e B si vedono due Momenti diversi della Rotazione del blocco Sardo-Corso. Ruotando, questo blocco ha provocato la formazione degli Appennini ancestrali e ha trascinato verso Est una piccola porzione di catena alpina, che in seguito andò a formare gran parte della Calabria e i monti Peloritani in Sicilia. Le linee in nero indicano zone di distensione della crosta, mentre la linea in rosso indica la subduzione di litosfera africana sotto a quella europea (Fanucci F., Morelli D. "Caratteri e cronologia della deriva del blocco sardo-corso"). (Di Stefano et Al., 2019)

La catena nord-vergente proseguiva a Nord delle Alpi verso le Ardenne, fino in Boemia. Il basamento della Sardegna è l'elemento più orientale ancora facilmente raccordabile con la catena Sud-vergente. Più a Est, la formazione e l'evoluzione degli oceani mesozoici e terziari ed i raccorciamenti alpini ed appenninici hanno cancellato questa struttura ercinica.

In Sardegna invece affiora ancora una sezione completa della Catena ercinica: dalle zone esterne, in Sardegna sud-occidentale, fino alle zone interne, nel settore nord-orientale. La catena ha direzione NO-SE ed è caratterizzata da raccorciamenti e da una zonazione tettonico-metamorfica tipica delle orogenesi da collisione continentale.

L'età ercinica della deformazione è ben definita sia su basi stratigrafiche che radiometriche.

La polarità metamorfica varia con continuità dalla zona a basso metamorfismo, che caratterizza la Sardegna sud-occidentale, alla facies anfibolitica (facies metamorfica ad alte temperature e a medie pressioni) della parte nord-orientale e da una altrettanto netta variazione dello stile strutturale.

In generale quindi la struttura geologica della Sardegna è soprattutto rappresentata da plutoniti granitiche e da metamorfiti paleozoiche nonché, in minore entità, da formazioni vulcaniche e sedimentarie post-erciniche.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	12 di 65

In senso cronostratigrafico, la geologia regionale sarda può essere così schematizzata:

- Paleozoico;
- Mesozoico;
- Cenozoico.

3.2 Unità sedimentarie e vulcaniche terziarie e quaternarie della Sardegna

Nelle pagine seguenti viene illustrata, attraverso una suddivisione cronostratigrafica, la posizione sia delle principali unità sedimentarie che di quelle vulcaniche più recenti della Sardegna.

L'attività vulcanica che nel Terziario e nel Quaternario ha interessato la Sardegna è riferibile a due cicli nettamente distinti: il primo di età oligomiocenica, il secondo di età plioquaternaria.

Il primo ciclo, tipico delle aree di convergenza di placche litosferiche, presenta carattere prevalentemente calcoalcalino: i prodotti di questo vulcanismo sono rappresentati per lo più da lave e/o ignimbriti di composizione andesitica, riolitica e dacitica, più raramente basaltica.

Esso ha inizio nell'Oligocene ma non è coevo in tutte le zone della Sardegna (28–30 milioni di anni nella valle del Cixerri, 22-24 milioni di anni a Capo Marargiu e Castelsardo), mentre le età assolute più giovani, corrispondenti a 13-14 milioni di anni, sono state misurate nel Logudoro.

L'esistenza di lave subacquee di età Langhiana (15 milioni di anni) intercalate a sedimenti marini nella zona del M. Arci, indica che l'attività vulcanica di questo ciclo è perdurata durante l'episodio trasgressivo miocenico e che in tale area essa si è protratta probabilmente fino alla fine del ciclo trasgressivo come indicato dalla presenza di breccie vulcaniche di mare poco profondo al tetto della formazione sedimentaria miocenica.

In Sardegna le serie andesitiche mostrano, in generale, un regolare e progressivo arricchimento in Potassio, Litio, Rubidio, Stronzio e Bario procedendo da Sud verso Nord. Ciò sembrerebbe indicare un'origine più profonda delle lave a tenori più elevati di tali elementi.

Questo fatto, oltre all'osservazione che l'età del vulcanismo calcoalcalino in Sardegna non sembra essere particolarmente legata alla posizione geografica, fa supporre l'esistenza, in età oligo-miocenica, di una zona di subduzione sempre più profonda procedendo via via dalla parte meridionale a quella settentrionale dell'isola.

Il secondo ciclo di età plio-quaternaria, di età assoluta compresa tra i 5,5 milioni di anni della zona di M. Arci e i 2 milioni di anni dell'area di Dorgali, Orosei e Montiferru, si è verificato all'interno di una placca continentale coinvolta da fenomeni distensivi e presenta abbondanti prodotti vulcanici, sia di tipo basico che alcalino, di colate laviche che formano estesi corpi tabulari (altipiani, giare, struvine), mentre meno rappresentati sono i duomi di lava (Montiferru) e le piroclastiti.

La maggior parte delle manifestazioni vulcaniche, che hanno interessato la Sardegna dall'Oligocene, sono localizzate all'interno della grande fossa tettonica che attraversa l'isola da Nord a Sud, i cui bordi sono costituiti dai massicci paleozoici della Nurra e della Gallura a Nord, del Gennargentu a Est, dell'Iglesiente, del Sulcis e del Sarrabus a Sud, fatta esclusione delle vulcaniti medio-mioceniche di San Pietro, Sant'Antioco e Portoscuso e di quelle tardo-plioceniche di Dorgali ed Orosei.

Questa fossa tettonica costituisce uno dei più importanti motivi geologico-strutturali che caratterizzano la Sardegna e la sua formazione viene in genere riferita all'orogenesi alpina, ma non è escluso che essa si sia impostata su linee di debolezza più antiche, ereditate dall'orogenesi ercinica.

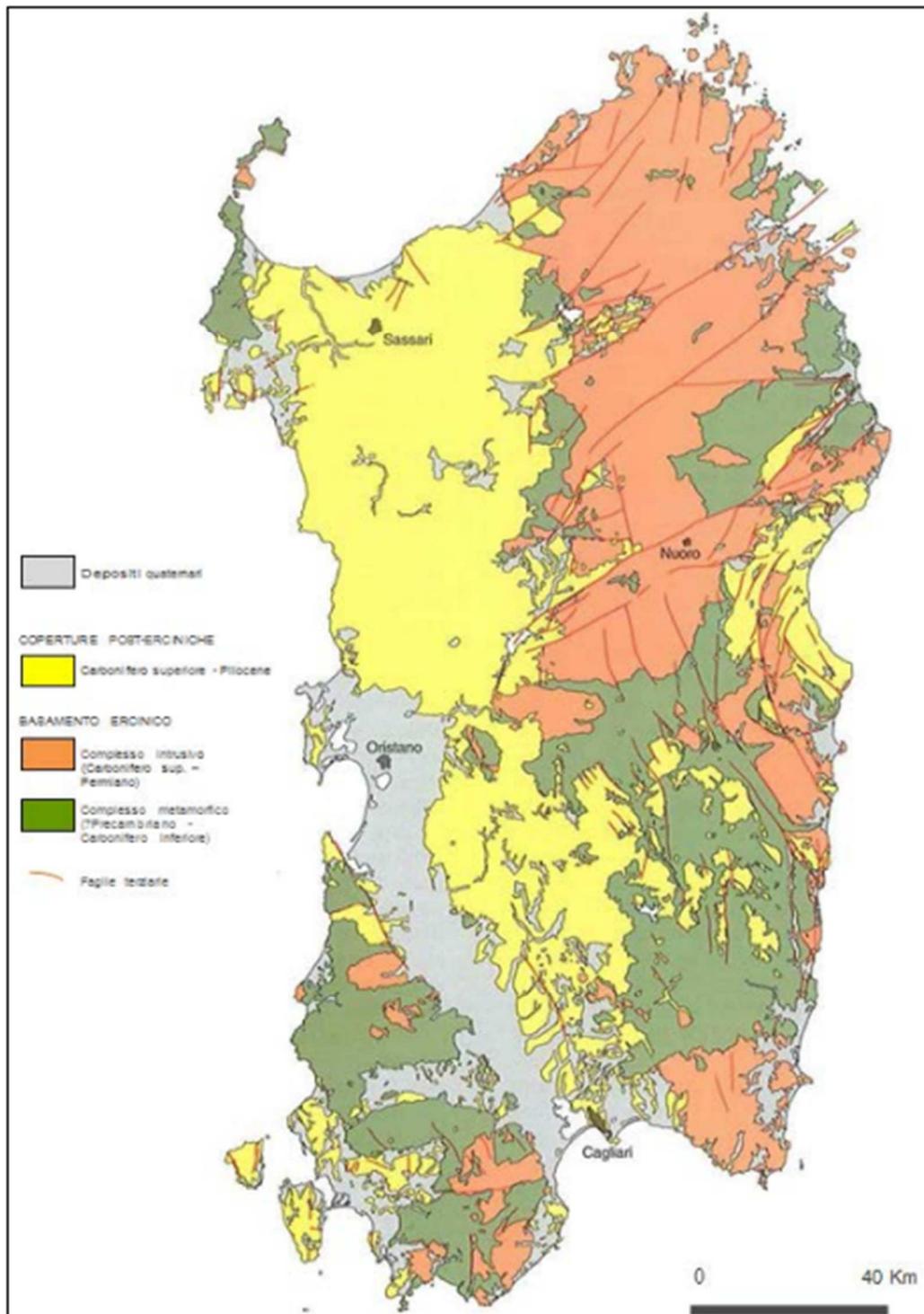


Figura 3-3 – Principali complessi geologici della Sardegna. (Da Carmignani et al. 1997)

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

3.3 Assetto stratigrafico della piana Costiera di Olbia

Il basamento paleozoico che interessa le formazioni geologiche del territorio Olbiese è rappresentato prevalentemente da rocce intrusive granitoidi, secondariamente da rocce metamorfiche come visibile nella figura sottostante (Oggiano et al.,2009). Le rocce intrusive granitoidi appartengono all'insieme di plutoniti che costituiscono il batolite ercinico sardo-corso. In generale, le rocce granitoidi sono connesse con due associazioni magmatiche (Cocirta & Michon 1989): l'associazione potassica subalcalina, definita e sviluppata nella Corsica nord-occidentale (Balagne) e l'associazione calcalina, di estensione più grande che si estende dalla Sardegna meridionale fino alla Corsica settentrionale (Belgodere-Ajaccio). La porzione del batolite affiorante in Sardegna occupa una superficie di circa 6000 kmq, prevalentemente concentrata nel settore nord orientale, lungo una fascia a sviluppo NNW-SSE (Gallura, Anglona, Goceano, Baronie, Ogliastra e Sarrabus). Ammassi localizzati affiorano nel settore occidentale (Sulcis, Asinara e Mal di Ventre).

La base dei versanti e le zone maggiormente alterate, sono caratterizzate da coperture eluviali e colluviali, più o meno potenti, in alcuni casi rimodellate da processi gravitativi recenti ed, in qualche caso, ancora in atto (M.te Alvo, M.ti Plebi). Le coperture più importanti si notano nel settore N e NO del territorio, alla base dei rilievi paleozoici.

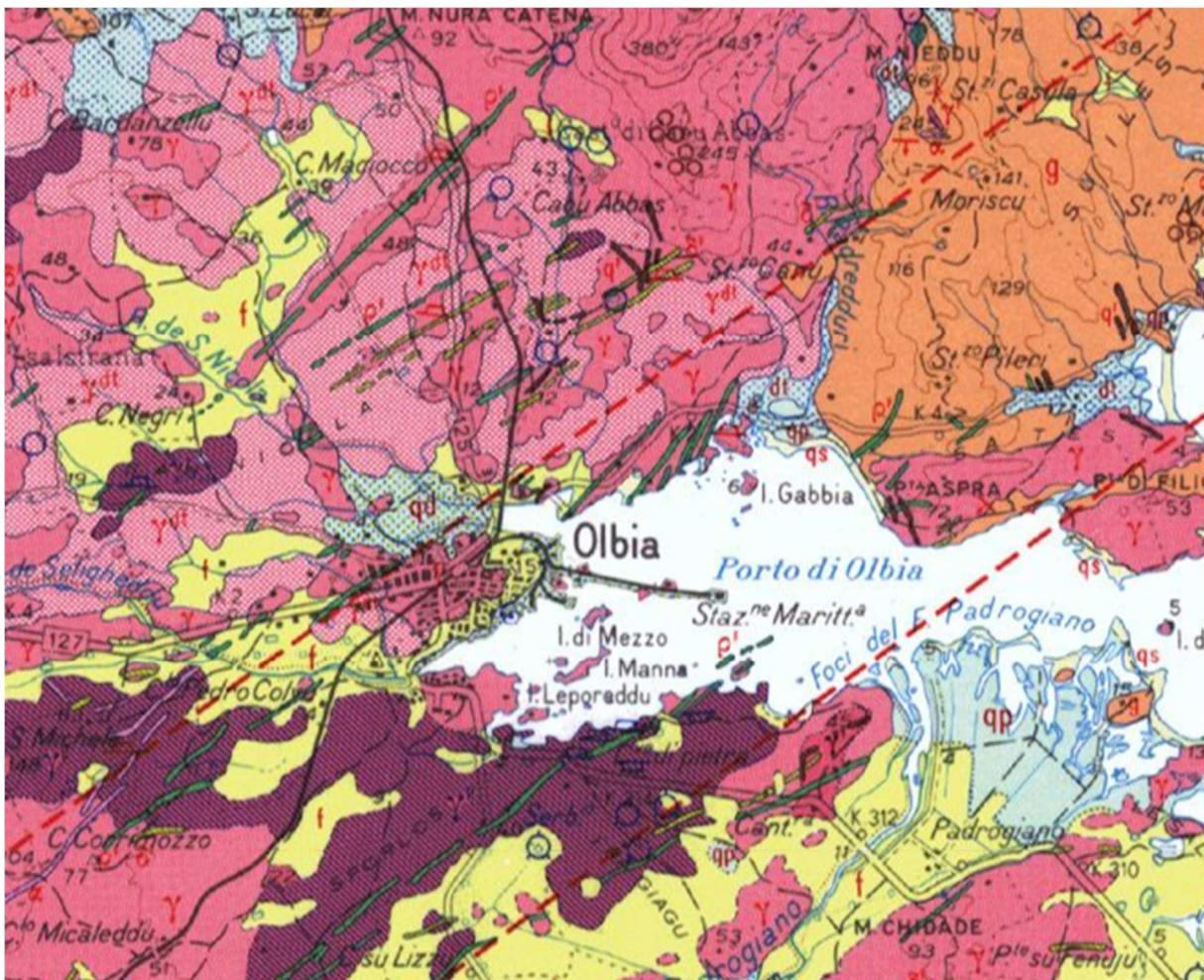
Il settore E e SE del territorio di Olbia, è rappresentato invece dalle coperture alluvionali terrazzate dei fiumi che sfociano nella costa Olbiese, il più importante dei quali è il Padrongiano, i cui depositi dominano una vasta area compresa tra la zona dell'aeroporto e i rilievi del M.te Chidare. Sono presenti materiali prevalentemente fini (limi, limi-sabbiosi e argillosi) entro i quali sono frequenti lenti torbose con fauna palustre. In prossimità della fascia costiera, si rinvengono depositi limo-sabbiosi dovuti ad apporto fluviale ed eolico, in particolare in corrispondenza di stagni e di lagune.

