METANIZZAZIONE SARDEGNA

MET. CAGLIARI – PALMAS ARBOREA DN 650 (26”), DP 75 bar

MET. VALLERMOSA – SULCIS DN 400 (16”), DP 75 bar

MET. COLL. TERMINALE DI ORISTANO DN 650 (26”), DP 75 bar

STUDIO PARTICOLAREGGIATO PER LA COSTRUZIONE DELL'OPERA NEL TRATTO COMPRESO TRA PK 3+680 E PK 7+180 (AREA STAGNO DI CAGLIARI)

0	EMISSIONE	T.FILANDRO	P.RUSSO	V.FORLIVESI O.CORDA	02/07/2018
Rev.	**Descrizione**	**Elaborato**	**Verificato**	**Approvato Autorizzato**	**Data**

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

INDICE

1 PREMESSA 4

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI 5

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5

2.3 FONTI - LETTERATURA 5

3 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELLE OPERE IN PROGETTO 6

4 INTERAZIONI OPERE IN PROGETTO - SISTEMA FISICO E BIOLOGICO 9

4.1 INTERAZIONI DELLE OPERE CON IL SISTEMA SUOLO-SOTTOSUOLO E AMBIENTE IDRICO SOTTERRANEO 9

4.1.1 Inquadramento geologico generale 9

4.1.2 Formazioni geologiche affioranti lungo il tratto di interesse 10

4.1.3 Indagini disponibili - Campagna 1991/92 Strada Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari 12

4.1.4 Campagna indagini geognostiche 2018 14

4.1.5 Schemi stratigrafici e sezioni longitudinali in asse tracciato 16

4.1.6 Schemi stratigrafici e sezioni trasversali in asse tracciato 22

4.1.7 Caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta del corpo rilevato 29

4.1.8 Aspetti geotecnici generali 31

4.1.9 Metodologie e accorgimenti tecnici da adottare per la salvaguardia ambientale in fase di costruzione delle opere 31

4.1.10 Accorgimenti tecnici per i fluidi di perforazione della T.O.C. 32

4.1.11 Percorrenza rilevato stradale stagno di Cagliari - Opere provvisionali per sostegno delle pareti della trincea di scavo 33

4.1.12 Utilizzo di pompe per aggottamento dell'acqua nella trincea di scavo in presenza di falda 36

4.2 INTERAZIONI DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL SISTEMA FLORISTICO-VEGETAZIONALE 36

4.3 INTERAZIONI DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL SISTEMA FAUNISTICO 37

4.3.1 Prescrizioni a tutela degli habitat di interesse comunitario 37

4.3.2 Misure di mitigazione degli impatti sulla fauna: controllo della trincea 38

4.3.3 Misure di mitigazione degli impatti sulla fauna: esclusione dei periodi di maggior presenza ornitica dal calendario della fase di cantiere 38

4.4 SCENARI DI INQUINAMENTO ACUSTICO 39

5 ORGANIZZAZIONE LAVORI – CRONOPROGRAMMA 40

5.1 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE 40

5.2 T.O.C. 42

5.2.1 Esecuzione del foro pilota e controllo direzionale 43

5.2.2 Alesaggio del foro pilota e tiro-posa della condotta 44

5.2.3 Attrezzature di perforazione e tiro-posa 44

5.2.4 Montaggio della condotta 46

5.2.5 Cronoprogramma 48

5.3 CUNICOLO 49

5.3.1 Realizzazione di infrastrutture provvisorie 49

5.3.2 Apertura cantiere 49

5.3.3 Sfilamento dei tubi lungo la fascia di lavoro 51

5.3.4 Montaggio tubazione 51

5.3.5 Scavo della trincea 51

5.3.6 Soletta di base in c.a. 52

5.3.7 Posa della condotta e voltino in c.a. 52

5.3.8 Rinterro 52

5.3.9 Cronoprogramma 53

6 CONCLUSIONI 54

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

1 PREMESSA

Il Metanodotto in progetto Cagliari-Palmas Arborea DN 650 (26”) – DP 75 bar, nel tratto compreso tra le progressive chilometriche 3+590 e 8+425 (ex pk 3+680 - 7+180 emissione VIA), attraversa il Sito di Importanza Comunitaria (SIC) dello Stagno di Cagliari, delle Saline di Macchiareddu e della Laguna Santa Gilla. All’interno di tale perimetrazione, dal km 4+035 fino al km 5+405, per una percorrenza pari a 1370 m, il tracciato in progetto interferisce con un’altra area di attenzione corrispondente alla Zona di Protezione Speciale (ZPS) denominata “Stagno di Cagliari”.

Dal punto di vista costruttivo, relativamente al tratto compreso tra le progressive chilometriche 3+590 e 8+425, la posa in opera della condotta in progetto prevede:

-2 tratti con scavi a cielo aperto (pk 3+590 - 3+780 e pk 6+875 - 8+425);

-1 tratto in Trivellazione Orizzontale Controllata (pk 3+780 - 4+450);

-1 tratto in percorrenza stradale con manufatto di protezione della condotta (pk 4+450 - 6+875).

Le scelte progettuali della metodologia di posa si configurano come il miglior compromesso fra la necessità di allocare la condotta in corridoi di passaggio geologicamente idonei, e la necessità di adottare opportune misure di salvaguardia per la tutela ambientale dell’ambito in cui l’opera si contestualizza. L’ipotesi progettuale del passaggio della condotta all’interno delle suddette aree di attenzione (SIC, ZPS) impone infatti al progettista la necessità di individuare e vagliare delle scelte tecniche e tipologiche che siano correttamente correlate a tutti i possibili/prevedibili impatti che la futura realizzazione delle opere potrebbe apportare all’ambiente fisico circostante, con l’obiettivo di salvaguardare il contesto ambientale attraversato.

Per tale ragione, è stato condotto uno studio di dettaglio per la realizzazione delle opere, tenendo conto delle varie fasi costruttive e rapportando tali attività alle dinamiche naturali del sistema fisico circostante (acque sotterranee, flora, fauna, ricettori acustici).

In particolare, è stata dapprima eseguita una caratterizzazione geologica, idrogeologica e geotecnica dei terreni attraversati dalle opere in progetto, per verificarne le condizioni di fattibilità tecnica. Ciò è stato possibile mediante la programmazione di una mirata campagna di indagini geognostiche dirette e indirette, associando e confrontando i dati di quest’ultima con quelli provenienti da indagini geognostiche eseguite nel 1991-1992 in corrispondenza dei tratti di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP).

Una volta validata la fattibilità tecnica delle ipotesi progettuali, lo studio è proseguito con la determinazione delle componenti floro-faunistiche presenti nel tratto interessato dalle opere e con la caratterizzazione delle relative dinamiche naturali (es. periodi di fioritura delle specie floristiche, periodi di riproduzione della fauna, ecc.)

Inoltre, stabilite le fasi di lavoro e le tecnologie da adottare per la realizzazione delle opere, è stato possibile determinare lo scenario di inquinamento acustico che le lavorazioni potrebbero recare ai ricettori presenti in prossimità delle aree di lavoro.

Le informazioni raccolte nell’ambito dei suddetti studi, hanno consentito di sviluppare con maggiore dettaglio le ipotesi progettuali individuate e di fornire un cronoprogramma di massima degli interventi da eseguire, al fine di mitigare/annullare gli impatti e determinare con lungimiranza i confini temporali entro i quali dovrà essere sviluppato il progetto esecutivo.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1 Normativa di riferimento

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la compilazione del presente documento tecnico è la seguente:

- **D.M. 14.01.2008** "Norme Tecniche per le Costruzioni» e relative istruzioni per la loro corretta applicazione (Circolare C.S. LL.PP. n. 617 del 02.02.2009)";
- **A.G.I. 1977** "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".
- **D.M. 17.04.2008** "Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto del gas naturale con densità non superiore a 0.8".
- **Art. 5, comma 3, DPR 8/09/97, n. 357**. "Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43 CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e semi naturali, nonché della flora e della fauna selvatiche" e secondo gli indirizzi dell'allegato G al D.P.R. n. 357/97, non modificato dal successivo D.P.R. n. 120/2003".

2.2 Documenti di riferimento

PG-CG-101	Carta Geologica
PG-TPSO-101	Tracciato di progetto con indagini geognostiche

2.3 Fonti - Letteratura

- **Consorzio per l'area di sviluppo industriale di Cagliari – 1° Lotto Funzionale del Porto Industriale di Cagliari - Progetto n.1/30/B relativo a servizi piazzali, edifici ed attrezzature di banchina – Adduzione acqua potabile e industriale – Bonifica (1992)**
  - Interventi - Sezioni tipo corpo del rilevato
  - Indagini geognostiche
  - Relazione Geotecnica

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

3 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE GENERALI DELLE OPERE IN PROGETTO

L'area oggetto del presente studio si colloca nei quadranti più meridionali della Regione Sardegna, circa 6 km a ovest dell'abitato di Cagliari (Figura 3-A). In questo settore, tra le progressive chilometriche 3+590 e 8+425 (ex pk 3+680 - 7+180 emissione VIA), il tracciato in progetto del metanodotto Cagliari-Palmas Arborea DN 650 (26") – DP 75 bar, attraversa il Sito di Importanza Comunitaria (SIC) dello Stagno di Cagliari delle Saline di Macchiareddu e della Laguna Santa Gilla (Cod. ITB040023). All'interno di tale perimetrazione, dal km 4+035 fino al km 5+405, per una percorrenza pari a 1370 m, il tracciato in progetto interferisce con un'altra area di attenzione corrispondente alla Zona di Protezione Speciale (ZPS) denominata "Stagno di Cagliari" (Cod. ITB044003). Entrambe le aree di attenzione attraversate dal metanodotto in progetto risultano tutelate ai sensi del DPR 357/97 e DGR n. 36/21 del 01.07.98 (vedi Tabella 3-1 e Figure 3-B, 3-C).

Dal punto di vista costruttivo, tra le progressive chilometriche 3+590 e 3+780, la posa della condotta in progetto prevede uno scavo a cielo aperto ("open cut") sviluppato secondo una direttrice NE-SO. Procedendo in senso gas, in corrispondenza dell'intervallo chilometrico compreso tra le pk 3+780 e 4+450, la condotta in progetto attraversa in Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) una strada di raccordo tra la SS 195 Sulcitana e la strada Saline Contivecchi, sviluppandosi in direzione SE-NO all'interno di un tratto di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP) e seguendo l'andamento di una linea elettrica di media tensione. In quest'ultimo tratto, tra le progressive chilometriche 4+450 e 6+875, la condotta verrà collocata in cunicolo all'interno del corpo di un rilevato stradale esistente, per poi essere posata nuovamente con metodologia di scavo a cielo aperto dalla pk 6+875 in poi.

Il ricorso ad opere speciali basate su tecnologie "trenchless" consente la realizzazione della linea senza interferenza diretta con l'assetto superficiale del territorio e può, quindi, costituire la soluzione per l'attraversamento di aree a particolare sensibilità ambientale.

Sia la posa mediante Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C) che la realizzazione di un manufatto di protezione (cunicolo) sono funzionali alla limitazione degli scavi e di conseguenza alla salvaguardia del contesto ambientale in cui la condotta si inserisce. Infatti, la trenchless non prevede esecuzioni di scavi a cielo aperto, ed il cunicolo permette di ridurre le coperture (e quindi gli scavi) imposti dalle disposizioni normative in materia di sicurezza nell'ambito del trasporto di gas naturale.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

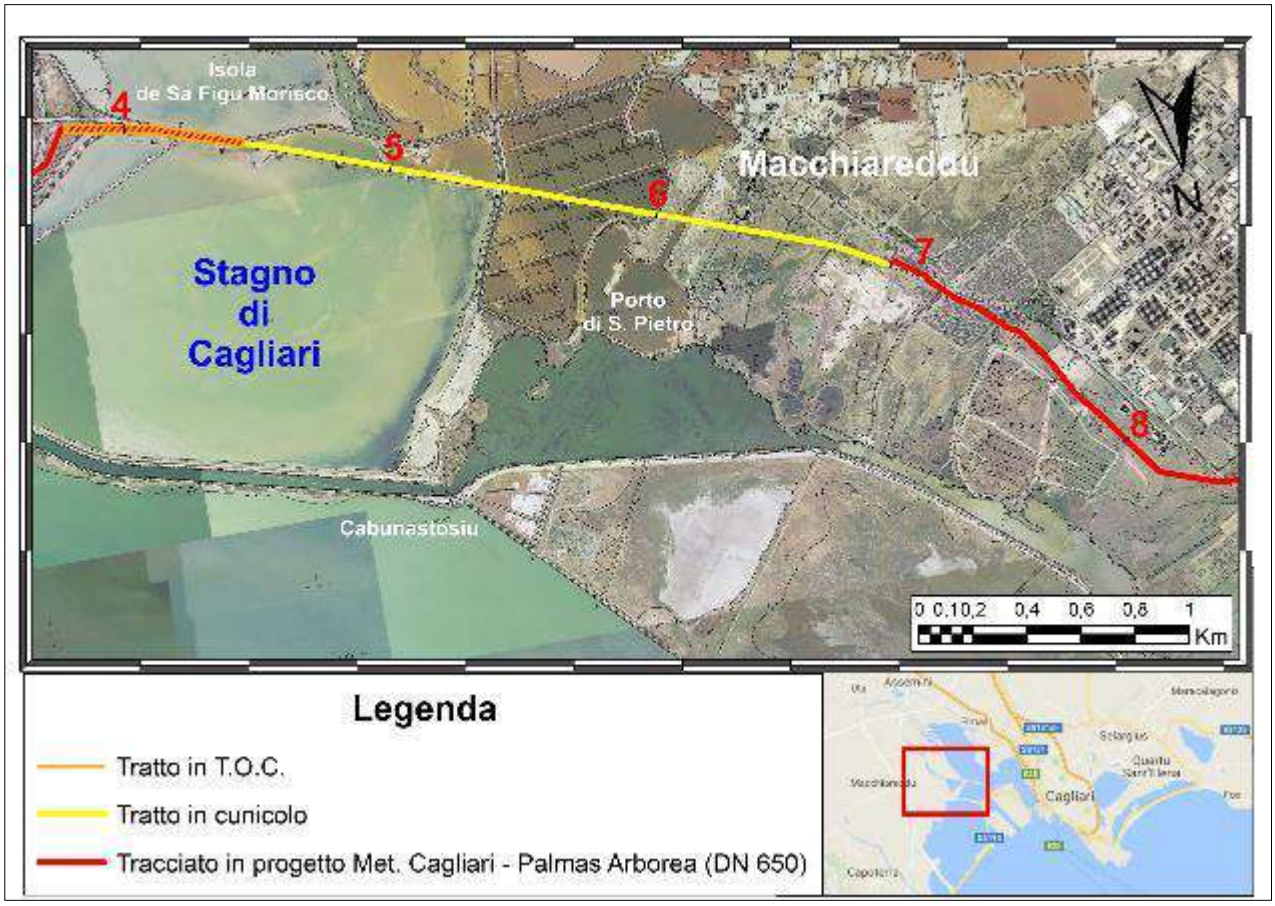


Figura 3-A. Inquadramento geografico del tratto compreso tra le pk 3+590 e 8+425 – Tracciato in progetto Met. Cagliari - Palmas Arborea DN 650 (26") DP 75 bar

Tabella 3-1. Elenco SIC/ZPS attraversati dal tracciato in progetto nel tratto di interesse

Codice	Denominazione	da (km)	a (km)	Percorrenza (km)	Comune
Metanodotto Cagliari - Palmas Arborea DN 650 (26") DP 75 bar					
ITB040023	SIC Stagno di Cagliari e Saline di Macchiareddu e Laguna Santa Gilla	3+590	8+425	4.835	Cagliari, Assemini
ITB044003	ZPS Stagno di Cagliari	4+035	5+405	1.370	

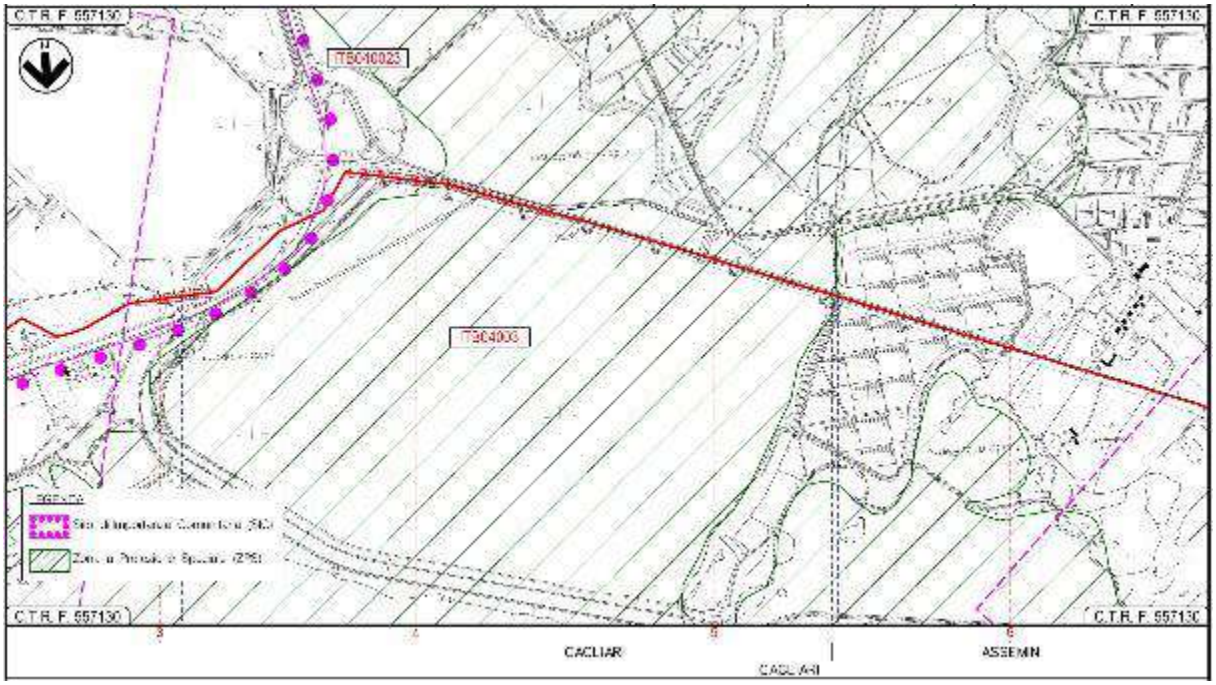


Figura 3-B. Stralcio interferenza tracciato di progetto Met. Cagliari - Palmas Arborea DN 650 (26") DP 75 bar con aree SIC e ZPS (vista pk 2+500 e 6+500)

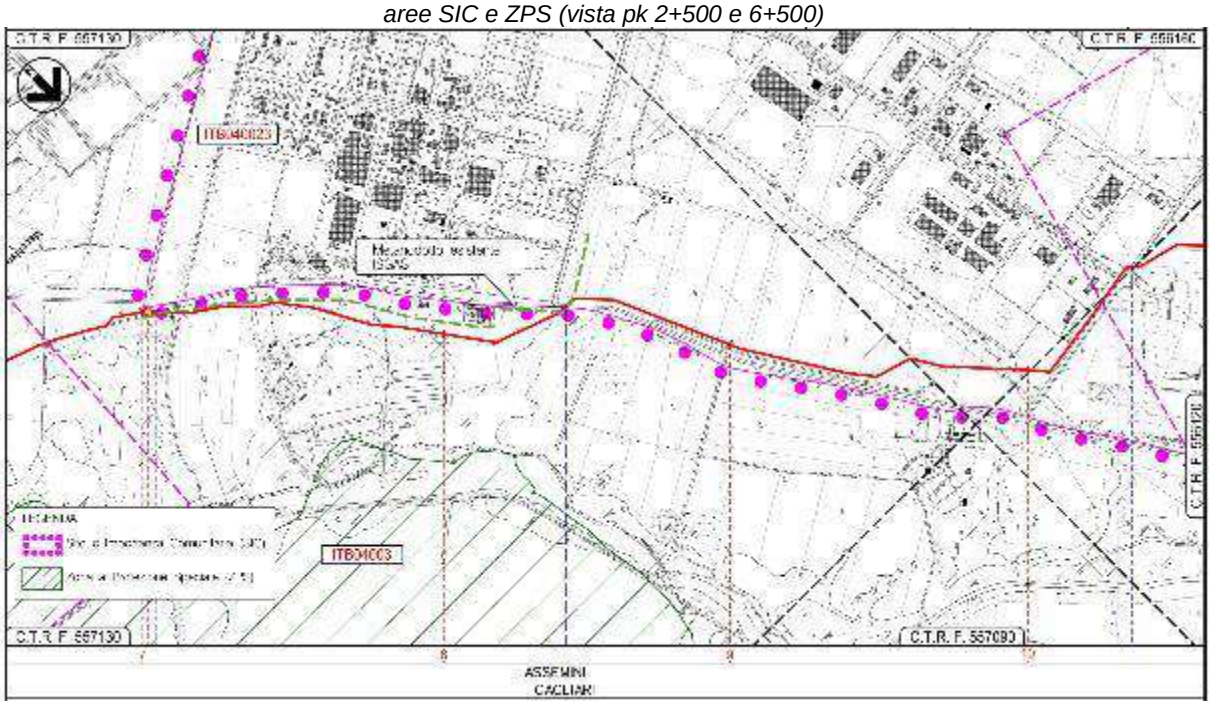


Figura 3-C. Stralcio interferenza tracciato di progetto Met. Cagliari - Palmas Arborea DN 650 (26") DP 75 bar con aree SIC e ZPS (vista pk 6+500 e 10+500)

4 INTERAZIONI OPERE IN PROGETTO - SISTEMA FISICO E BIOLOGICO

4.1 Interazioni delle opere con il sistema suolo-sottosuolo e ambiente idrico sotterraneo

La realizzazione delle opere in progetto relativamente al tratto di interesse implica una interazione delle stesse con il sistema suolo e sottosuolo e con quello delle acque sotterrane.

