

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP J74J22000170001

## DIREZIONE TECNICA

## S.O. GEOLOGIA TECNICA

## PROGETTO DEFINITIVO

Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano

Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica

SCALA:

Relazione generale

-

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

RR0S 00 D 69 RG GE0001 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Paone	Luglio 22	P. Balbi	Luglio 22	Paolo Manna	Luglio 22	M.COMEDINI Luglio 2022
		F. Tassinari						
B	Rimissione a seguito di commenti ODI	R. Ceravolo	Dicembre 22	P. Balbi	Dicembre 22	Paolo Manna	Dicembre 22	 Manna

File: RR0S00D69RGGE0001001B

n. Elab.

## INDICE

1	PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
2	INTERVENTI IN PROGETTO.....	7
3	DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO .....	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	10
4.1	ASSETTO GEOLOGICO REGIONALE .....	10
4.2	UNITÀ SEDIMENTARIE E VULCANICHE TERZIARIE E QUATERNARIE DELLA SARDEGNA .....	15
4.3	ASSETTO STRATIGRAFICO DEL CAMPIDANO .....	18
4.3.1	<i>Faglie Plioceniche</i> .....	24
4.3.2	<i>Faglie Pre-plioceniche</i> .....	24
4.4	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE A SCALA REGIONALE .....	26
4.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	28
5	INQUADRAMENTO SISMICO.....	34
5.1	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO .....	37
5.2	CATEGORIE TOPOGRAFICHE.....	39
5.3	MACRO SISMICITÀ DELLE AREE DI INTERVENTO.....	40
5.4	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO .....	42
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	44
6.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	44
6.1.1	<i>Descrizione dei mezzi utilizzati</i> .....	46
6.1.2	<i>Descrizione delle attività eseguite</i> .....	47

6.2	INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	49
6.2.1	<i>Descrizione delle prove di laboratorio eseguite</i> .....	49
6.3	INDAGINI SISMICHE MASW .....	52
6.4	PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE ONDE P.....	53
7	PROGETTO DI ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA CAGLIARI-ORISTANO: QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO .....	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
7.1	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON LE OPERE IN PROGETTO.....	54
8	SSE CAGLIARI - SANTA GILLA : MODELLO GEOLOGICO .....	58
8.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	58
8.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO.....	59
8.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	60
8.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	63
8.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	63
8.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	64
8.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018).....	64
8.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	65
9	SSE DECIMOMANNU: MODELLO GEOLOGICO .....	66
9.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	66
9.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO.....	67
9.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	68
9.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	72
9.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	72

9.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	73
9.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018) .....	73
9.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	74
10	SSE VILLASOR: MODELLO GEOLOGICO .....	75
10.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	75
10.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO .....	76
10.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	77
10.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	80
10.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	80
10.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	80
10.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018) .....	81
10.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	81
11	SSE SAN GAVINO: MODELLO GEOLOGICO .....	82
11.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	82
11.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO .....	83
11.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	84
11.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	87
11.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	87
11.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	88
11.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018) .....	88
11.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	89
12	SSE MARRUBIU: MODELLO GEOLOGICO .....	90

12.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	90
12.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO.....	91
12.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	92
12.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	95
12.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	95
12.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	96
12.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018).....	96
12.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	96
13	SSE ORISTANO: MODELLO GEOLOGICO .....	97
13.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....	98
13.2	RISULTATI PROVE SPT IN FORO.....	99
13.3	RISULTATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....	100
13.4	RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ .....	103
13.5	FACIES STRATIGRAFICHE .....	103
13.6	MODELLO IDROGEOLOGICO E POSSIBILI INTERFERENZE CON L'OPERA .....	104
13.7	AZIONE SISMICA DI PROGETTO (NTC 2018).....	104
13.8	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	105
14	VERIFICHE DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	106
15	NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ.....	108
16	BIBLIOGRAFIA.....	109

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	6 di 111

## 1 **PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nell'ambito del servizio di progettazione per l'Elettrificazione della linea Cagliari-Oristano nella Regione Sardegna è stato redatto il presente documento inerente lo studio dei terreni interessati dal Progetto Definitivo.

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”.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	7 di 111

- 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 INTERVENTI IN PROGETTO**

Gli interventi in progetto riguardano l'elettrificazione della linea Cagliari-Oristano, nella Regione Sardegna e nell'ambito degli interventi da eseguirsi è prevista la realizzazione di n. 5 sottostazioni elettriche di Media Tensione (Cagliari, Decimomannu, Marrubiu, Oristano e San Gavino) e di n. 1 Sottostazione elettrica di Alta Tensione (Villasor).

Per ciascun edificio si prevede una struttura intelaiata in cemento armato che si sviluppa su un solo piano fuori terra. Esso ha dimensione rettangolare in pianta di circa 19,90x12,50m ed è caratterizzato da una copertura a doppia falda con inclinazione di circa 17° la cui altezza massima in corrispondenza del colmo è circa pari a 6,50 m.

Nel complesso la struttura è costituita da 4 telai in cemento armato di larghezza pari a 12,50 m e interasse costante pari a 6,50 m. Gli elementi strutturali verticali di ciascun telaio sono tre pilastri di sezione 40x40 cm. La trave di colmo, le travi di bordo che collegano i vari telai e le travi secondarie trasversali hanno tutte sezione estradossata rettangolare di 40x65 cm.

La fondazione è realizzata con travi rovesce alte complessivamente 120 cm, con suola di larghezza di base 100 cm e spessore pari a 35 cm e con anima superiore di 50 cm. Le fondazioni poggiano tutte su di un getto di calcestruzzo magro di spessore minimo 10 cm.

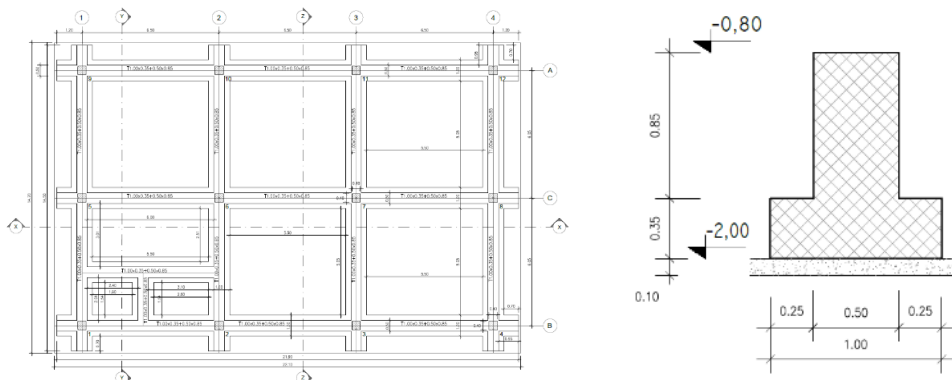


Figura 2-1 – Sezione tipologica trave rovescia di fondazione e planimetria fondazione

Per maggiori approfondimenti sulle geometrie delle diverse parti dell'opera si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

### 3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Il tracciato si sviluppa lungo una direttrice che si sviluppa da Sud a Nord, da Cagliari ad Oristano.

La maggior percorrenza della linea ferroviaria risulta impostata all'interno del semi-graben del Campidano, la più vasta pianura della Sardegna, situata nella porzione sud-occidentale dell'isola, all'incirca compresa tra i 40° e i 39° di latitudine Nord e gli 8°30' e i 9° di longitudine Est.



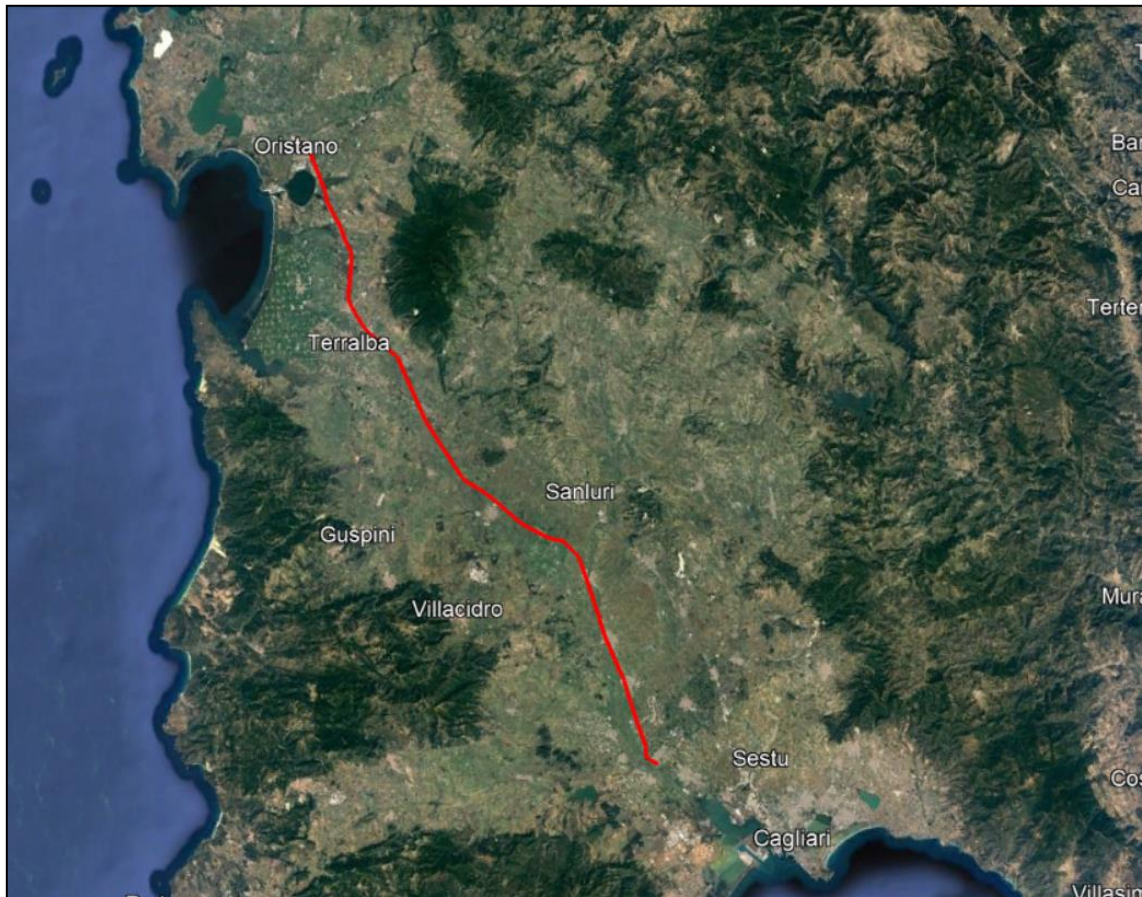



Figura 3-1 – Tracciato di progetto.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	10 di 111

#### **4 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.

##### **4.1 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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001001	REV. B	FOGLIO 11 di 111

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.

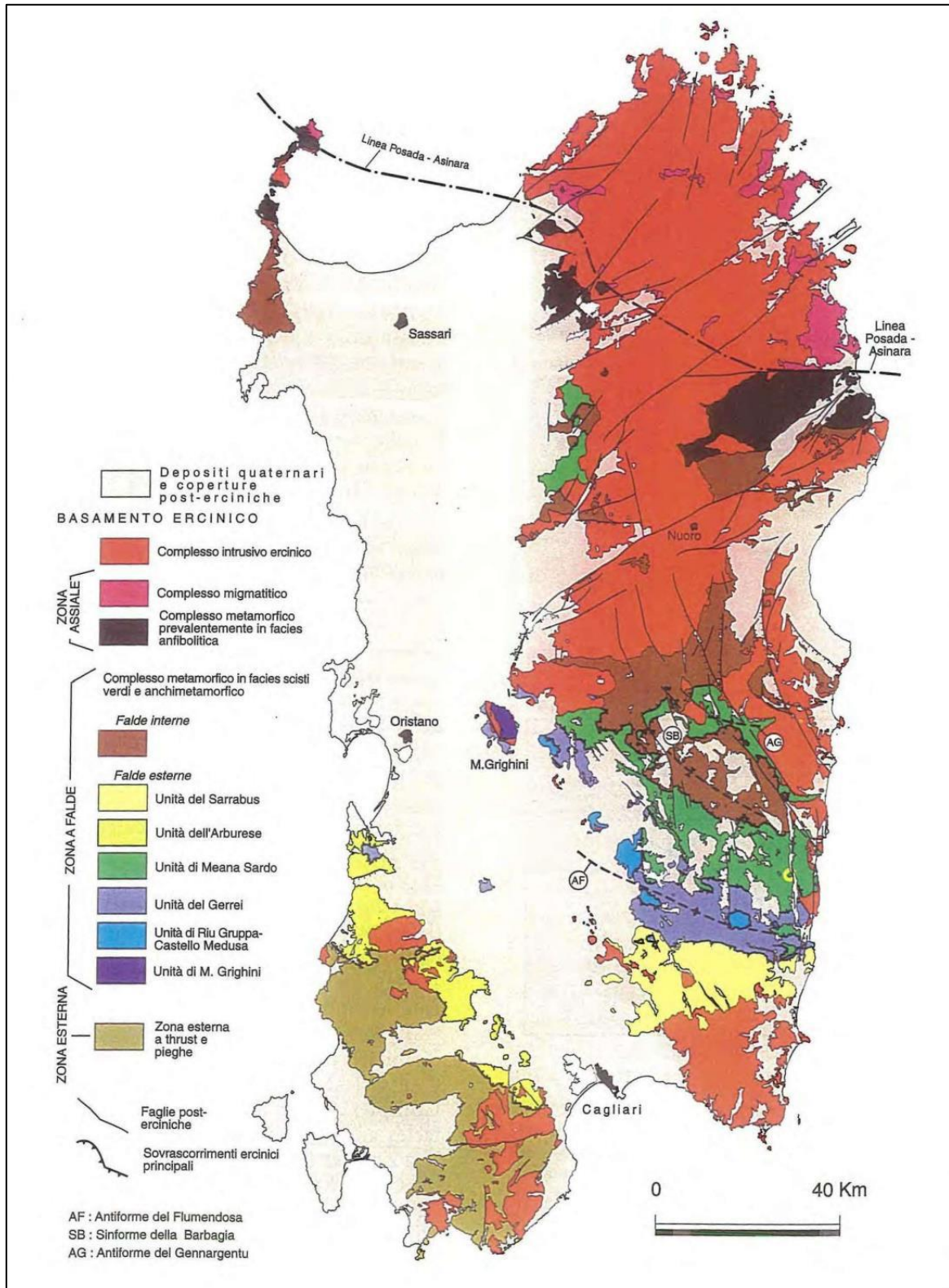



Figura 4-1 – Principali elementi strutturali del basamento sardo ercinico (Zona esterna, Zona a falde esterne e interne, Zona assiale) (Carmignani et al., 2001)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	13 di 111

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 4-2, 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 iberico-armoricano).

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.

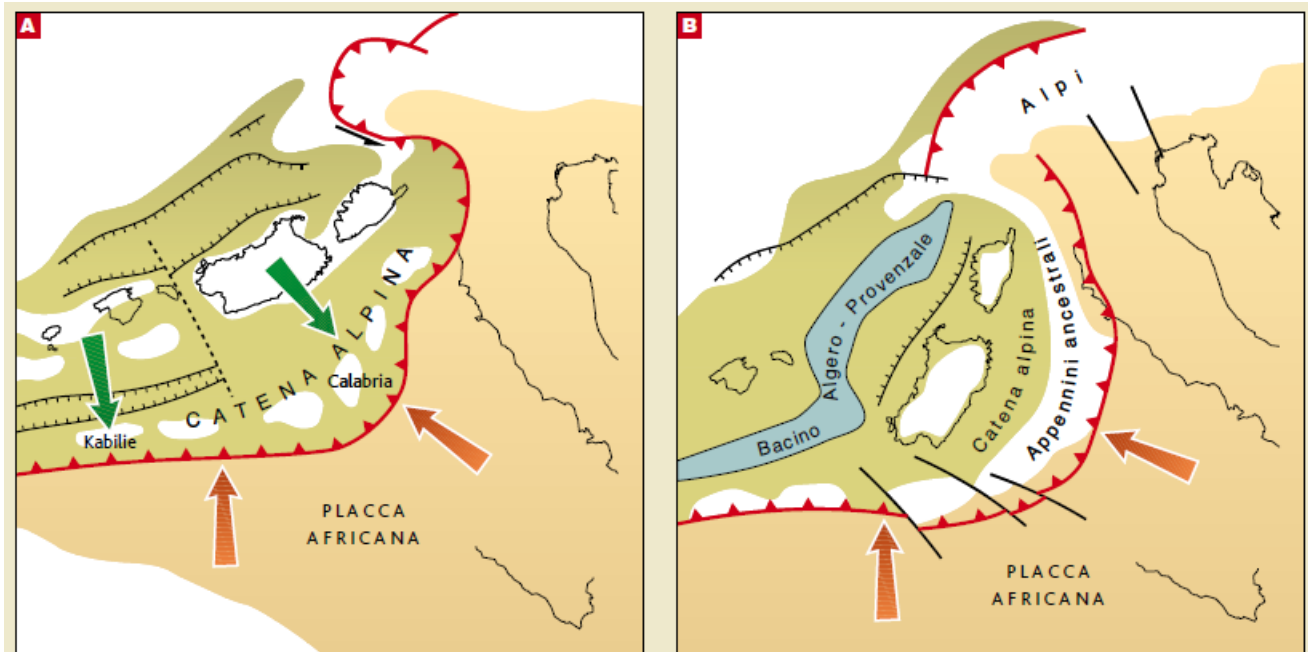


Figura 4-2 – In A e B si vedono due Momenti diversi della Rotazione del blocco Sardo-Corso. Ruotando, questo blocco ha provocato la formazione degli Appennini ancestrali e ha trascinato verso Est una piccola porzione di catena alpina, che in seguito andò a formare gran parte della Calabria e i monti 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.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	15 di 111

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

- Paleozoico;
- Mesozoico;
- Cenozoico.

#### **4.2 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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	16 di 111

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.



