

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

Lotto 2: Taormina (e) - Giampilieri (e)

RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

SCALA:

-

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

RS2S 02 D 07 RH GN0000 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
B	Consegna al CSLLPP	A. Corbo 	Gen 2018	M. Ricci 	Gen 2018	P. Carlesimo 	Gen 2018	A. Sciotti Gen 2018
								ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Sciotti Cognome negli Ingegneri di Catania n° 139416

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	5
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI	6
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	6
4.2	DOCUMENTI CORRELATI	7
4.3	DOCUMENTI SUPERATI	7
5	ALLEGATI	7
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
7.1	IL TRACCIATO E LE GALLERIE DI LINEA	9
7.2	SEZIONI TIPO DI INTRADOSSO	11
7.3	NICCHIE	14
7.4	BY-PASS TRASVERSALI	14
7.5	POZZI	14
7.6	CONDOTTI DI VENTILAZIONE	15
8	METODOLOGIA DI LAVORO	16
9	FASE CONOSCITIVA	16
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	16
9.1.1	<i>Caratteristiche stratigrafiche</i>	16
9.1.2	<i>Assetto geologico locale</i>	23
9.2	INDAGINI GEOTECNICHE	26
9.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	27
10	FASE DI DIAGNOSI	29

10.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	29
10.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	30
10.3	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO.....	30
11	FASE DI TERAPIA	31
11.1	METODOLOGIA DI SCAVO.....	31
11.1.1	<i>11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo.....</i>	31
11.1.2	<i>11.1.2 Scavo tradizionale. Gallerie di linea a doppio binario.....</i>	31
11.1.2.1	<i>11.1.2.1 Sezione tipo A1</i>	31
11.1.2.2	<i>11.1.2.2 Sezione tipo A2</i>	32
11.1.2.3	<i>11.1.2.3 Sezione tipo B1</i>	32
11.1.2.4	<i>11.1.2.4 Sezione tipo B2</i>	33
11.1.2.5	<i>11.1.2.5 Sezione tipo C1.....</i>	33
11.1.2.6	<i>11.1.2.6 Sezione tipo C2.....</i>	34
11.1.2.7	<i>11.1.2.7 Sezione tipo C2v</i>	35
11.1.3	<i>11.1.3 Scavo tradizionale. Gallerie di linea a singolo binario.....</i>	35
11.1.3.1	<i>11.1.3.1 Sezione tipo A1</i>	36
11.1.3.2	<i>11.1.3.2 Sezione tipo A2</i>	36
11.1.3.3	<i>11.1.3.3 Sezione tipo B1</i>	37
11.1.3.4	<i>11.1.3.4 Sezione tipo B2</i>	37
11.1.3.5	<i>11.1.3.5 Sezione tipo C2.....</i>	38
11.1.3.6	<i>11.1.3.6 Sezione tipo C2v</i>	38
11.1.3.7	<i>11.1.3.7 Sezione tipo C2p.....</i>	39
11.1.3.8	<i>11.1.3.8 Sezione tipo C2d.....</i>	40
11.1.3.9	<i>11.1.3.9 Sezione tipo C3v.....</i>	40
11.1.3.10	<i>11.1.3.10 Sezione tipo C3d.....</i>	40
11.1.4	<i>11.1.4 Scavo tradizionale. Uscite di emergenza, by-pass e cunicoli di ventilazione.....</i>	40
11.1.5	<i>11.1.5 Scavo meccanizzato. Gallerie di linea.....</i>	41
11.2	RISCHI POTENZIALI CHE INCIDONO SULLA REALIZZAZIONE DELLE GALLERIE	43
11.2.1	<i>11.2.1 Presenza di quarzo in elevate quantità.....</i>	43
11.2.2	<i>11.2.2 Presenza di trovanti/olistoliti</i>	43

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	02 D 07	RH	GN 00 00 001	A	4 di 54

11.2.3	<i>Aree a franosità diffusa</i>	43
11.2.4	<i>Venute d'acqua/carichi idraulici elevati</i>	44
11.2.5	<i>Instabilità del fronte e del cavo</i>	45
11.2.6	<i>Acque aggressive</i>	45
11.2.7	<i>Analisi del rischio di "squeezing"</i>	49
11.2.8	<i>Presenza di cavità carsiche, masse rocciose carsificate</i>	51
12	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	52
12.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	52
13	CONCLUSIONI	54

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo del Raddoppio della Tratta Giampilieri-Fiumefreddo sulla Direttoria ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

La linea esistente è rappresentata da un'infrastruttura a semplice binario caratterizzata da un itinerario in gran parte costiero e prevalentemente all'aperto, con alcune brevi gallerie, che si colloca in una strettissima fascia di territorio compreso tra i rilievi che si protraggono verso il mare, l'autostrada A18, la viabilità statale e gli insediamenti turistici costieri.

La soluzione di progetto prevede la realizzazione di una nuova linea a doppio binario dell'estensione di circa 42,2 km che si sviluppa a maggior distanza dalla costa, prevalentemente in galleria. La nuova linea si allaccia alla linea esistente alla progressiva 276+822, prima dell'attuale stazione di Fiumefreddo, e alla progressiva 319+756, immediatamente prima dell'esistente stazione di Giampilieri.

È previsto inoltre un collegamento intermedio mediante l'interconnessione di Letojanni, che consente la suddivisione dell'opera in due fasi funzionali: la prima, tra Fiumefreddo e Taormina, di estensione pari a circa 13,9 km, che si allaccia alla linea storica con l'interconnessione di Letojanni; la seconda, tra Taormina e Giampilieri, lunga circa 28,3 km.

Pertanto, la tratta in oggetto è stata suddivisa in due lotti:

- Lotto 1: Fiumefreddo – Taormina (sino al km 13+900);
- Lotto 2: Taormina – Giampilieri (dal km 13+900 al km 42+200).

La presente relazione sintetizza gli aspetti principali della progettazione definitiva delle opere civili in sotterraneo riguardanti il Lotto 2.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione delle tratte in naturale delle gallerie e le relative opere accessorie.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Leggi e normative cogenti

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, “Istruzioni per l'applicazione delle “nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2008”;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;

Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;

Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;

Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;

Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988.

3.3 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

Rif. [9] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili ” datato Dic 2016;

Rif. [10] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” datato Dicembre 2015.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Documenti Referenziati

Nel presente documento si fa riferimento ai seguenti elaborati di progetto:

Rif. [11] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici;

Rif. [12] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0100001B “Galleria Calatabiano - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [13] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0200001B “Galleria Taormina - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [14] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0300001B “Galleria di Interconnessione - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Rif. [15] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0200001B “Galleria Taormina - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [16] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0400001B “Galleria Letojanni - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [17] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN0500001B “Galleria Forza d’Agrò - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [18] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0600001B “Galleria Sciglio - Profilo geotecnico Tav 1 di 2” datato Gennaio 2017;

Rif. [19] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0600002B “Galleria Sciglio - Profilo geotecnico Tav 1 di 2” datato Gennaio 2017;

Rif. [20] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0700001B “Gallerie Nizza e Alì - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [21] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN0900001B “Galleria Quali - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017;

Rif. [22] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN1000001B “Galleria Scaletta - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2017.

4.2 Documenti Correlati

Rif. [23] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);

Rif. [24] Lunardi P. (2015). Il controllo dell'estrusione del nucleo di terreno al fronte d'avanzamento di una galleria come strumento di stabilizzazione per la cavità - Muir Wood Lecture at the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Promoting tunnelling in SEE Region". Dubrovnik;

Rif. [25] Lunardi P. (1998). Conception et exécution des tunnels: rôle et résultats de la recherche expérimentale - Revue Francaise de Geotechnique no.84.

4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Non sono presenti documenti allegati.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 8 di 54

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono utilmente completati e arricchiti dagli elaborati grafici specialistici allegati al progetto.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le gallerie di linea

Il tracciato del Lotto 2, dal km 13+900 della galleria Taormina al km 42+200 di Giampilieri, si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 25,3 km, mediante otto gallerie naturali denominate Taormina, Letojanni, Forza d'Agrò, Sciglio, Nizza, Ali, Quali e Scaletta.

In tabella sono riportate le progressive (riferite al binario pari) e le coperture relative alle otto gallerie naturali previste in progetto nel Lotto 2.

Galleria Taormina

La galleria Taormina è lunga complessivamente 8267,8 m di cui 6133,8 m riferibili alla fase 1 (fino a pk 13+900 b.p.) e 2134 m alla fase 2.

Dal km 13+900 è prevista una tratta a singola canna doppio binario lunga 258 m e un camerone di 249 m per passare nuovamente alla configurazione a doppia canna singolo binario per complessivamente circa 1,6 km. Quest'ultima tratta presenta coperture elevate con valori massimi fino a 185 m ed un andamento altimetrico in salita prima al 2‰ e poi all'8,5‰.

Galleria Letojanni

La galleria Letojanni è a doppia canna singolo binario, per una lunghezza complessiva di 3866,2 m. Presenta coperture generalmente molto elevate con valori massimi fino a 375 m, ed ha un andamento altimetrico monopendente (al 2‰) in salita procedendo in direzione Messina.

Galleria Forza d'Agrò

La galleria Forza d'Agrò è a doppia canna singolo binario, per una lunghezza complessiva di 2467,2 m. Presenta coperture generalmente elevate con valori massimi fino a 315 m ed un andamento altimetrico, procedendo in direzione Messina, con una prima parte in salita al 2‰ e poi in discesa al 4‰.

Galleria Sciglio

La galleria Sciglio è a doppia canna singolo binario, lunga complessivamente 9258,8 m. Procedendo in direzione Messina, l'andamento altimetrico presenta un primo breve tratto in salita al 5‰, poi un lungo tratto in discesa al 5,5‰ compatibile con il sottoattraversamento del torrente Savoca, quindi un lungo tratto in salita al 4‰ ed infine un tratto terminale in discesa ancora al 4‰. Le coperture sono generalmente elevate, con valori massimi fino a 280 m; solo in corrispondenza del Savoca si ha una tratta a coperture ridotte con valori comunque non inferiori a 15 m.

Galleria Nizza

La galleria Nizza è una singola canna a doppio binario lungo complessivamente 497 m. Presenta coperture generalmente ridotte, comprese tra 10 e 65 m circa ed ha un andamento altimetrico monopendente (all'1,7‰) in discesa procedendo in direzione Messina.

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
RS2S 02 D 07 RH GN 00 00 001 A 10 di 54

Tabella 1 – Le gallerie di linea del Lotto 2

GALLERIA	Opera	Tipologia	P _{kinizio}	P _{kinale}	L _{parziali}	L _{TOT}	Coperture	
			[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
LOTTO 2	TAORMINA	GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppio binario	13900,0	14157,5	257,5	2134,0	20 (min) 185 (max)
		CAMERONE LATO MESSINA	tradizionale / doppio binario	14157,5	14406,5	249,1		
		GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna	14406,5	16014,0	1607,5		
		IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppia canna	16014,0	16034,0	20,0		
	LETOJANNI	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppia canna	16293,8	16310,0	16,2	3866,2	50 (min) 375 (max)
		GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna	16310,0	20115,8	3805,8		
		IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppia canna	20115,8	20160,0	44,2		
	FORZA D'AGRO'	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppia canna	20293,8	20306,0	12,2	2467,2	20 (min) 315 (max)
		GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna	20306,0	22677,6	2371,6		
		GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna / doppio binario	22677,6	22746,0	68,4		
		IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppia canna / doppio binario	22746,0	22761,0	15,0		
	SCIGLIO	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppia canna / doppio binario	23486,0	23504,0	18,0	9258,8	20 (min) 280 (max)
GALLERIA NATURALE		tradizionale / doppia canna / doppio binario	23504,0	23586,0	82,0			
GALLERIA NATURALE		meccanizzato / doppia canna	23586,0	32713,0	9127,0			
IMBOCCO LATO MESSINA		artificiale / doppia canna	32713,0	32744,8	31,8			
NIZZA	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppio binario	33435,5	33450,0	14,5	497,0	10 (min) 65 (max)	
	GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppio binario	33450,0	33910,0	460,0			
	IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppio binario	33910,0	33932,5	22,5			
ALI'	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppio binario	34336,0	34392,0	56,0	144,3	15 (min) 20 (max)	
	GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppio binario	34392,0	34469,5	77,5			
	IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppio binario	34469,5	34480,3	10,8			
QUALI	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppio binario	34755,0	34772,0	17,0	4187,6	30 (min) 170 (max)	
	CAMERONE LATO CATANIA	tradizionale / doppia canna	34772,0	34970,7	198,7			
	GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna	34970,7	38932,0	3961,3			
	IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppia canna	38932,0	38942,6	10,6			
SCALETTA	IMBOCCO LATO CATANIA	artificiale / doppia canna	39204,5	39215,0	10,5	2732,0	15 (min) 130 (max)	
	GALLERIA NATURALE	tradizionale / doppia canna	39215,0	41923,0	2708,0			
	IMBOCCO LATO MESSINA	artificiale / doppia canna	41923,0	41936,5	13,5			

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Galleria Ali

La galleria Ali è una singola canna a doppio binario lungo complessivamente 144,3 m. Presenta coperture ridotte, non superiori a 20 m circa, ed ha un andamento altimetrico monopendente (al 2‰) in discesa procedendo in direzione Messina.

