

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COLLEGAMENTO OLBIA AEROPORTO

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

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

RR00 10 R 07 RH GN0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	R.Di Russo 	28 Ottobre 2022	H.Mohamed Dahir 	28 Ottobre 2022	T.Paoletti 	28 Ottobre 2022	 28 Ottobre 2022

File: RR0010R07RHGN0000001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
5	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	6
6	ALLEGATI	7
7	DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	7
7.2	OPERE DI IMBOCCO	8
7.3	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO	8
8	METODOLOGIA DI LAVORO	9
9	FASE CONOSCITIVA	10
9.1	IL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	10
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE	10
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	11
9.3.1	<i>Cappellaccio di alterazione (UG1)</i>	12
9.3.2	<i>Graniti (UG2)</i>	17
9.3.3	<i>Prove geofisiche</i>	22
9.3.4	<i>Condizioni idrauliche del sottosuolo</i>	25
10	FASE DI DIAGNOSI	26
10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	26
10.2	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO	27
11	FASE DI TERAPIA	27
11.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO	27
11.2	SEZIONI DI AVANZAMENTO	27
11.3	RISCHI POTENZIALI	29
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	30

12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	30
13	CONCLUSIONI.....	32

1 PREMESSA

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, individuato come aeroporto di interesse nazionale (DPR 201/2015), non è attualmente connesso alla rete ferroviaria.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza individua la realizzazione del collegamento ferroviario dell'aeroporto di Olbia tra gli investimenti di potenziamento, elettrificazione e aumento della resilienza delle ferrovie nel Sud finalizzati ad aumentare la competitività e la connettività del sistema logistico intermodale e migliorare l'accessibilità ferroviaria di diverse aree urbane del Mezzogiorno.

L'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo tratto di linea per il collegamento tra l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale e l'Aeroporto di Olbia Costa Smeralda. L'opera, oltre a intercettare i flussi prettamente stagionali da/per l'aeroporto, aiuterà ad intercettare gli spostamenti sistematici che gravitano nell'Area di Studio costituita dai Comuni di Olbia e Golfo Aranci.

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, gestito dalla società GE.A.SAR. S.p.A., è posizionato a circa 4 km a sud dal centro di Olbia.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di una linea a semplice binario di circa 3,4 km che colleghi la stazione di Olbia Terranova e l'aeroporto di Olbia Costa Smeralda.

Una volta attivato, questo collegamento garantirà una frequenza minima oraria (1 treno/h) per senso di marcia sulla relazione Olbia Terranova - Olbia Aeroporto.

Il perimetro della presente progettazione comprende i seguenti interventi:

- Nuova stazione Aeroporto Costa Smeralda;
- Bivio Micaleddu: bretella di collegamento tra la nuova linea per l'aeroporto e la linea esistente in direzione Ozieri – Chilivani.

Sono previsti alcuni interventi presso la stazione di Olbia Terranova funzionali alla realizzazione del nuovo collegamento con l'aeroporto di Olbia, questi interventi sono correlati alla presente progettazione, ma oggetto di altro appalto.

Lo scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione del tratto in naturale della galleria ferroviaria. Gli obiettivi della progettazione sono stati i seguenti:

- definizione delle caratteristiche geometriche e tecniche della galleria;
- caratterizzazione geotecnica di terreni/rocce interessati dalla realizzazione della galleria;
- individuazione delle problematiche connesse al comportamento dei terreni/rocce in fase di scavo in funzione del quadro geologico, idrogeologico e geotecnico;
- definizione della tecnologia di scavo della galleria;
- individuazione delle interferenze con opere e strutture preesistenti in superficie e nel sottosuolo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA</p>					
<p>RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO</p>	<p>COMMESSA RR00</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 6 di 32</p>

3 NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”.
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [5] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997
- Rif. [6] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988.
- Rif. [7] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [8] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 E - “Capitolato generale tecnico d’appalto delle opere civili”
- Rif. [9] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (dicembre 2015).


4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [10] U.O. Geologia tecnica, dell’ambiente e del territorio, Elaborati specialistici;
- Rif. [11] U.O. Opere geotecniche, Elaborati specialistici
- Rif. [12] Documento n. RR0000R07F4GN0000001A “Profilo geotecnico”;
- Rif. [13] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);

5 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [14] Documento n. RR00 00R 07 F4 GN00 00001 A “Profilo Geotecnico”.
- Rif. [15] Documento n. RR00 00R 07 WB GN00 00001 A “Sezione di intradosso.”
- Rif. [16] Documento n. RR00 00R 07 WB GN00 00002 A “Sezioni di avanzamento — Carpenteria, scavo e consolidamenti”.
- Rif. [17] Documento n. RR00 00R 07 PZ GN00 00001 A “Opere di imbocco – Tipologici”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 7 di 32

6 ALLEGATI

Non sono presenti allegati.

7 DESCRIZIONE DELLE OPERE

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

Il progetto di fattibilità tecnico economica vede un tracciato che si sviluppa per circa 3,4 km in semplice binario. Il collegamento con la linea esistente avviene mediante un bivio in direzione Olbia Terranova, localizzato alla fine dell'attuale centro abitato di Olbia, e mediante un bivio in località Micaleddu, così da garantire anche il collegamento della nuova linea con la linea esistente in direzione Sassari-Chilivani. Il tracciato presenta inizialmente uno sviluppo in rilevato, per proseguire in galleria per circa 450m, la galleria termina dopo il passaggio sotto la SS729. Procedendo in direzione aeroporto è presente un viadotto di circa 900m che permette di arrivare sempre in viadotto in prossimità dell'aeroporto.