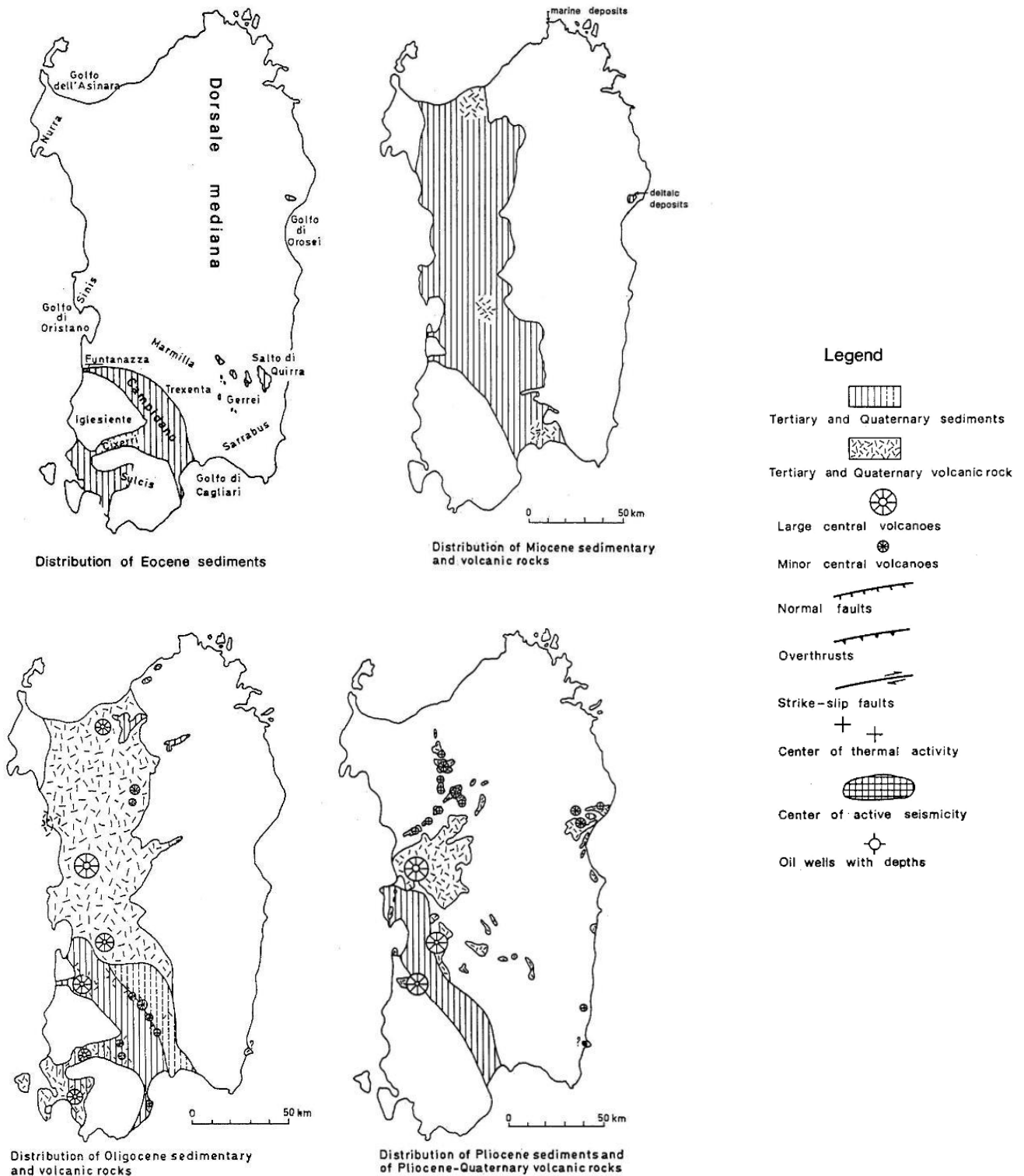


Figura 4-3 – (in senso orario da sinistra in alto) Distribuzione dei Depositi sedimentari nell'Eocene, delle Rocce vulcaniche e dei Depositi sedimentari nel Miocene, delle Rocce vulcaniche e dei Depositi sedimentari nell'Oligocene e delle Rocce vulcaniche e dei Depositi sedimentari nel Pliocene e Quaternario (Assorgia et Al., 1997)

### 4.3 Assetto stratigrafico del campidano

Le conoscenze stratigrafiche sul semi-graben campidanese provengono soprattutto da sondaggi profondi svolti per la ricerca di idrocarburi. I primi tre pozzi (Oristano 1 – Oristano 2 - Campidano 1) perforati a terra tra il 1961 e il 1964 da SAIS hanno raggiunto profondità intorno ai 1800 m.

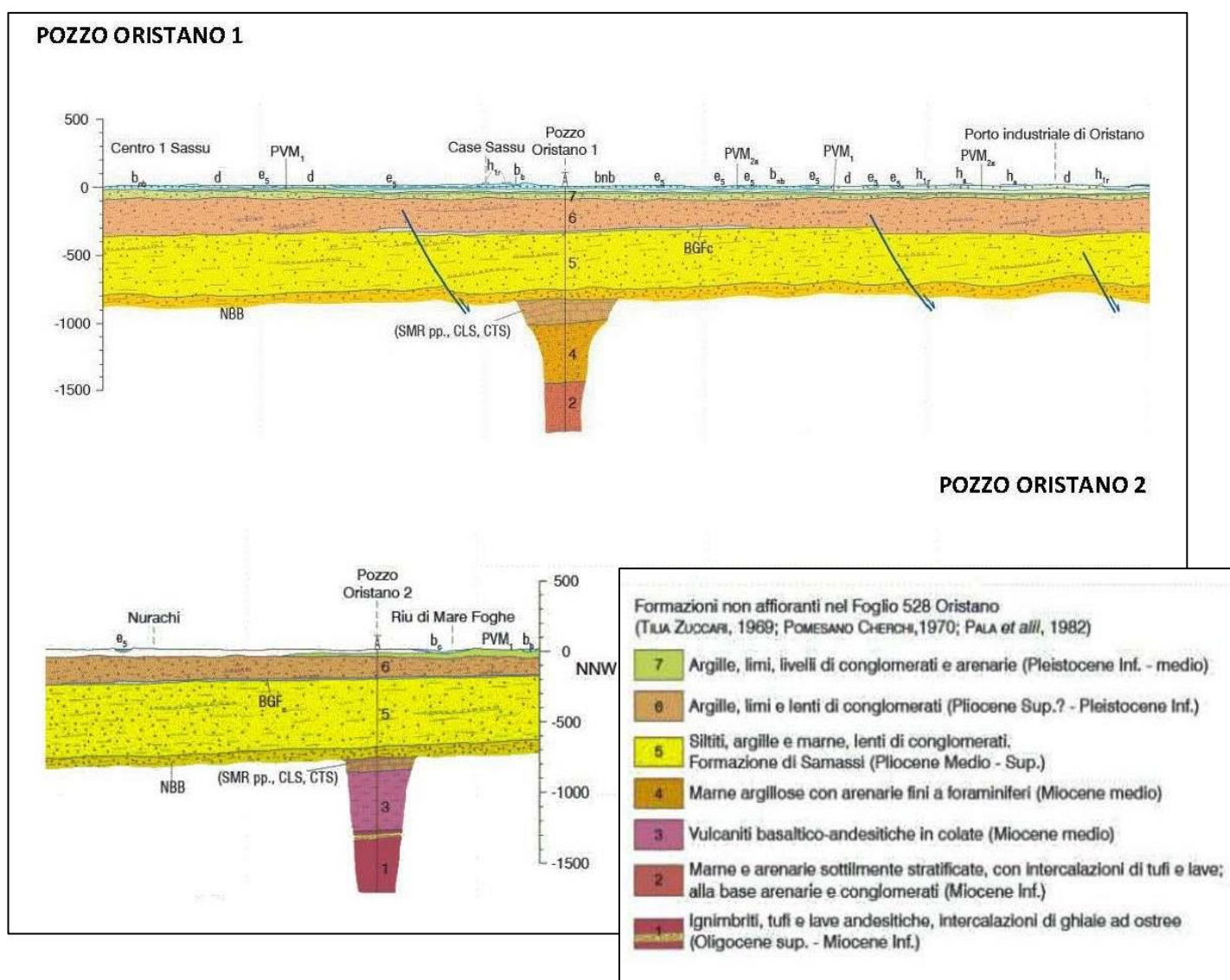



Figura 4-4 – Sezioni geologiche in corrispondenza dei Pozzi Oristano 1 e Oristano 2. Un quarto pozzo, perforato in mare nel 1964 dall'AGIP S.p.A. su un fondale di -63,00 m, sulla costa occidentale del Golfo di Cagliari, a 12 km a Sud-Est di Pula, si è spinto fino a - 2440 m ed ha attraversato 2376+55 m di sedimenti e vulcaniti di età compresa tra Quaternario-Attuale e Oligocene-Miocene inferiore.

La serie stratigrafica ricavata da queste perforazioni evidenzia un forte spessore di sedimenti quaternari e pliocenici, fra i quali si intercala un sottile orizzonte basaltico che copre un complesso miocenico marino,

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	19 di 111

potente almeno 1000 metri, con intercalazioni vulcaniche alla base. Il pozzo AGIP attraversa una successione stratigrafica quasi identica a quella incontrata dai pozzi SAIS anche se si è rilevato un maggior spessore di tutte le formazioni dell'intervallo Quaternario-Oligocene, specialmente delle arenarie e dei conglomerati alla base del Miocene marino ("Formazione di Ussana", continentale, di età oligocenica), e delle vulcaniti andesitiche. In queste ultime il pozzo si è arrestato alla profondità di m 2377 sotto il fondo del mare. La potenza delle andesiti è risultata pari a 670 metri, mentre quella del sedimentario ad esse sovrastante è complessivamente di 1700 metri circa, comprendendo Quaternario, Pliocene, Miocene e Oligocene, presumibilmente non in continuità di sedimentazione. In complesso, i quattro pozzi hanno riscontrato nel sottosuolo formazioni geologiche presenti anche in affioramento nelle aree attigue al semi-graben campidanese, con spessori pressoché uguali, ad eccezione della Formazione di Samassi costituita da sedimenti clastici grossolani, la quale appare entro il graben assai più potente di quanto non si rilevi nei pochi e scarsi affioramenti individuabili a Nord di Cagliari. Questa formazione, sconosciuta prima della sua identificazione nei logs dei pozzi SAIS, caratterizza la fossa campidanese dimostrando che essa ha acquisito la sua attuale struttura proprio durante il Pliocene, iniziando, dopo aver partecipato alle vicende della fossa sarda fino al Messiniano, un nuovo ciclo subsidente che è ancora oggi in atto.

Pur facendo parte della più grande "Fossa Sarda" compresa fra il Golfo dell'Asinara e quello di Cagliari, il semi-graben campidanese se ne differenzia proprio perché contiene la Formazione di Samassi, sintettonica, tipica di un ambiente di sedimentazione in rapida subsidenza.

I suoi sedimenti, spesso caotici, con spessori fino a 400-500 metri, si sono formati dal ciclo erosione-sedimentazione delle rocce mioceniche e testimoniano il forte sollevamento, ai bordi del Campidano, della serie miocenica qua e là ricoperta dagli strati marini trasgressivi del Pliocene inferiore e, per contro, un abbassamento dell'area centrale campidanese.

Solo nel Campidano di Oristano i depositi della "Samassi" sono ricoperti, in concordanza, da colate basaltiche di età pliocenica e da formazioni alluvionali post-basaltiche plio-pleistoceniche, per uno spessore di oltre 300 metri (pozzo Oristano 1). Ciò indica la presenza, in quel settore, di una subsidenza recente contrariamente a quanto invece avviene nel Campidano di Cagliari, dove i depositi alluvionali quaternari risultano accumulati in prevalenza entro paleovalli d'erosione connesse con l'eustatismo pleistocenico (Figura 4-5).

Tale accenno di separazione del graben in due "Campidani" troverebbe riscontro anche nelle linee strutturali principali: la fossa sarebbe suddivisa in due bacini dalla cosiddetta "soglia di Guspini-Sardara", un alto strutturale individuato sulla base di prospezioni geofisiche che può interpretarsi come basamento paleozoico a scarsa profondità fra il piccolo horst di Sardara ed il massiccio vulcanico del Monte Arcuentu.

Dei due bacini, quello di Oristano (Campidano settentrionale), chiuso ad Ovest dall'horst di Mal di Ventre (soglia del Sinis-Capo Frasca) e a nord dalla soglia vulcano-sedimentaria miocenica di Is Arenas, fra il Sinis ed il Montiferru, ha una estensione abbastanza modesta.

Il bacino meridionale (Campidano di Cagliari) è invece molto più esteso e si approfondisce in mare verso Sud, in direzione della Tunisia.

I due bacini sono collegati tramite un varco, a direzione N-S; si tratta della soglia di Sardara, aperta dalla tettonica pliocenica.

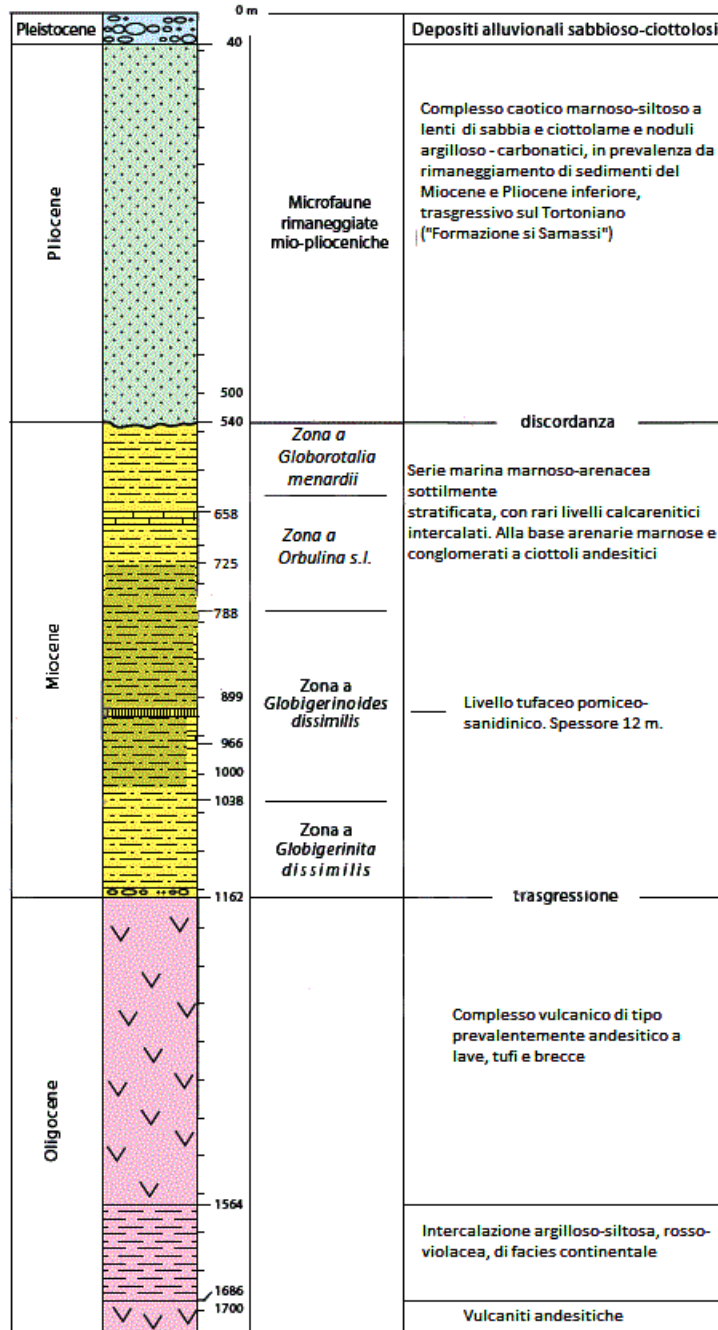


Figura 4-5 – Colonna stratigrafica del Pozzo Campidano 1 (Pecorini et Al., 1969)

I pozzi di ricerca per idrocarburi hanno lasciato comunque insoluto il problema della reale profondità del basamento paleozoico nel fondo del Campidano ed anche quello dell'eventuale presenza di formazioni mesozoiche sotto la colmata terziaria.