Galleria Quali

La galleria Quali è lunga complessivamente 4187,58 m, e fatta eccezione per un breve tratto iniziale in prossimità dell'imbocco lato Catania, è a doppia canna singolo binario. Procedendo in direzione Messina, l'andamento altimetrico risulta monopendente in discesa prima al 2‰ e poi al 4‰. Le coperture sono generalmente elevate, con valori massimi fino a 170 m.

Nella tratta iniziale in corrispondenza dell'imbocco lato Catania è previsto un camerone lungo 199 m per gestire la transizione dalla configurazione a singola canna dell'imbocco.

Galleria Scaletta

La galleria Scaletta è lunga complessivamente 2732 m, a doppia canna singolo binario.

Procedendo in direzione Messina, l'andamento altimetrico risulta monopendente in discesa prima al 6‰ e poi al 2‰. Le coperture sono generalmente elevate, con valori massimi sino a 130 m, salvo rare puntuali incisioni.

7.2 Sezioni tipo di intradosso

Le sezioni di intradosso progettate derivano dalle sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), per Gabarit C, P.M.O. 5 e velocità di progetto $V < 200$ km/h. Al suo interno è previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast ed elettrificazione a c.c. a 3 kV.

Gli stradelli di servizio sono a geometria variabile, secondo quanto prescritto dal Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]). Al variare della sopraelevazione del binario, il ciglio del marciapiede è posto ad altezza fissa, misurata perpendicolarmente al piano di rotolamento, pari a +55 cm, e a distanza dal bordo interno della più vicina rotaia, misurata parallelamente al piano di rotolamento, pari a 113 cm. La larghezza dei camminamenti è sempre maggiore di 120 cm.

La sezione d'intradosso per le tratte a doppio binario in tradizionale (Figura 1) presenta un raggio di 5,40 m per calotta e piedritti; la larghezza dei marciapiedi è pari a 1,29 m per binario in configurazione retta.

La sezione d'intradosso per le tratte a singolo binario in tradizionale (Figura 2) è policentrica con un raggio di 2,85 m in chiave calotta e presenta un disassamento tra asse galleria e asse binario di 10 cm; la larghezza del marciapiede è pari a 1,45 m per binario in configurazione retta.

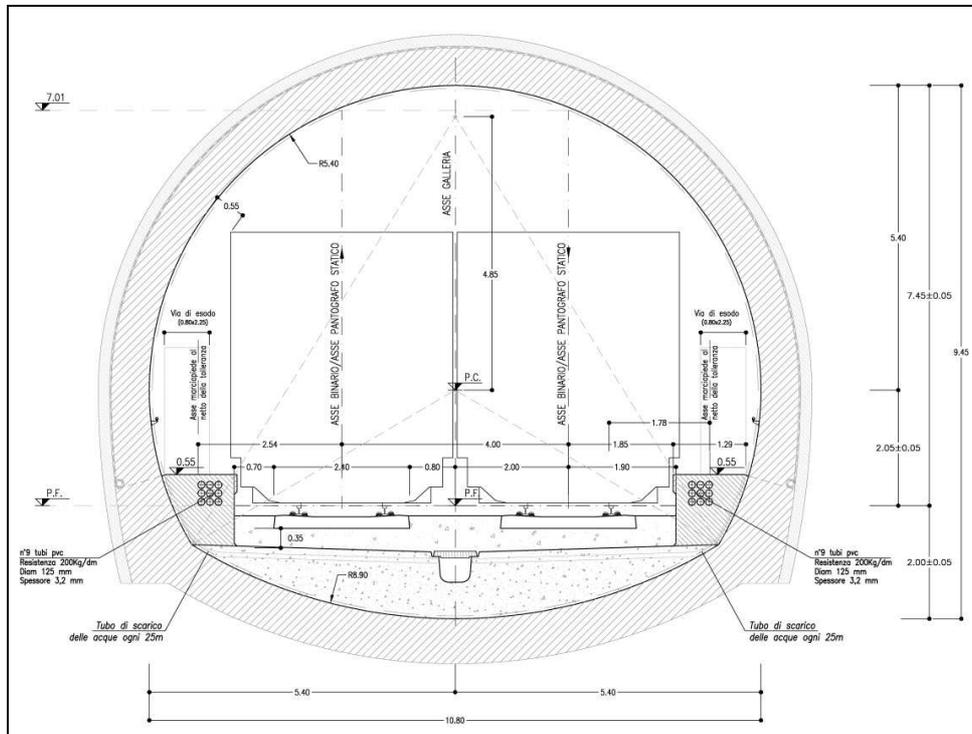


Figura 1 – Sezione di intradosso per tratte a doppio binario in tradizionale

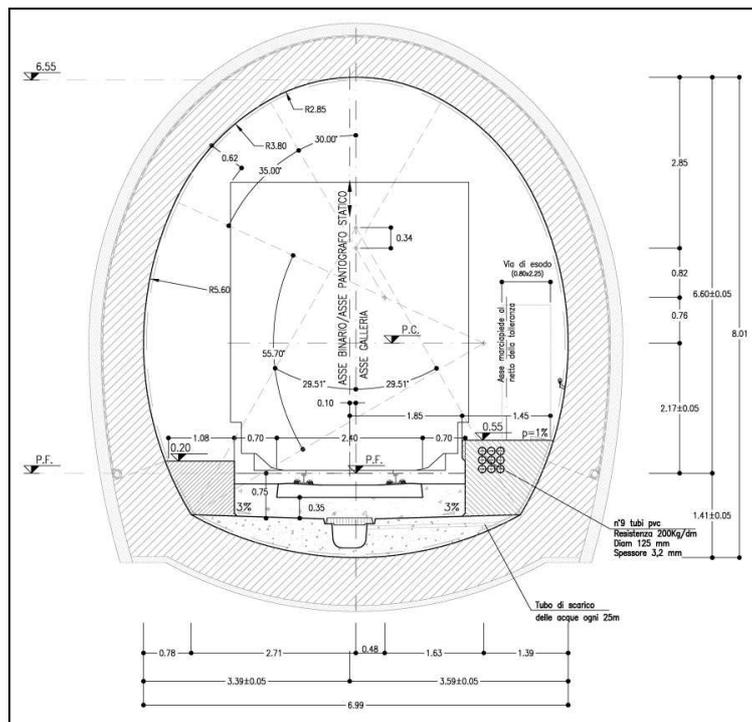


Figura 2 – Sezione di intradosso per tratte a singolo binario in tradizionale

La sezione d'intradosso per le tratte a singolo binario in meccanizzato (Figura 3) è monocentrica con raggio di 4,00 m e presenta un disassamento tra asse galleria e asse binario di 20 cm; la larghezza del marciapiede è pari a 1,73 m per binario in configurazione retta.

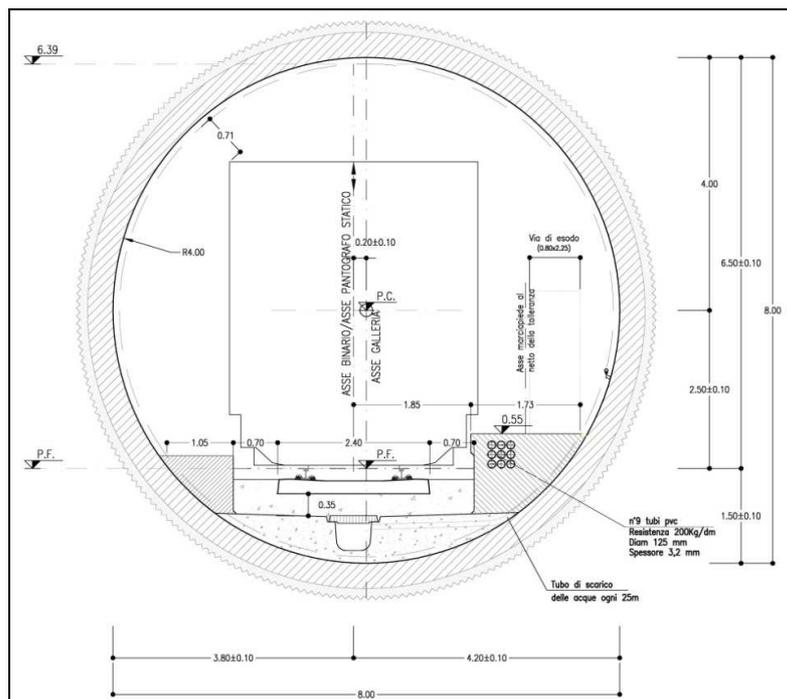


Figura 3 – Sezione di intradosso per tratte a singolo binario in meccanizzato

Nelle zone di passaggio tra la configurazione a singola canna doppio binario e quella a doppia canna singolo binario, sono previsti dei camerone di transizione con sezioni tipo di grandi dimensioni, opportunamente definite in funzione dell'interdistanza tra i binari.

Per agevolare i passaggi da una sezione d'intradosso alla successiva, tutte le sezioni di camerone sono state definite con lo stesso raggio di pedritto pari a 5,60 m.

Di seguito per ciascun camerone previsto lungo il tracciato, sono riassunte le principali caratteristiche geometriche delle relative sezioni d'intradosso.

Tabella 2 – galleria Taormina, camerone lato ME da pk 14+158 b.p. a pk 14+407 b.p. (L=249 m)

Sezione tipo	Lunghezza di applicazione (m)	Larghezza al piano dei centri (m)
interasse 4-5	120,07	11,79
interasse 5-7	48,43	13,79
interasse 7-9	31,80	15,79
interasse 9-11	26,52	17,79
interasse 11-13	22,24	19,79

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Tabella 3 – galleria Quali, camerone lato CT da pk 34+772 b.p. a pk 34+971 b.p. (L=199 m)

Sezione tipo	Lunghezza di applicazione (m)	Larghezza al piano dei centri (m)
interasse 4-4,2	17,63	10,99
interasse 4,2-5	43,89	11,79
interasse 5-7	51,08	13,79
interasse 7-9	34,10	15,79
interasse 9-11	27,98	17,79
interasse 11-13	24,02	19,79

Si segnala infine che all’imbocco lato Messina della galleria Forza d’Agrò e all’imbocco lato Catania della galleria Sciglio, rispettivamente per i primi 80 e 100 m circa, è prevista una configurazione a doppia canna, doppio binario, per accogliere i due binari di precedenza funzionali alla fermata di S.Alessio.

7.3 Nicchie

Con riferimento al Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), non è prevista la realizzazione di nicchie per il ricovero del personale, trattandosi di una linea a doppio binario, con circolazione di tipo banalizzato.

In galleria saranno pertanto realizzate soltanto nicchie a servizio delle esigenze impiantistiche e tecnologiche della linea, generalmente con passo 250 m. Per ulteriori dettagli circa l’ubicazione e la tipologia delle nicchie si rimanda agli elaborati dedicati.

7.4 By-pass trasversali

Per ottemperare al requisito delle Norme STI (da Rif. [4] a Rif. [6]), nelle tratte di galleria a doppia canna si prevede la realizzazione di rami di collegamento trasversali (by-pass) ad interasse di 500 m. Le due gallerie di linea sono di regola disposte con un interasse di 35 m; riduzioni d’interasse sono previste in corrispondenza degli imbocchi, per raccordarsi alle opere esterne.

La sezione d’intradosso dei by-pass ha un raggio di 2,35 m in calotta; la larghezza utile al piano di calpestio è pari a 3,80 m. I by-pass sono collegati alla galleria di linea attraverso zone filtro con accesso mediante 2 porte di larghezza utile pari a 90 cm e altezza utile pari a 200 cm.

7.5 Pozzi

Per rispondere alle esigenze impiantistiche e funzionali della linea, il progetto prevede diverse tipologie di pozzi.

Per la sconnessione fumi del camerone lato Messina della galleria Taormina è previsto un pozzo di diametro interno utile 3,7 m e profondo circa 90 m, che sarà realizzato con scavo meccanizzato mediante tecnologia *raise boring*.

In prossimità del punto di minimo relativo del tracciato altimetrico di progetto, che si ha nella galleria Sciglio per il sotto-attraversamento del torrente Savoca, è previsto un pozzo di aggotamento dedicato all’impianto di

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 15 di 54

sollevamento per lo smaltimento dell'eventuale accumulo di acqua. Si tratta di un piccolo pozzo circolare con diametro interno utile pari a 3,40 m che raggiunge una profondità dal piano campagna pari a circa 35 m.

7.6 Condotti di ventilazione

In progetto è prevista un'ulteriore opera in sotterraneo a servizio dell'impianto di ventilazione per la sconnessione fumi del camerone all'imbocco lato Catania della Galleria Quali. Si tratta di un condotto che collega il camerone con una centrale di ventilazione esterna; è lungo circa 135 m, ha la stessa sezione di intradosso delle uscite pedonali e garantisce una superficie libera di circa 9,75 m².

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [23]) 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.

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.

9.1 Inquadramento geologico

Di seguito è riportata una breve descrizione delle principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni che interessano la linea. Per approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [11]).