La stazione prevista in aeroporto presenterà due binari di servizio in viadotto, la soluzione sopraelevata permette di ridurre l'impronta a terra della stazione, riducendo l'impatto sulle aree aeroportuali. I marciapiedi di banchina presentano un'estensione di circa 200m e saranno coperti da pensiline.

La nuova linea non è elettrificata, ma presenterà le caratteristiche tecniche necessarie ad una futura elettrificazione (con altro appalto).

Il tracciato prevede la realizzazione di 1 galleria di 450 m di cui 215 m di galleria naturale a singolo binario scavata con metodo tradizionale che si sviluppa tra le PK. 1+275 e 1+450.

La sezione d'intradosso utilizzata per gallerie di linea a singolo binario in scavo tradizionale è in accordo con la sezione tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [7]), idonea al transito del Gabarit B+ (P.M.O. n°3) e velocità di progetto sino a 160 km/h. La linea ferroviaria è prevista a trazione diesel e al suo interno è previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast. La galleria è comunque predisposta ad un eventuale futura elettrificazione in c.c. a 3 kV.

La sezione ha un raggio di calotta pari a 3.00 metri, il raggio alle reni pari a 5.00 metri e il raggio di piedritto pari a 6.70 metri sviluppando complessivamente un'area libera di 32.3 m² ed un perimetro di 21.7 metri. Lo stradello di servizio è a geometria variabile, secondo quanto prescritto dal Manuale di Progettazione RFI (Rif. [7]), e, adattandosi alla configurazione trasversale del binario, è caratterizzato dal ciglio posto ad altezza fissa, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento del piano attiguo, pari a +55 cm e a distanza dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, pari a 113 cm. Pertanto la larghezza del camminamento in rettilineo è pari a 127 centimetri al netto della tolleranza costruttiva.

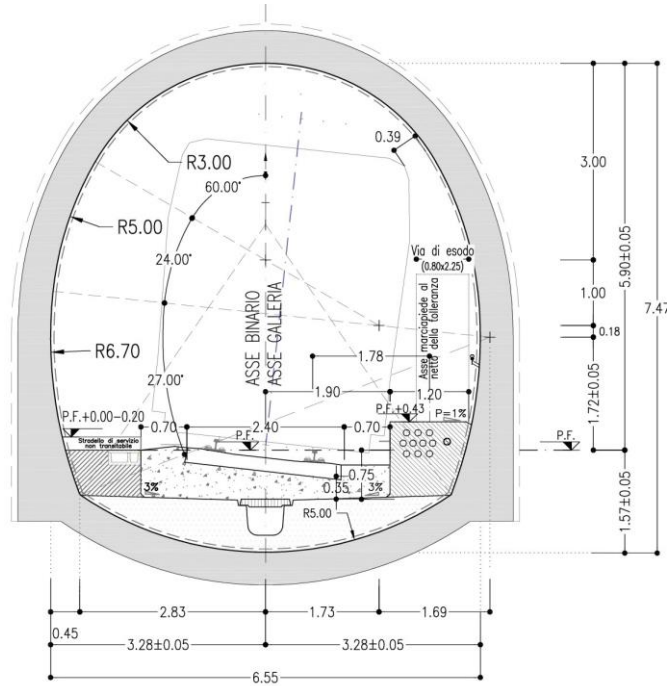


Figura 1 - Sezione di intradosso galleria di linea

7.2 Opere di imbocco

La realizzazione degli imbocchi è prevista senza l'ausilio di opere provvisorie con "attacco diretto". Le trincee di approccio alle pareti di attacco dello scavo in naturale sono previste mediante scavi aventi pendenza 5/1 (H/L) nel substrato litoide (graniti) mentre nel cappellaccio (graniti fortemente alterati) avranno pendenza 1/1 H/L. Le superfici delle trincee saranno protette nelle fasi provvisorie da uno strato di calcestruzzo proiettato e da una maglia di bullonature passive. Si rimanda a Rif. [11] e Rif. [17] per ulteriori dettagli


7.3 Interferenze lungo il tracciato

Il tracciato in progetto presenta un'interferenza con la viabilità di Via Caltanisetta che verrà sottoattraversata con una copertura di circa 5 m dalla galleria naturale in corrispondenza dell'imbocco lato Aeroporto.

8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [13]) si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
2. fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 32

9 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

9.1 Il modello geologico di riferimento

Metodi e risultati dello studio geologico sono illustrati e commentati negli elaborati specialistici di progetto (Rif. [10]). Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

Il basamento paleozoico che interessa le formazioni geologiche del territorio Olbiese è rappresentato prevalentemente da rocce intrusive granitoidi, secondariamente da rocce metamorfiche come visibile nella figura sottostante (Oggiano et al., 2009). Le rocce intrusive granitoidi appartengono all'insieme di plutoniti che costituiscono il batolite ercinico sardo-corso.

