

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO MESSINA CATANIA LOTTO NORD



PROGETTAZIONE: RTI - Rocksoil SpA, Proger SpA, Pini Swiss Engineers srl

PROGETTO ESECUTIVO

**LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) - Giampilieri (e)**

GEOLOGIA E GEOTECNICA

STUDIO GEOLOGICO

Piano delle indagini geognostiche integrative

APPALTATORE	PROGETTISTI	SCALA :
		<input type="text"/>

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.
RS5O 02 E ZZ RG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione	A. Baietto	28/07/2021	P. Perello	28/07/2021	M. Sandrucci	28/07/2021	G. Cassani	28/07/2021

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	2/59

INDICE

PREMESSA:	3
1 INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE IN SOTTERRANEO	4
1.1 INDAGINI DI FASE 1	4
1.1.1 Sondaggio S14 – G. Letojanni.....	6
1.1.2 Sondaggio S15 – G. Forza D’Agro’ (GN05)	7
1.1.3 Sondaggio S16 – G. Scaletta (GN10).....	9
1.1.4 Sondaggio S17 – G. Scaletta (GN10).....	10
1.2 INDAGINI DI FASE 2	12
1.2.1 Indagini di fresabilità.....	16
2 INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE ALL’APERTO	17
3 INDAGINI RELATIVE AL SUBCRITERIO TECNICO 2.1.1	24
3.1 CONTESTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO RICOSTRUITO NEL PROGETTO DI BASE GARA	24
3.1.1 Assetto geologico.....	24
3.1.2 Assetto idrogeologico	31
3.1.3 Assetto geotecnico	33
3.2 INCERTEZZE E CRITICITA’	34
3.2.1 Stato delle conoscenze ed incertezze	34
3.2.2 Criticità connesse alle incertezze sul modello geotecnico.....	36
3.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE	37
3.3.1 Quadro sinottico delle indagini.....	37
3.4 INDAGINI DIRETTE	40
3.4.1 Sondaggi direzionati.....	41
3.4.2 Sondaggi verticali a carotaggio continuo	44
3.5 INDAGINI INDIRETTE	45
3.5.1 Indagini in foro.....	45
3.5.2 Indagini sismiche.....	47
3.6 PROVE IDRAULICHE	53
3.7 PROVE IN SITU E IN LABORATORIO	56
3.7.1 Prove geotecniche in situ	56
3.7.2 Prove geotecniche di laboratorio	57
3.8 COMPLETEZZA ED INNOVATIVITÀ DELLE INDAGINI PROPOSTE	57



LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	3/59

PREMESSA:

Il presente Piano delle Indagini Geognostiche ed Ambientali è dedicato ad una descrizione delle indagini geotecniche, geologiche e ambientali che si sono rese necessarie al fine di indagare le caratteristiche e le peculiarità proprie delle aree oggetto d'intervento. Lo scopo delle indagini è senza dubbio quello di identificare le condizioni stratigrafiche e di falda all'interno del volume significativo di sottosuolo interessato dalle opere e di caratterizzare, congiuntamente con le indagini di laboratorio, il comportamento meccanico delle diverse formazioni presenti. Le indagini in sito e in laboratorio hanno vantaggi e limiti opposti e non sono pertanto alternative ma complementari. Lo scopo per il quale vengono eseguite tali indagini è dunque quello di delineare l'assetto geologico-tecnico, ambientale e idrologico, tenendo conto delle necessità progettuali, con particolare riguardo alle zone più critiche e/o più delicate nelle fasi realizzative. Più nel dettaglio, all'interno del presente Piano delle Indagini Geognostiche ed Ambientali, sono descritte:

- Indagini relative alle tratte in sottoterraneo;
- Indagini relative alle tratte all'aperto;
- Indagini geognostiche relative al subcriterio tecnico 2.1.1 inerenti all'interferenza tra le opere in sottoterraneo e l'autostrada A18;
- Indagini di caratterizzazione ambientale.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	4/59

1 INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE IN SOTTERRANEO

Il piano di indagini delle tratte in sotterraneo è stato sviluppato considerando più fattori. Da un lato si è tenuto conto degli aspetti di carattere geologico-geomeccanico che alla luce delle informazioni acquisite nell'ambito del Progetto Definitivo richiedono un approfondimento conoscitivo tale sia da perfezionare le modalità di avanzamento, sia di minimizzare i rischi associati alla variante di scavo meccanizzato introdotta in fase di Progettazione Esecutiva. Dall'altro lato, nell'elaborazione del piano di indagini si è tenuto conto delle necessità progettuali di dettaglio legate ai settori degli imbocchi delle gallerie, così come delle necessità di caratterizzare con maggiore accuratezza dal punto di vista geologico, idrogeologico e geomeccanico quei settori in cui il numero di indagini precedentemente realizzate non è in numero tale da consentire una ricostruzione dettagliata del contesto di riferimento.

I vari aspetti che necessitano di approfondimenti tramite le indagini sono stati suddivisi, per ordine importanza in relazione alle possibili ricadute progettuali, in due fasi: i) Fase 1, ovvero le indagini che hanno un grado di priorità maggiore, ii) Fase 2, ovvero le indagini che hanno un grado di priorità secondario e che possono essere realizzate al termine di quelle di Fase 1. Le indagini di Fase 1 sono ritenute prioritarie in quanto permettono di approfondire alcuni aspetti geologici e geomeccanici di potenziale criticità e, di conseguenza, di definire le soluzioni progettuali necessarie sia per fronteggiare in fase di scavo eventuali condizioni difficili, sia per garantire la stabilità e sicurezza dell'opera in fase di esercizio.