9.1.1 Caratteristiche stratigrafiche

Il settore Nord-orientale dell'isola siciliana è caratterizzato dalla presenza di due differenti domini stratigrafico-strutturali, rispettivamente riconducibili alla Catena Appenninico-Maghrebide e alla Catena Kabilo-Calabride. Su tali successioni poggiano, in discordanza stratigrafica, spesse coperture sintettoniche oligo-mioceniche, depositi tardorogeni miocenici e terreni gessoso-solfiferi messiniani (Figura 4). Le suddette sequenze sono ricoperte da estesi depositi quaternari di origine vulcanica, marina, continentale e transizionale, particolarmente diffusi in corrispondenza della costa ionica e lungo i principali fondovalle dell'area (Rif. [11]).

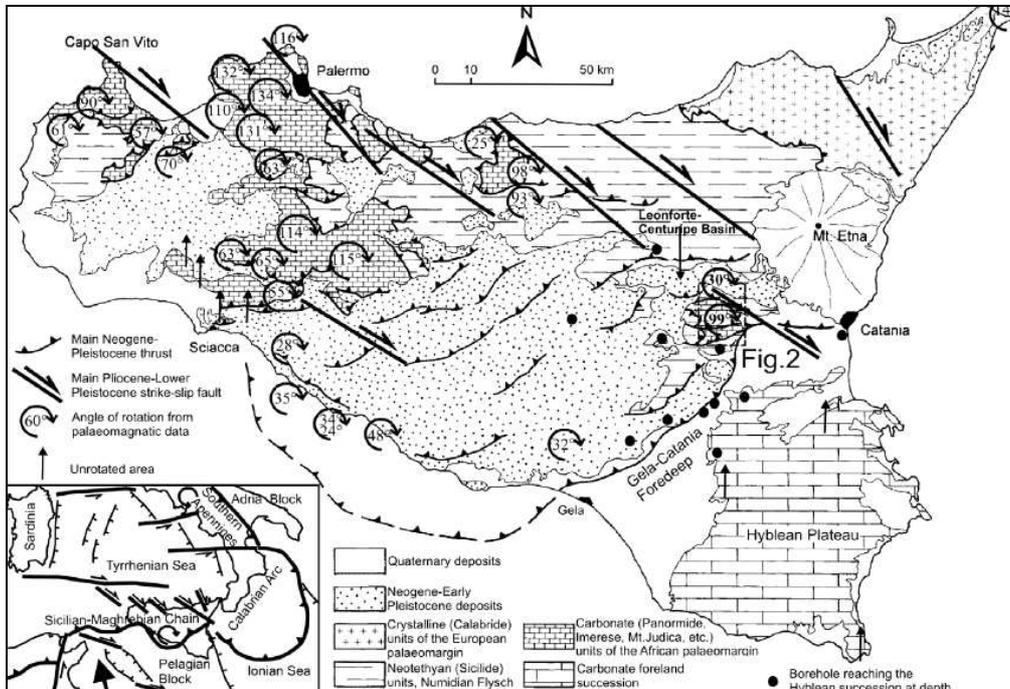


Figura 4 – Carta geologico-strutturale della Sicilia (da Monaco & De Guidi 2006).

Con riferimento a quanto riportato nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, le successioni stratigrafiche presenti nell'intera tratta ferroviaria oggetto di approfondimento possono essere distinte, dal basso verso l'alto, in:

- **Unità Appenninico-Maghrebidi:** depositi marini mesozoici su cui giacciono, in discordanza stratigrafica, coperture sintettoniche oligoceniche di natura essenzialmente terrigena;
- **Unità Kabilo-Calabridi:** successioni metamorfiche paleozoiche e mesozoiche, su cui giacciono sequenze marine meso-cenozoiche e spesse coperture sintettoniche oligo-mioceniche di natura prevalentemente terrigena;
- **Successioni clastiche oligo-mioceniche:** successioni marine infra-cenozoiche sia carbonatiche che terrigene, in appoggio stratigrafico discordante sulle unità tettoniche kabilo-calabridi e appenninico-maghrebidi;
- **Successioni clastiche quaternarie:** depositi di origine vulcanica, marina, continentale e transizionale, posti a copertura di tutte le unità geologiche di substrato.

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a sequenze metamorfiche e sedimentarie di substrato che a successioni clastiche di copertura secondo lo schema di rapporti geometrici riportato in Figura 5.

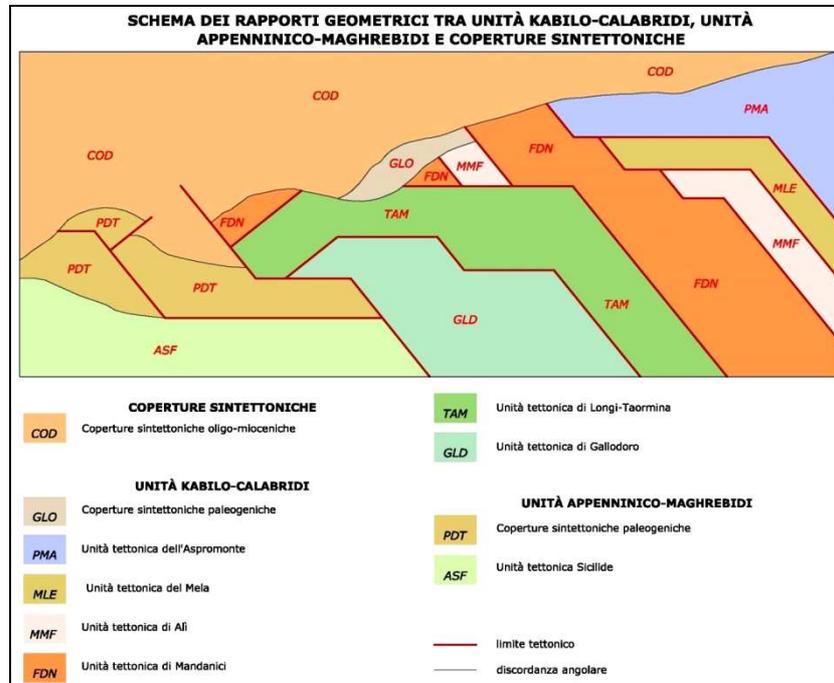


Figura 5 – Schema dei rapporti geometrici tra le Unità Kabilo-Calabridi, Unità Appenninico-Maghebidi e Coperture sintettoniche oligo-mioceniche (Rif. [11]).

Nei settori relativi alla tratta ferroviaria Fiumefreddo-Giampilieri del Lotto 2, quindi, sono state individuate e perimetrare le seguenti unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che le successioni sono state suddivise utilizzando Unità Stratigrafiche Convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri con particolare composizione litologica.

Per approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [11]).

- Epimetamorfiti del Vallone Letojanni

Tale formazione affiora localmente nel settore meridionale dell'aria di studio, tra il centro abitato di Taormina e i rilievi collinari presenti immediatamente a Nord del Torrente Letojanni. È costituita da argilloscisti di colore grigio scuro, verde e rossastro (GLD), a tessitura da scistosa a sottilmente stratificata, con diffuse intercalazioni di scisti, metareniti, metasiltiti e metavulcaniti di colore grigio; sono presenti comuni lenti e livelli di quarzo; rari livelli di sabbie quarzose, di colore grigio, da poco addensate a sciolte. L'unità risulta generalmente molto alterata nella porzione più superficiale, spesso completamente argillificata e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- Calcari di Mazzarò

La presente unità affiora in lembi di limitata estensione nel settore settentrionale del lotto in esame, a Nord del centro abitato di Taormina. Si tratta di calcari micritici di colore grigio (GCM), massivi o non stratificati, con clasti di quarzo a spigoli vivi e frequenti esemplari di Gasteropodi e Brachiopodi; lateralmente e verso l'alto

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

passano ad una successione condensata costituita da calcari a Crinoidi di colore grigio e rosa, con livelli discontinui di calcari e calcari marnosi a Crinoidi, Brachiopodi, Gasteropodi e Calpionelle. A luoghi sono presenti cavità carsiche e orizzonti di terre rosse con spessore fino ad alcuni metri.

- **Epimetamorfiti di Longi-Taormina**

Questa unità si rinviene estesamente nei settori meridionali del lotto in esame, tra il centro abitato di Taormina e il Torrente Fondaco Parrino, e in lembi poco estesi nella parte centrale dei settori di interesse, a Nord del Torrente Pagliara. Si tratta di argilloscisti di colore grigio, grigio-azzurro e verdastro (**TAM**), a tessitura scistosa, con diffusi passaggi di scisti, metareniti e metasiltiti di colore grigio; sono presenti sporadiche lenti e livelli di quarzo. L'unità risulta generalmente molto alterata nella porzione più superficiale, spesso completamente argillificata e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- **Verrucano peloritano di Taormina**

Tale unità affiora in lembi di limitata estensione nei settori meridionali della zona di intervento, a Nord del centro abitato di Taormina. È rappresentato da arenarie quarzose medio-fini di colore rosso, ocre e giallastro (**VEP2**), massive o in grossi banchi, in alternanza con siltiti e argilliti di colore rosso, grigio e giallo-verdastro, laminate o sottilmente stratificate; localmente si rinvengono livelli discontinui e tettonizzati di conglomerati e microconglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbioso-limosa di colore rosso e ocre, da poco a mediamente cementata. L'unità risulta spesso molto alterata nella porzione più superficiale e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- **Calcari e dolomie di Taormina**

Quest'unità affiora nei settori meridionali della zona di intervento, tra Taormina e il Torrente Letojanni, e in un'area di limitata estensione poco a Nord del Torrente Savoca. Si tratta di biocalcareni algali e calcari detritici di colore grigio e grigio-biancastro (**DOA**), massivi o in strati da 10 a 60 cm, con frequenti esemplari di Gasteropodi, Lumachelle, Brachiopodi e Crinoidi; lateralmente e verso l'alto passano a dolomie saccaroidi di colore grigio-biancastro e rosa-giallastro, massive o mal stratificate; localmente l'intervallo è sormontato da pochi strati di calcari micritici nerastri, in strati da 10 a 30 cm, con rare lenti di selce scura, diffusi elementi vegetali carboniosi e frequenti esemplari di Ostreidi, Brachiopodi e Coralli solitari, a luoghi con intercalazioni di siltiti e arenarie fini di colore ocre e rossastro.

- **Rosso Ammonitico**

La presente formazione affiora in lembi poco estesi unicamente nel settore meridionale dell'area di interesse, poco a Sud del centro abitato di Taormina. È costituito da marne argillose di colore rosso e grigio-verdastro (**RSA**), in strati da 1 a 3 cm, in alternanza con calcari marnosi verdastri a *Cancellophycus* sp. e marne calcaree rossastre a Lamellibranchi, Ammoniti ed Aptici, talora nodulari, in strati da 2 a 8 cm; localmente si rinvengono sottili livelli di radiolariti, calcari silicei e diaspri di colore rosso e verdastro; al tetto della successione sono presenti alcuni metri di calcari marnosi verdastri con intercalazioni di breccie calcaree e un *debris* di filladi, Crinoidi, Radiolari e *Trocholina* sp..

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- **Maiolica**

Questa formazione si rinviene nei settori centro-meridionali della zona di studio, poco a Sud del centro abitato di Taormina, lungo una fascia estesa in direzione NW-SE. Si tratta di calcari micritici di colore biancastro (**MAI**), massivi e a frattura concoide, con frammenti di natura metamorfica e frequenti esemplari di Aptici, Belemniti e Calpionelle; verso l'alto passano ad un'alternanza di calcari marnosi e marne calcaree di colore biancastro, in strati da 5 a 30 cm, con liste e noduli di selce nera.

- **Metamorfiti di Mandanici**

La formazione in esame affiora diffusamente nel settore centro-settentrionale dell'area di intervento, a Nord della dorsale di Forza d'Agrò. Si tratta di filladi di colore grigio, nerastro, grigio-azzurro e verdastro (**FDN**), a tessitura scistosa, progressivamente passanti a metareniti, metasiltiti e micascisti di colore grigio, verde e nerastro, a tessitura scistosa; localmente si rinvencono corpi metrici di metabasiti, porfiroidi e quarziti, oltre a litoni tettonicamente inglobati di sedimenti mesozoici; sono presenti comuni vene di quarzo, processi idrotermali e mineralizzazioni metalliche.