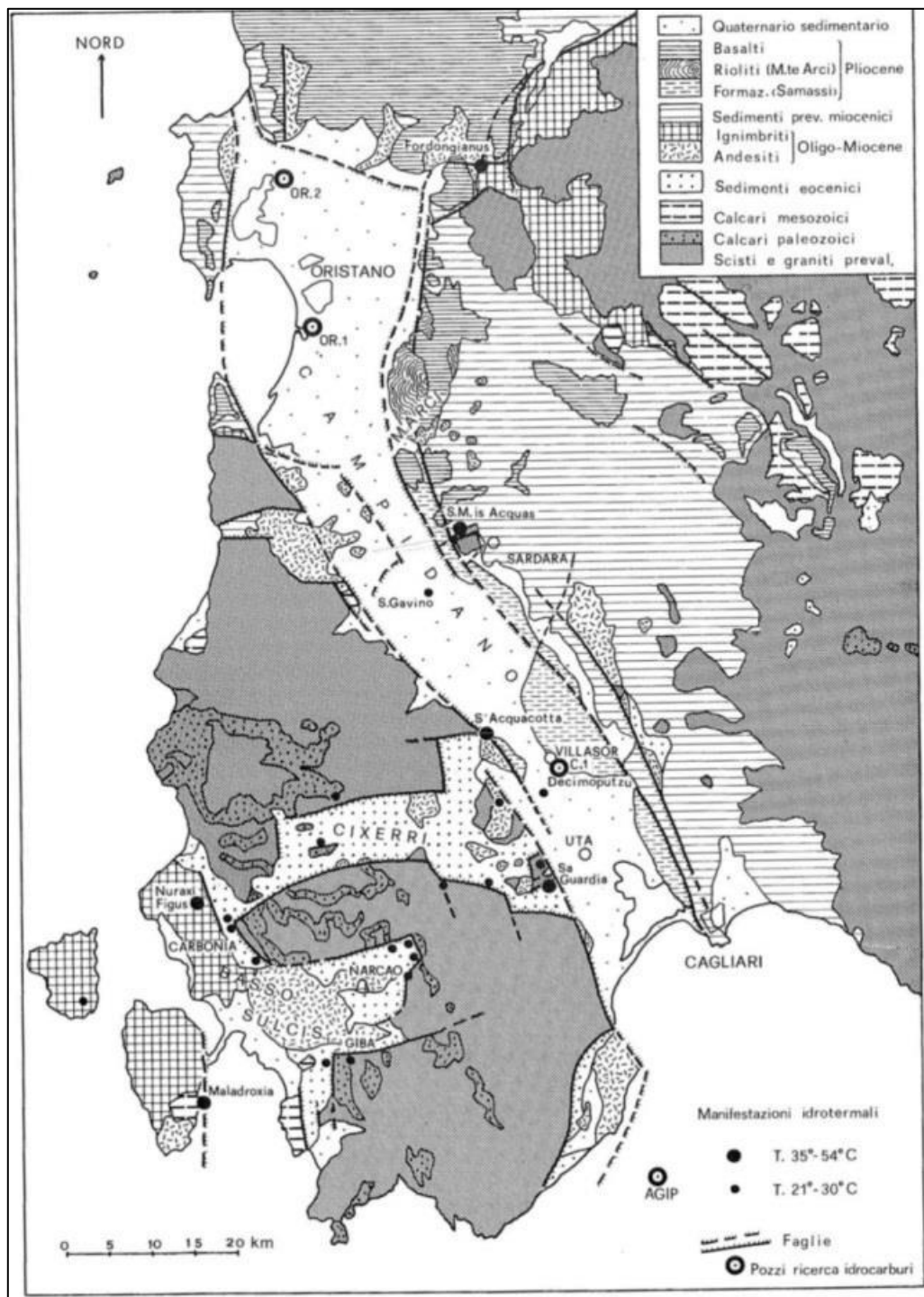


Figura 4-6 – Schema geologico del Campidano Pala A., Vacca S. “Geologia e idrogeologia di un settore del Campidano centrale (Sardegna centro-meridionale) (Pecorini et Al., 1969)

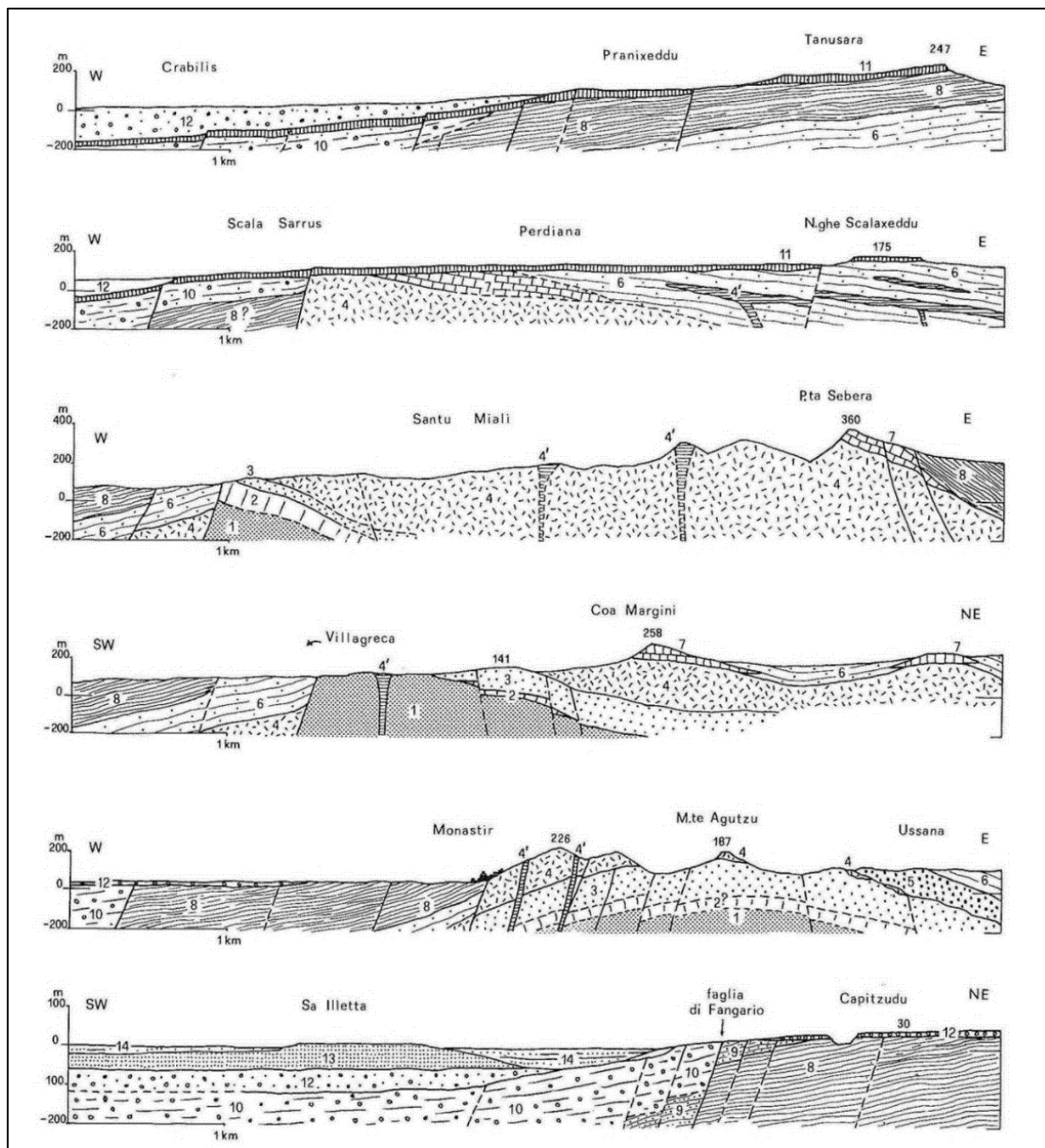



Figura 4-7 – Sezioni geologiche del Campidano

**LEGENDA.** 1) Basamento scistoso paleozoico. 2) Calcari a Milionidi (Eocene inf.). 3) Arenarie e argilliti della Formazione del Cixerri (Eocene). 4) Andesiti, piroclastiti e rari calcari lacustri (Oligocene). 4') Colate e filoni andesitici (Miocene inf.). 5) Conglomerati, arenarie e argille della Formazione di Ussana (Oligocene). 6) Marne anche tufacee ed arenacee (Miocene inf.-Oligocene). 7) Calcari a coralli (Miocene inf.-Oligocene). 8) Marne e argille (Miocene medio-inf.). 9) Arenarie e sabbie (Miocene medio). 10) Formazione di Samassi (Pliocene). 11) Basalti (Pliocene). 12) depositi alluvionali del Quaternario. 13) Depositi marini del Tirreniano (Pleistocene). 14) Argille, limi e sabbie del Fiandriano-Versiliano (Olocene). Una ricostruzione dell'andamento geologico-strutturale del semi-graben cenozoico del Campidano è illustrata nella Figura che riporta una serie di sezioni geologico-interpretative in cui risulta evidente l'alto numero di faglie che interessano il substrato. Le stesse possono suddividersi in base all'età in faglie plioceniche e faglie pre-plioceniche. (Pala et Al., 1980)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	24 di 111

#### **4.3.1 Faglie Plioceniche**

Si rinvencono soprattutto ai bordi del semi-graben, sono datate di età pliocenica, perché i depositi quaternari non risultano fagliati. Mostrano a volte liscioni e brecce di frizione ben visibili, che interessano i terreni terziari, dalle siltiti e arenarie eoceniche fino ai basalti pliocenici, nonché il basamento paleozoico. I rigetti che si osservano sono modesti, intorno a 10-20 metri al massimo; rigetti maggiori si riscontrano invece nella "Formazione di Samassi", sottostante ai basalti; questo indica che la tettonica a faglie pliocenica è andata attenuandosi verso il Quaternario ma senza andar soggetta a fasi di inattività.

In certi casi il quadro tettonico è leggermente diverso: ad esempio, presso Sardara, i basalti ricoprono quasi indisturbati, con un rigetto di appena un paio di metri, il contatto per faglia tra la "Formazione di Samassi" e i terreni vulcanico-sedimentari oligo-miocenici.

Nei pressi di Cagliari e a NE di Vallermosa, due faglie analoghe, la "faglia di Fangario" e la "faglia di Acquacotta" sono ricoperte da depositi alluvionali del Pleistocene inferiore senza interessarli minimamente.

La "faglia di Fangario", situata a NO del capoluogo, si prolunga fino al settore di Sardara-Uras, ha un rigetto di oltre 100 m e non interessa le coltri alluvionali quaternarie, che la ricoprono indisturbate con uno spessore massimo di circa dieci metri.

La "faglia di Acquacotta", ha direzione NNO-SSE e mette a contatto la formazione andesitica oligo-miocenica con depositi alluvionali ciottoloso-argillosi fortemente cementati. Il rigetto visibile sul terreno è di almeno 10 metri. La dislocazione interrompe nettamente un substrato andesitico-tufaceo e una sottile coltre di depositi alluvionali, dando luogo ad una vera e propria scarpata di faglia più o meno nascosta sotto le alluvioni recenti.


Analoghe caratteristiche presenta anche la "faglia di Salaponi", presso Gonnosfanadiga, lungo il bordo occidentale del Campidano centrale. Questa dislocazione mette a contatto i graniti del basamento paleozoico con tufi andesitici ricoperti da conglomerati e sabbie che si abbassano gradualmente verso la fossa campidanese. Questi depositi detritici, generalmente caotici e tipici di una deposizione lungo scarpata di faglia, fanno parte della "Formazione di Samassi".

#### **4.3.2 Faglie Pre-plioceniche**

Le dislocazioni tettoniche connesse alla fossa sarda e al vulcanismo calcalcalino oligo-miocenico non sono sempre facilmente riconoscibili nel Campidano e nelle sue aree attigue.

Esempi sicuri di faglie che hanno preceduto la trasgressione marina miocenica si trovano lungo il limite fra Marmilla e Sarcidano, in Trexenta e nel Parteolla.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	25 di 111

Si possono menzionare, in particolare:

- la faglia di Nurallao-Laconi, ricoperta dagli strati miocenici indisturbati nelle pendici occidentali dell'altopiano del Sarcidano,
- le faglie che delimitano il piccolo horst granitico-metamorfico del Monte Treppe, presso Isili, scoperte dai sondaggi profondi sotto la copertura miocenica del Rio Flumini Mannu. Esse interessano soltanto il basamento paleozoico e strati oligocenici prevalentemente argillosi e non i sovrastanti livelli marini trasgressivi del Miocene inferiore. Discontinuità analoghe si ritrovano nel Medio Flumendosa presso Villanova Tulo, Nurri ed Orroli, con direzioni identiche NO-SE;
- le faglie con rigetti variabili da alcuni metri a qualche decina di metri entro le arenarie e le argilliti eoceniche di Monastir, ricoperte dalla "Formazione di Ussana" pressoché indisturbata;
- le frequenti discontinuità tettoniche, con rigetti non ben determinabili, in breccie continentali alla base delle marne e delle arenarie mioceniche sovrastanti il basamento paleozoico presso Soleminis, nel Parteolla, e ad Est di Sinnai e Quartu;
- le falesie "morte" costiere di Dolianova, Donori e Nureci, sempre ai bordi del basamento ercinico, sulle quali spesso si addossano i sedimenti trasgressivi miocenici conglomeratici provenienti da frane che hanno interessato le scogliere a coralli.

Tutte queste dislocazioni, nettamente anteriori alla nascita del semi-graben del Campidano, ricalcano discontinuità tardo-erciniche mentre restano di datazione incerta le faglie dell'entroterra di Vallermosa, della soglia di Siliqua, di Capoterra, di Sarroch e di Pula, che delimitano, ad Est, gli horst paleozoici e rigettano verso il Campidano la "Formazione del Cixerri" e le andesiti oligoceniche.

Si ritiene che, in considerazione delle strettissime analogie con le faglie che bordano le fosse del Cixerri e del Basso Sulcis, si tratti di un'unica famiglia di faglie contemporanee al vulcanismo calcalcalino oligo-miocenico, che probabilmente si sono riattivate durante il Pliocene.

La successiva Figura 4-8 fornisce, tramite cinque sezioni geologiche, un'ampia sintesi dell'andamento strutturale dell'area campidanese. Si vede molto bene come la tettonica abbia condizionato la sedimentazione pliocenico-quaternaria, articolando l'area in alti e bassi strutturali e come, all'interno di questi ultimi, fossero attivi i depocentri sedimentari. Si può anche osservare come, a causa delle dislocazioni in precedenza descritte, in molte zone il basamento paleozoico viene a diretto contatto tettonico con i depositi quaternari o come le lave e le piroclastiti del vulcanismo plio-quaternario, ad esempio nel Monte Arci, siano spesso intercalate ai depositi alluvionali plio-quaternari (vedi sezione B).

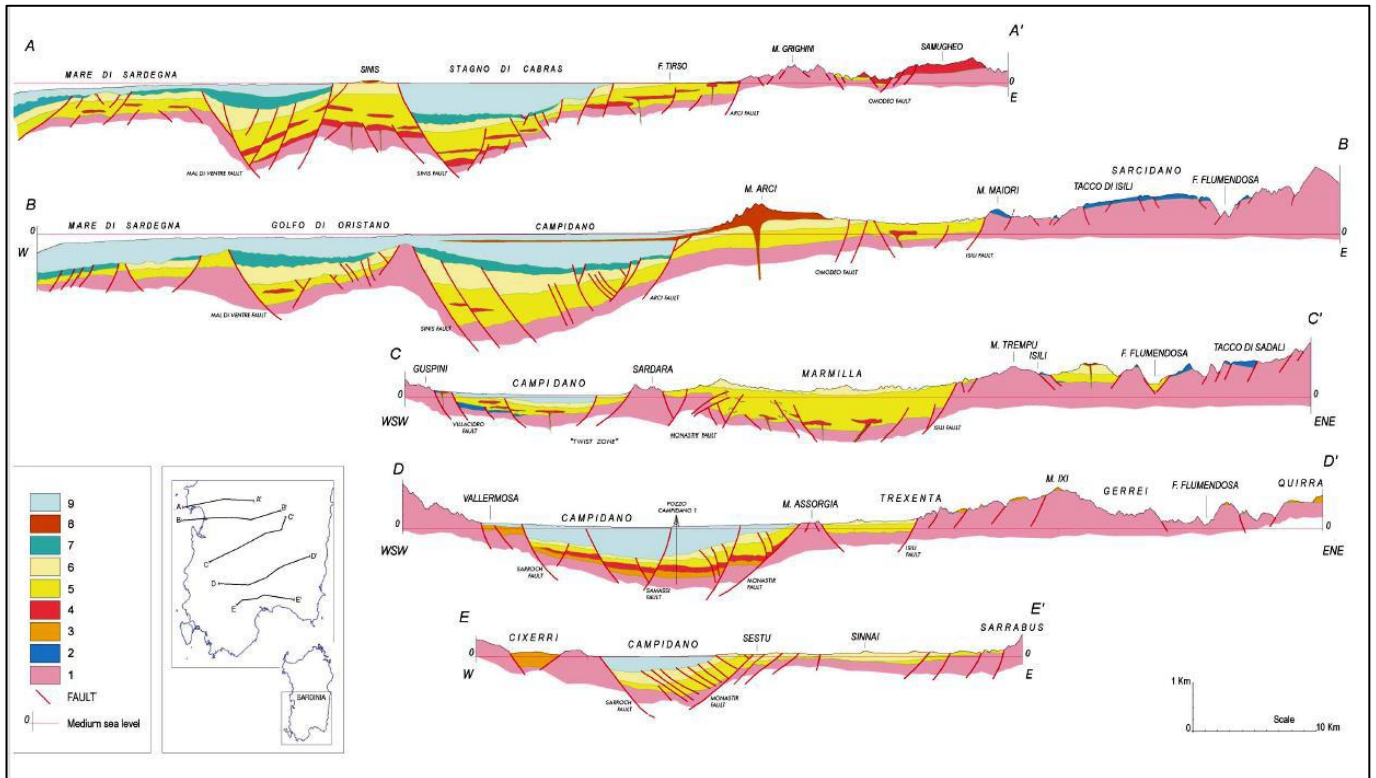



Figura 4-8 – Sezioni interpretative del sottosuolo del Campidano in base a prospezioni sismiche e geologiche  
**LEGENDA.** 1) basamento paleozoico. 2) Permiano-Mesozoico. 3) Paleocene–Eocene. 4) Vulcanismo Oligo–Miocenico. 5) Depositi di rift Oligo-miocenici. 6) Depositi post-rift di età miocenica. 7) Depositi marini del Pliocene inferiore. 8) Vulcanismo Plio-Quaternario. 9) Depositi continentali del Pliocene medio/superiore e del Quaternario.  
 Pala A., Vacca S. “Geologia e idrogeologia di un settore del Campidano centrale (Sardegna centro-meridionale) (Pala et Al., 1980).

#### 4.4 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.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	27 di 111

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 Corrasi (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 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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	28 di 111

di una parte di crosta terrestre. Essa attraversa l'area di Cagliari, la provincia del Sud Sardegna e la provincia di Oristano.

#### 4.5 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.

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			
Chilivani-Oschiri	5	188,011			
LOC	Detritico-carbonatico	Plio-Quaternario	Piscinas	15	23,839
		Oligo-Miocenico	Campidano orientale	24	1593,694
			Sassarese	23	1041,880
		Eocenico	Carbonia	26	61,193
			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	Nurra	32	451,718
			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 4-9 – 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.