1.1 INDAGINI DI FASE 1

Le indagini di Fase 1 sono rappresentate da 4 sondaggi che verranno realizzati rispettivamente in corrispondenza della Galleria Letojanni (sondaggio S14), della Galleria Forza d'Agrò (sondaggio S15) e della Galleria Scaletta (sondaggi S16 e S17). Nei paragrafi successivi si fornisce una breve descrizione sia del contesto geologico-idrogeologico e geomeccanico dei settori in cui sono state programmate tali indagini, sia delle prove in situ e di laboratorio che sono state previste.

Le caratteristiche principali dei 4 sondaggi sono riportate nella tabella seguente:

N°	Opera	pk	Descrizione	Codice Sondaggio	Lat.	Long.	Lunghezza prevista (m)	Lunghezza a distruzione di nucleo	Lunghezza a carotaggio continuo
1	GN04 – Galleria Letojanni	18+780	Sondaggio verticale	S14	37°53'55.53"N	15°19'6.31"E	260	100	160
2	GN05 – Galleria Forza d'Agrò	21+050	Sondaggio verticale	S15	37°54'51.92"N	15°20'11.34"E	310	100	210
3	GN10 – Galleria Scaletta	40+700	Sondaggio verticale	S16	38°3'6.76"N	15°27'52.46"E	120	80	40



LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
 RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
 Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
 INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	5/59

4	GN10 – Galleria Scaletta	39+330	Sondaggio verticale	S17	38° 2'31.64"N	15°27'21.50"E	50	0	50
							m tot	m tot	m tot
							740	280	460

Tabella 1.1 – Caratteristiche principali dei sondaggi

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	6/59

1.1.1 Sondaggio S14 – G. Letojanni

La tratta compresa tra il km 18+400 e 19+600 della Galleria Letojanni è caratterizzata da coperture tra 140 m e 380 m. Questa zona è caratterizzata dalla presenza della formazione CODb (arenarie arcose, argille e sabbie a debole cementazione) del Flysch di Capo d'Orlando e marginalmente da CODa (conglomerati in matrice sabbiosa, da poco a ben cementati). Si tratta di una zona priva di caratterizzazione geologica in profondità, in un settore ad elevata copertura, nella quale il limite tra CODa (conglomerato potenzialmente poco cementato) e TAM (metamorfiti, potenzialmente molto cataclasate) non è vincolato da dati certi (Figura 1.1). Peraltro, la presenza di faglie (tra la pk 18+300 e 18+600) la cui entità di dislocazione è incerta, costituisce un ulteriore elemento di incertezza rispetto alla quota effettiva di passaggio del limite geologico tra TAM e CODa. In questo contesto il Progetto a base Gara prevedeva l'applicazione di sezioni consolidate, in prevalenza sezioni tipo C, al fine di affrontare le zone tettonizzate a cui sono associati fenomeni di instabilità locali al contorno del profilo di scavo (Sezione C2v), eterogeneità di comportamento ed elevate deformazioni in condizioni di massime coperture (sezione C2D caratterizzata da un rivestimento provvisorio deformabile e a un sovrascavo di 20 cm).

Allo scopo di chiarire gli aspetti di incertezza geologica sopra richiamati, in un contesto di coperture significativamente elevate, è stata programmata l'esecuzione del sondaggio S14. Tale sondaggio ricade sulla pk 18+730 ca. (Figura 1.1, Figura 1.2), con un fuori asse di ca. 130 m e con lunghezza complessiva pari a 260 m. I primi 100 m saranno realizzati a distruzione di nucleo, mentre i successivi 160 m saranno realizzati a carotaggio continuo. Il diametro previsto dei fori è di 101 mm, mentre il diametro delle carote è di 76 mm. Per garantire un recupero della stratigrafia quanto più possibile rappresentativo dello stato effettivo dell'ammasso è stato previsto un utilizzo di fluidi di perforazione a polimeri e l'utilizzo di carotiere doppio di tipo T6S. Nel foro verranno realizzate 5 di prove dilatometriche e 5 prove di permeabilità Lugeon. Il foro verrà attrezzato con piezometro di Casagrande per il monitoraggio dei livelli idrici, con cella da collocare alla quota della livelletta della galleria.

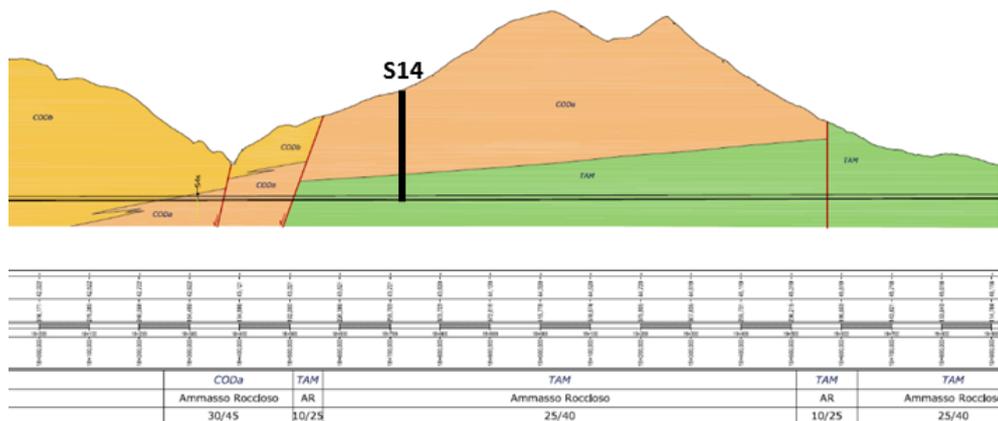


Figura 1.1 – Ubicazione del sondaggio S14 sul profilo geologico di PD.