- **Metamorfiti di Alì**

Tale unità affiora nella porzione settentrionale dell'area di studio, a NW di Capo d'Alì, lungo una stretta fascia allungata in direzione circa SW-NE. È formata da metareniti e metasiltiti di colore grigio scuro (**MMF**), a tessitura scistosa, con locali passaggi di micascisti di colore grigio-verdastro; a luoghi si rinvencono intercalazioni di metalutiti di colore grigio scuro, a tessitura scistosa, con abbondanti frustoli mal conservati e locali impronte di piante attribuite a *Lepidodendron*, *Sigillaria* e *Bothrodendron*; sono presenti comuni lenti e noduli di quarzo. L'unità risulta generalmente molto alterata nella porzione più superficiale, spesso completamente argillificata e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- **Verrucano peloritano di Alì**

Questa unità si rinviene diffusamente nei settori settentrionali dell'area di studio, tra il Torrente Fiumedinisi a sud e Torrente Itala a nord. Si tratta da metareniti di colore rosso, giallastro, grigio e rosso-vinaccia (**VEP1**), a tessitura scistosa, in alternanza con metasiltiti e metalutiti di colore rosso, grigio-verdastro e giallastro, a tessitura scistosa spesso associata a pieghe isoclinali; localmente si rinvencono intercalazioni di argilloscisti di colore grigio e rosso-vinaccia, a tessitura scistosa, e livelli di metaconglomerati di colore nocciola, grigio e rosato; sono presenti comuni lenti e noduli di quarzo. L'unità risulta generalmente molto alterata nella porzione più superficiale, spesso completamente argillificata e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- **Dolomie evaporitiche di Casello**

L'unità in esame affiora nel settore settentrionale della zona di studio, prevalentemente a Nord del Torrente Alì. È formata da un'alternanza di dolomie evaporitiche vacuolari di colore grigio e rosato (**ALD**), calcari nerastri, calcari e arenarie medio-fini di colore giallastro e rosso-vinaccia, carnirole grigie e giallastre talora gessifere, in strati da 20 a 50 cm. L'unità risulta spesso fortemente cataclasata e attraversata da fitti sistemi di fratture riempite da carbonati.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- **Calcilutiti di Casello**

Tale unità affiora in un lembo di limitata estensione nel settore settentrionale dell'area di studio, a Nord di Capo di Alì. Si tratta di un'alternanza di calcilutiti, calcisiltiti e calcari marnosi di colore grigio e nocciola (**ACS**), in strati da 10 a 30 cm, con frequenti intercalazioni di marne e marne calcaree di colore grigio e grigio-bluastrò, in strati da 5 a 40 cm, con noduli di selce scura.

- **Complesso metamorfico varisico**

L'unità affiora abbastanza diffusamente nei settori centrali e settentrionali dell'area di studio, prevalentemente a Nord del Torrente Itala e nella zona compresa tra la Fiumara d'Agrò ed il Torrente Savoca. È formata da paragneiss di colore grigio (**PMAa**), a tessitura massiva o orientata, progressivamente passanti a micascisti di colore grigio scuro, a tessitura scistosa; a luoghi sono presenti corpi di gneiss occhiadini, lenti metriche di anfiboliti, marmi e banchi di quarziti. L'unità risulta generalmente molto alterata nella porzione più superficiale, spesso completamente argillificata e a luoghi fortemente cataclasata e/o milonitizzata.

- **Conglomerato rosso**

Questa formazione affiora unicamente nel settore centro-meridionale della zona di studio, tra il Fondaco Parrino e la Fiumara d'Agrò. È composta da conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici (**GLO**), da sub-angolosi ad arrotondati, in matrice sabbiosa e microconglomeratica di colore rosso, nocciola e verdastro, generalmente abbondante, da poco a mediamente cementata; a diverse altezze stratigrafiche si rinvencono passaggi di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice argilloso-limosa e argilloso-sabbiosa di colore grigio e rossastro, generalmente abbondante; localmente sono presenti lenti di conglomerati a prevalenti clasti arrotondati di natura carbonatica. Inglobati nella massa conglomeratica si rinvencono numerosi olistoliti fortemente eterometrici (**GLOa**) derivanti da successioni carbonatiche mesozoiche, prevalentemente costituiti da calcari biancastri, dolomie grigio-biancastre e brecce calcaree cataclamate.

- **Flysch di Capo D'Orlando**

Tale unità è ampiamente affiorante nei settori meridionali dell'area di studio, tra Taormina e la Fiumara d'Agrò. Si tratta di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici (**CODa**), da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e microconglomeratica di colore grigio e grigio-giallastro, generalmente abbondante, da poco a ben cementata; spesso si rinvencono blocchi poligenici da sub-arrotondati ad arrotondati, di dimensioni da decimetriche a metriche. Lateralmente e verso l'alto passano ad arenarie arcosiche da fini a grossolane di colore grigio, avana e giallastro (**CODb**), in strati da 30 cm a 3 m, da poco a ben cementate, con frequenti intercalazioni di argille limose e argille marnose di colore grigio, fogliettate o finemente stratificate; localmente si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e giallastro, talora debolmente cementate; a luoghi sono presenti lenti e livelli discontinui di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa di colore giallastro, generalmente abbondante, da poco a mediamente cementata. Al di sopra di una discordanza intraformazionale, si passa ad argille limose, argille limoso-sabbiose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e marrone (**CODe**), massive o a struttura scagliosa, con sottili intercalazioni di arenarie arcosiche fini di colore grigio e giallastro, da poco a mediamente cementate. Lateralmente e verso l'alto passano ad arenarie arcosiche fini di colore grigio e giallastro (**CODd**), in strati da 20 a 80 cm, da poco a mediamente cementate, con sottili intercalazioni di argille marnose grigie e locali passaggi di sabbie limose giallastre.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- **Calcareniti di Floresta**

Questa unità si rinviene esclusivamente nel settore centrale dell'area di studio, in corrispondenza dei rilievi collinari immediatamente a Sud del Torrente Fiumedinisi. Sono formate da calcareniti organogene di colore bianco-grigiastro (**CFL**), in banchi da 2 a 4 m, talora a stratificazione incrociata, in genere poco cementate, con numerosi frammenti di Alge, Briozoi e *Amphistegina*; verso l'alto passano ad arenarie arcosiche fini di colore grigio-biancastro, in strati da 20 cm a 2 m, con diffusa glauconite, abbondanti resti organogeni e sottili intercalazioni di argille marnose grigiastre; alla base si rinviene un intervallo di alcuni metri costituito da argille marnose di colore bruno e grigio-azzurro, sottilmente laminate, progressivamente passanti a microconglomerati gradati di colore bruno, con clasti arrotondati di dimensione centimetrica in cui sono immersi elementi a spigoli vivi di dimensioni maggiori.

- **Conglomerati di Allume**

La formazione in esame affiora abbastanza diffusamente nel settore centro-settentrionale dell'area di studio, a Nord del Torrente Soglio e nei pressi del Torrente Ali. Si tratta di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa di colore marrone, grigio e giallastro (**LLM**), generalmente abbondante, da poco a mediamente cementata; si rinvengono frequenti passaggi di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone e giallastro, generalmente abbondante, da sciolta a poco cementata; a luoghi sono presenti livelli decimetrici di sabbie rosse e giallastre, talora debolmente cementate, e sottili intercalazioni di limi e limi argillosi di colore grigio chiaro.

- **Ghiaie e sabbie di Messina**

Questa unità si rinviene diffusamente nel settore centrale dell'area di studio, tra la Fiumara d'Agrò e il Torrente Fiumedinisi. È composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**MSS**), da sub-arrotondate ad arrotondate e localmente appiattite, spesso embriciate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone, grigio e giallastro, generalmente abbondante, da sciolta a poco cementata; a luoghi sono presenti blocchi poligenici da sub-angolosi a sub-arrotondati, di dimensioni da decimetriche a metriche; si rinvengono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio-giallastro e rossastro, a luoghi debolmente cementate, con abbondanti ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate; nelle porzioni più grossolane sono presenti resti ossei e molari fluitati di mammiferi.

- **Depositi alluvionali recenti**

La presente unità si rinviene diffusamente in tutta la zona di intervento, in corrispondenza dei fondovalle dei principali corsi d'acqua dell'area e dei loro affluenti maggiori. È rappresentata da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bb**), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi sono presenti blocchi poligenici da sub-angolosi a sub-arrotondati, di dimensioni da decimetriche a metriche; localmente si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con abbondanti ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose ad arrotondate.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Tale unità è formata da depositi di canale fluviale, argine e conoide alluvionale, in appoggio discordante sulle diverse unità del substrato. La successione è localmente eteropica con i depositi di piana litorale (**g1**) ed è interamente ascrivibile all'Olocene.

- **Depositi alluvionali attuali**

Tali depositi si rinvencono in tutta l'area di studio, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua e dei loro affluenti maggiori. Sono formati da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**ba**), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi sono presenti blocchi poligenici da sub-angolosi a sub-arrotondati, di dimensioni da decimetriche a metriche; localmente si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con abbondanti ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate.

- **Depositi detritico-colluviali**

Tali terreni si rinvencono diffusamente in tutta l'area di studio, in corrispondenza delle depressioni impluviali o alla base dei rilievi più acclivi ed estesi. Sono formati da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**b2**), da angolose a sub-angolose, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e marrone-brunastro, generalmente abbondante; localmente si rinvencono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-angolose.

9.1.2 Assetto geologico locale

Di seguito per ciascuna galleria naturale viene data una descrizione delle principali caratteristiche geologico-strutturali delle formazioni attraversate.

Galleria Taormina Fase 2 (km 13+900 – km 16+034):

La Galleria Taormina si colloca nella porzione centro-meridionale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro variabili tra 21.1 e 37.8 m circa s.l.m.. Nei settori Sud-occidentali, il tracciato intercetta le Epimetamorfiti del Vallone Letojanni (**GLD**), che sono tettonicamente interessate da estese faglie dirette ad asse circa NW-SE. Dopo tali elementi, il tracciato intercetta i litotipi delle Epimetamorfiti di Longi-Taormina (**TAM**), che verso il basso risultano tettonicamente sovrapposte ai dei Calcari di Mazzarò (**GCM**) e delle Epimetamorfiti del Vallone Letojanni (**GLD**). In seguito, a due estese faglie dirette ad alto angolo la galleria in questione intercetta i litotipi carbonatici dei Calcari di Mazzarò (**GCM**), sempre in sovrascorrimento sui litotipi delle Epimetamorfiti del Vallone Letojanni (**GLD**). Infine nella porzione Nord-orientale del tratto, il tracciato ferroviario attraversa i depositi arenaceo-pelitici del Flysch di Capo d'Orlando (**CODE**) che passano, verso il basso, attraverso un *thrust* ai litotipi arenaceo-marnosi della medesima successione (**CODb**).

Galleria Letojanni (km 16+294 – km 20+160):

La Galleria Letojanni si colloca nel settore centrale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro comprese tra i 38.8 ed i 46.5 m circa s.l.m.. Nel settore meridionale, il tracciato intercetta i terreni arenaceo-marnosi del Flysch di Capo d'Orlando (**CODb**), progressivamente passanti verso Nord alla componente conglomeratico-sabbiosa della medesima formazione (**CODa**). All'altezza del km 18+370, i suddetti litotipi sono

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

dislocati da una importante faglia diretta ad asse NE-SW, che ribassa i settori Sud-occidentali di alcune decine di metri. Intorno al km 18+508, la galleria intercetta un'ulteriore faglia diretta ad asse circa NNE-SSE, che mette a contatto i termini silicoclastici infra-cenozoici coi terreni del basamento metamorfico paleozoico. A Nord di tale elemento, quindi, il tracciato intercetta i litotipi delle Epimetamorfiti di Longi-Taormina (**TAM**), che risultano interessati da un'estesa faglia subverticale all'altezza del km 19+573. Infine, alla base dei rilievi e lungo i principali corsi d'acqua si rinvencono locali depositi alluvionali attuali (**ba**) e coltri detritico-colluviali (**b2**), particolarmente importanti in corrispondenza dell'imbocco Nord-orientale della galleria in questione.

Galleria Forza d'Agrò (km 20+294 – km 22+761):

La Galleria Forza d'Agrò si colloca nel settore centrale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro variabili tra 45.7 e 49.5 m s.l.m.. Nel tratto Sud-occidentale, il tracciato intercetta inizialmente Epimetamorfiti di Longi-Taormina (**TAM**) passanti in contatto stratigrafico ai depositi sedimentari (**GLO**) e carbonatici (**GLOa**) del Conglomerato rosso. Questo settore è caratterizzato dalla presenza di almeno tre fronti di sovrascorrimento a vergenza Sud-occidentale, a loro volta variamente dislocati da faglie dirette e trascorrenti ad alto angolo. Nel settore Nord-orientale, invece, la galleria in questione interessa unicamente le filladi delle Metamorfiti di Mandanici (**FDN**), che risultano giustapposti ai litotipi del Conglomerato rosso (**GLO**) mediante una faglia di cinematica sconosciuta sub-verticale ad asse NE-SW. In corrispondenza degli imbocchi, infine, il tracciato intercetta locali lembi di depositi detritico-colluviali (**b2**) di esiguo spessore.