Per quanto riguarda le caratteristiche di sismicità della zona di studio si rimanda allo specifico elaborato di progetto (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Lo studio geologico (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) ha permesso di individuare le differenti unità geologiche che costituiscono il sottosuolo dell'area interessata dall'intervento in progetto:


- **Cappellaccio di alterazione:** Graniti estremamente alterati, destrutturati ed arenizzati in maniera crescente man mano che si avvicinano alla superficie topografica, fino a risultare intervalli sabbiosi grossolani o addirittura fini con trovanti granitici alterati di dimensioni decimetriche. Terreni derivanti da forte e prolungata alterazione del substrato granitico in posto.
- **Graniti:** Monzograniti inequigranulari da grigio chiari a bruno rossastri da integri a molto fratturati. Sono presenti rari filoni leucogranitici di spessore metrico.

9.2 Indagini geotecniche

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere in sotterraneo lungo il tracciato. L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati nell'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [12]). Nei paragrafi che seguono si riepilogano in sintesi i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica per ciascuna delle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano l'opera in progetto, sono stati utilizzati i dati relativi alla seguente campagna geotecnica:

- *Campagna indagini Italferr 2022*

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 11 di 32

Nella campagna indagini del 2022 a supporto del PFTE del collegamento dell'Aeroporto di Olbia sono stati eseguiti:

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 22 m e 35 m dal piano campagna), attrezzati con strumentazione geotecnica in foro;
- n. 8 prove dilatometriche e n.2 prove pressiometriche nei fori di sondaggio;
- n. 10 prove di permeabilità di tipo Lefranc;
- n. 4 prove SPT;
- n. 1 prove sismiche in foro di tipo Down-hole;
- n. 5 prospezioni sismiche MASW;
- n. 5 indagini sismiche HVSR;

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse è di 29. Non sono stati prelevati campioni indisturbati. Sui campioni del substrato litoide sono state effettuate n. 6 prove di compressione monoassiale.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto specialistici (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

L'ubicazione dei sondaggi è rappresentata nell'elaborato 'Profilo geotecnico' (Rif. [12]).

Nei paragrafi che seguono sono riepilogati nel dettaglio i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica eseguita per ciascuna delle formazioni interessate dalle opere lungo il tracciato. Per quanto concerne l'elaborazione delle prove geofisiche, in foro e di superficie, si rimanda ai paragrafi successivi della presente Relazione.

9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

A partire dal modello geologico di riferimento (§ **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), l'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche in sito e in laboratorio hanno consentito di individuare nell'area interessata dall'intervento in progetto le seguenti Unità Geotecniche corrispondenti alle formazioni geologiche descritte nel capitolo 10.1:

1. **Cappellaccio di alterazione** (UG1)
2. **Graniti** (UG2I)

Si rimanda all'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [12]) per la rappresentazione delle caratteristiche geometriche (spessori ed estensione) di tali Unità Geotecniche.

Sono illustrate nel seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche di ciascuna Unità Geotecnica, ricavate dalle prove eseguite in sito e in laboratorio. La Tabella 1 riporta i simboli di riferimento adottati nella caratterizzazione geotecnica.

Tabella 1 - simboli di riferimento adottati per la caratterizzazione

γ	kN/m ³	Peso dell'unità di volume
γ_s	kN/m ³	Peso specifico
w	%	Umidità naturale
w _L	%	Limite liquido
w _P	%	Limite plastico
I _P	%	Indice di plasticità
D _r	-	Densità relativa
φ'_{SPT}	°	Angolo di attrito efficace da prove SPT
c' _{TX}	kPa	Coesione efficace da prove triassiali
φ'_{TX}	°	Angolo di attrito efficace da prove triassiali
c' _{TD}	kPa	Coesione efficace da prove di taglio diretto
φ'_{TD}	°	Angolo di attrito efficace da prove di taglio diretto
σ_{ci}	MPa	Resistenza a compressione monoassiale da prove CM
$\sigma_{ci,PLT}$	MPa	Resistenza a compressione monoassiale da prove PLT
E _i	GPa	Modulo elastico della roccia intatta
K ₀	-	Coefficiente di spinta in quiete
E' _{DTM}	MPa	Modulo elastico da prove dilatometriche
E' _{SPT}	MPa	Modulo elastico da prove SPT
G _{0,SPT}	MPa	Modulo di taglio iniziale da prove SPT
k	m/s	Coefficiente di permeabilità
GSI _{rilievi}	-	Indice di qualità GSI da rilievi geomeccanici
GSI _{WP}	-	Indice di qualità GSI da Waypoint

9.3.1 Cappellaccio di alterazione (UG1)

La presente caratterizzazione riguarda la porzione dell'unità UG1 più superficiale, che assume in alcuni casi le caratteristiche assimilabili ad un terreno sciolto.

L'analisi dei risultati delle prove di sito e di laboratorio ha consentito di tracciare un quadro complessivo delle principali grandezze fisiche dell'unità indagata.

I risultati delle analisi granulometriche mostrano come l'unità sia caratterizzata da una netta prevalenza di Sabbie (60%-90%) e Ghiaie (20%-40%) con una percentuale di frazione fina (Limo+Argilla) mediamente contenuta sotto il 10%, di cui meno del 5% è rappresentato da Argilla. In relazione alle prove condotte, dalla

valutazione del peso dei grani e dalla letteratura di settore si assume per i terreni di copertura alluvionali un peso di volume pari a 21 kN/m^3 .



Figura 2 Sondaggio S03-PZ (0-5 m da p.c.)