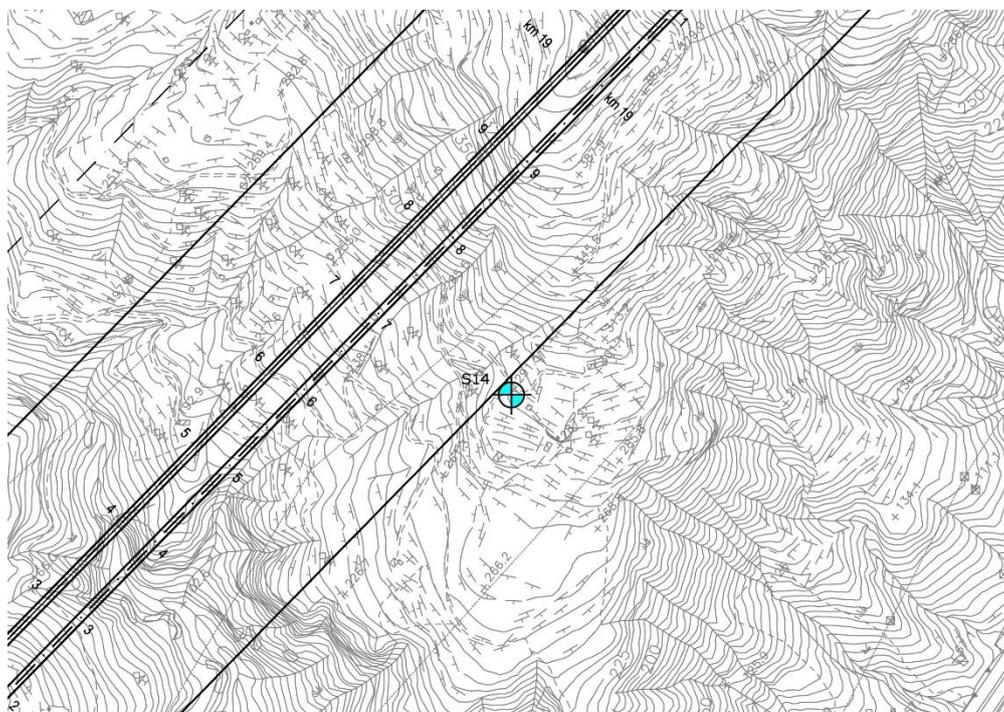


Figura 1.2 – Planimetria con ubicazione del sondaggio S14.

1.1.2 Sondaggio S15 – G. Forza D’Agrò’ (GN05)

Nella Galleria Forza d’Agrò, il settore compreso tra la pk 20+500 e 21+300 è caratterizzato da coperture tra 90 m e 320 m. Come si può osservare dalla Figura 3, si tratta di un settore molto articolato dal punto di vista tettonico (zona “a duplex” con scorrimenti multipli tagliati da faglie verticali) con raddoppi dell’unità GLO (Conglomerato Rosso, conglomerati sabbiosi da scarsamente a mediamente cementati) e GLOa (olistoliti di calcari, dolomie e breccie calcaree). Le criticità di questa zona sono valutabili come elevate essendo queste rappresentate da: assenza di caratterizzazione geologica in profondità in un settore ad elevata copertura e complessità strutturale e dalla restituzione nei profili geotecnici di terreni molto scadenti dal punto di vista geomeccanico. In relazione a quanto sopra, in questo tratto il PD ha previsto l’utilizzo di sezioni consolidate C3V, i cui interventi sono mirati al contenimento dei fenomeni deformativi e delle instabilità di tipo locale, e C3D che prevede l’utilizzo di centine deformabili e un sovrascavo di 20 cm.

Nel tratto di massima copertura di questo settore (corrispondente all’abitato di Forza d’Agrò) è stata programmata l’esecuzione del sondaggio S15. Tale sondaggio ricade sulla pk 21+060 ca. (figura 1.3, Figura 1.4), con un fuori asse di ca. 75 m e ha una lunghezza complessiva pari a 310 m. I primi 100 m saranno realizzati a distruzione di nucleo, mentre i successivi 210 m saranno realizzati a carotaggio continuo. Il diametro previsto dei fori è di 101 mm, mentre il diametro delle carote è di 76 mm. Per garantire un recupero della stratigrafia quanto più possibile rappresentativo dello stato effettivo

dell'ammasso è stato previsto un utilizzo di fluidi di perforazione a polimeri e l'utilizzo di carotiere doppio di tipo T6S.

Nel foro verranno realizzate 5 di prove dilatometriche e 5 prove di permeabilità Lugeon. Il foro verrà attrezzato con piezometro di Casagrande per il monitoraggio dei livelli idrici, con cella da collocare alla quota della livelletta della galleria.