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. Tale complesso corrisponde ad una struttura tipo semi-graben al cui interno sono depositati, in maniera caotica,

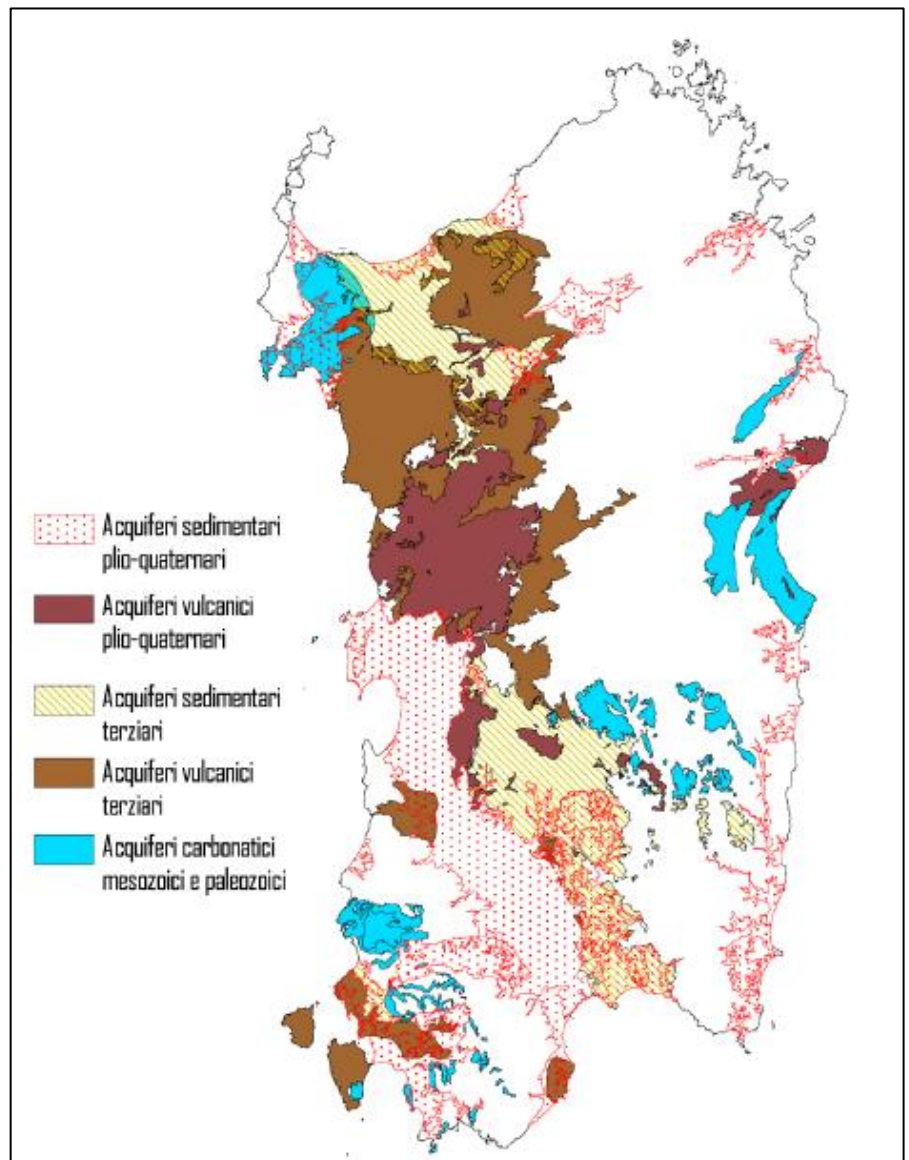



Figura 4-10 – Ubicazione dei complessi acquiferi della Sardegna.  
Fadda A. F., Pala A. "Le acque della Sardegna" (PTA)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	31 di 111

materiali alluvionali estremamente eterogenei. Dal punto di vista stratigrafico, il complesso alluvionale del Campidano può essere schematicamente distinto in una parte superiore, nella quale si presentano con maggiore continuità orizzonti di tipo ghiaioso - sabbioso, e in una parte inferiore, nella quale, invece, prevalgono litologie di tipo argilloso – limoso. La parte superiore di questo complesso è interessata dalla presenza di un acquifero multifalda, libero nella parte superiore e semi-confinato in quella più profonda, alimentato dall'infiltrazione efficace, dai travasi provenienti dai complessi idrogeologici che lo limitano lateralmente e dall'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale diffuso sulle formazioni meno permeabili adiacenti. La permeabilità (per porosità) di questo acquifero, secondo una serie di prove di portata effettuate nell'ambito del Progetto Speciale n. 25 della Cassa per il Mezzogiorno negli anni '80 è molto variabile: si passa infatti dai  $10^{-7}$  m/s per gli orizzonti a granulometria inferiore, sino a valori massimi dell'ordine dei  $10^{-4}$  m/s per gli orizzonti dove prevalgono sabbie e ghiaie. Gli spessori massimi di questo complesso raggiungono i 200 m nel settore sud-occidentale della piana del Campidano, e la trasmissività dell'acquifero multi-falda varia tra un minimo di  $10^{-5}$  ad un massimo di  $10^{-2}$  mq/s. Nel settore meridionale dell'acquifero la vulnerabilità è da ritenersi elevata nelle porzioni prossime alla costa e ai corpi idrici di transizione dove la soggiacenza è in genere molto limitata, e tende a diminuire in corrispondenza dei settori pedemontani e delle porzioni semiconfinite dell'acquifero (Ciabatti et al., 1998). Nel settore settentrionale (Oristanese) la vulnerabilità è Media in gran parte dell'area, anche se risulta essere Elevata nei pressi di Cabras. Presenta Alta vulnerabilità nella zona prossima alla costa e nella zona compresa tra Marrubiu e Uras (Barrocu et al, 2005). I complessi relativi alle vulcaniti plio-pleistoceniche (n. 18-22, rif. Tabella 4-9) sono rappresentati prevalentemente da affioramenti basaltici con relativi sottoprodotti lavici, scoriacei e cavernosi, in genere sovrastanti formazioni trachitiche. Questa serie può avere spessori rilevanti, che raggiungono i 250 m nel caso del Logudoro e della Sardegna centro – occidentale (Montiferru), e 50 m nel caso delle giare (Caboi et al., 1982). Le potenzialità di questi complessi, laddove essi siano caratterizzati da una sufficiente estensione areale, è notevole ed è legata ad un coefficiente di infiltrazione potenziale relativamente elevato e ad una permeabilità elevata per fratturazione e fessurazione. In tale complesso è presente un elevato numero di sorgenti, caratterizzate da una portata totale stimabile in alcune centinaia di l/s. Un aspetto importante che limita spesso la capacità di immagazzinamento totale di questi complessi è la loro parcellizzazione in serbatoi fisicamente separati. La vulnerabilità di questi complessi è da ritenersi alta per effetto di una rete di flusso molto diffusa e di una soggiacenza spesso molto ridotta, soprattutto nelle zone caratterizzate da una morfologia pianeggiante (altopiano di Campeda, giare). I complessi detritico-carbonatici oligo-miocenici (n. 23 e 24, rif. Tabella 4-9) sono caratterizzati da notevoli estensioni in affioramento. Il complesso acquifero 23 è localizzato nell'area del Sassarese ed è costituito da una successione di sabbie, orizzonti calcarei e calcarenitici e

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	32 di 111

marne. Questa successione genera, sulla verticale, un sistema di flusso multistrato estremamente complesso dal punto di vista idrostratigrafico, di difficile ricostruzione anche sul piano orizzontale, per effetto della tettonica distensiva subita a partire dal Miocene inferiore in poi.

Questo complesso è caratterizzato da un sistema di flusso idrico sotterraneo molto produttivo negli orizzonti più permeabili, con falde in pressione di notevole portata. Il complesso acquifero 24, nel Campidano orientale, comprende una successione di conglomerati, arenarie, marne, tufiti e calcari di ambiente marino, caratterizzata da una permeabilità variabile da medio – bassa, in corrispondenza dei livelli marnosi e tufitici, a medio-alta in corrispondenza dei livelli arenaceo – conglomeratici, spesso ubicati alla base del complesso, che localmente danno origine a falde in pressione di buona potenzialità in termini di prelievi. Poco interessanti dal punto di vista quantitativo risultano i sistemi di circolazione idrica sotterranea intestati nei complessi detritico – carbonatici eocenici (complessi acquiferi 25 e 26, rif. Tabella 4-9), mentre un certo interesse idrogeologico rivestono gli affioramenti di vulcaniti afferenti al ciclo oligo-miocenico, laddove l'estensione e il grado di fratturazione consentono lo sviluppo di una rete di flusso significativa (complessi acquiferi n. 27, 28, 29, 30, 31, rif. Tabella 4-9). Infine, i sistemi carbonatici mesozoici e paleozoici (n. 32, 33, 34 e 37, rif. Tabella 4-9) rappresentano indubbiamente alcuni dei principali serbatoi sotterranei a livello regionale. Si tratta infatti di acquiferi con una buona permeabilità per fratturazione e carsismo, caratterizzati da capacità di ricarica notevoli legate ad un coefficiente di infiltrazione elevato ed estensioni in affioramento spesso di diverse centinaia di kmq . Questi complessi sono drenati da alcune delle più importanti sorgenti presenti in Sardegna (Frunche Oche, Su Gologone, Fiume Santo, ecc.) e in qualche caso recapitano lateralmente sulle coperture alluvionali ad essi adiacenti. Un caso particolare è quello del complesso dei carbonati cambriani del Sulcis-Iglesiente (n. 37), che comprende il vasto comprensorio minerario del Sulcis-Iglesiente, per il cui sviluppo industriale si è reso necessario la realizzazione di una serie di sistemi di drenaggio e abbassamento dei livelli di base del sistema carsico che hanno profondamente modificato il contesto idrogeologico originario. Solo recentemente, con l'arresto degli impianti di eduazione (tra cui spicca quello della miniera di Monteponi, che deprimeva il livello di base dell'acquifero sino alla quota di 200 m sotto il livello del mare), il sistema si sta lentamente avvicinando alla configurazione piezometrica antecedente l'inizio dei lavori di coltivazione dei giacimenti. A causa del contesto geologico-giacimentologico e della forte pressione antropica esercitata per circa 150 anni in quest'area, le acque sotterranee di tale complesso acquifero presentano problematiche di tipo qualitativo estremamente complesse, legate in particolare alla presenza di metalli pesanti. I complessi acquiferi 35 e 36 hanno caratteristiche analoghe in termini idrogeologici a quelle degli acquiferi appena descritti, ma risultano di dimensioni modeste in termini di affioramento o estremamente parcellizzati, aspetto che ne limita fortemente le capacità di immagazzinamento.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	33 di 111


Il settore di studio è dunque caratterizzato da una notevole complessità idrogeologica, strettamente connessa alla presenza di differenti successioni sedimentarie alluvionali e marine, deposte per una buona parte nel corso dell'apertura del semigraben del Campidano. L'approfondimento idrogeologico realizzato per le sottostazioni elettriche previste dal progetto a cui fa riferimento il presente studio ha consentito di definire, con il dovuto grado di dettaglio, le principali caratteristiche delle aree e lo schema di deflusso idrico sotterraneo.

La valutazione della permeabilità è stata effettuata, dunque, per le sole aree destinate ad accogliere le nuove sottostazioni elettriche in progetto, considerando le facies costituenti il sottosuolo delle specifiche sei località (cfr par.7) ed è stata eseguita seguendo un approccio combinato basato sull'esame delle prove in foro disponibili, sulle eventuali evidenze emerse nel corso dei sopralluoghi e sulle caratteristiche litostratigrafiche sito specifiche. Al termine di questa elaborazione, ad ogni facies è stata associata una permeabilità di riferimento ed un range di variazione ragionevolmente possibile.

Ne consegue la seguente classificazione:

- **RIPORTI E TERRENI RIMANEGGIATI**  
Permeabilità alta,  $K > 10^{-5}$  m/s
- **FACIES A:**  
Permeabilità da medio alta a medio bassa,  $10^{-5} < K < 10^{-7}$
- **FACIES B:**  
Permeabilità da alta a medio alta,  $K > 10^{-6}$
- **FACIES C:**  
Permeabilità da medio bassa a bassa,  $K < 10^{-6}$

Preme sottolineare, da ultimo, che la facies C presenta caratteristiche di consolidazione talmente variabili, che la permeabilità riportata si riferisce esclusivamente alle porzioni più litificate e addensate, ma talvolta sono state rilevate misure di permeabilità in situ anche di un ordine di grandezza più elevate (cfr. SSE Cagliari – Santa Gilla).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	34 di 111

Per il modello idrogeologico sito specifico delle aree di intervento, si faccia riferimento agli elaborati tematici prodotti, dove sono riportate le cartografie e le sezioni idrogeologiche di dettaglio. A causa della carenza di dati bibliografici disponibili non risulta possibile ricostruire le condizioni idrodinamiche.

## 5 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 temporal”*; 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 PGA0) 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 Pvr nel periodo di riferimento VR. 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 (ag, F0, TC), dalla categoria di suolo (A, B, C, D, E) e dalla categoria topografica (T1, T2, T3 e T4), dalla Vita nominale (VN) e dalla Classe d'uso dell'Opera (Cu).

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

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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	36 di 111

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;
- 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 rigidità 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	37 di 111

costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità 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.

A partire dai parametri sopra elencati è possibile definire la sismicità di sito, fissando un coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , un fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta$  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.

## 5.1 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  $V_{seq}$ .

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 strato;
- $V_{s,i}$ : 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  $V_s$  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  $V_{s,eq}$ , è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30m$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità”.

Quando non disponibili indagini indirette mirate alla definizione delle  $V_{seq}$  sito specifiche, per individuare la classe di sottosuolo si è utilizzata la classificazione riportata nella seguente tabella, in cui la suddivisione in classi di sottosuolo avviene in base ai valori di  $N_{spt}$  per terreni granulari e  $C_u$  per terreni coesivi.

	<b>Descrizione del profilo stratigrafico</b>	<b><math>N_{spt}</math> (colpi/30 cm)</b>	<b><math>C_u</math> (kPa)</b>
<b>A</b>	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m</i>	-	-
<b>B</b>	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica <math>N_{SPT}&gt;50</math> e <math>C_u&gt;250</math> kPa</i>	> 50	> 250
<b>C</b>	<i>Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 e 360 m/s (<math>15&lt;N_{SPT}&lt;50</math> e <math>70&lt;C_u&lt;250</math> kPa)</i>	15 - 50	70 - 250
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}&lt;180</math> m/s (<math>N_{SPT}&lt;15</math>, <math>C_u&lt;70</math> kPa)</i>	< 15	< 70

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	39 di 111

<b>E</b>	<i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di <math>V_{s,30}</math> simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con <math>V_{s,30} &gt; 800</math> m/s</i>	-	-
----------	---	---	---

## 5.2 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 $i > 30^\circ$

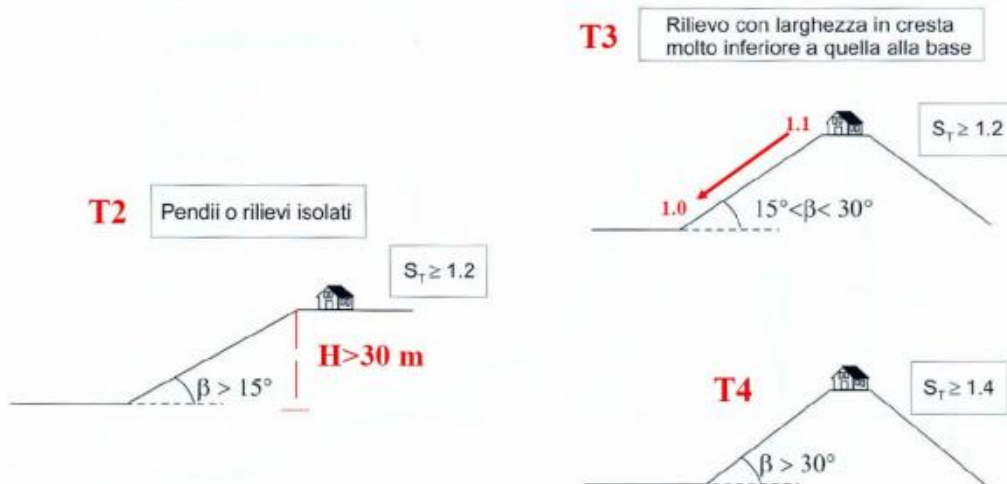


Figura 5-1 – Schematizzazione grafica delle condizioni morfologiche per la scelta della categoria topografica

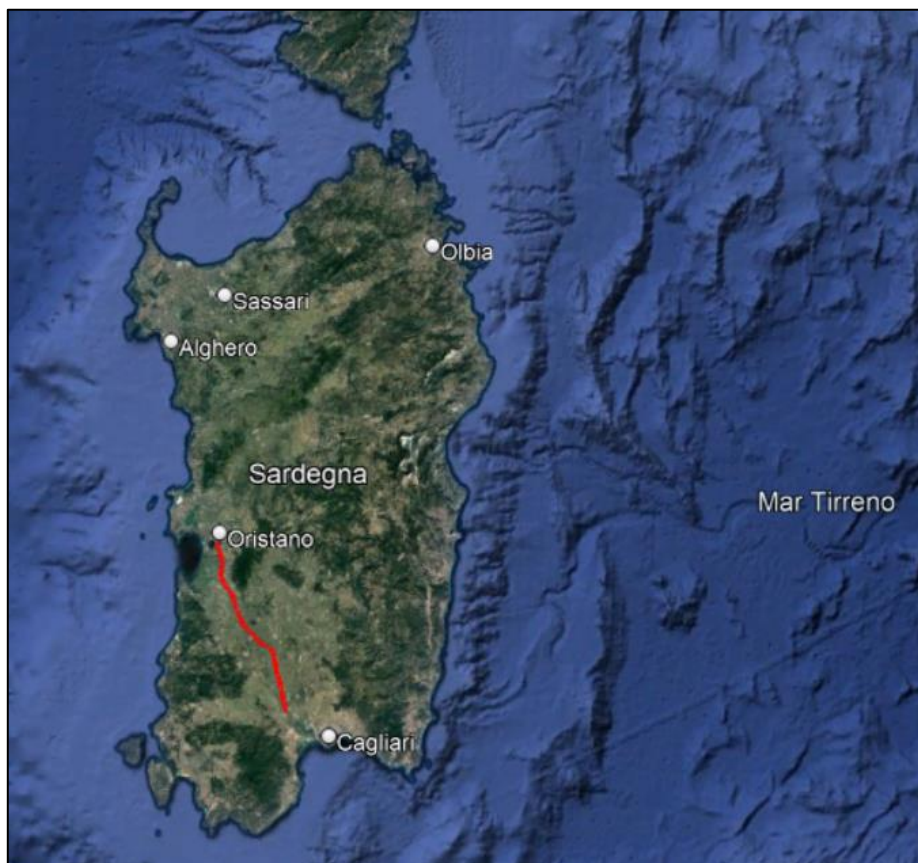
### 5.3 Macro sismicità delle aree di intervento

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  $PGA_0$  relative il bedrock sismico. Per il territorio del comune di San Gavino Monreale (SU) non sono stati registrati eventi sismici storici.

I territori interessati dal progetto di elettrificazione della linea ferroviaria Cagliari-Oristano, compresi quelli all'interno dei quali ricadono le aree di sedime delle nuove sottostazioni elettriche, non risultano cartografati all'interno di zone sismogenetiche (Meletti e Valensise 2004) come rappresentato nella seguente figura.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	41 di 111



*Figura 5-2 – Zone sismogenetiche in Sardegna (Meletti e Valensise 2004). Per la Regione Sardegna non risulta perimetrata alcuna zona sismogenetica*

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 San Gavino Monreale 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:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	42 di 111

- 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 i comuni interessati dal progetto, 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.