Caratteristiche meccaniche

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di sito (4 prove SPT).

Le 4 prove penetrometriche dinamiche SPT sono state elaborate con riferimento alle correlazioni empiriche dei terreni granulari di letteratura (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. - Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). In Figura 3 si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi N_{SPT} , della densità relativa D_r e dell'angolo di attrito efficace φ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche di riferimento.

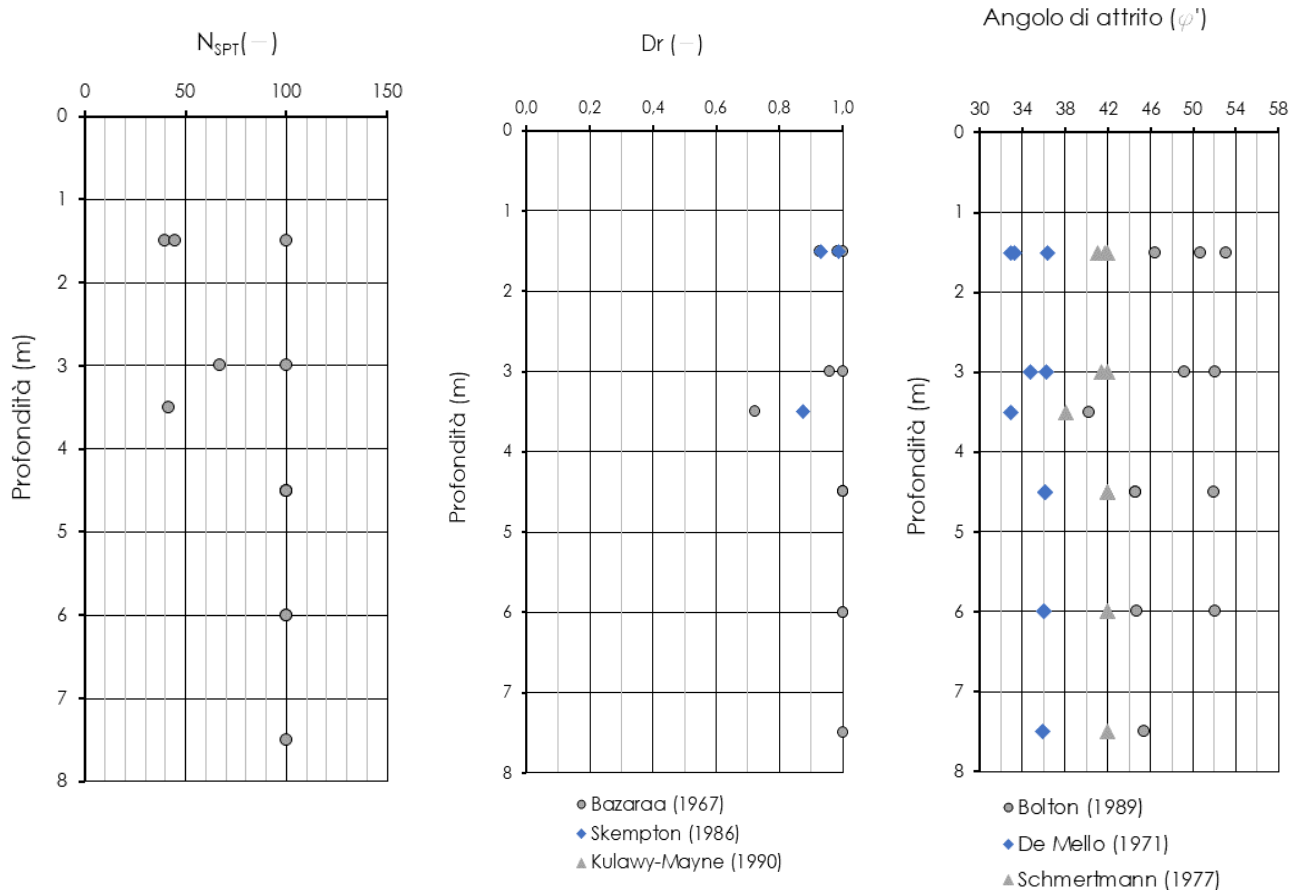



Figura 3 N_{SPT} , densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

I risultati delle prove SPT mostrano un angolo di attrito compreso tra 33° e 53° e densità relativa compresa tra 0,7 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori numerici, delle prove relative ad ogni verticale di indagine. Quando la prova SPT ha dato come risultato “rifiuto” è stato attribuito un valore pari a 100 colpi:

Sondaggio	z (m)	N_{SPT} (-)
(-)	(m)	(-)
S03	1,5	40
S03	3,5	42
S03	4,5	100
S04	4,5	100
S04	6,0	100,0
S04	7,5	100,0
S05	1,5	45,0
S05	3,0	67,0
S06	1,5	100,0
S06	3,0	100,0
S06	4,5	100,0
S06	6,0	100,0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Sono state eseguite 3 prove di permeabilità di tipo Lefranc a profondità variabili tra 2.25 e 18.5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $6 \cdot 10^{-3}$ e $4 \cdot 10^{-8}$ m/s (Figura 5).