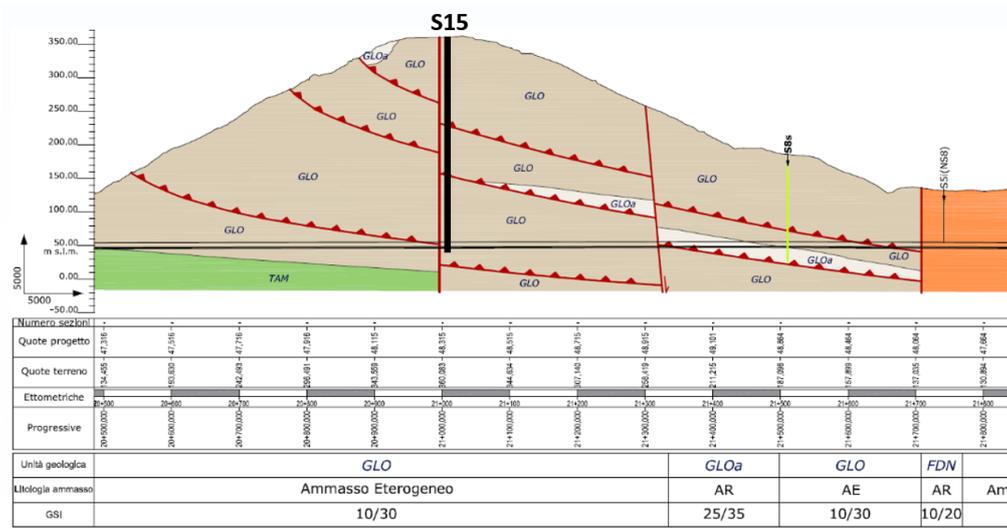


Figura 1.3 – Ubicazione del sondaggio S15 sul profilo geologico di PD.



Figura 1.4 – Ubicazione del sondaggio S15 sul profilo geologico di PD.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE001 001A	X	9/59

1.1.3 Sondaggio S16 – G. Scaletta (GN10)

Nella Galleria Scaletta, il settore compreso tra la pk 40+400 e 41+800 è caratterizzata da coperture tra 40 m e 120 m ca. Questa zona è caratterizzata dalla presenza di un substrato cristallino costituito da paragneiss (PMAa), a cui è sovrapposta la litofacies PMAc, costituita da marmi a silicati a tessitura massiva. Per un lungo tratto, è presente un sovrascorrimento tettonico a basso angolo che mette a contatto PMAa con le filladi sottostanti appartenenti all'unità FDN. Le criticità di questa tratta sono connesse alle caratteristiche geomeccaniche estremamente scadenti segnalate (GSI di 5-10), anche in relazione alla probabile interferenza della struttura a basso angolo su un lungo tratto della galleria. In questa tratta il Progetto Definitivo prevede l'utilizzo diffuso di sezioni tipo consolidate ed in particolare C2V e C3V, proposte proprio al fine di attraversare contesti caratterizzati da elevati gradi di fratturazione e passaggi locali di fronti parzializzati.

È stata programmata l'esecuzione del sondaggio S16 che ricade sulla pk 40+700 ca. (Figura 1.5, Figura 1.6), con un fuori asse di ca. 145 m e ha una lunghezza complessiva pari a 120 m. I primi 80 m saranno realizzati a distruzione di nucleo, mentre i successivi 40 m saranno realizzati a carotaggio continuo. Il diametro previsto dei fori è di 101 mm, mentre il diametro delle carote è di 76 mm. Per garantire un recupero della stratigrafia quanto più possibile rappresentativo dello stato effettivo dell'ammasso è stato previsto un utilizzo di fluidi di perforazione a polimeri e l'utilizzo di carotiere doppio di tipo T6S.

Nel foro verranno realizzate 5 di prove dilatometriche e 4 prove di permeabilità Lugeon. Il foro verrà attrezzato con piezometro di Casagrande per il monitoraggio dei livelli idrici, con cella da collocare alla quota della livelletta della galleria.

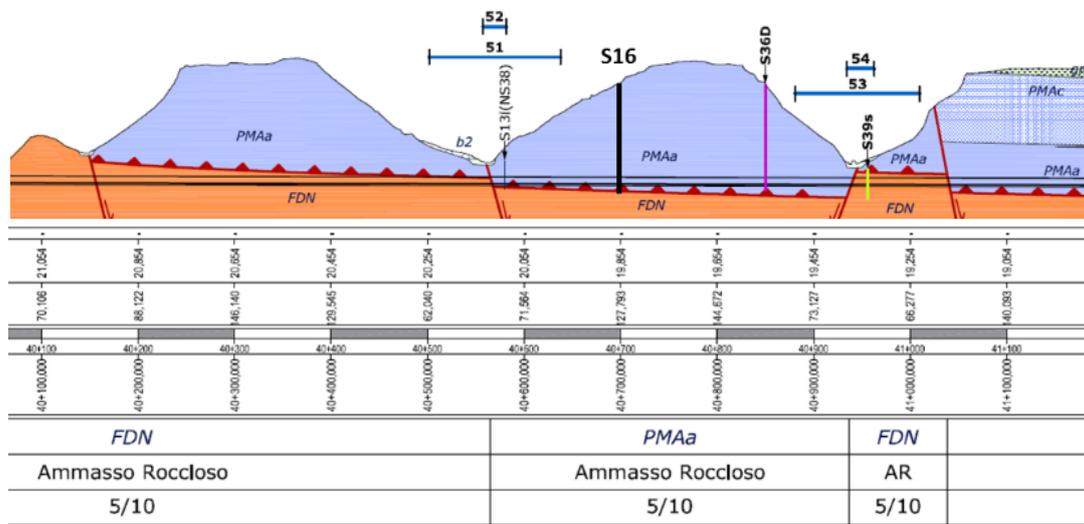


Figura 1.5 – Ubicazione del sondaggio S16 sul profilo geologico di PD.

