

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J74J22000170001

**DIREZIONE TECHNOLOGY, INNOVATION & DIGITAL SPOKE  
SYSTEM INTEGRATION & EXPERT SUPERVISION**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Elettrificazione Linea Cagliari – Oristano**

**Relazione Generale di Progetto**

**Relazione Tecnica**

SCALA:

-

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

RR0S 00 D 21 RG MD0000 001 A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	Tutte le Specialistiche.	Lug. 2022		Lug. 2022		Giù. 2022	Daniela Aprea Luglio 2022

File: RR0S00D21RGMD0000001A.doc

n. Elab.: 1

## INDICE

1. Premessa.....	8
1.1 FINANZIAMENTO REGIONALE E INCARICO DI PROGETTAZIONE .....	8
1.2 INQUADRAMENTO GENERALE DEL PROGETTO .....	8
2. La linea di contatto.....	10
2.1 SINTESI DEGLI ELEMENTI CARATTERIZZANTI LA LINEA DI CONTATTO .....	11
3. Le Sottostazioni elettriche.....	12
3.1 INTRODUZIONE ALLE SOTTO STAZIONI ELETTRICHE .....	13
3.2 LE PLANIMETRIE DI IMPIANTO .....	13
3.3 STATO DEI LUOGHI.....	17
3.4 OPERE CIVILI DI SSE .....	19
3.5 CAMPI ELETTROMAGNETICI.....	21
4. Esercizio Ferroviario .....	22
5. Cantierizzazione .....	23
5.1 PROGRAMMA LAVORI.....	24
6. Sottoservizi .....	24
7. Inquadramento Idraulico .....	25
7.1 SSE DI DECIMOMANNU.....	25
7.2 SSE DI VILLASOR.....	29
7.3 SSE DI CAGLIARI .....	32
7.4 SSE DI SAN GAVINO .....	34
7.5 SSE DI MARRUBIU .....	36
7.6 SSE DI ORISTANO.....	38
8. Inquadramento Geologico .....	41
8.1 PREMESA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	41
8.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA ED INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO.....	43

8.3 CATEGORIE SISMICHE DI SOTTOSUOLO.....	43
8.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	44
9. Inquadramento Geotecnico .....	50
9.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	50
9.2 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	51
9.3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	52
10. Ponti.....	56
10.1 PONTE KM 3+267.....	57
10.2 PONTE KM 7+869.....	59
10.3 PONTE KM 19+340.....	61
10.4 PONTE KM 24+933.....	63
10.5 PONTE KM 33+171.....	65
10.6 PONTE KM 85+118.....	67
11. Ambiente.....	69
12. Gestione terre .....	75
12.1 ANALISI DEI SITI CONTAMINATI.....	75
12.2 GESTIONE DEI MATERIALI DI RISULTA .....	75
13. Archeologia .....	78

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 schematico di linea .....	9
Figura 2 Sospensione di piena linea con mensola orizzontale in alluminio.....	12
Figura 3 Stralcio della Planimetria di Cagliari .....	13
Figura 4 Stralcio della Planimetria di Decimomannu .....	14
Figura 5 Stralcio della Planimetria di Villasor.....	14
Figura 6 Stralcio della Planimetria di San Gavino .....	15
Figura 7 Stralcio della Planimetria di Marrubiu .....	15
Figura 8 La viabilità di Marrubiu .....	16
Figura 9 Stralcio della Planimetria di Oristano.....	17
Figura 10 Esempio di Fabbriato di SSE .....	17
Figura 11 Modello di esercizio futuro .....	22
Figura 12 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino arancio.....	27
Figura 13 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio .....	27
Figura 14 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio.....	28
Figura 15 Fasce PGRA (aggiornamento 2021) – piazzale di progetto: rettangolo rosso.....	28
Figura 16 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino giallo .....	30
Figura 17 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino giallo .....	30
Figura 18 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino giallo.....	31
Figura 19 Stralcio planimetrico degli interventi di compensazione.....	32
Figura 20 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino arancio.....	33
Figura 21 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio .....	33
Figura 22 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio .....	34

Figura 23 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso .....	35
Figura 24 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso .....	35
Figura 25 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino verde .....	36
Figura 26 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso .....	37
Figura 27 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso .....	37
Figura 28 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino magenta. ....	38
Figura 29 Stralcio Planimetrico – distanza minima incisione-piazzale di progetto .....	38
Figura 30 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso .....	39
Figura 31 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso .....	39
Figura 32 Fasce PSFF – in giallo: Hi1. Sito di intervento: pallino rosso .....	40
Figura 33 Tabella rappresentante la caratterizzazione delle aree di studio: la classificazione. ....	43
Figura 34 – Categorie del sottosuolo da NTC 2018, tab. 3.2.II .....	54
Figura 35 – Categorie topografiche da NTC2018, tab. 3.2.II .....	55
Figura 36 Ponte km 3+267 .....	57
Figura 37 gli ancoraggi del Ponte km 3+267 .....	58
Figura 38 Ponte km 7+869 .....	59
Figura 39 gli ancoraggi del Ponte km 7+869 .....	60
Figura 40 Ponte km 19+340 .....	61
Figura 41 gli ancoraggi del Ponte km 19+340 .....	62
Figura 42 Ponte km 24+933 .....	63
Figura 43 gli ancoraggi del Ponte km 24+933 .....	64
Figura 44 Ponte km 33+171 .....	65
Figura 45 gli ancoraggi del Ponte km 24+933 .....	66



**PROGETTO DEFINITIVO – ELETTRIFICAZIONE LINEA  
CAGLIARI -ORISTANO**

RELAZIONE TECNICA LdC

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D 21 RG	MD 00 00 001	A	6 di 78

Figura 46 Ponte km 85+118.....	67
Figura 47 gli ancoraggi del Ponte km 24+933 .....	68
Figura 48 SSE di San Gavino ante operam e post operam.....	70
Figura 49 Viadotto ante operam e post operam .....	72
Figura 50 Dettaglio degli elementi sotto tensione della linea di trazione elettrica che potrebbero comportare eventi di folgorazione .....	74

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Volumi sottratti all'espansione della piena .....	31
Tabella 2 Quadro riassuntivo dei sondaggi.....	46
Tabella 3– Stratigrafia da Sondaggio S16 .....	50
Tabella 4– Stratigrafia di progetto.....	51
Tabella 5 Parametri geotecnici caratteristici dei materiali in sito .....	52
Tabella 6 Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ e $T^*c$ relativi al sito di progetto .....	53
Tabella 7 Valori di accelerazione massima attesa al sito .....	55
Tabella 8 Lista dei Ponti oggetto di verifica .....	56
Tabella 9 Siti per il conferimento dei materiali di risulta.....	77

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 1. Premessa

### 1.1 Finanziamento Regionale e Incarico di Progettazione

Il progetto di Elettrificazione della linea ferroviaria Cagliari – Oristano è un intervento infrastrutturale in parte finanziato con fondi FSC 2014-2020 Quota regionale – R.A.S. Delibera CIPE 26/2016, per cui RFI è stato nominato il Soggetto Attuatore.

Italferr S.p.A., in qualità di società di ingegneria del gruppo Ferrovie Dello Stato Italiane, è incaricata della progettazione della Elettrificazione della linea ferroviaria Cagliari – Oristano.

### 1.2 Inquadramento Generale del Progetto

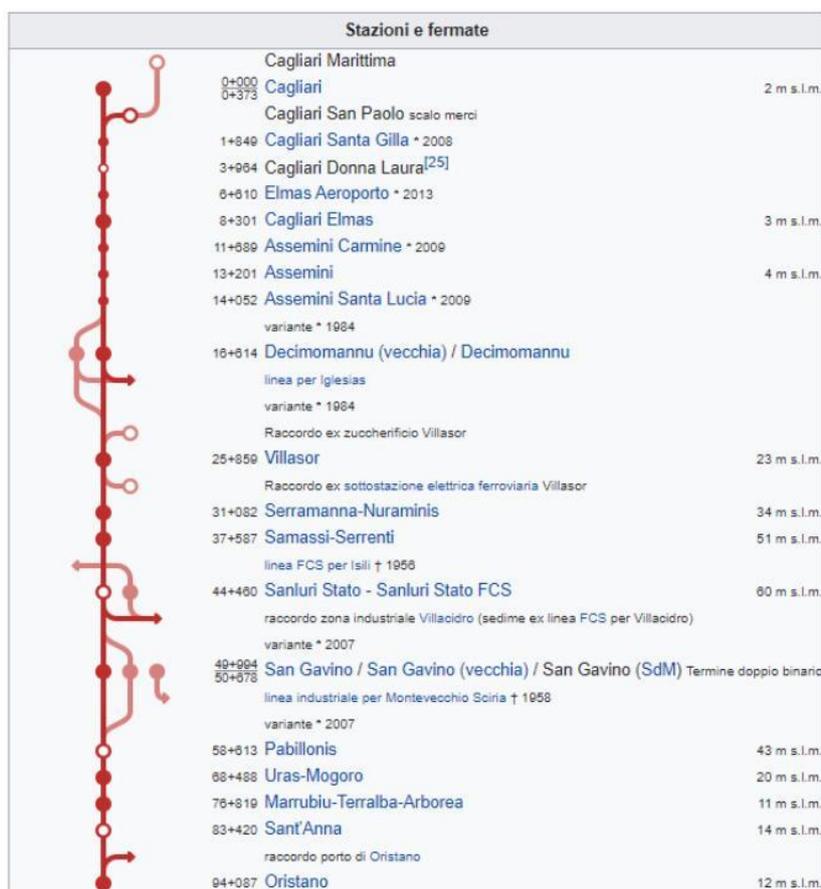
La tratta ferroviaria Cagliari – Oristano è inserita nell'ambito della rete ferroviaria sarda e comprende linee che si sviluppano per un totale di circa 430 km a scartamento ordinario.

La linea Cagliari-Golfo Aranci è la più importante ed estesa dell'intera rete ferroviaria della Sardegna, attraversando tutte le province sarde, collega Cagliari col porto gallurese di Golfo Aranci e con vari centri del Campidano come Oristano, Macomer ed Olbia. Attualmente la linea ferroviaria non è non elettrificata ed è per buona parte a binario unico ad eccezione di 50 km circa tra la stazione di Cagliari e quella di San Gavino, in cui la linea è a doppio binario. Questo progetto si occupa della Elettrificazione della Cagliari – Oristano.

Al fine di valorizzare il territorio e di restituire alla Comunità un servizio di trasporto ferroviario di qualità superiore all'attuale, si introduce il progetto di elettrificazione della linea, tramite la costruzione di sei nuove sottostazioni elettriche e la posa della palificata di sostegno della linea elettrica di alimentazione dei nuovi elettrotreni per una estesa totale di 95 km.

Il principale beneficio prodotto dall'intervento di Elettrificazione sarà rappresentato dall'utilizzo di materiale rotabile con più alte prestazioni (come velocità e accelerazione) rispetto alle locomotrici diesel attualmente in uso; inoltre, si potranno cogliere tutti i vantaggi, di tipo ambientale, propri di questo tipo di trazione (molto importanti date le caratteristiche del territorio attraversato).

Nella figura 1 è rappresentata la linea Ferroviaria Cagliari – Oristano; tramite lo schematico di linea sono visibili le stazioni, le fermate, le quote altimetriche, le chilometriche delle località e le diramazioni/bivi.



**Figura 1 schematico di linea**

L'intervento di elettrificazione si sviluppa per una lunghezza totale di 95 km così distribuiti:

- circa 50 km di doppio binario tra la stazione di Cagliari e quella di San Gavino,
- ulteriori 45km circa a singolo binario fino alla stazione di Oristano.

Il progetto di elettrificazione è coerente con le attuali normative/procedure in tema di Ambiente, nel rispetto del Patrimonio Archeologico e propone la risoluzione delle Interferenze relative ai Sottoservizi intercettati. Facendo riferimento all'elenco elaborati, il documento con codifica RR0S01D21LSMD0000001A, si riscontra la presenza degli elaborati specialistici relativi alle seguenti famiglie:

- Linea di contatto,
- Sottostazioni Elettriche,

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 78

- Cantierizzazione,
- Geologia,
- Sottoservizi,
- Gestione Terre,
- Interventi sui ponti,
- Esercizio,
- Ambiente.

Nei successivi paragrafi si darà una descrizione succinta degli argomenti di progetto sopra elencati e si rimanda per una comprensione tecnica più dettagliata agli elaborati relativi alla singola materia specialistica. Per questo si raccomanda la consultazione di:

- elenco elaborati, codifica documento RR0S01D21LSMD0000001A,
- i documenti di riferimento indicati nei successivi paragrafi tematici.

## 2. La linea di contatto

Il documento RR0S00D18ROLC0000001A costituisce la relazione tecnica specifica inerente al progetto della linea di contatto; nel documento sono presenti le seguenti indicazioni/descrizioni:

- dimensionamento del sistema di trazione elettrica,
- documenti di riferimento e riferimenti normativi,
- caratteristiche generali della linea di contatto 3 kVcc – 440mm<sup>2</sup>,
- sostegni, fondazioni e sospensioni,
- condutture di contatto e di alimentazione,
- quota del piano teorico di contatto,
- posti di sezionamento e di regolazione automatica,
- circuito di terra e protezione trazione elettrica,

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 11 di 78

- bonifica sistematica terrestre per blocchi di fondazione trazione elettrica, taglio della vegetazione, bonifica superficiale, bonifica profonda mediante trivellazioni,
- lavorazioni effettuate tramite “scavo bcm promiscuo”
- dettaglio delle attività,
- fornitura materiali,
- soggezioni all’esercizio e ulteriori prescrizioni.

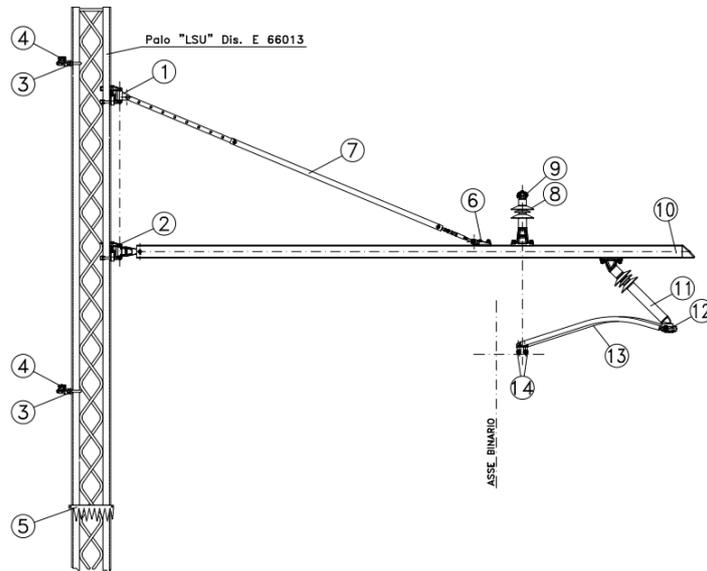
## 2.1 Sintesi degli elementi caratterizzanti la Linea di Contatto

Le attrezzature, i componenti per l'elettrificazione e cioè i conduttori, i pali di sostegno, le mensole ed i relativi tiranti, gli isolatori, i complessi di sospensione e poligonazione, la morsetteria e la restante carpenteria metallica, sono conformi alle normative CEI, UNIFER ed UNEL vigenti.

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche caratterizzanti la linea di contatto sono:

- interdistanza tra pali di sostegno lungo linea variabile tra 40 e 60 m,
- distanza dei sostegni dalla rotaia più vicina (esterno palo – interno fungo rotaia) sarà di norma pari a 2.25 m,
- lo sviluppo di posa della palificata avverrà completamente all'interno della sede7dominio ferroviario,
- sui marciapiedi, in ossequio alla Specifiche Tecniche di Interoperabilità “REGOLAMENTO (UE) 1300\_2014 ACCESSIBILITA' A PERSONE CON RIDOTTA CAPACITA' MOTORIA (PRM)” la distanza palo rotaia sarà adeguatamente aumentata.
- L'altezza nominale dei fili di contatto sul piano del ferro sarà pari a 5.20 metri come previsto da Capitolato Tecnico TE RFI.

Il complesso di montaggio della sospensione a mensola orizzontale in alluminio per LdC 440 mm<sup>2</sup> è riportato nell’elaborato di RFI E56000/1s Sospensione di piena linea di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente:



**Figura 2** *Sospensione di piena linea con mensola orizzontale in alluminio*

### 3. Le Sottostazioni elettriche

Il documento RR0S00D18RGSE0000001A costituisce la relazione tecnica specifica inerente al progetto delle Sotto Stazioni Elettriche (SSE); nel documento sono presenti le seguenti indicazioni/descrizioni:

- Norme e documenti di riferimento,
- riferimenti normativi, riferimenti progettuali,
- Descrizione degli interventi,

Demolizioni e stato dei luoghi,

- Descrizione delle SSE: Cagliari, Decimomannu, Villasor, San Gavino, Marrubiu, Oristano
- costituzione delle SSE
- opere elettromeccaniche SSE Media Tensione,
- opere elettromeccaniche SSE Alta Tensione,
- opere civili,
- Impianto di terra e negativo.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

### 3.1 Introduzione alle Sotto Stazioni Elettriche

Il progetto prevede la realizzazione di 6 nuove sottostazioni, ognuna equipaggiata con due gruppi di conversione da 5400 kW e situate presso le stazioni di Cagliari, Decimomannu, Villasor, San Gavino, Marrubiu ed Oristano.

L'analisi dei carichi elettrici ha dimostrato la compatibilità degli stessi con un'alimentazione elettrica primaria in Media Tensione, permettendo così di ridurre drasticamente le aree di occupazione degli impianti che risultano quindi limitate a spazi già oggi, per quattro sottostazioni su sei, dedicati alle pertinenze ferroviarie.