Lo studio delle caratteristiche geologiche/geotecniche di superficie lungo le aree di interesse è stato realizzato a partire dai dati disponibili in letteratura (Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Progetto CARG, Ispra), integrando quest'ultimi con le informazioni reperite attraverso i rilievi di terreno. La determinazione del quadro geologico di sottosuolo e l'individuazione della posizione della superficie piezometrica, sono state possibili mediante la consultazione delle risultanze di una mirata campagna di indagini geognostiche dirette e indirette, associando e confrontando i dati di quest'ultima con quelli provenienti da indagini geognostiche eseguite nel 1991-1992 in corrispondenza dei tratti di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP).

L'analisi complessiva dei dati reperiti ha permesso di ricostruire il modello geologico-stratigrafico, idrogeologico e geotecnico del sito in esame e di individuare le soluzioni progettuali più idonee da adottare per la salvaguardia del contesto ambientale attraversato.

4.1.1 Inquadramento geologico generale

L'area di intervento è ubicata nella piana costiera di Cagliari, al margine Sud Ovest del Campidano meridionale, in corrispondenza del bordo dello Stagno di Cagliari" o "Stagno di Santa Gilla".

La regione del Campidano meridionale, in termini geologici, è l'espressione del sistema tettonico "Horst e Graben" limitato dal Basamento cristallino e metamorfico delle montagne del Sulcis e del Sarrabus: il Campidano ha avuto origine dai processi di *rifting* che hanno interessato il Mediterraneo occidentale a partire dall'Aquitaniano-Burdigaliano (Miocene inferiore).

Le oscillazioni eustatiche del livello del mare, connesse con le variazioni climatiche di età quaternaria, hanno determinato un'alternanza di regressioni (fasi glaciali) e trasgressioni (fasi interglaciali), che hanno prodotto, rispettivamente, momenti di erosione e di deposito, ognuna delle quali avvenuta in ambienti di sedimentazione distinti.

L'origine dello Stagno di Cagliari viene in particolare collegato alla formazione di un paleoalveo, scavato dalle acque dei fiumi Rio Clxerri e Rio Mannu, durante l'ultima fase glaciale (Figura 4-A).

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

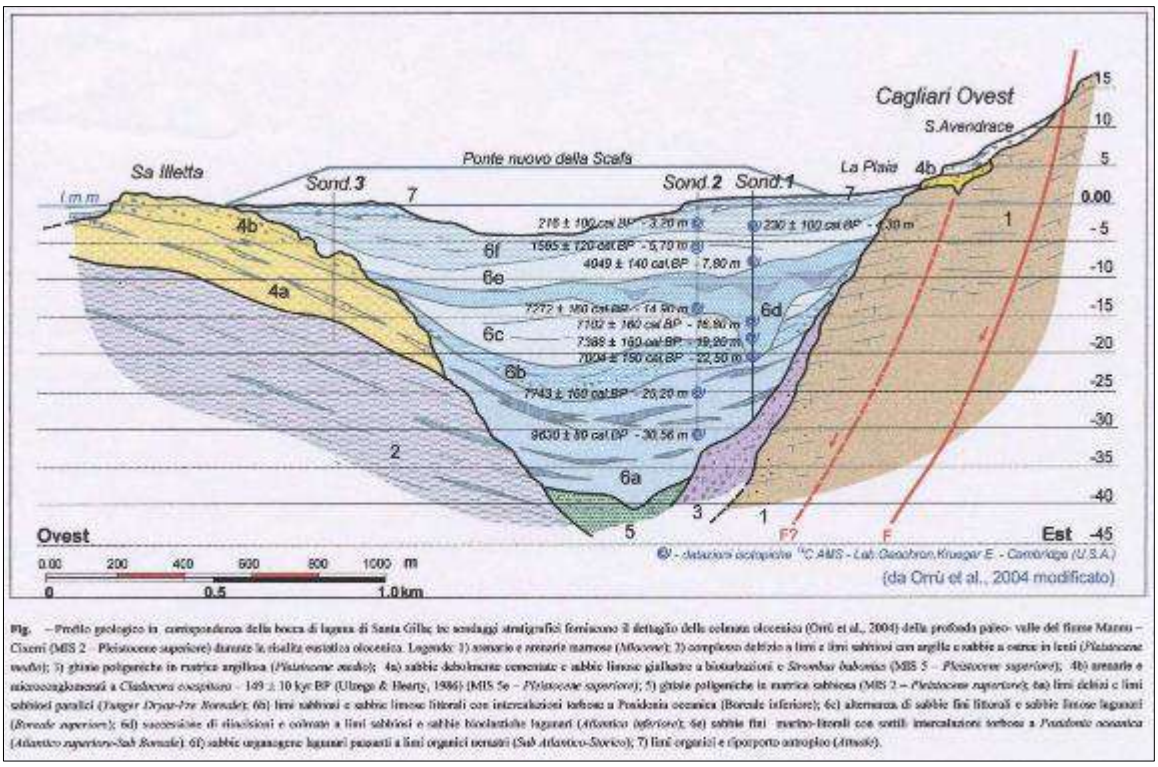


Figura 4-A. Stralcio Profilo geologico in corrispondenza della laguna di Santa Gilla

(da Orrù et al. 2004, modificato)

La trasgressione marina successiva ha quindi determinato la deposizione di grandi spessori di sedimenti lagunari, marini e fluviali. Nella parte più profonda del bacino si rinvengono infatti sabbie e ghiaie fluviali, a cui si sovrappone un potente spessore di limi e argille nerastre con resti algali di ambiente anossico. Questa successione è ricoperta da alternanze di sabbie fini e limose, in parte detritiche, talora con livelli di ghiaia e ciottoli più o meno cementati fino ad assumere i caratteri di conglomerati bioclastici tipo “panchina”. A ricoprimento della serie si trovano, infine, i terreni di riporto riconducibili al dragaggio dalla retrostante darsena (Porto Canale). I depositi quaternari poggiano sulla Formazione delle Arenarie di Pirri (sabbie più o meno arenacee grigio-verdastre intervallate da livelletti di arenaria lapidea e conglomerati).

4.1.2 Formazioni geologiche affioranti lungo il tratto di interesse

Lo studio geologico di superficie è stato utilizzando dati disponibili in letteratura (Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000 – Progetto CARG, Ispra), e le informazioni reperite attraverso osservazioni in campo (vedi tabella 4-1 e Figura 4-B).

In generale, risulta evidente che l’assetto morfologico e stratigrafico ha risentito delle intense trasformazioni territoriali avvenute negli ultimi decenni, con la realizzazione del porto Canale e del polo industriale retrostante.

Relativamente al tratto compreso tra le pk 3+500 e pk 6+000, il tracciato in progetto attraversa un settore ad elevata antropizzazione, incontrando prevalentemente depositi costituiti da materiali di riporto utilizzati per la bonifica delle aree e/o per la realizzazione di rilevati (h1r). Localmente, all'interno del suddetto intervallo chilometrico, affiorano anche terreni appartenenti al complesso dei depositi di spiaggia e dei cordoni litorali antichi (g), depositi antropici associati a saline e vasche di salificazione (h2) e depositi palustri perlopiù consistenti in fanghi torbosi e frammenti di molluschi (e5). Infine, nell'intervallo chilometrico compreso tra le pk 6+000 e pk 8+425 il tracciato in progetto interessa un'area caratterizzata da depositi alluvionali terrazzati (bna).

Tabella 4-1. Formazioni geologiche affioranti lungo il tratto compreso tra le pk 3+590 e pk 4+825

Età	Sigla	Descrizione
Olocene	h2	**Depositi antropici.** Saline e vasche di salificazione
Olocene	h1r	**Depositi antropici.** Materiali di riporto e aree bonificate
Olocene	bna	**Depositi alluvionali terrazzati**. Ghiaie con subordinate sabbie
Olocene	e5	**Depositi palustri.** Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi
Pleistocene Superiore - Olocene	g	**Depositi di spiaggia antichi.** Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero

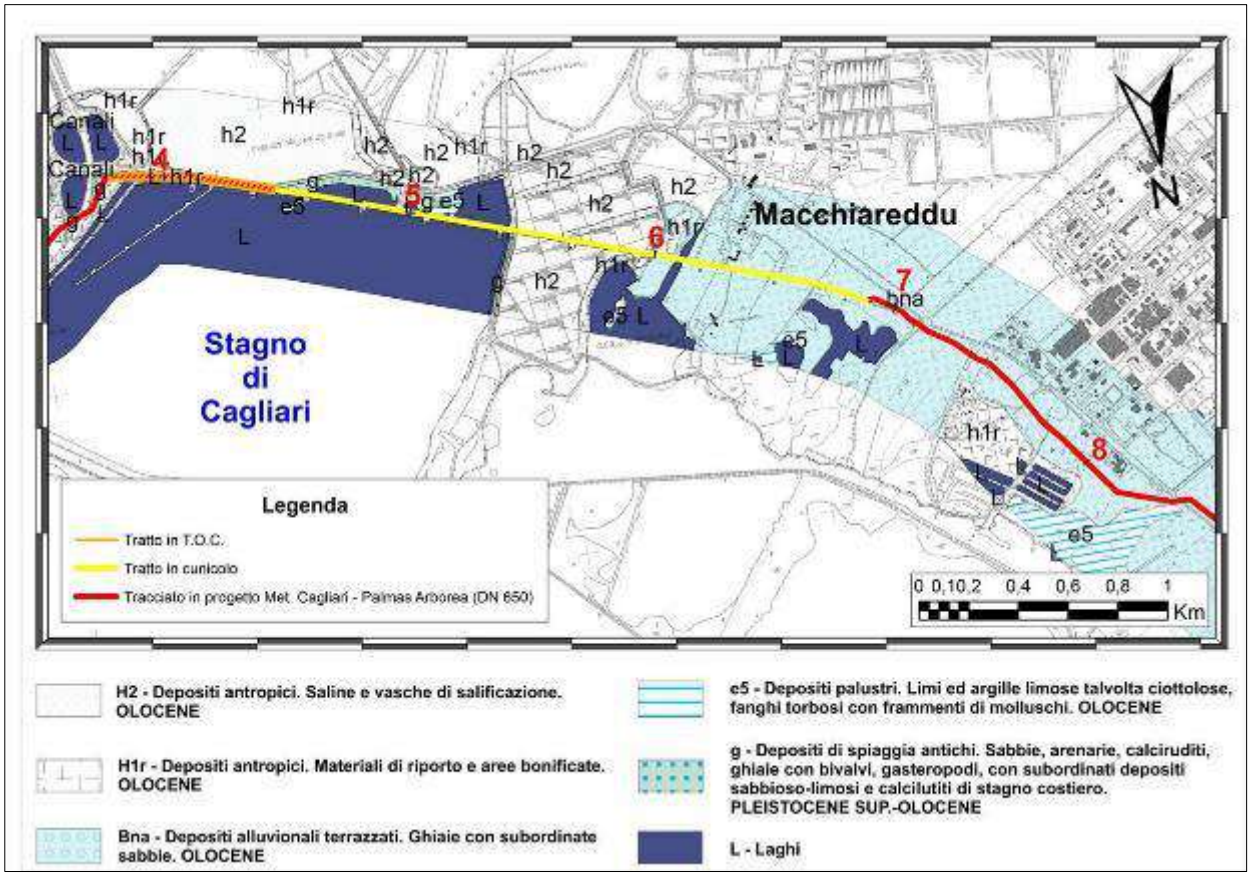


Figura 4-B. Carta geologica del tratto compreso tra le pk 3+590 e 8+425 (da Progetto C.A.R.G. Ispra)

4.1.3 Indagini disponibili - Campagna 1991/92 Strada Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari

In tale quadro si è quindi proceduto ad una approfondita revisione ed interpretazione di tutte le indagini eseguite ed in particolare delle numerose prove penetrometriche statiche disponibili, in modo da consentire una estrapolazione degli schemi stratigrafici desunti.

Come precedentemente menzionato, l'area in esame è stata oggetto in passato di una specifica campagna di indagine eseguita nel periodo 1991-92 per conto della Società BONIFICA S.P.A. di Roma e consistita in:

- N.9 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 5 eseguiti a terra e 4 eseguito all'interno dello stagno, con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove S.P.T.;
- N.2 pozzetti geotecnici con prelievo di campioni rimaneggiati;
- N.3 prove penetrometriche statiche C.P.T.

L'ubicazione di tali indagini è stata riportata nell'elaborato PG-TPSO-101. Di seguito si riportano le lunghezze a disposizione dei sondaggi disponibili, dei pozzetti geotecnici (Tabella) e delle prove CPT (Tabella 4-3) eseguite.

Tabella 4-2. Sondaggi geognostici (campagna del 1991)

ID	Progr. km	z_S (m)	Zona
S1	4+040	32.0	a terra
S2	4+315	12.0	a terra
S3	4+630	5.6	stagno
S4	4+780	9.0	stagno
S5	4+985	5.0	stagno
S6	5+325	8.0	stagno
S7	5+445	16.0	a terra
S8	5+820	15.0	a terra
S9	6+475	13.5	a terra

Tabella 4-3. Pozzetti geotecnici (campagna del 1991)

ID	Progr. km	z_S (m)
PE7	6+040	2.7
PE6	6+645	3.7

Tabella 4-1 Prove C.P.T. (campagna del 1991)

ID	Progr. km	z_S (m)
CPT2	4+365	20.0
CPT6	5+850	18.5
CPT7	6+195	14.5

con:

- ID: identificativo del sondaggio;
- Progr.: progressiva chilometrica del metanodotto in progetto;
- z_S: profondità massima raggiunta z_S.

4.1.4 Campagna indagini geognostiche 2018

La campagna geognostica eseguita nel 2018 ha permesso di acquisire ulteriori dati per realizzare un modello geologico ed idrogeologico completo di tutte le informazioni necessarie.
La campagna di indagini dirette è consistita nell'esecuzione di n.11 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità massima di 20 metri (vedi Tabella 4.4 ed elaborato PG-TPSO-101 per ubicazione indagini). Durante le operazioni di perforazione, per ogni singolo sondaggio sono stati:

- prelevati un congruo numero di campioni indisturbati per la successiva determinazione delle caratteristiche geotecniche in laboratorio;
- eseguite prove SPT (Standard Penetration Test);
- misurata la quota in metri s.l.m. della falda in alcuni fori di sondaggio attrezzati con piezometro a tubo aperto

Per verificare l'eventuale grado e tipo di contaminazione dei terreni e delle acque nei primi metri di profondità, soprattutto in relazione alla presenza di attività antropiche o di impianti produttivi anche dismessi, sono stati eseguiti anche n. 4 sondaggi ambientali, alcuni spinti anche alla profondità di m. 10 (vedi Tabella 4.4 ed elaborato PG-TPSO-101 per ubicazione indagini).
Le proprietà geotecniche dei terreni sono state inoltre acquisite in situ dall'interpretazione dei risultati di n. 6 indagini del tipo CPT (Cone Penetration Test) tramite i quali è stato anche possibile comparare la stratigrafia osservata nelle perforazioni con quella dedotta dalla resistenza alla punta.
Per una migliore comprensione dell'assetto stratigrafico dei terreni attraversati, sono state eseguite indagini geofisiche, utilizzando il metodo geoelettrico con misura della resistività dei terreni. Le prove hanno restituito n. 2 sezioni tomografiche; la prima, di 700 m di lunghezza e la seconda di circa 1870 metri (vedi Tabella 4.6 ed elaborato PG-TPSO-101 per ubicazione indagini). I contrasti di resistività osservati sono stati correlati con le principali discontinuità geologiche (primarie e secondarie) dedotte dalle perforazioni ed hanno consentito una buona verifica della continuità laterale e verticale delle formazioni geologiche attraversate (vedi par. 4.1.5 e 4.1.6).
L'indagine geofisica ha altresì permesso una valutazione più accurata circa la presenza di acqua nel sottosuolo. Alcuni valori bassi di resistività in formazioni geologiche generalmente con resistività elevata, sono stati correlati alla presenza di falde confinate che generalmente si attestano entro litotipi sabbiosi.

Tabella 4-4. Sondaggi geognostici (campagna del 2018). I sondaggi SA101_S_04 (S107) e SA 101_S_01 (S5) sono stati utilizzati anche per indagini ambientali.

ID	Progr. km	z_S (m)	Zona
S105	3+845	20	a terra
S106	4+010	20	a terra
S1	4+270	15	a terra
S2	4+610	20	a terra
S3	4+960	15	a terra
S4	5+285	20	a terra
SA101_S_01 (S5)	5+675	15	a terra
S6	5+885	20	a terra
SA101_S_02	6+055	3	a terra
SA101_S_03	6+250	3	a terra
SA101_S_04 (107)	6+520	10	a terra

Tabella 4-5. Prove C.P.T. (campagna del 2018)

ID	Progr. km	z_S (m)
CPT001	4+190	15
CPT002	4+470	15
CPT003	4+760	15
CPT004	5+145	15
CPT005	5+555	15
CPT006	5+980	15

Tabella 4-6. Indagini geofisiche (campagna del 2018)

ID	Progr. km	lunghezza (m)
GEO 1	3+530	0,700
GEO 2	4+255	1,840

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

4.1.5 Schemi stratigrafici e sezioni longitudinali in asse tracciato

L'analisi integrata dei risultati provenienti dalle indagini (sondaggi geognostici e tomografia elettrica, vedi par. 4.1.3 e 4.1.4), ha consentito di redigere per il tratto di interesse un modello geologico esaustivo (vedi Figure 4-C, 4-D, 4-E, 4-F ed elaborati annessi).
In linea generale, i sondaggi hanno attraversato terreni di origine sedimentaria riconducibili a litotipi limo-argillosi e sabbiosi di ambiente da transizionale (fluvio-lacustre) fino a marino. Questi sono ricoperti da un terreno di origine antropica che copre omogeneamente i settori interessati dalla T.O.C. e per metà l'area del cunicolo con uno spessore medio di circa 1.5 metri. Il deposito superficiale è costituito da terreno di riporto e/o vegetale di colore rossastro spesso contenente sottili lenti sabbiose e ghiaia a clasti sub-arrotondati.
Procedendo verso il basso, sono presenti intervalli sabbiosi e limosi separati spesso da discordanze principali, connesse alle variazioni del livello del mare passanti in rapporto eteropico sia laterale che verticale, gli uni agli altri.
Il livello sabbioso più superficiale è dato da sabbie fini di colore grigio chiaro ricche in frammenti e resti di conchiglie cui si intercalano sottili livelli torbosi indicativi di locale emersione. Questo terreno ha uno spessore e variabile dai 3 metri fino agli 8 metri lungo possibili zone depocentrali (es. tra S105 e S106). Nella terminazione nord-occidentale del cunicolo, lo spessore apparente di tale livello si riduce ad appena 1.5 metri mentre esso non è attraversato dai sondaggi S1 (1991), S1 (2018) e S2 (1991) che, alla stessa quota, attraversano invece un livello di 3 metri di spessore di limo debolmente sabbioso di colore grigio scuro. Ciò è indicativo di un possibile passaggio laterale delle sabbie precedentemente descritte con tale livello.
I terreni descritti in precedenza poggiano in probabile rapporto di discordanza su un altro livello sabbioso caratterizzato da sabbie debolmente limose di colore marrone-avana a granulometria da fine a media. A luoghi, il deposito si presenta debolmente ghiaioso con ghiaie da medie a grossolane ed ospita livelli arenacei cementati più o meno continui, di spessore di poco superiore al metro, da addensati a moderatamente addensati. Nel complesso questo deposito è dotato di notevole continuità laterale, essendo intercettato da quasi tutti i sondaggi, ed è caratterizzato da uno spessore medio di 5 m, generalmente tendente a diminuire verso NO. Tra i sondaggi S105 e S106, tale orizzonte si presenta con spessore superiore ai 15 metri in corrispondenza di una probabile paleovalle mentre raggiunge i 9 metri di spessore tra i sondaggi S1 (1991) e S1 (2018).
Al di sotto delle sabbie è presente un terreno limoso di spessore estremamente variabile che generalmente tende a ridursi verso ovest. Lungo il sondaggio S105, il deposito è attraversato per uno spessore di poco superiore ai 7 metri mentre nel sondaggio S106 il suo spessore si riduce drasticamente a circa 1 m. L'analisi comparata con la tomografia elettrica ed il mancato riscontro di tale livello limoso in alcuni sondaggi [es. S3, S6 (1991), S7(1991)], evidenzia la notevole discontinuità e la conformazione lenticolare di tali limi.
I limi precedentemente descritti poggiano su u sabbie limose da fini a medie di colore grigio scuro con torba. Tale terreno è attraversato circa 4 metri dal sondaggio S105, mentre lo spessore tende a diminuire verso ovest raggiungendo circa 1 metro in corrispondenza del sondaggio S106. Lo stesso litotipo, che contiene al suo interno rari livelli limosi (es. sondaggio S4), è poi intercettato dal sondaggio S3, a circa 900 m ad ovest della precedente chiusura, ed è presente per circa il 90% dello sviluppo del cunicolo con spessori pari a circa 5 metri.
In profondità, la formazione poggia in discordanza su livelli lenticolari di limi, argille e talora su un intervallo sabbioso basale. L' intervallo argilloso consiste di argille limose di colore da grigio scuro al verdastro, mediamente consistenti e spesso debolmente sabbiose con resti di

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

conchiglie e presenza di livelli torbosi. Tale deposito argilloso è attraversato per intero dal sondaggio S105 dove raggiunge lo spessore di quasi 9 metri per poi tendere a chiudere lateralmente in corrispondenza del sondaggio S1. Dopo la chiusura, il litotipo riappare circa 650 metri ad ovest dove il suo top è intercettato dal sondaggio S3. Seppur discontinua lateralmente, la formazione è presente nell'area del cunicolo dove mantiene uno spessore medio di circa 4 metri. Procedendo verso il basso, si rinviene un'altra formazione sabbiosa, (sondaggi sondaggi S9 (1991), S107, S8 (1991) S6, S5, S7 (1991), S2, S1(1991)), di spessore reale non determinabile, costituita da sabbie fini di colore marrone chiaro, talora debolmente limose.
Nel complesso, i terreni riconosciuti consistono di sequenze sedimentarie limo-sabbiose ed argillose di ambiente fluvio-lacustre (torbe) fino a marino (depositi sabbiosi con resti di conchiglie). Esse sono generalmente separate da discordanze principali, cosi come suggerito dalle loro frequenti chiusure laterali, prodotte probabilmente da eventi erosivi.
In particolare, lungo il profilo si osservano superfici erosive sub-orizzontali (stazionamento alto del livello marino), e valli erosive che riflettono stazionamenti bassi del livello marino con conseguente ringiovanimento dei corsi d'acqua.
La misura dei livelli piezometrici in pozzo e l'analisi delle tomografie elettriche, hanno consentito di ottenere alcune indicazioni circa la circolazione idrica sotterranea. Secondo le misurazioni, un acquifero a falda libera si attesterebbe nei livelli più superficiali con tavola d'acqua a circa 1,1 m dal p.c fino ad un massimo di 2,2 m dal p.c. Bassi valori di resistività elettrica nei litotipi sabbiosi più profondi suggeriscono invece la presenza di possibili falde confinate laddove esistono le condizioni geologiche allo sviluppo delle stesse.