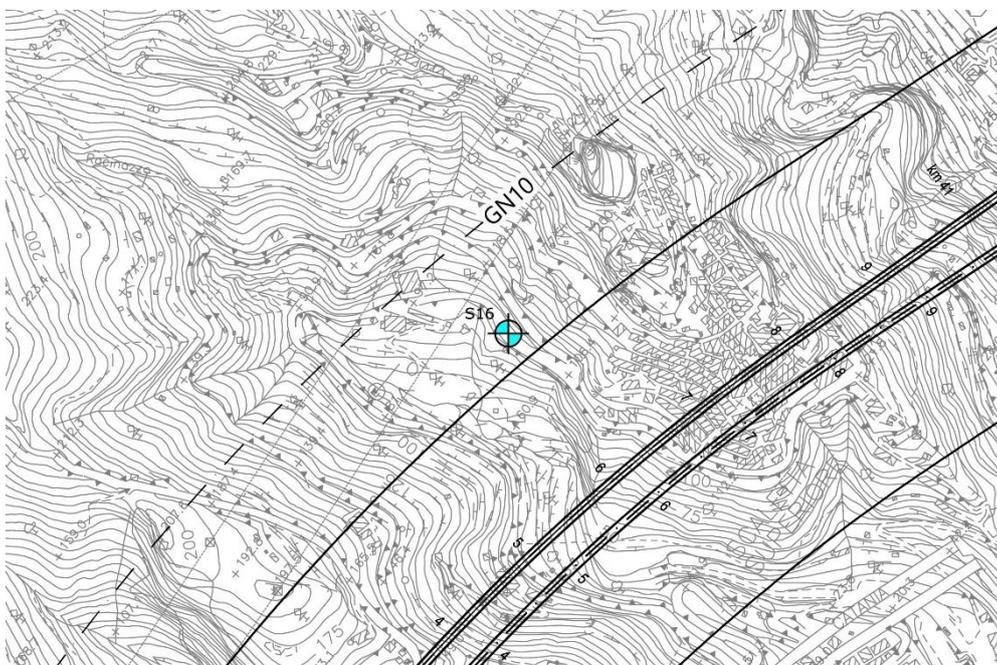


Figura 1.6 – Planimetria con ubicazione del sondaggio S16

1.1.4 Sondaggio S17 – G. Scaletta (GN10)

Il settore di imbocco lato CT della Galleria Scaletta, attorno alla pk 39+200, è caratterizzato dalle filladi appartenenti all'unità tettonica di Mandanici (FDN). I sondaggi posti all'imbocco (S37s e IT04) mostrano che in questo settore questa unità ha caratteristiche di notevole variabilità composizionale, con presenza di prevalenti livelli filladici, livelli argillificati, e livelli litoidi fortemente fratturati. La necessità di caratterizzare la composizione del materiale ai fini ambientali unita alla necessità di prevedere adeguatamente quali litologie saranno attraversate a quota galleria, suggerisce l'opportunità di effettuare un sondaggio a carotaggio in questo settore.

È stata programmata l'esecuzione del sondaggio S17 che ricade sulla pk 39+330 ca. (figura 1.7, 1.8), in corrispondenza di un'area di parcheggio. Tenendo conto delle necessità evidenziate dal punto di vista ambientale e delle esigenze conoscitive da approfondire a livello di contesto geologico e geomeccanico alla quota della galleria, si propone una lunghezza complessiva pari a 50 m, da realizzare a carotaggio continuo. Il diametro previsto dei fori è di 101 mm, mentre il diametro delle carote è di 76 mm. Per garantire un recupero della stratigrafia quanto più possibile rappresentativo dello stato effettivo dell'ammasso è stato previsto un utilizzo di fluidi di perforazione a polimeri e l'utilizzo di carotiere doppio di tipo T6S.

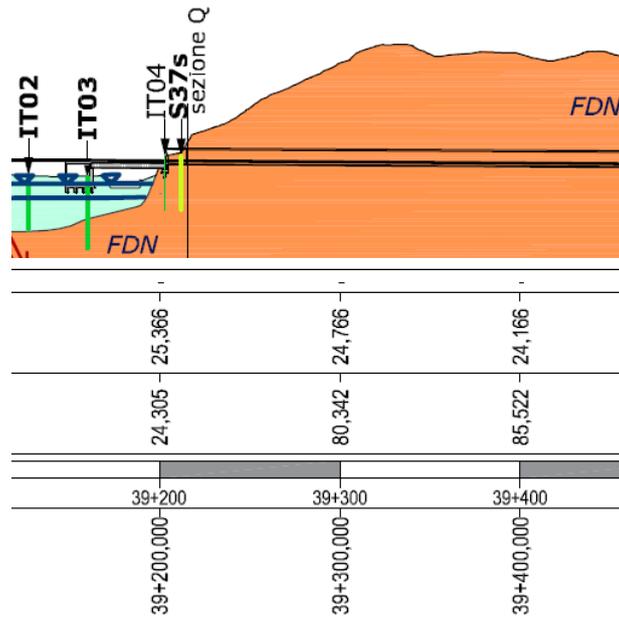


Figura 1.7 – Ubicazione del sondaggio S17 sul profilo geologico di PD



Figura 1.8 – Planimetria con ubicazione del sondaggio S17

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	12/59

1.2 INDAGINI DI FASE 2

Le indagini di Fase 2 sono costituite da 8 sondaggi (SA0, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6, SA7) e da 20 linee di sismica a rifrazione. L'ubicazione dei sondaggi sui profili geologici è riportata in figura 1.10. Le caratteristiche dei sondaggi e il loro attrezzamento in piezometro o inclinometro sono quelle di seguito riportate (tabella 1.2):