Oltre al risparmio di suolo, la soluzione in media tensione comporta un'ingente riduzione dell'emissione di campi elettromagnetici rispetto alle soluzioni AT e consente inoltre una migliore integrazione degli impianti nel paesaggio di riferimento. Le apparecchiature elettromeccaniche di piazzale saranno limitate al parco sezionatori 3 kVcc, mentre tutte le altre apparecchiature saranno contenute all'interno di fabbricati ad un solo livello e con tetto a doppia falda.

Quanto detto vale per cinque delle sei sottostazioni sopra menzionate, ovvero: Cagliari, Decimomannu, San Gavino, Marrubiu ed Oristano. La sottostazione di Villasor, invece, sarà allacciata alla rete di Alta Tensione. Anche per quest'ultima sottostazione, l'occupazione sarà limitata a spazi già dedicati alle pertinenze ferroviarie. Per la SSE di Marrubiu è prevista inoltre l'occupazione di uno spazio idoneo per un futuro upgrade della SSE con allaccio in alta tensione.

### 3.2 Le Planimetrie di Impianto

La **SSE di Cagliari**, alimentata in Media Tensione, occuperà un'area di 2340 mq e sarà ubicata all'incirca al km 2+188; il disegno RR0S00D18P6SE0100001A SSE Cagliari – Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:

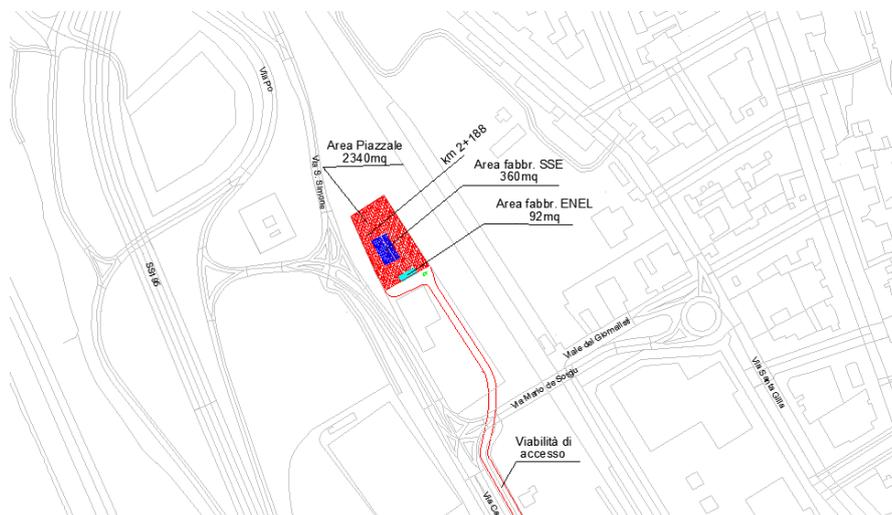


Figura 3 Stralcio della Planimetria di Cagliari

La **SSE di Decimomannu**, alimentata in Media Tensione, occuperà invece un'area di 1580 mq e sarà ubicata all'incirca al km 16+024, il documento RR0S00D18P6SE0200001A SSE Decimomannu – Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:



**Figura 4 Stralcio della Planimetria di Decimomannu**

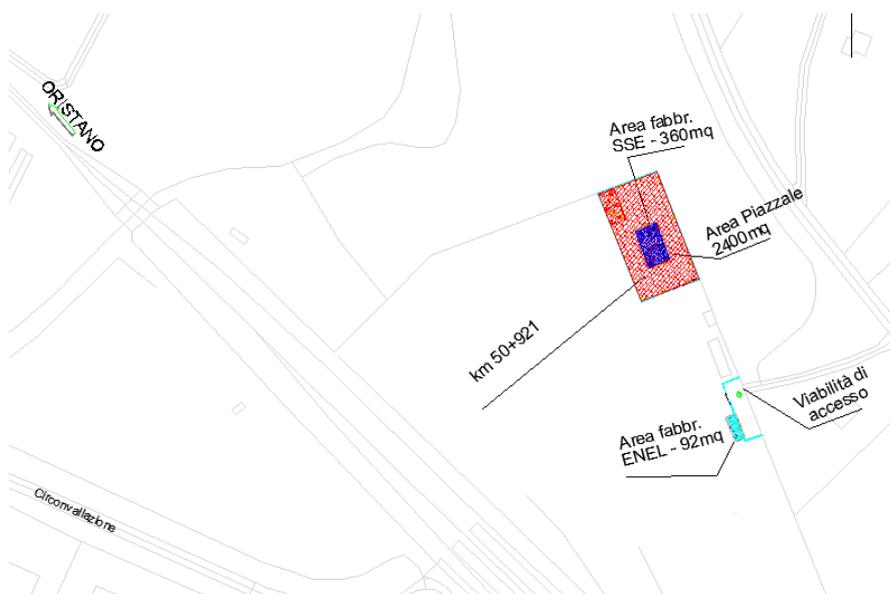
La **SSE di Villasor**, alimentata in Alta Tensione, occuperà invece un'area di 8100 mq e sarà ubicata all'incirca al km 26+255, il documento RR0S00D18P6SE0300001A SSE Villasor – Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:



**Figura 5 Stralcio della Planimetria di Villasor**

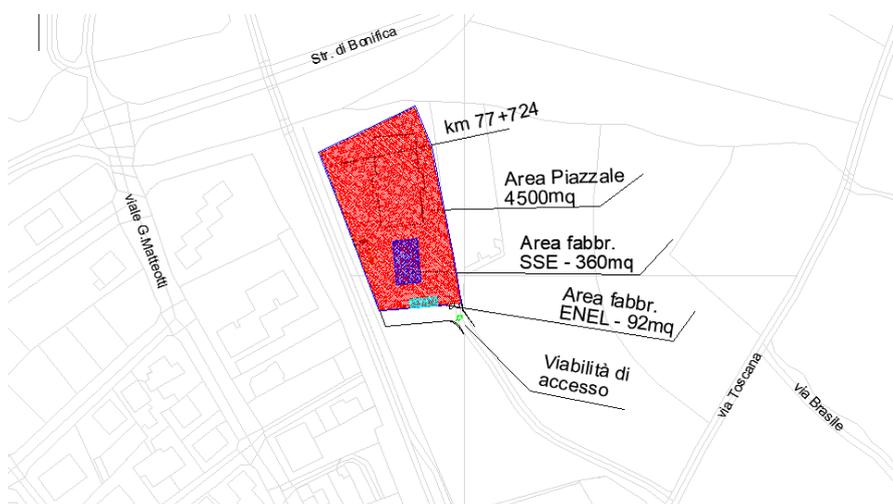
	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

La **SSE di San Gavino**, alimentata in Media Tensione, occuperà invece un'area di 2400 mq e sarà ubicata all'incirca al km 50+921, il documento RR0S00D18P6SE0400001A SSE San Gavino – Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:



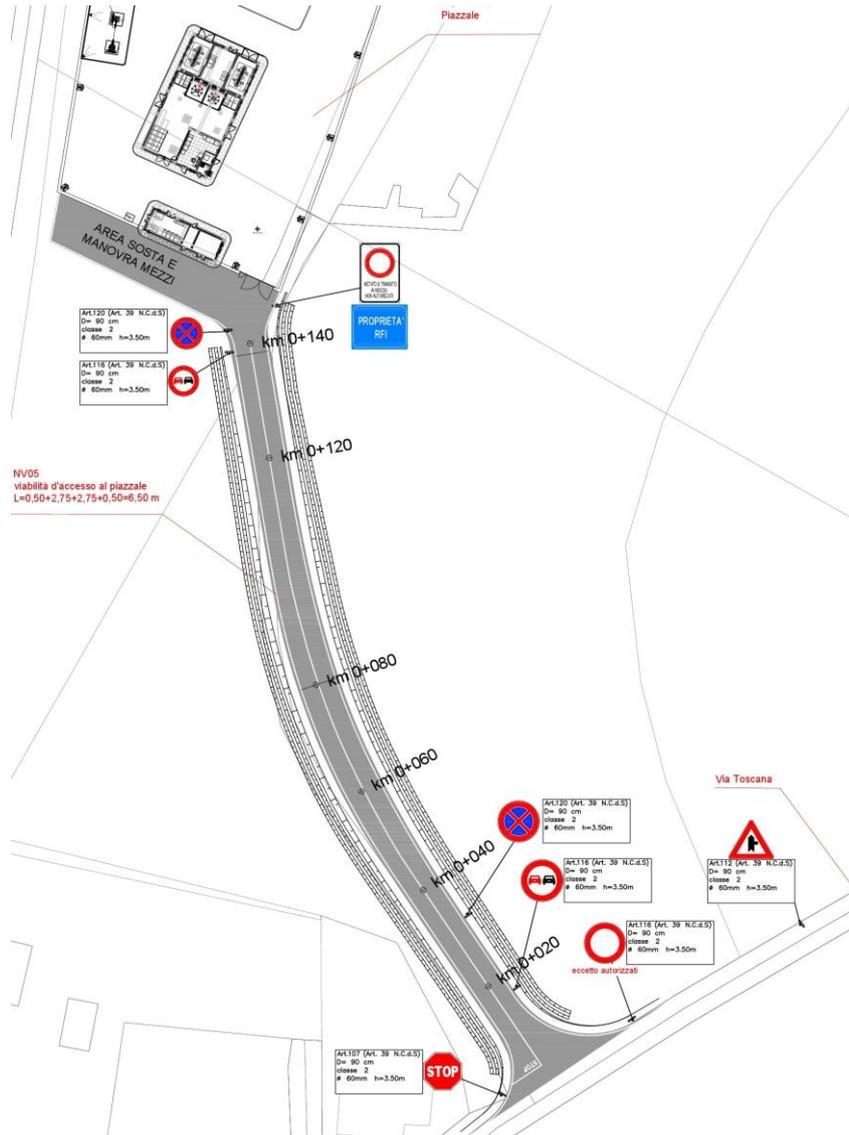
**Figura 6 Stralcio della Planimetria di San Gavino**

La **SSE di Marrubiu**, alimentata in Media Tensione ma con area predisposta per futuro allaccio in AT, occuperà invece un'area di 4500 mq e sarà ubicata all'incirca al km 77+724, il documento RR0S00D18P6SE0500001A SSE Marrubiu – Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:



**Figura 7 Stralcio della Planimetria di Marrubiu**

Per la sottostazione elettrica di Marrubiu sarà prevista la realizzazione di una viabilità dedicata per mezzo di una nuova strada; per le restanti sottostazioni si potranno utilizzare le viabilità già esistenti. Di seguito si fornisce uno stralcio della progettazione della viabilità di Marrubiu:

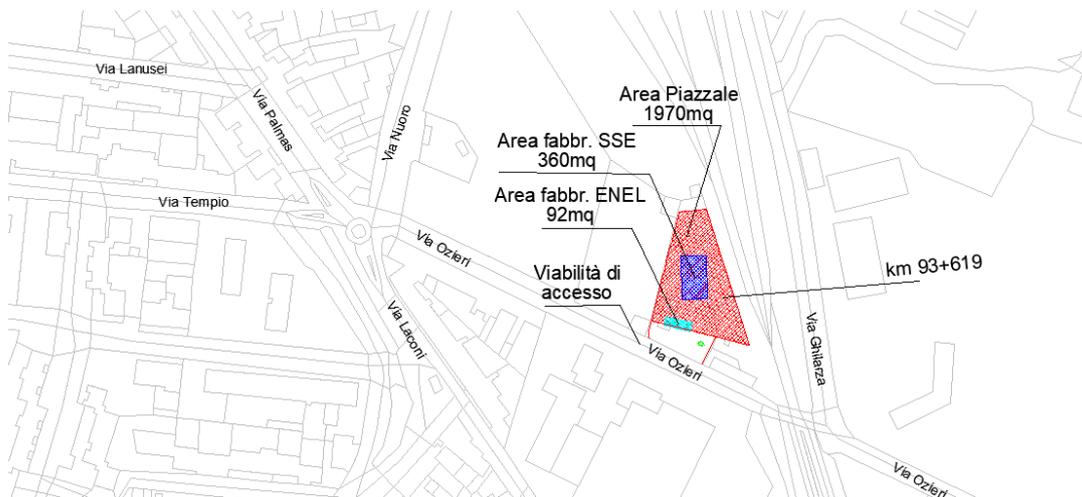


**Figura 8 La viabilità di Marrubiu**

Per maggiori dettagli si raccomanda la consultazione degli elaborati e tavole tematiche della viabilità di Marrubiu nel documento elenco elaborati.

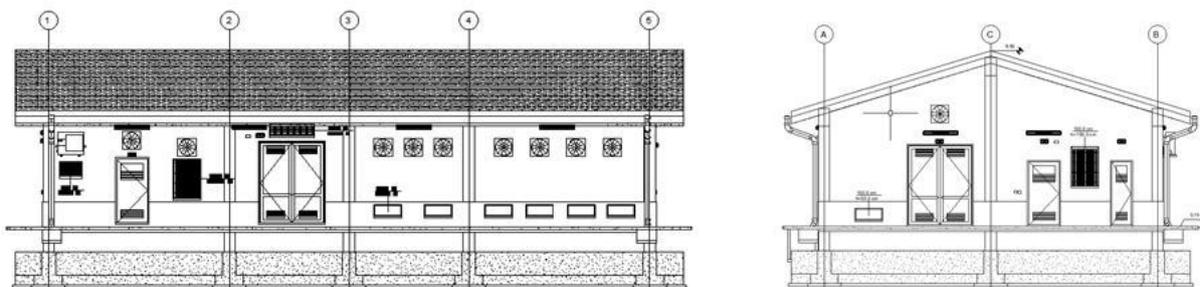
Infine, la **SSE di Oristano**, alimentata in Media Tensione, occuperà invece un'area di 1970 mq e sarà ubicata all'incirca al km 93+619, il documento RR0S00D18P6SE0600001ASSE Oristano –

Planimetria ubicazione impianto fornisce i dettagli di rilievo. Di seguito si riporta uno stralcio del disegno:



**Figura 9 Stralcio della Planimetria di Oristano**

La successiva figura mostra un layout tipico del fabbricato di SSE, al fine di fornire un esempio qualitativo della tipologia dell'edificio. I dettagli inerenti ai fabbricati sono riscontrabili nella documentazione specifica di progetto rintracciabile nell'elenco elaborati, codifica RR0S01D21LSMD0000001A.



**Figura 10 Esempio di Fabbricato di SSE**

### 3.3 Stato Dei Luoghi

Nei siti ove sorgeranno le SSE di Oristano, San Gavino, Decimomannu, Villasor e Cagliari, oltre alle normali preparazioni di piazzale, dovranno essere demoliti i manufatti esistenti. Pertanto, nel documento Relazione Tecnica codifica RR0S00D18RGSE0000001 sono presenti i rilievi fotografici e i dettagli della descrizione dell'intervento al fine di fornire una rappresentazione coerente e significativa dello stato di questi luoghi.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 18 di 78

I piazzali delle nuove SSE sorgeranno in aree di pertinenza ferroviaria per le sottostazioni di Cagliari, Decimomannu, Villasor e San Gavino, in prossimità del fabbricato di stazione.

Le sottostazioni di Marrubiu e Oristano saranno oggetto di esproprio per una quantità pari a circa 0.8 Ha corrispondente alle aree già indicate nel precedente paragrafo e descritte con il necessario dettaglio nella Relazione Tecnica delle SSE, codifica RR0S00D18RGSE0000001, nei relativi elaborati grafici citati all'interno di tale documento. La documentazione specifica ed attinente il vincolo preordinato all'Esproprio di Marrubiu, è presente nei seguenti documenti:

- RR0S00D43BDAQ0000001A, "Piano Particellare Comune di Marrubiu",
- RR0S00D43EDAQ0000001A, "Elenco Ditte Comune di Marrubiu",
- RR0S00D43EPAQ0000001A, "Perizia della Spesa",
- RR0S00D43RGAQ0000001A, "Relazione Giustificativa".

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 19 di 78

### 3.4 Opere Civili Di SSE

Le aree di SSE, oltre le attività inerenti alla costruzione dei fabbricati così come indicati nel paragrafo 3.2, saranno anche oggetto delle seguenti ulteriori attività:

- movimenti di terra necessari a portare il piazzale alla quota di progetto,
- posa delle varie tipologie di pavimentazione previste per il piazzale,
- interventi relativi alla viabilità esterna con realizzazione degli asfalti, cordoli e pavimentazioni,
- posa della recinzione perimetrale con elementi prefabbricati in cemento e cancello metallico carrabile con apertura a battenti, per consentire l'accesso agli addetti ai lavori,
- per la SSE di Oristano, Villasor, e, in misura meno importante, Decimomannu, dovranno essere eseguite operazioni di demolizione,
- bonifica Ordigni Esplosivi,
- taglio di vegetazione,
- sbancamento e consolidamento: rimozione dello strato superficiale di terreno per il successivo consolidamento dell'area interessata dalle opere di fondazione; riempimento con inerti, opportunamente compattati, e livellamento fino alla suddetta quota; per il mantenimento di idoneo valore di resistività del terreno, il riempimento sarà in parte essere effettuato con terre vegetali miste a bentonite ed altre terre di caratteristiche appropriate,
- fondazioni: dei basamenti per le palificate, i fabbricati di sottostazione e quelli di consegna MT,
- realizzazione dei muri di contenimento del piazzale laddove previsti (SSE Decimomannu, SSE Villasor),
- costruzione: delle recinzioni, delle canalizzazioni, della maglia di terra generale,
- realizzazione del dispersore di terra magliato,
- costruzione dei basamenti per il sostegno e fondazione dell'apparecchiatura di piazzale consistenti essenzialmente nei pali dei sezionatori aerei di 1a e 2 a fila, nelle paline in vetroresina per l'illuminazione e nel trasformatore di isolamento,

- costruzione delle canalizzazioni per i cavi MT e bt interni ed esterni ai fabbricati, destinati all'alimentazione dei circuiti elettrici nonché al comando e controllo dei sezionatori 3kV c.c., telefonia di servizio, telecomando ecc.,
- costruzione delle canalizzazioni per i cavi del negativo,
- realizzazione degli impianti di scarico delle acque bianche e dei chiusini e caditoie per lo smaltimento delle acque piovane,
- realizzazione degli impianti di scarico delle acque nere,
- realizzazione della fossa biologica,
- realizzazione degli impianti di alimentazione idrica,
- sistemazione e pavimentazione del piazzale (zone pedonali, zone carrabili).