Tabella 4-7. Litotipi riscontrati in sottosuolo e relativi spessori

Litotipo	Spessore (m)
Terreno di riporto e vegetale, sabbia fine ghiaiosa, di colore marrone rossastro, ghiaie grossolane e sub-arrotondate.	0-5
Limo debolmente sabbioso di colore grigio scuro con intercalazioni di sabbie a granulometria fine e livelli torbosi (a). Sabbia fine di colore grigio chiaro ricca in frammenti e resti di conchiglie, presenza di livelli torbosi (b).	a) 0-4 b) 0-10
Sabbie debolmente limose di colore marrone-avana a granulometria da fine a media. A tratti il deposito si presenta debolmente ghiaioso con ghiaie da medie a grossolane (a). Livelli cementati (arenarie) da addensati a moderatamente addensati (b).	a) 0-12 b) 0-2.50
Limo argilloso di colore grigio scuro, debolmente sabbioso con torba e frammenti di conchiglie, da tenero a mediamente consistente.	0-8
Sabbia limosa, sabbie da fini a medie, di colore grigio scuro con torba. Da mediamente consistente a molto consistente	0-14
Argilla limosa di colore da grigio scuro al verdastro, mediamente consistente spesso debolmente sabbiosa con resti di conchiglie e presenza di livelli torbosi.	0-13
Sabbia fine, limosa, di colore marrone chiaro. Probabile presenza di frammenti di conchiglie. Da moderatamente addensata ad addensata.	0-15

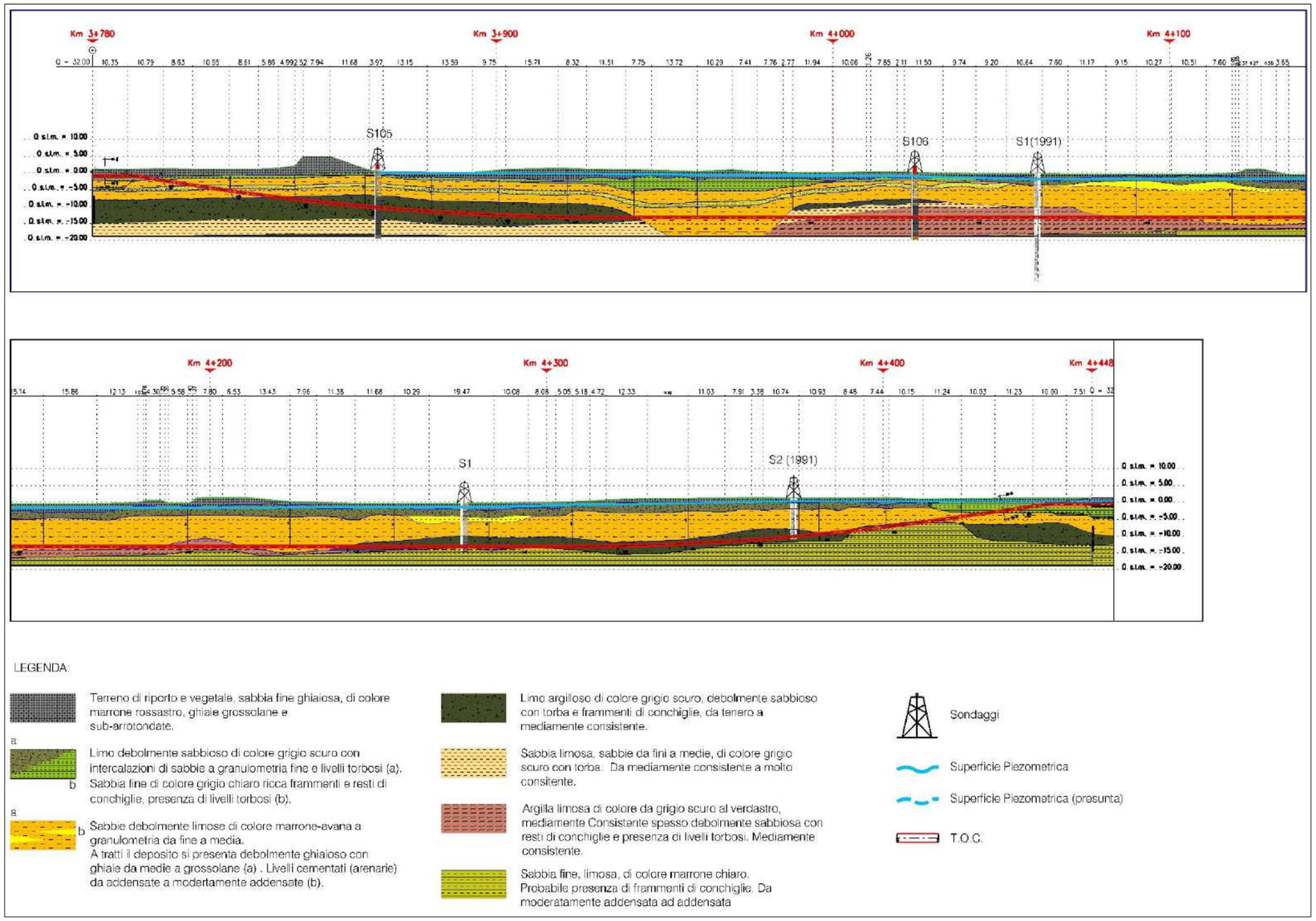


Figura 4-C. Sezione geologica tratto in T.O.C. (pk 3+780 - 4+450, vedi Annesso 2A).

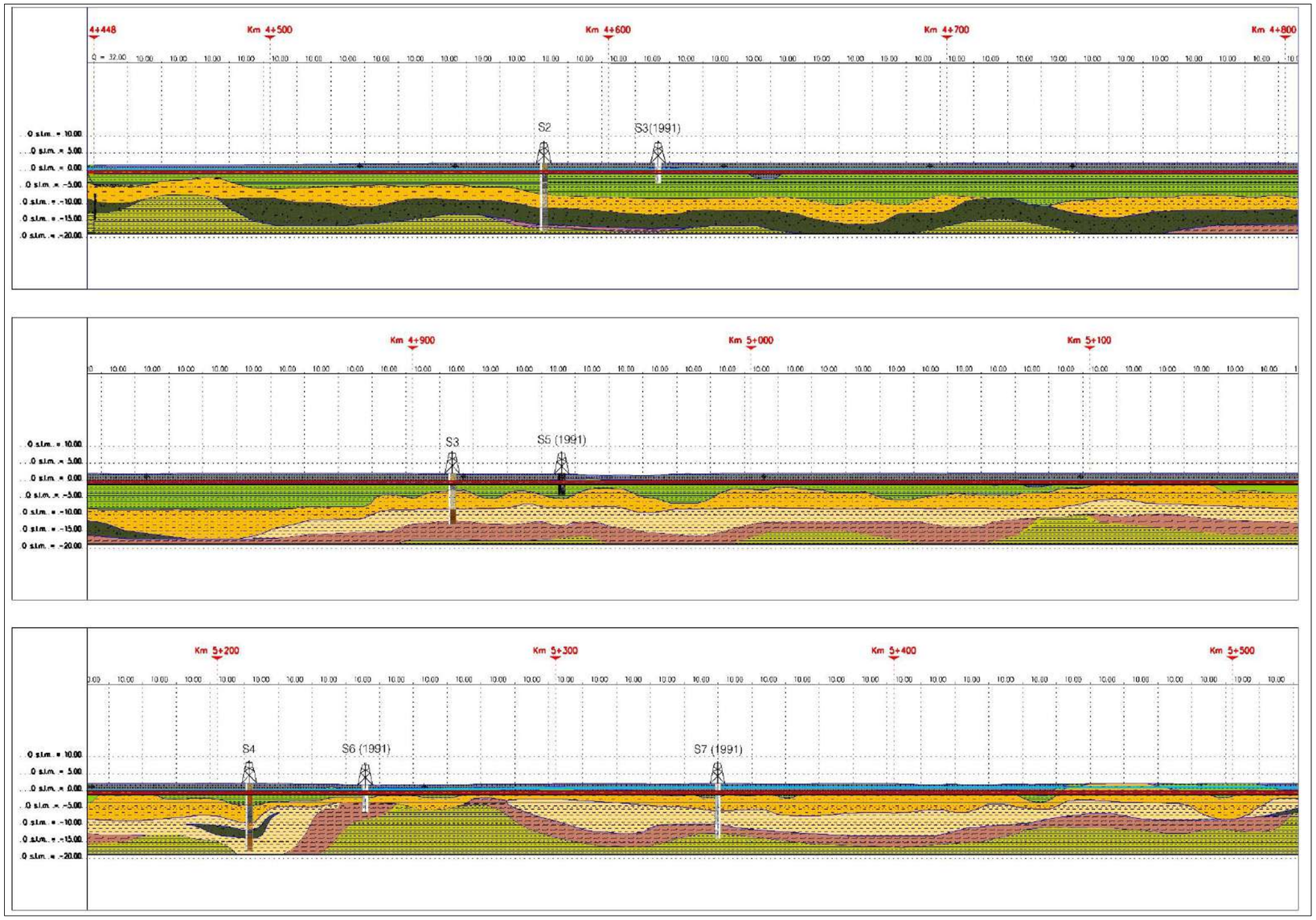


Figura 4-D. Sezione geologica tratto in cunicolo (vista pk 4+450 – 5+520, vedi Annesso 3A).

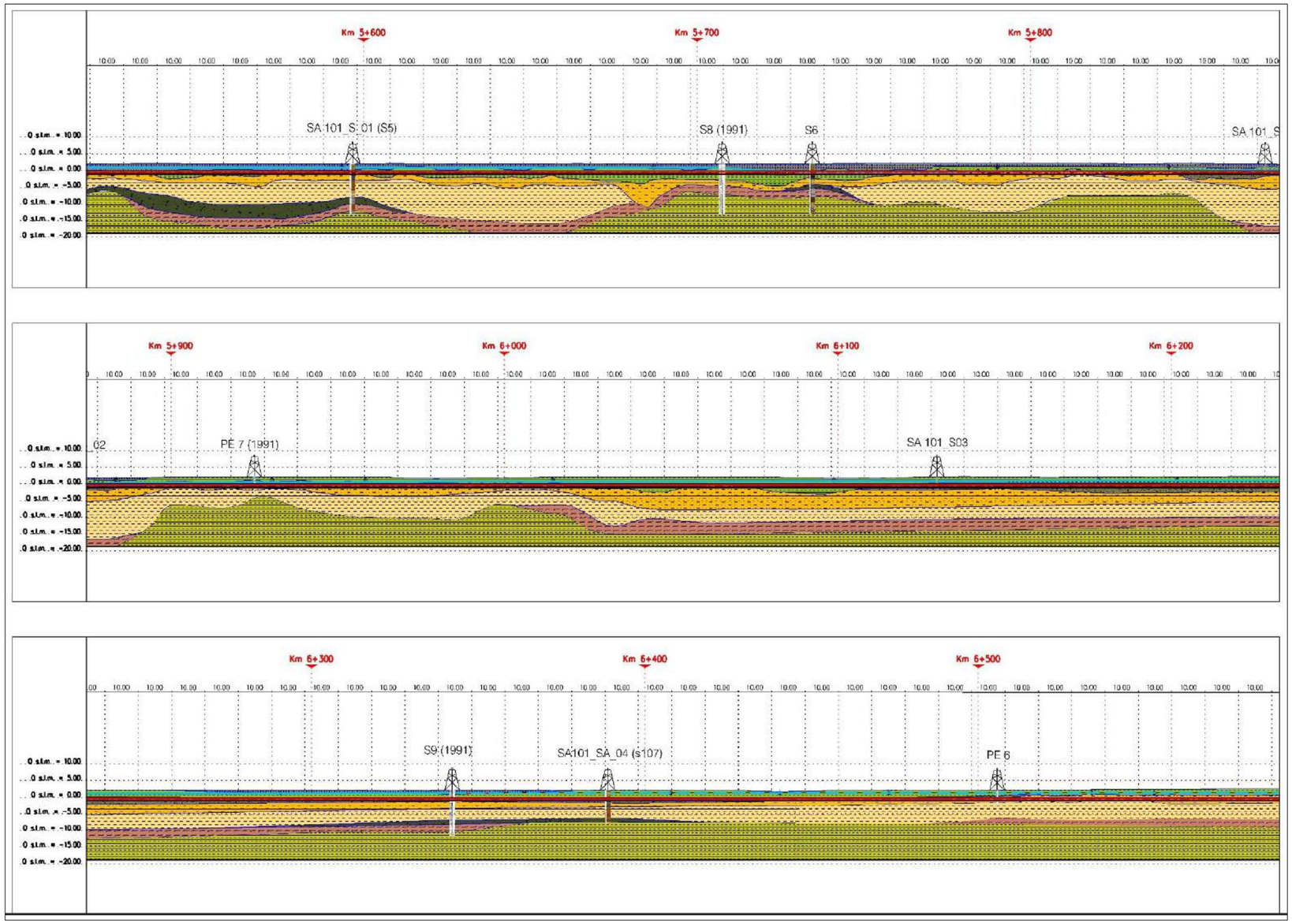
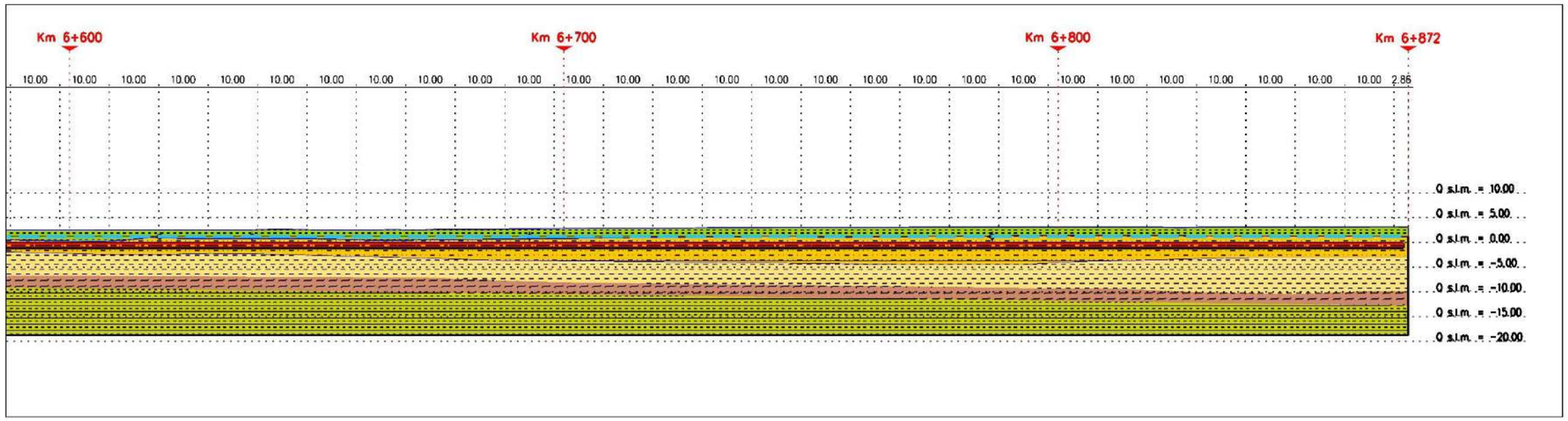


Figura 4-E Sezione geologica tratto in cunicolo (vista pk 5+520 – 6+590, vedi Annesso 3A).



Terreno di riporto e vegetale, sabbia fine ghiaiosa, di colore marrone rossastro, ghiaie grossolane e sub-arrotondate.

a
b
Limo debolmente sabbioso di colore grigio scuro con intercalazioni di sabbie a granulometria fine e livelli torbosi (a). Sabbia fine di colore grigio chiaro ricca frammenti e resti di conchiglie, presenza di livelli torbosi (b).

a
b
Sabbie debolmente limose di colore marrone-avana a granulometria da fine a media.
A tratti il deposito si presenta debolmente ghiaioso con ghiaie da medie a grossolane (a) . Livelli cementati (arenarie) da addensate a modertamente addensate (b).

Limo argilloso di colore grigio scuro, debolmente sabbioso con torba e frammenti di conchiglie, da tenero a mediamente consistente.

Sabbia limosa, sabbie da fini a medie, di colore grigio scuro con torba. Da mediamente consistente a molto consitente.

Argilla limosa di colore da grigio scuro al verdastro, mediamente Consistente spesso debolmente sabbiosa con resti di conchiglie e presenza di livelli torbosi. Mediamente consistente.

Sabbia fine, limosa, di colore marrone chiaro. Probabile presenza di frammenti di conchiglie. Da moderatamente addensata ad addensata

Sondaggi

Superficie Piezometrica

Superficie Piezometrica (presunta)

Cunicolo

Figura 4-F. Sezione geologica tratto in cunicolo (vista pk 6+590 – 6+875, vedi Annesso 3A).

4.1.6 Schemi stratigrafici e sezioni trasversali in asse tracciato

Sulla base dei dati stratigrafici disponibili è stato possibile costruire alcune sezioni stratigrafiche trasversali al tracciato in progetto, in corrispondenza di diverse progressive chilometriche (Figure, 4-G, 4-H, 4-I, 4-J).

Il corpo del rilevato, costituito da materiali di riporto di spessore eterometrico (tra 2,2 e 4,0 m), poggia direttamente su un residuo strato di terreni limo-argillosi ricchi in materiale vegetale e frammenti di conchiglie, associati al fondale marino ante colmata/rilevato di spessore al più metrico (1-2 metri)

Questi ultimi hanno verosimilmente scontato importanti cedimenti nel tempo in funzione dei sovraccarichi a cui sono stati sottoposti ed in conseguenza dei fenomeni di ingozzamento dei materiali impiegati durante la realizzazione delle piste.

Al di sotto è presente un complesso eterogeneo, sia in senso verticale che orizzontale, con fuso granulometrico prevalentemente compreso tra sabbie più o meno cementate e limi argillosi.