Galleria Sciglio (km 23+486 – km 32+745):

La Galleria Sciglio si colloca nella porzione centrale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro variabili tra 32.2 e 50.3 m s.l.m.. Nei settori Sud-occidentali del tratto, la galleria intercetta un lembo poco esteso delle Ghiaie e sabbie di Messina (**MSS**) e, quindi, le componenti prevalentemente filladiche delle Metamorfiti di Mandanici (**FDN**). Tra il km 26+590 e il km 26+948 circa, quindi, il tracciato attraversa di depositi alluvionali recenti del Torrente Savoca (**bb**), che in questo settore presentano uno spessore massimo di circa 40.0 m. I suddetti terreni risultano estesamente ricoperti da riporti antropici, coltri detritico-colluviali (**b2**) e depositi alluvionali attuali (**ba**), mentre mascherano al centro della piana un'importante faglia diretta responsabile della giustapposizione di differenti unità tettoniche. In particolare tale faglia ribassa i settori meridionale e mette in contatto le Metamorfiti di Mandanici (**FDN**), con il Verrucano peloritano di Taormina (**VEP2**). Questi ultimi risultano in contatto stratigrafico verso l'alto con i Calcari e dolomie di Taormina (**DOA**) e verso il basso sull'Unità tettonica di Longi-Taormina, qui rappresentati dalle Epimetamorfiti di Longi-Taormina (**TAM**). Le suddette unità sono caratterizzate da contatti stratigrafici a vergenza settentrionale, ma risultano comunque interessate da faglie dirette e trascorrenti ad asse circa NW-SE. All'altezza del km 27+483 circa, attraverso una faglia trascorrente tali unità passano alle Metamorfiti di Mandanici (**FDN**), intercettate dalla galleria fino al km 28+729 circa. Verso Nord, a seguito di un'estesa faglia diretta che ribassa i settori Sud-occidentali, il tracciato intercetta nuovamente le Epimetamorfiti di Longi-Taormina (**TAM**) e le Metamorfiti di Mandanici (**FDN**), messe sempre in contatto da un esteso fronte di sovrascorrimento a cui è associata un'ampia fascia cataclastica. In seguito, il tracciato intercetta localmente, i litotipi carbonatici delle Calcareniti di Floresta (**CFL**). Tali unità presentano un assetto piuttosto regolare e sono interessate, in più punti, da faglie dirette e subverticali con differenti orientazioni e risultano stratigraficamente ricoperti nella parte alta del rilievo dai terreni conglomeratico-sabbiosi delle Ghiaie e sabbie di Messina (**MSS**). Questi ultimi si rinvencono a pochi metri sopra la calotta della galleria nel tratto centro-settentrionale. Solo in corrispondenza dell'imbocco Nord-orientale della galleria in questione, il tracciato intercetta un'estesa fascia di depositi detritico-colluviali (**b2**) di discreto spessore.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Galleria Nizza (km 33+436 – km 33+933):

La Galleria Nizza si colloca nella porzione settentrionale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro variabili tra 43.4 e 42.5 m s.l.m.. Nel tratto iniziale il tracciato intercetta i depositi delle Metamorfiti di Mandanici (**FDN**) sovrascorse sulle metamorfiti del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Questi ultimi risultano interessati da una importante faglia diretta ad alto angolo all'altezza del km 33+698. Nel tratto finale, invece, la galleria attraversa i sedimenti clastici dei Conglomerati di Allume (**LLM**) e un lembo di coltri eluvio-colluviali (**b2**) di limitato spessore. I depositi pleistocenici poggiano in discordanza sulle metamorfiti del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**).

Galleria Alì (km 34+336 – km 34+480):

La Galleria Alì si colloca nella porzione settentrionale della tratta in progetto e presenta quote del piano ferro variabili tra 41.4 e 41.6 m s.l.m.. Il tracciato intercetta, per tutto il suo sviluppo, le metamorfiti del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Solo in corrispondenza dell'imbocco Nord-orientale della galleria in questione, il tracciato intercetta un'estesa fascia di depositi detritico-colluviali (**b2**) di modesto spessore.

Galleria Quali (km 34+755 – km 38+943):

La Galleria Quali è ubicata nel settore settentrionale della tratta in progetto e mostra una quota del piano ferro variabile tra i 26.5 e i 40.8 s.l.m.. Il tracciato interessa, nel settore Sud-occidentale, le metareniti ed i metaconglomerati del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Tali litotipi poggiano, attraverso un sovrascorrimento a basso angolo, sui calcari-dolomie delle Dolomie evaporitiche di Casello (**ALD**). Come descritto in precedenza, il contatto tettonico è marcato da una fascia cataclastica con spessore di alcune decine di metri, in corrispondenza della quale i litotipi del substrato carbonatico e metamorfico risultano completamente destrutturati e fortemente alterati. Il tracciato intercetta diverse formazioni dell'Unità tettonica di Alì, rappresentate dalle metamorfiti del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**) e da quelli calcareo-marnosi delle Dolomie evaporitiche di Casello (**ALD**) e Calcilutiti di Casello (**ACS**). Tali unità presentano complessi rapporti stratigrafico-strutturali e, infatti, sono messe a contatto da numerosi sovrascorrimenti e faglie dirette di varia estensione ed importanza. Nel settore Nord-orientale, grazie ad una faglia sub-verticale all'altezza del km 35+928, la galleria impegna per circa 1+700 m i Metamorfiti di Alì (**MMF**), per poi passare nuovamente al Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Tali litotipi sono variamente dislocati da numerose faglie dirette ad alto angolo e, in generale, costituiscono una estesa anticlinale coricata connessa al sovrascorrimento nella porzione centro-meridionale del tracciato.

Galleria Scaletta (km 39+205 – km 41+937):

La Galleria Scaletta si colloca nel settore settentrionale della tratta in progetto e mostra una quota del piano ferro variabile tra 17.1 e 25.3 m s.l.m.. La galleria intercetta, per gran parte del suo sviluppo, le Metamorfiti di Mandanici (**FDN**) e, solo nel tratto Nord-orientale, i litotipi del Complesso metamorfico varisico (**PMAa**), in appoggio tettonico a basso angolo sui litotipi filladici delle Metamorfiti di Mandanici (**FDN**). In particolare, le suddette unità risultano sovrapposte da importanti sovrascorrimenti a vergenza Sud-orientale e sono interessate, in più punti, da importanti faglie dirette ad alto angolo ad asse circa NW-SE e WNW-ESE.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

9.2 Indagini geotecniche

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere all'aperto e in sotterraneo, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagini geognostiche, sia pregresse (2003; 2005; 2006; 2013-2014) che riferite all'attuale fase progettuale (2017).

L'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sui profili geotecnici di progetto (da Rif. [12] a Rif. [22]); le relative stratigrafie ed i risultati delle prove eseguite sono allegati agli elaborati specialistici (Rif. [11]).

Nel corso del complesso *iter* progettuale sino ad oggi espletato, complessivamente nel Lotto 1 sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 82 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui n. 23 non attrezzati, n. 51 strumentati con piezometro e n. 8 attrezzati per sismica in foro;
- n. 163 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT);
- n. 28 prove pressiometriche e n. 8 dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 110 prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 26 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 2 tomografie elettriche;
- n. 3 prove MASW;
- n. 2 stendimenti sismici MASW/Re.Mi.

Il numero totale dei campioni prelevati nel settore di intervento del Lotto 1 e sottoposti a prove di laboratorio è di 239, di cui 34 campioni indisturbati di terreno, 162 rimaneggiati e 43 campioni di roccia. Su tali campioni sono state compiute le seguenti prove:

- prove di taglio (TD);
- prove triassiali (CIU, CID, UU);
- prove di resistenza a compressione monoassiale;
- prove di carico puntuale (Point Load);
- misure della velocità sonora V_p e V_s .

Nel Lotto 2, invece, complessivamente sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 127 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui n. 8 non attrezzati, n. 103 strumentati con piezometro e n. 16 attrezzati per sismica in foro;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- n. 417 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT);
- n. 38 prove pressiometriche e n. 31 dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 199 prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 50 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 3 tomografie elettriche;
- n. 4 prove MASW;
- n. 3 stendimenti sismici MASW/Re.Mi.

Il numero totale dei campioni prelevati nel settore di intervento del Lotto 2 e sottoposti a prove di laboratorio è di 267, di cui 24 campioni indisturbati di terreno, 187 rimaneggiati e 56 campioni di roccia. Su tali campioni sono state compiute le seguenti prove:

- prove di taglio (TD);
- prove triassiali (CIU, CID, UU);
- prove di resistenza a compressione monoassiale;
- prove di carico puntuale (Point Load);
- misure della velocità sonica V_p e V_s .

L'insieme delle indagini sopra elencate, riferite sia al Lotto 1 che al Lotto 2, sono risultate funzionali alla caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce coinvolti dalle opere in progetto e comuni ad entrambi i lotti.

9.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica per la progettazione definitiva di opere in sotterraneo è finalizzata all'individuazione delle problematiche geotecniche che la natura e le caratteristiche dei terreni pongono nella definizione delle soluzioni progettuali, all'individuazione delle criticità associate alle condizioni idrauliche del sottosuolo, all'esame delle condizioni di stabilità generale dell'area, prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto.

L'analisi e l'interpretazione di tutti i dati e le informazioni ad oggi disponibili, sia in riferimento al Lotto 1 che al Lotto 2, hanno portato ad individuare formazioni assimilabili dal punto di vista geotecnico, nel seguito definite "Unità geotecniche". Tali unità sono riportate in Tabella 4 con riferimento al tratto di interesse del Lotto 2 (in parentesi sono riportate le formazioni afferenti il Lotto 1 relative alla medesima unità geotecnica).

Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione, è illustrato nelle tavole dei profili geotecnici (da Rif. [12] a Rif. [22]).

Tabella 4 – Unità geotecniche – Lotto 2
(in parentesi sono riportate le formazioni afferenti il Lotto 1)

Unità geotecnica	Descrizione
b2;ba;bb;g1;MSS	Ghiaie e sabbie limose
(PDTa)/CODc	Argille ed arenarie
(PDTb)/CODd/CODb/CFL	Arenarie
CODa	Conglomerati
GLO/GLOa	Conglomerati/ Conglomerati con olistoliti calcarei
FDN/GLD/TAM/MMF	Argilloscisti/Filladi
PMAa	Paragneiss e micascisti
VEP1/VEP2	Metareniti/arenarie
ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)	Calcari marnosi
ALD/DOA/GCM	Calcari/dolomie
LLM	Conglomerati

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

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. [23]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

10.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [23]) 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 tensionali 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-

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

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 ed 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 Determinazione delle categorie di comportamento

Per la determinazione delle categorie di comportamento sono stati utilizzati principalmente due metodi di analisi:

- per le tratte ad alta copertura è stato utilizzato il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento); tale metodo consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi. Nella fase di diagnosi, poiché la finalità è la valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso in assenza di interventi di stabilizzazione, le analisi consistono nella valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) senza considerare l'interazione con i sostegni.
- Per le tratte a bassa copertura sono stati utilizzati i metodi di analisi della stabilità del fronte all'equilibrio limite.

10.3 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Per le opere in sotterraneo in progetto sono state considerate diverse sezioni di analisi per le diverse condizioni di ammasso e di copertura. Sulla base di queste analisi, il tracciato è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato delle gallerie sono illustrate in forma sintetica nelle tavole dei profili geotecnici di progetto (da Rif. [15] a Rif. [22]).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

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 Metodologia di scavo

11.1.1 Criteri di scelta del sistema di scavo

Dall'analisi del tracciato plano-altimetrico, in funzione delle lunghezze delle opere in sotterraneo di progetto, del contesto geologico-idrogeologico e geotecnico attraversato, sono stati definiti i metodi di scavo più opportuni per ciascuna galleria naturale. È previsto lo scavo tradizionale per tutte le gallerie ad eccezione di quasi l'intera galleria Sciglio (circa 9,1 km dal km 23+593 al km 32+713), eseguita con metodo di scavo meccanizzato con TBM di tipo EPB.

11.1.2 Scavo tradizionale. Gallerie di linea a doppio binario.

Per le tratte di galleria naturale a doppio binario con avanzamento in tradizionale, in funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, sono previste 7 diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e relative tecnologie esecutive, denominate A1, A2, B1, B2, C1, C2, C2v.

Per ciascuna sezione tipo sono previsti opportuni interventi di pre-sostegno e pre-contenimento al fronte ed al contorno, l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. Tutte le sezioni tipo prevedono l'installazione eventuale di drenaggi in avanzamento (3+3), l'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta con tubi di drenaggio microfessurati di raccolta ai piedi dell'impermeabilizzazione.

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione di tali sezioni tipo. Per eventuali approfondimenti si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda alle tavole dei profili geotecnici (da Rif. [15] a Rif. [22]).

11.1.2.1 Sezione tipo A1

La A1 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,80 m;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,40 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

11.1.2.2 Sezione tipo A2

La A2 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton e bullonatura radiale; può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 14/15 chiodi ad ancoraggio continuo $\varnothing 24$ disposti in raggiera alternate, lunghezza 6,00 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,20 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,70 cm) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

11.1.2.3 Sezione tipo B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=14,5 m (sovrapposizione minima 6,0 m) \pm 20% cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 33 tubi in acciaio valvolati, L=12,0 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4 m) \pm 20%;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

11.1.2.4 Sezione tipo B2

La B2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) \pm 20% cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

11.1.2.5 Sezione tipo C1

La C1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 microtrattamenti in jet-grouting \varnothing 300 armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) \pm 20%;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- precontenimento al contorno realizzato mediante 61 colonne in jet-grouting Ø600, L=16,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) ±20% e ulteriori 8+8 colonne al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

11.1.2.6 Sezione tipo C2

La C2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 40 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) ±20% cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) ±20% cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

11.1.2.7 Sezione tipo C2v

La C2v è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e interventi di presostegno al contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2v, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 11,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali in VTR, L=17,00 m (sovrapposizione minima 8,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 34 tubi in acciaio valvolati, L=14,00 m (sovrapposizione minima 5,5 m, interasse 0,40 m) $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

11.1.3 Scavo tradizionale. Gallerie di linea a singolo binario.

Per le tratte di galleria naturale a doppia canna singolo binario con avanzamento in tradizionale, in funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, sono previste 10 diverse sezioni tipo, intese come complesso inscindibile di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, confinamento, contenimento, drenaggio e delle relative tecnologie esecutive, denominate A1, A2, B1, B2, C2, C2v, C2p, C2d, C3v e C3d.