#### 5.4 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  $V_s$  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  $V_{s,eq}$ , è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30m$  nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità”.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	44 di 111

## 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 -10,00 e -30,00 m da p.c., con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro di sondaggio 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);
- prospezioni sismiche a rifrazione con interpretazione tomografica dei risultati.

### 6.1 Sondaggi a carotaggio continuo

L'indagine ha previsto la realizzazione di n. 26 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, spinti sino a profondità comprese tra -30,00 m e -40,00 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 [m da p.c.]
S1 Stazione Cagliari	-30,00	Piez. Norton	21-23/10/2021	1,89
S2 Km 6+900 Elmas	-30,00	Piez. Norton	26-28/10/2021	6,50
S3 Km 12+170 Assemini	-30,00	Piez. Norton	29/10/2021 03/11/2021	2,78
S4 Km 17+900 Decimomannu	-30,00	Piez. Norton	04-08/11/2021	2,40
S5 Km 21+800 Decimoputzu	-30,00	Piez. Norton	16-17/11/2021	2,19
S6 SSE Villasor	-40,00	Piez. Norton	09-12/11/2021	2,46
S7 Km 28+800 Serramanna	-30,00	Piez. Norton	18-23/11/2021	1,03
S8	-30,00	Piez. Norton	18-22/11/2021	1,41

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
Km 36+000 Samassi				
S9 Km 41+780 Sanluri	-30,00	Piez. Norton	23-25/11/2021	7,21
S10 Km 47+470 San Gavino	-30,00	Piez. Norton	20-21/12/2021	0,00
S11 SSE San Gavino	-40,00	Piez. Norton	30/11/2021 03/12/2021	1,75
S12 Km 54+000 San Gavino	-30,00	Piez. Norton	07-13/12/2021	0,00
S13 Km 58+800 Pabillonis	-30,00	Piez. Norton	14-16/12/2021	3,35
S14 Km 65+850 Mogoro	-30,00	Piez. Norton	17-20/12/2021	4,38
S15 SSE Uras	-40,00	Piez. Norton	14-16/12/2021	6,07
S16 Km 72+140 Uras	-30,00	Piez. Norton	21-22/12/2021	0,50
S17 Km 78+000 Marrubiu	-30,00	Piez. Norton	09-13/12/2021	7,31
S18 SSE S. Anna Marrubiu	-40,00	Piez. Norton	01-07/12/2021	1,37
S19 Km 85+290 Santa Giusta	-30,00	Piez. Norton	25/11/2021 01/12/2021	2,74
S20 Km 90+720 Santa Giusta	-30,00	Piez. Norton	22-24/11/2021	2,89
S21 SSE Oristano	-40,00	Piez. Norton	17-19/11/2021	10,03
S22 SSE Santagilla	-40,00	Piez. Norton	23-28/12/2021	2,38
S23 SSE Decimomannu	-40,00	Piez. Norton	04-08/11/2021	4,25
S25 SSE Marrubiu	-40,00	Piez. Norton	29-31/03/2022	5,74
S26 SSE Cagliari - Santa Gilla	-40,00	Piez. Norton	20-22/04/2022	1,81
S27 SSE Oristano	-40,00	Piez. Norton	29/04/2022 03/05/2022	8,08

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	46 di 111

### 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:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	47 di 111

- carotiere semplice, l=80 cm;
- 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  $\geq 5$  kg/cm<sup>2</sup>.

### **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'infiingere 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.

#### Prelievo di campioni indisturbati per le determinazioni geotecniche di laboratorio

Il prelievo dei campioni indisturbati è avvenuto mediante l'utilizzo di campionatori ad infissione tipo "Shelby" che possono essere utilizzati con profitto in terreni a grana fine o coesivi con consistenza da tenera a media. Si tratta di cilindri in acciaio zincato, con un diametro esterno di 120 mm ed una lunghezza di 600 mm, aventi alla base una scarpa tagliente.

I campioni prelevati sono stati contraddistinti da cartellini inalterabili, indicanti:


- cantiere;
- numero del sondaggio;
- numero del campione;
- profondità di prelievo;
- data di prelievo;
- parte alta.

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

Le due estremità dei campioni indisturbati sono state sigillate subito dopo il prelievo con uno strato di paraffina fusa e tappo di protezione, previa accurata pulizia della testa e della coda del campione.

I campioni destinati al laboratorio sono stati quindi sistemati in cassette con adeguati separatori ed imbottiture alle estremità, onde assorbire le inevitabili vibrazioni del trasporto.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	49 di 111

### 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.

## **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 GeoPlanning Servizi per il Territorio con sede in via Giano della Bella, 43/45 a Roma (RM), il quale ha provveduto alla realizzazione delle indagini di seguito descritte.

### **6.2.1 Descrizione delle prove di laboratorio eseguite**

#### Apertura e descrizione geotecnica dei campioni

Dopo l'estrusione, il campione è stato sottoposto a scorticatura e ripulitura delle estremità e si è proceduto alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93; durante questa fase sono state indicate la natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. Si è proceduto quindi ad una ripresa fotografica a colori del campione la quale comprende anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporta la completa identificazione del campione e del suo alto.

Successivamente si sono eseguite, ove possibile, prove speditive con penetrometro e scissometro tascabile ad intervalli regolari, per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato. Da ultimo si è provveduto alla selezione delle porzioni del campione da sottoporre a prova, avendo particolare cura di escludere, dal confezionamento dei provini da sottoporre a prova, le porzioni disturbate

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	50 di 111

per rammollimento o deformazione eccessiva, e di scegliere porzioni omogenee del campione per l'esecuzione di prove che richiedano la preparazione di una serie di provini.

#### Determinazione dei limiti di consistenza

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua per il quale avviene il passaggio dallo stato semiliquido allo stato plastico (limite di liquidità) e dallo stato plastico allo stato semisolido (limite di plasticità). Tale prova è stata effettuata facendo riferimento alla normativa ASTM D 4318 - 84 - Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

#### Analisi granulometrica per vagliatura

La prova consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica di un campione di terreno trattenuto al setaccio ASTM n. 200.

L'analisi granulometrica per vagliatura è stata eseguita per via umida, impiegando setacci e vagli della serie ASTM di diametro non inferiore ai 300 mm.

Il campione da sottoporre ad analisi, una volta essiccato e pesato, è stato immerso in acqua fino al completo distacco della frazione fine dai granuli e la completa disgregazione dei grumi, favorendo l'operazione mediante agitazione meccanica. Successivamente, evitando qualsiasi perdita di materiale, si è proceduto alle operazioni di setacciatura favorendo il passaggio del materiale con getti d'acqua e con l'azione meccanica di un pennello molto morbido, avendo cura di non forzare il materiale tra le maglie dei setacci.

Si è proseguito quindi essiccando in forno termostato a 105° e determinando le masse trattenute a ciascun setaccio.


#### Prova di taglio diretto consolidata - drenata

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate di campioni di terreno sottoposti a sollecitazioni di taglio.

La prova è stata eseguita su tre provini a sezione quadrata di lato non inferiore a 50 mm preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati.

La prova si è articolata in due distinte fasi di consolidazione e di taglio:

Fase di consolidazione: nella fase di consolidazione è stato gradualmente incrementato il carico assiale applicato al provino, fino al raggiungimento della pressione di consolidazione indicata per ciascun provino. Durante la fase di consolidazione, sono state monitorate le deformazioni assiali in funzione del tempo, in modo da poter stabilire la fine della fase di consolidazione primaria, prima di ciascun incremento di carico.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	51 di 111

I valori delle deformazioni assiali in funzione del tempo relativi all'ultimo gradino di carico sono stati registrati e diagrammati in funzione della radice quadrata del tempo per la determinazione del  $t_{100}$  di fine consolidazione assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura.

Fase di rottura: nella fase di rottura è stato invece gradualmente incrementato il carico orizzontale fino ad ottenere deformazioni orizzontali non inferiori al 20% del diametro iniziale del provino.

Durante la fase di rottura sono stati monitorati e registrati ad opportuni intervalli temporali i valori di spostamento orizzontale, deformazione verticale e resistenza al taglio. Al termine della fase di rottura si è proceduto alla determinazione della resistenza residua, effettuando almeno cinque cicli completi di andata e ritorno della scatola di taglio fino a fondo corsa alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura completa), controllando in ogni caso che si sia raggiunta la completa stabilizzazione della curva resistenza al taglio - scorrimento orizzontale.

#### Prove edometriche


La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali.

La prova di compressione edometrica è stata effettuata mediante incrementi di carico controllati (I.L.) su provini cilindrici di diametro non inferiore a 50 mm e rapporto diametro/altezza compreso tra 2.5 e 6 preparati con apposito tornietto campionatore, a partire da campioni indisturbati.

Una volta inserito il terreno nell'anello portacampione, si è proceduto al montaggio della cella edometrica, inserendo le pietre porose inferiore e superiore e carta da filtro tipo Whatman's n. 54 tra il terreno e le pietre porose.

Successivamente si è posizionato la cella edometrica sul telaio di carico, applicando una pressione di serraggio pari a 5 kPa controllando le variazioni di altezza del provino e regolando la pressione iniziale per evitare rigonfiamenti o eccessive consolidazioni del provino.

La prova è stata quindi condotta applicando la seguente successione di carico: 12 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, 800 kPa, 1600 kPa, 3200 kPa. Per ciascun gradino di carico si è proceduto alla registrazione delle deformazioni secondo uno schema temporale in successione geometrica, mantenendo il carico almeno per un tempo sufficiente all'individuazione del tempo di fine consolidazione ( $t_{100}$ ). Si è proceduto poi alla costruzione del diagramma deformazione verticale - logaritmo del carico verticale ( $\epsilon_v - \log \sigma'v$ ), costruito impiegando i valori di cedimento corrispondenti ai  $t_{100}$ , in modo da valutare l'andamento del processo di consolidazione.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	52 di 111

In seguito si è eseguita la fase di scarico finale con esecuzione di almeno 3 gradini di scarico. Durante l'esecuzione del ciclo di carico, è stato inoltre eseguito un ciclo di scarico-ricarico a partire dalla tensione geostatica  $\sigma'_{v0}$  esistente in situ comprendente tre gradini di scarico e tre di ricarica.

Ove richiesto, si è proceduto anche alla determinazione dei valori del coefficiente di consolidazione verticale  $c_v$  e del coefficiente di permeabilità  $k$ .

### 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.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	53 di 111


#### 6.4 Prospezioni sismiche a rifrazione onde P

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 mostranti 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 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 rifrattore; inoltre gli arrivi dallo stesso rifrattore, per sorgenti differenti, mostrano un buon grado di parallelismo [Reynolds, 1997].

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	54 di 111

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

## **7 PROGETTO DI ELETTTRIFICAZIONE DELLA LINEA CAGLIARI-ORISTANO: 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.

L'intervallo stratigrafico interessato dal progetto corrisponde alla porzione superiore dei depositi alluvionali terrazzati e non nella zona del semi-graben del Campidano (Olocene). Da un punto di vista stratigrafico, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'intera area è possibile distinguere diverse facies, che si succedono in modo non sequenziale nel sottosuolo, con rapporti stratigrafici fortemente eteropici e conseguenti repentine variazioni e cambi di facies sia in senso orizzontale che verticale.

Tale assetto stratigrafico con l'indicazione della distribuzione delle diverse unità geologiche in profondità è rappresentato, per il tracciato in progetto, nelle sezioni litostratigrafiche proposte negli elaborati RR0S00D69F3GE0001001A - RR0S00D69F3GE0001002A - RR0S00D69F3GE0001003A - RR0S00D69F3GE0001004A.


La reale geometria delle diverse unità è accertata solo in corrispondenza delle verticali d'indagine prese in esame e grazie ai risultati delle indagini sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica, svolte in corrispondenza delle sei sottostazioni elettriche previste dal progetto, mentre per le altre distribuzioni, trattandosi di estrapolazioni su base sedimentologica in funzione delle indagini, sono da tener conto possibili variazioni locali.

Le facies individuate sono:

- **RIPORTI E TERRENI RIMANEGGIATI**

Depositi antropici di natura sabbioso – ghiaiosa con variabile quantità di frazione fine che presentano localmente inclusi di varia natura, caratterizzati da eterogeneità degli spessori e delle caratteristiche di consistenza. Si tratta di terreni rimaneggiati dall'attività dell'uomo, principalmente terreni agricoli ma anche locali accumuli di riporti antropici.

- **ALLUVIONI ED ALLUVIONI TERRAZZATE LIMO E ARGILLA PREVALENTI – FACIES A**  
Limi argillosi ed argille limose di piana inondabile debolmente sabbiosi di colore nocciola. Nella prima porzione di tracciato (Pk 0 – Pk 11 circa) questi terreni sono assenti; La loro presenza è poi riscontrata a profondità variabili, come lenti di materiali fini all'interno di terreni grossolani appartenenti alla Facies B , di seguito descritta. Partire dalla Pk 45 circa, i terreni fini qui descritti risultano organizzati in uno strato di potenza variabile compresa tra circa 5 e circa 20 m, che risulta predominante nella stratigrafia locale e che localmente include corpi lenticolari costituiti da terreni riconducibili alla già nominata Facies B.
- **ALLUVIONI ED ALLUVIONI TERRAZZATE GHIAIA E SABBIA PREVALENTI – FACIES B**  
Sabbie fini e medie alternate a ghiaie, anche grossolane, e sabbie, talvolta debolmente limose e/o argillose. Questa unità si riscontra lungo l'intero tracciato: dapprima come uno strato abbastanza omogeneo di spessore compreso tra circa 5 e circa 20 m, immediatamente sottostante i terreni agricoli o di riporto (Pk 0 – Pk 45 circa); più a nord la facies si approfondisce e si rinviene in corpi lenticolari isolati e frammentari, ricompresi nella porzione di terreni granulometricamente più fini, riconducibili alla già descritta Facies A (Pk 45 – Pk 94 circa).
- **SUBSTRATO SEMI LITIFICATO – FACIES C**  
In assenza di un vero e proprio substrato litoide, rappresentato nell'area da terreni paleozoici presenti a profondità superiori a quelle delle indagini effettuate, si considerano le formazioni di Samassi e delle Arenarie di Pirri come substrato, inteso nel senso di una successione dotata di un grado di addensamento superiore a quello delle facies precedentemente descritte, migliori caratteristiche geotecniche e velocità delle onde Vp che raggiungono anche i 2000 – 2500 m/s. Preme sottolineare che l'attribuzione dei terreni alle suddette Formazioni può essere complicata dal fatto che, non trattandosi sempre di terreni propriamente litificati, non sono infrequenti alternanze di terreni estremamente coesi e competenti con terreni francamente sciolti, anche a discrete profondità. In particolare nei sondaggi effettuati non è stato mai riscontrato un intervallo propriamente litoide, ma alcuni terreni sono stati associati alle suddette Formazioni o al loro cappellaccio di alterazione.  
Le due Formazioni nominate sono abbondantemente descritte in letteratura e si possono così riassumere:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	56 di 111

- **Arenarie di Pirri:** Formazione caratterizzata da arenarie ben cementate e sabbie quasi incoerenti grigio-giallastre mediogranulari, costituite da granuli di quarzo (per più del 70%), feldspato e mica, a cemento carbonatico. La stratificazione, in bancate sottili e regolari, è netta nelle arenarie, mentre non è evidente nelle sabbie. Localmente sono presenti intercalazioni conglomeratiche paleozoiche, a prevalenti ciottoli metamorfici, legate a facies fluvio-deltizie oppure ad occasionali trasporti in massa. L'unità è ricca in fossili, rappresentati da abbondanti frammenti di molluschi, bioturbazioni, macroforaminiferi, foraminiferi planctonici e nannoplancton calcareo, solo localmente.

L'età della formazione è riferibile al Serravalliano.


- **Formazione di Samassi:** si tratta di una formazione continentale detritica di ambiente da torrentizio a lacustre, che ha colmato la depressione campidanese a partire dal Pliocene medio al Quaternario, su cui poggiano le coltri alluvionali quaternarie. Il Pliocene è rappresentato dalla succitata Formazione di Samassi, che affiora alla sinistra idrografica del Rio Mannu e lungo il suo alveo, con direzione N - S, mentre a N - NE e ad E all'ora solo al piede dei terrazzi quaternari più antichi.

La Formazione di Samassi chiude il cielo delle deposizioni terziarie marine, a partire dal Pliocene medio.

Dal punto di vista litologico la Formazione di Samassi, che si compone di materiali provenienti dal rimaneggiamento di sedimenti per la massima parte miocenici, presenta i seguenti tipi litologici in successione dal basso in alto:

- Conglomerati a ciottoli di marne dure, mioceniche, in prevalenza, talora di grosse dimensioni; più o meno cementati ma comunque sempre molto costipati;
- Calcari detritici, marnosi, biancastri o di colore nocciola;
- Limi argillosi bruno rossastri, tendenti al violaceo;
- Arenarie grossolane in banchi più o meno cementati, intercalati a volte da lenti conglomeratiche sottili.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	57 di 111

Nei sondaggi OR 1 e 2 (AGIP) la Samassi poggia sul Pliocene inferiore in facies marina. Questi dati hanno permesso di attribuire la formazione al Pliocene medio e superiore e di stabilire la sua potenza intorno ai 500 m

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte 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.

### **7.1 Modello idrogeologico e possibili interferenze con le opere in progetto**

A seguito delle misure piezometriche eseguite all'interno dei piezometri installati al termine dell'esecuzione delle indagini è emersa la presenza di circolazione idrica sotterranea a profondità variabili comprese tra il p.c. e c.ca -10,00 m. Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua 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.

## 8 SSE CAGLIARI - SANTA GILLA: MODELLO GEOLOGICO

La realizzazione della sottostazione elettrica Cagliari è prevista in corrispondenza di un'area fortemente urbanizzata del quartiere di Santa Gilla a Cagliari, posta all'altezza del pk 2+188 c.ca della linea CA-OR ed alla quota topografica di circa 5,0 m s.l.m..