L'analisi dei dati ha permesso di determinare la posizione della superficie piezometrica che nel tratto di interesse si attesta ad una profondità dal piano campagna compresa tra 1,1 e 2,2 metri.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

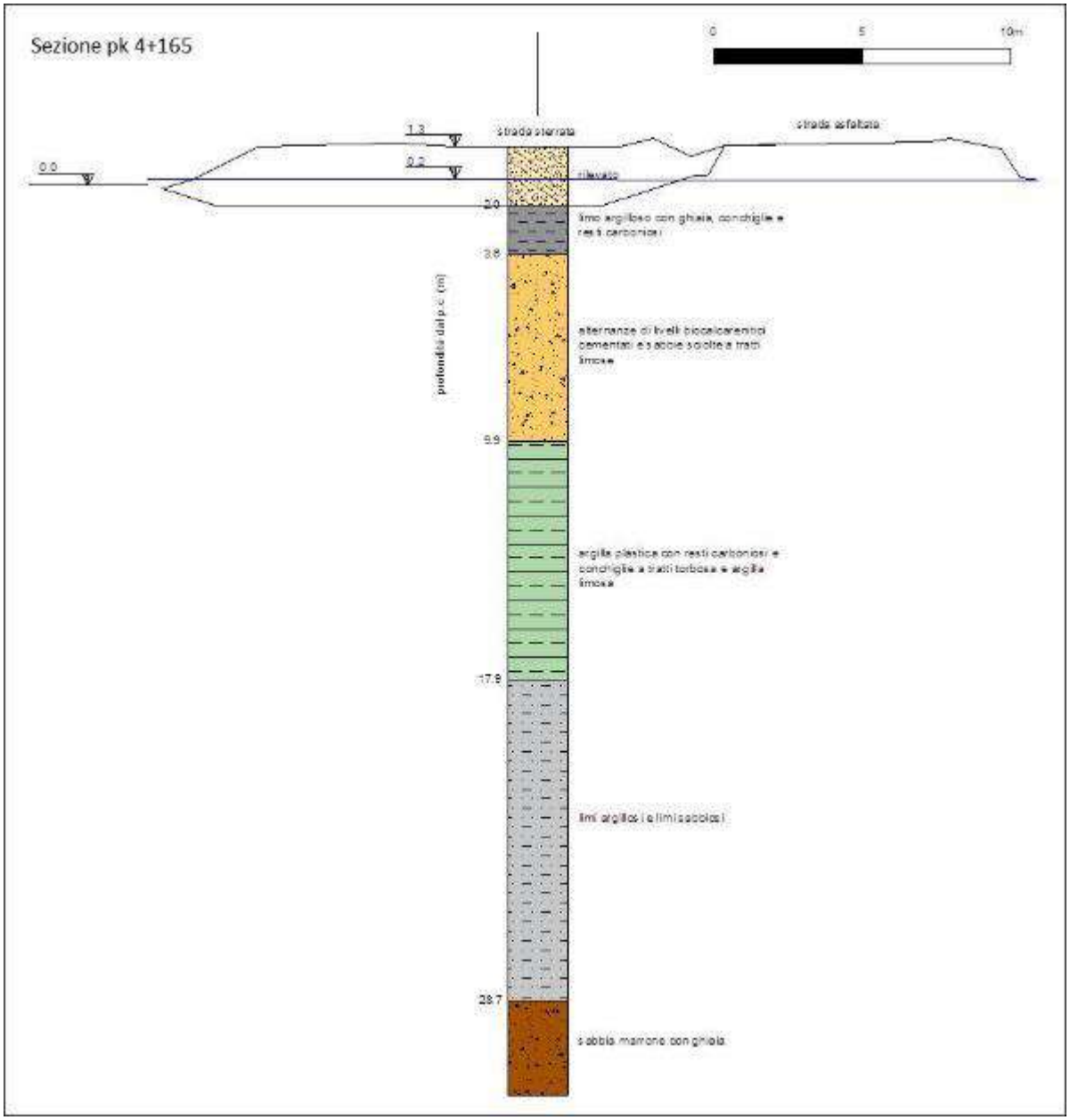


Figura 4-G. Sezione trasversale pk 4+165

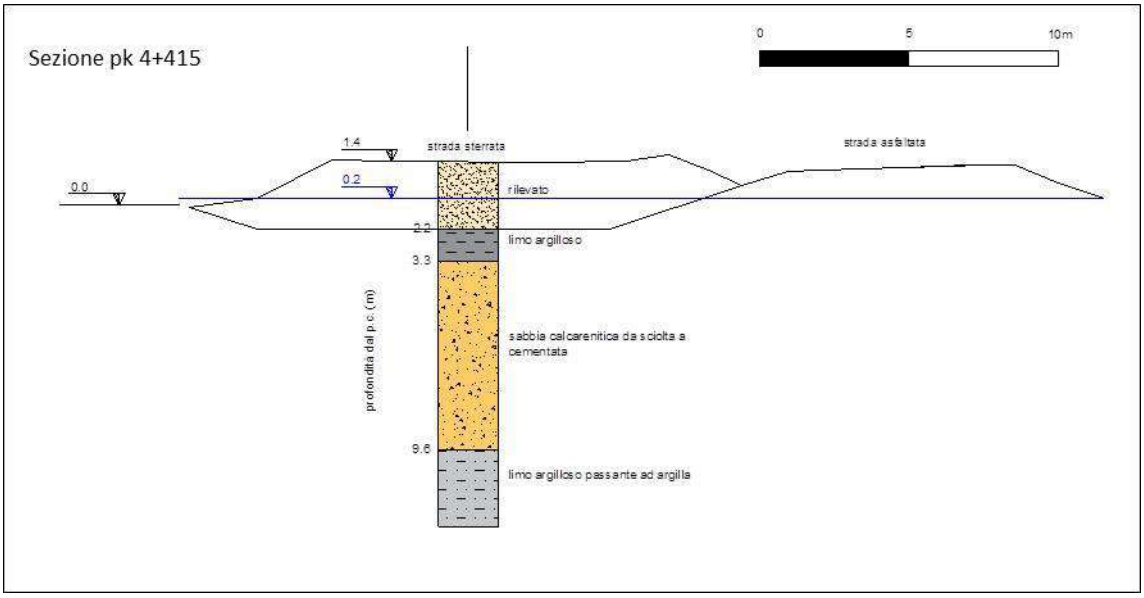


Figura 4-H. Sezione trasversale pk 4+415

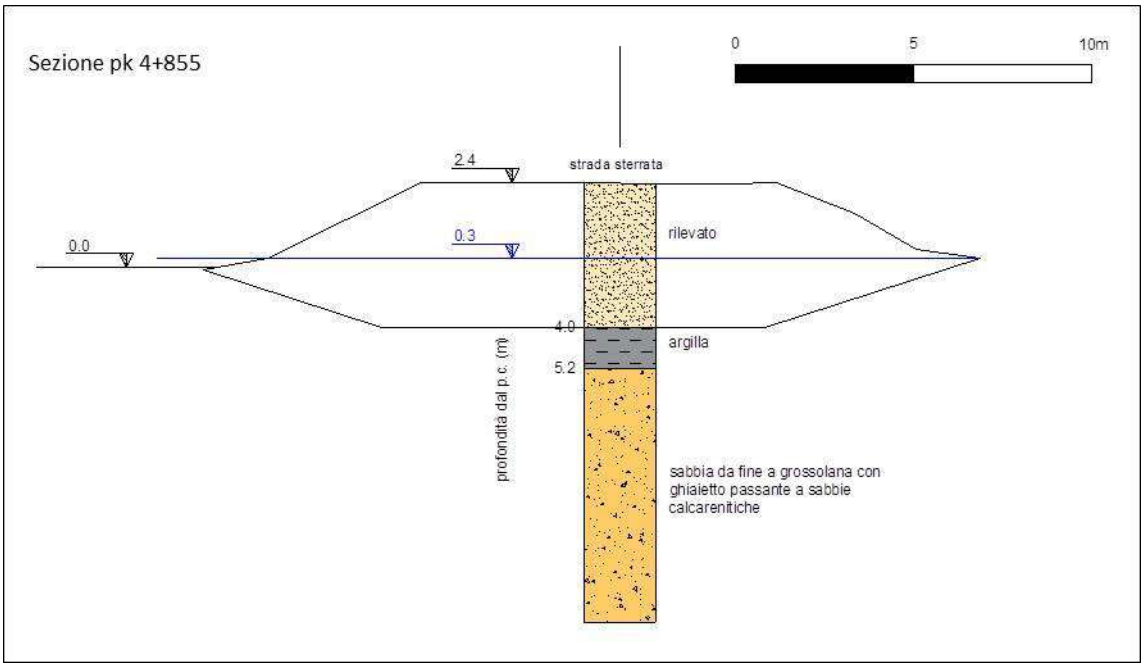


Figura 4-I. Sezione trasversale pk 4+855

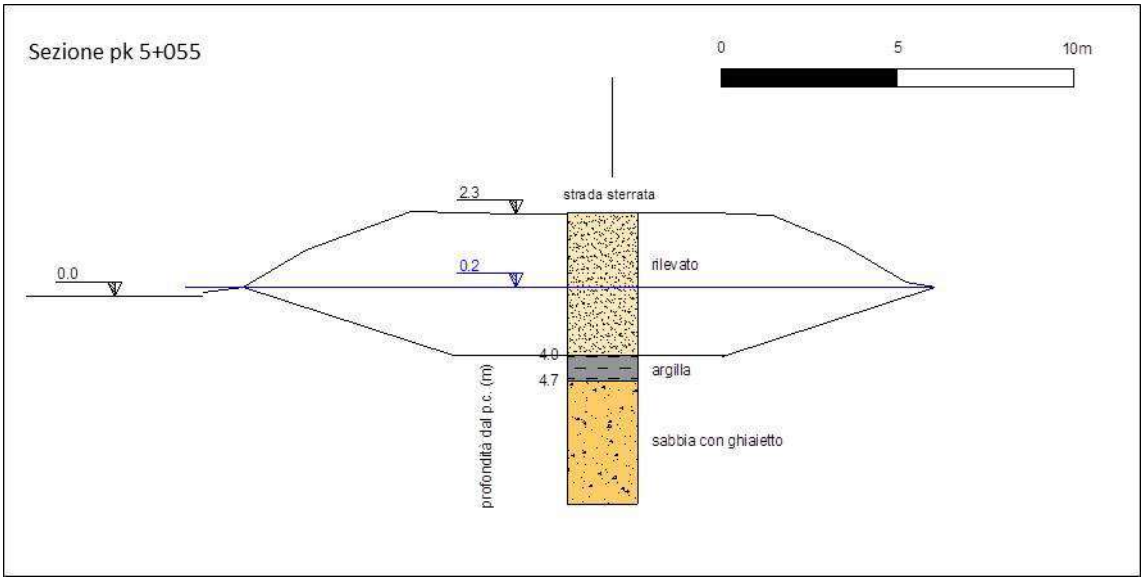


Figura 4-J. Sezione trasversale pk 5+055

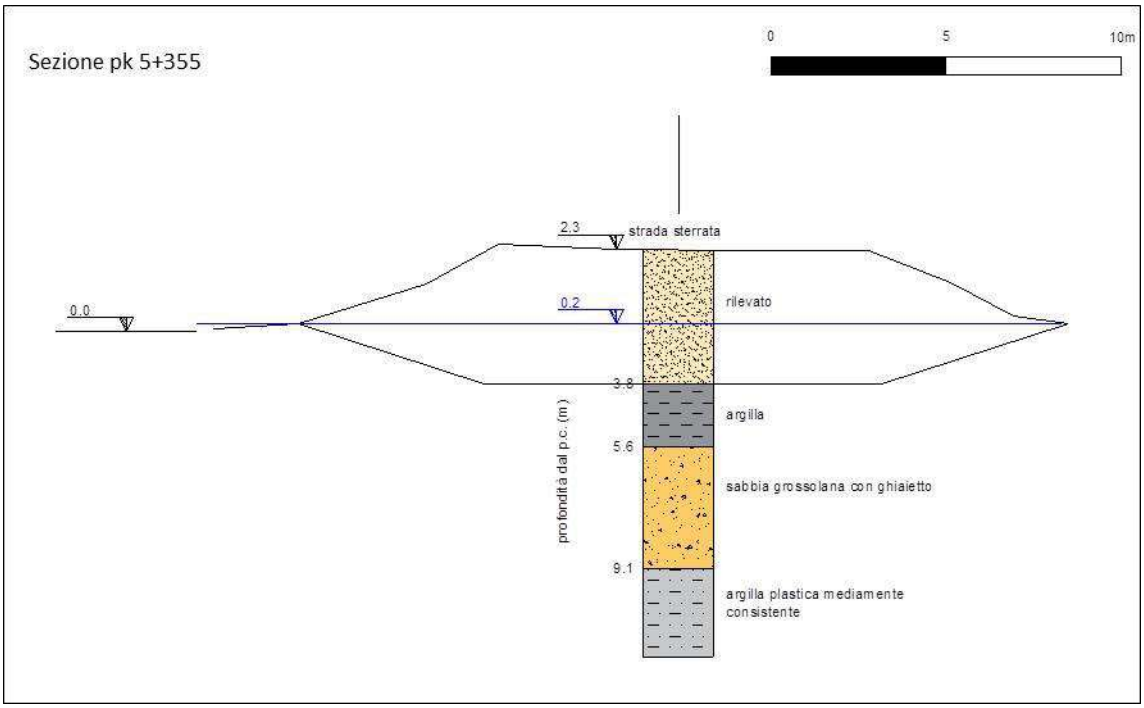


Figura 4-L. Sezione trasversale pk 5+355

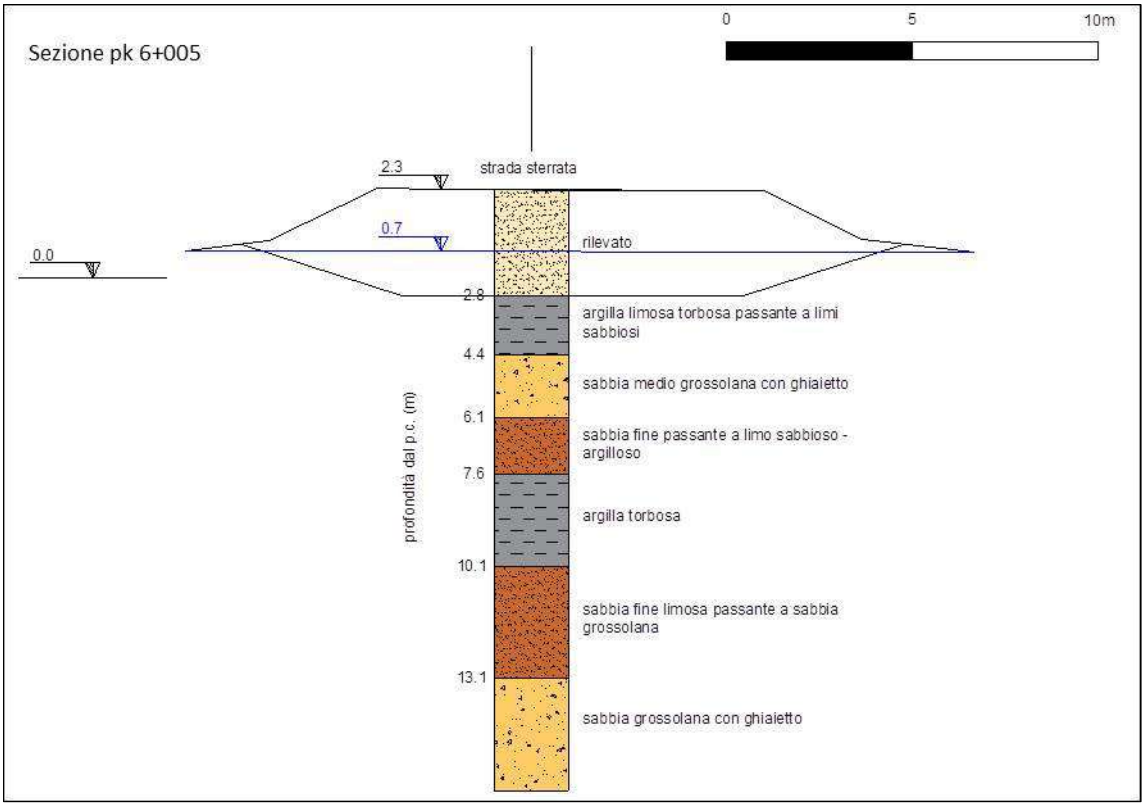


Figura 4-M. Sezione trasversale pk 6+005

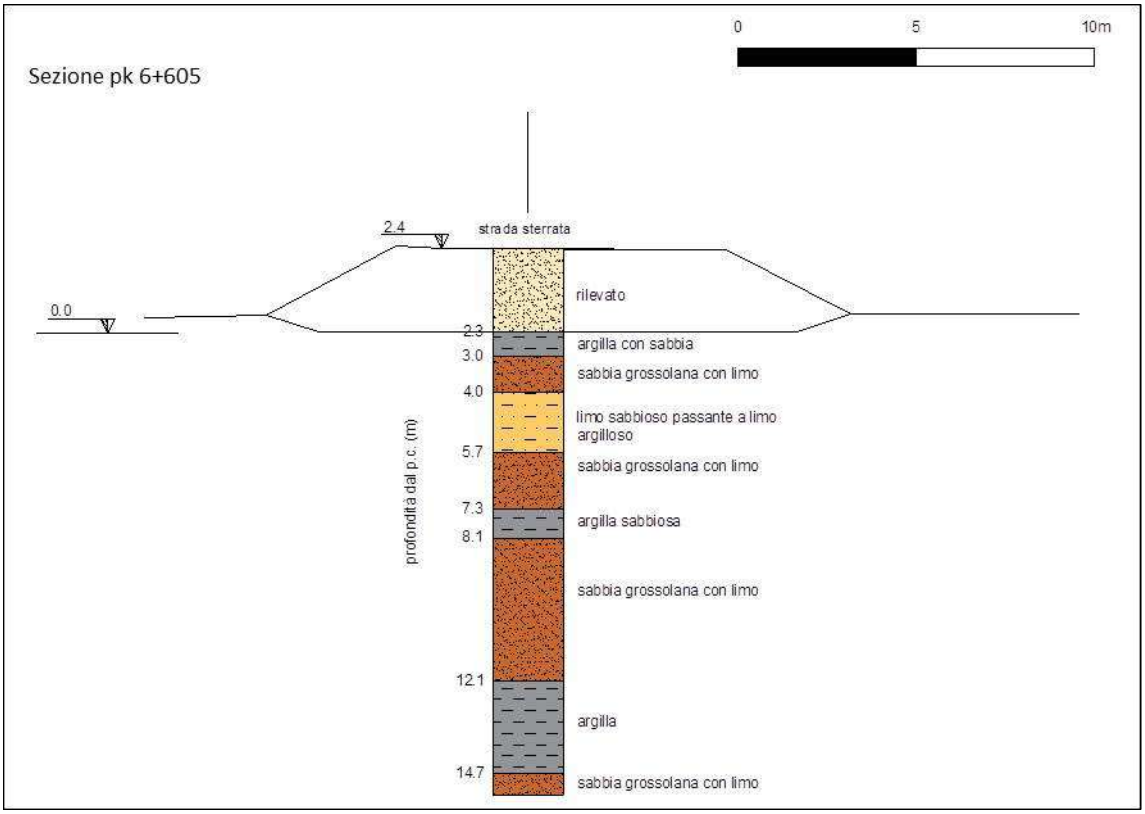


Figura 4-N. Sezione trasversale pk 6+605

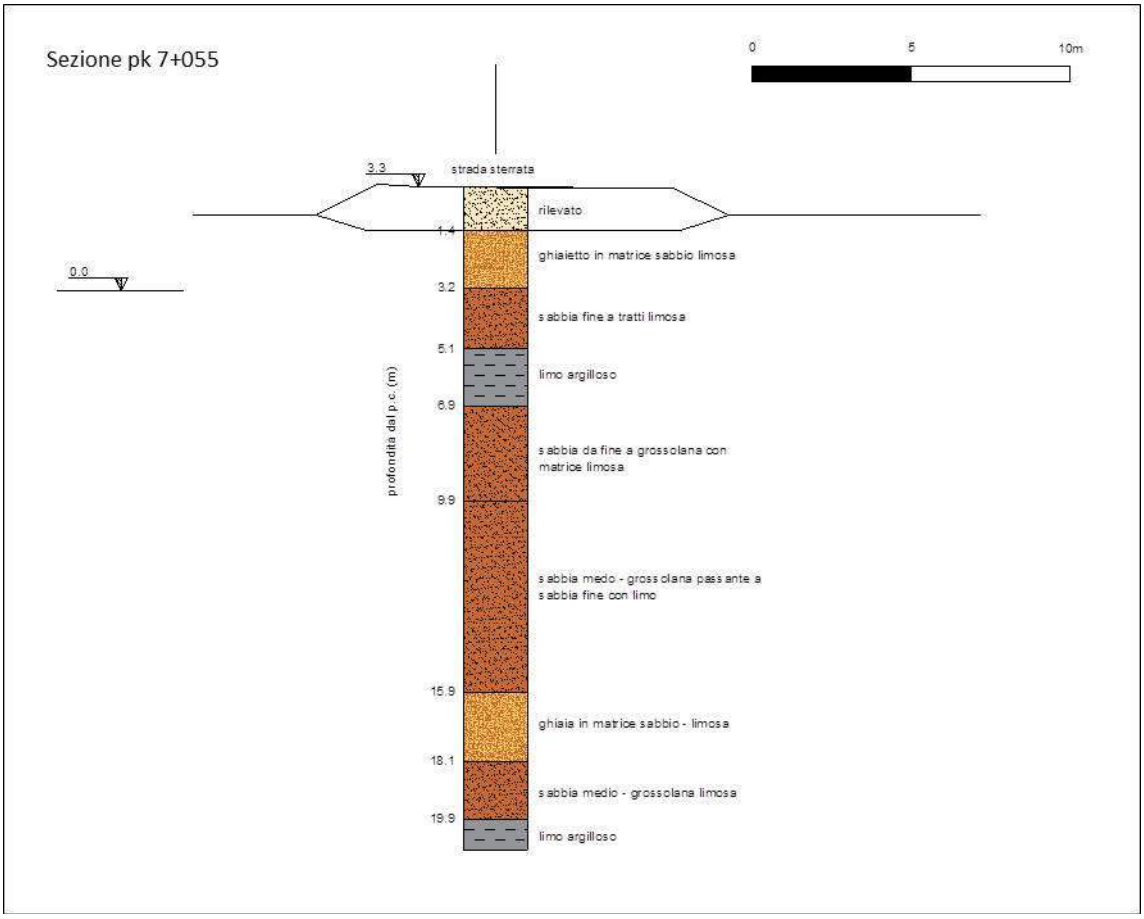


Figura 4-O. Sezione trasversale pk 7+055

4.1.7 Caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta del corpo rilevato

Come precedentemente detto, superato il tratto in T.O.C compreso tra le pk 3+780 e pk 4+450, il metanodotto in progetto attraversa in cunicolo per circa 2,5 km un rilevato stradale di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP). Si è ritenuto utile pertanto effettuare una stima dei caratteri geotecnici dei terreni di imposta del rilevato stradale interessato dall'opera.

Particolare attenzione è stata rivolta alla valutazione dello spessore e della posizione dei "limi argillosi organici" al di sotto del corpo di rilevato che chiaramente maggiormente contribuiscono ai potenziali fenomeni di instabilità connessi sia con le operazioni di scavo per l'alloggiamento della condotta e sia con cedimenti secondari nel volume significativo del corpo del rilevato.

Sulla base delle indagini disponibili è stata approfondita la caratterizzazione geotecnica dei terreni attribuendo uno specifico peso alla interpretazione delle prove penetrometriche statiche C.P.T. disponibili che, considerate le caratteristiche di variabilità locale dei terreni e di difficoltà di campionamento degli stessi, possono essere ritenute particolarmente utili e significative. Nell'ambito del quadro stratigrafico accertato si è preliminarmente proceduto a distinguere i terreni a comportamento prevalentemente granulare da quelli a comportamento coesivo. Per i terreni a comportamento tipicamente granulare, l'interpretazione delle prove C.P.T. ha permesso di stimare i valori della densità relativa, e indicativamente dell'angolo di attrito, utilizzando le correlazioni esistenti tra la resistenza alla punta q_c e stato tensionale agente alla profondità della prova.

Per i termini a comportamento coesivo è stato possibile stimare, indicativamente, la resistenza non drenata c_u mediante la seguente relazione:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

assumendo un valore di N_{kt} è un coefficiente assunto pari a 20.