Per ciascuna sezione tipo sono previsti opportuni interventi di pre-sostegno e pre-contenimento al fronte ed al contorno, l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. Tutte le sezioni tipo prevedono l'installazione eventuale di drenaggi in avanzamento (2+2), l'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta con tubi di drenaggio microfessurati di raccolta ai piedi dell'impermeabilizzazione.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione di tali sezioni tipo. Per eventuali approfondimenti si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto. Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda alle tavole dei profili geotecnici (da Rif. [15] a Rif. [22]).

11.1.3.1 Sezione tipo A1

La A1 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,40 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

11.1.3.2 Sezione tipo A2

La A2 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton e bullonatura radiale; può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 9/10 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 4,50 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,20 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,60 cm) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

11.1.3.3 Sezione tipo B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m (sovrapposizione minima 5,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 21 tubi in acciaio valvolati, L=12,0 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4 m) $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

11.1.3.4 Sezione tipo B2

La B2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 7,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- calotta (spessore 0,70 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

11.1.3.5 Sezione tipo C2

La C2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 5,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

11.1.3.6 Sezione tipo C2v

La C2v è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e interventi di presostegno al contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2v, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 11,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=17,00 m (sovrapposizione minima 8,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 23 tubi in acciaio valvolati, L=14,00 m (sovrapposizione minima 5,5 m, interasse 0,40 m) ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m ± 20%;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore variabile da 0,55 m a 1,30 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

11.1.3.7 Sezione tipo C2p

La C2p è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno; la lunghezza dei consolidamenti in relazione al campo d'avanzamento è tale da garantirne la doppia sovrapposizione sia al fronte sia al contorno; è previsto inoltre l'impiego della centina puntone come rivestimento provvisorio in arco rovescio. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2p, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) ±20% cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 43 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) ±20% cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e centina singola HEB180 con passo 1,0 m ± 20% anche in arco rovescio;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

11.1.3.8 Sezione tipo C2d

La C2d è una sezione cilindrica a geometria circolare che prevede interventi di precontenimento del fronte e al contorno, e un campo di avanzamento ridotto; è previsto inoltre l'impiego di un rivestimento provvisorio anche in arco rovescio con centine scorrevoli. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C) ed alte coperture.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2d, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 25 elementi strutturali in VTR, L=18,0 m (sovrapposizione minima 12,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 58 elementi strutturali in VTR, L=15,0 m (sovrapposizione minima 9,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 6,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e centine scorrevoli TH29 con passo 1,0 m $\pm 20\%$ anche in arco rovescio;
- arco rovescio (spessore 0.80 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri;
- calotta (spessore 0,80 cm) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri.

11.1.3.9 Sezione tipo C3v

La sezione C3v prevede gli stessi interventi della sezione C2v ad eccezione dei consolidamenti al contorno che sono previsti con VTR valvolati anziché cementati con miscele espansive.

11.1.3.10 Sezione tipo C3d

La sezione C3d prevede gli stessi interventi della sezione C2d ad eccezione dei consolidamenti al contorno che sono previsti con VTR valvolati anziché cementati con miscele espansive.

11.1.4 Scavo tradizionale. Uscite di emergenza, by-pass e cunicoli di ventilazione.

Per la realizzazione delle tratte in naturale delle uscite di emergenza, dei by-pass e dei cunicoli di ventilazione, si utilizzerà la tecnica dello scavo in tradizionale mediante avanzamenti a piena sezione per singoli sfondi di lunghezza variabile in funzione del contesto geotecnico.

Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni tipo e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le gallerie di linea, descritte ai precedenti paragrafi. Tali sezioni trovano completa rappresentazione nei corrispondenti elaborati grafici.

11.1.5 Scavo meccanizzato. Gallerie di linea.

Per la tratta della galleria naturale Sciglio con avanzamento in meccanizzato, lo scavo sarà condotto mediante l'impiego di una macchina TBM-EPB, munita di un'opportuna testa fresante che consente di regolare la pressione al fronte in funzione delle condizioni di stabilità del mezzo attraversato, molto eterogenee ed estremamente variabili lungo il tracciato.

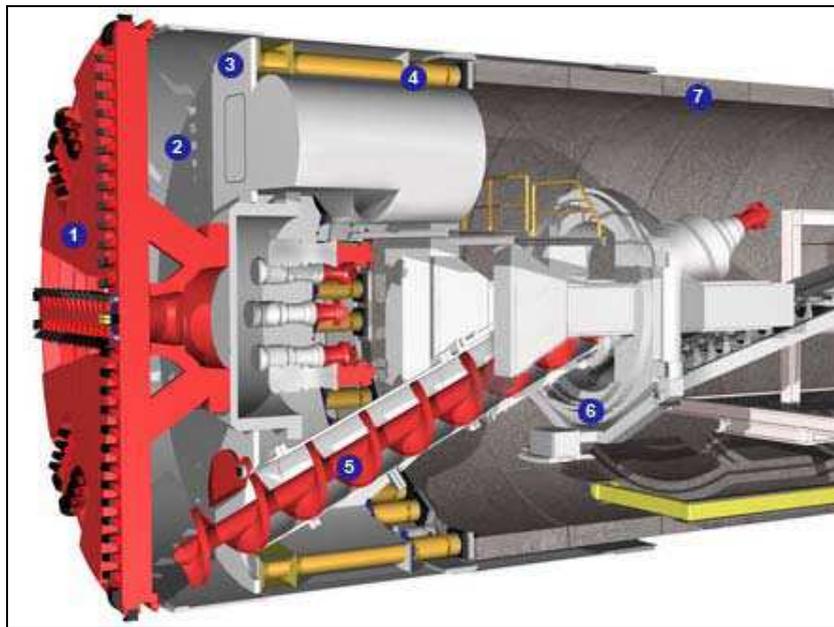


Figura 6 - Schema di una macchina TBM, tipo EPB (1. Testa Fresante; 2. Camera di scavo; 3. Parete di contenimento dotata di sistema d'accesso alla camera di scavo; 4. Pistoni di avanzamento; 5. Coclea; 6. Erettore dei conci; 7. Anelli di rivestimento in opera)

Nella TBM-EPB l'estrazione del materiale dalla camera di scavo è garantito da una coclea, in funzione dell'avanzamento adottato. (Figura 6).

Il ciclo di lavoro della macchina prevede:

- scavo e avanzamento per una lunghezza pari alla corsa effettiva dei martinetti di spinta; contemporaneamente si effettua il riempimento dell'intercapedine a tergo del rivestimento e l'allontanamento del materiale abbattuto;
- posa del nuovo anello di rivestimento;
- ripresa dell'avanzamento.

La sezione tipo di avanzamento in scavo meccanizzato ha le seguenti caratteristiche:

- raggio interno: 4,00 m
- diametro scavo: 9,16 m
- tipologia anello: universale

- numero conci: 6+1
- spessore conci: 0,4 m
- lunghezza conci: 1,50 m
- Rck: 45 MPa
- Guarnizioni in EPDM integrate su ciascun concio per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) e precaricate dal serraggio dei bulloni e dai connettori.



Figura 7– Conci prefabbricati con guarnizioni in neoprene a tenuta idraulica



Figura 8– Galleria realizzata con TBM

Nelle tratte scavate con fronte in pressione è previsto l'impiego di additivi per il condizionamento dei terreni, al fine di garantire le migliori condizioni in camera di scavo e per lo smarino. A tale scopo, in funzione delle condizioni di saturazione che potranno verificarsi in fase di scavo, è importante che la macchina sia progettata in modo tale da consentire l'iniezione di acqua libera al fronte, in camera di scavo ed all'interno della coclea, con un impianto dedicato e separato da quello per l'iniezione degli additivi.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

11.2 Rischi potenziali che incidono sulla realizzazione delle gallerie

Di seguito si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, geotecnico e alle condizioni al contorno, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa delle gallerie, e si illustrano le relative possibili azioni di mitigazione o riduzione del rischio.

La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva e la relativa gestione definita nella fase di terapia, sono illustrate in forma sintetica nelle tavole dei profili geotecnici di progetto (da Rif. [15] a Rif. [22]).

11.2.1 Presenza di quarzo in elevate quantità

Con riferimento a quanto descritto al §9.1, si riscontra presenza di quarzo, in forma di banchi, clasti, lenti o noduli, nelle formazioni degli argilloscisti, filladi, metareniti e metasiltiti (TAM/FDN/GLD/MMF), delle metareniti ed arenarie (VEP1/VEP2), dei calcari (GCM) e dei paragneiss e micacisti (PMAa). Il rischio associato è stato definito “elevato” per le formazioni TAM/FDN/GLD/MMF/VEP1/VEP2 e “medio” per il PMAa, in funzione delle evidenze emerse in fase di sondaggio, mentre è stato definito “basso” per GCM, in assenza di evidenze dirette ma sulla base di informazioni di letteratura.

Per lo scavo meccanizzato, la presenza di quarzo nelle formazioni attraversate comporta la necessità di accorgimenti legati alla scelta dei materiali per i taglienti (cutter) della testa fresante, per renderli più resistenti all’abrasione ed incrementarne la durabilità.

Ad esempio, potrebbero essere adottati utensili con inserti di carburo di tungsteno cementato, che consentono di attaccare rocce con resistenze a compressione elevate (fino a 400 MPa), e possono essere riaffilati o sostituiti rapidamente con taglienti normali in funzione delle condizioni del fronte.

Per lo scavo in tradizionale, un rischio di elevata presenza di quarzo nella formazione attraversata, non comporta la necessità di prevedere particolari accorgimenti.

11.2.2 Presenza di trovanti/olistoliti

Il rischio potenziale in fase di scavo è legato all’eterogeneità degli ammassi rocciosi attraversati, per la presenza di blocchi di natura diversa rispetto alla matrice circostante, sia in termini di dimensioni, sia in termini di caratteristiche di resistenza e deformabilità.

Di seguito è descritta la formazione in cui è stato riconosciuto tale rischio (cfr §9.1).

- Conglomerati GLO/GLOa: formazione attraversata in tradizionale con la galleria Forza d’Agrò; presenta un’elevata quantità di olistoliti, inglobati nella massa conglomeratica, fortemente eterometrici e costituiti prevalentemente da calcari e dolomie.

Tale formazione interessa soltanto lo scavo in tradizionale della galleria Forza D’Agrò, per il quale la presenza di olistoliti o blocchi non comporta particolare criticità in relazione alla flessibilità del sistema di avanzamento che può essere rapidamente adattato alle puntuali variazioni delle condizioni del fronte.

11.2.3 Aree a franosità diffusa

Dal punto di vista geomorfologico, si sottolinea la presenza di un’ “area a franosità diffusa” che interessa i primi 450 m circa della galleria Scaletta a partire dall’imbocco lato Catania. Tale fenomeno, classificato come

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

quiescente nel tratto iniziale ed inattivo nel tratto finale, coinvolge gli strati superficiali ed alterati del versante ad elevata acclività nelle Metamorfiti di Mandanici (FDN) e non rappresenta un elemento di potenziale criticità per le opere in progetto. È comunque previsto un sistema di monitoraggio topografico ed inclinometrico nei primi 300 m di galleria a partire dall'imbocco lato Catania.

L'imbocco lato Messina della galleria Scaletta, invece, ricade in corrispondenza della parte bassa di un versante interessato da un'area a franosità diffusa con stato attivo. Tale zona è caratterizzata da piccoli scivolamenti delle coltri di alterazione e da locali crolli di roccia lungo la scarpata presente poco a monte della galleria, nei paragneiss con banchi di marmo del Complesso metamorfico varisco (PMAa). I suddetti fenomeni presentano volumi delle masse instabili sempre molto ridotti, generalmente inferiori a 1 m^3 , e in relazione alla loro caratteristiche morfodinamiche non rappresentano elementi di potenziale criticità per le opere in progetto. Ad ogni modo, al fine di migliorare le condizioni di stabilità dell'area e di mitigare il potenziale rischio di distacco e caduta dei blocchi, è previsto il disgaggio della scarpata a protezione dell'imbocco ed un intervento di protezione mediante rete zincata a doppia torsione opportunamente ancorata, per contenere l'eventuale distacco di detriti sia nel corso delle lavorazioni che in sistemazione definitiva, limitatamente al tratto di versante interessato dalle opere, per uno sviluppo lineare di circa 50 m.

11.2.4 Venute d'acqua/carichi idraulici elevati

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 dall'eventuale presenza di zone di faglia e di discontinuità.

Per quanto concerne tali aspetti inerenti la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di falde idriche sotterranee all'interno di gran parte delle formazioni interessate dalla realizzazione delle gallerie in progetto (Rif. [11]) con carichi idraulici mediamente intorno ai 45 m rispetto al p.f. Tali falde potrebbero rappresentare dei potenziali elementi di criticità per le opere, sia per le possibili venute d'acqua al fronte durante le operazioni di avanzamento dello scavo, sia per l'influenza esercitata sul comportamento meccanico dei terreni e delle rocce attraversate.