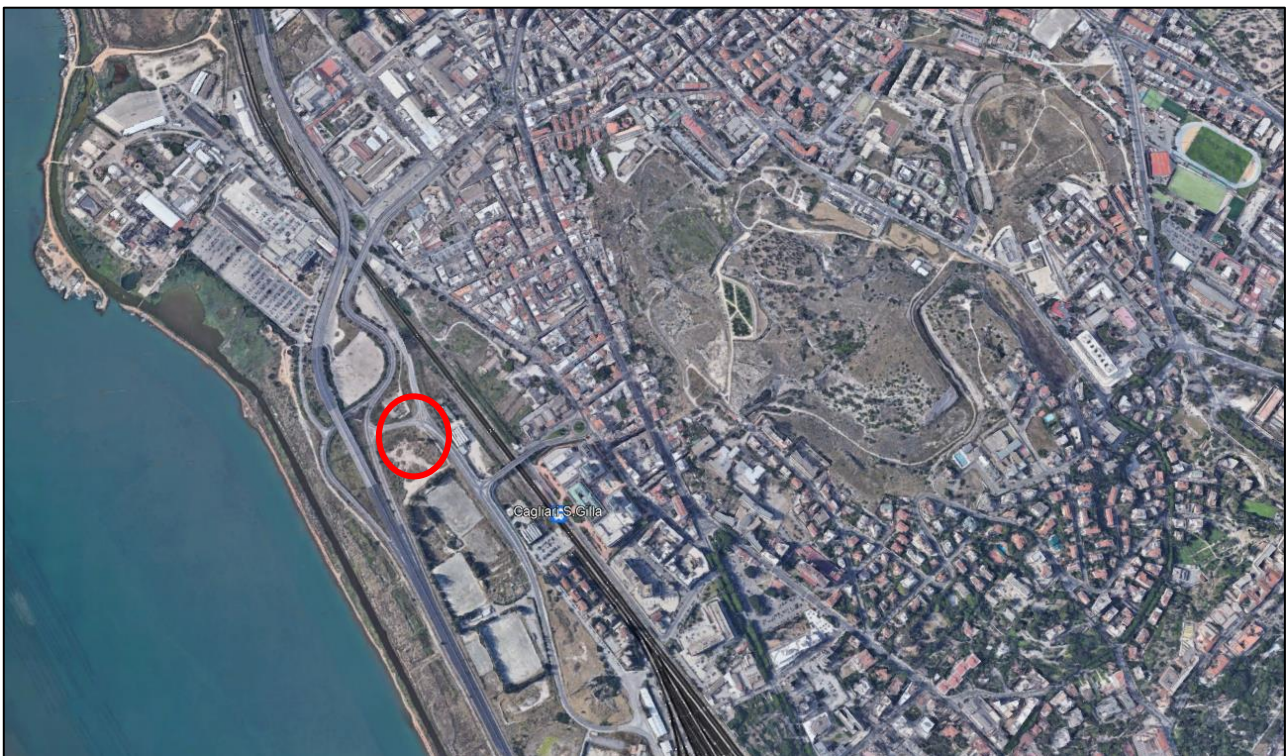


Figura 8-1 – Ubicazione geografica

### 8.1 Indagini geognostiche di riferimento

La caratterizzazione dei terreni finalizzata a definirne la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini consistita nella realizzazione di:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	59 di 111

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro 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);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di onde P.


Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S26 SSE Cagliari - Santa Gilla	-40,00	Piez. Norton	20-22/04/2022	1,81

## 8.2 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
S26	1,50 - 1,95	3/4/3	7	Sabbie argillose limose di colore grigio e nerastro con qualche frammento di laterizio, poco addensate, asciutte o poco umide.
	4,50 - 4,95	7/8/8	16	Sabbie con ghiaie ciottolose di colore beige poco addensate, sature
	7,50 - 7,64	50/14 cm	Rif	ARENARIE DI PIRRI - sabbie limose, addensate, alternate a bancate di spessore compreso fra 10 e 30 cm di sabbia ben cementata e lapidea, di colore grigio verdastre
	10,50 - 10,63	50/13 cm	Rif	
	13,50 - 13,56	50/6 cm	Rif	
	16,50 - 16,60	50/10 cm	Rif	
	19,50 - 19,58	50/8 cm	Rif	
	22,00 - 22,09	50/9 cm	Rif	
	25,50 - 25,58	50/8 cm	Rif	
	29,00 - 29,02	50/2 cm	Rif	
	32,50 - 32,53	50/3 cm	Rif	
	35,00 - 35,01	50/1 cm	Rif	

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	60 di 111

	40,00 - 40,10	50/10 cm	Rif	
--	---------------	----------	-----	--

### 8.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 7 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S26	C1	4,00 - 4,50
	C2	8,00 - 8,50
	C3	14,50 - 15,00
	C4	18,00 - 18,50
	C5	24,50 - 25,00
	C6	30,00 - 30,50
	C7	37,50 - 38,00


Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	61 di 111

CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	Wn	γn	γs	e	Sr	γdry	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo + Argilla	Limo	Argilla	Classif	IG
		%	kN/m3	kN/m3	kN/m3	kN/m3	%	%	%	kN/m3										
S26-C1	4,00 - 4,50							N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	6	61	33			A2-4	0
S26-C2	8,00 - 8,50	23	20,34	26,4	0,599	0,375	20,21	104	16,64	10,53	N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.		22	12		
S26-C3	14,50 - 15,00							N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	0	83	17			A2-4	0
S26-C4	18,00 - 18,50							N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	0	79	21			A2-4	0
S26-C5	24,50 - 25,00							N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	0	78	22			A2-4	0
S26-C	30,00 - 30,50	19,6	20,49	26,39	0,543	0,352	20,6	97	17,13	10,68	30	24	6	>1	<0		27	17		
S26-C7	37,50 - 38,00	20,5	19,99	26,45	0,598	0,374	20,21	93	16,59	10,17	N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.		23	8		

		PROVA DI TAGLIO CD	
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	c'	$\phi'$
		[kPa]	[°]
S26-C1	4,00 - 4,50		
S26-C2	8,00 - 8,50	0	34
S26-C3	14,50 - 15,00		
S26-C4	18,00 - 18,50		
S26-C5	24,50 - 25,00		
S26-C	30,00 - 30,50		
S26-C7	37,50 - 38,00	0	35

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	63 di 111

#### 8.4 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 RR0S00D69SGGE0005001A sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S26	-3,10 da p.c.	Sabbie e ghiaie limose	1,10 x 10 <sup>-5</sup>
	-10,00 da p.c.	Sabbia limosa argillosa	4,08 x 10 <sup>-5</sup>


Preme sottolineare che la prova di permeabilità effettuata a -10m ha interessato sabbie limoso argillose non litificate, presumibilmente facenti parte della frazione più superficiale del cappellaccio di alterazione delle Arenarie di Pirri. Quest'ultima Formazione presenta infatti normalmente valori di permeabilità più modesta rispetto a quanto emerso dalla prova.

#### 8.5 Facies stratigrafiche

La ricostruzione stratigrafica sito-specifica indicata nel seguente capitolo, scaturisce dall'analisi dei risultati delle indagini in sito e prove di laboratorio geotecnico effettuate sui campioni di terreno prelevati in corso di sondaggio.

Dal confronto tra i profili sismici ed i log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti, si è dunque pervenuti ad una codifica dei range di velocità delle onde P attribuibile ai diversi livelli di terreno, comparando i risultati conseguiti con le prove di classificazione realizzate (analisi granulometriche).

Nella tabella riassuntiva seguente 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001B

	<b>PROFONDITÀ [m da p.c.]</b>	<b>FACIES</b>
<b>S26</b>	0,00 - 6,00	<b>FACIES B</b> Facies ghiaiosa-sabbiosa
	4,10 - 40,00	<b>FACIES C</b> Facies litoide Arenarie di Pirri

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

## 8.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

A seguito delle misure piezometriche eseguite è emersa la presenza di circolazione idrica sotterranea alla profondità di -1,81 m dal piano campagna, che induce ad escludere interferenze dell'opera in progetto con il sistema acquifero, sebbene siano possibili risalite piezometriche in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi. Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua 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.

## 8.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)

A partire dai parametri forniti da normativa relativi la sismicità di base, fissando un coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , un fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta$  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. Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale (Vn)	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso (Cu)	2.0	
Periodo di riferimento (Vr)	100 anni	
Periodo di ritorno (Tr)	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni



	SLC	1950 anni
--	-----	-----------


Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.014	0.017
kv	0.003	0.004	0.007	0.008
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.299	0.370	0.705	0.832
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,140	0,419	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,142	0,427	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,200	1,340	1,000	1,200	1,000	0,166	0,497	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,200	1,330	1,000	1,200	1,000	0,174	0,523	1,883

## 8.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{s_{eq}}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 365-432 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria B.

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001B

## 9 SSE DECIMOMANNU: MODELLO GEOLOGICO

La realizzazione della sottostazione elettrica Decimomannu è prevista in corrispondenza di un'area posta a Sud del centro abitato, posta in corrispondenza della pk 16+000 c.ca della linea CA-OR alla quota topografica di circa 8,0 m s.l.m..




Figura 9-1 – Ubicazione geografica

### 9.1 Indagini geognostiche di riferimento

La caratterizzazione dei terreni finalizzata a definirne la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini consistita nella realizzazione di:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro 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);
- n. 1 prospezione sismica a rifrazione di onde P.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001B


Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S23 SSE Decimomannu	-40,00	Piez. Norton	04-11/11/2021	4,25

## 9.2 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
S23	2,00 -2,45	15/11/6	17	Terreno riporto con sabbie e ghiaie sciolte e rari ciottoli, di colore marrone asciutto. Argilla con limo sabbiosa, plastica e molto consistenti
	4,50 -4,95	21/31/36	67	Ghiaia sabbiosa e limosa debolmente argillosa con elementi di siltite, areniti e quarzo paleozoici da subarrotondati ad arrotondati ad alta sfericità e di dimensioni centimetriche, da molto addensate a moderatamente addensato.
	7,50 -7,95	13/10/9	19	
	10,50 -10,95	15/26/21	47	
	13,50 -13,95	26/32/29	61	
	16,50 -16,95	13/14/13	27	Argilla con limo, plastica, da moderatamente consistente a molto consistente di colore avana e con screziature grigio-verdastre, umide.
	19,50 -19,95	50/12 cm	Rif	Sabbie e ghiaie con elementi di siltiti, areniti, qz e vulcaniti, subarrotondati e di alta sfericità, molto addensate non plastiche, di colore marrone e sature
	22,50 -22,95	12/7/10	17	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa con elementi ghiaiosi di siltiti e areniti paleozoiche, subarrotondati di alta sfericità, moderatamente addensate di colore marrone, sature
	24,70 -25,15	20/23/27	50	Limo con argilla, molto consistente, di colore marroncino, umidi.
	28,00 -28,45	50/11 cm	Rif	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa con elementi ghiaiosi di siltiti e areniti paleozoiche, subangolari di alta sfericità, molto addensata e di colore marroncino, umidi.
31,00 -31,45	32/36/39	75		
34,00 -34,45	50/13 cm	Rif		

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D69RG	DOCUMENTO GE0001	REV. 001B

	40,00 -40,45	50/14/-	Rif	Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa con elementi ghiaiosi poligenici da subarrotondati a subangolari, molto addensata non plastica, di colore marrone saturo
--	--------------	---------	-----	--

### 9.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 7 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S23	C1	4,00 - 4,50
	C2	8,00 - 9,00
	C3	11,00 - 12,00
	C4	15,30 - 15,80
	C5	21,50 - 22,50
	C6	24,00 - 24,70
	C7	33,00 - 34,00
	C8	37,00 - 38,00

Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	69 di 111

		CARATTERISTICHE FISICHE									CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA						ANALISI GRANULOMETRICA						
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	Wn	γ <sub>n</sub>	γ <sub>s</sub>	e	n	γ <sub>sat</sub>	S <sub>r</sub>	γ <sub>dry</sub>	γ'	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo+ Argilla	Limo	Argilla	Classif.	IG
		%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>										
S23-C1	4,00 - 4,50	23,3	19,7	26,54	0,664	0,399	19,91	95	15,98	9,89	47	24	23	>1	<0	0,55	5	13		40	42		
S23-C2	8,00 - 9,00										37	31	6	N.C.	N.C.	N.C.	71	19	10			A1-a	0
S23-C3	11,00 - 12,00										22	17	5	N.C.	N.C.	N.C.	51	30	19			A1-b	0
S23-C4	15,30 - 15,80	30,1	18,72	26,56	0,849	0,459	18,93	96	14,39	8,91	65	30	65	1	0	0,56	0	2		35	63		
S23-C5	21,50 - 22,50										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	52	35	13			A1-a	0
S23-C6	24,00 - 24,70	22,5	20,14	26,64	0,623	0,384	20,21	98	16,44	10,33	35	22	13	0,96	0,04	0,39	0	7		60	33		
S23-C7	33,00 - 34,00										25	20	5	N.C.	N.C.	N.C.	62	27	11			A1-a	0



PROGETTO DEFINITIVO

Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	70 di 111

S23-C8	37,00 – 38,00										23	18	5	N.C.	N.C.	N.C.	25	48	27			A1-b	0
--------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	----	---	------	------	------	----	----	----	--	--	------	---

		PROVA DI TAGLIO CD		PROVA EDMETRICA				
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	c'	φ'	Press.	E'	mv	cv	k
		[kPa]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa-1]	[cm2/sec]	[m/s]
S23-C1	4,00 - 4,50			0				
				25				
				49	5230	1,91E-04		
				98	4820	2,07E-04	1,80E-02	3,40E-09
				196	5240	1,91E-04	1,49E-02	3,10E-09
				392	10573	9,46E-05	1,15E-02	2,20E-09
				785	9011	1,11E-04		
				1570	20389	4,90E-05		
S23-C2	8,00 - 9,00							
S23-C3	11,00 – 12,00							
S23-C4	15,30 – 15,80	9	18					
S23-C5	21,50 – 22,50							



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano**

**Relazione geologica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	71 di 111

S23-C6	24,00 - 24,70							
S23-C7	33,00 - 34,00							
S23-C8	37,00 - 38,00							

#### 9.4 Risultati prove di permeabilità

Nell'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S23	-3,10 da p.c.	Argilla con limo sabbioso	4,55 x 10 <sup>-5</sup>
	-10,60 da p.c.	Ghiaia sabbiosa e limosa deb. argillosa	1,22 x 10 <sup>-5</sup>

#### 9.5 Facies stratigrafiche

Dal confronto tra i profili sismici, log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti e prove di classificazione, nella tabella riassuntiva seguente 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.

	PROFONDITÀ [m da p.c.]	FACIES
<b>S23</b>	0,00 – 2,30	Riporto
	2,30 - 4,50	FACIES A Facies limoso-argillosa
	4,50 – 15,00	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	15,00 – 17,20	FACIES A Facies limoso-argillosa
	17,20 – 23,70	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	23,70 – 28,00	FACIES A Facies limoso-argillosa
	28,00 - 35,90	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	35,90 – 40,00	FACIES C Facies litoide Complesso marnoso siltoso Formazione di Samassi



Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

## 9.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Il livello piezometrico riscontrato nel corso della realizzazione delle indagini alla profondità di -4,25 m da p.c. all'interno del piezometro installato, permette di escludere interferenze dell'opera in progetto.

E' bene specificare che, data la mancata possibilità di estendere la misura ad un congruo periodo di monitoraggio delle oscillazioni della tavola d'acqua, non si esclude la possibilità che la falda risalga a quote più superficiali; la natura di rilevato del sito scelto per il progetto di sottostazione elettrica escluderebbe comunque una risalita a quote interferenti con le fondazioni delle opere previste.


## 9.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)

Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale (Vn)	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso (Cu)	2.0	
Periodo di riferimento (Vr)	100 anni	
Periodo di ritorno (Tr)	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni
	SLC	1950 anni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.018	0.021
kv	0.004	0.005	0.009	0.011
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.373	0.462	0.881	1.040
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200


	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,467	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,159	0,476	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,180	0,541	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,500	1,430	1,000	1,500	1,000	0,188	0,563	1,883

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	74 di 111

### 9.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 296-320 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria C.

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	75 di 111

## 10 SSE VILLASOR: MODELLO GEOLOGICO

La realizzazione della sottostazione elettrica Villasor è prevista in corrispondenza di un'area posta a Nord-Ovest dell'abitato di Villasor, posta a c.ca 500 m a Nord della stazione F.V. Villasor alla quota topografica di circa 24 m s.l.m..

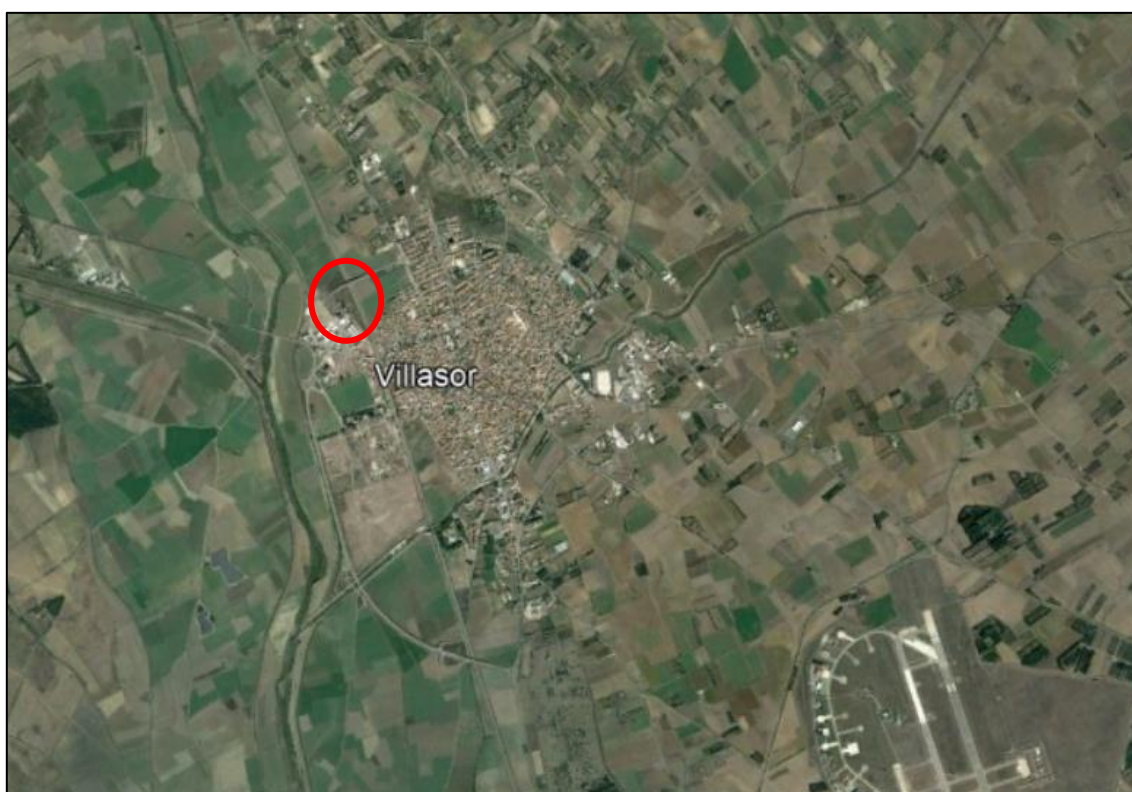


Figura 10-1 – Ubicazione geografica

### 10.1 Indagini geognostiche di riferimento

La campagna di indagini realizzata a supporto della realizzazione della SSE di Villasor è consistita nella realizzazione di:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro 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);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di onde P.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	76 di 111

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S6 SSE Villasor	-40,00	Piez. Norton	09-12/11/2021	2,46-3,40

## 10.2 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
S6	3,00 -3,45	7/12/20	32	Limo con argilla e sabbia ghiaioso, plastico e molto consistente, di colore da marrone a nocciola e molto umido.
	6,00 -6,45	11/19/27	46	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa con elementi di siltite, areniti e quarzo paleozoici da subarrotondati ad arrotondati ad alta sfericità e di dimensioni centimetriche, addensate, di colore marrone sature per falda.
	9,00 -9,45	5/9/13	22	Argilla con limo con rari noduli carbonatici, plastica e molto consistente di colore marrone molto umide
	12,00 -12,45	11/21/21	42	Sabbia con ghiaia limosa argillosa. Addensate di color beige e molto umida.
	15,00 -15,45	7/9/13	22	Limo con argilla sabbioso ghiaioso molto consistente e plastica, di colore avana con screziature nocciola e biancastre che reagiscono al HCl.
	18,00 -18,45	17/26/34	60	Argilla debolmente sabbiosa rari noduli carbonatici molto consistente e plastica, di colore nocciola con screziature grigio verdastre che reagiscono al HCl.
	21,00 -21,45	14/18/18	36	Argilla debolmente sabbiosa rari noduli carbonatici molto consistente e plastica, di colore nocciola con screziature grigio verdastre che reagiscono al HCl.
	24,00 -24,45	18/13/18	31	Limo con argilla ghiaioso debolmente ghiaioso, con noduli carbonatici biancastri, plastici e molto consistente, di colore avana, umidi.
	27,00 -27,45	40/40/9	49	Argille con sabbia e frequenti noduli carbonatici, molto consistenti di colore nocciola e con screziature grigio-verdastre, umide.