A partire dal valore della resistenza alla punta q_c è inoltre possibile fornire una stima del valore del modulo edometrico alla profondità di prova mediante la nota correlazione di Mitchell e Gardner (1975):

$$E_{ed} = M = \alpha \cdot q_c$$

in cui il parametro correttivo "α" è scelto sulla base della tipologia di terreno derivata dalla classificazione, dal valore della q_c e, per i termini a carattere coesivo, delle caratteristiche di plasticità preventivamente desunta dalla carta di Casagrande.

In particolare, con riferimento ai sub-tratti individuati dagli schemi stratigrafici precedenti si possono definire le caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta:

<u>Dalla pk 4+055 alla pk 4+165</u>

Si osserva la presenza di 6.0 m circa di sabbie calcarenitiche da mediamente a ben addensate, seguite da un potente strato di argilla mediamente compatta con modulo di compressibilità edometrica E_{ed} = 40 ÷ 60 kg/cm^2.

Dalla pk 4+165 alla pk 5+455

Lo strato superficiale risulta costituito da limo argilloso tenero con abbondante contenuto di sostanze organiche, di spessore variabile tra 1.5 e 2.2 metri. Tale strato è caratterizzato da elevati contenuti d'acqua e scarsissime caratteristiche meccaniche (resistenza non drenata C_U = 0.4 ÷ 0.5 t/m^2, modulo edometrico E_{ed} = 2 ÷ 4 kg/cm^2).
Al di sotto si trova un livello di sabbie calcarenitiche più o meno limose, con grado di cementazione variabile, e spessori variabili tra 3.5 e 7.1 metri.
Le prove S.P.T. forniscono resistenze variabili, ma normalmente superiori a 15 ÷ 20 colpi/piede e confermano l'andamento stratificato e discontinuo messo in luce dalla prova statica CPT2 tra -3 e -10 m da p.c.
Le sabbie hanno buone caratteristiche meccaniche (angoli di resistenza al taglio φ' > 32°, moduli di Young E = 150 ÷ 300 kg/cm^2).
Sotto le sabbie si sono rinvenuti livelli coesivi mediamente teneri normalmente consolidati con spessore variabile cosi come indicato dalle prove CPT e dai sondaggi. Le prove di laboratorio indicano valori di modulo edometrico di 25 ÷ 30 kg/cm^2 (campione prelevato dal sondaggio S2 tra -11.5 e -12.0 m) e di 10 ÷ 15 kg/cm^2 (S6, tra -6.0 e -6.5 m).

Dalla pk 5+455 alla pk 6+455

Il primo strato risulta costituito da 1 m circa di materiale granulare di riporto. Al di sotto si rilevano alternanze di livelli coesivi mediamente compatti e sabbioso-limosi di discreta consistenza. Da campioni di argilla prelevati alle profondità di 12 m (sondaggio S7) e 7.5 m (S8) dal p.c. si sono ricavati valori di modulo edometrico E_{ed} > 70 kg/cm^2 e E_{ed} > 100 kg/cm^2 rispettivamente. Sul campione prelevato a 7.5 m di profondità dal p.c. è stata misurata una resistenza non drenata C_U > 2 kg/cm^2.
Le resistenze dinamiche misurate nei livelli incoerenti hanno fornito valori di almeno 20 ÷ 40 colpi/piede, a testimonianza di una elevata resistenza al taglio e modesta deformabilità (in riferimento al carico indotto dal rilevato).

Dalla pk 6+455 alla pk 6+605

Il sondaggio S9 evidenzia la presenza di uno strato d'argilla tenera, a tratti torbosa, con spessore di 1 metro circa, aventi scarse caratteristiche meccaniche.
A maggiori profondità si trovano alternanze di sabbie più o meno limose e livelli coesivi abbastanza consistenti, con coesione non drenata C_U > 1 kg/cm^2.
I livelli sabbiosi risultano ben addensati e/o cementati, con buona resistenza al taglio e bassa deformabilità.

Dalla pk 6+605 alla pk 7+055

In prossimità del p.c. si trovano terreni granulari a prevalente granulometria grossolana. In profondità si rilevano di nuovo terreni granulari, con livelli decimetrici di materiali coesivi, di buone caratteristiche meccaniche. Per la realizzazione del rilevato stradale è stato verosimilmente impiegato materiale inerte di buone caratteristiche, riconducibile a quelle di un tout-venant di cava, cui possono essere attribuiti i seguenti parametri geotecnici medi: peso

dell'unità di volume γ_{sat}= 19 kN/m^3; coesione efficace c'= 0, angolo di resistenza al taglio φ' = 40°, modulo di compressibilità iniziale è pari a 30-50 MPa.

4.1.8 Aspetti geotecnici generali

Per quanto riguarda i tratti ove la posa della condotta avverrà con scavo a cielo aperto (tra le pk 3+590 e 3+780 e tra le pk 6+875 e 8+425), la fattibilità dell'intervento non presenta particolari problematiche di carattere geotecnico.

La posa della condotta nel tratto in T.O.C. (pk 3+780 - 4+450) interessa principalmente il sottosuolo di aree sub-pianeggianti per cui si escludono complicazioni di natura geotecnica, considerata altresì l'assenza nel tratto di interesse di fenomeni di sprofondamento (sinkhole).

Per quanto riguarda il tratto in percorrenza stradale (cunicolo, pk 4+450-6+875), dalla ricostruzione del quadro stratigrafico risulta che la condotta, collocata ad una profondità di circa 0,50 m dal piano campagna, interessa i terreni di riporto costituenti il corpo del rilevato esistente. La scelta progettuale di imporre una quota del piano di imposta della tubazione piuttosto modesta, comporta evidenti vantaggi di carattere geotecnico legati alla stabilità degli scavi sia in fase costruttiva che ad opere ultimate:

Stabilità degli scavi – in tale condizione gli scavi andrebbero ad interessare solamente i terreni di recente riporto evitando così di interagire, a maggiore profondità, con i depositi a prevalente composizione limo argillosa e con presenza di diffuso materiale organico di scarsa consistenza. Nelle suddette condizioni prevalenti di assenza di falda e considerata la presenza di terreni granulari, la stabilità di scavi temporanei, quali risultano quelli di alloggiamento della condotta, potrà essere garantita adottando pendenze comprese tra 3/2 e 4/3 o, in alternativa, in presenza di pareti verticali, solo attraverso specifici accorgimenti di presidio. In tali casi, per contenere gli spostamenti entro valori accettabili, potrà essere necessario ricorrere alla adozione di strutture di sostegno rigide, eventualmente puntonate (armatura a marcia avanti, sbadacchiature, puntelli metallici, telai in acciaio).

Stabilità del fondo – qualora il piano di imposta della condotta si trova ad una quota anche appena superiore a quella di normale oscillazione del livello della falda idrica superficiale, non si pongono particolari problemi di stabilità del fondo scavo in fase di costruzione.

Laddove gli scavi dovessero intercettare la falda acquifera, si potrebbero generare specifiche problematiche geotecniche in relazione alla stabilità delle pareti e del fondo scavo, in quanto la composizione dei terreni è prevalentemente granulare con scarso grado di addensamento. In tale evenienza si imporrà la riduzione del livello piezometrico attraverso uno specifico sistema di drenaggio e con l'utilizzo di pompe.

4.1.9 Metodologie e accorgimenti tecnici da adottare per la salvaguardia ambientale in fase di costruzione delle opere

Vengono di seguito illustrate le metodologie da adottare per salvaguardare il contesto ambientale interessato dal tracciato in progetto.

Relativamente ai tratti ove è prevista la posa della condotta con metodologia "open cut", in particolare tra la pk 3+590 e 3+780 e tra le pk 6+875 e 8+425, sulla base di quanto esposto e

dagli esiti delle modellazioni eseguite, risulta confermata la piena fattibilità dell'intervento e l'assenza di pratiche problematiche.

Per quanto concerne la realizzazione della T.O.C. (pk 3+780 - 4+450), si propone di utilizzare idonei fluidi di perforazione, al fine di scongiurare i rischi di inquinamento dell'ambiente idrico sotterraneo (vedi par. 4.1.10).

Per quanto riguarda il tratto in percorrenza stradale con manufatto di protezione (cunicolo), tra la pk 4+450 e la pk 6+875, si suggerisce di eseguire i lavori tenendo conto di eventuali fenomeni di instabilità delle pareti di scavo e di operare all'interno di quest'ultimo in condizioni asciutte, per evitare fenomeni di interazione con le acque circostanti la trincea di scavo. Inoltre, in questo tratto, la fascia lavori dovrà essere confinata al solo sedime carrabile del rilevato (Figura 4-P), in quanto le scarpate arginali dello stesso risultano caratterizzate da specie floristico-vegetazionali di pregio (vedi approfondimenti in par. 5.3.2).

In sintesi, si propongono alcune metodologie di intervento atte a garantire:

- la stabilità delle pareti di scavo;
- l'integrità strutturale del rilevato stradale;
- l'assenza di acqua all'interno della trincea di scavo e di interazione con il regime delle acque sotterranee.

4.1.10 Accorgimenti tecnici per i fluidi di perforazione della T.O.C.

Nell'ambito della metodologia T.O.C., i fluidi di perforazione hanno una notevole importanza in quanto devono assolvere contemporaneamente alle seguenti funzioni:

- asportazione dei detriti dal foro e loro trasporto a giorno, sfruttando le caratteristiche reologiche dei materiali;
- raffreddamento e lubrificazione del sistema di scavo;
- contenimento dei fluidi presenti nelle formazioni perforate, ad opera della pressione idrostatica;
- consolidamento delle pareti tramite la formazione di un pannello rivestente il foro;
- funzionamento del motore down-hole che sfrutta l'energia idraulica dei fanghi per azionare lo scalpello rotante.

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico) si potrebbe prevedere, in alternativa ai consueti fanghi bentonitici l'utilizzo di **polimeri naturali biodegradabili liquidi** con alto potere coesivo ed alta fluidità con caratteristiche di riduttori di filtrato.

Tali polimeri consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che potrebbero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione.

4.1.11 Percorrenza rilevato stradale stagno di Cagliari - Opere provvisionali per sostegno delle pareti della trincea di scavo

In tale tratta si prevede di proteggere la condotta con idoneo tubo di protezione o cunicolo in cls. Tale soluzione consente di ridurre la copertura della condotta a soli 50 cm e di conseguenza anche la profondità della trincea di scavo, che considerato il diametro della tubazione (650 mm) si attesterà alla profondità di circa 1.50 m dal p.c. (vedi sezione in Figura 4-P e 4-Q).
Come accennato, in funzione delle caratteristiche geotecniche locali dei terreni di riporto, si potrà valutare la possibilità di adoperare fronti di scarpata con pendenze variabili tra 3/2 e 4/3.
In alternativa, qualora le caratteristiche geotecniche del terreno non diano sufficiente garanzia di stabilità in relazione alla pendenza delle scarpate prescelte, si provvederà all'applicazione di idonee armature di sostegno al fine di minimizzare i seguenti fattori di rischio (vedi Figura 4-R):

- avere resistenza tale da opporsi, senza deformazioni o fratture alla pressione esercitata dal terreno sulle pareti di scavo;
- sopportare, senza deformazioni, la pressione del terreno, carichi asimmetrici del terreno dovuti alle strutture adiacenti o carichi addizionali (attrezzature traffico, materiale di stoccaggio).

Le tavole di rivestimento delle pareti dovranno sporgere dai bordi degli scavi di almeno 30 centimetri.
Considerata la natura prevedibile dei terreni di riporto in cui avverrà lo scavo, si potrà valutare anche l'impiego di sistemi di blindaggio del tipo a pannelli di acciaio infissi a pressione alloggiati su coppie di binari guida collegati tra loro da puntoni di irrigidimento regolabili.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

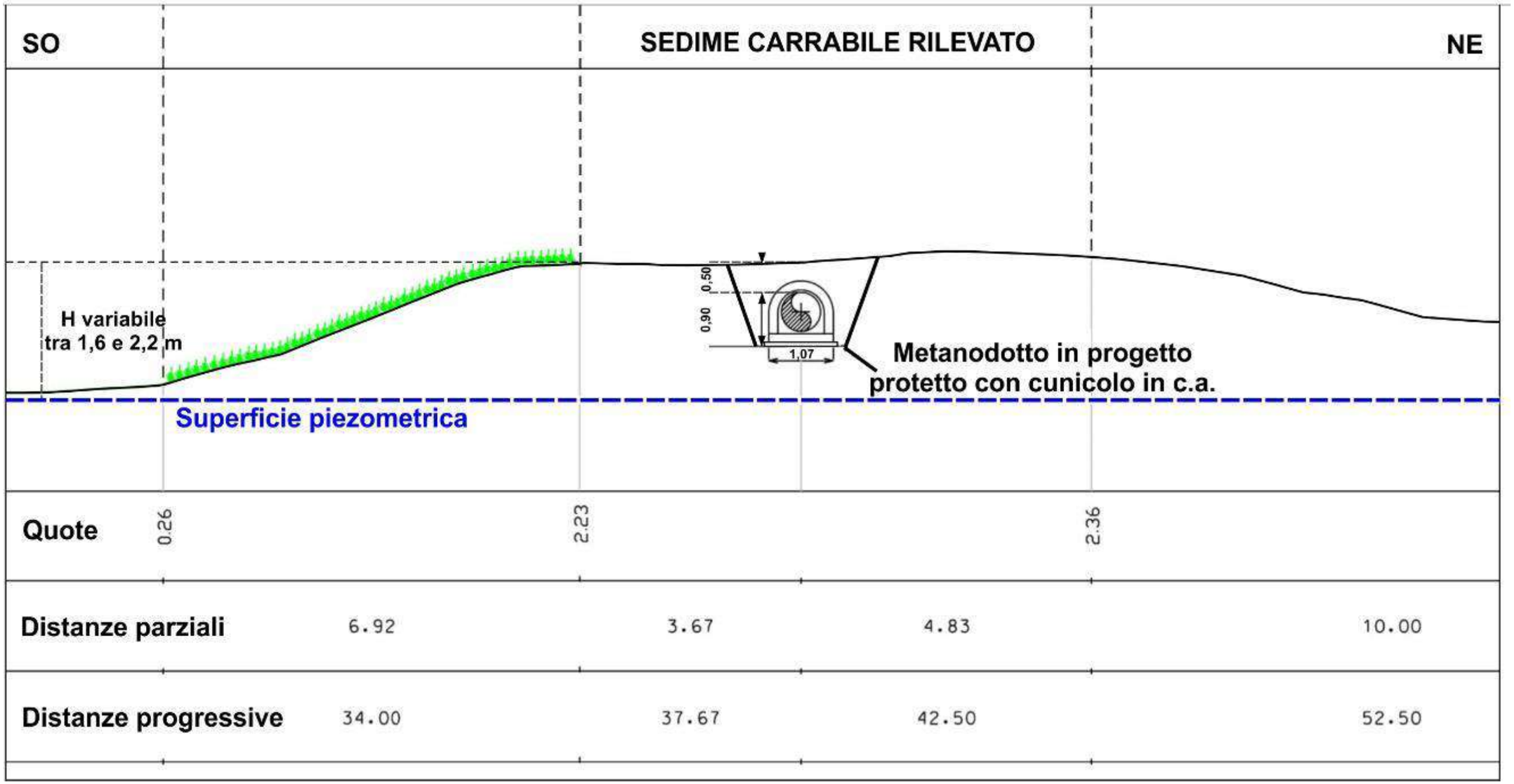


Figura 4-P. Sezione trasversale del tratto in percorrenza stradale - Stagno di Cagliari – pk 4+580

(dati altimetrici da DTM 1x1 m).

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

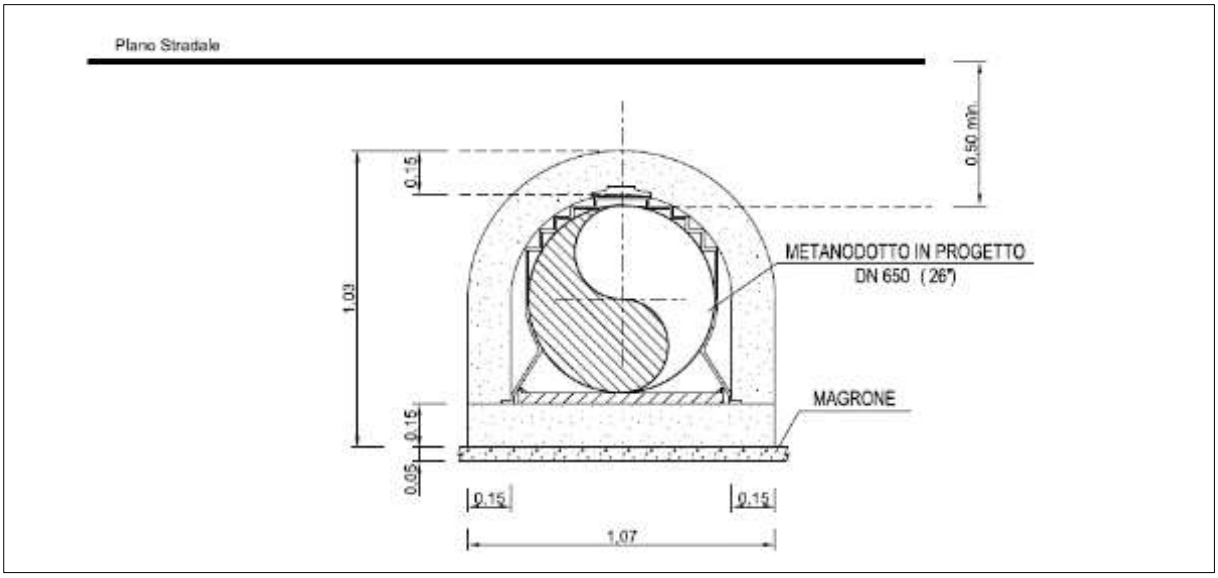


Figura 4-Q. Particolare cunicolo in c.a.

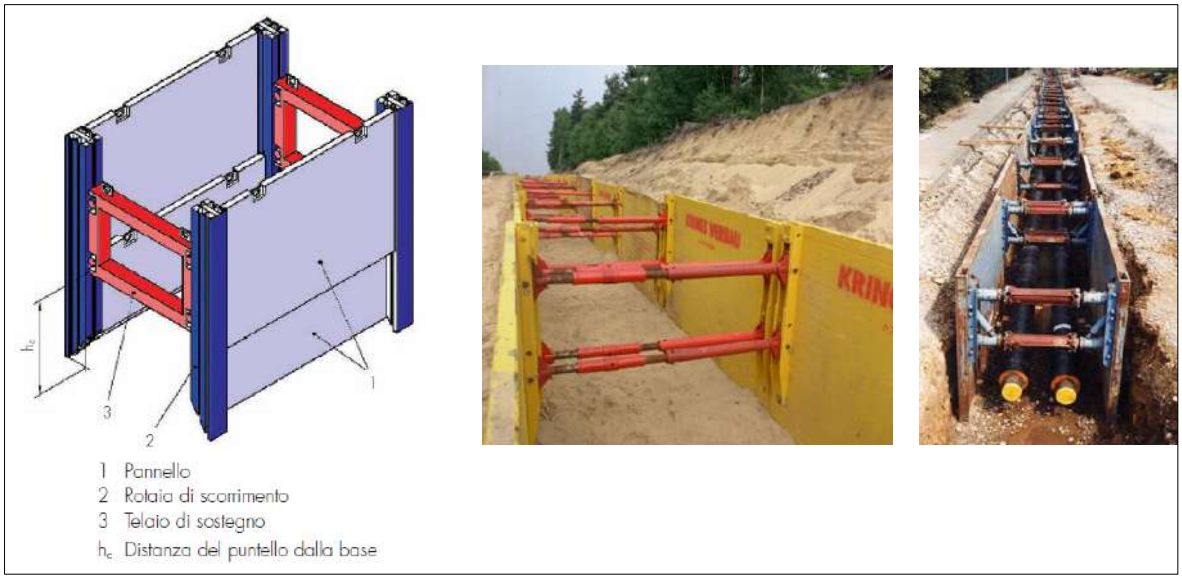


Figura 4-R. Opere provvisionali - sbadacchiature con legname e sistemi di puntellazione per scavi

4.1.12 Utilizzo di pompe per aggottamento dell'acqua nella trincea di scavo in presenza di falda

L'acqua può essere intercettata direttamente nello scavo o drenata prima, mediante utilizzo di motopompe con bocca aspirante di numero e prevalenza stabiliti in base alle portate da emungere.
Al fine di preservare l'area circostante, ove insiste lo stagno di Cagliari, l'acqua aggottata dalla trincea di scavo sarà stoccata al di fuori dell'area SIC in vasche di decantazione e/o idonei serbatoi atti al deposito dei sedimenti e saranno successivamente caratterizzati e gestiti secondo la normativa vigente (scarico in acque superficiali previa autorizzazione e/o conferimento in idonei impianti).

4.2 Interazioni delle opere in progetto con il sistema floristico-vegetazionale

In questo paragrafo vengono sinteticamente descritte le specie floristiche oggetto di tutela presenti nell'area oggetto di intervento (parte del SIC IT B040023 Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu e Laguna Santa Gilla e ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari) e che dovranno essere debitamente salvaguardate durante l'esecuzione dei lavori.
In particolare, le specie critiche d'interesse floristico-vegetazionale, fitogeografico ed endemismi, sono:
-Limonium retirameum;
-Limonium dubiu;
-Limonium glomeratum;
-Magydaris pastinacea;
-Asparagus stipularis;
-Halocnemum strobilaceum.