I più elevati livelli di rischio di venute d'acqua sono stati individuati in corrispondenza delle tratte di gallerie che lambiscono le aree impluviali di torrenti e corsi d'acqua. In prossimità degli impluvi, le gallerie attraversano generalmente depositi alluvionali di fondovalle (ba e bb), che possono interessare totalmente o parzialmente il fronte di scavo. Questi depositi hanno un'elevata permeabilità per porosità, che favorisce un'alta percentuale di infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica e di deflusso superficiale.

Allo stesso modo, anche i conglomerati CODa, caratterizzati da una significativa permeabilità, e gli ammassi calcarei quali MED, DOA, GCM, caratterizzati da una permeabilità in grande dovuta al grado di fratturazione, possono presentare un rischio elevato di venute d'acqua in presenza di carichi idraulici importanti, in considerazione anche della forte tettonizzazione che contraddistingue la tratta in progetto.

Per lo scavo in tradizionale, per consentire l'avanzamento in sicurezza e minimizzare l'impatto sulle condizioni idrauliche sotterranee e superficiali, le sezioni tipo di scavo e consolidamento prevedono l'esecuzione di drenaggi al fronte e l'impermeabilizzazione a tergo del rivestimento definitivo di calotta.

Per lo scavo meccanizzato invece dovrà essere garantita la corretta gestione della procedura d'avanzamento, con particolare riferimento al mantenimento in camera di scavo della corretta pressione al fronte secondo i valori di progetto, e al corretto intasamento a tergo dei conci di rivestimento definitivo, mediante malta cementizia in

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

pressione o miscele bicomponenti a presa rapida, per riempire il *gap* anulare tra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento ed impedire l'ingresso di acqua. Inoltre le guarnizioni di tenuta idraulica montate tra i conci prefabbricati dovranno garantire l'impermeabilizzazione *full-round* della galleria ed il mantenimento delle condizioni idrauliche *ante-operam*.

11.2.5 Instabilità del fronte e del cavo

Potenziati rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria a basse coperture, che riguardano le zone di imbocco e di fondovalle, quelle di attraversamento di zone tettonizzate, di transizione litologica ed di attraversamento di ammassi anisotropi ed eterogenei nei quali potrebbe svilupparsi una distribuzione dissimmetrica di spinte al contorno del cavo.

In condizioni di bassa copertura, per le gallerie scavate con metodo tradizionale, l'avanzamento avverrà con l'esecuzione di interventi di preconsolidamento al fronte e al contorno in grado di controllare lo sviluppo dei fenomeni deformativi indotti dallo scavo e prevenire lo sviluppo di eventuali meccanismi di collasso.

Per le gallerie in meccanizzato, invece, valgono le stesse considerazioni fatte al precedente paragrafo 11.2.4, in relazione al rischio di venute d'acqua, e relative alla corretta gestione della procedura d'avanzamento. Inoltre sarà importante garantire il controllo del volume estratto con la coclea rispetto a quello teorico associato all'avanzamento, in modo da evitare sovrascavi.

Nelle tratte caratterizzate dalla presenza di interferenze in superficie, dovrà infine essere implementato un opportuno piano di monitoraggio per il controllo dei cedimenti indotti a piano campagna e degli effetti deformativi sulle interferenze stesse.

Per l'attraversamento di zone tettonizzate e intensamente fratturate, nel caso di scavo tradizionale è prevista l'adozione di avanzamenti con sfondi di lunghezza limitata, preceduti da interventi di consolidamento al fronte e/o al contorno, in relazione al grado di fratturazione dell'ammasso e all'entità dei fenomeni deformativi attesi.

Per le gallerie in meccanizzato, invece, potrà essere messo a punto un opportuno sistema di indagini in avanzamento, per valutare le condizioni geotecniche del fronte di scavo, in grado di prevedere in anticipo la presenza di tali fasce tettonizzate. In questo modo è possibile arrestare la TBM a distanza adeguata e procedere eventualmente ad un intervento di consolidamento in avanzamento. La TBM dovrà pertanto essere predisposta in modo da permettere tali attività.

11.2.6 Acque aggressive

Nella zona di Alì Terme sono presenti importanti manifestazioni termali di acque solfuree (cfr. Rif. [11]) che potrebbero comportare la presenza di agenti aggressivi per il calcestruzzo nelle acque di sottosuolo. In relazione ai caratteri idrogeologici dell'area in esame, la problematica riguarda potenzialmente:

- la galleria Nizza, che per gran parte del suo sviluppo intercetta le metareniti della formazione VEP1, attraversate da una importante faglia diretta ad alto angolo, e nel tratto finale lato Messina, i conglomerati in matrice sabbiosa LLM e un lembo di coltri eluvio-colluviali b2 di limitato spessore;
- la galleria Alì, che lungo il suo intero sviluppo attraversa la formazione VEP1;
- la tratta iniziale lato Catania della galleria Quali, che attraversa le metareniti VEP1, i calcari/dolomie ALD e i calcari marnosi ACS; formazioni che presentano complessi rapporti stratigrafico-strutturali, e sono messe a contatto da numerosi sovrascorrimenti e faglie dirette di varia estensione ed importanza.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Nonostante non si preveda nessuna interferenza diretta con le gallerie naturali tanto da definire molto basso o nullo l'impatto atteso dalla realizzazione delle gallerie, vista la natura delle acque di sorgente, sono stati eseguiti degli approfondimenti che hanno consentito di verificare l'eventuale natura chimicamente aggressiva di tali acque.

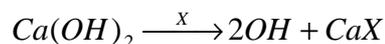
Il rischio di acque chimicamente aggressive riguarda i rivestimenti definitivi in calcestruzzo. Vi sono delle condizioni per cui l'acqua a contatto col calcestruzzo può reagire con alcuni dei suoi componenti, inducendo la perdita di resistenza meccanica e l'aumento della porosità, e causando fessurazioni che possono innescare l'ossidazione delle eventuali armature; in sintesi, si riduce la durabilità del manufatto.

I principali composti contenuti nelle acque chimicamente aggressive, che comportano potenziali rischi per i calcestruzzi strutturali, quali la decalcificazione, l'espansione differenziale e la fessurazione, sono:

- ione solfato SO_4^{--} ;
- ambiente acidi ($pH \leq 6.5$);
- CO_2 aggressiva;
- ione ammonio NH_4^+ ;
- ione magnesio Mg^{++} .

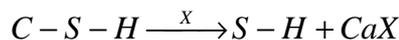
La decalcificazione del calcestruzzo comporta un aumento di porosità e la perdita di resistenza meccanica, ed è dovuta alle reazioni sintetizzate nel seguito.

- Trasformazione del $Ca(OH)_2$, prodotto per idratazione del cemento, nel prodotto CaX



Il processo di trasformazione avviene per reazione con:

- gli ioni solfato SO_4^{--} con formazione di gesso;
- gli ioni ammonio NH_4^+ con formazione di gas NH_3 che evapora e di un sale di calcio idrosolubile asportato dall'acqua;
- gli ioni magnesio Mg^{++} con formazione di brucite, poco solubile, ma meno legante della calce.
- Rimozione del calcio dal prodotto C-S-H, cui sostanzialmente si deve l'effetto legante dei cementi, e trasformazione in prodotti progressivamente meno leganti fino a diventare, nel caso limite di totale perdita di calcio, un prodotto S-H formato da silice amorfa priva di qualsiasi potere legante



Il processo di trasformazione avviene per reazione con:

- gli ioni solfato SO_4^{--} con formazione di thaumasite;
- gli ioni magnesio Mg^{++} con formazione del prodotto M-S-H privo di proprietà leganti

L'espansione differenziale e la fessurazione è data principalmente dallo ione solfato SO_4^{--} , che provoca un processo espansivo dello strato corticale (penetrato dal solfato) del manufatto in calcestruzzo, che può comportare distacchi e delaminazioni rispetto al nucleo centrale integro. L'effetto espansivo responsabile del degrado è provocato dalla formazione di ettringite secondo la reazione



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

La norma UNI 11104-2016, in applicazione della UNI-EN 206-2016 prospetto 2, definisce gli intervalli di concentrazione dei composti aggressivi contenuti nelle acque (Figura 9), cui associare la classe di esposizione del calcestruzzo e, conseguentemente le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento (kg/m³) (Figura 10).

GLI AMBIENTI CHIMICAMENTE AGGRESSIVI CLASSIFICATI DI SEGUITO SONO BASATI SUL SUOLO NATURALE E PER ACQUA NEL TERRENO A TEMPERATURE DELL'ACQUA/TERRENO COMPRESSE TRA 5-25 °C ED UNA VELOCITÀ DELL'ACQUA SUFFICIENTEMENTE BASSA DA POTER ESSERE APPROSSIMATA A CONDIZIONI STATICHE. LA CONDIZIONE PIÙ GRAVOSA PER OGNUNA DELLE CONDIZIONI CHIMICHE DETERMINA LA CLASSE DI ESPOSIZIONE. SE DUE O PIÙ CARATTERISTICHE DI AGGRESSIVITÀ APPARTENGONO ALLA STESSA CLASSE, L'ESPOSIZIONE SARÀ CLASSIFICATA NELLA CLASSE PIÙ ELEVATA SUCCESSIVA, SALVO IL CASO CHE UNO STUDIO SPECIFICO PROVI CHE CIÒ NON È NECESSARIO.				
CARATTERISTICA CHIMICA	METODO DI PROVA DI RIFERIMENTO	XA1	XA2	XA3
ACQUA NEL TERRENO				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3.000	> 3.000 e ≤ 6.000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 e ≥ 5,5	< 5,5 e ≥ 4,5	< 4,5 e ≥ 4,0
CO ₂ mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 e ≤ 1.000	> 1.000 e ≤ 3.000	> 3.000 fino a saturazione
TERRENO				
SO ₄ ²⁻ mg/Kg ^{a)} totale	EN 196-2 ^{b)}	≥ 2.000 e ≤ 3.000 ^{c)}	> 3.000 ^{c)} e ≤ 12.000	> 12.000 e ≤ 24.000
Acidità ml/Kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	
^{a)} I TERRENI ARGILLOSI CON UNA PERMEABILITÀ MINORE DI 10-5 M/S POSSONO ESSERE CLASSIFICATI IN UNA CLASSE INFERIORE. ^{b)} IL METODO DI PROVA PRESCRIVE L'ESTRAZIONE DI SO ₄ ²⁻ MEDIANTE ACIDO CLORIDRICO; IN ALTERNATIVA SI PUÒ USARE L'ESTRAZIONE CON ACQUA SE NEL LUOGO DI IMPIEGO DEL CALCESTRUZZO C'È QUESTA PRATICA ^{c)} IL LIMITE DI 3.000 MG/KG DEVE ESSERE RIDOTTO A 2.000 MG/KG SE ESISTE IL RISCHIO DI ACCUMULO DI IONI SOLFATO NEL CALCESTRUZZO CAUSATO DA CICLI DI ESSICCAMENTO/BAGNATURA OPPURE SUZIONE CAPILLARE.				

Figura 9 – Prospetto 2 della UNI-EN 206 del 2016

UNI 11104:2016	prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																		
	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotte da cloruri						Attacchi da cicli di gelo/disgelo		Ambiente aggressivo per attacco chimico					
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti			XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45			
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30	C30/37	C30/37	C32/40	C35/45				
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360				
Contenuto minimo in aria (%)											b)	4,0 a)							
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156						E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo		In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della all'acqua di mare adeguata resistenza al UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati. c)					
a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CENrS 12390-0, UNI CENrR 15177 0 UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. 11 valore minima di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Dupper >20mm; per Dupper inferiori il limite minima andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Dupper tra 12 mm e 16 mm). Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3. c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza solfatica. La classe di resistenza solfatica del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1. d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minima di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.																			

Figura 10 – Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Nella zona di interesse è stata quindi eseguita una campagna di monitoraggio piezometrico (Rif. [11]) per definire le condizioni idrauliche in relazione alle opere in progetto e sottoporre ad analisi chimico-fisiche i campioni di acqua prelevati dai piezometri S1aPz - S2Apz - S3Apz - S4Apz - S34D, la cui ubicazione è riportata nell'immagine che segue.