Nella Relazione Tecnica delle SSE, codifica RR0S00D18RGSE0000001 è presente una descrizione adeguatamente dettagliata delle opere civili secondo la seguente classificazione:

- Opere Civili di Piazzale,
- Opere Civili SSE Mt,
- Opere civili SSE AT.

La sottostazione elettrica di Villasor è oggetto di mitigazione del rischio di allagamento, pertanto il fabbricato di SSE sarà realizzato su un terrapieno a quota +2 m rispetto al piano attuale di SSE. Saranno pertanto realizzati i muri e le rampe di accesso a questo terrapieno, come evidenziato nei lay-out e nelle sezioni di progetto.

Anche il piazzale in alta tensione sarà realizzato su un piazzale avente quota sopraelevata pari a 1 metro rispetto alla preesistenza. In questo caso tutte le morsettiere e gli argani di manovra del piazzale AT dovranno essere allocati ad una quota minima di un ulteriore metro rispetto al terrapieno del piazzale AT.

Per compensare i volumi occupati dai nuovi rilevati, all'esterno del piazzale sarà realizzato uno scavo di un volume adeguato, come rappresentato nel documento:

- RR0S00D18P9SE0300002 SSE Villasor - Piazzale di SSE/Smaltimento acque e allacciamento servizi.

Per approfondimenti, fare riferimento ai documenti citati nella lista documentazione di progetto, codifica RR0S01D21LSMD0000001A.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 21 di 78

### 3.5 Campi Elettromagnetici

Nel Progetto è stato effettuato uno studio delle emissioni di campi elettromagnetici generati dai nuovi impianti per la trazione elettrica ferroviaria. In particolare, le opere oggetto dell'analisi elettromagnetica sono le seguenti:

- N. 1 SSE alimentate in alta tensione (SSE di Villasor – 150 kV);
- Elettrodotto in alta tensione 150 kV di allaccio della SSE di Villasor alla omonima cabina primaria di Terna. Seppure tale elettrodotto risulti ad oggi esistente, viene in ogni caso effettuato lo studio CEM poiché la linea in alta tensione non è ad oggi in servizio. L'attivazione della SSE, pertanto, perturba lo scenario ante-opera, andando di fatto a riattivare una sorgente di campo magnetico ad oggi quiescente;
- N. 5 SSE alimentate in media tensione (SSE di Cagliari, Decimomannu, San Gavino, Marrubiu, Oristano – 15 kV). Per tali opere è esclusa la verifica dei campi magnetici prodotti delle linee in cavo ENEL in media tensione di alimentazione delle Sottostazioni. La realizzazione di tali cavidotti è a cura di Enel, che curerà la parte progettuale e autorizzativa degli interventi. Nell'ambito di tale progetto il gestore della rete elettrica pubblica effettuerà le verifiche di conformità delle sue opere alla Normativa vigente, inclusa la normativa inerente alle emissioni di campo elettromagnetico. In ogni caso non è possibile per la scrivente struttura, progettista delle opere ferroviarie, fornire qualsiasi valutazione inerente alle emissioni di campo elettromagnetico, in quanto il suddetto progetto di Enel non è noto.
- Impianti di linea aerea di contatto 3 kV in corrente continua lungo il tracciato ferroviario.

Le simulazioni condotte hanno consentito di effettuare la valutazione puntuale dell'ampiezza della fascia di rispetto ai sensi delle normative vigenti e dell'ampiezza delle isolinee di campo magnetico da confrontare con le planimetrie e le sezioni di progetto, in modo da evidenziare eventuali criticità.

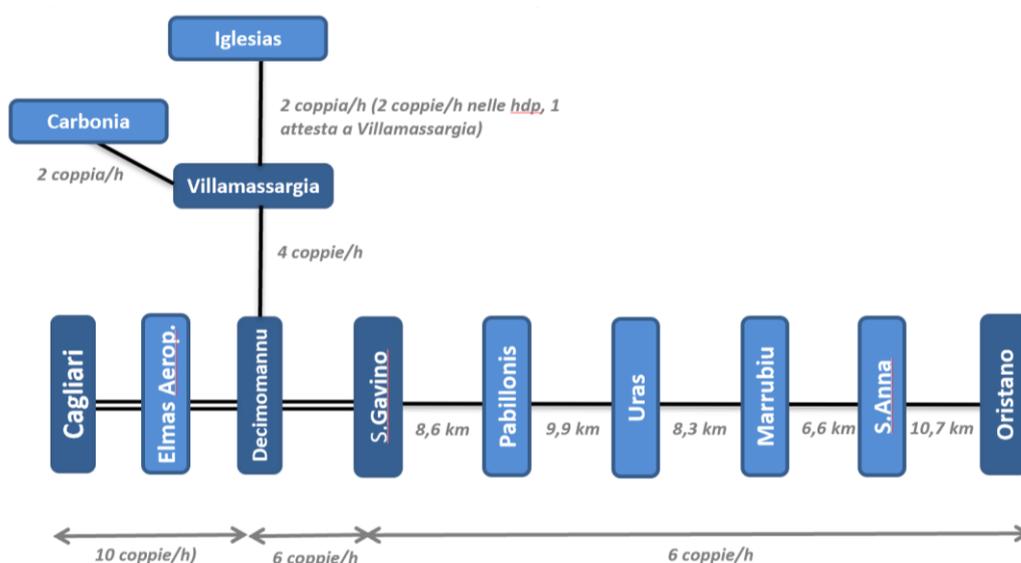
Nella relazione tecnica sui campi elettromagnetici sono descritti anche i criteri con cui sono state effettuate le simulazioni per la valutazione delle emissioni magnetiche relative ai suddetti nuovi impianti RFI.

Si prega il lettore di consultare il documento Lista Elaborati per approfondire i dettagli tecnici.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 4. Esercizio Ferroviario

L'obiettivo del presente progetto è l'elettificazione della tratta Cagliari – Oristano, pertanto il modello di esercizio di progetto considerato riguarda il dimensionamento elettrico e dei relativi equipaggiamenti necessari all'esercizio mediante trazione elettrica (Sottostazioni elettriche ecc.). Il modello, incrementato rispetto all'attuale, è quindi da ritenersi come target per tali dimensionamenti come da indicazioni della Referenza.



**Figura 11 Modello di esercizio futuro**

Tale scenario del modello di esercizio di progetto è stato quindi utilizzato con il solo scopo del dimensionamento elettrico, per dotare il sistema della capacità necessaria per le eventuali future implementazioni.

Date le caratteristiche infrastrutturali della linea attuale e non essendo previsti interventi al ferro a corredo del progetto di elettificazione, il modello di esercizio previsto per l'attivazione del presente progetto ricalcherà il modello di esercizio dello stato attuale, coerentemente con la capacità residua dell'infrastruttura.

Il modello di esercizio di progetto che prevede un incremento rispetto all'attuale, potrà eventualmente essere implementato in fasi successive di potenziamento infrastrutturale di raddoppio attualmente non definite.

Per ulteriori dettagli, il lettore faccia riferimento alla documentazione tecnica di esercizio presente nel documento lista elaborati.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 5. Cantierizzazione

Il progetto di cantierizzazione definisce i criteri generali del sistema di cantierizzazione individuando una possibile organizzazione e le eventuali criticità di questo.

Al fine di realizzare le opere in progetto, è prevista l'installazione di una serie di aree di cantiere nell'area oggetto di intervento, le quali potrebbero essere soggette ad eventuali modifiche ed integrazioni nelle successive fasi di approfondimento progettuale.

Ciascuna area di cantiere svolge una funzione di supporto alle lavorazioni, che può essere sintetizzata come di seguito descritto per le diverse tipologie funzionali previste in progetto:

- 3 CANTIERI OPERATIVI (CO.01, CO.02, CO.03), destinati ad ospitare le principali strutture logistiche e operative funzionali all'esecuzione dei lavori e i principali impianti di supporto alle lavorazioni;
- 3 AREE STOCCAGGIO (AS.01, AS.02, AS.03) dei materiali da costruzione che potranno essere utilizzate anche come deposito temporaneo delle terre di scavo; potranno inoltre essere utilizzate anche come aree di appoggio dei materiali necessari alla realizzazione degli interventi;
- 3 CANTIERI TECNOLOGIE (CA.01, CA.02, CA.03) ubicati in corrispondenza delle aree ferroviarie lungo la tratta oggetto degli interventi e saranno attrezzate con tronchino ferroviario per il ricovero delle attrezzature ferroviarie utilizzate per i lavori da eseguire da binario in regime di interruzione di esercizio (in interruzione notturna programmata IPO).
- 6 AREE TECNICHE (AT01, AT.02, AT.03, AT.04, AT.05, AT.06) che fungono da base per la realizzazione delle sottostazioni; tali aree non contengono in generale impianti fissi di grandi dimensioni.

Vengono illustrati i criteri che l'appaltatore dovrà seguire nell'organizzazione interna dei cantieri operativi.

La progettazione di un cantiere segue regole dettate da numerosi fattori, che riguardano la geometria dell'opera da costruire, la morfologia e la destinazione d'uso del territorio, il tipo e il cronoprogramma delle lavorazioni previste all'interno di ogni singola area.

Le caratteristiche del cantiere operativo sono state determinate nell'ambito del presente progetto definitivo in base al numero massimo di persone che graviterà su di esso nel corso dell'intera durata dei lavori civili, e sulla base delle linee guida emesse dal Servizio Sanitario Nazionale. Resta fermo l'onere in capo all'Appaltatore (in fase di progettazione esecutiva e/o costruttiva) di verifica con gli Enti competenti e di recepimento di eventuali ulteriori prescrizioni in materia. Sono state considerate anche le necessità di gestione di materiali nei periodi di picco delle lavorazioni.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 24 di 78

La presente ipotesi di cantierizzazione non prevede all'interno delle aree di cantiere gli alloggi ma solo il servizio mensa, considerato l'ambito urbano degli interventi l'Appaltatore potrà fare riferimento alle strutture ricettive locali e alle disponibilità immobiliari presenti sul territorio.

Si rimanda per maggiori dettagli su quanto detto, agli elaborati specifici del progetto di cantierizzazione.

Va comunque evidenziato come la presente ipotesi di cantierizzazione, sopra sommariamente riepilogata e meglio rappresentata negli specifici elaborati di progetto, costituisce una soluzione tecnicamente fattibile per la realizzazione dell'intervento, ma non vincolante ai fini di eventuali diverse soluzioni che l'appaltatore intenderà attuare nel rispetto della normativa vigente, delle disposizioni emanate dalle competenti Autorità, dei tempi e costi previsti per l'esecuzione delle opere.

## 5.1 Programma Lavori

Il programma lavori relativo agli interventi di Elettrificazione delle Linea Cagliari – Oristano prevede una durata complessiva delle lavorazioni di circa 17 mesi (dalla consegna lavori all'ultimazione degli stessi).

La durata complessiva di realizzazione dell'intervento è stata stimata in 505 giorni naturali e consecutivi.

Di seguito si riporta una sintesi dell'organizzazione del programma lavori.

Il tempo di realizzazione complessivo, di 505 gnc, è così suddiviso:

- **90 gnc** per attività propedeutiche: progetto di dettaglio, cantierizzazione, qualifica impianti e materiali, autorizzazione subappalti, boe e risoluzione sottoservizi, picchettamento, per AVVIO LAVORI ecc.;
- **415 gnc** per le attività di costruzione.

## 6. Sottoservizi

Nell'ambito del progetto in esame è stata svolta un'attività di censimento dei sottoservizi posti parallelamente o in attraversamento all'intervento ferroviario, preliminarmente mediante l'interessamento degli Enti gestori di sottoservizi presenti.

Per la lista completa di tutti i sottoservizi potenzialmente interferenti rilevati, si rimanda agli elaborati di progetto, tavole e dossier di censimento.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 7. Inquadramento Idraulico

Il presente paragrafo ha come obiettivo l'individuazione delle eventuali condizioni di vincolo caratterizzanti il sito di intervento ai sensi delle perimetrazioni del PAI, del PGRA e PSFF.

Per i dettagli tecnici, si prega di consultare gli elaborati relativi di idraulica così come riportati nel documento lista elaborati di progetto.

### 7.1 SSE di Decimomannu

Per la Sotto Stazione Elettrica oggetto del presente paragrafo è stato necessario analizzare le condizioni di pericolo idraulico mappate dal PAI, PGRA e PSFF rispetto agli aggiornamenti frutto degli studi realizzati dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna rispetto alle fasce di Pericolo del Flumini Mannu.

Come meglio rappresentato in Figura 12, il piazzale in esame si sviluppa all'interno della fascia di Pericolo P3 del fiume (mappe PAI). Secondo l'Art. 40 Comma 2 del Piano di Assetto Idrogeologico – NTA:

“Le mappe della pericolosità idraulica identificano le tre classi seguenti:

- P3, ovvero aree a pericolosità elevata, con elevata probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni;
- P2, ovvero aree a pericolosità media, con media probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 50 anni e minore o uguale a 200 anni;
- P1, ovvero aree a pericolosità bassa, con bassa probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 200 anni e minore o uguale a 500 anni”.

La fascia di esondazione occupata risulterebbe dunque caratterizzata da una elevata pericolosità idraulica attribuibile a eventi con moderato periodo di ritorno (TR=50anni) e sarebbe disciplinata dall'Art. 27 del PAI. Come meglio indicato all'interno del comma 3c del suddetto articolo, in fascia P3 sono ammessi gli “interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche” cui la progettazione in esame appartiene.

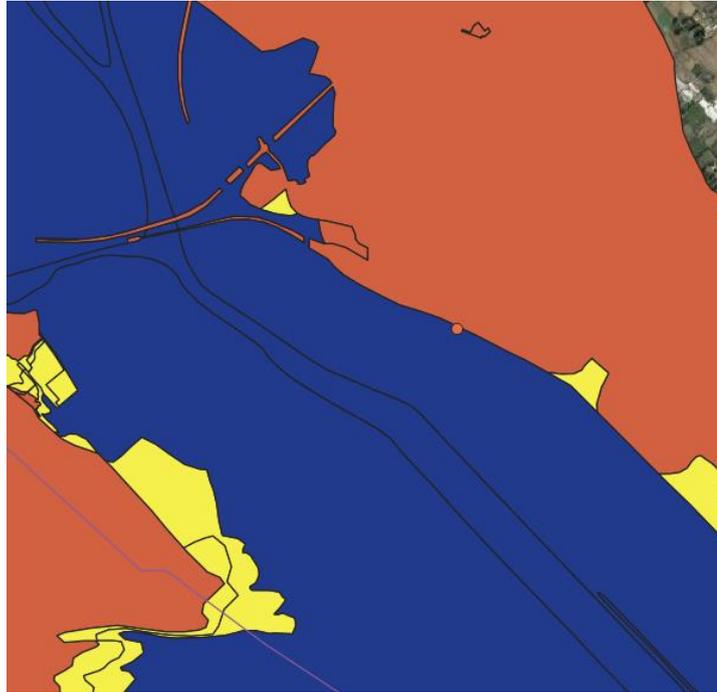
A integrazione dei capoversi precedenti, nel 2021 il fiume Flumini Mannu è stato oggetto di approfondimenti da parte dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna al fine di definire gli interventi strategici da realizzarsi lungo il corso d'acqua per limitare le condizioni di rischio idraulico. Come è possibile osservare dall'elaborato “Atlante cartografico delle fasce di esondazione derivanti dalla modellazione dello SCENARIO 0 (Stato Attuale)” alle condizioni

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 26 di 78

attuali il piazzale oggetto di intervento risulta collocato esternamente alle fasce di espansione del corso d'acqua (Figura 15).

Come meglio specificato all'interno della Relazione "Scenari di intervento strategico e coordinato: Flumini Mannu", in prossimità del sito è inoltre prevista la realizzazione di nuove arginature che limitino l'espansione della fascia fluviale a ridosso della rete ferroviaria esistente.

Gli studi realizzati dimostrano un massimo livello di piena (TR=200 anni) in prossimità del piazzale pari a 6.75m msl. La quota di imposta del sito di progetto risulta collocata a 9.40m msl. Alle condizioni indicate, dunque, è possibile asserire l'assenza di condizioni di rischio e la piena compatibilità idraulica per l'intervento in esame.