Nella costa meridionale del territorio Olbiese, le coperture quaternarie sono rappresentate dalla serie marina tirreniana, passante a colluvi eolizzati, fino ad arrivare all'area SO dove i versanti sono fossilizzati da depositi di pendio e èboulis ordonnés wurmiani.

3.3.1 Caratteristiche stratigrafiche sito-specifiche

Le condizioni geolitologiche in affioramento dell'area del tessuto urbano e di quello extraurbano della Piana Costiera interessata dal progetto, sono contrassegnate dalla presenza di un substrato costituito da granitoidi, sormontato da coltri derivanti da arenizzazione più o meno continua del substrato o da granito alterato; ovvero coperture eluviali/colluviali di aree parzialmente erose dei pendii o dei bassi morfologici, spesse anche diversi metri sui fianchi delle colline (presenti nel settore in esame extraurbano; a spessore decrescente verso l'area urbana). Si aggiungono a questi termini i terreni di riporto delle colmate funzionali alle bonifiche di inizio sec. XX.

Come si evince dalla carta geologica d'Italia, Foglio 182 "Olbia alla scala 1:100.000, in corrispondenza del tracciato in progetto risultano inoltre affioranti tra le pk 1+300 e 1+400 e tra le pk 1+550 e 1+650 c.ca. filoni di composizione riolitica a struttura porfirica risalenti al ciclo magmatico ercinico, non rinvenuti tuttavia in affioramento nel corso dei rilievi geologici condotti.



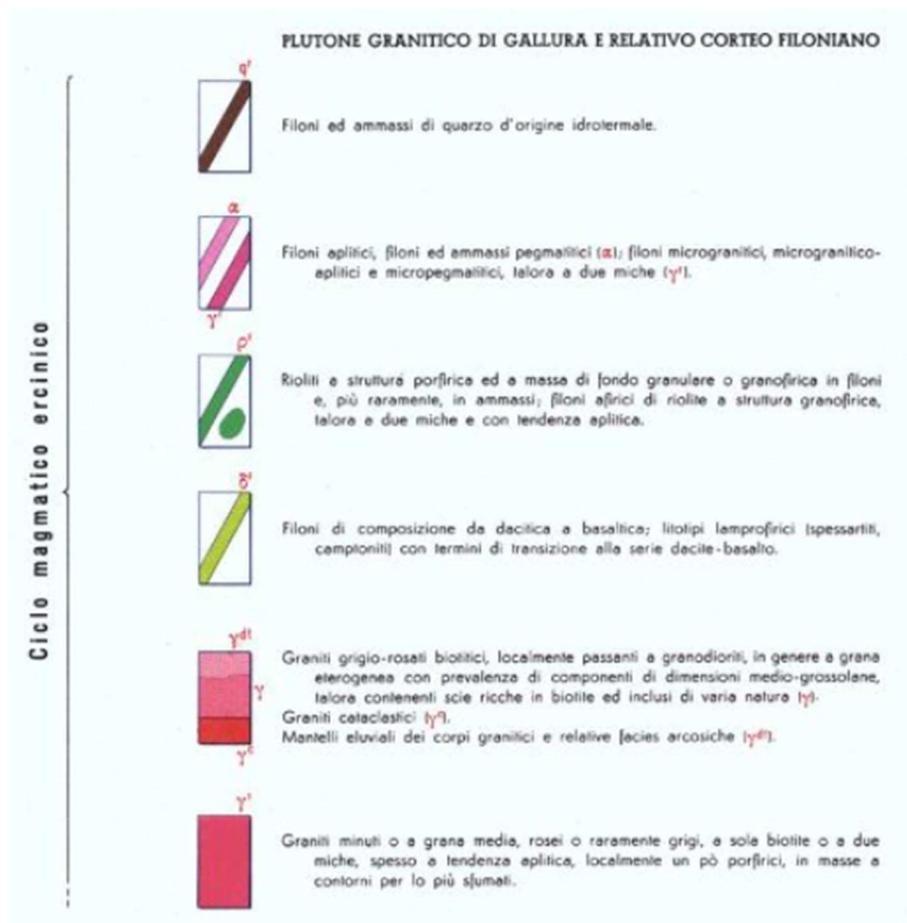
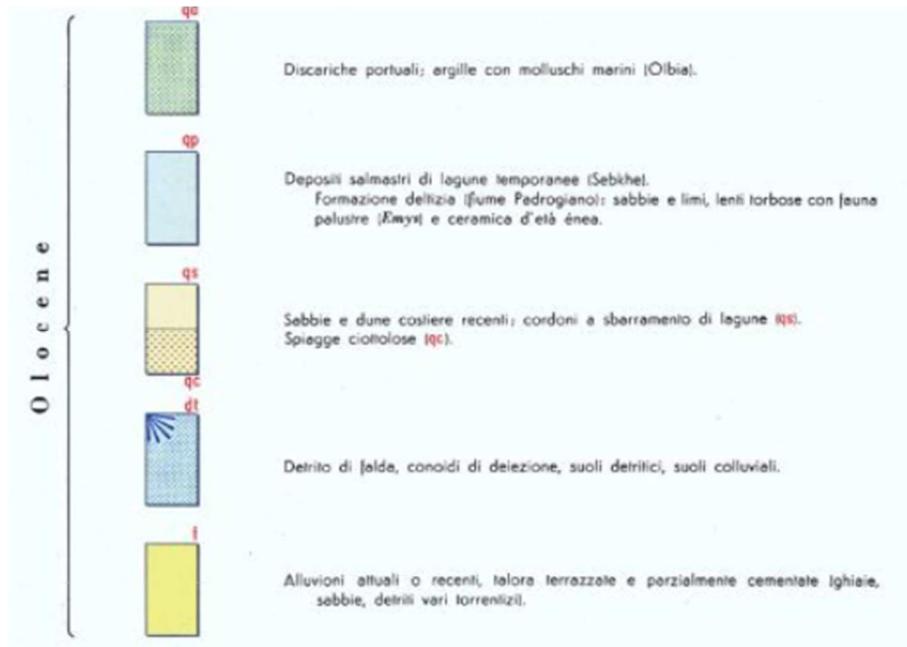


Figura 3-5 – Estratto dalla Carta Geologica d'Italia, Foglio 182 "Olbia alla scala 1:100.000 e relativa legenda

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

Alla luce della sequenza stratigrafica descritta, risulta chiaro che sussiste una correlazione fra l'articolazione morfologico-altimetrica dei luoghi e le litologie. Infatti le aree più distali della Piana di Olbia, sono di per sé il risultato di una sovra erosione avvenuta a discapito principalmente delle coltri eluviali-colluviali, che invece si conservano a “mezza costa” e la loro condizione di colmamento attuale risulta, a scala geologica in atto.

3.4 Caratteristiche geomorfologiche a scala regionale

La Sardegna mostra il paesaggio tipico del clima mediterraneo, conservando ancora oggi forme relitte, testimoni di un clima che nel corso degli ultimi milioni di anni è mutato considerevolmente, passando da periodi periglaciali a momenti di ambiente tropicale. Le lunghe e complesse vicende geologiche della Sardegna hanno determinato una varietà di paesaggi, legati anche ai diversi tipi litologici, che si manifestano in un insieme di panorami vari e suggestivi.

La sua forma, allungata nel senso della latitudine, fa sì che si possano distinguere e contrapporre quattro fasce costiere, alternativamente parallele fra loro: la costa orientale con il Golfo di Orosei e quella occidentale con il Golfo di Oristano; quella settentrionale con l'ampio golfo dell'Asinara, quella meridionale con l'insenatura del Golfo di Cagliari.

Le montagne della Sardegna non raggiungono quote mai particolarmente elevate, restando sempre inferiori ai 2000 metri; tuttavia essendo gran parte del territorio occupato da rilievi, l'isola risulta comunque prevalentemente montuosa.

Il massiccio del Gennargentu, sito nella parte centro-orientale dell'isola, rappresenta, con i 1834 metri di Punta La Marmora, il rilievo più elevato dell'isola. Il gruppo montuoso, costituito da rocce metamorfiche del Paleozoico, presenta numerose altre vette: il Monte Spada (1595 m), il Bruncu Spina (1829 m) e la Punta Florisa (1822 m).

Una particolarità morfologica si rinviene nella zona centro-orientale dell'isola dove si trovano i cosiddetti “Tacchi”, tipici tabulati calcareo-dolomitici del Giurassico, dei quali l'esempio più classico e conosciuto è il massiccio dolomitico del Monte Perda Liana (1239 m),

Sul versante settentrionale si trova invece il gruppo montuoso del Supramonte di Oliena-Orgosolo la cui cima maggiore, il Monte Corrasì (1463 m) domina, con la sua imponente mole di calcare biancastro, il paese di Oliena e la vallata del Cedrino. Il Monte Gonare (1083 m) presso gli abitati di Orani e Sarule, e la Punta S'Asisorgiu (1127 m) sono invece le cime più elevate della Barbagia di Ollolai e di Gavoi.

Lasciando la zona montuosa centro-orientale dell'isola e spingendoci più a Nord, troviamo le catene montuose del Marghine, del Goceano ed i Monti di Alà che, con la loro disposizione SO-NE formano quasi una barriera naturale e dividono la Sardegna settentrionale dal resto del territorio. Fra i rilievi

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	20 di 65

maggiori di queste catene ricordiamo, il Montiferru (1050 m), che chiude a Nord la piana del Campidano di Arborea; il Monte Lammeddara e la Punta Palai (1200 m), il Monte Rasu (1258 m) ed il Monte Lerno (1093 m) di Pattada.

Ancora più a Nord, nella Gallura si innalza isolato il massiccio granitico del Monte Limbara, con i 1359 metri della Punta Balistreri.

Nella parte meridionale della Sardegna, i rilievi maggiori sono costituiti sempre da rocce molto antiche, di età Paleozoica; tra questi il Monte Linas, il Monte Is Caravius e il Monte Arcosu.

Ad Est di Cagliari, con le sue caratteristiche guglie granitiche, si trova, con un'altezza di 1023 metri, il Monte Setti Fradi ed infine, più a Nord, nella catena dei Monti del Sarrabus, svetta la cima del Monte Serpeddì (1069 m) che domina il golfo di Cagliari ed il basso Campidano.

Una grande parte del territorio dell'isola presenta però rilievi che non superano i 1000 metri e che formano un caratteristico paesaggio di altipiani; quelli più antichi sono gli altipiani granitici del Nuorese e di Alà-Buddusò

La parte pianeggiante del territorio sardo è invece soprattutto rappresentata dal Campidano, che è la più vasta pianura della Sardegna, situata nella porzione sud-occidentale. Si tratta di un semi-graben, ovvero una fossa tettonica originata da un sistema di faglie distensive che hanno determinato lo sprofondamento di una parte di crosta terrestre. Essa attraversa l'area di Cagliari, la provincia del Sud Sardegna e la provincia di Oristano.

3.4.1 Assetto geomorfologico sito-specifico

La Piana di Olbia costituisce una superficie di spianamento (pediment) a debole inclinazione di origine erosiva, dove infatti non si rinvencono particolari accumuli alluvionali e le principali tracce di terrazzamento sono modellate sui depositi eluvio-colluviali a quote relativamente superiori a quelle dei torrenti che mostrano incisione fino alle porte dell'area urbanizzata ed oltre la quale tendono ad appiattirsi in aree di espansione idrica.

La parte più orientale della Piana di Olbia è la sede degli interventi di progetto e tale struttura geomorfologica è il risultato dell'interferenza fra lineazioni tettoniche principali N60° impostate sul cosiddetto Corridoio di Monti e loro coniugate NNW-SSE responsabili peraltro della struttura morfologica a gradinate tipica del Limbara e degli altipiani circostanti (Lu Tosu, Altipiano di Telti, Muddizza Piana).

Come precedentemente illustrato, non si rinvencono sedimenti terziari ed almeno in affioramento, i sedimenti alluvionali in senso stretto (più precisamente banchi ciottolosi con ghiaie, sabbie e limi) si possono apprezzare sul bordo del perimetro costiero. Tale circostanza, dal punto di vista geomorfologico, individua una condizione complessiva e perdurante di esposizione all'erosione che, si manifesta in una

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A	FOGLIO 21 di 65

generale assenza di significative coperture e in una condizione di sovraescavazione dello stesso mantello eluviale rappresentato dalle coltri arenizzate del granito, almeno fino ai livelli marini attuali.