Permeabilità	k (m/s)	m da p.c.
S03	6.00E-03	2.5
S05	1.34E-07	2.25
S06bis	3.91E-08	18.5

Figura 5 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri geotecnici per l'unità UG1. La Tabella 2 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 2 - sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	21,0	21,0	kN/m³
Dr	0,7	1,0	-
φ'_{SPT}	33,0	53,0	°
E'_{SPT}	30,0	100,0	MPa
E_{OP,masw}	66,0	66,0	MPa
K₀	0,46	0,2	-
k	4,00E-08	6,00E-03	m/s

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 1.

9.3.2 Graniti (UG2)

L'unità geotecnica UG2 è costituita da graniti.



Figura 6 Sondaggio S03 – PZ (5-15 m da p.c.)



Figura 7 Sondaggio S03 – PZ (25-35 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 6 m e 33 m da piano campagna, 8 campioni di cui 6 sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24.9 e 26.3 kN/m³ (Figura 8).

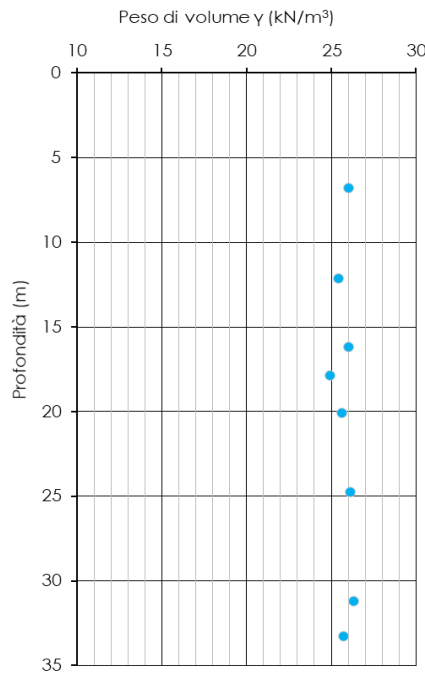
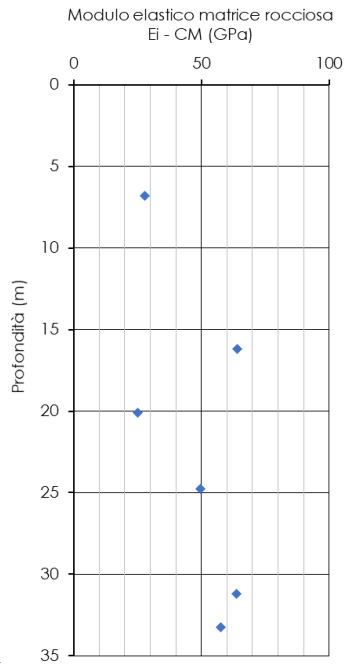


Figura 8 Peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 6 prove di compressione monoassiale e 2 Point Load Test eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 75 e 180 MPa per le prove di compressione monoassiale e tra 40 e 48 GPa nel caso delle PLT (Figura 9). Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 6.8 e 33 m da p.c. I valori di resistenza a compressione monoassiale delle PLT, in virtù delle caratteristiche dei campioni sui quali sono state effettuate (alterati), sono presi a riferimento per la porzione alterata dell'unità UG2.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione delle 6 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I

valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 25 e



64 GPa (
Figura 10).

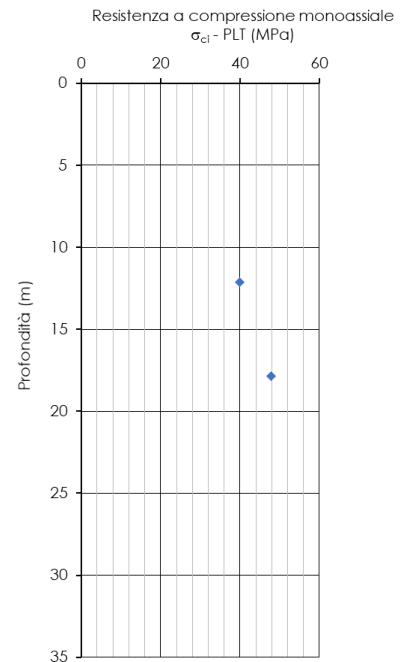
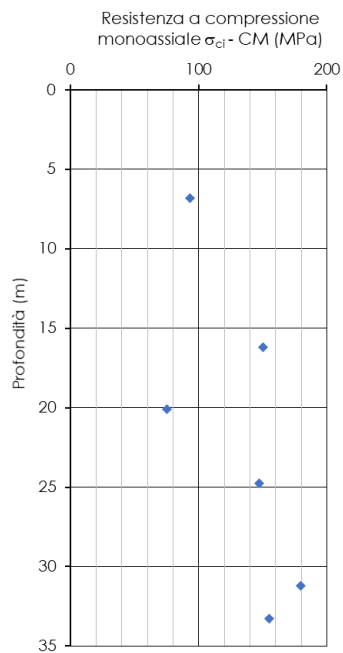