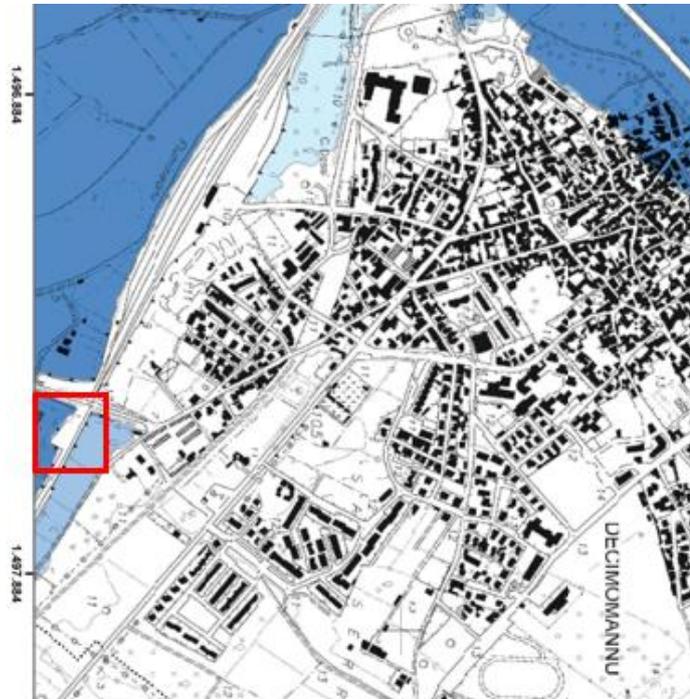
**Figura 12 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino arancio**



**Figura 13 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio**



**Figura 14 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio**



**Figura 15 Fasce PGRA (aggiornamento 2021) – piazzale di progetto: rettangolo rosso**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 29 di 78

## 7.2 SSE di Villasor

Come possibile osservare dalle immagini che seguono, il sito di Villasor ricade all'interno delle aree di vincolo idraulico relative alle fasce di esondazione del Fiume Flumini Mannu. Nel dettaglio, il piazzale è collocato all'interno della fascia di pericolo P3 del PAI disciplinata dall'Art. 41 Comma 1:

*“Nelle aree P3 si applicano le norme tecniche di attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) relative alle aree di pericolosità idraulica Hi4, con particolare riferimento all'articolo 27”.*

Come meglio indicato all'interno dell'Art. 27 comma 3c, in fascia P3 sono ammessi gli “interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche” cui la progettazione in esame appartiene. Si osserva tuttavia la necessità di individuare una soluzione che permetta di compensare l'eventuale sottrazione di volume all'espansione di piena.

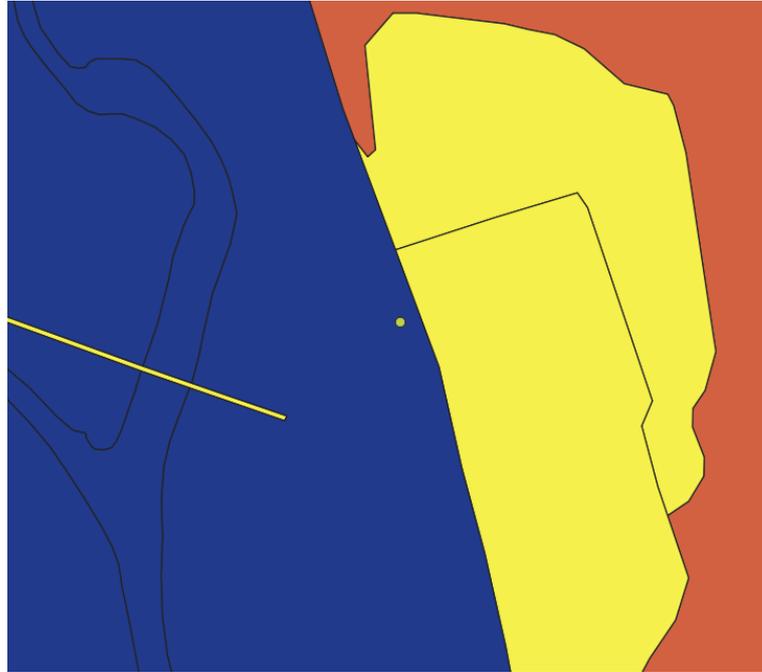
A seguito di confronto realizzato con l'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, inoltre, si è evidenziata l'applicabilità per il sito di progetto dell'Art. 23 comma 9 (a, b, c, d) che disciplina gli accorgimenti tecnici da adottarsi per evitare l'aggravio delle condizioni di pericolosità e rischio idraulico nelle zone vincolate PAI. Nel dettaglio gli interventi devono essere tali da:

*“a. migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario, non aumentando il rischio di inondazione a valle;*

*b. migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;*

*c. non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;*

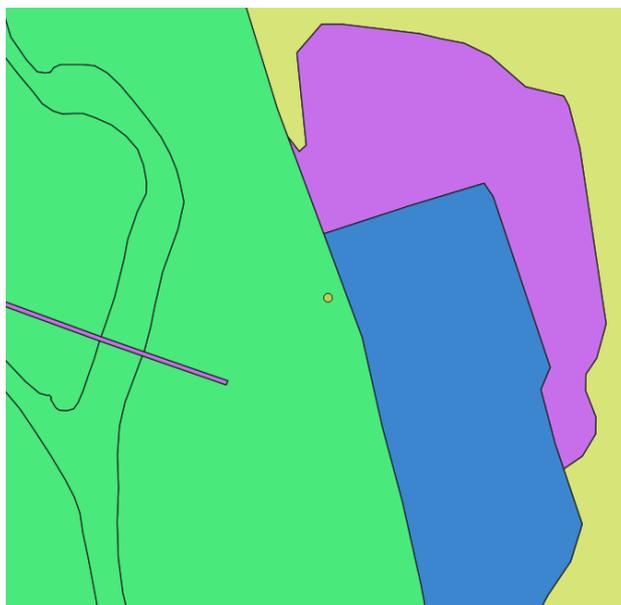
*d. non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invasamento delle aree interessate”.*



**Figura 16 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino giallo**



**Figura 17 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino giallo**



**Figura 18 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino giallo**

Nel caso in esame, gli studi già realizzati dall’Autorità di Bacino della Regione Sardegna evidenziano livelli idraulici per eventi duecentennali pari a +26.52m msl, a fronte di una quota media del piazzale pari a +24.50m msl (tirante massimo: 2.02m). Come meglio rappresentato negli elaborati tecnici di dettaglio, al fine di garantire la sicurezza idraulica del fabbricato di piazzale, delle rampe di accesso e degli impianti elettrici, si è deciso di collocare gli stessi a 2.0m (piazzale) e 1.0m (impianti elettrici) dal piano di campagna rispettivamente. Alle condizioni indicate, il volume di espansione sottratto nel caso di alluvionamento con TR=200anni risulta pari a 3260m<sup>3</sup>.

	Superficie	Tirante	Volume
	m2	m	m3
Terrapieno (fabbricato)	835	2	1670
Rampa di accesso	240	1	240
Piazzale AT	1350	1	1350

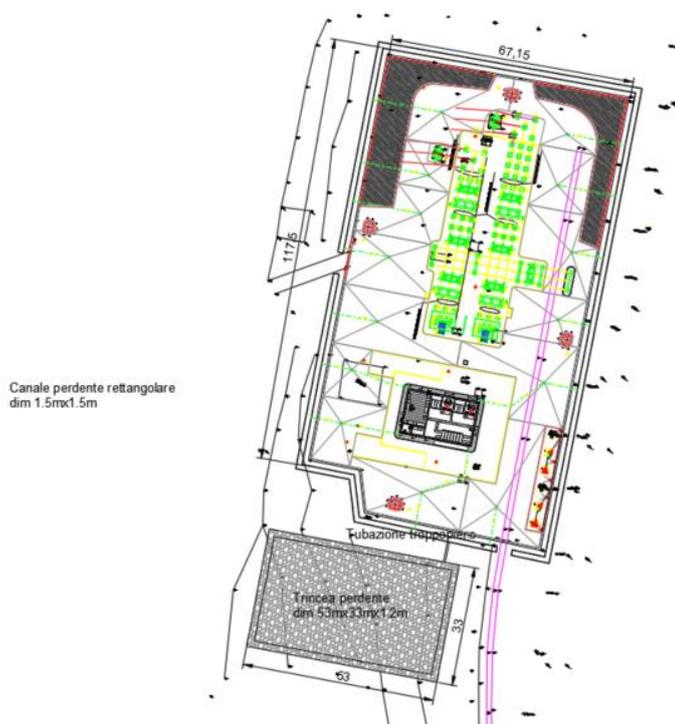
**Tabella 1 Volumi sottratti all’espansione della piena.**

Gli interventi adottati a compensazione dei volumi sottratti alla piena sono di seguito illustrati:

- Realizzazione di un canale perdente perimetrale di sezione utile rettangolare 150x150cm e di lunghezza totale pari a 390m. Il presidio idraulico sviluppa un volume utile pari a 878m<sup>3</sup> (esclusi i valori sottratti per infiltrazione) ed è collegato al sistema di drenaggio interrato del piazzale a mezzo di caditoie e condotte;

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

- Realizzazione di una trincea perdente di laminazione 33.0x53.0x1.2m che sviluppa un volume utile pari a 2099m<sup>3</sup> ed è collegata mediante condotta by-pass di troppo pieno al canale di cui al precedente punto;
- Realizzazione di un'area di compensazione in ghiaia di estensione pari a 808m<sup>2</sup> e profondità media 1.0m (indice dei vuoti: 0.4). Il volume di compenso così generato è pari a 323m<sup>3</sup>.



**Figura 19 Stralcio planimetrico degli interventi di compensazione.**

Alle condizioni indicate, dunque, gli interventi realizzati presentano un volume minimo di compensazione pari a 3300m<sup>3</sup>, garantendo di fatto la compatibilità idraulica dell'intervento.

### 7.3 SSE di Cagliari

Come è possibile osservare, il piazzale in esame si sviluppa esternamente alle fasce di pericolo segnalate dal PAI, PGRA e PSFF. Alle condizioni indicate l'intervento può considerarsi compatibile.



**Figura 20 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino arancio**



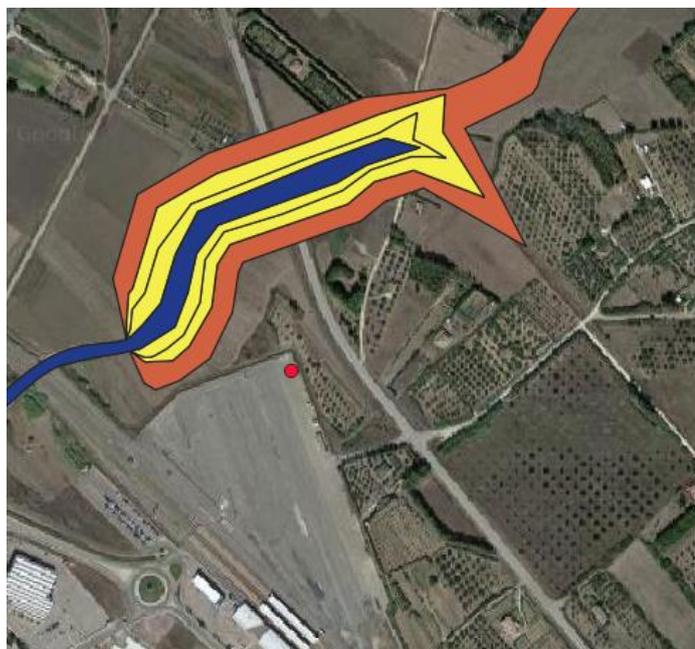
**Figura 21 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio**



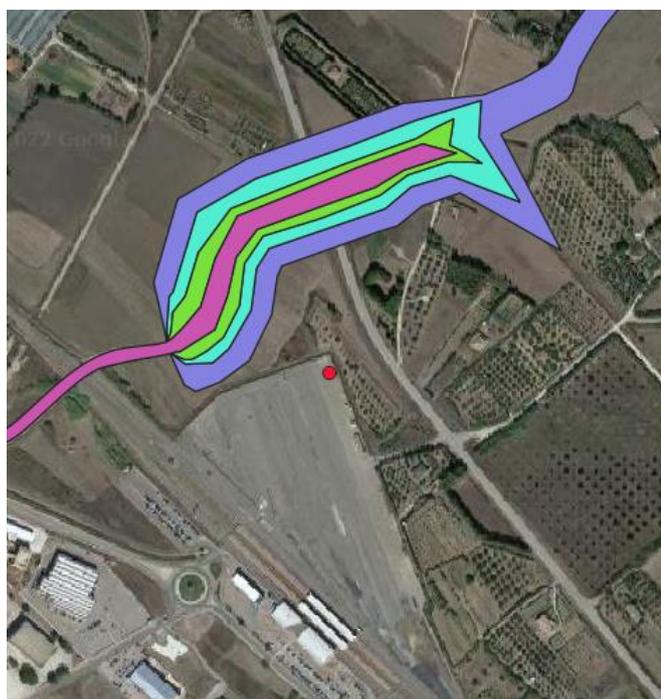
**Figura 22 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino arancio**

## **7.4 SSE di San Gavino**

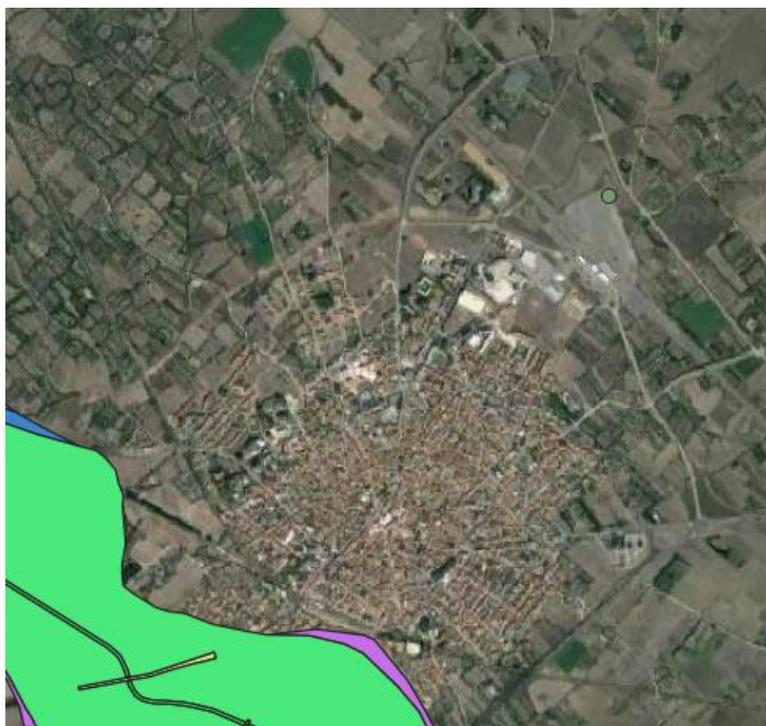
Come è possibile osservare, il piazzale in esame si sviluppa esternamente alle fasce di pericolo segnalate dal PAI e PGRA. Alle condizioni indicate l'intervento oggetto di studio è idraulicamente compatibile.



**Figura 23 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 24 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 25 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino verde**

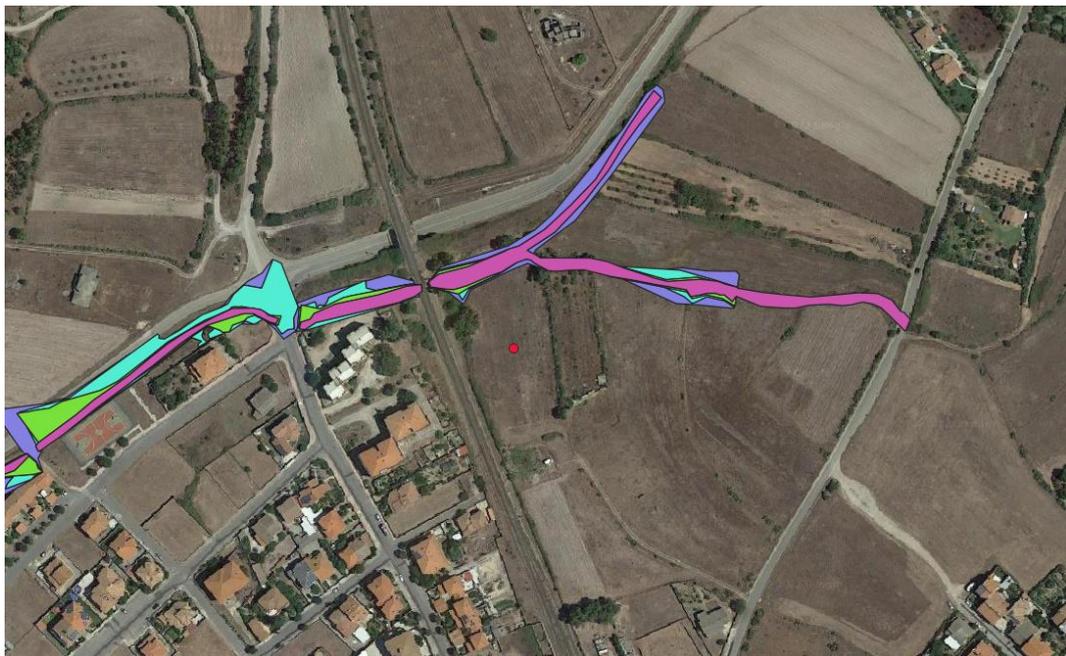
## 7.5 SSE di Marrubiu

Come è possibile osservare, il piazzale in esame si sviluppa esternamente alle fasce di pericolo segnalate dal PAI e in posizione confinante (lato settentrionale) rispetto alla fascia Hi1 del PGRA del locale affluente del Fiume Tirso. Lo sviluppo urbanistico del sito risulta, quindi, normato dall'Art. 30 del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – NTA:

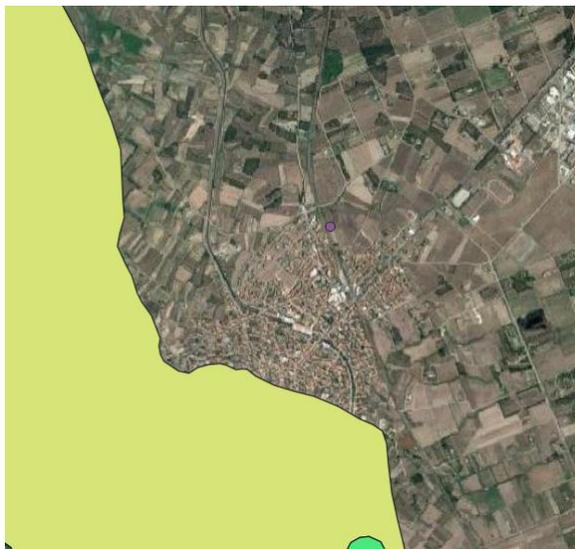
*“...nelle aree di pericolosità idraulica moderata compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi”.*



**Figura 26 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 27 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 28 Fasce PSFF – in giallo: Hi1; in viola: Hi2; in blu: Hi3; in verde: Hi4. Sito di intervento: pallino magenta.**

L'intervento in esame, esterno alle fasce di esondazione del corso d'acqua, non comporta una riduzione della capacità di espansione dell'incisione e non ingenera aggravio delle condizioni di rischio idraulico per le infrastrutture e i manufatti esistenti.