3.5 Inquadramento idrogeologico

Dai dati presentati nello Studio sull'Idrologia Superficiale della Sardegna, redatto alla fine degli anni '70 utilizzando una serie storica compresa tra gli anni idrologici 1922-23 e 1974-75, si ricava un coefficiente di deflusso di 0,33 per l'intero territorio regionale. Considerando invece il periodo 1986-87 – 2001-2002 (cfr. par. 8.3), si nota che tale coefficiente si riduce ad un valore di 0,19 in corrispondenza di periodi particolarmente siccitosi (1986/87 – 2000/2001). Al di là delle considerazioni connesse all'estrema variabilità del coefficiente di deflusso da un anno idrologico all'altro o sul lungo periodo, valori così limitati di questo parametro potrebbero far pensare alla presenza in affioramento di formazioni geologiche caratterizzate da un elevato coefficiente di infiltrazione potenziale, e pertanto ad una buona disponibilità di acque sotterranee per i vari utilizzi. In realtà il territorio regionale è occupato in gran parte da litologie caratterizzate da una permeabilità medio-bassa che, insieme con le caratteristiche geomorfologiche, determinano un coefficiente di infiltrazione potenziale non elevato. Pertanto il basso valore del coefficiente di deflusso è da ricondurre principalmente alle caratteristiche climatiche, che favoriscono una elevata evapotraspirazione. Il tutto si risolve in una capacità di infiltrazione globale delle formazioni geologiche presenti sul territorio regionale relativamente bassa e nella presenza limitata di importanti strutture idrogeologiche in grado di immagazzinare e restituire significativi volumi di acque sotterranee. Nel Piano di Tutela delle Acque sono stati individuati 37 complessi acquiferi presenti in affioramento sul territorio isolano, il cui elenco completo è riportato nella seguente Tabella 4-9.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00	D69RG	GE0001	001A	22 di 65

Tipo	Litologia	Eta geologica	Localizzazione geografica	Codice	Superficie (kmq)
DQ	Detritico-alluvionale	Plio-Quaternario	Campidano	17	2330,302
			Nurra	1	243,634
			Cixerri	16	222,061
			Capoterra-Pula	13	127,932
			Muravera-Castiadas	11	161,224
			Sulcis	14	377,431
			Villasimius	12	16,333
			Quirra	10	37,622
			Barisardo	9	30,831
			Tortoli	8	61,172
			Orosei	7	49,988
			Siniscola	6	55,471
			Olbia	4	54,855
			Valledoria	3	48,992
Sorso	2	44,997			
LOC	Detritico-carbonatico	Plio-Quaternario	Chilivani-Oschiri	5	188,011
		Oligo-Miocenico	Piscinas	15	23,839
			Campidano orientale	24	1593,694
			Sassarese	23	1041,880
			Eocenico	Carbonia	26
Salto di Quirra	25	75,523			
VU	Vulcaniti	Plio-Pleistoceniche	Logudoro	18	121,230
			Sardegna centro-occidentale	19	1093,791
			Baronie	20	154,419
			Monte Arci	21	161,003
			Giara di Gesturi	22	77,559
		Oligo-Mioceniche	Sardegna nord-occidentale	27	2533,061
			Monte Arcuentu	28	127,419
			Trexenta-Marmilla	29	23,933
			Sulcis	30	342,349
			Pula-Sarroch	31	50,524
			CA	carbonati	Mesozoici
Golfo di Orosei	34	423,440			
Barbagia-Sarcidano	35	296,158			
Monte Albo	33	64,815			
Golfo di Palmas	36	18,968			
Paleozoici	Sulcis-Iglesiente	37			235,08

Tabella 3-6 – Complessi acquiferi individuati nel PTA e loro attribuzione ai tipi di complessi idrogeologici previsti dal D.Lgs 30/2009.

I primi quindici complessi acquiferi (con l'eccezione del n. 5) rappresentano gli acquiferi costieri, costituiti da complessi alluvionali (o detritico-carbonatici nel caso di Piscinas), sede in genere di falde freatiche, e laddove gli spessori lo consentono, di sistemi multifalda in parte semi-confinati. Sulla maggior parte di questi complessi i prelievi sono generalmente scarsi tranne in alcuni casi dove, soprattutto nella stagione estiva, raggiungono una certa entità (es. Capoterra–Pula, Castiadas-Muravera etc.). La permeabilità per porosità è molto variabile, da elevata a bassa, in funzione della granulometria degli orizzonti che si succedono sulla verticale. I complessi acquiferi detritico – alluvionali plio – quaternari della Piana di Chilivani – Oschiri e del Cixerri interessano coperture alluvionali le cui caratteristiche idrogeologiche e idrostratigrafiche sono molto simili a quelle degli acquiferi costieri.

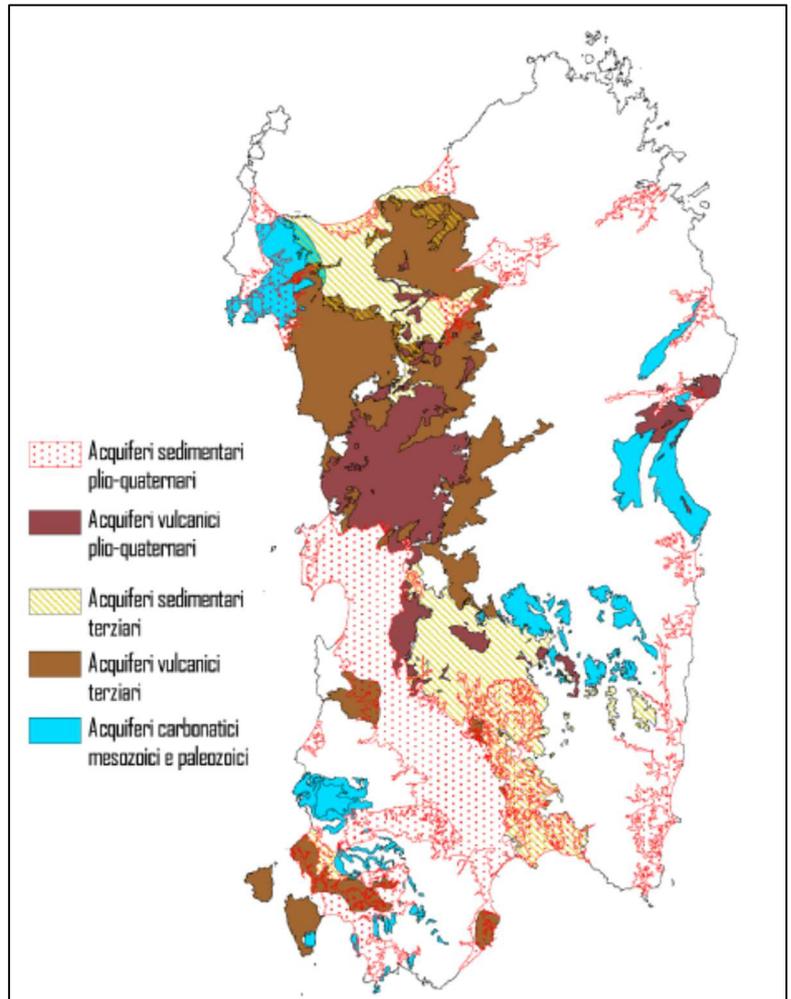


Figura 3-7 – Ubicazione dei complessi acquiferi della Sardegna. Fadda A. F., Pala A. "Le acque della Sardegna" (PTA)

Il più importante serbatoio sotterraneo detritico – alluvionale plio-quaternario isolano è rappresentato dall'acquifero del Campidano. 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.

La zona di Olbia è caratterizzata dalla presenza dell'acquifero Detritico Alluvionale Plio-Quaternario Di Olbia, costituito principalmente da depositi detritico alluvionali recenti (olocenici) poggianti sul basamento roccioso granitoide paleozoico caratterizzato da bassa permeabilità.

Lo spessore dei depositi olocenici è compreso tra 5 e 10 m. La permeabilità per porosità complessiva medio-bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana e, nelle facies carbonatiche, anche per fessurazione. L'intervallo di soggiacenza è stimato fra 1 e 5 metri.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	24 di 65

3.5.1 Assetto idrogeologico sito-specifico

Nel settore della Piana costiera di Olbia interessata dagli interventi in progetto, sussistono due acquiferi principali per lo più in comunicazione fra loro:

1. le masse litoidi granitiche permeabili per fessurazione secondaria
2. le coltri eluviali ed alluvionali ed i colluvi, permeabili per porosità

Sono inoltre a bassa permeabilità per porosità i sedimenti delle colmate realizzate nell'ambito delle bonifiche del secolo scorso, comunque non riscontrabili lungo il tracciato in progetto.

In entrambi i casi principali si tratta di circuiti sotterranei superficiali contenenti falde libere di modesta capacità.

Il primo acquifero è definito nelle aree subito a monte dove può dar luogo a manifestazioni sorgentizie di modesta portata che traggono alimentazione e ricarica dai rilievi più elevati o da vie sotterranee di genesi tettonica. Esso si spinge più a valle fungendo da base per il sovrastante secondo acquifero.

Nel secondo acquifero la permeabilità deriva sia da porosità primaria che secondaria. La prima si manifesta nei corpi alluvionali più superficiali diffusi nelle aree più vallive o ai margini con la costa, la seconda si determina in conseguenza dell'asportazione della fase sabbiosa contenuta nelle masse granitiche alterate. In media, soprattutto nelle aree a monte, l'acquifero ha spessori inferiori ai 10 m, comunque variabili in rapporto allo stato dell'arenizzazione del substrato.

Nel corso delle indagini in sito, su livelli corrispondenti alla coltre eluviale del substrato magmatico intrusivo, sono state eseguite prove di permeabilità Lefranc dalle quali sono stati ricavati coefficienti di conducibilità K compresi fra $1,03 \times 10^{-7}$ e $2,26 \times 10^{-8}$ m/s correlabili a permeabilità bassa, mentre la superficie piezometrica si attesta a quote comprese tra -2,4 m da p.c. (4,83 m s.l.m. - S05 PZ) e 8,8 m da p.c. (16,20 m s.l.m. S03 PZ).

In considerazione dei risultati delle prove di permeabilità che hanno evidenziato la presenza di acqua anche laddove le coperture detritiche sono poco potenti ed i versanti più acclivi, stante il diniego del permesso di accesso dei proprietari dei terreni in cui era prevista l'esecuzione del sondaggio S02_DH, programmato in corrispondenza dell'imbocco occidentale della galleria in progetto, sono state eseguite tre prove speditive per controllare l'effettiva presenza di una tavola d'acqua nell'area indagata, in corrispondenza dei sondaggi S01_PZ, S03_PZ ed S05_PZ. I fori dei sondaggi, attrezzati con tubo freaticometrico fessurato, sono stati svuotati tramite pompa idraulica ed è stata misurata la risalita del livello di acqua in foro ad intervalli di tempo determinati. I risultati, esposti in dettaglio in allegato, confermano la presenza di acqua in tutti e tre i sondaggi, risalita di 7-8 m entro un'ora e mezza, oltre a confermare speditivamente l'ordine di grandezza della permeabilità della pila di terreni attraversati.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

4 INQUADRAMENTO SISMICO

La normativa in materia di costruzioni vigente (D.M 17/01/2018) asserisce che *“le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito interessato dalla costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale”*. Come stabilisce l'allegato A delle NTC/18 *“la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC/18 e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali”*; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti: in termini di valori di accelerazione massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC/18, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate, in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 Km) per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodo di ritorno dell'azione sismica T_r ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi. L'azione sismica così calcolata (azione sismica di base) è ulteriormente caratterizzata sulla base della risposta sismica locale, individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito. L'INGV, attraverso un reticolo di riferimento con maglia di 10 Km e un periodo di ritorno ricadente in un intervallo di riferimento (30-2475 anni) ha definito la pericolosità di base sull'intero territorio nazionale. Per qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri (F_0 , a_g e T_c) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici nella maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, secondo quanto riportato nell'Allegato A delle NTC/18. Le azioni di progetto si ricavano in funzione di:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali si valuta il rispetto dei vari stati limite considerati, vengono definite a partire dalla pericolosità sismica di base sito-specifica. La pericolosità sismica è figlia di stime probabilistiche che sfruttano un catalogo dei terremoti, una zonazione simogenetica del territorio e relazioni di attenuazione sismica. La pericolosità sismica rappresenta la probabilità di eccedenza di un determinato parametro descrittivo del moto del terreno (intensità macrosismica, picco di accelerazione, valori spettrali). Questo è generalmente rappresentato in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (o PGA_0) al substrato rigido (>800 m/s) con topografia piana e condizione di *free-field*, nonché di

ordinate dello spettro elastico al substrato roccioso (bedrock). Questi valori sono riferiti a determinate probabilità di eccedenza P_{vr} nel periodo di riferimento V_R . La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico, che rappresenta la massima accelerazione (o spostamento, o velocità) orizzontale o verticale a cui sarà sottoposto un oscillatore armonico con periodo proprio T ad un grado di libertà nel campo elastico. Il metodo semplificato previsto da normativa permette di ottenere lo spettro di risposta elastico in accelerazione (anche relativo alla superficie) della componente orizzontale tramite le espressioni di seguito riportate, le quali sono risolvibili a partire dai parametri di base (a_g , F_0 , T_C), dalla categoria di suolo (A, B, C, D, E) e dalla categoria topografica (T_1 , T_2 , T_3 e T_4), dalla Vita nominale (V_N) e dalla Classe d'uso dell'Opera (C_u).

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

Ne consegue che, per una determinata area, ricostruendo lo spettro di risposta elastico sia in superficie che e al bedrock è possibile ottenere informazioni quantitative riguardanti l'amplificazione sismica del sito (stratigrafica e topografica) e il contenuto in frequenza del moto. Il fenomeno di amplificazione sismica viene parametrizzato tramite i Fattori di Amplificazione Sismica. In alternativa all'approccio semplificato, è possibile un approccio numerico deterministico, come previsto negli studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e negli studi di Microzonazione Sismica di III livello. Questa pratica richiede l'utilizzo di una serie di accelerogrammi spettro-compatibili alla sismicità di base del sito, che vengono (nei codici 1D di RSL) ricondotti ad un'onda s polarizzata sul piano orizzontale che oscilla in verticale dal bedrock alla superficie e viceversa e che, in caso di monostrato su bedrock, va in risonanza alle frequenze che sono i multipli dispari di $f = VS/4 \cdot H$.

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo, la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare quel periodo di riferimento;

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative probabilità di superamento, è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

Per la definizione dei parametri descritti la sismicità di base le NTC18 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL), i quali sono individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

A partire dai parametri sopra elencati è possibile definire la sismicità di sito, fissando un coefficiente di smorzamento viscoso ξ , un fattore di alterazione dello spettro elastico η e definendo la categoria di sottosuolo e topografica, è possibile definire l'azione sismica di progetto in termini di spettro di risposta elastico della componente orizzontale e verticale in superficie.

4.1 Categorie di sottosuolo

Per la caratterizzazione dinamica delle aree studio è possibile utilizzare la classificazione riportata nella seguente tabella, in cui la suddivisione in classi di sottosuolo avviene in funzione dei valori delle V_{seq} determinate da indagini geofisiche realizzate in sito.

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Ai sensi delle NTC/2018: “La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/s), definita dall'espressione”:

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

Con:

h_i : spessore dell'i-esimo;

$V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N: numero di strati

H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiori a 800 m/s.

“Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq, è definita dal parametro Vs,30, ottenuto ponendo H=30m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità”.

4.2 Categorie topografiche

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle categorie topografiche fornite entro le NTC-2018, seguito da una schematizzazione grafica del contesto morfologico per la selezione della categoria.

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

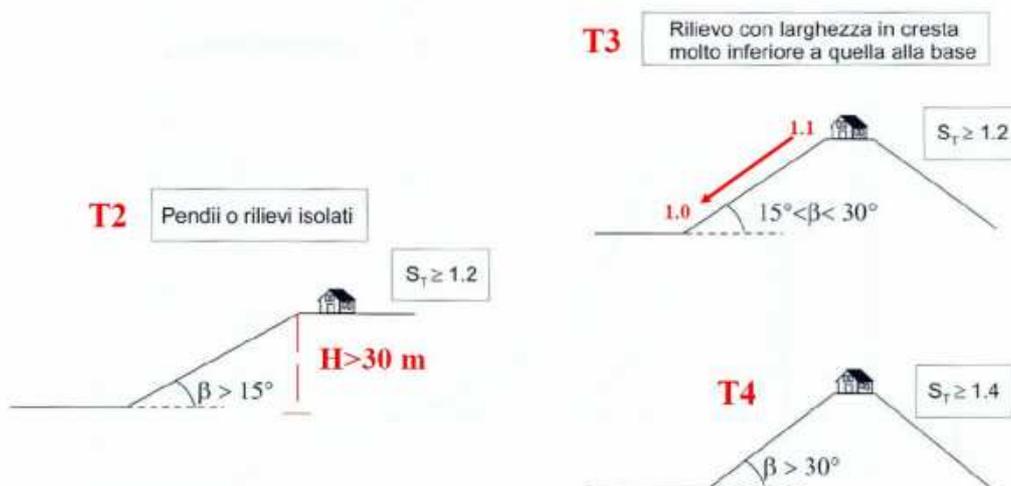


Figura 4-1 – Schematizzazione grafica delle condizioni morfologiche per la scelta della categoria topografica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

4.3 Macro sismicità delle aree di intervento

La raccolta di dati storici relativi la macrosismicità delle aree oggetto di intervento consente una prima approssimazione delle caratteristiche tettono-sismiche di sito e consente di ottenere data, intensità macrosismica e magnitudo momento degli eventi indicativi relativi all'area in esame. Questi stessi eventi registrati, combinati con una schematizzazione delle sorgenti sismogenetiche e con leggi di attenuazione del moto sismico, sono la base per il calcolo probabilistico delle PGA0 relative il bedrock sismico. Per il territorio del comune di Olbia (SS) è stato registrato un unico evento sismico storico.

Anno	Epicentro	Mw	Eq_ID
2000	Tirreno centrale	4.7	20000426_1337_000

I territori interessati dal progetto per la realizzazione di una nuova linea ferroviaria tra Olbia Terranova ed Olbia Costa Smeralda, non risultano cartografati all'interno di zone sismogenetiche (Meletti e Valensise 2004) come rappresentato nella seguente figura.

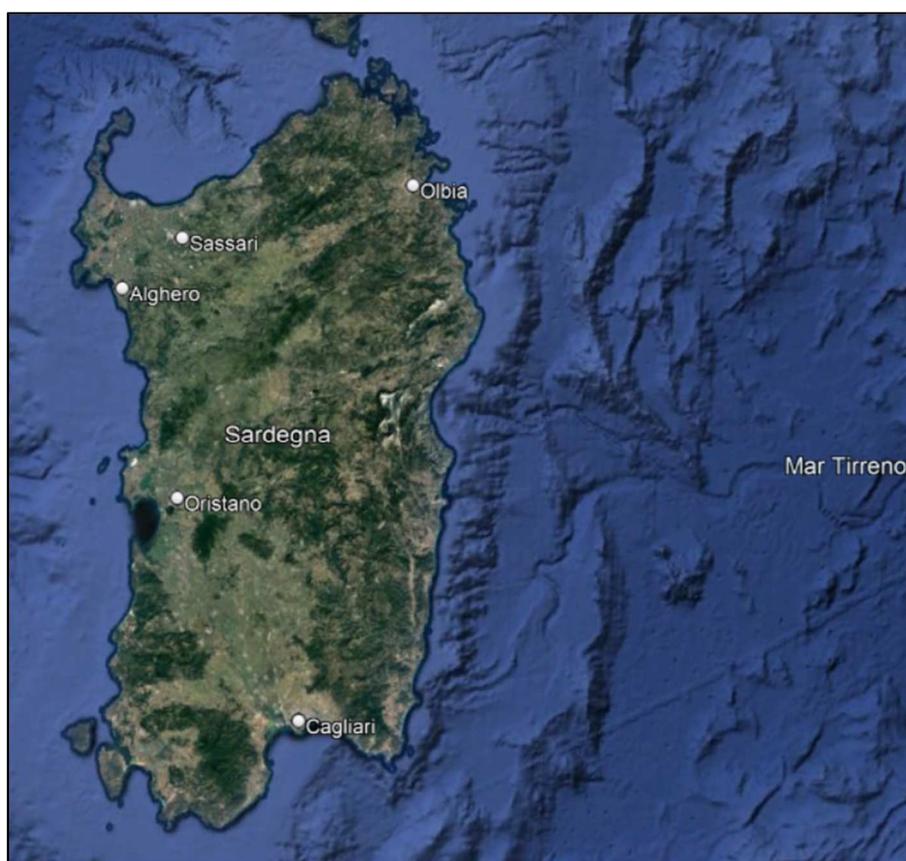


Figura 4-2 – Zone sismogenetiche in Sardegna (Meletti e Valensise 2004).
 Per la Regione Sardegna non risulta perimetrata alcuna zona sismogenetica

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

Per una successiva schematizzazione della macro-sismicità: il territorio nazionale è suddiviso in 4 differenti zone sismiche, ognuna contrassegnata da un diverso parametro a_g (PGA0), espresso come una frazione dell'accelerazione di gravità. Il territorio comunale di Olbia è classificato come Zona sismica 4.

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Sulla base dei dati precedentemente presentati: il metodo proposto in "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica" (I.C.M.S. 2009) per la stima del valore di Magnitudo di progetto attesa al sito viene di seguito riportato:

- Si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9), Secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una Magnitudo Momento massima M_{wmax} .
- Per i siti che ricadono all'interno di una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore di M_{wmax} .
- Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona si determinano le minime distanze (R) dalle zone (j) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla Magnitudo fornita dalla relazione $M_s=1+3\log(R)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria: si assume il valore di Magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica risulta necessaria.

In alternativa è possibile il processo di disaggregazione della PGA. Questo processo permette di valutare, grazie alla mappatura delle zone sismogenetiche, il contributo di vari scenari Magnitudo-distanza epicentrale (M-R) alla determinazione della PGA0 di sito. In un certo senso si può considerare come il processo inverso a quello probabilistico per la costruzione della mappa di pericolosità sismica del territorio italiano.

Nel caso specifico, per il comune di Olbia, non esistono grafici e tabelle del processo di disaggregazione delle PGA elaborate da INGV in quanto l'area in cui ricadono i territori comunali risultano essere a bassissima sismicità.

5 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRAULICA

In corrispondenza dell'area oggetto di studio, la Regione Sardegna, nel proprio Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), non perimetra alcuna area a pericolosità geomorfologica, né a pericolosità idraulica.

Il tracciato in progetto non risulta inoltre ricadere all'interno di aree alluvionate "Cleopatra" V04 in seguito all'evento meteorico verificatosi in data 18 novembre 2013.

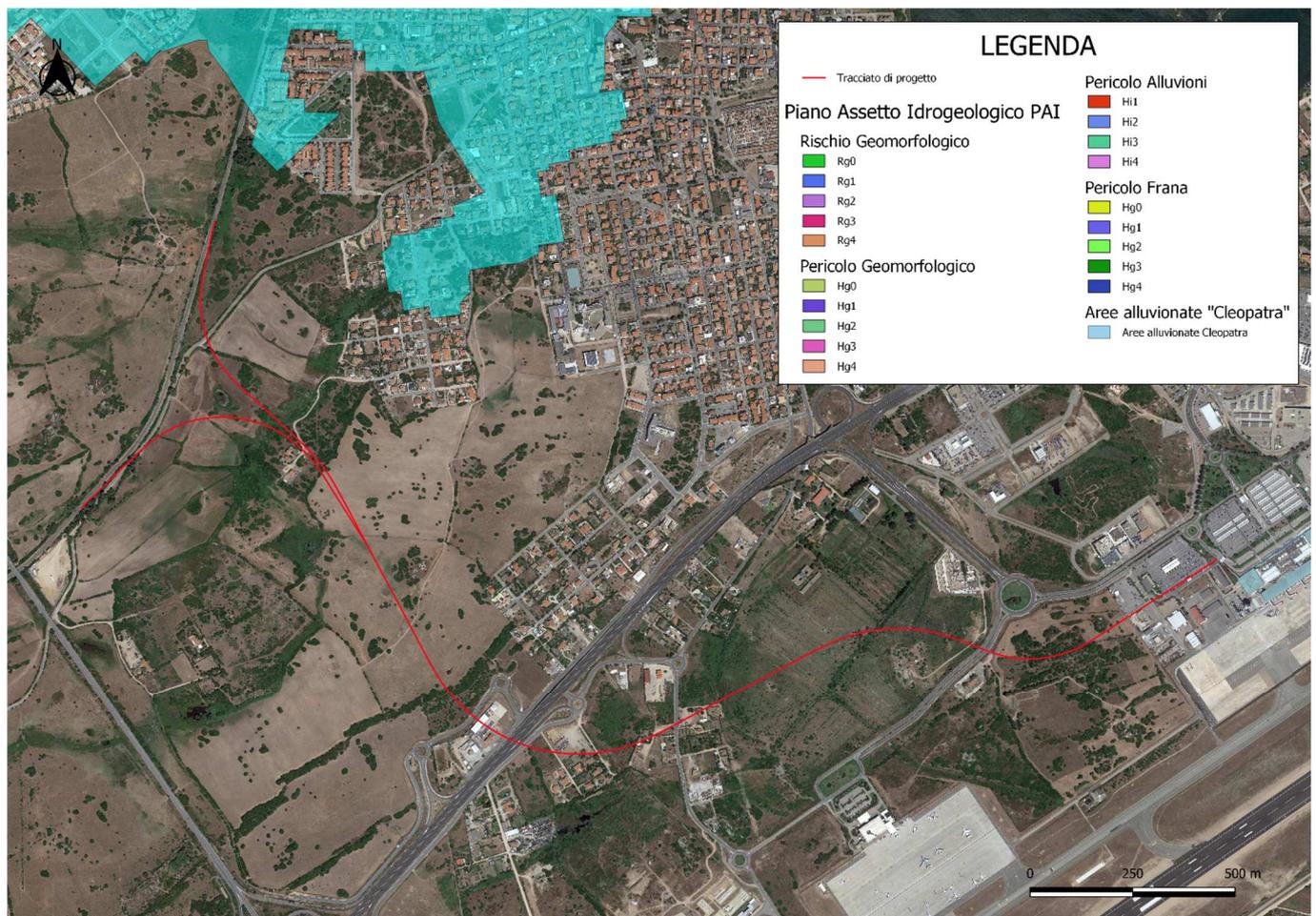


Figura 5-1. Stralcio della Carta di Pericolosità geomorfologica (PAI Regione Sardegna)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Ai fini del presente studio, l'assetto litostratigrafico e le caratteristiche geotecniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna di indagini in sito eseguita e consistita nella realizzazione di:

- sondaggi meccanici a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra -15,00 e -35,00 m da p.c., con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro di sondaggio, prove pressiometriche e prelievo di campioni di terreno da sottoporre a test di laboratorio geotecnico;
- indagini sismiche di superficie per mezzo di tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- indagini sismiche in foro per mezzo di tecnica Down-Hole;
- prospezioni sismiche a rifrazione con interpretazione tomografica dei risultati.

6.1 Sondaggi a carotaggio continuo

L'indagine ha previsto la realizzazione di n. 6 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, spinti sino a profondità comprese tra -30,00 m e -35,00 m dal piano campagna.

Nella seguente Tabella si riporta il quadro riassuntivo dei sondaggi meccanici realizzati in sito con indicazione delle profondità investigate, del livello idrico misurato a fine sondaggio e delle eventuali attrezzature installate in foro di sondaggio.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO AL 20- 21/09/2022 [m s.l.m.]	COORDINATE [WGS84]
S01 PZ	-35,00	Piez. Norton 2"	22-26/07/2022	8,10	40°54'19.12" 9°29'12.20"
S02 DH	Non realizzato a causa del diniego del permesso di accesso all'area di indagine da parte dei proprietari				
S03 PZ	-35,00	Piez. Norton 2"	18-23/07/2022	16,20	40°53'57.62" 9°29'29.91"
S04 DH	-30,00	Tube Down-Hole 3"	28-30/07/2022	-	40°54'0.12" 9°29'59.57"
S05 PZ	-26,40	Piez. Norton 2"	27-28/07/2022	4,83	40°54'4.39" 9°30'10.96"
S06 PZ	-15,00	Piez. Norton 2"	01-02/08/2022	5,50	40°54'10.80" 9°30'45.30"
S06 PZ bis	-35,00	Piez. Norton 2"	02-04/08/2022	5,50	40°54'10.70" 9°30'45.44"

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

6.1.1 Descrizione dei mezzi utilizzati

Attrezzature di perforazione

È stata utilizzata una attrezzatura di perforazione adeguata alle caratteristiche dei terreni da attraversare ed agli scopi del sondaggio; le caratteristiche dell'attrezzatura sono state approvate dal tecnico responsabile della Direzione Lavori in cantiere.

L'attrezzatura utilizzata consta di:

- sonda a rotazione (testa idraulica) con i requisiti minimi sotto indicati;

Velocità di rotazione	0 ÷ 500	rpm
Coppia massima	≥ 400	kgm
Corsa continua	≥ 150	cm
Spinta	≥ 3000	kg
Tiro	≥ 3000	kg
Pressione pompa (gruppo energia autonomo)	≥ 70	bar
Argano a fune	presente	

- pompa con circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro;
- impianto per la preparazione ed il recupero dei fanghi impiegati;
- accessori e utensili necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica.