Per maggiori approfondimenti sulle specie floristico-vegetazionali sopra elencate si rimanda all'elaborato Studio di Incidenza Ambientale RE-AMB-003_r1.
Al fine di scongiurare gli impatti che la realizzazione delle opere potrebbero comportare alle suddette specie floristico-vegetazionali, fitogeografiche ed endemiche, la fascia lavori per la posa della condotta nel tratto in percorrenza stradale (cunicolo rilevato CACIP) dovrà essere confinata alla sola superficie corrispondente al sedime carrabile del rilevato arginale (v. par. 5.3.2). I lavori relativi alla posa della condotta nel tratto in T.O.C. interesseranno solamente il sottosuolo, con l'evidente vantaggio di non interferire con la flora presente in superficie. Particolare attenzione va posta solamente al tratto da utilizzare come pista di varo (vedi par. 5.2.4), la cui superficie (corrispondente ai primi 400 metri del tratto in percorrenza stradale) dovrà anch'essa essere limitata al sedime carrabile del rilevato.

4.3 Interazioni delle opere in progetto con il sistema faunistico

Nella presente sezione vengono descritte le prescrizioni progettuali che verranno introdotte al fine di orientare gli interventi verso la minimizzazione degli impatti che le opere in progetto potrebbero comportare al sistema faunistico. In particolare, tali prescrizioni sono mirate a contenere e ridurre i fattori di criticità emersi nel corso della valutazione delle incidenze a carico di habitat e specie tutelate dei SIC e delle ZPS (per approfondimenti v. elaborato RE-AMB-003_r1).

4.3.1 Prescrizioni a tutela degli habitat di interesse comunitario

Questa prescrizione riguarda i siti IT B040023 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu e Laguna Santa Gilla e ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari.
Si propone di intensificare le attenzioni nei confronti degli habitat tutelati posti a fregio del tracciato. Segnatamente, l'ambito in questione è il tratto di tracciato compreso tra lo Stagno di S. Gilla, i bacini di evaporazione e la zona industriale di Macchiareddu.
Gli habitat di interesse comunitario vengono lambiti dal tracciato, ma non è prevista una loro perdita apprezzabile di superficie in seguito allo scavo in quanto questo verrà contenuto entro l'ampiezza del sedime carrabile del rilevato arginale. Inoltre nessuno tra gli habitat di interesse comunitario interessati è prioritario; infine, si tratta di habitat molto ben rappresentati nell'ambito del complesso SIC – ZPS. Per questi motivi le interferenze sugli habitat sono state valutate di entità bassa.
Tuttavia, ai fini di una tutela ancora più incisiva, viene prescritto che prima dell'inizio delle attività di cantiere vengano marcati da un esperto botanico con opportuni elementi segnaletici tutti i siti connotati da particolare vulnerabilità in quanto ospitanti comunità vegetali particolarmente pregiate oppure aggruppamenti di elementi floristici rari o comunque di interesse conservazionistico. I lavori dovranno tenere accuratamente conto della necessità di prestare una particolarissima attenzione al mantenimento dell'integrità di questi siti circoscritti, finanche in casi eccezionali provvedere alla traslocazione e ripiantumazione degli elementi stessi qualora si rendesse assolutamente necessaria l'occupazione spaziale dei siti da essi occupati.
Grazie a questo provvedimento mitigatorio, l'interferenza sugli habitat di interesse comunitario nel SIC e nella ZPS in questione passa da "bassa" a "molto bassa".

4.3.2 Misure di mitigazione degli impatti sulla fauna: controllo della trincea

Anche questa prescrizione riguarda i siti IT B040023 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu e Laguna Santa Gilla e ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari. Si propone di evitare perdite accidentali di esemplari di tartarughe (ma anche di altri piccoli animali con scarsa vagilità) a causa della loro caduta e intrappolamento nella trincea aperta.
Nonostante tutti gli accorgimenti tecnici è possibile che nella trincea cadano esemplari di tartarughe o di altre specie vi rimangano intrappolati. Questi animali andranno catturati e traslocati. La trincea va ispezionata al mattino presto per individuare eventuali animali intrappolati. In caso di rinvenimento di animali vanno evitati rumori e bruschi movimenti e si deve cercare di indirizzarli verso le rampe di uscita o in un luogo dove sia più agevole la loro cattura. Per tartarughe d'acqua e testuggini terrestri non vi sono problemi particolari di cattura e traslocazione. Grazie a questo provvedimento mitigatorio, l'interferenza sugli habitat di interesse comunitario nel SIC e nella ZPS in questione passa da "bassa" a "molto bassa".

4.3.3 Misure di mitigazione degli impatti sulla fauna: esclusione dei periodi di maggior presenza ornitica dal calendario della fase di cantiere

Questa prescrizione riguarda i siti IT B040023 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu e Laguna Santa Gilla e ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari.
Come precedentemente riportato, le attività della fase di cantiere costituiscono una sorgente di disturbo temporaneo per la fauna selvatica, che potrebbe interferire negativamente con le abituali modalità di una frazione significativa delle specie presenti, in particolar modo in riferimento all'avifauna. La misura di mitigazione individuata consiste nell'escludere dal calendario della fase di cantiere i periodi dell'anno nei quali i siti in oggetto esplicano le loro massime funzioni di habitat nei confronti della fauna selvatica.
Gli elementi "ombrello" che sono presi in considerazione in ragione della loro sensibilità sono i seguenti:

<u>Avifauna svernante.</u>
I siti di maggiore importanza in qualità di aree di svernamento per l'avifauna coincidono con gli ambienti umidi delle aree protette;
aree limitrofe al tratto di tracciato da km 3,780 a km 6,875 nel complesso di Siti natura 2000 presso Cagliari (ITB040023 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla - ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari);

La calendarizzazione risulta quindi come da tabella seguente:

Elemento sensibile	Localizzazione	Periodo di esclusione	Periodo di cantiere
Avifauna svernante	aree limitrofe al tratto di tracciato da km 3,780 a km 6,875 nel complesso di Siti natura 2000 presso Cagliari (ITB040023 SIC Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla - ITB044003 ZPS Stagno di Cagliari);	Dicembre, gennaio. Secondariamente novembre e febbraio	Marzo, aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre, ottobre Secondariamente novembre e febbraio

4.4 Scenari di inquinamento acustico

In linea generale, per quanto riguarda le emissioni di rumore, durante la fase di realizzazione del metanodotto sono da considerare sia la fase di scavo che la posa in opera della condotta, sia la realizzazione delle altre infrastrutture connesse al trasporto del gas. Il rumore nella fase di cantiere potrà verificarsi in un lasso temporale di alcuni mesi, ma in maniera non continuativa. Le sorgenti di rumore principali sono le macchine operatrici del cantiere, quali escavatori, ruspe, camion, ecc.
Nell'ambito del SIC e della ZPS, la realizzazione di attività di cantiere in ambiente prevalentemente aperto, senza quindi elementi naturali capaci di attutire e abbattere parzialmente le emissioni, potrebbe comportare un "inquinamento" acustico di livello non trascurabile ai lati del tracciato, che potrebbe interferire con le componenti faunistiche entro una distanza di parecchie decine di metri, fino a 2-300 metri.
Tuttavia, tali disturbi potranno essere scongiurati concentrando le attività di cantiere nell'intervallo temporale sopra indicato (v. anche cronoprogramma, Annesso 1A) rendendo la realizzazione delle opere compatibile con le finalità di tutela dei Siti natura 2000;
Per la fase di esercizio invece non è prevista alcuna emissione di rumore.

5 ORGANIZZAZIONE LAVORI – CRONOPROGRAMMA

L'attraversamento del Sito di Importanza Comunitaria (SIC) dello Stagno di Cagliari delle Saline di Macchiareddu e della Laguna Santa Gilla prevede la posa in "trenchless" con controllo direzionale al di sotto della strada statale SS 195 Sulcitana e la percorrenza in cunicolo di un tratto di rilevato stradale di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP).

Il ricorso ad opere speciali basate su tecnologie "trenchless" consente la realizzazione della linea senza interferenza diretta con l'assetto superficiale del territorio; può, quindi, costituire la soluzione per l'attraversamento di aree a particolare sensibilità ambientale.

Sia la posa mediante T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata) che la realizzazione di un manufatto di protezione (cunicolo) sono funzionali alla limitazione degli scavi e di conseguenza alla salvaguardia del contesto ambientale in cui la condotta si inserisce. Infatti, la trenchless non prevede esecuzioni di scavi a cielo aperto, ed il cunicolo permette di ridurre le coperture (e quindi gli scavi) imposti dalle disposizioni normative in materia di sicurezza nell'ambito del trasporto di gas naturale.

È da evidenziare che, data la valenza del SIC, le aree di cantiere risultano notevolmente contenute e le lavorazioni seguiranno uno sviluppo temporale che tenga conto delle vulnerabilità specifiche del sito che ospita una fauna e una flora ricchissime: la laguna, e in particolare le saline, sono uno dei due unici siti di nidificazione sardi del Fenicottero rosa.

5.1 Organizzazione del cantiere

Generalmente le operazioni di scavo della trincea e di montaggio della condotta richiedono l'apertura della pista di lavoro, che deve risultare il più continua possibile ed avere una larghezza tale da consentire l'esecuzione ed il transito dei mezzi di servizio e di soccorso. In condizioni di salvaguardia ambientale la pista di lavoro assume carattere particolare e le dimensioni sono ridotte in virtù delle aree di vulnerabilità rilevate.

Nella fattispecie di attraversamento di aree protette la larghezza della pista di lavoro sarà ridotta, e confinata al sedime carrabile senza intaccarne le aree esterne per la presenza di specie e habitat rari e minacciati.

Per tale ragione le lavorazioni sono suddivise in due distinte aree di lavoro corrispondenti ad altrettante fasi di lavorazione (vedi Figura 5-A):

1) Posa del tratto in trenchless (trivellazione orizzontale controllata) – Fase 1
2) Posa del tratto in cunicolo al di sotto del rilevato arginale – Fase 2

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

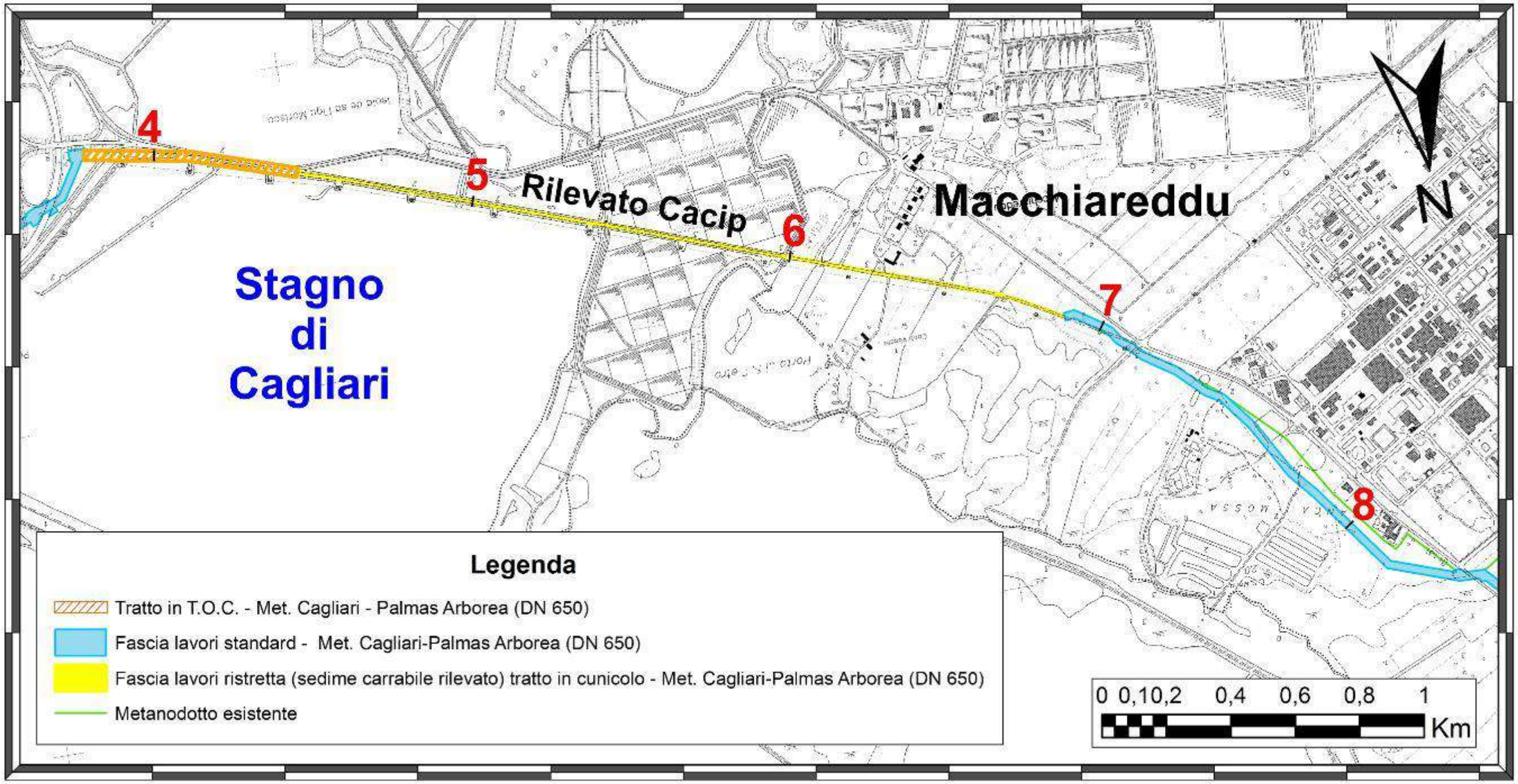


Figura 5-A. Planimetria generale delle aree di cantiere previste nel tratto compreso tra le pk 3+590 e 8+425.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

5.2 T.O.C.

La Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) è una tecnica di trivellazione con controllo attivo della traiettoria per la posa del gasdotto senza necessità di aprire la trincea di scavo.

La tecnica prevede la creazione di un foro pilota mediante l'introduzione da una postazione di ingresso di una colonna di aste con una lancia di perforazione posta in testa, che vengono guidate nella direzione e alla quota di progetto.

La testa raggiunge il punto di arrivo dove viene collegata ad un utensile alesatore che ha la funzione di allargamento del foro, fino ad arrivare ad un diametro circa pari al 20-30% in più della dimensione del tubo da posare. Dal pozzo di ingresso viene quindi ritirata e smontata l'intera colonna, che trascina con sé la nuova tubazione già predisposta e sistemata su guide e carrelli lungo la strada del rilevato.

Essa viene agganciata all'alesatore stesso e viene trainata fino ad occupare l'intera lunghezza della perforazione.

L'impianto di perforazione "Rig", è costituito da una rampa inclinata sulla quale trasla un carrello mobile avente la funzione di trasmettere la rotazione e la spinta alle aste. La perforazione viene svolta a "umido", l'avanzamento della testa fresante è coadiuvato da un getto fluido costituito principalmente da fango bentonitico.

Le principali fasi di lavorazione per la realizzazione possono essere così riassunte:

- apertura della pista di lavoro per l'allestimento della colonna di varo;
- sistemazione e regolarizzazione del piano dell'area di cantiere;
- installazione delle apparecchiature di trivellazione e pompaggio;
- installazione del sistema di guida della testa della trivellazione;
- sfilamento e posizionamento sul rilevato (CACIP) delle tubazioni da posare;
- pulizia interna ed esterna dei tubi, verifica e preparazione delle testate;
- taglio e successiva intestatura delle estremità dei tubi;
- accoppiamento e saldatura elettrica delle tubazioni,
- controlli non distruttivi delle saldature;
- riempimento della condotta per il pre-collaudo idraulico;
- svuotamento della condotta, a collaudo ultimato, mediante aria fino a completa pulizia;
- preparazione delle superfici da rivestire e rivestimento dei giunti saldati;
- controllo dell'integrità del rivestimento e riparazione dei relativi difetti;
- esecuzione del foro pilota;
- alesaggio di allargamento del perforo;
- varo della condotta;
- esecuzione dei collegamenti dei tronchi di condotta di valle e di monte (tie-in);

- installazione dei punti di protezione catodica;
- esecuzione dei ripristini di tutte le aree di lavoro e di cantiere compreso l'eventuale smaltimento dei fanghi bentonitici.

5.2.1 Esecuzione del foro pilota e controllo direzionale

Il foro pilota viene realizzato facendo avanzare la batteria di aste pilota con in testa una lancia a getti di fango bentonitico biodegradabile che consente il taglio del terreno (jetting).

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico e comunque di entità molto limitata) si prevederà l'utilizzo di miscele bentonitiche (fango di perforazione) additivate con polimeri biodegradabili con alto potere coesivo ed alta fluidità con caratteristiche di riduttori di filtrato.

Questi accorgimenti consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che dovessero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione lungo l'asse di trivellazione.

La lancia a getti di fango bentonitico, consiste in una asta che presenta una deviazione di circa 1° e dispone di due ugelli, uno centrale rispetto alla testa e l'altro, eccentrico, in asse con la deviazione.

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida con quella desiderata (asse trivellazione).

Il tracciato del foro pilota sarà controllato durante la trivellazione da frequenti letture dell'inclinazione e dell'azimut all'estremità della testa di perforazione. Queste letture, unite ai dati relativi alla lunghezza delle aste di trivellazione già installate, saranno utilizzate per calcolare le coordinate orizzontali e verticali dell'estremità di testa rapportate al punto di inizio della trivellazione.

Di norma le misurazioni della posizione saranno eseguite ad ogni giunto del tubo pilota (circa 9-10 metri) e riportate sul disegno di progetto del profilo, in modo da avere un riscontro immediato delle eventuali deviazioni. Qualora si evidenziassero delle discordanze, l'asta pilota verrà ritirata per una lunghezza tale da permettere la correzione necessaria. Periodicamente durante la trivellazione del foro pilota, un tubo guida verrà fatto ruotare ed avanzare in modo concentrico sopra l'asta di perforazione pilota. Il tubo guida eviterà il bloccaggio dell'asta pilota, ridurrà gli attriti permettendo di orientare senza difficoltà l'asta di perforazione, e faciliterà il trasposto verso la superficie dei materiali di scavo. Esso, inoltre, manterrà aperto il foro, nel caso di necessità di ritiro dell'asta pilota.

Il foro pilota sarà completato quando sia l'asta pilota che il tubo guida fuoriusciranno alla superficie sul lato opposto al Rig. L'asta pilota è quindi ritirata, lasciando il tubo guida lungo il profilo di progetto (Figura 5-B).

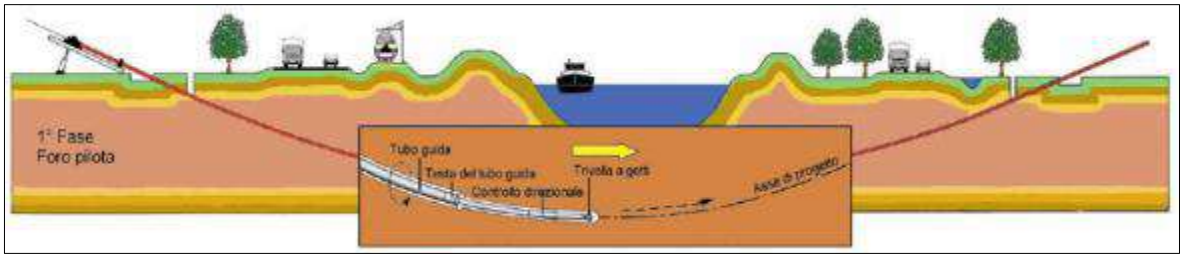


Figura 5-B. Esecuzione del foro pilota

5.2.2 Alesaggio del foro pilota e tiro-posa della condotta

Questa fase consisterà nell'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore. Tale operazione potrà essere eseguita prima del tiro-posa della condotta o contemporaneamente ad esso. Nel caso di pre-alesatura, la fresa ed i relativi accessori verranno fissati al tubo guida nel punto di uscita. Quindi la fresa verrà fatta ruotare e contemporaneamente tirata dal Rig di perforazione, allargando in questo modo il foro pilota. Contestualmente all'avanzamento della testa fresante, dietro di essa verranno assemblate nuove aste di tubo guida per garantire la continuità di collegamento all'interno del foro (Figure 5-C e 5-D).

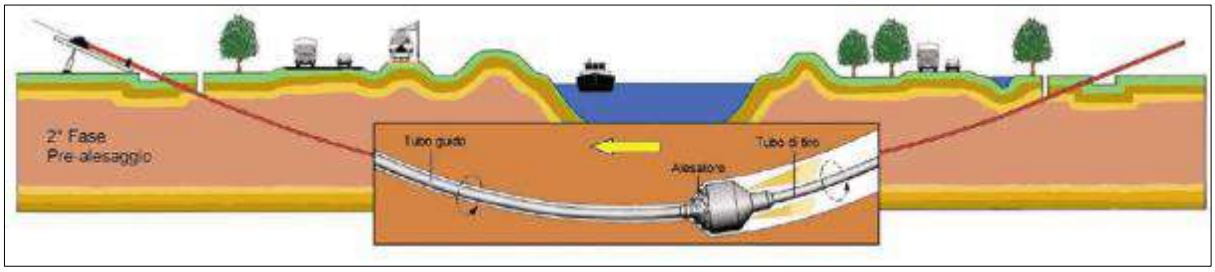


Figura 5-C. Alesaggio del foro

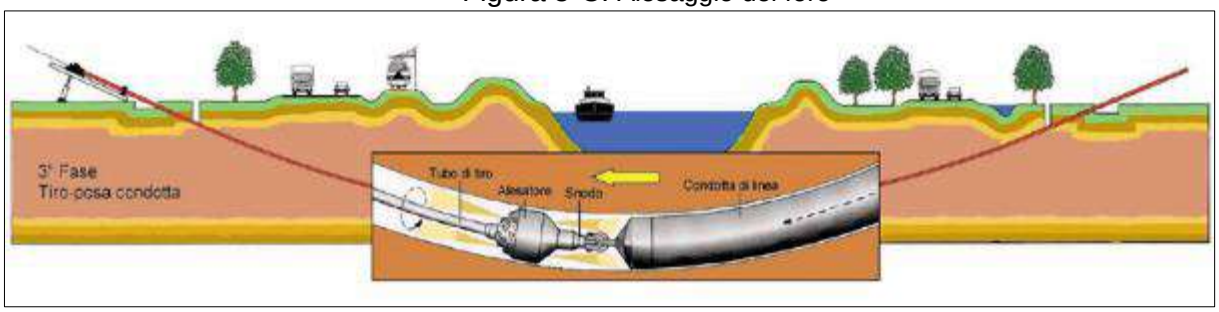


Figura 5-D. Varo della condotta

5.2.3 Attrezzature di perforazione e tiro-posa

L'insieme del cantiere di perforazione è costituito dal Rig vero e proprio, dall'unità di produzione dell'energia, dalla cabina di comando, dall'unità fanghi, dall'unità approvvigionamento idrico, dall'unità officina e ricambi, dalla trivella, dalle aste pilota, dalle aste di tubo guida, dalle attrezzature di alesaggio e tiro-posa e da una gru di servizio.