Infine, come è possibile osservare dalle planimetrie di progetto, il perimetro del piazzale rispetta la distanza minima dall'incisione fissata tra i 4 e 10m (R.D. 1904 – n. 368 – Art. 133a).



**Figura 29 Stralcio Planimetrico – distanza minima incisione-piazzale di progetto**

## 7.6 SSE di Oristano

Come è possibile osservare, il piazzale in esame si sviluppa esternamente alle fasce di pericolo segnalate dal PAI, PGRA e PFSS. Alle condizioni indicate l'intervento oggetto di studio è idraulicamente compatibile.



**Figura 30 Fasce PAI – in arancione: P1; in giallo: P2; in blu: P3. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 31 Fasce PGRA – in viola: Hi1; in ciano: Hi2; in verde: Hi3; in magenta: Hi4. Sito di intervento: pallino rosso**



**Figura 32 Fasce PSFF – in giallo: Hi1. Sito di intervento: pallino rosso**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 41 di 78

## 8. Inquadramento Geologico

### Inquadramento geologico generale

La Sardegna presenta una storia geologica lunga ed estremamente articolata, legata a due eventi orogenetici estremamente antichi, quello caledonico e quello ercinico. Di fatto l'isola era connessa all'Europa Meridionale fino all'Oligocene superiore (circa 30Ma), porzione di continente con cui condivide le caratteristiche geologiche tranne che per l'evoluzione successiva a tale data.

Sommariamente si possono riconoscere tre segmenti principali che caratterizzano geologicamente l'isola, in fasce orientate all'incirca nordovest – sudest: il nord est rappresenta la parte assiale della catena ercinica, la fascia centrale è la cosiddetta “Zona a Falde” e la parte sudoccidentale invece è costituita dall'avampaese, ossia da quella porzione di continente caratterizzato da rocce precedenti all'orogene ercinico.

L'area interessata dal progetto di elettrificazione della linea ferroviaria Cagliari Oristano coincide all'incirca con la piana del Campidano. Questa ampia area pianeggiante, attualmente a forte vocazione agricola, ha un'origine tettonica, ossia legata dinamiche crostali a cui è stata sottoposta la Sardegna a partire dall'Oligocene superiore. Si tratta di un semi graben, di un assottigliamento della crosta continentale determinato dalla tensione a cui questa è stata sottoposta. Questa grande depressione (valle tettonica) è stata naturalmente occupata dal mare, e mano a mano riempita dalla deposizione dei sedimenti, che sfumano in depositi alluvionali una volta che il Campidano si è trovato ad essere terra emersa.

I sedimenti più profondi hanno subito una litificazione parziale o completa, quali le Arenarie di Pirri o la Formazione di Samassi, quelli più superficiali invece sono rimasti terreni sciolti e sono caratterizzati da granulometria e composizione dei clasti molto variabili.

Nell'area non vi sono emergenze geomorfologiche di particolare importanza, a causa della morfologia pianeggiante e dolce che la caratterizza. Gli agenti geomorfologici principalmente attivi sono quelli legati alle dinamiche torrentizie e fluviali, oltre che naturalmente quelli legati all'attività dell'uomo.

### 8.1 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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 42 di 78

generale, determinare la natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo e le loro caratteristiche fisico-meccaniche.

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

- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- D.M 21 gennaio 1981 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Dir. Centr. Tecn. n°. 97/81 – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods, 1981.
- D.M LL.PP. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n°30483 – “Istruzioni applicative al D.M 11/03/88”.
- Eurocodice Ec7 per l’ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Circolare n. 5205 del 15/07/05 del Min. Ambiente – Indicazioni per l’operatività nel settore edile, stradale e ambientale ai sensi del D.M 08/05/03 n.203;
- D.M 14.09.2005 - “Norme tecniche sulle costruzioni”.
- D.M 14.01.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. II.TT. del 04/02/2008 - Circolare 617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. Infrastrutture del 14/01/2008".

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

- 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”.

## 8.2 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.

## 8.3 Categorie Sismiche 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 Vseq determinate da indagini geofisiche realizzate in sito.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Figura 33 Tabella rappresentante la caratterizzazione delle aree di studio: la classificazione.**

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”:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

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

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”.

## 8.4 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.

### 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.

<b>SONDAGGIO</b>	<b>PROFONDITÀ [m da p.c.]</b>	<b>ATTREZZATURA INSTALLATA</b>	<b>DATA ESECUZIONE</b>	<b>LIVELLO IDRICO [m da p.c.]</b>
S1 Stazione Cagliari	-30	Piez. Norton	21-23/10/2021	1,89
S2 Km 6+900 Elmas	-30	Piez. Norton	26-28/10/2021	6,5
S3 Km 12+170 Assemmini	-30	Piez. Norton	29/10/2021 03/11/2021	2,78
S4 Km 17+900 Decimomannu	-30	Piez. Norton	04-08/11/2021	2,4
S5 Km 21+800 Decimoputzu	-30	Piez. Norton	16-17/11/2021	2,19
S6 SSE Villasor	-40	Piez. Norton	09-12/11/2021	2,46
S7 Km 28+800 Serramanna	-30	Piez. Norton	18-23/11/2021	1,03
S8 Km 36+000 Samassi	-30	Piez. Norton	18-22/11/2021	1,41
S9 Km 41+780 Sanluri	-30	Piez. Norton	23-25/11/2021	7,21
S10 Km 47+470 San Gavino	-30	Piez. Norton	20-21/12/2021	0
S11 SSE San Gavino	-40	Piez. Norton	30/11/2021 03/12/2021	1,75
S12 Km 54+000 San Gavino	-30	Piez. Norton	07-13/12/2021	0

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

**Tabella 2 Quadro riassuntivo dei sondaggi**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 47 di 78

### 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.

### **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 descritte in dettaglio nella relazione specifica.

### **Indagini sismiche MASW**

Per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche dei terreni indagati e quindi al fine di valutare il parametro VS30 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 Vs, 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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 48 di 78

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 Vs 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.

### 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].

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



**PROGETTO DEFINITIVO – ELETTRIFICAZIONE LINEA  
CAGLIARI -ORISTANO**

RELAZIONE TECNICA LdC

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0S	00	D 21 RG	MD 00 00 001	A	49 di 78

del modello è rappresentata dalle velocità delle celle in cui viene suddivisa la porzione di sottosuolo da indagare

Nella relazione geologica sono descritti i modelli geologici del sottosuolo delle single sottostazioni elettriche, oltre che quello dell'intera linea Cagliari Oristano, ancorché a scala molto maggiore.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 9. Inquadramento Geotecnico

### 9.1 Caratterizzazione Geotecnica

La caratterizzazione geotecnica di seguito esposta è basata sia sui riscontri delle indagini in sito sia sui risultati delle prove di laboratorio effettuate.

#### STRATIGRAFIA

La stratigrafia riscontrata dal sondaggio S16 può essere ricondotta a quella riportata nella seguente tabella 3. La quota del piano campagna è da considerarsi pari a 11,79 m s.l.m., come indicato sul certificato del sondaggio stesso.

Profondità (m)		Descrizione
da	a	
0	4	Argilla con ghiaia e sabbia, moderatamente consistente
4	7,5	Ghiaia e sabbia debolmente argillosa e limosa, moderatamente addensata
7,5	10	Argille con sabbia e limo molto consistente
10	14	Sabbia fine con limo e argilla molto addensata
13,6	16	Argilla con limo sabbiosa, plastica e molto consistente
16,2	24	Argille con limo da consistente a molto consistente
24	26	Argilla con limo ghiaiosa, plastica e molto consistente
26	27	Limo argilloso sabbioso molto consistente
27	29	Ghiaia con argilla e limo
28,5	-	Argilla con limo, molto consistenti. Complesso marnoso siltoso – Formazione di Samassi

Tabella 3– Stratigrafia da Sondaggio S16

#### FALDA ACQUIFERA

Il livello della falda acquifera è stato definito sulla base delle risultanze della campagna d'indagini svolta. Nel sondaggio S16 la falda è stata riscontrata ad una profondità di 0,43 m da p.c., ovvero ad una quota di 11,76 m s.l.m.. Poiché le fondazioni delle opere in progetto poggeranno sul rilevato ferroviario, si ritiene che la falda risulti di conseguenza ad una profondità tale da non interferire con i lavori per la realizzazione dell'opera. Nel caso in cui si preveda di posare le fondazioni ad una quota inferiore rispetto a quella del piano campagna non è possibile escludere possibili interferenze tra l'opera in progetto e la falda.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

## 9.2 Modello geotecnico di riferimento

Sulla scorta della caratterizzazione geotecnica del sito discussa al punto precedente, ai fini della verifica delle opere di fondazione si fa riferimento al modello geotecnico riportato nella seguente tabella 4.

Strato	Profondità (m)	Facies	Descrizione
1	0,0 - 4,0	A	Argilla con ghiaia e sabbia
2	4,0 - 7,5	B	Ghiaia con sabbia
3	7,5 – 27,0	A	Argilla con sabbia
4	27,0 – 28,5	B	Ghiaia con argilla e limo
5	28,5 - 30	C	Argilla con limo

**Tabella 4– Stratigrafia di progetto**

### PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEI MATERIALI IN SITO

Secondo le NTC2018 il “valore caratteristico” di un parametro geotecnico deve rappresentare una stima ragionata e cautelativa del parametro nello stato limite considerato.

Gli stati limite da considerare per le opere in progetto riguardano sostanzialmente stabilità, collasso e deformazioni di strutture a sostegno di scavi profondi o di strutture di fondazione che, per le dimensioni e le rigidzze in gioco, coinvolgono volumi elevati di terreno. La valutazione degli stati limite è effettuata mediante analisi di interazione, in cui si tiene conto della rigidzza delle opere.

I valori caratteristici dei parametri geotecnici di riferimento sono scelti in modo da costituire, per ciascuno di essi, una stima cautelativa, prossima o inferiore al valore medio ricavato dai risultati delle indagini.

I valori caratteristici dei parametri geotecnici rilevanti per le analisi qui presentate sono riepilogati nella successiva tabella 5.

Strato	Profondità fondo strato	$\gamma_n$	$\varphi'$	$c'$	$C_u$	OCR	$E_{op}$	$C_c$	$C_r$	K
	[m da p.c.]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
1	4,0	18	25	5	35	2	11	-	-	5E-6
2	7,5	18	37	-	-	-	35	-	-	-
3	27,0	18	27	24	220	1	55	0,3	-	8E-7
4	28,5	18	40	-	-	-	100	-	-	-
5	>28,5	18	24	22	170	1	60	-	-	-

**Tabella 5 Parametri geotecnici caratteristici dei materiali in sito**

### 9.3 Caratterizzazione sismica del sito

Ai sensi della normativa vigente sul territorio nazionale (NTC2018), le azioni sismiche di progetto devono essere determinate a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, definita, in funzione delle coordinate geografiche e del periodo di riferimento dell'opera in progetto, in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su suolo rigido con superficie topografica orizzontale.

Il periodo di riferimento (VR) è ottenuto dal prodotto tra vita nominale (VN) e coefficiente d'uso (CU), quest'ultimo dipendente dalla classe d'uso. Essendo:

- $VN \geq 50$  anni (opere ordinarie);
- classe d'uso = III;
- coefficiente d'uso = 1,5.

si determina:

- $VR = VN \cdot CU$  (periodo di riferimento della costruzione) = 75 anni

Date longitudine (8°40'15.48"E) e latitudine (39°43'5.65"N) del sito vengono definiti i valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta corrispondenti al periodo di riferimento della struttura, per ulteriori dettagli si veda la Relazione Geologica.

STATO LIMITE	T <sub>R</sub> (anni)	a <sub>g</sub> (g)	F <sub>o</sub> (-)	T <sub>c</sub> * (s)
SLO	45	0,022	2,658	0,291
SLD	75	0,028	2,70	0,303
SLV	712	0,06	2,935	0,358
SLC	1462	0,066	3,027	0,384

**Tabella 6 Valori dei parametri a<sub>g</sub>, F<sub>o</sub> e T<sub>c</sub>\*c relativi al sito di progetto**

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

I valori della accelerazione orizzontale massima definiti secondo quanto esposto al paragrafo precedente devono essere modificati per tenere in conto delle condizioni lito-stratigrafiche e topografiche al sito, in modo che nel calcolo della azione sismica si possano prendere in conto eventuali effetti di amplificazione locale.

A questo scopo, la norma introduce il fattore di sito S, funzione sia della categoria di sottosuolo (S<sub>s</sub>) sia dell'andamento della superficie topografica (ST):

$$S = S_s \cdot ST$$

### Categorie di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori delle della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V<sub>s,eq</sub> (m/s), definita dall'espressione:

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

essendo:

- H<sub>i</sub>: spessore dell'i-esimo strato;
- V<sub>s,i</sub>: 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<sub>s</sub> non inferiori a 800 m/s.

In accordo alle NTC2018 per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è da riferirsi al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

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.

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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>

**Figura 34 –** *Categorie del sottosuolo da NTC 2018, tab. 3.2.II*

I risultati di prove di resistenza alla penetrazione dinamica eseguite nella campagna di indagini 2021 (si veda il profilo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  nella relazione geotecnica di linea), permettono di attribuire al sito la categoria C di sottosuolo (“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”). Il coefficiente di amplificazione stratigrafica risulta quindi, rispettivamente,  $SS = 1,5$  (SLD) e  $SS = 1,5$  (SLV). Si noti che la categoria di sottosuolo determinata sulla base di quanto esposto in precedenza, risulta coerente con quanto emerso nelle aree limitrofe e, più in generale, lungo la tratta.

### **Condizioni topografiche**

In accordo alle NTC2018 per condizioni topografiche semplici si può adottare la classificazione riportata in Figura 35.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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 35 – Categorie topografiche da NTC2018, tab. 3.2.II**

Data la natura pianeggiante dell'area interessata (Categoria T1 in Figura 35), il coefficiente di amplificazione topografica è stato posto pari all'unità.

### **Accelerazione massima $a_{max}$**

– Valori di accelerazione massima attesa al sito

STATO LIMITE	$T_R$ (anni)	$a_{max}$ (g)
SLD	75	0,042
SLV	712	0,09

**Tabella 7 Valori di accelerazione massima attesa al sito**

### **Verifica della liquefazione**

In accordo alla relazione geologica, data la bassa sismicità del sito è possibile omettere le verifiche di liquefazione.

## 10. Ponti

Nel progetto di Elettrificazione della Cagliari – Oristano è stata effettuata la verifica dei sistemi di ancoraggio dei pali T.E. presenti lungo la linea ferroviaria, ed in interferenza con il posizionamento della palificata TE.

I ponti oggetto di intervento risultano i seguenti:

n.	km
1	3+267
2	7+869
3	19+340
4	24+933
5	33+171
6	85+118

**Tabella 8 Lista dei Ponti oggetto di verifica**

Nei successivi paragrafi è presente una breve rassegna degli interventi; per gli approfondimenti tecnici, si rimanda il lettore di questo documento alla documentazione sui ponti elencata nel documento lista elaborati.