Figura 9 Resistenza a compressione monoassiale

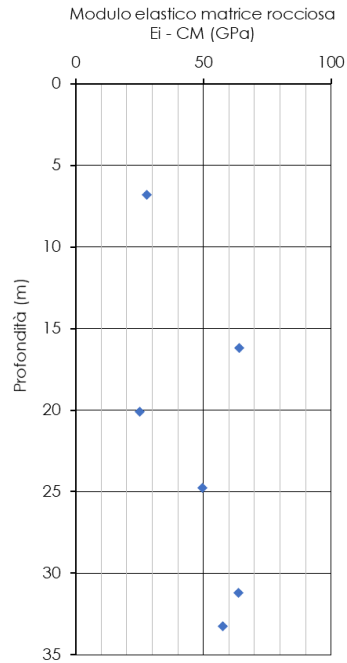


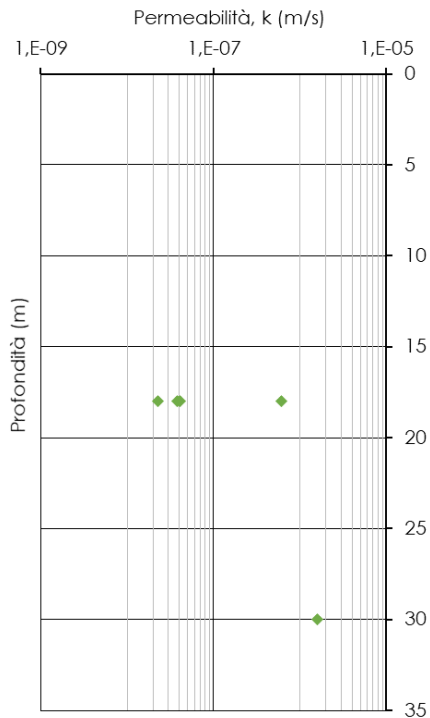
Figura 10 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 3 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *UG2*.

Tabella 3 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	z	γ	σ_{ci}	Ei
-	-	m	kN/mc	MPa	Gpa
S03 PZ	C1	6,8	26,0	93,5	27,8
S03 PZ	C2	17,9	24,9	-	-
S03 PZ	C3	31,2	26,3	179,7	63,6
S04 DH	C4	16,2	26,0	150,4	64,0
S05 PZ	C3	12,2	25,4	-	-
S05 PZ	C4	24,8	26,1	147,2	49,7
S06 PZ bis	C4	20,1	25,6	75,1	25,2
S06 PZ bis	C5	33,3	25,7	155,1	57,7

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite prove di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 17.5 e 30 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $2 \cdot 10^{-8}$ e $1.5 \cdot 10^{-6}$ m/s (Figura 11).



Prova	Sondaggio	z	k
(-)	(-)	(m da p.c.)	(m/s)
Le Franc	S01 PZ	18	2,26E-08
Le Franc	S03 PZ	18	6,10E-07
Le Franc	S03 PZ	30	1,57E-06
Le Franc	S04 DH	18	3,84E-08
Le Franc	S05 PZ	18	4,07E-08

Figura 11 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Per quanto riguarda la definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata sulla base del rilievo geologico condotto in campo.

I terreni localizzati a quota degli imbocchi della prevista galleria, risultano costituiti da graniti destrutturati ed arenizzati, con RQD compreso tra il 25-50% e superfici di discontinuità planari ed alterate e mostrano un indice GSI compreso tra 20 e 30. Resta inteso che le condizioni di alterazione del cappellaccio non sono da considerarsi costanti, ma necessariamente soggette ad un peggioramento man mano che ci si avvicina alla superficie (dove assume caratteristiche dell'unità UG1) ed un progressivo miglioramento verso maggiori profondità.

In corrispondenza della perforazione di substrato granitico sano, si assiste ad un innalzamento dei valori di RQD che restituiscono valori sempre compresi tra 60 e 100, con un indice GSI del substrato roccioso non affiorante indicativamente compreso tra 65 e 75.

In corrispondenza dei filoni leucogranitici si può considerare un GSI compreso tra 30 e 60. L'indice GSI di tale porzione dell'unità UG2 è stato ottenuto dal sondaggio S03-PZ e dal valore di RQD (Truzman et al., 2011) osservato in corrispondenza del filone leucogranitico intercettato alla profondità di circa 17 m.

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità UG2. La Tabella 4 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 4 - sintesi parametri geotecnici SBI

	min	max	
γ	24,9	26,3	kN/m³
σ_{ci}	75,1	179,7	MPa
$\sigma_{ci,PLT}$	40,0	47,8	MPa
E_i	25,2	64,0	GPa
k	2,26E-08	1,57E-06	m/s
GSI_{aff}	20	30	-
GSI	65	75	-

Il valore di K_0 è stato assunto pari a 0,7.

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 1.

9.3.3 Prove geofisiche

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni, sono state eseguite le seguenti prove geofisiche:

- prove Multi-channel analysis of surface waves (MASW);

I risultati di tali indagini sono rappresentati in forma grafica, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale G_0 . E il modulo di Young "operativo", pari al 20% del Modulo di Young iniziale.