N°	Opera	pk	Descrizione	Cod. Sond	Motivazione	Lungh. tot (m)	Lungh. distr. nucleo	Lungh. carotaggio
1	GN02 - Galleria Taormina	15+300	Sond. vert. - piezometro	SA0	Contesto privo di indagini a quota galleria per una lunga tratta. Sono riportati sovrascorrimenti a basso angolo di cui tuttavia non si conosce esattamente lo sviluppo, con possibili interferenze con l'opera anche su tratte relativamente lunghe. Ammasso molto tettonizzato.	120	50	70
2	GN04 - Galleria Letojanni	20+100	Sond. vert. - inclinometro	SA1	Necessario caratterizzare lo spessore della coltre detritica che nei profili geologici pare sottodimensionata rispetto alle evidenze dei sondaggi (es. nel profilo è spessa 5 m, mentre dal sondaggio risultano 14 m).	30	0	30
3	GN05 - Galleria Forza d'Agrò	20+320	Sond. vert. - inclinometro	SA2	Assenza di caratterizzazione dell'imbocco tramite sondaggi: è necessario caratterizzare lo spessore della coltre detritica.	30	0	30
4	GN06 - Galleria Sciglio	23+500	Sond. vert. - inclinometro	SA3	Necessario caratterizzare lo spessore all'imbocco delle Sabbie e Ghiaie di Messina (MSS).	30	0	30
5		26+050	Sond. vert. - piezometro	SA4	Incertezza sulla posizione del sovrascorrimento che separa PMAb (gneiss) dal sottostante FDN (filladi). Il sovrascorrimento determina un forte peggioramento delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso (cfr. sondaggio 16S).	170	70	100
6		32+380	Sond. vert. - piezometro	SA5	In questa zona il sond. S25s evidenzia la presenza di sabbie fino a fondo foro. Dall'analisi della morfologia sembrerebbero essere presenti sistemi di faglie sub-verticali che potrebbero portare il contatto sabbie-basamento fino a quota galleria. Questa ipotesi è anche supportata dai dati del vicino sondaggio S31d.	130	90	40
7	GN07 - Galleria Nizza	33+420	Sond. vert. - piezometro	SA6	Settore dell'imbocco in filladi FDN, non caratterizzate da altri sondaggi in questa zona, bassa qualità della caratterizzazione stratigr/geomecc in altri sondaggi in FDN.	20	0	20
8	GN09 - Galleria Quali	34+920	Sond. vert. - piezometro	SA7	Pur essendoci un'unica formazione (VEP1) si denota una varietà compositiva molto elevata (areniti, siltiti, argilliti, conglomerati quarzosi). È necessario caratterizzare in dettaglio la litostratigrafia e l'assetto geomeccanico vista anche la presenza del camerone	80	0	80
						m tot	m tot	m tot
						610	210	400