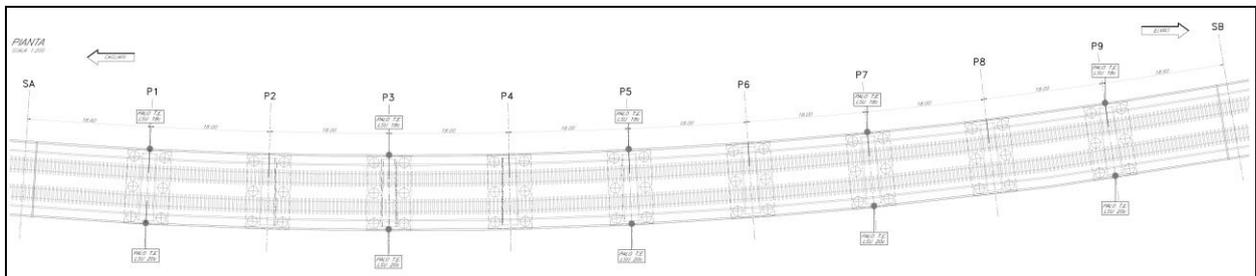
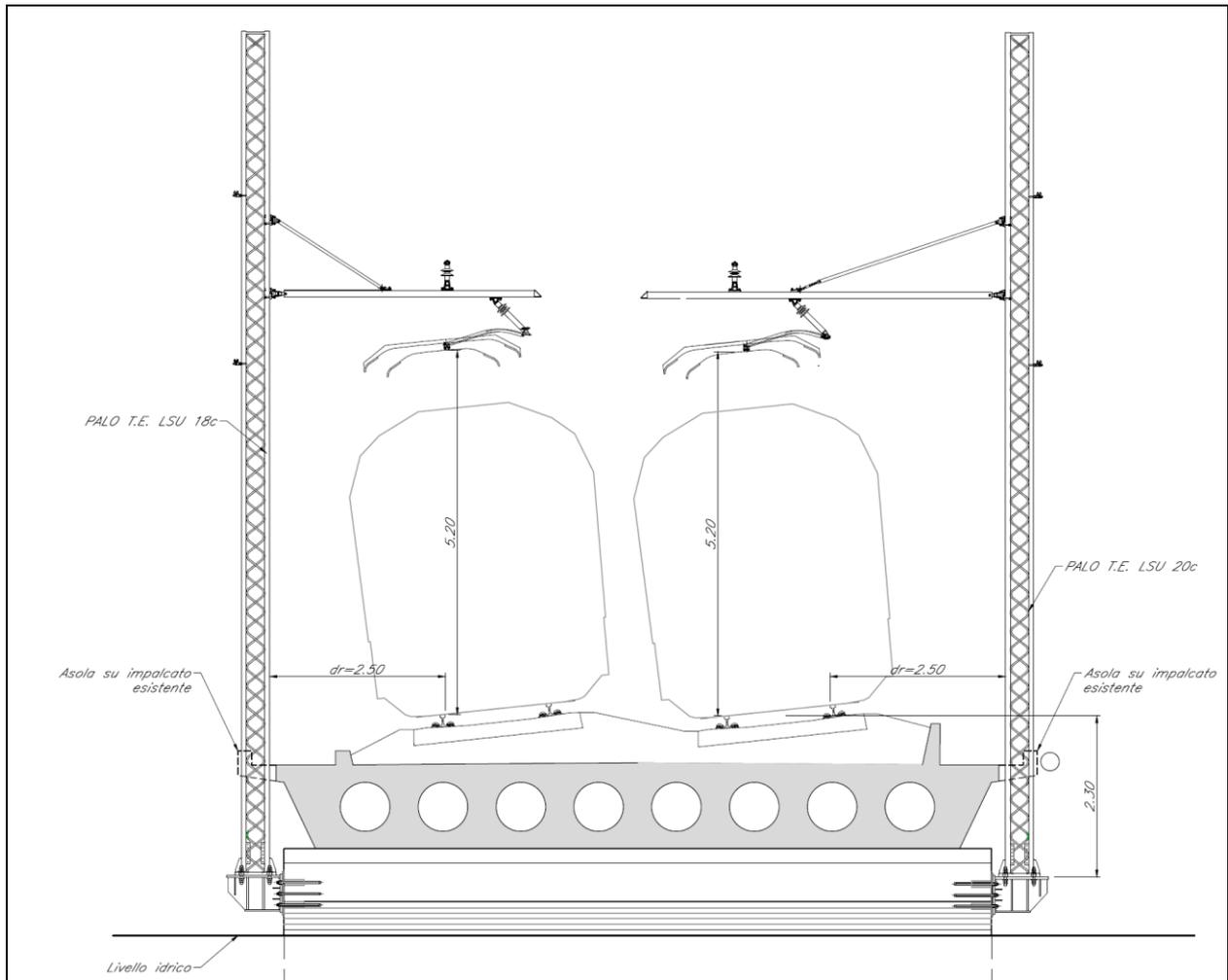
## 10.1 Ponte km 3+267



**Figura 36 Ponte km 3+267**

Per il ponte in corrispondenza della p.k. 3+267 è previsto l'impiego di pali LSU20 esterno curva e LSU18 interno curva. Il sistema di ancoraggio dei pali TE è realizzato mediante una mensola in carpenteria metallica opportunamente connessa alla pila in cemento armato. La palificata attualmente presente sarà rimossa.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza delle pile P1-P3-P5-P7-P9, come da immagine seguente.



**Figura 37** gli ancoraggi del Ponte km 3+267

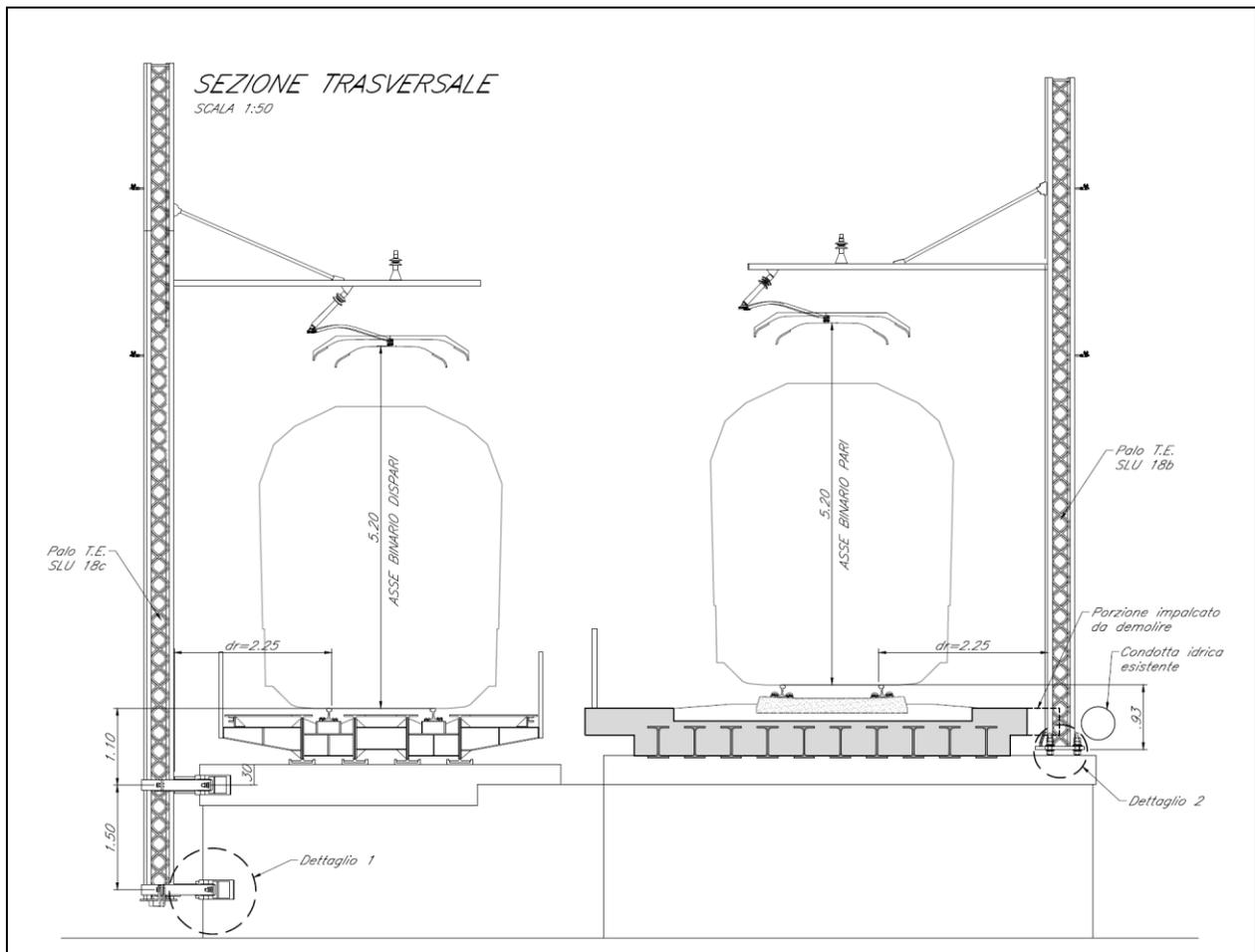
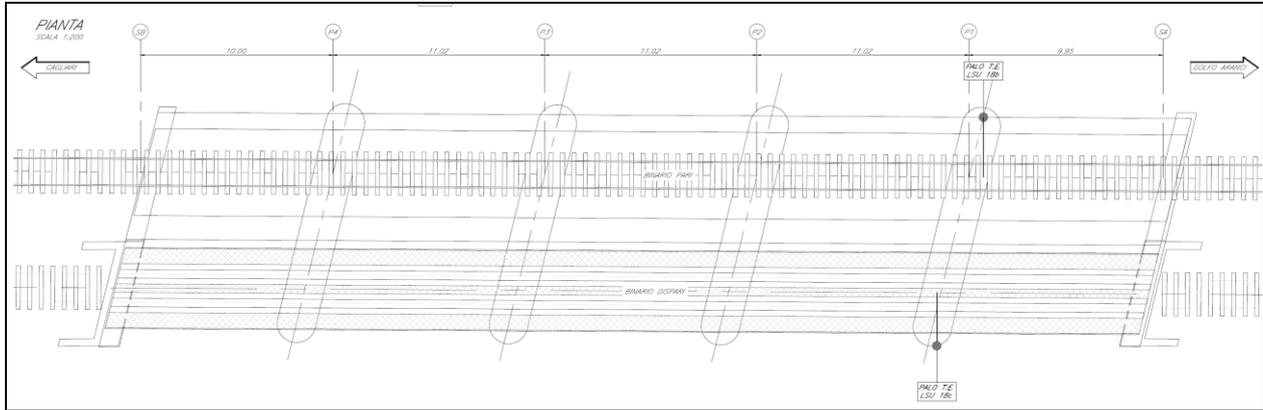
## 10.2 Ponte km 7+869



**Figura 38 Ponte km 7+869**

Per il ponte in corrispondenza della p.k. 7+869 è previsto l'impiego di pali LSU18: lato binario dispari, il palo è ancorato alla pila in c.a. mediante una aggrappatura standard RFI costituita da due collari metallici, mentre lato binari pari il palo con relativa piastra standard e tirafondi M52 è ancorato sul pulvino della pila.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza della pila P1, come da immagine seguente.



**Figura 39** gli ancoraggi del Ponte km 7+869

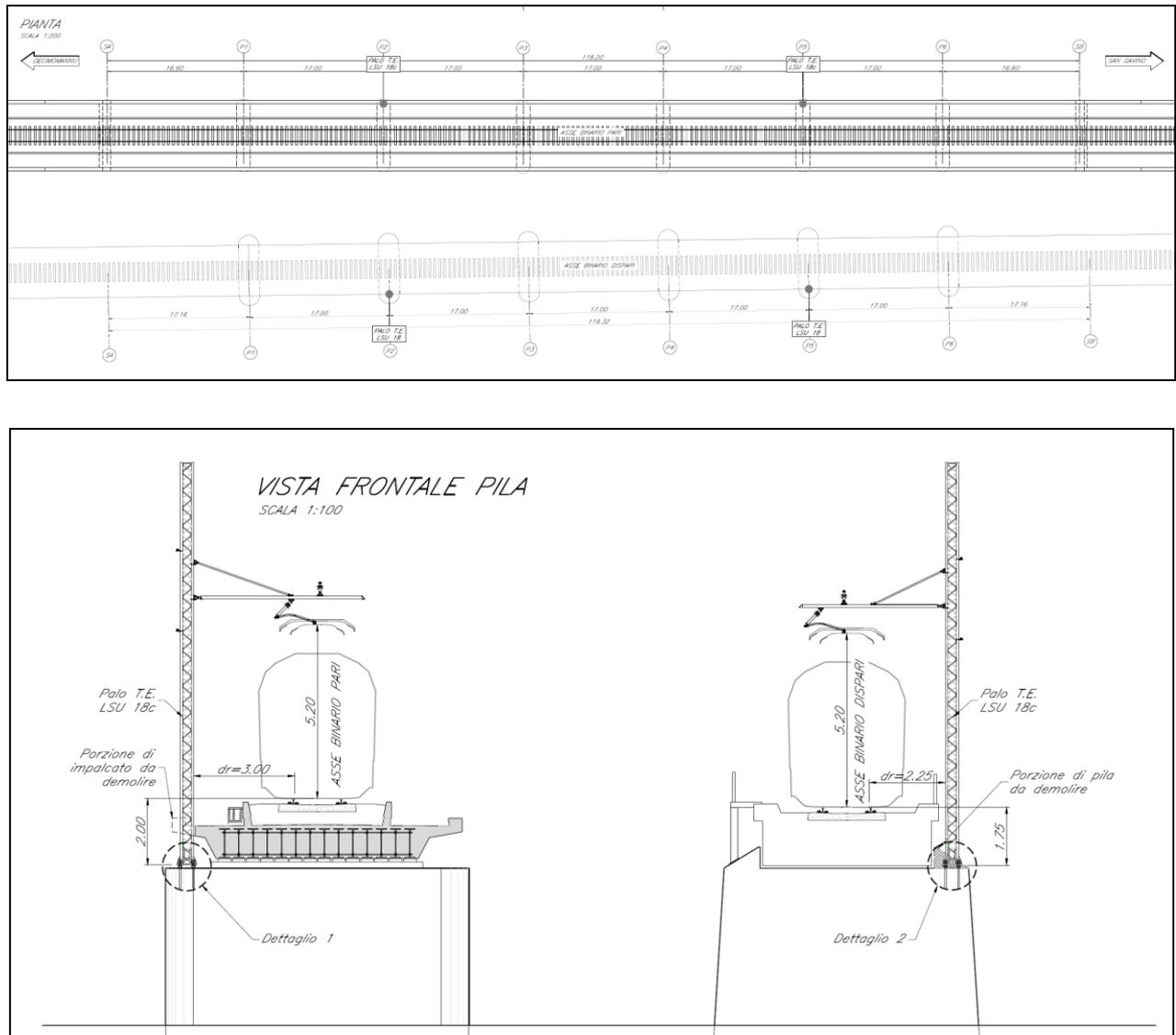
### 10.3 Ponte km 19+340



**Figura 40 Ponte km 19+340**

Per i ponti in corrispondenza della p.k. 19+340 è previsto l'impiego di pali LSU18 ancorati sul pulvino della pila in c.a. con piastra standard e tirafondi M52.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza delle pile P2-P5, come da immagine seguente.



**Figura 41** gli ancoraggi del Ponte km 19+340

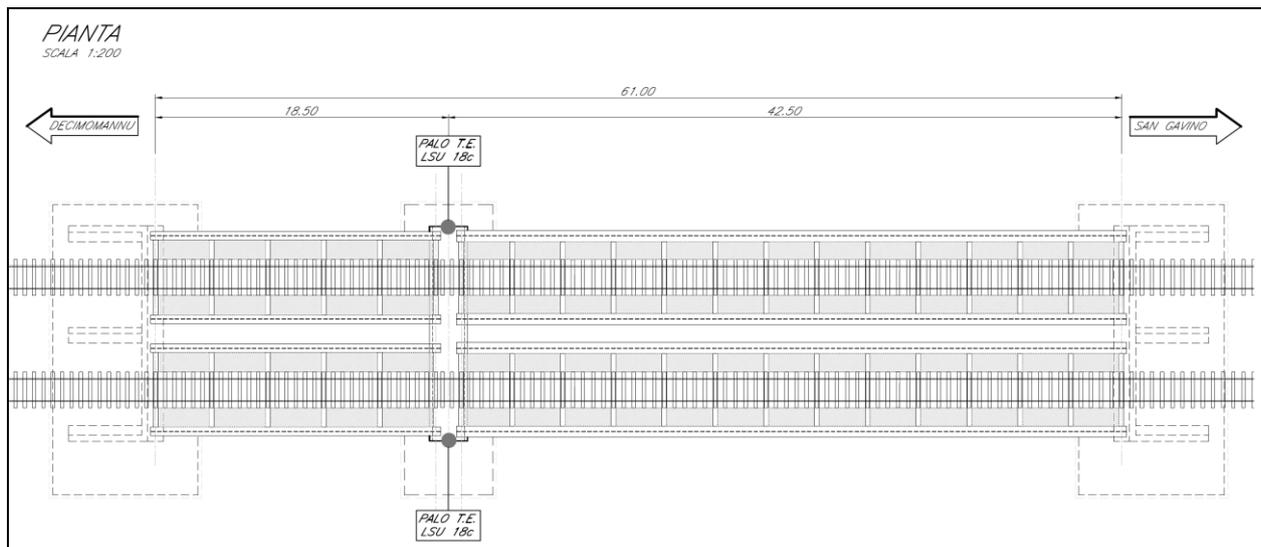
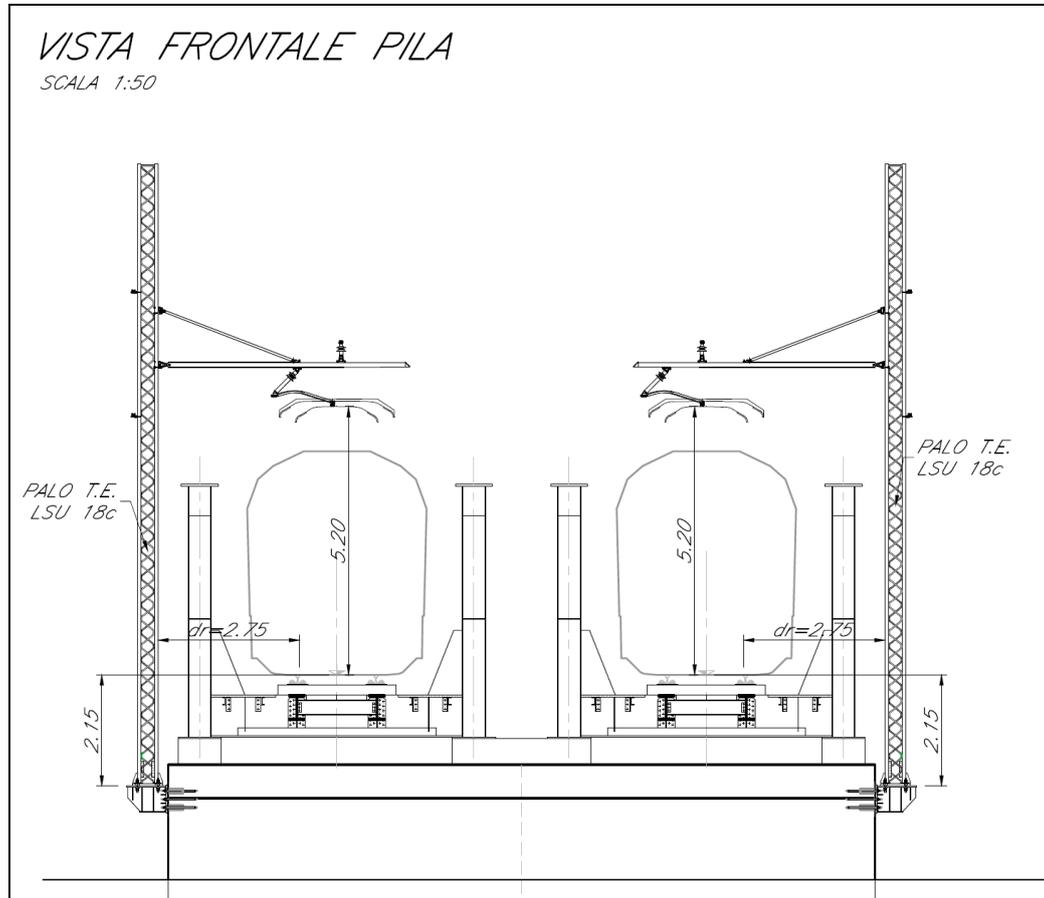
## 10.4 Ponte km 24+933



**Figura 42 Ponte km 24+933**

Per il ponte in corrispondenza della p.k. 24+933 è previsto l'impiego di pali LSU18. Il sistema di ancoraggio dei pali TE è realizzato mediante una mensola in carpenteria metallica opportunamente connessa alla pila in cemento armato.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza della pila centrali tra i due impalcati metallici.