Sono state inoltre calcolati, ai sensi delle NTC2018 (par. 3.2.2), i valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ definita dall'espressione:

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

Dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

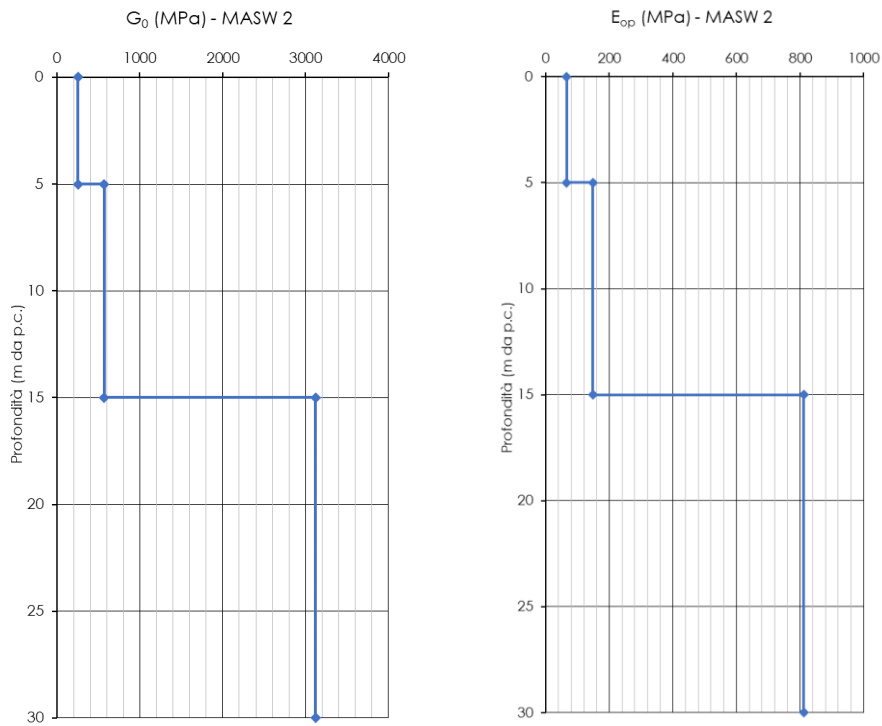
In Tabella 5 sono riportati valori di $V_{s,eq}$ per la prova geofisica di interesse in prossimità della galleria (MASW 2).

Tabella 5 - categoria di sottosuolo

MASW2

V_{s,eq}	664	m/s
CATEGORIA	B	

Prova MASW2



La prova fornisce valori di modulo di Young operativo pari a 66 MPa (0-5 m da p.c.), 148 MPa (5-15 m da p.c.) e 811 MPa (15-30 m da p.c.).

9.3.4 Condizioni idrauliche del sottosuolo

Il sondaggio S03-PZ in prossimità dell'imbocco Sud ha confermato la presenza di acqua con un livello di falda a circa 8 m dal p.c.. Lungo il tracciato della galleria è possibile attendersi un livello di falda sino a circa quota calotta.

Per il dettaglio delle quote dei livelli piezometrici lungo il tracciato dell'opera si rimanda all'elaborato 'Profilo geotecnico' (Rif. [12]).

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA RR00	LOTTO 10	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 26 di 32
--	------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

10 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [13]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-

deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

10.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

In considerazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso attraversato, delle coperture e delle geometrie dell'opera da realizzare, ci si attende lungo l'intera galleria un comportamento di categoria A (stabile).

Tuttavia, in tratte che intercettano l'unità UG1, in prossimità degli imbocchi, o i filoni leucogranitici, sono possibili locali instabilità in calotta. Per tali tratte è atteso un comportamento eventuale di categoria B (stabile a breve termine).

11 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive; i dettagli delle sezioni di scavo e consolidamento sono illustrati nei pertinenti elaborati progettuali

11.1 Definizione del metodo di scavo

Il metodo di scavo previsto per la realizzazione delle opere in sotterraneo in progetto è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico attraversato, dalla configurazione geometrica del tracciato plano-altimetrico e dalla estensione longitudinale delle gallerie.

L'avanzamento con scavo in tradizionale è previsto per la realizzazione dell'intera galleria.

11.2 Sezioni di avanzamento

Si riporta di seguito una sintetica descrizione delle sezioni di avanzamento, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al "Profilo geotecnico" (Rif. [12]).

È prevista l'adozione dello scavo a piena sezione, per sfondi di lunghezza funzione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi attraversati e del loro comportamento allo scavo.

In generale, lo scavo avviene per sfondi successivi con applicazione, dopo ogni sfondo, di interventi di contenimento facendo ad un prerivestimento costituito da centine metalliche e spritz-beton fibrorinforzato.

Il getto delle murette, dell'arco rovescio e del rivestimento definitivo di calotta avverrà a una distanza dal fronte funzione del comportamento deformativo della cavità. È prevista la realizzazione di un'impermeabilizzazione al contorno della galleria, con telo in PVC protetto da uno strato di tessuto non tessuto. Le acque intercettate dall'impermeabilizzazione saranno smaltite da tubazioni drenanti, ubicate al piede del manto in PVC, collegate alla canaletta centrale.

Si riportano di seguito le caratteristiche principali e i criteri di applicazione delle sezioni di avanzamento:

Sezione A1

La sezione A1 prevede interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata per l'intero scavo della galleria a meno delle zone a minore copertura in corrispondenza degli imbocchi.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A1:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) in calcestruzzo gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

Sezione B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di presostegno al contorno ed eventuale precontenimento al fronte. Può essere impiegata nelle tratte a minore copertura in corrispondenza delle zone di imbocco dove è presente in testa alla galleria la facies alterata dei graniti (cappellaccio) o in corrispondenza dei filoni leucogranitici che attraversano l'ammasso.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1:

- Scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da spritz-beton e doppie centine;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante tubi in acciaio;
- precontenimento del fronte realizzato elementi strutturali in VTR, cementati in foro con miscele cementizie (eventuale);
- arco rovescio (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte

- pari a 3 diametri;
- calotta (spessore variabile 0,50 – 1,15 m) in calcestruzzo gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

Sono di seguito descritte le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa della galleria, e le conseguenti azioni di mitigazione previste in progetto. La mappatura dei diversi rischi è illustrata nell'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [12]).