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	13/59

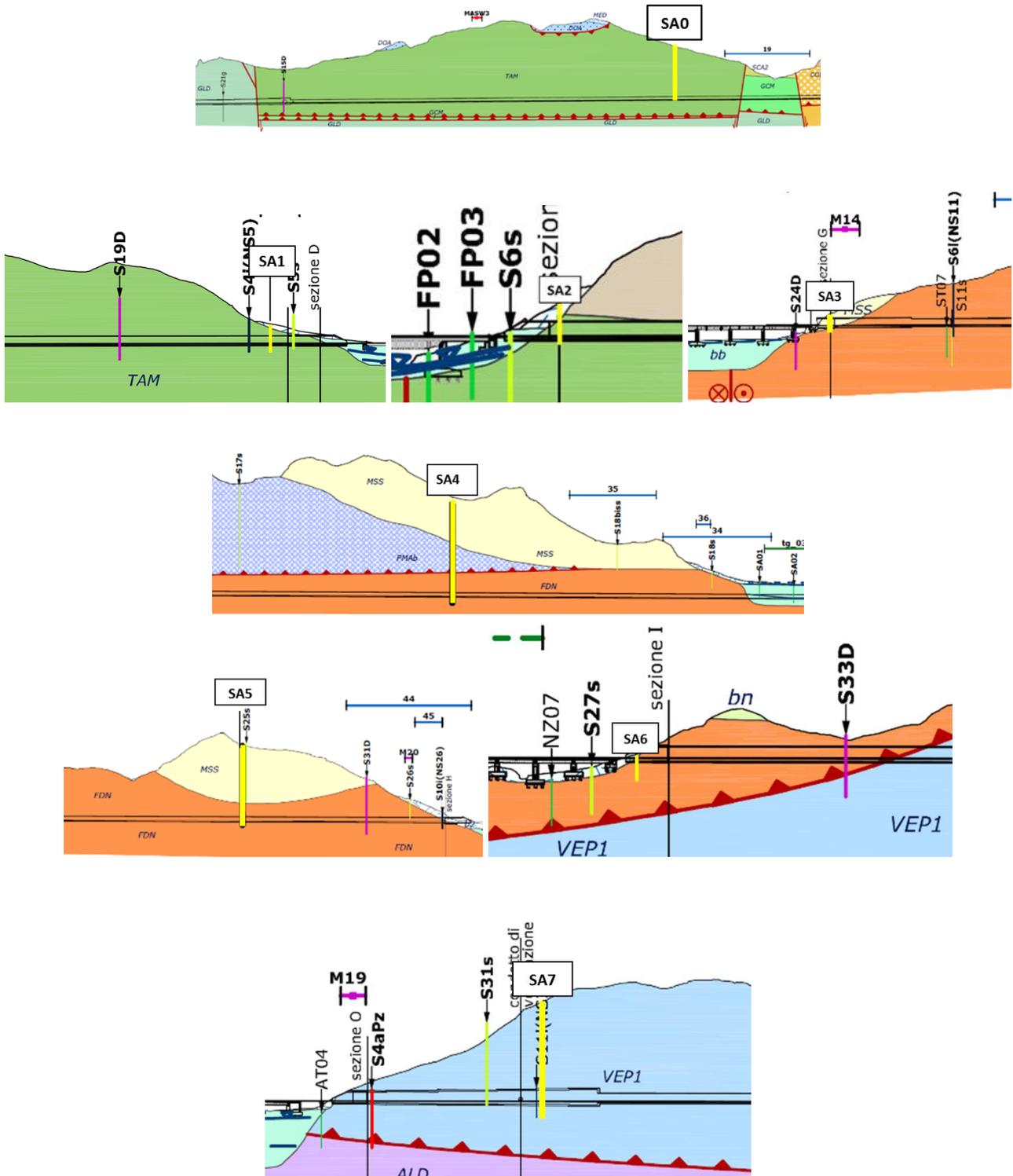


Figura 1.9 – Ubicazione dei sondaggi di Fase 2 (SA0, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6 e SA7) sui profili geologici di PD.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	14/59

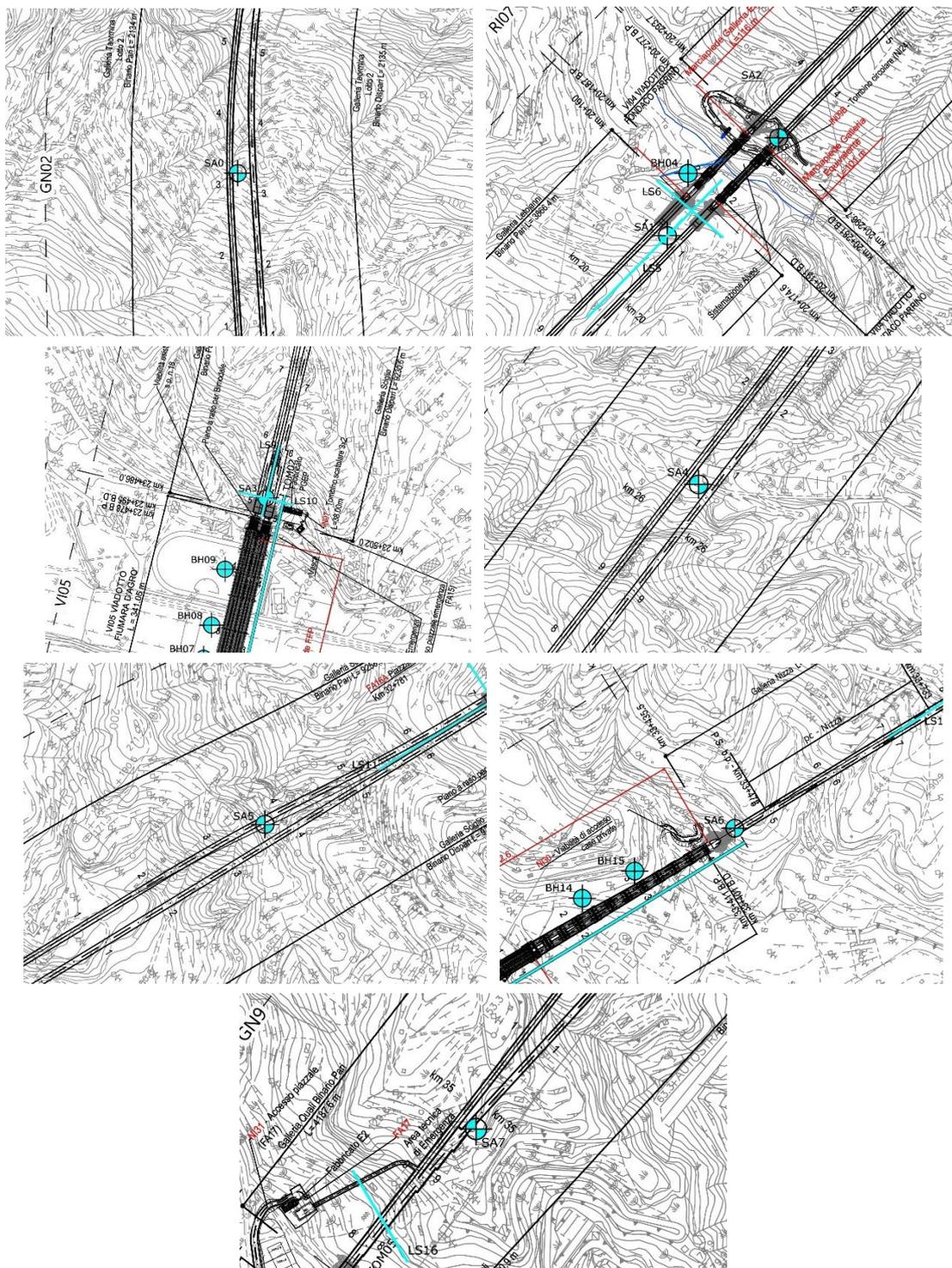


Figura 1.10 – Ubicazione dei sondaggi di Fase 2 (SA0, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6 e SA7) in planimetria; gli altri sondaggi riportati sono relativi ad indagini integrative delle tratte all'aperto (cfr. paragrafo precedente).