**Figura 43 gli ancoraggi del Ponte km 24+933**

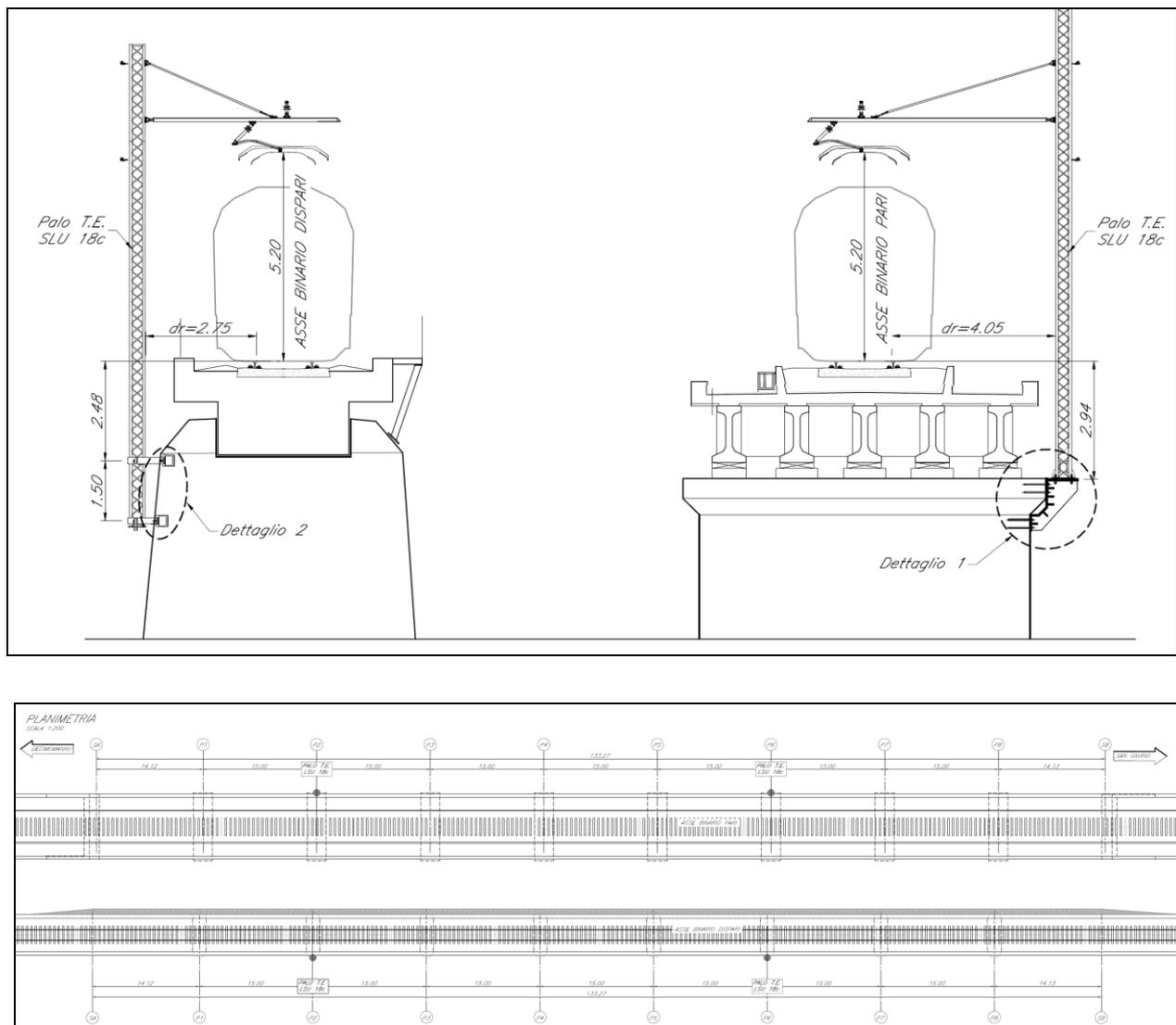
## 10.5 Ponte km 33+171



**Figura 44 Ponte km 33+171**

Per il ponte in corrispondenza della p.k. 33+171 è previsto l'impiego di pali LSU18: lato binario dispari, il palo è ancorato alla pila in c.a. mediante una aggrappatura standard RFI costituita da due collari metallici, mentre lato binari pari è previsto l'impiego di una mensola in carpenteria metallica.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza delle pile P2-P6, come da immagine seguente



**Figura 45** gli ancoraggi del Ponte km 24+933

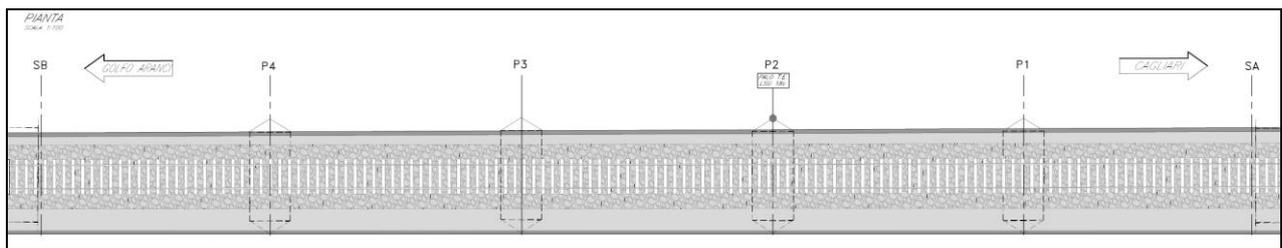
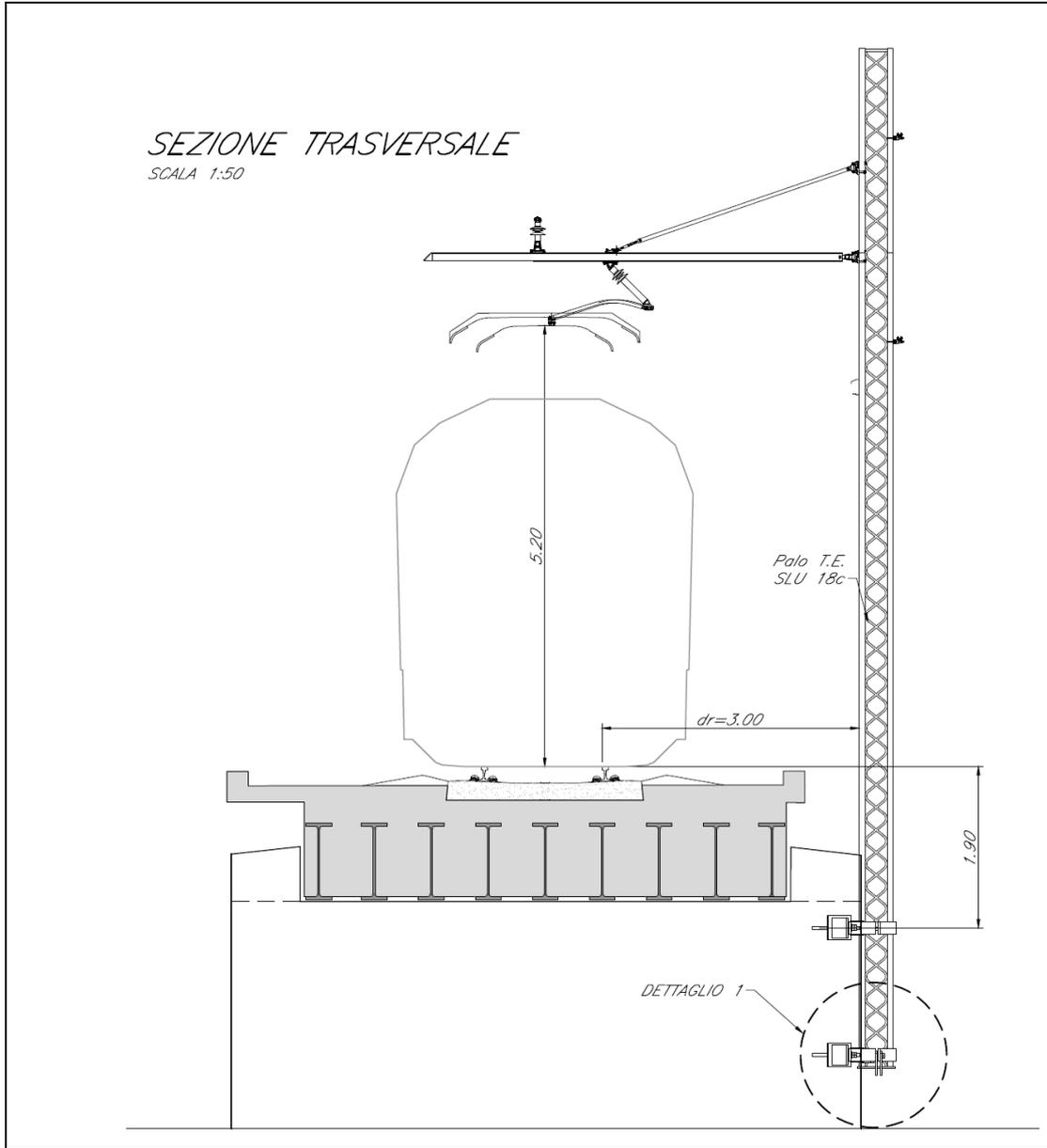
## 10.6 Ponte km 85+118



**Figura 46 Ponte km 85+118**

Per il ponte in corrispondenza della p.k. 85+118 è previsto l'impiego di un palo LSU18, ancorato alla pila in c.a. mediante una aggrappatura standard RFI costituita da due collari metallici.

Gli ancoraggi sono previsti in corrispondenza della pila P2, come da immagine seguente.



**Figura 47** gli ancoraggi del Ponte km 24+933

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 69 di 78

## 11. Ambiente

Il progetto definitivo di elettrificazione della tratta Oristano – Cagliari prevede l'utilizzo di treni ibridi (a trazione elettrica e diesel) e dunque sulla tratta in oggetto si prevede il passaggio del 100% in modalità elettrica, mentre sulle altre tratte della linea non ancora elettrificate i treni utilizzeranno la trazione diesel.

Il principale beneficio tecnico prodotto dall'intervento di Elettrificazione sarà rappresentato dall'utilizzo di materiale rotabile con più alte prestazioni rispetto al diesel (come velocità e accelerazione); tale cambio di trazione del materiale rotabile, porterà anche a benefici di tipo ambientale, in particolare avrà un impatto positivo in termini di emissioni di gas inquinanti e climalteranti sia in termini diretti (i treni non avranno emissioni) sia indiretti (riduzione della domanda di trasporto privato su gomma a favore del trasporto pubblico ferroviario su linea elettrificata); l'utilizzo di motori a combustione interna, infatti, rappresenta uno dei principali responsabili delle emissioni di sostanze inquinanti, sia in termini di gas ad effetto serra (Greenhouse Gases, GHG), sia di altri inquinanti che hanno effetto diretto sulla qualità dell'aria a livello locale (come ad esempio il materiale particolato).

Inoltre, con riferimento alla valutazione dell'impatto dell'infrastruttura ferroviaria sull'obiettivo ambientale di mitigazione dei cambiamenti climatici, l'allegato VI "Metodologia di controllo del clima – Dimensione e codici delle tipologie di intervento per il dispositivo per la ripresa e resilienza" del regolamento UE 2021/241 del Parlamento Europeo e del Consiglio, datato 12/02/2021, definisce, per le linee ferroviarie elettrificate, un coefficiente per il calcolo del sostegno agli obiettivi in materia di cambiamenti climatici pari al 100% e un coefficiente per il calcolo del sostegno agli obiettivi ambientali pari al 40%.

In ragione della presunta assenza di potenziali impatti ambientali significativi e negativi, non essendo stato precedentemente sviluppato un PFTE, si è proceduto ai sensi dell'art. 6 comma 9 del Dlgs 152/06 e s.m.i. ad elaborare la lista di controllo con i relativi allegati al fine di individuare l'eventuale procedura da avviare.

Con riferimento agli ambiti di paesaggio costieri, le opere in progetto sono ricomprese in parte all'interno degli ambiti 1 "Golfo di Cagliari" e 9 "Golfo di Oristano".

In particolare, all'interno dell'Ambito 1 Golfo di Cagliari rientra il tratto di linea ferroviaria esistente oggetto di elettrificazione compreso tra l'inizio intervento ed il chilometro 12+000 circa e la SSE Cagliari, mentre nell'Ambito 9 Golfo di Oristano si sviluppa il tratto di linea ferroviaria esistente oggetto di elettrificazione compreso tra la progressiva 63+000 circa e la fine intervento, unitamente alle SSE di Marrubiu e Oristano.

In considerazione del fatto che il progetto oggetto della presente relazione consiste nella elettrificazione di un tratto ferroviario esistente, e pertanto insistente su aree afferenti al sistema delle infrastrutture, la analisi dei vincoli e delle tutele hanno posto maggiore attenzione alla realizzazione delle nuove SSE funzionali alla alimentazione della linea stessa ricadenti ai

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 70 di 78

succitati ambiti; quindi, la SSE di Cagliari ricadente all'interno dell'Ambito 1 Golfo di Cagliari e le SSE di Marrubiu e Oristano all'interno dell'Ambito 9 Golfo di Oristano.

Premesso che la presenza dell'infrastruttura ferroviaria è ormai consueta sul paesaggio comunemente percepito, soprattutto di quelli più antropizzati e, in condizioni normali di attraversamento di territori dalle peculiarità non molto accentuate, la sua presenza non costituisce un elemento di disturbo particolarmente rilevante, nel caso in specie, essendo l'oggetto della presente relazione la elettrificazione della linea ferroviaria esistente che si sviluppa tra Cagliari ed Oristano, si ritiene lecito che la presenza dei pali e dei conduttori finalizzati alla elettrificazione stessa della linea assolve anche la funzione di completamento di quella che è l'infrastruttura ferroviaria nello scenario immaginario, costituito dal rilevato su cui si sviluppano i binari, accompagnati dalla sua palificazione elettrica.



**Figura 48 SSE di San Gavino ante operam e post operam**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 71 di 78

In aggiunta a ciò, i rapporti tra la linea ferroviaria oggetto di elettrificazione ed i territori oggetto di vincolo paesaggistico possono ulteriormente essere analizzati sotto il profilo localizzativo. In tal senso, escludendo l'esiguo interessamento dei territori costieri che riguarda un tratto oggetto di elettrificazione pari a circa 30 metri, e considerando che la presenza dei beni di cui all'art. 142 co. 1 lett. b e c risulta più o meno costantemente lungo tutta la estesa complessiva della linea ferroviaria oggetto di elettrificazione, la restante quota parte dei territori gravati da vincolo paesaggistico risulta concentrarsi, in primo luogo, nei pressi dell'area urbana di Cagliari, e, in secondo luogo, in quella di Oristano.

Tali aree, seppur ricche di elementi a valenza naturale, paesaggistica e storico-culturale, hanno un carattere prettamente urbano, i cui complessi processi di trasformazione insediativa succedutisi nel corso dei secoli e, tra questi, la realizzazione della linea ferroviaria ad oggi esistente, hanno profondamente modificato l'originaria configurazione delle aree stesse. Tali aree, infatti, seppur connotate da una rilevante presenza di elementi di interesse risultano caratterizzate da una intensa presenza di tessuti edilizi compatti e consolidati ed aree produttive diffuse.

In considerazione di ciò, e del fatto che mediante il progetto di elettrificazione della linea ferroviaria esistente, è possibile ritenere che il progetto nel suo complesso apporterà un beneficio ambientale aggiunto al territorio interessato e, conseguentemente, ai succitati territori vincolati.