	33,00 -33,45	11/14/19	33	Sabbia argillosa con rari ciottoli arrotondati di arenaria e marne, presenza di livelli arrossati, moderatamente addensata, di color nocciola e umida.
	36,00 -36,45	18/16/26	42	Ghiaia con argilla e limo elementi ghiaiosi di siltiti e areniti paleozoiche, subarrotondati di alta sfericità, di colore beige umidi.
	39,00 -39,45	25/50/50	100	Argille con sabbia e frequenti noduli carbonatici, molto consistenti di colore nocciola e con screziature grigio-verdastre, umide

### 10.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico


Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 7 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S6	C1	2,00 - 2,60
	C2	4,00 - 5,00
	C3	8,00 - 8,60
	C4	10,00 - 11,00
	C5	15,00 - 15,60
	C6	23,30 - 24,00
	C7	34,30 - 35,00

Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	CARATTERISTICHE FISICHE									CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA						ANALISI GRANULOMETRICA					Classif.	IG
		Wn	γ <sub>n</sub>	γ <sub>s</sub>	e	N	γ <sub>sat</sub>	S <sub>r</sub>	γ <sub>dry</sub>	γ'	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo+ Argilla	Limo	Argilla		
		%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>										
S6-C1	2,00 - 2,60	17,4	19,55	25,94	0,56	0,359	20,21	82	16,65	9,74	34	17	17	0,98	0,02	0,68	5,9	28,46		45,7	80,07		
S6-C2	4,00 - 5,00										22	15	7	N.C.	N.C.	N.C.	50	32,3	17,7			A1-b	0
S6-C3	8,00 - 8,60	26,8	19,09	25,48	0,696	0,41	19,03	100	15,05	9,27	46	22	24	0,8	0,2	0,62	0	12,62		57,7	29,67		
S6-C4	10,00 - 11,00	25,2	19,52	25,94	0,667	0,4	19,52	100	15,59	9,7	53	25	28	0,99	0,01	0,51	0,7	8,5		33,7	57,11		
S6-C5	15,00 - 15,60	31,5	19,32	25,77	0,757	0,431	18,93	110	14,69	9,51	36	19	17	0,26	0,74	0,53	12,2	20,3		41,4	26,11		
S6-C6	23,30 - 24,00										64	28	36	N.C.	N.C.	N.C.	11,9	7,2	80,9			A7-6	19
S6-C7	34,30 - 35,00	26,3	19,18	25,8	0,703	0,413	19,23	99	15,18	9,36	56	27	29	>1	<0	0,67	19,4	12,35		29,7	38,59		



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	80 di 111

#### 10.4 Risultati prove di permeabilità

Nell'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S6	-2,70 da p.c.	-	2,57 x 10-6
	-10,70 da p.c.	Sabbia ghiaiosa limosa	1,56 x 10-6

#### 10.5 Facies stratigrafiche

Nella tabella riassuntiva seguente 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.

S6	PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOTIPO
	0,00 - 1,20	Riporto
	1,20 - 3,40	FACIES A Facies limoso-argillosa
	3,40 - 7,00	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	7,00 - 22,50	FACIES A Facies limoso-argillosa
	22,50 - 40,00	FACIES C Substrato in posto Complesso marnoso siltoso Formazione di Samassi

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

#### 10.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Stante gli esiti delle indagini effettuate, l'opera in progetto risulta non interferente con il sistema acquifero ospitato all'interno dei depositi ghiaiosi ascrivibili alla Facies B, rinvenuti a partire dalla profondità di -3,40 m da p.c. I livelli piezometrici riscontrati a profondità comprese tra 2,46 m e 3,40 m da p.c. all'interno del



piezometro installato sono presumibilmente dovuti ad oscillazioni della falda all'interno della sovrastante Facies A, anch'essa caratterizzata da una permeabilità da medio alta a medio bassa (valori di  $k$  compresi tra  $10^{-7}$  e  $10^{-5}$  m/s).

È quindi ipotizzabile all'interno dei depositi fini più superficiali una circolazione idrica confinata dalla presenza di depositi a permeabilità medio bassa, con regime influenzato dalla stagionalità e relativo andamento pluviometrico.

### 10.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)

Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale ( $V_n$ )	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso ( $C_u$ )	2.0	
Periodo di riferimento ( $V_r$ )	100 anni	
Periodo di ritorno ( $T_r$ )	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni
	SLC	1950 anni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.018	0.021
kv	0.004	0.005	0.009	0.011
$A_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	0.373	0.462	0.881	1.040
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,467	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,159	0,476	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,180	0,541	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,500	1,430	1,000	1,500	1,000	0,188	0,563	1,883

### 10.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 304-355 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria C.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	82 di 111

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

## 11 SSE SAN GAVINO: MODELLO GEOLOGICO

La realizzazione della sottostazione elettrica San Gavino è prevista in corrispondenza di un'area posta a Nord-Est dell'abitato di San Gavino Monreale, posta in corrispondenza della pk 50+200 della linea CA-OR alla quota topografica di circa 61 m s.l.m..

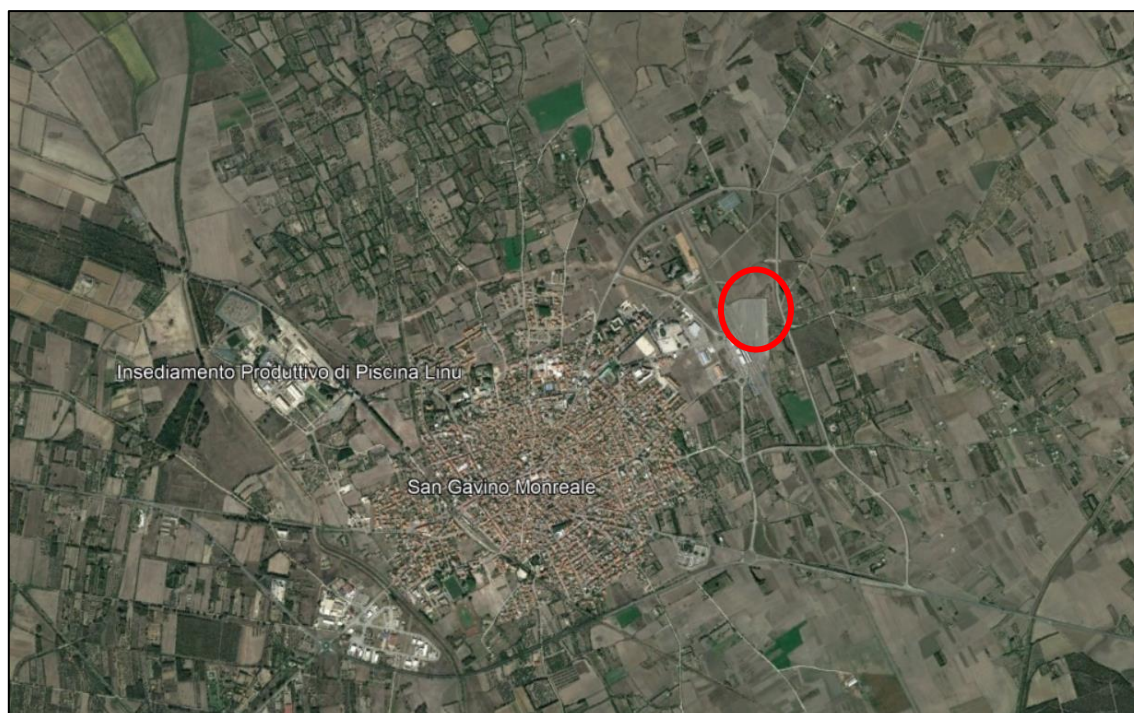


Figura 11-1 – Ubicazione geografica

### 11.1 Indagini geognostiche di riferimento

La caratterizzazione dei terreni finalizzata a definirne la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini consistita nella realizzazione di:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro e prelievo di campioni di terreno da sottoporre a test di laboratorio geotecnico;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	83 di 111

- indagini sismiche di superficie per mezzo di tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione di onde P.


Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S11 SSE San Gavino	-40,00	Piez. Norton	30/11/2021 – 03/12/2021	1,75

## 11.2 Risultati Prove SPT in foro

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove SPT eseguite, come descritto al par. 5.1.2, nel corso del sondaggio.

PROVA	PROFONDITÀ DA P.C. [m]	PROVA SPT (n. colpi/15 cm)	NSPT	LITOLOGIA PREVALENTE
S11	1,50 -1,95	3/5/7	12	Argilla con limo sabbiosa e ghiaiosa, molto consistenti di colore marrone scuro umida.
	4,00 -4,45	7/11/19	30	Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa, di colore marrone rossiccio, molto consistente e plastica, presenza di numerosi noduli carbonatici, poco umida.
	6,60 -7,05	8/13/23	36	
	9,00 -9,45	4/4/6	10	Ghiaia con sabbia debolmente argillosa con elementi di siltiti e arenarie e qz, subarrotondati e di bassa sfericità, moderatamente addensata colore beige e umida.
	12,00 -12,45	9/11/17	28	Argilla con limo e sabbia ed elementi di calcareniti, marne mioceniche, molto consistente e plastica, di colore da nocciola ad avana e con screziature grigio verdastre, umide
	15,00 -15,45	14/21/24	45	
	18,00 -18,45	10/16/31	47	Argilla con limo sabbiosa con frequenti noduli carbonatici, plastica e molto consistente di colore avana e con screziature nerastre, umide.
	21,00 -21,45	12/19/28	47	
	24,00 -24,45	16/19/23	42	Limo con argilla sabbioso, frequenti noduli carbonatici, da consistenti a molto consistenti di colore nocciola e con screziature grigio verdastre, umide.
	27,00 -27,45	23/34/39	73	
	30,00 -3,45	19/22/35	57	Argilla con sabbia ghiaiosa con elementi subarrotondati di calcareniti e marne mioceniche e con frequenti noduli carbonatici, molto consistenti di color marroncino, umide
	33,00 -33,45	9/8/14	22	
	36,00 -36,45	11/17/21	38	
39,50 -39,95	13/18/31	49		

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	84 di 111

### 11.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 7 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S11	C1	3,50 - 4,00
	C2	6,00 - 6,60
	C3	14,40 - 15,00
	C4	18,40 - 19,00
	C5	24,50 - 25,00

Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

Relazione geologica


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	85 di 111

		CARATTERISTICHE FISICHE									CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA						ANALISI GRANULOMETRICA						
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	Wn	$\gamma_n$	$\gamma_s$	e	n	$\gamma_{sat}$	Sr	$\gamma_{dry}$	$\gamma'$	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo + Argilla	Limo	Argilla	Classif.	IG
		%	kN/m3	kN/m3	kN/m3	%	kN/m3	kN/m3	%	%	%	%	kN/m3										
S11-C1	3,50 - 4,00										47	21	26	N.C.	N.C.	N.C.	38,2	32,6	29,2			A2-7	1
S11-C2	6,00 - 6,60	19,1	20,09	25,58	0,519	0,342	20,21	96	16,87	10,28	48	21	27	>1	<0	3,86	57,3	17,19		17,56	7,95		
S11-C3	14,40 - 15,00	19,2	20,68	26,01	0,502	0,334	20,6	102	17,35	10,86	38	18	20	0,94	0,06	0,57	0,8	29,21		32,16	37,83		
S11-C4	18,40 - 19,00	24,9	19,49	25,81	0,657	0,396	19,52	100	15,6	9,67	53	23	30	0,94	0,06	0,63	1	11,73		31,73	55,54		
S11-C5	24,50 - 25,00	17	20,51	25,66	0,467	0,318	20,6	95	17,53	10,7	45	19	26	>1	<0	0,62	1,2	11,43		50,2	37,17		

**Relazione geologica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	86 di 111

CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	COMPRESSIONE TRIASSIALE UU		PROVA DI TAGLIO CD	
		Tensione deviatorica	Deformazione a rottura $\varphi'$	$c'$	$\varphi'$
		[kPa]	%	[kPa]	[°]
S11-C1	3,50 - 4,00				
S11-C2	6,00 - 6,60			0	34
S11-C3	14,40 - 15,00			7	26
S11-C4	18,40 - 19,00			31	26
S11-C5	24,50 - 25,00	280	11.17		
		343	12.8		
		392	10.5		

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	87 di 111

#### 11.4 Risultati prove di permeabilità

Nell'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S11	-2,50 da p.c.	-	6,49 x 10 <sup>-6</sup>
	-10,70 da p.c.	-	8,59 x 10 <sup>-7</sup>

#### 11.5 Facies stratigrafiche

Dal confronto tra i profili sismici, log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti e prove di classificazione, nella tabella riassuntiva seguente 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.

S11	PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOTIPO
	0,00 - 1,00	Riporto
	1,00 - 3,10	FACIES A Facies limoso-argillosa
	3,10 - 10,50	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	10,50 - 18,00	FACIES A Facies limoso-argillosa
	18,00 - 40,00	FACIES C Substrato in posto Complesso marnoso siltoso Formazione di Samassi

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

### 11.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Al termine dell'esecuzione del carotaggio è emersa la presenza di circolazione idrica sotterranea alla profondità di c.ca 1,75 m dal piano campagna, che inducono ad escludere interferenze dell'opera in progetto con il sistema acquifero, sebbene siano possibili risalite piezometriche in occasione di eventi meteorici intensi. Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua 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'aggettamento e allontanamento delle acque.

### 11.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)


Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale (Vn)	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso (Cu)	2.0	
Periodo di riferimento (Vr)	100 anni	
Periodo di ritorno (Tr)	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni
	SLC	1950 anni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.018	0.021
kv	0.004	0.005	0.009	0.011
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.373	0.462	0.881	1.040
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,467	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,159	0,476	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,180	0,541	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,500	1,430	1,000	1,500	1,000	0,188	0,563	1,883



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	89 di 111

### 11.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 320-340 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria C.

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	90 di 111

## 12 SSE MARRUBIU: MODELLO GEOLOGICO

La realizzazione della sottostazione elettrica Marrubiu è prevista in corrispondenza di un'area posta a Nord-Est dell'abitato di Marrubiu, posta in corrispondenza della pk 77+250 c.ca della linea CA-OR alla quota topografica di circa 15,30 m s.l.m..



*Figura 12-1 – Ubicazione geografica*

### 12.1 Indagini geognostiche di riferimento

La caratterizzazione dei terreni finalizzata a definirne la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini consistita nella realizzazione di:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro 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);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di onde P.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	91 di 111

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S25 SSE Marrubiu	-40,00	Piez. Norton	29-31/03/2022	5,74

## 12.2 Risultati Prove SPT in foro

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove SPT eseguite, come descritto al par. 5.1.2, nel corso del sondaggio.

PROVA	PROFONDITÀ DA P.C. [m]	PROVA SPT (n. colpi/15 cm)	NSPT	LITOLOGIA PREVALENTE
S25	1,50 -1,95	50/13/-	Rif	Sabbia ghiaiosa limosa ed argillosa, non plastica, molto addensata e di colore marrone chiaro, molto umido poi satura per falda.
	4,50 -4,95	26/28/72	100	
	7,50 -7,95	50/12/-	Rif	Sabbie con ghiaie debolmente limose con elementi eterogenei prevalentemente di origine vulcanica e quarzosi, non plastica molto addensata di colore avana, sature.
	10,50 -10,95	23/78/22	100	
	13,50 -13,95	8/10/12	22	Argilla con limo argilloso molto plastica e molto consistente, di colore nocciola e grigio, umido.
	16,50 -16,95	38/43/57	100	Sabbia debolmente limosa e argillosa non plastica molto addensata di colore giallo verdastro, molto umida.
	19,50 -19,95	18/24/32	56	
	22,50 -22,95	11/13/15	28	Sabbie fini con limo argillose con frequenti bioclasti, poco plastica e moderatamente addensate, di colore grigio sature.
	25,50 -25,95	6/7/9	16	Limo con argilla sabbioso e ghiaioso con abbondanti bioclasti e frammenti di bioclasti, plastico e molto consistente, di colore grigio scuro
	29,00 -29,45	50/10/-	Rif	Ghiaie con sabbie limose, presenza di abbondanti bioclasti di dimensione centimetrici, elementi prevalentemente vulcanici, molto addensate di colore grigio, sature.
	32,00 -32,45	13/10/20	36	Argilla con limo plastica con rari noduli carbonatici, plastica molto consistente di colore da grigio a marroncino, umida
	35,00 -35,45	22/28/31	59	
40,00 -40,45	15/18/21	39	Limo con argilla plastico con rari noduli carbonatici di colore marrone e screziature nerastre, da molto consistente a duro, umido.	