11.3 Rischi potenziali

Instabilità del fronte e del cavo

Potenziali rischi di instabilità del cavo possono interessare le tratte di galleria a bassa copertura in corrispondenza degli imbocchi ove è presente al di sopra della calotta la porzione alterata del granito oppure in corrispondenza dell'intercettazione di filoni pegmatitici. In tali condizioni, è stata prevista come eventuale la sezione tipo B1 provvista di intervento di presostegno al contorno ed eventuale intervento di precontenimento al fronte.

Venute d'acqua

Il potenziale rischio di venute d'acqua in galleria in fase di scavo è stato definito in funzione dei principali caratteri idrogeologici delle formazioni di interesse. Tale rischio dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati, dal carico idraulico e dalla posizione della superficie piezometrica rispetto all'area di scavo.

In particolare, si prevede un basso rischio di venute d'acqua perché il livello della superficie piezometrica, è situato al massimo circa a quota calotta; inoltre, la permeabilità delle formazioni attraversate è risultata bassa-medio, Rif. [10]).

Ad ogni modo, al fine di limitare gli effetti legati a possibili venute d'acqua in fase di scavo, l'avanzamento prevede l'esecuzione eventuale dei drenaggi al fronte. Inoltre, si prevede l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo.

Interferenze

Dovranno essere messe a punto procedure di controllo restrittive, basate sul monitoraggio vibrometrico al fine di garantire il rispetto dei valori soglia della velocità di vibrazione in fase di scavo per la presenza di abitazioni e attività commerciali situate in prossimità delle aree di cantiere. L'interferenza con Via Caltanissetta verrà risolta mediante l'ausilio di una sezione di avanzamento avente un presostegno al contorno ed eventuale precontenimento al fronte per prevenire eventuali instabilità della porzione alta del cavo costituita dalla facies alterata dei graniti.

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	10	R 07 RG	GN 00 00 001	A	30 di 32

12 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

Sono di seguito illustrati i criteri che dovranno essere adottati in corso d'opera per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità, nell'ambito delle previsioni del progetto, che sono sintetizzate nei valori attesi delle grandezze caratteristiche. I valori attesi e i valori soglia dei fenomeni deformativi al fronte e al contorno del cavo saranno definiti nella successiva fase progettuale.

In corso d'opera, i rilievi del fronte e i dati di monitoraggio della risposta deformativa del fronte e del cavo, correlati alle fasi di avanzamento, sono confrontati con le previsioni progettuali (i valori attesi) per consentire la verifica e la messa a punto del progetto con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con lo scenario prevalente previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: la previsione progettuale è confermata, si procede con la sezione tipo prevalente prevista per la tratta.
2. La risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità dei valori soglia, rispetto ai valori attesi, definito in progetto: la sezione tipo prevalente prevista per la tratta è ottimizzata secondo le definite variabilità, che consistono in: aumento/diminuzione ($\pm 20\%$) degli interventi di preconsolidamento, diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ($\pm 20\%$ del passo medio), diminuzione/aumento delle distanze del rivestimento definitivo dal fronte di scavo.
3. Le condizioni geologiche e geotecniche osservate sono differenti da quelle ipotizzate come scenario prevalente e la risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: si passa ad una diversa sezione tipo, tra quelle definite in progetto come "sezioni eventuali" per quella tratta.

12.1 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli imbocchi ed della galleria naturale, con particolare riferimento al sottoattraversamento di Via Caltanissetta e in considerazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste, ottimizzandole nell'ambito delle variabilità indicata in progetto.

Con riferimento alle tratte realizzate con metodo di scavo tradizionale il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il rilievo analitico e speditivo del fronte di scavo;
- il controllo della convergenza del cavo, mediante installazione di stazioni di convergenza con mire ottiche;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento di prima fase mediante celle di carico, celle di pressione e *strain-gauges*;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche;
- monitoraggio a piano campagna tramite capisaldi topografici;
- monitoraggio vibrometrico.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
COLLEGAMENTO OLBIA AEROPORTO**

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	10	R 07 RG	GN 00 00 001	A	31 di 32

Nelle successive fasi progettuali saranno definiti i valori attesi e i valori soglia delle grandezze oggetto di monitoraggio.

13 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della galleria naturale presente nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica relativo al Collegamento Olbia Aeroporto.

La progettazione dell'opera in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS, articolandosi nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva (cap. 10): lo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui sarà realizzata la galleria hanno condotto alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo, da affinare nelle successive fasi del progetto, e all'individuazione dei potenziali rischi connessi alla realizzazione dell'opera in sotterraneo;
- fase di diagnosi (cap. 11): la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione ha consentito di determinare le categorie di comportamento per la previsione e l'individuazione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo;
- fase di terapia (cap. 12): si prevede di realizzare lo scavo con metodo tradizionale. Sono state individuate le soluzioni progettuali che consentono l'avanzamento in condizioni di sicurezza e la mitigazione dei rischi potenziali.

Il progetto è completato dalle prime indicazioni per il piano di monitoraggio (cap. 13) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.