**Figura 49 Viadotto ante operam e post operam**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 73 di 78

Le analisi ambientali hanno tenuto conto inoltre del fatto che la linea esistente ricade all'interno o è in prossimità dei siti ZSC ITB030033 "Stagno Pauli Majori di Oristano", ZPS ITB034005 "Stagno Pauli Majori", ZSC ITB030037 "Stagno di Santa Giusta", ZSC ITB040023 "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla", ZPS ITB044003 "Stagno di Cagliari" attraverso una valutazione appropriata che ha tenuto conto degli habitat, delle specie di flora e di fauna di interesse comunitario presenti nei suddetti siti.

In merito agli habitat di interesse comunitario, è stato possibile escludere potenziali incidenze dirette determinate dalla realizzazione del progetto in ragione delle scelte progettuali assunte le quali hanno condotto a localizzare le aree di cantiere fisso a distanza dai siti della Rete Natura 2000 ed a escludere la realizzazione di piste di cantiere in corrispondenza di detti siti; inoltre che essendo i punti di localizzazione dei pali TE posti in corrispondenza della massicciata ferroviaria, non risultano interessate formazioni vegetazionali ed habitat naturali in tali attività.

Per quanto concerne gli effetti indiretti, provocati dalle emissioni atmosferiche in fase di costruzione dell'opera, essi sono reputati non significativi, poiché si tratta di emissioni temporanee che cesseranno al termine dei lavori mentre in fase di esercizio, come detto in precedenza, saranno completamente eliminate le emissioni dei convogli.

Per quanto riguarda le specie faunistiche riportate nei Formulari Standard dei Siti Natura 2000 di interesse, le incidenze legate alla fase costruttiva, dovute all'approntamento delle aree di cantiere e all'operatività dei mezzi d'opera, possono essere ragionevolmente ritenute non significative. Infatti, le emissioni acustiche, che potrebbero comportare l'allontanamento e la dispersione delle specie faunistiche, e le emissioni atmosferiche, che potrebbero modificare le caratteristiche qualitative degli habitat frequentati dalle specie, non solo sono di carattere temporaneo e reversibile, quanto anche, in ragione dell'entità e della localizzazione e del tipo di lavorazioni da porre in essere, estremamente limitate.

A conforto di quanto affermato si rammenta che la durata delle attività di scavo delle fondazioni e posa in opera dei sostegni, ossia della lavorazione – per quanto attiene alle attività di scavo – più onerosa dal punto di vista della produzione di emissioni acustiche ed atmosferiche, ammonta complessivamente a circa 84 giorni per la tratta Uras – Oristano (67+015 – 94+759). Ricordato che i siti ZSC ITB030033 "Stagno Pauli Majori di Oristano" e ZPS ITB034005 "Stagno Pauli Majori" sono compresi nella tratta in questione ed assunto che l'estensione del tratto in attraversamento di detti siti ammonta a circa 1.400, ne consegue che la durata della lavorazione di scavo ammonta a circa 4 giorni.

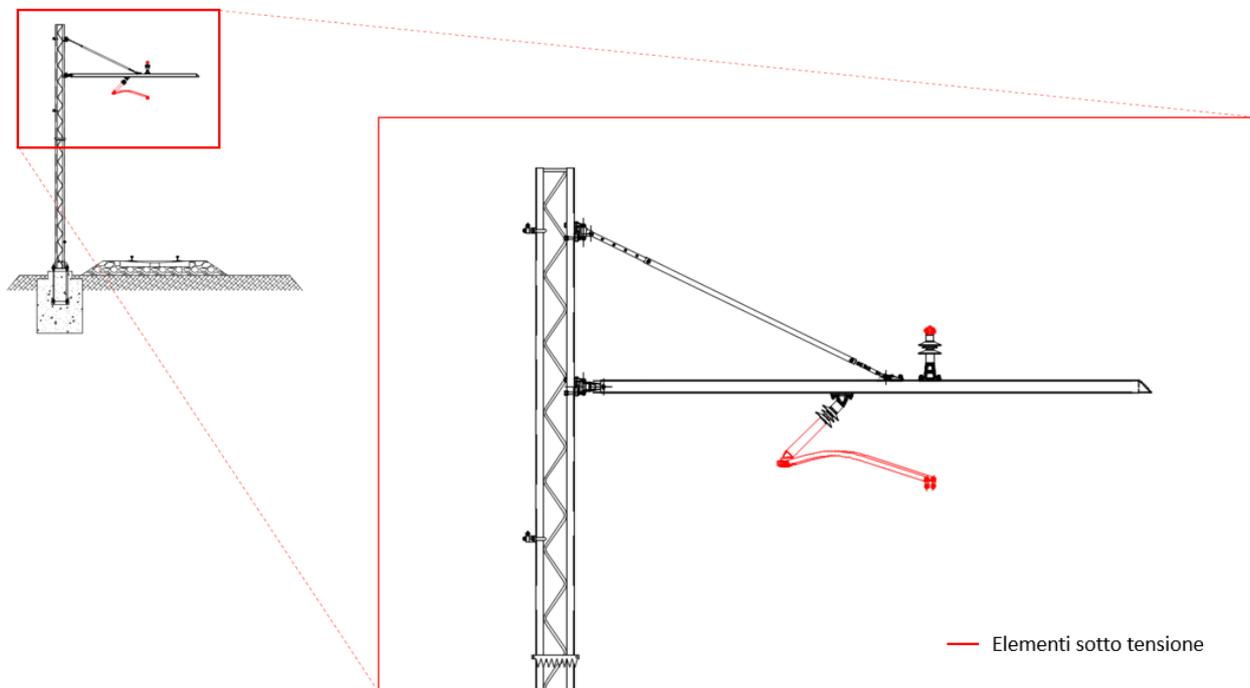
Per quanto attiene alla dimensione fisica e alla fase di esercizio dell'opera, le potenziali incidenze sono riconducibili essenzialmente alla fauna, più nello specifico sull'avifauna.

Relativamente alla prima dimensione, il rischio di collisione degli individui con la componente aerea della linea di trazione elettrica ferroviaria può essere considerato trascurabile in quanto, in fase progettuale, è prevista l'installazione di sfere di colore rosso e bianco sui fili di conduzione aerei in modo da aumentare la visibilità dei cavi e ridurre l'incidenza il fenomeno.

In merito alla fase di esercizio dell'opera il rischio di elettrocuzione, data la conformazione dei pali che per forma sono ad una idonea distanza dai cavi in tensione, è unicamente circoscritto alla

folgorazione degli individui che, utilizzando la mensola dei sostegni come posatoio, potrebbero entrare in contatto tra altri elementi del sistema elettrico della linea di trazione ferroviaria che presentano differente potenziale elettrico, chiudendo così il circuito.

Anche per tale fenomeno l'incidenza può essere definita bassa, in quanto, posto che la folgorazione potrebbe avvenire esclusivamente nel caso in cui un individuo posatosi sulla mensola del palo LSU entri contemporaneamente in contatto con un elemento della catenaria, tale circostanza si può unicamente determinare per specie di uccelli caratterizzati da dimensioni medio-grandi e che per comportamento tendono ad utilizzare questo di elementi.



**Figura 50 Dettaglio degli elementi sotto tensione della linea di trazione elettrica che potrebbero comportare eventi di folgorazione**

Occorre inoltre considerare che il passaggio dei treni e la conseguente azione di disturbo prodotta, riducono la possibilità che le specie utilizzino la struttura come posatoio o per la nidificazione.

Per il progetto in esame è possibile dunque affermare che, in considerazione dello stato ante operam, della natura dell'opera e del grado d'interferenza delle opere in progetto con la dinamica e la funzionalità degli ecosistemi presenti nell'area, il progetto di realizzazione della linea di trazione elettrica ferroviaria nella tratta Cagliari-Oristano non compromette il mantenimento dell'integrità dei Siti potenzialmente interessati (ZSC ITB030033 "Stagno Pauli Majori di Oristano", ZPS ITB034005 "Stagno Pauli Majori", ZSC ITB030037 "Stagno di Santa Giusta", ZSC ITB040023 "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla", ZPS ITB044003

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 75 di 78

“Stagno di Cagliari”), con riferimento agli specifici obiettivi di conservazione di habitat e specie di flora e fauna.

## 12. Gestione terre

### 12.1 Analisi Dei Siti Contaminati

Nell’ambito dello studio degli interventi di progetto, si è proceduto al riconoscimento di aree potenzialmente critiche dal punto di vista ambientale presenti nelle aree oggetto dei lavori, ovvero all’individuazione di siti contaminati e potenzialmente contaminati interferenti con le opere in progetto.

Per quanto riguarda la potenziale interferenza dei siti contaminati e/o potenzialmente contaminati, è stato eseguito un censimento attivando contatti con la Regione Sardegna e attraverso la consultazione dell’elenco dei siti contaminati presenti all’interno del Piano regionale di gestione dei rifiuti è stata verificata l’assenza di interferenza con le opere in progetto. Si precisa, tuttavia, che la suddetta anagrafe riporta un aggiornamento al 2019. Per tali ragioni, è stata eseguita una richiesta di accesso agli atti per la quale si resta ancora in attesa di riscontro.

Da quanto emerge dallo studio eseguito, non sono presenti interferenze dirette con siti contaminati.

### 12.2 Gestione Dei Materiali Di Risulta

Al fine di definire le corrette modalità di gestione dei materiali di risulta derivanti dalle attività previste da progetto, sono state eseguite alcune indagini ambientali finalizzate alla caratterizzazione analitica dei materiali di risulta (terreni/materiali di scavo) che saranno movimentati in corso d’opera.

Le indagini previste si sono svolte mediante il prelievo e le successive analisi di laboratorio di campioni di terreni/materiali di scavo, prelevati all’interno delle aree oggetto di intervento del progetto in esame o ad esso limitrofe, in corrispondenza dei tratti interessati dalla movimentazione e rimozione dei materiali stessi, ai fini della corretta gestione all’interno del regime dei rifiuti ai sensi della Parte IV del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.; in particolare sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti analisi:

- caratterizzazione e omologa, al fine della determinazione della pericolosità, della classificazione ed attribuzione del corretto codice CER, secondo gli allegati D e I del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.;
- esecuzione del test di cessione, al fine di determinare il corretto impianto di destinazione finale (possibilità del recupero ai sensi dell’Allegato 3 del D.M. 05/02/98 e s.m.i. o corretto smaltimento ai sensi del D.Lgs. 36/2003 e ss.mm.ii.).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 76 di 78

I risultati delle determinazioni analitiche eseguite nella presente fase di progettazione hanno evidenziato la possibilità di classificare tutti i materiali di risulta delle lavorazioni come rifiuti speciali non pericolosi, con possibilità di conferimento degli stessi in diverse tipologie di impianto di destinazione (impianto di recupero rifiuti, discarica per rifiuti inerti, discarica per rifiuti non pericolosi). In generale, la gestione dei materiali di risulta dell'appalto avverrà pertanto nel regime rifiuti (ai sensi della Parte IV D.Lgs. 152/06 e s.m.i.), privilegiando ove possibile il conferimento presso siti esterni autorizzati al recupero e, secondariamente, prevedendo lo smaltimento finale in discarica autorizzata.

In sintesi, si stima che nell'ambito delle lavorazioni del progetto in esame verranno prodotti circa 60.405 mc di materiali di risulta, identificabili nelle seguenti tipologie e per le quali è stata prevista la seguente modalità di conferimento:

- **Terreni/materiali di scavo** (circa 58.867 mc) classificabili come rifiuto speciale non pericoloso al quale potrebbe essere attribuito il codice CER 17.05.04 "terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17.05.03"):
  - *70% del materiale → Impianti di recupero*
  - *20% del materiale → Discariche per rifiuti inerti*
  - *10% del materiale → Discariche per rifiuti non pericolosi*
- **Materiale proveniente da attività di demolizione** (circa 1.538 m3):
  - *70% del materiale → Discariche per rifiuti inerti*
  - *30% del materiale → Impianti di recupero*

Le destinazioni ipotizzate sopra potranno comunque essere determinate in maniera definitiva a seconda dei risultati delle analisi di caratterizzazione (sul tal quale e sull'eluato da test di cessione) che l'Appaltatore dovrà eseguire nella successiva fase di realizzazione dell'opera per la corretta scelta delle modalità di gestione dei materiali di risulta in qualità di rifiuti ed ai sensi della normativa ambientale vigente. **Si ricorda infatti che in fase di esecuzione lavori l'Appaltatore è il produttore dei rifiuti e come tale a lui spetta tanto la corretta attribuzione del codice CER quanto la corretta gestione degli stessi, pertanto le considerazioni riportate nel presente documento si riferiscono alla presente fase di progettazione ed allo stato ante operam dei luoghi.**

In particolare, in fase di corso d'opera l'Appaltatore dovrà caratterizzare il materiale da gestire nel regime dei rifiuti effettuando le analisi previste da normativa.

Sulla base delle ipotesi di gestione del materiale ed in linea con l'attuale livello di progettazione è stata pertanto eseguita un'analisi della disponibilità sul territorio di siti disponibili per il conferimento dei materiali di risulta per i quali si prevede una gestione in qualità di rifiuti.

In particolare, al fine di appurare la possibilità di soddisfare le esigenze del progetto nell'ambito di un'area non eccessivamente estesa, individuando all'interno di quest'ultima gli impianti in grado di soddisfare le esigenze richieste dal progetto più vicini e facilmente raggiungibili per il conferimento dei materiali prodotti in corso di realizzazione, sono stati presi contatti diretti con le

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETTTRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
	RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A

imprese/gestori degli impianti, con specifico riferimento alle tipologie di rifiuti che si prevede di produrre nell'ambito delle lavorazioni, verificandone altresì la validità delle autorizzazioni.

Nella tabella seguente sono pertanto riepilogati i risultati dell'analisi della disponibilità sul territorio dei siti per il conferimento dei materiali di risulta dell'appalto in qualità di rifiuti (impianti di recupero/smaltimento), eseguita nella presente fase progettuale:

COD.	SOCIETÀ	LOCALITÀ	COMUNE	PROV.	OPERAZIONE	C.E.R. AUTORIZZATI	SCADENZA	DIST. (KM)
R1	Ecotec Gestione Impianti s.r.l.	Grogastu	Assemmini	CA	R13	170101, 170102, 170103, 170107, 170504, 170904	2024	31
R2	S.E.Trand s.r.l.		Settimo San Pietro	CA	R12, R13	170101, 170102, 170103, 170107, 170504, 170904	2022	34
R3	Portovesme s.r.l.		Portoscuso	SS	R4, R13	170904	2028	53
COD.	SOCIETÀ	LOCALITÀ	COMUNE	PROV.	OPERAZIONE	C.E.R. AUTORIZZATI	SCADENZA	DIST. (KM)
<b>DISCARICHE PER RIFIUTI INERTI</b>								
D1	Ecotec Gestione Impianti s.r.l.	Grogastu	Assemmini	CA	D15	170101, 170102, 170103, 170107, 170504, 170904,	2024	31
D2	S.E.Trand s.r.l.		Settimo San Pietro	CA	R12, R13	170101, 170102, 170103, 170107, 170504, 170904	2022	34
<b>DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI</b>								
D3	Ecotec Gestione Impianti s.r.l.	Grogastu	Assemmini	CA	D15	170508	2024	31

**Tabella 9 Siti per il conferimento dei materiali di risulta.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO – ELETRIFICAZIONE LINEA</b> <b>CAGLIARI -ORISTANO</b>					
RELAZIONE TECNICA LdC	COMMESSA RR0S	LOTTO 00	CODIFICA D 21 RG	DOCUMENTO MD 00 00 001	REV. A	FOGLIO 78 di 78

### 13. Archeologia

Con nota DT.AAT.ARC.0073595.22.U del 16.06.2022 si è provveduto ad attivare l'iter per la redazione dello Studio Archeologico comunicando alla competente Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Cagliari e le province di Oristano e Sud Sardegna in nominativo del professionista incaricato e richiedendo per il medesimo l'accesso agli archivi. Allo stesso tempo sono state avviate le interlocuzioni con la Soprintendenza, al fine di verificare con quest'ultima eventuali criticità ed interferenze delle opere con aree sensibili dal punto di vista archeologico, richiedendo un incontro in data 23.06.2022, al quale al momento la Soprintendenza non ha dato riscontro.

Parte integrante del progetto in questione è lo Studio Archeologico, in fase di redazione al fine di acquisire anche i dati d'archivio presso la Soprintendenza. Il suddetto Studio conterrà gli esiti dei dati bibliografici e d'archivio, quelli derivanti dall'analisi della cartografia storica, della aerofotointerpretazione, l'esito delle ricognizioni volte all'osservazione dei terreni (attività di survey). La valutazione del rischio archeologico potenziale delle opere civili in progettazione terrà conto delle presenze archeologiche comprese in una fascia a cavallo delle aree interessate dalle opere in progetto e della loro potenzialità di rischio, in base alla fonte di informazione pertinente al record archeologico. Nell'ambito della suddetta valutazione saranno considerate ubicazione ed entità delle testimonianze antiche, la distanza di queste ultime rispetto alle opere in progetto, nonché al grado di attendibilità connesso alla ubicazione delle testimonianze archeologiche, correlate alla tipologia delle opere in progetto.

Si evidenzia che, sulla base degli esiti dello Studio Archeologico, potrebbero essere individuate aree interessate dal progetto che la Soprintendenza territorialmente competente, in base a quanto previsto dall'art.25 del DLgs 50/2016, potrebbe valutare di "interesse archeologico", richiedendo l'esecuzione di indagini archeologiche preventive.