Tutte queste attrezzature saranno assemblate ed immagazzinate in container in modo da essere facilmente trasportabili su strada "in sagoma".

Nel seguito si riporta una descrizione sommaria delle attrezzature e unità comunemente utilizzate:

a) Rig

Il Rig è costituito da una torre di perforazione posta su di un piano inclinato (slittone). Su di esso, trasla il carrello di perforazione completo con il motore idraulico che permette la rotazione del mandrino. Le aste di perforazione vengono installate sul mandrino e il loro montaggio e smontaggio viene eseguito con morse idrauliche;

b) Cabina di comando

Nella cabina di comando si trovano tutti i dispositivi per manovrare il Rig e le altre attrezzature.

c) Unità generatore di energia

L'unità di produzione dell'energia necessaria al funzionamento dell'impianto è generalmente costituita da una serie di motori elettrici o a scoppio che producono energia idraulica. Questa energia viene trasmessa al Rig tramite la cabina di comando e serve per la traslazione del carrello e la perforazione del carrello.

d) Unità fanghi

Questa unità è costituita da una vasca, in cui vengono preparati i fanghi di perforazione per mezzo di una tramoggia venturi e di miscelatori; tramite pompe sommerse comandate dall'operatore i fanghi vengono immessi nel circuito. Gli stessi fanghi possono essere riciclati per una successiva utilizzazione grazie ad appositi filtraggi. La raccolta dei fluidi sarà realizzata mediante scavo nel terreno di vasche opportunamente impermeabilizzate.

e) Unità approvvigionamento idrico

È costituita generalmente da una pompa sommersa ubicata nel corso d'acqua da attraversare. Tramite dei tubi flessibili (manichette) invia l'acqua necessaria alla preparazione dei fanghi alla vasca di miscelazione.

f) Trivella

Per la trivellazione del foro pilota vengono utilizzate due tipi di trivelle, una a getti ed una a motore a fanghi.

La trivella a getti è sostanzialmente un'asta di trivellazione con due fori sulla testa, uno centrale e l'altro eccentrico. La bentonite in pressione, fuoriuscendo dai fori esercita un'azione di scavo nel terreno.

La trivella con motore a fanghi è costituita da una turbina, azionata dai fanghi in pressione, che imprime una rotazione ad uno scalpello posto sulla testa; i fanghi fuoriescono poi da un foro posto sullo scalpello. Gli scalpelli possono essere di diversi tipi a seconda delle condizioni di terreno incontrate. Questa trivella si completa con la scarpa direzionale, che è un ringrosso eccentrico dell'asta di perforazione posizionato a circa 1 metro dalla testa.

g) Aste pilota

Le aste pilota comunemente usate sono normali aste di trivellazione da 2" 7/8. A seconda del sistema direzionale impiegato le aste possono essere dotate di giunti conici o cilindrici.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

Le aste di trivellazione ubicate proprio dietro la trivella sono in materiale amagnetico per non influenzare il sistema di controllo direzionale; queste aste sono fragili e si richiede molta cautela nel maneggiarle.

In alcuni tipi di terreno è necessario l'utilizzo di un'asta pilota più resistente e sul mercato sono disponibili aste per tubo pilota da circa 5" 13/7 e oltre. Questi ultimi possono essere impiegati per la trivellazione di terreni molto compatti e di roccia tenera.

h) Tubo guida

II tubo guida è costituito da aste di perforazione standard da 5" che soddisfano la maggioranza delle esigenze di tiro. In caso necessiti uno sforzo di tiro superiore alla norma, vengono utilizzate, nelle fasi più critiche aste rinforzate.

Nel caso le aste sopra descritte non sopportino lo sforzo di tiro oppure servano grosse quantità di bentonite, si possono utilizzare aste da 7" o più.

l) Attrezzature alesaggio tiro-posa

Queste attrezzature cambiano da ditta a ditta in base alle esperienze degli operatori, ai brevetti che le tutelano e ai terreni da attraversare.

m) Alesatore

L'alesatore classico è formato da una corona dentata su cui sono posti da sei a nove ugelli per l'uscita dei fanghi e una quantità variabile di taglienti. Detti taglienti generalmente sono posizionati a gruppi di 3 o 5 e possono avere diverse caratteristiche meccaniche.

n) Fresa a Barilotto

La fresa a barilotto o barrel reamer è costituita da un cilindro bombato e dentato alle estremità completo con i soliti ugelli. Questo alesatore è molto utile se usato in coppia con il precedente, perché permette di mantenere sempre centrata la fresa rispetto al foro.

o) Snodo

Lo snodo/swivel è indispensabile per evitare che la condotta ruoti durante l'operazione di tiro-posa. Viene interposto tra la fresa e la condotta. Generalmente è costituito da un reggispinta autolubrificante con un cuscinetto in teflon o rulli. È indispensabile mantenere integro questo snodo per evitare il bloccaggio della condotta durante il tiro-posa.

5.2.4 Montaggio della condotta

Sulla parte opposta a quella dove sarà posizionato il Rig verrà eseguito la prefabbricazione della colonna di varo.

La condotta verrà assemblata e disposta secondo due distinte stringhe di varo disposte lungo la strada che costituisce il rilevato arginale e alloggiata su appositi rulli che ne favoriscono l'ingresso in foro (Figura 5-E).

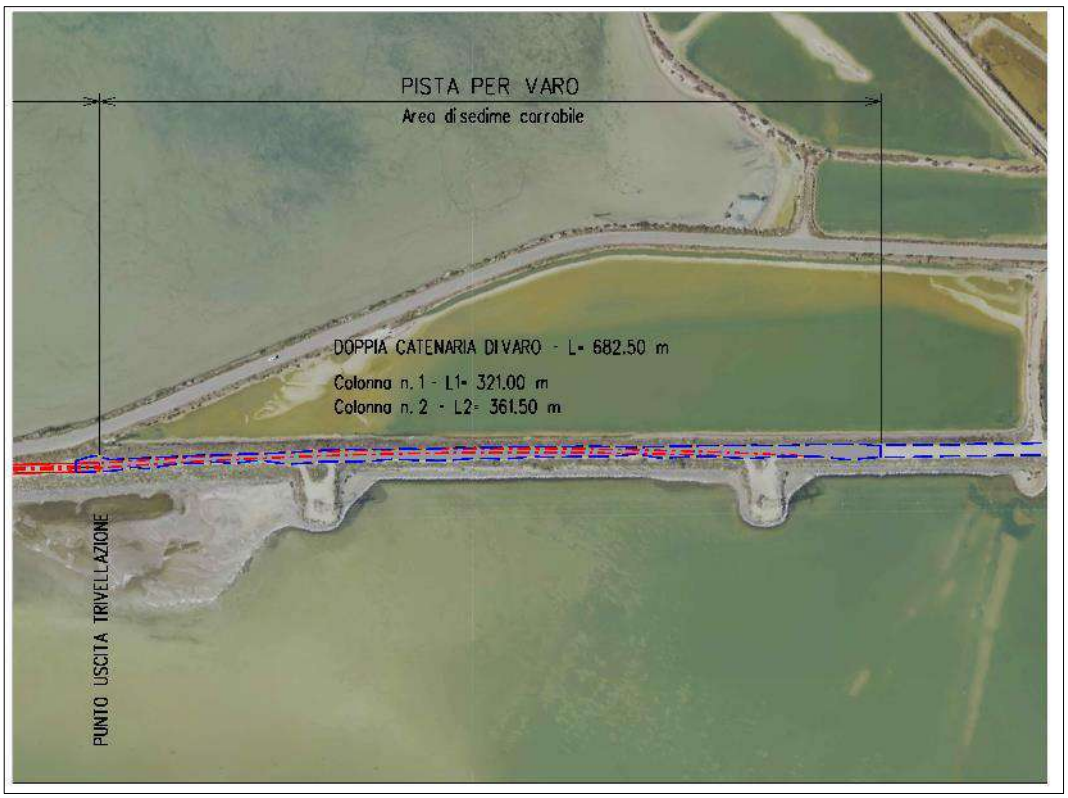


Figura 5-E. Ubicazione pista per varo della condotta (area di sedime carrabile)

A saldatura completata verranno eseguiti i controlli non distruttivi delle saldature (radiografie) e successivamente si provvederà al rivestimento dei giunti di saldatura.

Ogni colonna, prima del tiro-posa, verrà pre-collaudata idraulicamente.

Per l'esecuzione del tiro-posa verrà predisposta una linea di scorrimento della colonna (rulli, e carrelli con contestuale sostentamento con mezzi d'opera).

Durante il varo, l'ingresso della condotta nel foro verrà facilitato, facendole assumere una catenaria predeterminata in base all'angolo d'ingresso nel terreno, al diametro ed al materiale della condotta; ciò permetterà di evitare sollecitazioni potenzialmente dannose sulla condotta da varare.

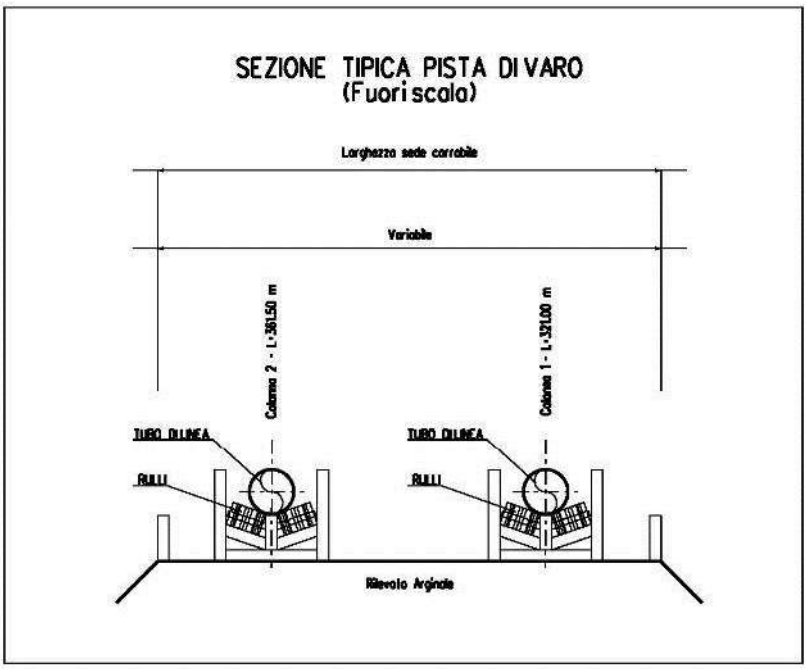


Figura 5-F. Sezione tipica della pista di varo della T.O.C.

5.2.5 Cronoprogramma

In virtù delle difficoltà realizzative legata alle dimensioni limitate delle aree di lavoro, unitamente alla morfologia ed al contesto geologico attraversato, per l'esecuzione della trivellazione direzionata sono richiesti 60 giorni utili consecutivi.

La T.O.C. viene realizzata con due piccoli cantieri, che operano contestualmente all'avanzamento della linea. Con questo metodo, la messa in opera della condotta comporta le seguenti operazioni:

Tabella 5-1 . Fasi di attività per la realizzazione del tratto in T.O.C.

FASE	Giorni
Preparazione aree e cantierizzazione	15
Impostazione dei macchinari e verifiche topografiche	6
Esecuzione del foro pilota	8
Alesaggio del preforo	16
Varo-posa della condotta	10
Demob e sistemazione delle aree	5

5.3 CUNICOLO

5.3.1 Realizzazione di infrastrutture provvisorie

Consiste nel livellamento di aree di deposito, previo scotico e accantonamento dell'humus superficiale, per lo stoccaggio delle tubazioni. Nella fattispecie saranno utilizzate le aree previste in progetto (Piazzole) indicate negli elaborati progettuali e localizzate al di fuori del SIC.

5.3.2 Apertura cantiere

Preliminarmente alle fasi di lavoro di seguito descritte, si renderà necessaria l'apertura di una fascia di lavoro denominata "area di passaggio" di larghezza tale da consentire il transito dei mezzi e l'esecuzione delle fasi di lavoro, nel rispetto del contesto ambientale in cui l'opera deve inserire.

In virtù delle misure di salvaguardia la fascia lavori da considerare è costituita esclusivamente dal piano viario del rilevato arginale che ospiterà il gasdotto, per cui si procederà a tratti limitati di scavo di trincea e di posa considerati gli ambiti ristretti di lavoro (Figura 5-G).

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

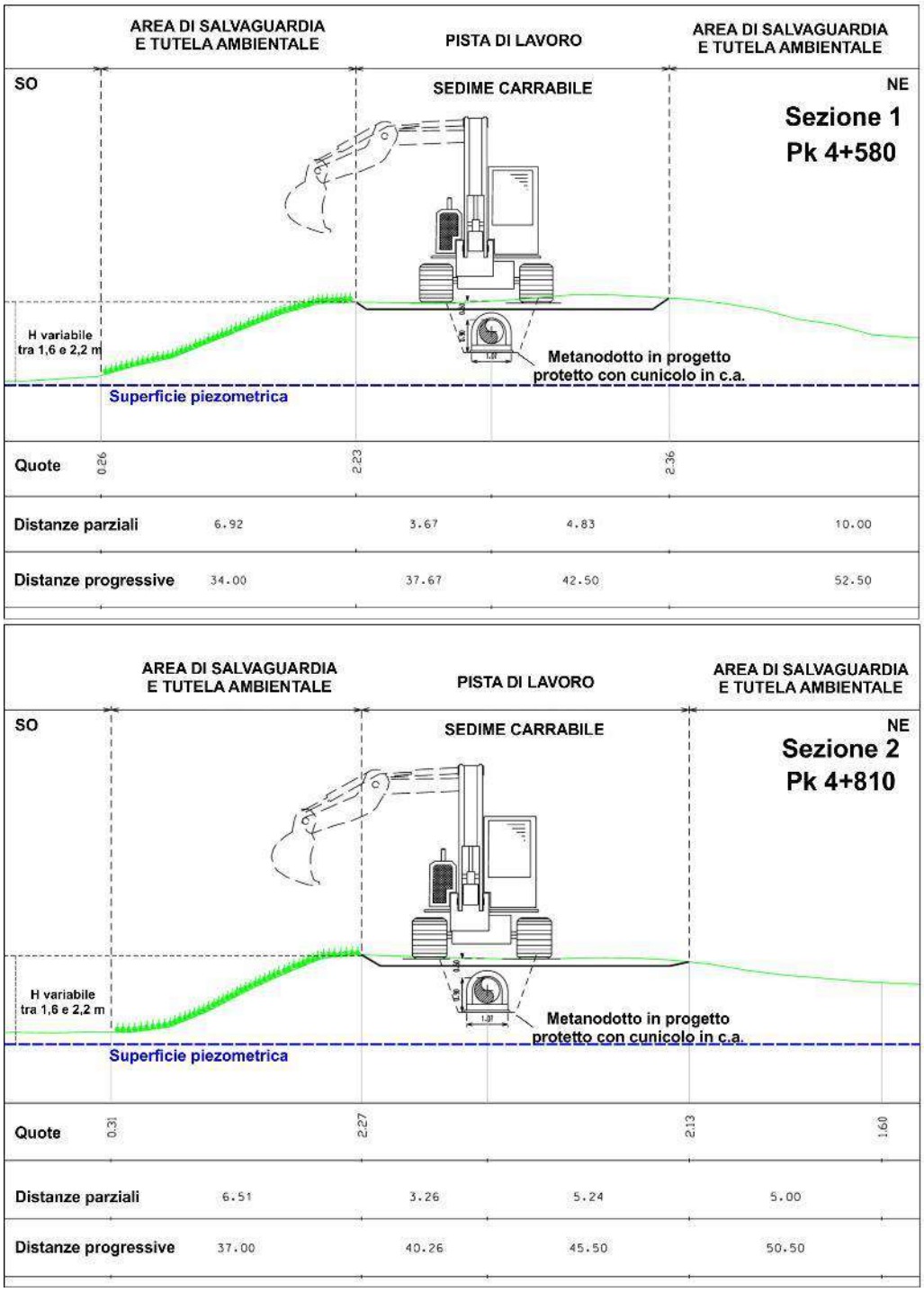


Figura 5-G. Sezioni trasversali del tratto in percorrenza stradale - Stagno di Cagliari (dati altimetrici da DTM 1x1 m)

In particolare si provvederà alla cantierizzazione per tratti limitati di 100 m, al fine di contenere i volumi di materiale di risulta e consentire al contempo alle imprese di eseguire le lavorazioni in condizioni di sicurezza.

Saranno così definite delle sottozone di avanzamento del cantiere (vedi planimetria) ciascuna caratterizzata da lavorazioni per 7 giorni al termine dei quali, rinterrata la condotta, si avanzerà al successivo tratto da posare (lunghezza pari a 100 m).

Le aree interessate dalla cantierizzazione precedente, potranno così essere utilizzate per lo sfilamento e la saldatura del nuovo tratto da posare.

In tale ottica saranno limitati gli scavi e le interferenze sul contesto ambientale di riferimento e le lavorazioni confinate in ambiti ristretti con la possibilità di interromperle nel caso in cui lo si ritenesse necessario per la salvaguardia di flora e fauna.

5.3.3 Sfilamento dei tubi lungo la fascia di lavoro

Consiste nel posizionamento delle barre lungo la fascia di lavoro mediante mezzi adeguati alla movimentazione, predisponendole testa a testa per la successiva fase di saldatura. Sarà utilizzata l'area di sedime stradale non interessata da scavi e prossima al tratto di metanodotto da posare.

5.3.4 Montaggio tubazione

Consiste nella saldatura delle barre, controlli non distruttivi mediante controllo radiografico, fasciatura dei giunti. L'operazione potrà essere svolta contemporaneamente alla fase di scavo, in maniera tale da avere già predisposto il tratto di condotta da porre in opera a fine del tratto scavato. E' inoltre contemplata la possibilità di effettuare le saldature all'interno dello scavo predisponendo opportune nicchie di lavoro in corrispondenza dei punti di accoppiamento.

5.3.5 Scavo della trincea

Verrà effettuato con mezzi idonei alle caratteristiche morfologiche e litologiche del terreno. Se necessario verrà effettuato l'aggottamento dell'acqua presente nello scavo mediante l'ausilio di cisterne auto spurgo e successiva caratterizzazione e gestione delle stesse secondo la normativa vigente. Se altresì necessario si provvederà al contenimento delle pareti laterali dello scavo mediante l'utilizzo di opere provvisionali tipo sbadacchiature, sistemi di puntellazione per scavi.

Il transito al di sopra delle aree di scavo o nelle immediate vicinanze sarà protetto mediante dissipatori di carico e lamiere per sovrappasso al fine di non generare delle situazioni di instabilità o criticità locali.

Il materiale di risulta dello scavo verrà depositato lateralmente, lungo la fascia di lavoro ove il rilevato arginale è sufficientemente ampio, per poi essere utilizzato nella fase successiva di rinterro.

Ove necessario il materiale sarà stoccato in apposite aree di deposito ("di occupazione temporanea"), previste in progetto e situate al di fuori del SIC.

5.3.6 Soletta di base in c.a.

Il cunicolo è costituito da una soletta di base e da un voltino posto a chiusura dopo l'alloggiamento della condotta. Il getto della soletta di base avverrà dopo il livellamento del fondo scavo e previa predisposizione dell'armatura. Il getto sarà eseguito con mezzi idonei alla dimensione della pista e programmati in modo da ridurre al minimo i tempi di attesa per la successiva lavorazione (per esempio si prevede il getto nel pomeriggio per sfruttare la notte per la maturazione del calcestruzzo).

5.3.7 Posa della condotta e voltino in c.a.

Una volta accertata la perfetta integrità della colonna saldata precedentemente predisposta, verrà posata sulla soletta di base mediante adeguati mezzi di sollevamento, se non si è proceduto con la saldatura e la radiografia già all'interno dello scavo.

Al di sopra della condotta verranno sovrapposte le canalette sagomate tali da creare una adeguata intercapedine tra la condotta e il voltino in calcestruzzo costituente il cunicolo.

5.3.8 Rinterro

Consiste nel ricoprire lo scavo con il materiale precedentemente scavato ed accantonato. Il rinterro sarà effettuato nella successione degli strati preesistenti, attraverso l'impiego di appositi mezzi per il movimento terra.

Alla fine dei lavori, tutto il tratto dovrà risultare ripristinato allo stato ante-operam.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

5.3.9 Cronoprogramma

Il cunicolo verrà realizzato considerando n. 25 sotto cantieri ciascuno con sviluppo lineare pari a 100 m e durata complessiva di 7 giorni lavorativi. In particolare per le fasi di cui ai punti precedenti:

Tabella 5-2. Fasi di attività per la realizzazione del tratto in cunicolo.