Utensili di perforazione

Sono stati utilizzati i seguenti strumenti di perforazione:

- carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice:
- Diametro nominale $\varnothing_{est}=101$ mm;
- Lunghezza utile $l=150-300$ cm.
- corone di perforazione in widia e diamante del tipo adatto ai terreni incontrati;
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica:
- Diametro esterno $\varnothing_{est}=60-76$ mm.

Utensili di pulizia fondo foro

Per la pulizia di fondo foro si sono utilizzati:

- carotiere semplice, $l=80$ cm;

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	35 di 65

- attrezzo a fori radiali, impiegati con circolazione di fluido (acqua) uscente dall'utensile con inclinazione di 90° rispetto alla verticale.

Rivestimento provvisorio

In relazione alle caratteristiche dei terreni incontrati al fine di evitare il rischio di franamenti delle pareti del foro è stato utilizzato un rivestimento provvisorio in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo $s=10$ mm;
- diametro interno $\varnothing_{int}=127$ mm;
- lunghezza spezzoni $l=150-200$ cm.

Strumenti di controllo e prova

Fanno parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo foro;
- sondina piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile, fondo scala ≥ 5 kg/cm².

6.1.2 Descrizione delle attività eseguite

Rilievo stratigrafico

Il tecnico responsabile delle attività di cantiere, in accordo con il responsabile della Direzione Lavori, ha provveduto alla compilazione della scheda stratigrafica relativa a ciascun sondaggio, completandola con i seguenti elementi:

- cantiere;
- numero ed ubicazione del sondaggio;
- date di perforazione (inizio e fine);
- metodo di perforazione;
- attrezzatura impiegata;
- utensile di perforazione;
- diametro di perforazione;
- diametro del rivestimento;
- tipo di terreno;
- consistenza;
- litologia;

- colore o colore prevalente;
- profondità e n. colpi prova SPT;
- quota prelievo e numero progressivo dei campioni;
- Livello di falda;
- eventuali note.

Esecuzione di prove standard penetration test (SPT) in ogni foro di sondaggio

La prova è consistita nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio un campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

Prima di eseguire la prova si è controllato con scandaglio la quota del fondo foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta.

Esecuzione di prove di permeabilità in foro tipo "Lefranc", in foro di sondaggio

Le prove sono state destinate alla misura della conducibilità idrica dei depositi attraversati; sono state eseguite all'interno dei fori di sondaggio alle profondità indicate nella seguente tabella, misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno.

Per quel che riguarda le modalità esecutive, si è optato per l'utilizzo del metodo a carico idraulico variabile adatto nel caso di terreni a conducibilità non elevata; tale prova prevede il riempimento con acqua del tratto di foro, precedentemente rivestito, sino alla profondità di prova e successivamente la misura del livello dell'acqua all'interno del foro (senza ulteriori immissioni) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15' dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo.

Ciascuna prova comprende una documentazione, proposta nell'elaborato RR0000R69SGGE0005001A, riportante le letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi in forma diagrammatica.

SONDAGGIO	PROVA [n.]	PROFONDITÀ [m da p.c.]
S01 PZ	1	2,00
	2	18,00
S03 PZ	1	2,00
	2	18,00
	3	30,00
S04 DH	1	2,00
	2	18,00
S05 PZ	1	2,00
	2	18,00
S06 PZ	1	2,00
S06 PZ bis	1	18,00

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

Esecuzione di prove dilatometriche (DRT)

La prova dilatometrica consiste nella determinazione delle caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso all'interno di un foro di sondaggio ad una determinata profondità; la prova viene eseguita mediante l'espansione di una sonda dilatometrica dotata di una membrana di gomma dilatabile e di trasduttori lineari di spostamento per il rilievo delle deformazioni indotte.

La prova è particolarmente indicata in ammassi rocciosi fortemente fratturati o di modesta qualità, caratterizzati da uno scarso recupero di carotaggio e che non consentono il prelievo di campioni adatti all'esecuzione di specifiche prove di laboratorio.

Di seguito vengono riportati in forma tabellare, le profondità di esecuzione delle prove mpm eseguite in corso di sondaggio, mentre nell'elaborato RR0000R69SGGE0005001A ne vengono proposti i risultati conseguiti.

SONDAGGIO	PROVA [n.]	PROFONDITA [m da p.c.]
S01 PZ	1	15,00
S03 PZ	1	5,00
	2	12,00
	3	25,00
S04 DH	1	2,50
	2	16,50
S05 PZ	1	15,00
S06 PZ	-	-
S06 PZ bis	1	15,00

Esecuzione di prove pressiometriche tipo Menard (MPM)

La prova, applicabile sia in terre (pressioni max>5MPa) che in rocce (pressioni max>10MPa), consiste nell'introdurre in un foro di sondaggio una sonda cilindrica e nel farla espandere radialmente contro le pareti del foro, misurando la conseguente deformazione volumetrica del terreno.

La prova viene eseguita in controllo di carico misurando la deformazione volumetrica corrispondente ad ogni incremento di carico.

Al par. 6.4 vengono riportati in forma tabellare, le profondità di esecuzione delle prove mpm eseguite in corso di sondaggio, mentre nell'elaborato RR0000R69SGGE0005001A ne vengono proposti i risultati conseguiti.

Prelievo di campioni di terreno rimaneggiati per le determinazioni geotecniche di laboratorio

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 24 campioni di terreno, ottenuti con i normali utensili di perforazione e sigillati in sacchetti di plastica per consentirne la conservazione e la misura del tenore di umidità (campioni con grado di qualità Q3).

SONDAGGIO	CAMPIONE [n.]	PROFONDITÀ [m da p.c.]
S01 PZ	C1	2,50 - 2,80
	C2	4,00 - 4,30
	C3	6,50 - 7,00
	C4	17,50 - 18,00
	C5	23,00 - 23,50
	C6	25,00 - 25,50
	C7	34,60 - 35,00
S03 PZ	C1	2,50 - 3,00
	C2	6,60 - 7,00
	C3	17,60 - 18,00
	C4	31,00 - 31,30
S04 DH	C1	2,50 - 3,00
	C2	4,00 - 4,50
	C3	8,00 - 8,50
	C4	16,00 - 16,40
S05 PZ	C1	4,50 - 5,00
	C2	6,50 - 7,00
	C3	12,00 - 12,30
	C4	24,50 - 25,00
S06 PZ	C1	0,50 - 1,00
	C2	8,50 - 9,00
	C3	12,00 - 12,30
S06 PZ bis	C1	14,50 - 15,00
	C2	16,50 - 17,00
	C3	19,00 - 19,50
	C4	33,00 - 33,50

Il campionamento è avvenuto direttamente all'interno delle cassette catalogatrici mediante il prelievo di spezzoni di carota, avendo cura di eliminare le parti di campione alterabili dall'azione del carotiere (corteccia, parti "bruciate", tratti dilavati, ecc.). Successivamente i campioni sono stati confezionati entro sacchetti in PVC e contraddistinti da cartellini inalterabili, indicanti:

- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- data di prelievo;

Il numero del campione è stato quindi riportato sulla stratigrafia alla relativa quota.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	39 di 65

6.2 Indagini di laboratorio geotecnico

Per quanto concerne le determinazioni geotecniche di laboratorio, i campioni prelevati nel corso dei sondaggi meccanici, sono stati conferiti, presso il laboratorio geotecnico il quale ha provveduto alla realizzazione delle indagini di seguito descritte.

6.3 Indagini sismiche MASW

Per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche dei terreni indagati e quindi al fine di valutare il parametro V_{s30} caratteristico dell'area, l'indagine ha previsto l'esecuzione di indagini sismiche per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Re.Mi.) (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006) ed ai fini del presente studio è stato utilizzato il "metodo Masw attivo".

I profili sono stati eseguiti su lunghezze pari a c.ca 60 metri con acquisizione effettuate con stendimenti di 24 geofoni interdistanziati di 2.5 metri.

L'elaborazione dei dati acquisiti consente la trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "Phase Velocity-Frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. Dall'inversione della curva di dispersione si ottengono i modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativi delle aree investigate.

Nella seguente Tabella si riporta il quadro riassuntivo delle indagini sismiche di superficie realizzate in sito con indicazione degli intervalli di profondità investigate, velocità delle onde s e categoria di sottosuolo.

PROVA	INTERVALLO PROFONDITÀ [m da p.c.]	V _{seq} (m/s)	CATEGORIE NTC-18
MASW 1	0,0 – 30,0	402,95	B
MASW 2	0,0 – 30,0	453,61	B
MASW 3	0,0 – 30,0	278,72	E
MASW 4	0,0 – 30,0	367,07	B
MASW 5	0,0 – 30,0	504,63	B

6.4 Indagine sismica HVSR

Per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno indagato e quindi al fine di valutare il parametro V_{seq} caratteristico dell'area, ovvero la media delle velocità delle onde sismiche superficiali è stata realizzata n. 5 indagine sismica HVSR per mezzo di tromografo digitale.

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei µm/s). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007).

Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo HVSR nel fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato soffice al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994). In questo caso semplice, tale frequenza f₀ è legata allo spessore h e alla velocità delle onde di taglio V_s dello strato soffice attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4 \cdot H} H \zeta$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144 db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2.

Nella seguente tabella si riporta il quadro riassuntivo delle indagini sismiche di superficie realizzate in sito con indicazione delle frequenze fondamentali del sito.

PROVA	FREQUENZA PRINCIPALE (Hz)
HVSR 1	9,5
HVSR 2	20,0
HVSR 3	Basso
HVSR 4	7,0
HVSR 5	5,5

6.5 Prova sismica in foro Down-Hole

Questa prova sismica consiste nella misura diretta del tempo d'arrivo necessario a un impulso generato in superficie per raggiungere un sensore che è calato in foro di sondaggio. Quest'ultimo è opportunamente allestito per la prova sismica in foro, tramite rivestimento del foro di sondaggio mediante un tubo in PVC del diametro di 63 mm che viene adeguatamente cementato. Lo scopo del metodo sismico Down-Hole è di ricavare la velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio, che si propagano nel terreno in seguito a una energizzazione superficiale realizzata tramite massa battente. Per registrare l'arrivo delle onde di compressione e di taglio è utilizzata una terna geofonica da foro che è opportunamente orientata in relazione alla direzionalità dell'impulso. L'accoppiamento della terna al tubo è garantito tramite un sistema a compressione d'aria, che permette al sensore di aderire alle pareti del tubo e garantire una continuità fisica al terreno circostante. Per generare impulsi compressivi è utilizzato un martello battente (massa=5 Kg) che impatta una piastra metallica, la quale si comporterà similmente a una sorgente sismica puntale dalla quale si propaga un treno d'onde ricco in componente compressiva. Da questo tipo di energizzazione è individuato l'arrivo delle onde p. Per generare impulsi di taglio è utilizzato un sistema che prevede il posizionamento di una traversina (parallelepipedo in legno) al di sotto di un contrappeso, la quale ha asse longitudinale parallelo al sensore che si utilizza per registrare l'impulso di taglio. La battuta laterale della traversina, tramite un martello battente, genera un treno d'onde ricco in componente di taglio, nello specifico risulta identificabile l'arrivo delle onde di taglio s polarizzate sul piano orizzontale (onde SH). La battuta all'altro capo della traversina consente di sfruttare la proprietà di polarizzazione inversa delle onde di taglio, le quali, se sovrapposte le tracce acquisite a polarità inversa,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

genereano nel sismogramma delle tipiche forme a ogiva che permettono il più preciso riconoscimento dell'onda SH. Tutte le energizzazioni sono effettuate ad una distanza di 5 m dal boccaforo, la quale è adeguatamente vicina all'asse verticale di misura per non registrare onde rifratte alle interfacce acustiche e sufficientemente distante per non generare propagazione di onde nel tubo di rivestimento. Dopo ogni energizzazione e acquisizione del segnale relativamente le tre componenti, la terna geofonica viene posizionata a una differente profondità, mantenendo un passo prestabilito e ripetuta l'acquisizione. Una volta ottenute le tracce sismiche relative a ogni componente sensoriale per ogni profondità investigata, si sottopongono le tracce a una fase picking dell'onda p e dell'onda s, basata su un semplice riconoscimento visivo dell'impulso di interesse, considerando l'orientazione del sensore in esame rispetto l'impulso e il rapporto segnale rumore (S.toN.R.) osservabile. I procedimenti fino a ora descritti permettono di ottenere una sequenza di tempi di arrivo-profondità (sia per l'onda p che per l'onda s). Questi ultimi possono essere elaborati seguendo due differenti metodologie: il metodo diretto e il metodo dell'intervallo temporale. Il metodo diretto prevede la correzione dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tener conto dell'inclinazione del percorso. Se d è la distanza tra la sorgente e l'asse verticale del foro, r è la distanza fra la sorgente e la sonda dei sensori e z è la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$t_{corr} = (z/r) * t$$

Viene quindi costruita la dromocrona (grafico t_{corr} – z) in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei possa essere rappresentata dall'inclinazione della retta interpolante i dati sperimentali relativi un determinato intervallo di profondità. È quindi suddivisa la dromocrona in segmenti a uguale pendenza ciascuno dei quali rappresenta un sismo-strato, per il quale sono definiti valori di v_p e v_s.

PROVA	INTERVALLO PROFONDITÀ [m da p.c.]	V _{seq} (m/s)	CATEGORIE NTC-18
DH1	0,0 – 29,0	173,43	E

6.6 Prospezione sismica a rifrazione onde P e onde S

La tecnica di base, comune a tutte le metodologie di sismica attiva, consiste nel generare artificialmente delle onde sismiche e nel misurare il tempo impiegato da tali onde per percorrere lo spazio compreso tra il punto sorgente, e una serie di ricevitori, geofoni, allineati lungo la zona da indagare. Le onde d'interesse per il metodo a rifrazione sono le onde di volume, rifratte criticamente alle interfacce mostrandoci differenti proprietà fisiche.

Dal punto di vista operativo, l'indagine sul terreno viene realizzata con un gruppo di geofoni distribuiti lungo un profilo a distanza ravvicinata (generalmente qualche metro) e collegati a un sismografo attraverso un cavo multipolare. Quando il terreno su cui si trovano i geofoni viene sollecitato, questi trasmettono un

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

segnale analogico in forma di impulso elettrico al sismografo, il quale gestisce contemporaneamente più geofoni su canali di ascolto differenti, converte gli impulsi elettrici per tutti i geofoni in formato digitale, li amplifica, li filtra e li immagazzina in un disco rigido o in una memoria allo stato solido.