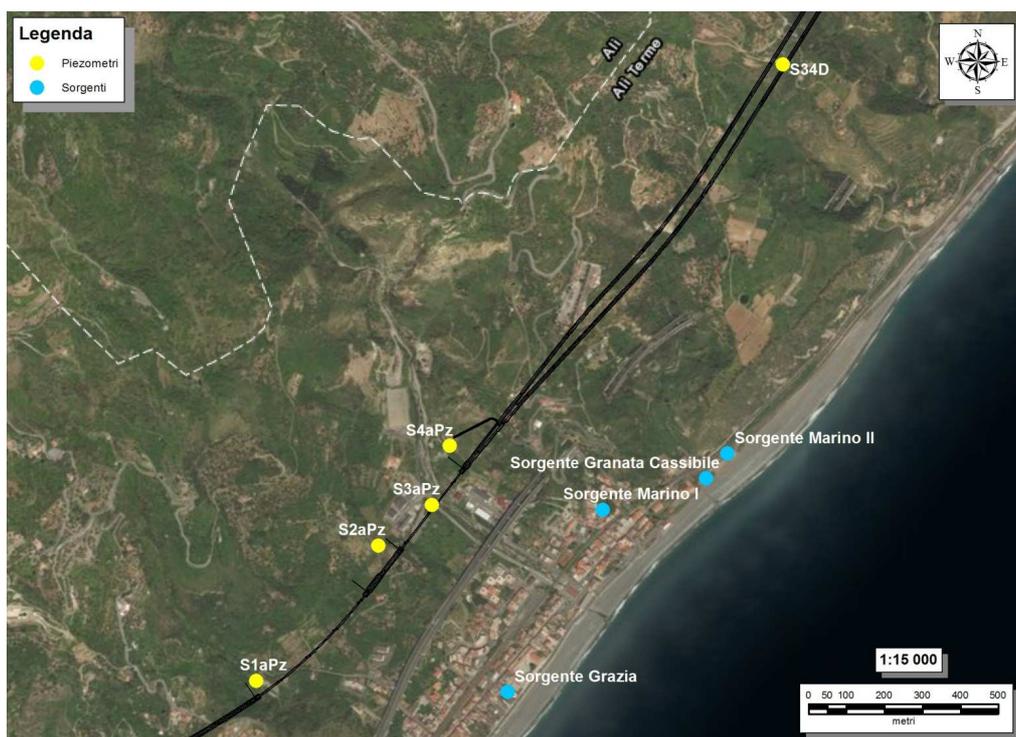


Figura 11 – Ubicazione piezometri nella zona di Alì Terme (foto aerea)

Le analisi chimiche condotte sulle acque prelevate dai piezometri S1aPz - S2Apz - S3Apz - S4Apz, sia nella campagna di indagine del 2014 che in quella attuale, hanno evidenziato la presenza di un'elevata concentrazione di agenti aggressivi, quali anidride carbonica disciolta (CO_2), ione magnesio (Mg^{++}) e ione solfato (SO_4^-), valutata secondo la UNI13577,

Pertanto, per le opere in calcestruzzo armato a diretto contatto con i terreni contenenti potenzialmente tali acque e non protetti da impermeabilizzazione, sarà necessario l'utilizzo di calcestruzzo con classe di esposizione XA3 (Tabella 5):

Tabella 5 – Caratteristiche dei calcestruzzi con classe di esposizione XA3 secondo la norma UNI 11104-2016

Normativa	Classe di esposizione	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di Resistenza	Contenuto minimo di cemento (kg/m^3)
UNI 11104-2016	XA3	0.45	C35/45	360

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Inoltre è essenziale che il cemento sia resistente ai solfati, caratterizzato, cioè, da un basso contenuto di alluminato tricalcico (C₃A), che a contatto con acque solfatriche reagisce producendo ettringite.

In ogni caso è importante intervenire sul mix design del calcestruzzo e sulle modalità di posa in opera, costipamento e stagionatura del getto, al fine di realizzare una struttura a matrice compatta e poco.

Per la galleria Nizza i dati di monitoraggio piezometrico consentono di definire una quota di falda ben al di sotto dell'estradosso dell'arco rovescio della galleria; pertanto il rischio acque aggressive è stato definito "nullo".

Per la galleria Ali, con falda stagionale generalmente a quota estradosso dell'arco rovescio, è stato definito un rischio "medio". Anche per la tratta iniziale della galleria Quali, caratterizzata da numerose faglie e sovrascorrimenti in presenza di locali falde sospese, è stato definito un rischio "medio"; il limite è stato posto al km 35+930 dove si ha il passaggio dalla formazione dei calcari e dolomie ALD, a permeabilità elevata, alla formazione dei metareniti e metasiltiti MMF, a permeabilità bassa, nell'ambito della quale, le analisi condotte sulle acque attinte dal piezometro S34D non hanno evidenziato risultanze di acque aggressive.

11.2.7 Analisi del rischio di "squeezing"

Il termine *squeezing* identifica grandi deformazioni che si sviluppano nel tempo attorno al cavo per il raggiungimento della soglia di *creep* dell'ammasso. Entità e velocità delle deformazioni sono funzione dello stato tensionale, delle caratteristiche geotecniche e strutturali (scistosità, piani di stratificazione) dell'ammasso e delle condizioni idrauliche.

In questa fase di progettazione il potenziale rischio di fenomeni di *squeezing* è stato analizzato facendo ricorso al metodo semi-empirico di Hoek e Marinos (2000) che fornisce un indicatore di occorrenza del fenomeno ed una stima delle deformazioni attese.

Il metodo si basa sulla relazione di seguito riportata tra il rapporto $\frac{\sigma_{cm}}{p_0}$ e la deformazione del cavo ε_c :

$$\varepsilon_c (\%) = 0,15 \left(1 - \frac{p_i}{p_0} \right) \cdot \frac{\sigma_{cm}}{p_0} \left(\frac{3 \cdot \frac{p_i}{p_0} + 1}{3,8 \cdot \frac{p_i}{p_0} + 0,54} \right)$$

dove:

σ_{cm} = resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso

p_0 = tensione litostatica

p_i = pressione esercitata da un supporto interno.

La resistenza a compressione dell'ammasso roccioso è definita in funzione dell'indice GSI e dei parametri σ_{ci} e m_i della matrice intatta:

$$\sigma_{cm} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_{ci} \{1,029 + 0,025e^{(-0,1m_i)}\}^{GSI}$$

Sulla base di numerosi casi reali, la correlazione tra la deformazione ε_t e il rapporto $\frac{\sigma_{cm}}{P_0}$ è associata alla classificazione del livello di *squeezing* di seguito riassunta (Figura 12).

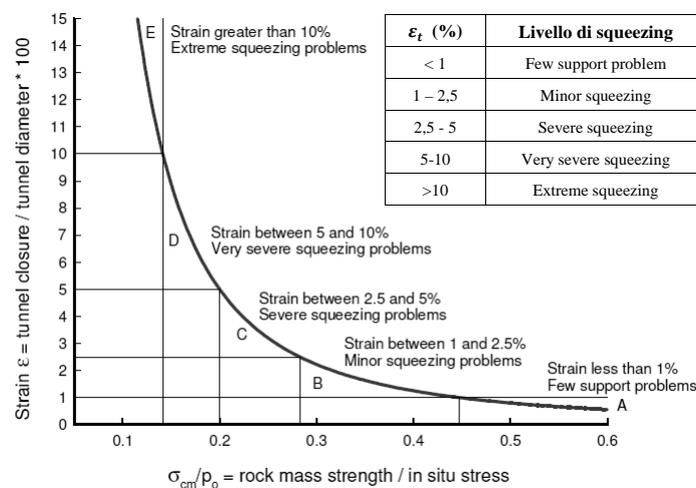


Figura 12 – Definizione del livello squeezing (Hoek e Marinos, 2000)

Per le opere in progetto, il tema assume una certa rilevanza solo per le formazioni appartenenti al gruppo delle filladi e argilloscisti (TAM, FDN, GLD).

Per tali formazioni sono stati condotti degli approfondimenti di calcolo valutando parametricamente il peso specifico di ciascun dato di ingresso anche in relazione al relativo grado di affidabilità.

In conclusione, per le tratte di galleria scavate nelle formazioni appartenenti al gruppo delle filladi e argilloscisti, con riferimento ad un valore intermedio dell'indice GSI nell'ambito del suo intervallo di variazione, è stato definito "rischio nullo" per profondità fino a circa 180 m, "rischio basso" per profondità fino a 295 m e "rischio medio" fino alle massime coperture presenti lungo il tracciato.

In relazione alle tratte da realizzare in tradizionale, tale comportamento per i casi in esame non rappresenta una particolare criticità per la fase di scavo, e che possa pertanto essere gestito nell'ambito delle sezioni di scavo e consolidamento previste in progetto, senza ulteriori particolari accorgimenti.

Per le tratte da realizzare con scavo meccanizzato, invece, lo *squeezing* potrebbe comportare elevati carichi radiali sullo scudo, fino ad arrivare, nei casi più gravi, al blocco della macchina con conseguente intrappolamento della stessa. Per evitare ciò, nel seguito si elencano una serie di possibili accorgimenti tecnici, che dovranno essere presi in considerazione ai fini della scelta della macchina di scavo:

- utilizzare scudi metallici fortemente troncoconici e caratterizzati da un rapporto fra la lunghezza dello scudo ed il diametro di scavo possibilmente non superiore ad 1;
- incrementare il diametro di scavo della macchina mediante un sovrascavo allo scopo di aumentare il "gap" radiale fra scudo metallico e profilo di scavo;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A	FOGLIO 51 di 54

- dimensionare opportunamente il sistema di spinta della macchina per garantire, oltre alla spinta necessaria all'avanzamento dello scavo, il superamento dell'attrito provocato dall'eventuale carico radiale dell'ammasso sullo scudo;
- prevedere la possibilità di attrezzare la macchina con appositi fori per eseguire iniezioni bentonitiche o poliuretaniche per ridurre l'attrito fra lo scudo e l'ammasso roccioso;
- prevedere la possibilità di eseguire consolidamenti in avanzamento dalla TBM per migliorare le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso in scavo.

11.2.8 Presenza di cavità carsiche, masse rocciose carsificate

Le successioni calcareo-dolomitiche delle unità ALD, DOA, GCM e GLOa, ed in maniera secondaria, le successioni calcareo-marnose dell'unità ACS, a luoghi possono essere soggette ad un carsismo di bassa intensità (Rif. [11]).

Anche per la galleria Scaletta, sulla base delle evidenze del sondaggio S36D, è stato censito il rischio di cavità in una zona limitata nell'ambito della formazione PMAa. In questo caso non si tratta di cavità carsiche ma presubilmente di natura antropica; pertanto, considerate le quote di progetto, si ritiene che tali cavità non possano raggiungere la profondità della galleria.

In relazione al rischio di intercettare eventuali cavità carsiche, si ritiene di poter procedere come di seguito descritto.

Le perforazioni propedeutiche agli interventi di consolidamento del fronte e del contorno delle diverse sezioni tipo di avanzamento, dovranno essere utilizzate come strumento di indagine e prospezione al fine di individuare la presenza di eventuali cavità in avanzamento. Perforazioni propedeutiche a tale scopo si dovranno prevedere anche per le sezioni tipo A1 (§11.1.2.1) e A2 (§11.1.2.2) che non prevedono consolidamenti al fronte.

Eventuali cavità intercettate in fase di perforazione dovranno essere opportunamente riempite con malte cementizie prima di poter procedere con il consolidamento. Eventuali cavità di piccole dimensioni che possano non essere individuate con tali perforazioni, non costituiscono elemento di criticità per la riuscita dei consolidamenti e la sicurezza delle operazioni di avanzamento.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

12 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

12.1 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto in corso d'opera tra le stesse previsioni e il comportamento del terreno al contorno e le prestazioni delle opere in progetto.

Con riferimento alle gallerie di linea realizzate con 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 controllo dell'estrusione del fronte, mediante installazione di estrusometri in avanzamento, dove previsto;
- il controllo delle deformazioni al contorno del cavo attraverso estensimetri multibase;
- 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;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

Con riferimento alle gallerie di linea realizzate con scavo meccanizzato il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi dei terreni di copertura nelle tratte a bassa copertura mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle tratte a bassa copertura;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali nelle tratte a bassa copertura.

Con riferimento alla realizzazione degli imbocchi il programma di monitoraggio dovrà prevedere:

- il monitoraggio degli spostamenti delle paratie mediante mire ottiche disposte sulle travi di ripartizione e sui cordoli di testa;
- il monitoraggio delle sollecitazioni indotte sui tiranti mediante celle di pressione;
- il controllo dei cedimenti al piano campagna a tergo delle paratie mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il monitoraggio degli spostamenti verticali assoluti e relativi a tergo delle paratie mediante assestimetri;
- il monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda a tergo delle paratie;
- il monitoraggio inclinometrico per la misura degli spostamenti orizzontali a tergo delle paratie;

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Gli strumenti di misura utilizzati dovranno garantire la precisione e l'affidabilità delle letture in modo da non essere influenzati in modo significativo da cambiamenti di temperatura, umidità, corrente elettrica e vibrazioni indotte.

La strumentazione di monitoraggio dovrà essere installata e predisposta all'uso con sufficiente anticipo rispetto all'arrivo degli scavi in modo da poter effettuare le necessarie misure di zero.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

13 CONCLUSIONI

Nell'ambito della Progettazione Definitiva del secondo lotto funzionale compreso tra Taormina (dal km 13+900) e Giampilieri del raddoppio della Tratta Giampilieri – Fiumefreddo della Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo, per una estensione complessiva di circa 28,3 km di linea, è prevista la realizzazione di 8 gallerie denominate Taormina, Letojanni, Forza d'Agrò, Sciglio, Nizza, Ali, Quali e Scaletta.

Completano il progetto delle opere in sotterraneo gli imbocchi delle gallerie, le nicchie, i by-pass, le uscite/accessi di emergenza, i pozzi e i condotti di ventilazione a servizio delle gallerie.

La progettazione delle opere in sotterraneo in progetto è stata condotta secondo il Metodo ADECO-RS (cfr. Rif. [23]) che si articola nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
- 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;
- 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.
- 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 individuate le 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 in progetto.