### 12.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 7 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S25	C1	2,50 - 3,00
	C2	8,00 - 9,00
	C3	13,00 - 13,50
	C4	18,00 - 19,00
	C5	27,00 - 28,00
	C6	34,50 - 35,00
	C7	39,00 - 39,50

Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	93 di 111

CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	CARATTERISTICHE FISICHE									CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA						ANALISI GRANULOMETRICA					Classif.	IG
		Wn	γ <sub>n</sub>	γ <sub>s</sub>	e	n	γ <sub>sat</sub>	Sr	γ <sub>dry</sub>	γ'	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo + Argilla	Limo	Argilla		
		%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>										
S25-C1	2,50 - 3,00	19,1	16,75	25,9	0,845	0,458	18,54	60	14,06	6,93	N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	23	42		23	12		
S25-C2	8,00 - 9,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	25	65	10			A1-b	0
S25-C3	13,00 - 13,50	65,3	16,4	26,44	1,713	0,631	15,99	103	9,76	6,33	106	41	65	0,63	0,37	1,08	0	3		37	60		
S25-C4	18,00 - 19,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	0	93	7			A3	0
S25-C5	27,00 - 28,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	3	89	8			A3	0
S25-C6	34,50 - 35,00	35,3	18,15	26,05	0,945	0,486	18,15	99	13,42	8,34	62	33	29	0,92	0,08	0,45	0	3		33	64		
S25-C7	39,00 - 39,50	36,9	18,23	26,44	0,989	0,497	18,15	101	13,31	8,42	61	36	25	0,96	0,04	0,56	0	4		51	45		



## 12.4 Risultati prove di permeabilità

Nell'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S25	-3,00 da p.c.	Sabbie ghiaiosa limosa ed argillosa	1,42 x 10 <sup>-6</sup>
	-10,20 da p.c.	Sabbia con ghiaia delbolmente argillosa	3,13 x 10 <sup>-5</sup>

## 12.5 Facies stratigrafiche

Dal confronto tra i profili sismici, log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti e prove di classificazione, nella tabella riassuntiva seguente 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.

	PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOTIPO
S25	0,00 - 1,00	Riporto
	1,00 - 12,30	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	12,30 - 14,20	FACIES A Facies limoso-argillosa
	14,20 - 23,50	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	23,50 - 26,30	FACIES A Facies limoso-argillosa
	26,30 - 31,10	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	31,10 - 40,00	FACIES C Substrato in posto Complesso marnoso siltoso Formazione di Samassi

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	96 di 111

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

## 12.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Al termine delle attività di indagine è stata riscontrata la presenza di circolazione idrica sotterranea alla profondità di c.ca 5,74 m dal piano campagna, che permette di escludere interferenze dell'opera in progetto con il sistema acquifero.

## 12.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)

Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale (Vn)	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso (Cu)	2.0	
Periodo di riferimento (Vr)	100 anni	
Periodo di ritorno (Tr)	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni
	SLC	1950 anni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.018	0.021
kv	0.004	0.005	0.009	0.011
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.373	0.462	0.881	1.040
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,467	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,159	0,476	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,180	0,541	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,500	1,430	1,000	1,500	1,000	0,188	0,563	1,883

## 12.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 307-318 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria C.



Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

La realizzazione della sottostazione elettrica Oristano è prevista in corrispondenza di un'area ferroviaria posta immediatamente a Nord-Est della stazione FV di Oristano alla quota topografica di circa 14,00 m s.l.m..



Figura 13-1 – Ubicazione geografica

### 13.1 Indagini geognostiche di riferimento

La caratterizzazione dei terreni finalizzata a definirne la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche dei litotipi costituenti il sottosuolo è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini consistita nella realizzazione di:

- n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di -40,00 m da p.c. con esecuzione di prove S.P.T. (Standard Penetration Test), prove di permeabilità in foro 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);
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di onde P.

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda all'elaborato RR0S00D69SGGE0005001A e di seguito si riporta in forma tabellare il quadro riassuntivo delle indagini realizzate con indicazione delle profondità raggiunte, l'attrezzatura installata all'interno del foro di sondaggio ed il relativo livello idrico misurato al termine delle attività di perforazione.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ [m da p.c.]	ATTREZZATURA INSTALLATA	DATA ESECUZIONE	LIVELLO IDRICO [m da p.c.]
S27 SSE Oristano	-40,00	Piez. Norton	29/04/2022 03/05/2022	8,08-9,00

### 13.2 Risultati Prove SPT in foro

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove SPT eseguite, come descritto al par. 5.1.2, nel corso del sondaggio.

PROVA	PROFONDITÀ DA P.C. [m]	PROVA SPT (n. colpi/15 cm)	NSPT	LITOLOGIA PREVALENTE
S27	1,50 - 1,95	8/9/11	20	Limi sabbiosi ghiaiosi molto consistenti di colore marrone asciutti.
	5,20 - 5,65	6/8/10	18	Limi sabbiosi debolmente ghiaiosi, plastici, da consistenti a molto consistente di colore marrone, poco umido.
	8,50 - 8,95	10/13/15	28	
	11,00 - 11,45	22/26/36	62	Sabbia ghiaiosa limosa con ciottoli, elementi eterogenei prevalentemente quarzosi, da addensate a molto addensate, di colore beige, sature
	14,00 - 14,45	12/15/19	34	Sabbie con ghiaie ed elementi eterogenei ed eterometrici subarrotondati e di alta sfericità, molto addensate. Di colore grigiastro, sature.
	17,00 - 17,10	50/-/-	Rif	Ghiaie con sabbie con elementi prevalentemente di quarzo eterometrici sciolte, di colore marroncino e sature.
	20,00 - 20,45	15/20/26	46	Argille limose molto consistenti di colore marrone
	23,00 - 23,07	50/-/-	Rif	Ghiaia con sabbia debolmente limosa con elementi eterogenei ed eterometrici subarrotondati e di alta sfericità, molto addensate, di colore avana, sature.
	25,70 - 25,05	32/30/34	64	Argilla e limo sabbioso, plastica e molto consistente di colore avana e umida.
	29,00 - 29,12	50/-/-	Rif	Sabbia con argilla e limo plastica e molto consistente di colore avana e umida.
	32,00 - 32,45	26/32/40	72	
	35,00 - 35,10	50/-/-	Rif	Argille con sabbia e limo poco plastiche e molto consistenti di colore avana, umide.
	40,00 - 40,10	50/-/-	Rif	

### 13.3 Risultati prove di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati, alle profondità indicate nella seguente Tabella, n. 9 campioni di terreno.

PROVA	CAMPIONE	PROFONDITÀ DA P.C. [m]
S27	C1	4,50 - 5,20
	C2	8,00 - 8,50
	C3	10,00 - 11,00
	C4	13,00 - 13,50
	C5	17,00 - 18,00
	C6	22,00 - 23,00
	C7	26,20 - 26,70
	C8	28,50 - 29,00
	C9	36,50 - 37,00

Nell'elaborato RR0S00D69PRGE0005001A sono presentati i certificati di prova relativi alle indagini realizzate ed i relativi risultati sono riportati di seguito in forma tabellare.

Relazione geologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	101 di 111


		CARATTERISTICHE FISICHE									CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA						ANALISI GRANULOMETRICA						
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	Wn	γ <sub>n</sub>	γ <sub>s</sub>	e	n	γ <sub>sat</sub>	S <sub>r</sub>	γ <sub>dry</sub>	γ'	LL	LP	IP	IC	IL	A	Ghiaia	Sabbia	Limo + Argilla	Limo	Argilla	Classif.	IG
		%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	kN/m <sup>3</sup>										
S27-C1	4,50 - 5,20	18,0	20,67	26,2	0,499	0,333	20,8	97	17,51	10,85	38	23	15	>1	<0	0,56	0	28		45	27		
S27-C2	8,00 - 8,50	21,4	18,8	26,53	0,709	0,415	19,62	82	15,55	9,07	N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	0	40		51	9		
S27-C3	10,00 - 11,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	47	42	11			A1-b	0
S27-C4	13,00 - 13,50										36	22	14	N.C.	N.C.	N.C.	13	60	27			A2-6	0
S27-C5	17,00 - 18,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	56	35	9			A1-a	0
S27-C6	22,00 - 23,00										N.D.	N.D.	N.D.	N.C.	N.C.	N.C.	56	38	6			A1-a	0
S27-C7	26,20 - 26,70	29,2	18,88	26,69	0,83	0,454	19,03	96	14,61	9,07	58	34	24	>1	<0	0,41	0	2		39	59		
S27-C8	28,50 - 29,00	13,6	21,49	26,26	0,391	0,281	21,68	93	18,92	11,68	33	15	18	>1	<0	0,6	4	48		18	30		
S27-C9	36,50 - 37,00	26,7	19,6	26,38	0,709	0,415	19,52	101	15,47	9,78	52	32	20	>1	<0	0,47	0	3		54	43		



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Elettrificazione Linea Cagliari -**  
**Oristano**  
 COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RR0S 00 D69RG GE0001001 B 102 di  
 111

**Relazione geologica**

		PROVA DI TAGLIO CD		PROVA EDOMETRICA				
CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	c'	φ'	Press.	e	mv	Cv	k
		[kPa]	[°]	[kPa]		[kPa <sup>-1</sup> ]	[cm <sup>2</sup> /sec]	[m/s]
S27-C1	4,50 - 5,20			0				
				49				
				98	11472	8,72E-05	1,91E-03	1,70E-10
				196	10611	9,42E-05	1,03E-03	9,70E-11
				392	12293	8,13E-05	4,94E-04	4,00E-11
				785	16363	6,11E-05		
				1570	24067	4,16E-05		
				3139	39203	2,55E-05		
S27-C2	8,00 - 8,50	0	32					
S27-C3	10,00 - 11,00							
S27-C4	13,00 - 13,50							
S27-C5	17,00 - 18,00							
S27-C6	22,00 - 23,00							
S27-C7	26,20 - 26,70							
S27-C8	28,50 - 29,00	0	25					
S27-C9	36,50 - 37,00	7	23					

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano					
Relazione geologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	103 di 111

### 13.4 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.

All'interno della documentazione allegata sono riportati i rapporti redatti a corredo di ciascuna prova con indicazione delle 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 [m]	LITOLOGIA PREVALENTE	COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (m/s)
S27	-3,00 da p.c.	Limi sabbiosi argillosi	2,56 x 10-6
	-10,50 da p.c.	Sabbia con ghiaia limosa	2,16 x 10-5

### 13.5 Facies stratigrafiche

Dal confronto tra i profili sismici, log stratigrafici elaborati a partire dai sondaggi eseguiti e prove di classificazione, nella tabella riassuntiva seguente 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.

	PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOTIPO
<b>S27</b>	0,00 – 0,90	Riporto
	0,90 - 9,10	FACIES A Facies limoso-argillosa
	9,10 – 24,20	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	24,20 – 27,20	FACIES A Facies limoso-argillosa
	27,20 – 35,00	FACIES B Facies ghiaiosa-sabbiosa
	35,00 – 40,00	FACIES A Facies limoso-argillosa

Per la caratterizzazione geotecnica delle facies descritte si rimanda agli elaborati progettuali di riferimento.

### 13.6 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Stante gli esiti delle misure piezometriche effettuate al termine delle attività di sondaggio, l'opera in progetto risulta non interferente con il sistema acquifero ospitato all'interno dei depositi ghiaioso-sabbiosi ascrivibili alla Facies B e rinvenuti a partire dalla profondità di -5,00 m da p.c., con livello idrico attestato a profondità comprese tra -8,08 e -10,03 m da p.c. all'interno del piezometro installato.

È tuttavia ipotizzabile la formazione all'interno dei depositi più superficiali di circolazione idrica confinata dalla presenza di depositi a bassa permeabilità con regime influenzato dalla stagionalità e relativo andamento pluviometrico.

### 13.7 Azione sismica di progetto (NTC 2018)

Di seguito si riportano i parametri normativi per ottenere gli spettri di risposta semplificati relativi agli stati limite precedentemente elencati.

Vita nominale (Vn)	50 anni	
Classe d'uso	IV	
Coefficiente d'uso (Cu)	2.0	
Periodo di riferimento (Vr)	100 anni	
Periodo di ritorno (Tr)	SLO	60 anni
	SLD	101 anni
	SLV	949 anni
	SLC	1950 anni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.018	0.021
kv	0.004	0.005	0.009	0.011
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.373	0.462	0.881	1.040
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200


	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,025	2,685	0,299	1,500	1,560	1,000	1,500	1,000	0,156	0,467	1,702
SLD	0,031	2,730	0,307	1,500	1,550	1,000	1,500	1,000	0,159	0,476	1,726
SLV	0,060	2,976	0,371	1,500	1,460	1,000	1,500	1,000	0,180	0,541	1,840
SLC	0,071	3,061	0,393	1,500	1,430	1,000	1,500	1,000	0,188	0,563	1,883



### 13.8 Categoria di sottosuolo

Ai sensi delle NTC/2018, i risultati delle indagini geofisiche integrate realizzate, hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$ , calcolato a partire dal piano campagna, compreso tra 313-331 m/s e dunque si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della Categoria C.

Per maggiori dettagli riguardo le prospezioni sismiche di superficie svolte, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti nell'elaborato RR0S00D69IGGE0005001A.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	106 di 111

#### 14 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.

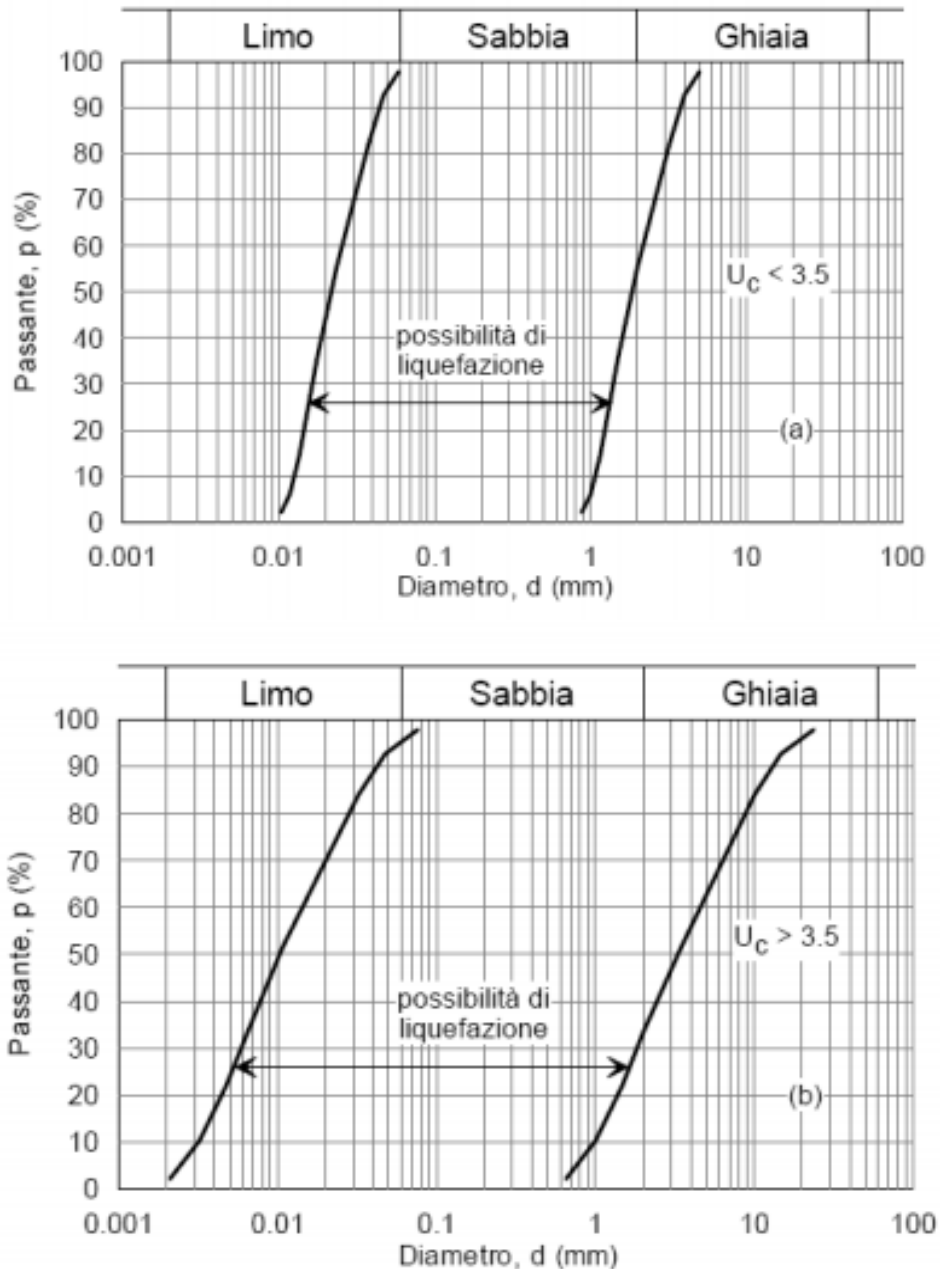



Figura 14-1 -fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione.

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  $a_g=0.1 g$ .

## 15 NOTE CONCLUSIVE E GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ

Nel presente rapporto viene presentato un inquadramento geologico, idrogeologico e sismico generale delle aree oggetto di studio e sulla base delle indagini in sito e di laboratorio geotecnico realizzate a supporto del progetto è stato desunto il modello geologico del sottosuolo di interesse.

Alla luce dello studio condotto, della natura e delle caratteristiche degli interventi da attuarsi, i lavori in progetto risultano compatibili con la situazione geologica e morfologica dei luoghi e tali da non influire negativamente sulla stabilità delle aree.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	109 di 111

## 16 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\*

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

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.

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)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	110 di 111

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. Centroofset.- 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

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)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>Elettrificazione Linea Cagliari - Oristano</b>					
<b>Relazione geologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0S	00	D69RG	GE0001001	B	111 di 111

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\*

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)

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.