La sorgente impiegata può essere di tipo impattante (mazza battente, massa in caduta), impulsivo (cannoncino sismico) o vibrazionale (autocarri Vibroseis, vibrator Mini-Sosie).

I dati raccolti durante un'indagine sismica a rifrazione sono i sismogrammi registrati sui canali disponibili nel sismografo utilizzato, ciascuno riferito a un particolare geofono della linea sismica. Su questi sismogrammi è necessario scegliere il tempo in cui le onde prodotte nei vari punti di energizzazione raggiungono i sensori. Tali tempi, indicati come primi arrivi o tempi di tragitto, si riferiscono ad onde che si propagano direttamente dalla sorgente ai ricevitori per i geofoni vicini alla sorgente stessa e invece, a partire da una certa distanza (distanza di cross-over), sono relativi alle onde rifratte criticamente alle discontinuità di impedenza acustica (dove per impedenza acustica si intende il prodotto tra velocità sismica all'interno di un mezzo e la sua densità). I primi arrivi presi per tutti i ricevitori vengono diagrammati in funzione della distanza dalla sorgente per tutte le sorgenti, ottenendo così un unico grafico che riporta tutte le curve dei tempi di tragitto o dromocrone. Tale grafico è molto utile per l'identificazione dei principali rifrattori individuati dall'indagine, dato che per ciascuna sorgente i cambi di pendenza nella curva dei tempi di tragitto indicano uno specifico rifratte; inoltre gli arrivi dallo stesso rifratte, per sorgenti differenti, mostrano un buon grado di parallelismo [Reynolds, 1997].

Il metodo di elaborazione più attendibile è rappresentato dalla tomografia sismica. Tale modello è una rappresentazione idealizzata di una sezione del sottosuolo e presenta una serie di parametri che sono le grandezze fisiche da stimare a partire dai dati raccolti in fase di misura. La risposta del modello è rappresentata dalle velocità delle celle in cui viene suddivisa la porzione di sottosuolo da indagare.

È stato dunque elaborato un profilo sismico "R2", di lunghezza 225 metri, con direzione SW (geofono n. 1) - NE (geofono n. 42). I 42 geofoni verticali e orizzontali utilizzati per eseguire le misurazioni sono stati posizionati seguendo una distanza intergeofonica, pari a 5 metri.

L'indagine è stata eseguita all'interno del comune di Olbia (SS) in un campo accessibile da via dei Mugnai.

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0000R69IGGE0005001A.

7 RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE

7.1 Risultati Prove SPT in foro

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove SPT eseguite, come descritto al par. 6.1.2, nel corso del sondaggio.

PROVA	PROFONDITÀ DA P.C. [m]	PROVA SPT (n. colpi/15 cm)	NSPT	LITOLOGIA PREVALENTE
S01 PZ	1,50 - 1,65	25/R	Rif	Sabbie ghiaiose da sciolte a poco addensate con elementi granitici
	3,50 - 3,65	35/R	Rif	
	4,90 - 5,05	43/R	Rif	
S03 PZ	1,50 - 1,95	12/19/21	40	Sabbie ghiaiose da sciolte a poco addensate con elementi granitici
	3,50 - 3,95	11/18/24	42	
	4,50 - 4,50	R	Rif	Graniti grigio chiari da integri a poco fratturati
	6,00 - 6,00	R	Rif	
S04 DH	1,50 - 1,95	17/22/24	44	Sabbie fini addensate
	3,00 - 3,45	22/22/28	50	Sabbie ghiaiose da sciolte a poco addensate con elementi granitici
	4,50 - 4,65	32/R	Rif	
	6,00 - 6,15	45/R	Rif	
	7,50 - 7,50	R	Rif	
S05 PZ	1,50 - 1,95	20/19/26	45	Sabbie limose argillose
	3,00 - 3,45	22/28/39	67	
S06 PZ	1,50 - 1,65	25/R	Rif	Sabbie grossolane
	3,00 - 3,15	32/R	Rif	
	4,50 - 4,50	R	Rif	
	6,00 - 6,00	R	Rif	

7.2 Risultati prove di permeabilità

Le prove di permeabilità Lefranc sono state destinate alla misura della conducibilità idrica dei depositi attraversati; sono state eseguite prove a carico idraulico variabile all'interno dei fori di sondaggio a varie profondità, misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno.

Nell'elaborato RR0000R69SGGE0005001A è riportata la documentazione prodotta a corredo di ciascuna prova riportante le letture degli abbassamenti in relazione ai tempi progressivi in forma diagrammatica e tabellare.

I risultati delle prove sono sintetizzati nella tabella riportata di seguito:

SONDAGGIO	PROFONDITÀ PROVA DA P.C. [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (cm/s)
S01 PZ	2,00 - 2,50	Sabbie ghiaiose	$1,03 \times 10^{-7}$
	18,00 - 18,50	Graniti	$2,26 \times 10^{-8}$
	35,00 - 35,50	Graniti	$1,04 \times 10^{-6}$
S03 PZ	2,00 - 2,50	Sabbie ghiaiose	$6,00 \times 10^{-3}$
	18,00 - 18,50	Graniti	$6,10 \times 10^{-7}$
	30,00 - 30,50	Graniti	$1,57 \times 10^{-6}$
	35,00 - 35,50	Graniti	$1,17 \times 10^{-6}$
S04 DH	2,00 - 2,50	Sabbie ghiaiose	$1,03 \times 10^{-7}$
	18,00 - 18,50	Graniti	$3,84 \times 10^{-8}$
S05 PZ	2,00 - 2,50	Sabbie limose argillose	$1,34 \times 10^{-7}$
	18,00 - 18,50	Graniti	$4,07 \times 10^{-8}$
S06 PZ	2,00 - 2,50	Sabbie grossolane	$1,76 \times 10^{-7}$
S06 PZ bis	18,00 - 18,50	Sabbie grossolane	$3,91 \times 10^{-8}$
	35,00 - 35,50	Graniti	$1,17 \times 10^{-6}$

7.3 Risultati prove dilatometriche

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove dilatometriche eseguite in foro di sondaggio, come descritto al par. 5.1.2.

S01 PZ - 1					
Profondità: 15,00 – 15,50					
Poisson: 0,27					
Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	1,8003	6	1,8003	1,3071	78,0
2	2,271	9	2,271	1,851	183,2
3	3,2009	15	3,2009	2,3456	120,0
Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	21	8	2,826	1,798	162,2
Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	15	4	2,271	1,513	186,3
3	23	4	3,201	1,749	167,8

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00	D69RG	GE0001	001A	46 di 65

S03 PZ - 1

Profondità: 5,00 – 5,50

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	10	7	3,2791	2,7975	79,9
2	16	10	3,735	3,326	188,3
3	22	16	4,2756	3,8078	164,5

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	22	8	4,276	2,993	140,0

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	16	5	3,735	3,055	207,6
3	22	5	4,276	3,261	215,0

S03 PZ - 2

Profondità: 12,00 – 12,50

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	14	4	5,8155	5,230	219,1
2	26	14	6,099	5,812	537,1
3	42	26	6,6620	6,065	344,0

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	42	6	6,565	5,593	475,1

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	26	4	6,099	5,397	402,3
3	42	4	6,662	5,490	415,7

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00	D69RG	GE0001	001A	47 di 65

S03 PZ - 3

Profondità: 25,00 – 25,50

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	22	8	3,493	3,075	429,2
2	34	22	3,800	3,554	625,2
3	44	34	4,024	3,850	741,2

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	44	8	4,024	3,165	537,9

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	34	8	3,800	3,127	495,6
3	44	8	4,024	3,229	581,3

S04 DH - 1

Profondità: 2,50 – 3,00

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	10	4	2,513	0,913	48,1
2	16	10	3,630	2,618	76,1
3	24	16	5,090	3,807	80,0

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	29	4	5,090	1,405	69,6

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	16	2	3,630	2,060	114,4
3	24	2	5,090	3,014	135,9

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00	D69RG	GE0001	001A	48 di 65

S04 DH - 2

Profondità: 16,50 – 17,00

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	16	7	2,009	1,235	149,1
2	30	18	2,302	2,017	540,2
3	42	30	2,592	2,344	621,7

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	42	6	2,590	1,705	521,8

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	30	6	1,374	1,374	331,7
3	42	6	1,557	1,557	446,1

S05 PZ - 1

Profondità: 15,00 – 15,50

Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	19	7	3,052	2,2540	192,8
2	29	19	3,460	3,205	504,2
3	39	29	3,926	3,556	346,8

Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	39	5	3,900	2,485	308,2

Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	29	5	3,460	2,520	327,5
3	39	5	3,926	2,938	441,5

S06 PZ bis - 1
Profondità: 15,00 – 15,50
Poisson: 0,27

Moduli di deformabilità Ei			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	10	6	5,170	3,605	32,8
2	16	10	6,955	5,462	51,6
3	24	16	8,993	7,237	58,4
Moduli elastici EG			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1	24	4	8,993	3,805	49,4
Moduli elastici Ti			D finale	D iniziale	Eav MPa
N	Pmax	Pmin			
1					
2	16	2	6,955	4,078	62,4
3	24	2	8,993	5,524	81,4

7.4 Risultati prove pressiometriche

Di seguito vengono riportati in forma tabellare, le profondità di esecuzione delle prove mpm eseguite in corso di sondaggio, mentre nell'elaborato RR0000R69SGGE0005001A ne vengono proposti i risultati conseguiti.

SONDAGGIO	PROVA [n.]	PROFONDITÀ [m da p.c.]
S01 PZ	1	2,50
S03 PZ	-	-
S04 DH	-	-
S05 PZ	1	2,50
S06 PZ	1	2,50
S06 PZ bis	-	-

7.5 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Nell'elaborato RR0010R69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi ai test di laboratorio geotecnico descritti al par. 5.2.1 effettuati sui campioni di terreno prelevati secondo lo schema indicato al par. 5.1.2.

8 PROGETTO DI COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA: QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo indagato scaturisce dall'analisi dei risultati conseguiti a seguito della campagna di indagine geognostica eseguita. Dal confronto tra i profili sismici ed i log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti, si è dunque pervenuti ad una codifica dei diversi livelli di terreno, come sintetizzato nelle tabelle che seguono, ove sono schematizzati i litotipi che caratterizzano il sottosuolo dell'area oggetto di studio, in corrispondenza delle indagini realizzate con la relativa profondità da p.c.

S01 PZ	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES	S03 PZ	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES
	0,00 - 7,50	Sabbie sciolte e sabbie ghiaiose		0,00 - 4,60	Sabbie ghiaiose
	7,50 - 11,50	Sabbie ghiaiose		4,60 - 35,00	Graniti alterati
	11,50 - 35,00	Graniti alterati			

S04 DH	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES	S05 PZ	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES
	0,00 - 2,00	Sabbie fini addensate		0,00 - 0,40	Sabbie limoso-argillose poligeniche
	2,00 - 15,00	Sabbie ghiaiose		0,40 - 5,50	Sabbie limoso-argillose
	15,00 - 35,00	Graniti alterati		5,50 - 26,40	Graniti alterati

S06 PZ	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES	S06 PZ bis	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES
	0,00 - 9,50	Sabbie grossolane		0,00 - 4,80	Sabbie e sabbie limoso-argillose
	9,50 - 15,00	Graniti alterati		4,80 - 19,80	Sabbie grossolane
				19,80 - 35,00	Graniti alterati

Come si evince dai dati elaborati, l'intervallo stratigrafico interessato dal progetto corrisponde alla porzione superiore dei depositi alluvionali terrazzati e delle rocce in posto di natura granitoide. Da un punto di vista

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'intera area è possibile distinguere tre facies, che si succedono nel sottosuolo, con rapporti stratigrafici eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

La reale geometria delle diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali d'indagine prese in esame e pertanto sono da tener conto possibili variazioni locali.

I terreni individuati sono riconducibili alle seguenti formazioni e sintemi:

- ALLUVIONI** (depositi Olocenici)

sabbie e subordinate sabbie limoso – argillose grigie, rimaneggiate dall'attività dei corsi d'acqua o talvolta semplicemente dall'attività colluviale. Si tratta di terreni non più direttamente collegabili al substrato roccioso in quanto soggetti ad un trasporto, anche se da un punto di vista strettamente petrografico e mineralogico non presentano sostanziali differenze con il resto della pila stratigrafica. Lo spessore di questo intervallo varia da pochi decimetri a qualche metro.

Questi terreni sono talvolta coperti da spessori minimi di materiale rimaneggiato dall'attività agricola o rimodellato dall'attività antropica (riporti, bonifiche). La frazione più superficiale, sovente di spessore centimetrico, è un orizzonte organico vegetale.

Le prove SPT eseguite in alluvioni hanno restituito valori di $N_{spt} >$ di 40. Le prove MASW restituiscono valori pari a circa 400 m/s per l'intervallo in questione.
- CAPPELLACCIO ESTREMAMENTE ALTERATO** (ciclo magmatico ercinico, Carbonifero sup. - Permiano)

Graniti estremamente alterati, destrutturati ed arenizzati, terreni derivanti da forte e prolungata alterazione del substrato granitico in posto. Si tratta di un intervallo sempre presente eccetto che in corrispondenza dell'affioramento del substrato sano. E' l'intervallo più difficile da caratterizzare, in quanto nelle cassette catalogatrici si presenta come sabbia da grossolana a media ma tutte le prove SPT effettuate hanno regolarmente dato rifiuto alla penetrazione della punta. Si tratta dunque di roccia in posto, alterata, arenizzata e disgregata in maniera variabile, ma presumibilmente in modo progressivamente più intenso man mano che ci si avvicina alla superficie topografica, fino alla quasi totale disgregazione della stessa ed alla perdita delle caratteristiche proprie del litotipo. L'aspetto di terreno sciolto descritto in cassetta catalogatrice e nei campioni prelevati è dunque da ascrivere molto probabilmente all'attività di perforazione della sonda. Questa interpretazione è confermata anche dalle indagini MASW (in particolare MASW 1 e MASW 3), in cui si nota una crescita progressiva della velocità delle onde S, da valori anche piuttosto bassi fino a velocità caratteristiche di roccia sana (dai 400 agli 800/1000 m/s).