FASE DI ATTIVITA' PER SINGOLO CANTIERE (L =100 m)	Giorni
Realizzazione di infrastrutture provvisorie	1
Apertura cantiere	
Sfilamento dei tubi lungo la fascia di lavoro	1
Montaggio tubazione	2
Scavo della trincea	1
Soletta di base in c.a.	1
Posa della condotta e voltino in c.a.	1
Rinterro	

6 CONCLUSIONI

Il Metanodotto in progetto Cagliari-Palmas Arborea DN 650 (26”) – DP 75 bar, nel tratto compreso tra le progressive chilometriche 3+590 e 8+425 (ex pk 3+680 - 7+180 emissione VIA), attraversa il Sito di Importanza Comunitaria (SIC) dello Stagno di Cagliari, delle Saline di Macchiareddu e della Laguna Santa Gilla. All’interno di tale perimetrazione, dal km 4+035 fino al km 5+405, per una percorrenza pari a 1370 m, il tracciato in progetto interferisce con un’altra area di attenzione corrispondente alla Zona di Protezione Speciale (ZPS) denominata “Stagno di Cagliari”.

Dal punto di vista costruttivo, lungo il tratto compreso tra le progressive chilometriche 3+590 e 3+780, la realizzazione del metanodotto in progetto prevede uno scavo a cielo aperto (“open cut”), all’interno del quale la condotta si disporrà secondo una direttrice NE-SO. Procedendo in senso gas, in corrispondenza dell’intervallo chilometrico compreso tra le pk 3+780 e 4+450, la condotta in progetto attraversa in Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.) una strada di raccordo tra la SS 195 Sulcitana e la strada Saline Contivecchi, sviluppandosi in direzione SE-NO all’interno di un tratto di pertinenza del Consorzio Industriale Provinciale di Cagliari (CACIP). In quest’ultimo tratto, tra le progressive chilometriche 4+450 e 6+875, la condotta verrà collocata in cunicolo all’interno del corpo di un rilevato stradale esistente, per poi essere posata nuovamente con metodologia di scavo a cielo aperto dopo la pk 6+875.

Le scelte progettuali, relativamente alla metodologia di posa, si configurano come il miglior compromesso fra la necessità di allocare la condotta in corridoi di passaggio geologicamente idonei e la necessità di adottare opportune misure di salvaguardia per la tutela ambientale dell’ambito in cui l’opera si contestualizza.

Per tale ragione, è stato condotto uno studio particolareggiato per la costruzione delle opere, tenendo conto delle varie fasi che ne caratterizzano la rispettiva realizzazione e rapportando tali attività alle dinamiche naturali del sistema fisico circostante (ambiente idrico sotterraneo, sistema floristico-vegetazionale, sistema faunistico, ricettori acustici).

In particolare, relativamente ai tratti ove è prevista la posa della condotta con metodologia “open cut”, sulla base di quanto esposto e dagli esiti delle modellazioni eseguite, risulta confermata la piena fattibilità dell’intervento e l’assenza di problematiche geotecniche ed ambientali.

Per quanto concerne la realizzazione della T.O.C. (pk 3+780 - 4+450), questa metodologia presenta l’evidente vantaggio di non interferire con il sistema biotico (flora e fauna), essendo realizzata interamente in sottosuolo. Particolare attenzione va posta solamente al tratto da utilizzare come pista di varo la cui superficie (corrispondente ai primi 400 metri del tratto in percorrenza stradale) dovrà essere limitata al sedime carrabile del rilevato. Al fine di minimizzare le interferenze con le falde acquifere circostanti si potrebbe prevedere, in alternativa ai consueti fanghi bentonitici, l’utilizzo di polimeri naturali biodegradabili liquidi con alto potere coesivo ed alta fluidità, con caratteristiche di riduttori di filtrato. Tali polimeri consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che potrebbero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l’esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione. La raccolta dei fluidi di perforazione sarà realizzata al di fuori dell’area protetta, mediante scavo nel terreno di vasche opportunamente impermeabilizzate.

Per quanto riguarda il tratto in percorrenza stradale con manufatto di protezione (pk 4+450 - 6+875), la larghezza della pista di lavoro sarà ridotta e confinata al solo sedime carrabile senza intaccare le aree esterne per la presenza di specie e habitat rari e minacciati. Al fine di preservare l’area circostante, ove insiste lo stagno di Cagliari, l’acqua aggottata dalla trincea di scavo sarà

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

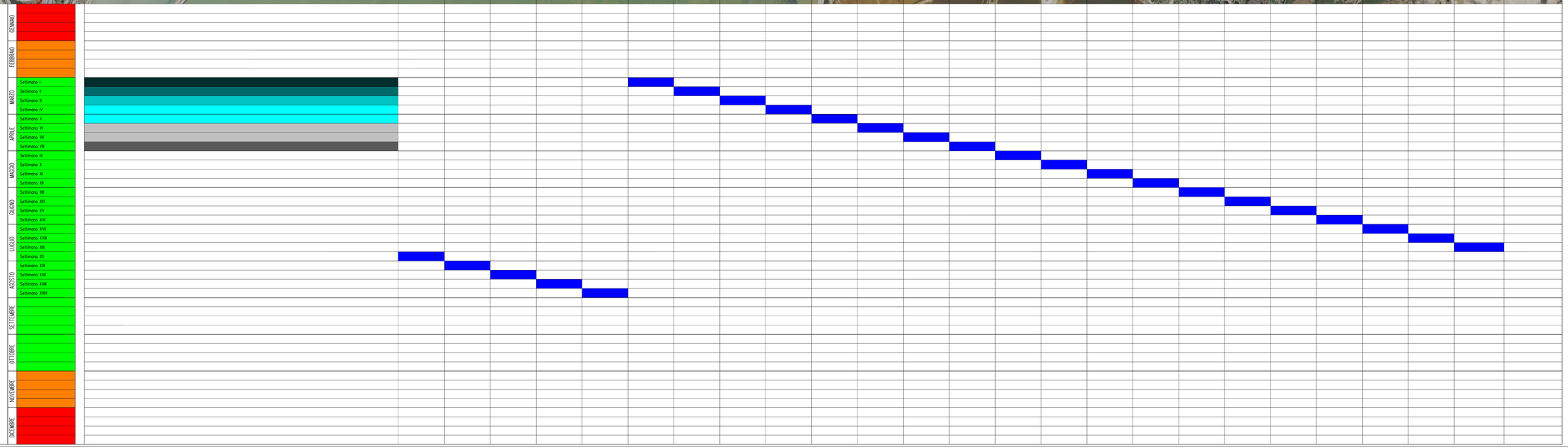
stoccata al di fuori del SIC in vasche di decantazione e/o idonei serbatoi atti al deposito dei sedimenti, le quali saranno successivamente caratterizzate e gestite secondo la normativa vigente (scarico in acque superficiali previa autorizzazione e/o conferimento in idonei impianti). I lavori saranno svolti tenendo conto di eventuali fenomeni di instabilità delle pareti di scavo e operando all'interno di quest'ultimo in condizioni asciutte, per evitare fenomeni di interazione con le acque circostanti la trincea di scavo.

Le informazioni raccolte nell'ambito dei suddetti studi hanno consentito di sviluppare con maggiore dettaglio le ipotesi progettuali proposte e di fornire un cronoprogramma di massima degli interventi da eseguire al fine di mitigare/annullare gli impatti e determinare con lungimiranza i confini temporali entro i quali dovrà essere sviluppato il progetto esecutivo. La realizzazione delle opere dovrà avvenire infatti in corrispondenza di periodi dell'anno ben precisi (da marzo a ottobre, vedi cronoprogramma, Annesso 1A), in maniera tale da non interferire con le dinamiche del sistema naturale (es. periodi di nidificazione degli uccelli).

Per quanto concerne l'inquinamento acustico legato alle operazioni dei mezzi di cantiere (per la fase di esercizio non è prevista alcuna emissione di rumore), tale fenomeno potrà essere facilmente scongiurato concentrando le attività di cantiere nell'intervallo temporale sopra indicato (v. anche cronoprogramma, Annesso 1A), rendendo la realizzazione delle opere compatibile con le finalità di tutela dei Siti Natura 2000;

Fermo restando le raccomandazioni espresse in questo studio, si esprime un parere favorevole alla realizzazione delle opere in progetto, che in generale prevedono il completo interramento della condotta (alla profondità non inferiore di 1,5 m dal piano campagna) ed il completo ripristino morfologico e vegetazionale delle aree interessate dai lavori.

Documento di proprietà **Snam Rete Gas**. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.



LEGENDA PROFILO GEOLOGICO

- Terreno di riporto e vegetale, sabbia fine ghiaiosa, di colore marrone rossastro, ghiaie grossolane e sub-arrotondate.
- Limo debolmente sabbioso di colore grigio scuro con intercalazioni di sabbie a granulometria fine e livelli torbosi (a). Sabbia fine di colore grigio chiaro e frammenti e resti di conchiglie, presenza di livelli torbosi (b).
- Sabbie debolmente limose di colore marrone-avana a granulometria da fine a media. Da mediamente consistente a mediamente debolmente ghiaioso con ghiaie da media a grossolane (a). Livelli cementati (arenaria) da addensati a moderatamente addensati (b).
- Limo argilloso di colore grigio scuro, debolmente sabbioso con torba e frammenti di conchiglie, da tenero a mediamente consistente.
- Sabbia limosa, sabbie da fini a medie, di colore grigio scuro con torba. Da mediamente consistente a molto consistente.
- Argilla limosa di colore da grigio scuro al verdastro, mediamente consistente spesso debolmente sabbiosa con resti di conchiglie e presenza di livelli torbosi.
- Sabbia fine, limosa, di colore marrone chiaro. Probabile presenza di frammenti di conchiglie. Da moderatamente addensata ad addensata.

- Sondaggi
- Superficie Piezometrica
- Superficie Piezometrica (presunta)
- T.O.C.
- CUNICOLO

LEGENDA PLANIMETRIA

- Cunicolo
- T.O.C.
- Pista di lavoro

FASI LAVORO CUNICOLO

- Apertura pista di lavoro
- Sfilamento dei tubi
- Montaggio tubazione
- Scavo trincea
- Posa della tubazione
- Rinterro

FASI LAVORO T.O.C.

- Fase 1: Preparazione aree e cantierizzazione
- Fase 2: Impostazione macchinarie verifiche topografiche
- Fase 3: Esecuzione foro pilota
- Fase 4: Alesaggio
- Fase 5: Varo-posa condotta
- Fase 6: Demob e sistemazione aree

PERIODI DI SALVAGUARDIA DELLA FAUNA

- PERIODO DI SOSPENSIONE LAVORI
- PERIODO EVENTUALMENTE UTILIZZABILE
- PERIODO UTILE PER ESECUZIONE LAVORI

No	DATA	DESCRIZIONE	CLASSIFICATO	VERIFICATO	APPROVATO
			DAMASSO	DAMASSO	DAMASSO / ANGIONI

PROGETTISTA: TechnipFMC — TFI Eng. Srl (0-10-21-04-2021-11)

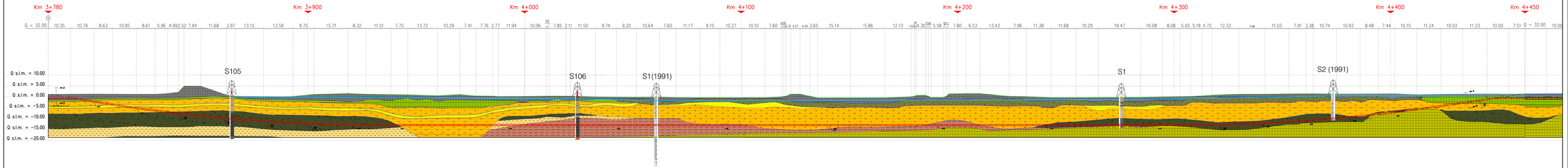
METANIZZAZIONE SARDEGNA
MET CAGLIARI - PALMAS ARBOREA
DN 650 (26") DP 75 bar

ALLEGATO 1 A - CRONOPROGRAMMA DELLE FASI LAVORI CON INDICAZIONE DELLE AREE E DEI PERIODI DI SALVAGUARDIA AMBIENTALE
TRATTO COMPRESO TRA LE Pk. 3+200-6+875

DOC N° REL-CN-001
REVISIONE 0
FOGLIO 1 DI 1
SCALA 1:2000

TECHNIPFMC ITALY DIREZIONE LAVORI S.p.A. - Corso Vittorio Emanuele, 68 - Iride Costello Dario Magliano, 68

DISEGNI DI RIFERIMENTO	N.



LEGENDA:

- Terreno di riporto e vegetale, sabbia fine ghiaiosa, di colore marrone rossastro, ghiaie grossolane e sub-arrotondate.
- a / b — Limo debolmente sabbioso di colore grigio scuro con intercalazioni di sabbie a granulometria fine e livelli torbosi (a). Sabbia fine di colore grigio chiaro ricca in frammenti e resti di conchiglie, presenza di livelli torbosi (b).
- a / b — Sabbie debolmente limose di colore marrone-avana a granulometria da fine a media. A tratti il deposito si presenta debolmente ghiaioso con ghiaie da medie a grossolane (a) . Livelli cementati (arenarie) da addensati a moderatamente addensati (b).
- Limo argilloso di colore grigio scuro, debolmente sabbioso con torba e frammenti di conchiglie, da tenero a mediamente consistente.
- Sabbia limosa, sabbie da fini a medie, di colore grigio scuro con torba. Da mediamente consistente a molto consistente.
- Argilla limosa di colore da grigio scuro al verdastro, mediamente consistente spesso debolmente sabbiosa con resti di conchiglie e presenza di livelli torbosi.
- Sabbia fine, limosa, di colore marrone chiaro. Probabile presenza di frammenti di conchiglie. Da moderatamente addensata ad addensata.
- Sondaggi
- Superficie Piezometrica
- Superficie Piezometrica (presunta)
- T.O.C.

Rev	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO AUTORIZZATO

PROGETTISTA: TechnipFMC
IM TPOL 8010-U11-DW-3205-TO

COMMESSA | CODICE TOL

METANIZZAZIONE SARDEGNA
MET. CAGLIARI - PALMAS ARBOREA
DN 650 (26") DP 75 bar

DIS. N. REL-CIV-001

REVISIONE 0

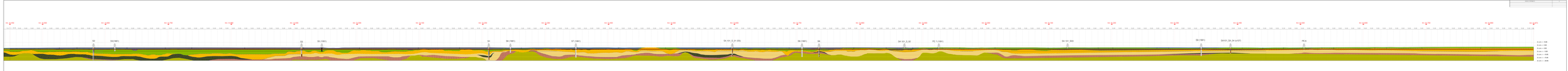
ANNESSO 2A - SEZIONE GEOLOGICA - TRATTO COMPRESO TRA LA PK 3+780 E LA PK 4+450 (TRATTO IN T O C)
AREA STAZIONE DI CAGLIARI

FG 1 DI 1

SCALA 1:500

TECHNIP ITALY DIREZIONE LAVORI S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

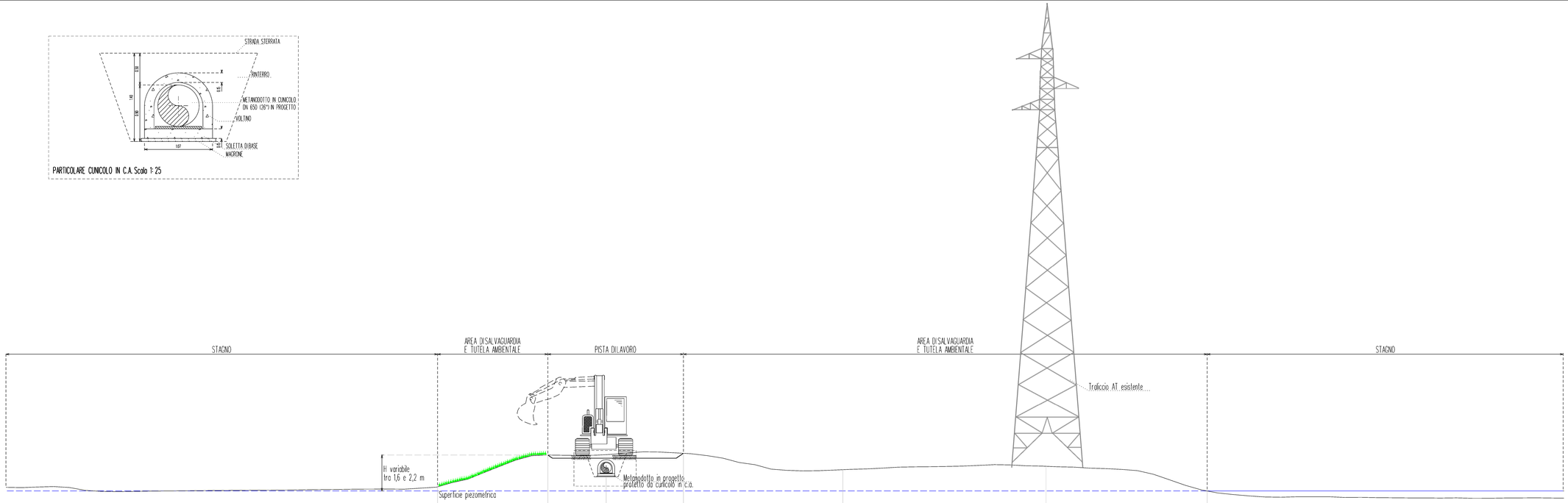
A3



LEGENDA:

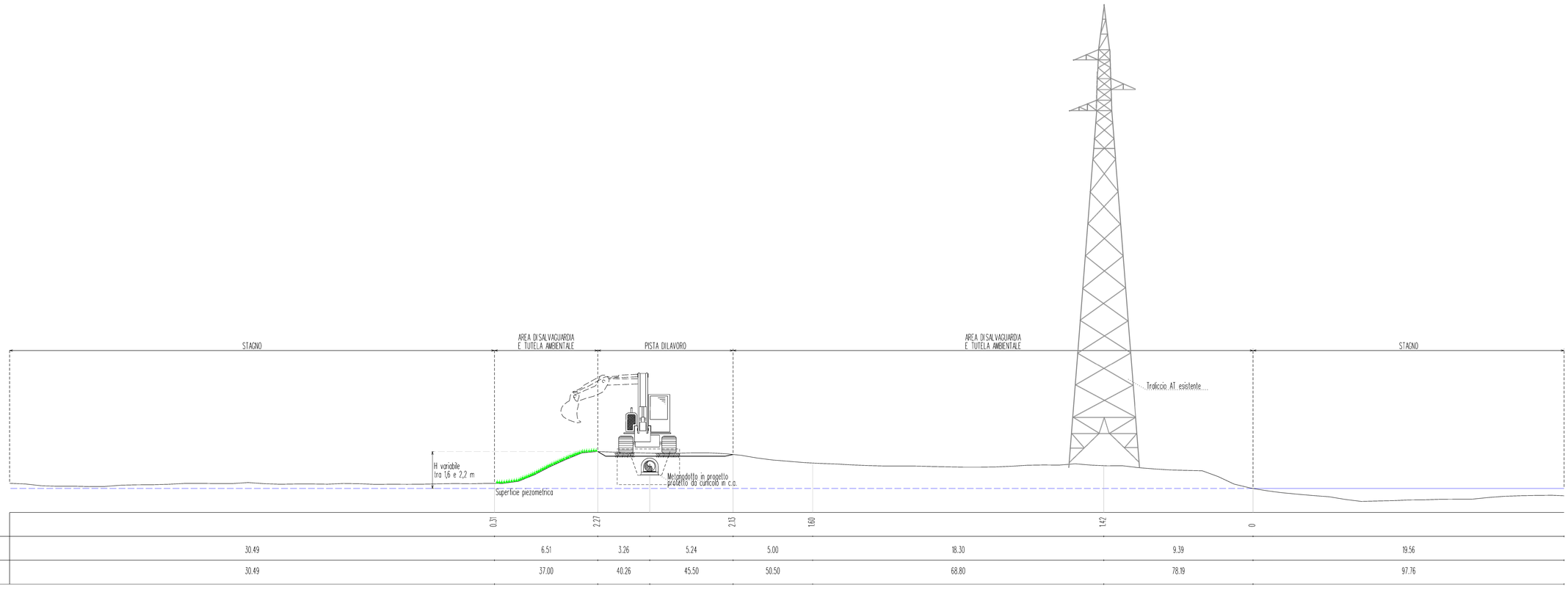
- Aterro heterogêneo compacto, cinza escuro, de baixa compressibilidade, com pedregulhos e fragmentos de rocha
- Areia fina a média, cinza claro, de baixa compressibilidade, com pedregulho e fragmentos de rocha
- Areia fina a média, cinza claro, de baixa compressibilidade, com pedregulho e fragmentos de rocha
- Areia fina a média, cinza claro, de baixa compressibilidade, com pedregulho e fragmentos de rocha
- Areia fina a média, cinza escu

PARTICOLARE CUNICOLO IN C.A. Scala 1:25



SEZIONE 1 pk 4+580
Scala 1:100

Quote		0.26	2.23	2.36	1.30	1.55	0	
Distanze parziali	27.08	6.92	3.67	4.83	10.00	12.75	10.11	22.39
Distanze progressive	27.08	34.00	37.67	42.50	52.50	65.25	75.36	97.76



SEZIONE 2 pk 4+810
Scala 1:100

Quote		0.31	2.27	2.13	1.60	1.42	0	
Distanze parziali	30.49	6.51	3.26	5.24	5.00	18.30	9.39	19.56
Distanze progressive	30.49	37.00	40.26	45.50	50.50	68.80	78.19	97.76

Rev	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO AUTORIZZATO

PROGETTISTA: TechnipFMC — Ref TPEIL 8010-417-DW-3255-103

COMMESSA | CODICE TEC.

METANIZZAZIONE SARDEGNA
MET CAGLIARI - PALMAS ARBOREA
DN 650 (26") DP 75 bar

DIS. N

REVISIONE 0

SEZIONI RILEVATO CACIP
TRATTO COMPRESO TRA LE Pk 3+590-8+425

FG 1 DI 1

SCALA 1:100

TECHNIP ITALY DIREZIONE LAVORI S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68 — A3

Questo disegno e' di proprieta' esclusiva. La società tutelerà' proprietà' secondo le leggi.