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

- SUBSTRATO LITOIDE - Complesso granitoide della Gallura (ciclo magmatico ercinico, Carbonifero sup. - Permiano)

Monzograniti inequigranulari da grigio chiari a bruno rossastri da integri a molto fratturati. Sono presenti rari filoni leucogranitici di spessore metrico. Si tratta di una roccia dalle buone caratteristiche geotecniche, mediamente in buono stato di conservazione; non risultano fasce di deformazione degne di nota da bibliografia; pochissimi affioramenti nell'area di interesse, per lo più sulle creste dei modesti rilievi presenti. Si incontra in sondaggio e nelle indagini geofisiche a profondità variabili, da affiorante in corrispondenza della galleria naturale a -20m circa da p.c. in corrispondenza della stazione dell'aeroporto. Le indagini MASW e la Down Hole hanno restituito valori di Vs >1000 m/s per i tratti di substrato indagati.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni descritti e per la definizione dell'azione sismica di progetto (NTC 2018), si rimanda agli esiti delle indagini puntuali realizzate e agli elaborati progettuali di riferimento.

8.1 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Al termine dell'esecuzione delle indagini in sito è emersa la presenza di circolazione idrica sotterranea a quote comprese tra 4,83 m s.l.m. (S05 PZ) e 16,20 m s.l.m. (S03 PZ), che inducono a non escludere interferenze delle opere in progetto con il sistema acquifero. Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua anche in occasione di eventi meteorici intensi ed in corso d'opera dovrà essere valutata l'opportunità di realizzare interventi di impermeabilizzazione all'interno degli scavi o di sistemi drenanti atti all'aggottamento e allontanamento delle acque. Si evidenzia la presenza di due acquiferi principali per lo più in comunicazione fra loro, rappresentati dalle masse litoidi granitiche permeabili per fessurazione secondaria e dalle coltri alluvionali, permeabili per porosità e caratterizzati da conducibilità medio-bassa, con coefficienti sempre minori di 10^{-6} .

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

9 FRONTI DI SCAVO: CLASSIFICAZIONI E CARATTERIZZAZIONI GEOMECCANICHE

La caratterizzazione geomeccanica dei fronti di scavo previsti in corrispondenza dell'unità geologica affiorante ascrivibile al cappellaccio estremamente alterato (cfr. cap. 6) è stata condotta attraverso il metodo GSI (Geological Strength Index, Hoek, 1995), il quale si fonda sulla semplice identificazione, mediante apposite tabelle proposte (cfr. Figura 9-1), di una categoria di appartenenza dell'ammasso roccioso in esame in funzione di una sua descrizione qualitativa, nella quale si fa riferimento alle osservazioni in sito, tendenti ad individuare le famiglie di discontinuità e le condizioni delle loro superfici di contatto.

Questa classificazione si basa sul concetto che la resistenza di un ammasso roccioso fratturato dipende dalle proprietà dei ponti di roccia intatta ed anche dalla libertà di questi di scivolare e ruotare se soggetti a sollecitazioni. Questa libertà è controllata dalla forma geometrica dei frammenti di roccia intatta e dalle condizioni delle superfici di contatto tra gli stessi. Ad un estremo della classificazione si trovano ammassi rocciosi costituiti da frammenti angolari caratterizzati da superfici di discontinuità pulite e rugose ed associati ad elevate caratteristiche di resistenza, mentre all'estremo opposto si trovano rocce costituite da frammenti immersi in materiale alterato.

Sulla base del rilievo geologico condotto in campo, delle osservazioni di affioramento in corrispondenza della pk 1+435 c.ca e delle carote estratte nel corso della perforazione del sondaggio S03 PZ, i terreni localizzati a quota degli imbocchi della prevista galleria, risultano costituiti da graniti destrutturati ed arenizzati, con RQD compreso tra il 25-50% e superfici di discontinuità planari ed alterate.

Facendo pertanto riferimento alla classificazione GSI in funzione delle caratteristiche strutturali e delle condizioni delle discontinuità (cfr. Figura 9-1), la struttura dell'ammasso può essere definita di tipo C (blocky/disturbed), che combinata con le condizioni delle superfici di discontinuità descritte, mostrano un indice GSI compreso tra 20 e 30.

Resta inteso che le condizioni di alterazione del cappellaccio non sono da considerarsi costanti, ma necessariamente soggette ad un peggioramento man mano che ci si avvicina alla superficie ed un progressivo miglioramento verso maggiori profondità, dove l'alterazione penetra con più difficoltà e il cappellaccio sfuma in substrato roccioso granitico sano.

In corrispondenza della perforazione di substrato granitico sano, che non affiora in un consistente intorno dall'area di futuro imbocco della galleria, si assiste ad un brusco innalzamento dei valori di RQD che restituiscono valori sempre compresi tra 60 e 100; dallo studio delle carote si rileva la presenza di fratture, ma le superfici delle famiglie di fratture sono fresche, non beanti e per lo più non alterate.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00	D69RG	GE0001	001A	54 di 65

Facendo dunque nuovamente riferimento alla classificazione GSI in funzione delle caratteristiche strutturali e delle condizioni delle discontinuità (cfr. Figura 9-1), la struttura dell'ammasso può essere definita di tipo B (blocky), che combinata con le condizioni delle superfici di discontinuità descritte, mostra un indice GSI del substrato roccioso non affiorante indicativamente compreso tra 65 e 75.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
		Very rough, fresh unweathered surfaces	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Figura 9-1 – Classificazione GSI per ammassi rocciosi

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	56 di 65

10 DESCRIZIONE DEI SETTORI D'INTERVENTO

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire, in maniera commisurata al grado di approfondimento del progetto in corso, il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Nelle pagine che seguono viene quindi analizzato l'intero settore di intervento, opportunamente suddiviso in tratti omogenei relativi ai sottoinsiemi geomorfologici presenti. Per ogni singolo tratto, in particolare, vengono descritte tutte le principali caratteristiche geologiche s.l. e gli aspetti più salienti ai fini progettuali.

Nel seguito, si fa quindi esplicito riferimento a quanto riportato nelle apposite cartografie tematiche ed al profilo longitudinale ricostruito lungo gli assi del tracciato ferroviario previsto. In particolare, per quanto concerne le unità geologiche presenti nei vari settori di interesse, si riportano direttamente i nomi contenuti nella cartografia geologica realizzata a corredo della presente relazione. Infine, per quanto riguarda gli spessori e l'assetto delle singole unità litostratigrafiche, si fa riferimento ai dati contenuti negli studi bibliografici a disposizione e alle risultanze delle diverse indagini geognostiche appositamente realizzate lungo il tracciato in esame nel corso della campagna di indagini condotta.

10.1 Pk 0,0 – Pk 1,170 (Piana del Paule Longa)

Il tracciato, attraversa una vallata ampia, dai fianchi molto modestamente acclivi, attraversata dal corso del Fiume Paule Longa, a quote comprese tra i 9 ed i 19 m sul livello del mare. Il progetto prevede lo scavallamento del fiume in viadotto, tra le pk 0,137 e pk 0,780 circa, mentre il resto del tracciato in questo intervallo è previsto in rilevato o interrato, nel tratto pk 0,780 – pk 1,170 circa.

Il substrato geologico nell'area è costituito da graniti appartenenti al Complesso Granitoide della Gallura. Il tetto della formazione rocciosa sana è posto a profondità variabili, comprese nel tratto tra 14 e 12 m circa dal piano campagna; la profondità tende a diminuire progressivamente man mano che ci si muove lungo il tracciato dall'estremità nord ovest verso sud est. Non sono presenti affioramenti né, nei campioni prelevati all'esecuzione del sondaggio S01, sono state rilevate zone di taglio significative o filoni. I graniti, verso l'alto, passano senza soluzione di continuità ad un cappellaccio che si presenta sempre più alterato ed arenizzato man mano che la profondità diminuisce; detto cappellaccio si trova nell'area a profondità presumibilmente comprese tra i 14 ed i 12 m da p.c. a letto e tra gli 8 ed i 2 m da p.c. a tetto. È l'intervallo più difficile da caratterizzare, in quanto nelle cassette catalogatrici si presenta come sabbia da grossolana a media ma tutte le prove SPT effettuate hanno regolarmente dato rifiuto alla penetrazione della punta. Al di sopra del cappellaccio di alterazione sono presenti terreni sciolti rimaneggiati dall'attività del corso d'acqua (alluvioni). Si tratta di terreni non più direttamente collegabili al substrato roccioso in quanto soggetti ad un trasporto, anche se da un punto di vista strettamente petrografico e mineralogico non

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

presentano sostanziali differenze con il resto della pila stratigrafica. La base di questo intervallo è situata tra i meno 6,4 metri del sondaggio S01 e pochi decimetri nelle porzioni più lontane dal corso d'acqua.

Dal punto di vista **geomorfologico**, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo **idrogeologico**, invece, la lettura del livello piezometrico effettuata nel foro di sondaggio S01 in data 20/09/2022 ha rivelato la presenza di acqua ad una profondità pari a 4,4m dal piano campagna. Le prove di permeabilità effettuate hanno identificato una permeabilità medio bassa dei terreni attraversati, con valori di coefficiente di permeabilità compresi tra 10^{-6} e 10^{-8} m/s.

10.2 Pk 1,170 – Pk 1,855 (cresta montuosa – Via Caltanissetta)

Il tracciato intercetta una modesta cresta montuosa che raggiunge i 35 m sul livello del mare, orientata approssimativamente N45°, tramite una galleria prevista tra le pk 1,170 e pk 1,615, mentre il resto del tracciato in questo intervallo è previsto interrato.

Il substrato geologico nell'area è costituito da graniti appartenenti al Complesso Granitoide della Gallura. Il tetto della formazione rocciosa sana è posto a profondità variabili, comprese tra la superficie topografica e 5 m circa dal piano campagna in corrispondenza del sondaggio S03; nella porzione centrale di questo tratto, dove la roccia in superficie affiora, è prevista l'esecuzione di una galleria naturale tra le pk 1,276 e pk 1,450, interamente compresa nel substrato granitico sano. Lungo la cresta sono presenti filoni leucogranitici e riolitici, ben visibili in affioramento lungo il taglio stradale esistente nella porzione sudorientale della cresta lungo la Via Caltanissetta; un filone è stato riscontrato a circa 18m di profondità nel sondaggio S03, ed attraversato per lo spessore di un metro. Procedendo verso la superficie, i graniti passano senza soluzione di continuità ad un cappellaccio che si presenta sempre più alterato ed arenizzato ma mano che la profondità diminuisce; detto cappellaccio si trova affiorante nell'area eccetto che lungo la cresta, dove affiorano i graniti non alterati. La profondità massima raggiunta dal cappellaccio in questo settore è circa 5 m. Tutte le prove SPT effettuate in questo intervallo hanno regolarmente dato rifiuto alla penetrazione della punta.

Dal punto di vista **geomorfologico**, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo **idrogeologico**, invece, la lettura del livello piezometrico effettuata nel foro di sondaggio S03 in data 20/09/2022 ha rivelato la presenza di acqua ad una profondità pari a 8,8 m dal piano campagna e le prove di permeabilità hanno determinato valori di k medio bassi dell'ammasso roccioso (nell'ordine di 10^{-6} – 10^{-7} m/s). Nel corso degli scavi delle trincee e della galleria sarà dunque verosimilmente presente acqua, in volumi modesti, percolante dalle fessurazioni secondarie dell'ammasso roccioso.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

10.3 Pk 1,855 – Pk 2,898 (alluvioni terrazzate del Fiume Padrogiano)

Il tracciato attraversa una vallata ampia, dai fianchi modestamente acclivi, priva di corsi d'acqua significativi e modellata principalmente dalle alluvioni terrazzate del Fiume Padrongiano, a quote comprese tra i 7 ed i 18 m sul livello del mare. Il progetto prevede un lungo viadotto in tutto il tratto considerato.

Il substrato geologico nell'area è costituito da graniti appartenenti al Complesso Granitoidale della Gallura. Il tetto della formazione rocciosa sana è posto a profondità variabili, comprese nel tratto tra 5 e 15 m circa dal piano campagna. Non sono presenti affioramenti né, nei campioni prelevati all'esecuzione dei sondaggi S04 ed S05, sono state rilevate zone di taglio significative o filoni. I graniti, verso l'alto, passano senza soluzione di continuità ad un cappellaccio che si presenta sempre più alterato ed arenizzato ma mano che la profondità diminuisce; detto cappellaccio si trova nell'area a profondità presumibilmente comprese a letto tra i 5 ed i 10 m da p.c. ed a tetto tra la superficie topografica ed i 4 m da p.c. Tutte le prove SPT effettuate in questo intervallo hanno dato rifiuto alla penetrazione della punta. Al di sopra del cappellaccio di alterazione sono presenti terreni sciolti rimaneggiati dall'attività del corso d'acqua (alluvioni). Si tratta di terreni non più direttamente collegabili al substrato roccioso in quanto soggetti ad un trasporto, anche se da un punto di vista strettamente petrografico e mineralogico non presentano sostanziali differenze con il resto della pila stratigrafica. La base di questo intervallo è situata non oltre i meno 4 metri del sondaggio S04.

Dal punto di vista **geomorfologico**, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo **idrogeologico** la lettura del livello piezometrico effettuata nel foro di sondaggio S05 in data 21/09/2022 ha rivelato la presenza di acqua ad una profondità pari a 2,4m dal piano campagna. Le prove di permeabilità effettuate hanno identificato una permeabilità medio bassa dei terreni attraversati, con valori di coefficiente di permeabilità compresi tra 10^{-6} e 10^{-8} m/s.

10.4 Pk 2898 – Pk 3420,23 (Aeroporto)

Il tracciato è praticamente tutto incluso in area aeroportuale, pianeggiante e morfologicamente rimaneggiata in modo da essere perfettamente pianeggiante, quantomeno a partire dalla pk 3,133 circa. L'area è priva di corsi d'acqua significativi ed è modellata dall'attività antropica che è intervenuta su una morfologia alluvionale terrazzata e non piuttosto pianeggiante, grazie all'attività del Fiume Padrogiano. La tratta si trova quote comprese tra i 7 ed i 13 m sul livello del mare. Il progetto prevede un lungo viadotto in tutto il tratto considerato e comprende il punto di fine tratta, coincidente con l'edificazione di una stazione ferroviaria in area aeroportuale.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A	FOGLIO 59 di 65

Il substrato geologico nell'area è costituito da graniti appartenenti al Complesso Granitoide della Gallura. Il tetto della formazione rocciosa sana è posto a profondità variabili, misurate in area aeroportuale pari a 19,8m da piano campagna nel sondaggio S06bis. Non sono presenti affioramenti né, nei campioni prelevati all'esecuzione del sondaggio S06, sono state rilevate zone di taglio significative o filoni. I graniti, verso l'alto, passano senza soluzione di continuità ad un cappellaccio che si presenta sempre più alterato ed arenizzato ma mano che la profondità diminuisce; detto cappellaccio si trova nell'area a profondità presumibilmente comprese a letto intorno ai 20m da p.c. ed a tetto tra la superficie topografica ed i 5 m da p.c. È l'intervallo più difficile da caratterizzare, in quanto nelle cassette catalogatrici si presenta come sabbia da grossolana a media ma tutte le prove SPT effettuate hanno dato rifiuto alla penetrazione della punta. Al di sopra del cappellaccio di alterazione sono presenti terreni sciolti rimaneggiati dall'attività del corso d'acqua (alluvioni). Si tratta di terreni non più direttamente collegabili al substrato roccioso in quanto soggetti ad un trasporto, anche se da un punto di vista strettamente petrografico e mineralogico non presentano sostanziali differenze con il resto della pila stratigrafica. La base di questo intervallo è situata non oltre i meno 4 metri del sondaggio S04.

Dal punto di vista **geomorfologico**, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo **idrogeologico** la lettura del livello piezometrico effettuata nel foro di sondaggio S06 in data 21/09/22 ha rivelato la presenza di acqua ad una profondità pari a 6,5 m dal piano campagna. Le prove di permeabilità effettuate hanno identificato una permeabilità medio bassa dei terreni attraversati, con valori di coefficiente di permeabilità compresi tra 10^{-6} e 10^{-8} m/s.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

11 VERIFICHE DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Nel paragrafo 7.11.3. Risposta Sismica Locale e stabilità di sito delle nuove NTC-2018 è assertito che *“il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii e/o manufatti, occorre procedere a interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili a liquefazione...”*. Ai sensi delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti caratteristiche:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata
- $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

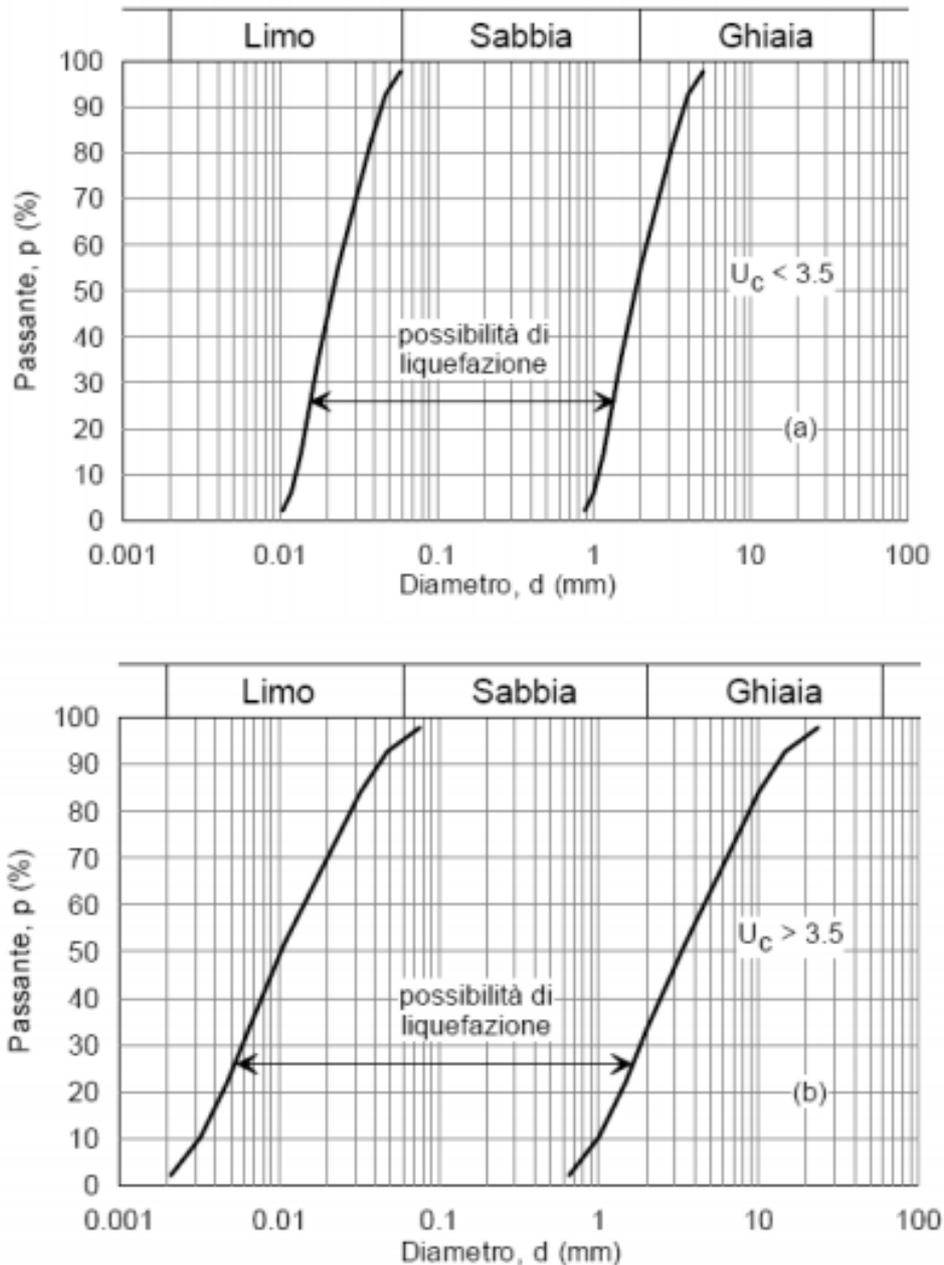


Figura 11-1 -fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione.

Considerata la sismicità di base del sito è possibile omettere la verifica al fenomeno di liquefazione, in quanto, in base alla zona sismogenetica e alla disaggregazione della PGA_0 di sito, l'area risulta caratterizzata da una accelerazione attesa di inferiore a $a_g=0.1 g$.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

12 BIBLIOGRAFIA

Assorgia A., Balogh K., Lecca L. et alii (1995) "Volcanological characters and structural context of Oligo-Miocene volcanic successions from Central Sardinia (Italy) "Estratto dal volume Atti del Convegno dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL "Rapporti Alpi – Appennino e Guide alle escursioni" Peveragno (CN) 31 maggio – 1 giugno 1994

Assorgia A., Barca S., Spano C. "Lineamenti stratigrafici, tettonici e magmatici del terziario della Sardegna" In: La "Fossa Sarda nell'ambito dell'evoluzione Geodinamica cenozoica del Mediterraneo occidentale", Villanovaforru (CA) - (1997)

Assorgia, A., Barca S., Casula A., G. Spano C. "Le successioni sedimentarie e vulcaniche del Miocene nei dintorni di Giave e Cossoine (Logudoro, Sardegna NW)". Bollettino della Società Sarda di Scienze Naturali XXVI - (1988)

Assorgia A., Barca S., Spano C. "A syntethesis on the Cenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italy)" Boll. Soc. Geol. It., 116,ROMA - 1997

Barca S., Melis E., Annino E., Cincotti F., Ulzega A., Orrù P., Pintus C. "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 557 Cagliari" APAT – Servizio Geologico d'Italia *Progetto CARG*

Barca S., Melis E., Calzia P., Patta E.D., Rizzo R., Serri P. "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 547 Villacidro" ISPRA – Servizio Geologico d'Italia *Progetto CARG*

Barca S., Serri R., Rizzo R., Forci A., Calzi P., Perusati P.C. "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 565 Capoterra" ISPRA – Servizio Geologico d'Italia *Progetto CARG*

Barla G. (1976) – Meccanica delle rocce. CLUT, Torino.

Barton N.R. & Bandis S. (1980) – Some effects of scale on the shear strength of joints. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.

Barton N, Lien R, Lunde J. (1974) - Engineering classification of rockmasses for the design of tunnel support. Rock Mech.

Barton N. (2002) - Some new Q value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. Int J Rock Mech Min Sci.

Beccaluva L., Civetta L., Macciotta G., Ricci C. A. "Geochronology in Sardinia: results and problems". Rend. Soc. It. Min. Petr. 40,- (1985)

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geologica	RR00	00	D69RG	GE0001	001A	63 di 65

Beccaluva L., Deriu M., Macciotta G., Savelli C., Venturelli G. "Geochronology and magmatic characters of the Pliocene-Pleistocene volcanism in Sardinia (Italy)". Bull. Volcanol. N. 40 (3), 1977.

Bieniawski ZT. (1973) - Engineering classification of rock masses. Trans S African Inst Civ Engrs.

Biasini A., D'Alessandro L., De Marco R. "Carta della stabilità geomorfologica in Italia" a scala 1:1.500.000 allegata alla "Relazione sullo stato dell'ambiente in Italia" – Ministero dell'Ambiente (1992).

Bralia, A., Ghezzi, C., Guasparri, G. & Sabatini, G. "Alcuni aspetti genetici del batolite ercinico sardo" Rend. Soc. Miner. Petr., 37 - (1981)

Carboni S., Lecca L. "Osservazioni sul Pleistocene medio-sup. della penisola del Sinis (Sardegna occidentale)" Boll. Soc. Geol. It., 104 - (1985)

Carmignani L. et al. "Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000". Servizio Geologico d'Italia, Firenze (1996)

Carmignani L., Barca S., Di Pisa A., Gattiglio M., Oggiano G.; Pertusati P.C. "Schema dell'evoluzione del basamento sardo" In: Struttura della Catena ercinica in Sardegna. Centrooffset.- Siena (1991)

Carmignani L., Cocozza T., Ghezzi C., Pertusati P. C., Ricci C. A. "Lineamenti del basamento paleozoico Sardo" in: Carmignani L., Cocozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C. & Ricci C. A. (Editors), Guida alla geologia del Paleozoico Sardo. Soc. Geol. It. 11-24.(1982)

Carmignani L., Oggiano G., Barca S., Conti P., Salvadori I., Eltrudis A., Funedda A., Pasci S. "Geologia della Sardegna. Note illustrative della Carta Geologica in scala 1:200.000". Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia LX, 283 – Roma - 2001

Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M., Sarria A.E. "The Cenozoic graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data". Marine and Petroleum Geology 18 - 2001

Cocozza T., Jacobacci A., Nardi R., Salvadori I. "Schema stratigrafico-strutturale del Massiccio Sardo-Corso e minerogenesi della Sardegna". Memorie della Società Geologica Italiana 13. (1974)

Dipartimento di Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico – (2014) "Mappa di Classificazione Sismica del Territorio Nazionale al 2014" in: Recepimento dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza n. 3271)" pubblicata sulla G.U. Parte I - n. 72 del 8 maggio 2003

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
	Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A

Di Simplicio P., Ferrara G., Ghezzi C., Guasparri G., Pellizzer R., Ricci C. A., Rita F., Sabatini G. "Il metamorfismo ed il magmatismo paleozoico della Sardegna." Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.", 30, - (1974)

Di Stefano A., Pederzoli S. "Una introduzione allo studio del pianeta" Seconda edizione - Italo Bovolenta editore, Zanichelli – 2019

Fadda A. F., Pala A. "Le acque della Sardegna" Cagliari - (1992)

Fais S., Klingele E.E., Lecca L. "Oligo-Miocene Half Graben Structure In Western Sardinian shelf (Western Mediterranean): reflection seismic and aeromagnetic data comparison". Marine Geology, 133 - (1996)

Fanucci F., Morelli D. "Caratteri e cronologia della deriva del blocco sardo-corso" - Atti del XIII Congresso Nazionale dell'AIOL (Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia) 2000

Funedda A., Pertusati P.C., Carmignani L., Uras V., Pisanu G., Murtas M. "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 540 Mandas" ISPRA – Servizio Geologico d'Italia
Progetto CARG

Hoek, E.; Brown, E.T. Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1997, 34, 1165–1186.

Hoek E. & Bray J. (1981) - Rock slope engineering, (Revd. 3rd edn). Ed. Institution of Mining & Metallurgy, London.

Hoek, E.; Brown, E.T. Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1997, 34, 1165–1186.

Hoek E, Brown ET (1999) - Practical estimates of rock mass strength. Int J Rock Mech Min Sci.

Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B. - Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: Proceedings of the fifth North American rock mechanics symposium, Toronto, Canada, vol. 1;

Mazzei R., Oggiano G. "Messa in evidenza di due cicli sedimentari nel Miocene dell'area di Florinas (Sardegna settentrionale)". Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A 97(A)- (1990)

Montaldo P. "Carta geologica del Campidano centrale alla scala 1:50.000, con note illustrative". Pubbl. Ist. Geol. Appl. Univ. Cagliari - (1959)

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA					
Relazione geologica	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001A	FOGLIO 65 di 65

Pala A., Pecorini G., Porcu A., Serra S. "Schema geologico–strutturale della Sardegna" Estratto dal volume: "Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al graben del Campidano"- CNR P.F. Energetica RF 10-PISA 1982

Pala A., Pecorini G., Porcu A. "Struttura idrogeologica della soglia di Siliqua, fra la fossa del Campidano e la fossa del Cixerri (Sardegna meridionale)". Boll. Soc. Geol. It., 95, 1976.

Pala A., Vacca S. "Geologia e idrogeologia di un settore del Campidano centrale (Sardegna centro-meridionale)". Pubbl, n. 304 Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fis. Univ. Cagliari, Cagliari, 1980.

Pecorini G., Pomesano Cherchi A. "Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna)". Mem. Soc. Geol, It., 8, Pisa - (1969)

Peruzza L. Pessina V. "Zone sismiche e pericolosità in Italia: dalle norme regionali alla comunicazione del rischio" in Geologia Tecnica & Ambientale n. 1/2016

Sgavetti M. "Analisi preliminare degli elementi morfostrutturali lineari della Sardegna".- (1982)

Tilia Zuccari A. "Relazione stratigrafica sul pozzo Oristano 2 (Riola Sardo) Sardegna occidentale" Boll. Soc, Geol. It., 88, Roma, (1969).

Ulzega A., "Carta geomorfologica della Sardegna Marina e Continentale", C.N.R., P.F. Oceanografia e Fondi Marini, Novara, Istituto Geografico De Agostini, 1988.