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	15/59

Nei vari fori di sondaggio verranno svolte le seguenti prove in situ per la caratterizzazione delle proprietà idrauliche e geometriche del mezzo (tabella 1.3)

Prove e rilievi in foro			
Codice Sondaggio	MPM o DRT - Pressiometrica Menard (zone di taglio) - Dilatometrica in roccia	Prove di permeabilità Lugeon	Verifica e misura del livello di falda
	n	n	
S14	5	5	si
S15	5	5	si
S16	5	4	si
S17	3	3	si
SA0	5	2	si
SA1			si
SA2			si
SA3	5	2	si
SA4		2	si
SA5	5	2	si
SA6			si
SA7	5		si
	n tot	n tot	
	38	25	

La tabella seguente riporta il numero di campioni rimaneggiati e indisturbati e la relativa tipologia di prove di laboratorio che verranno realizzati su di essi ai fini della caratterizzazione geotecnica (tabella 1.4)

Prelievo campioni e prove di laboratorio												
Codice Sondaggio	Campioni indisturbati (roccia / suoli coesivi) con carotiere Triplo	Campioni disturbati (suoli incoerenti)	Apertura e identificazione (suoli e rocce) /	Peso di volume naturale (suoli e rocce) / Natural	Compressione monoassiale (rocce) / UCS	Compressione triassiale (rocce) / Triaxial test	Point load test - rock	Contenuto di umidità (suoli) / moisture	Granulometria integrale (suoli) / Total grain size	Limiti di atterberg (suoli) / Atterberg	Prova di taglio triassiale CD (suoli) / Triaxial	Prova di taglio diretta (suoli) / Direct shear test
	n°		n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
S14	3	3	3	3				3	3	3	3	3
S15	4	3	4	4	4		4		3			
S16	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S17	4	3	4	4	4		4		3			
SA0	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA1	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA2	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA3	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA4	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA5	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA6	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
SA7	6	3	5	5	3		3	3	3	3	3	3
	n° und. Sample	dist. Samp	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°
	57	36	56	56	27	0	27	30	36	30	30	30

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 17/59

2 INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE ALL'APERTO

Lungo il tracciato, in corrispondenza delle tratte all'aperto, si prevede la realizzazione di 7 viadotti (denominati da VI03 a VI09) e 3 Stazioni (Stazione S.Alessio-S.Teresa, Fermata Itala Scaletta e Fermata Lettojanni).

In queste zone nelle precedenti fasi progettuali sono state già redatte una serie di campagne di indagini, che hanno permesso di riconoscere nel suo insieme l'assetto litostratigrafico generale e definire nel complesso i modelli geologici e geotecnici di riferimento per il dimensionamento delle singole opere.

Tuttavia, si ritiene opportuno procedere con una integrazione delle indagini, da realizzare prevalentemente in corrispondenza delle fondazioni dei viadotti, finalizzate a garantire l'acquisizione di tutte le informazioni necessarie per la redazione di un progetto esecutivo ai sensi di quanto richiesto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Generalmente le fondazioni dei viadotti interessano depositi alluvionali prevalentemente incoerenti di buone caratteristiche meccaniche, che sovrastano le formazioni rocciose di base. Tuttavia, il contatto con la formazione di base non è stato sempre rilevato direttamente ma estrapolato mediante indagini indirette e/o correlato a verticali di sondaggio ubicate ad una certa distanza e/o con fuori asse anche notevoli. Pertanto l'ubicazione delle indagini integrative ha privilegiato le zone ove l'attuale PD lascia dubbi interpretativi. Le prove SPT da eseguire in foro (mediamente ogni 3 m lungo i depositi incoerenti) consentiranno inoltre di meglio caratterizzare i depositi alluvionali incoerenti presenti nelle profondità di interesse progettuale.

Nel caso in esame, quindi, le indagini integrative in corrispondenza delle tratte all'aperto avranno in generale lo scopo di:

- Incrementare le verticali indagate in corrispondenza delle fondazioni dei viadotti e delle singole opere, necessarie per la definizione dei modelli geotecnici dei singoli sistemi di fondazione (tale esigenza scaturisce dal fatto che le indagini oggi a disposizione non coprono tutti i sistemi di fondazione previsti, anche considerando che alcune campagne di indagini sono state effettuate lungo allineamenti non in asse con il tracciato attuale, a distanze anche dell'ordine di 200 m).
- Definire i dettagli dei contatti litostratigrafici, in zone in cui ad oggi tali informazioni sono state estrapolate e permangono dubbi interpretativi, anche mediante l'ausilio di stese sismiche a rifrazione previste lungo i viadotti.
- Acquisire dati integrativi tramite prove in foro e laboratorio al fine di affinare la caratterizzazione geotecnica, verificare le informazioni disponibili e analizzare nel dettaglio eventuali singolarità.
- Acquisire i dati geotecnici di dettaglio delle formazioni superficiali (nei primi 10 – 12 m) necessari per condurre analisi puntuali dei fenomeni di scalzamento previsti per 6 pile di 3 viadotti (VI03: pila 2 sx e dx; VI05: pile 3 e 4; VI06: pile 4, 5 e 6): in queste zone è stato previsto un incremento di prove di laboratorio nelle formazioni superficiali per il riconoscimento granulometrico delle stesse.
- Integrare le informazioni necessarie per verificare e dettagliare le categorie sismiche di sottosuolo in corrispondenza delle opere principali.



LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	18/59

Con questi obiettivi, è stata proposta una campagna di indagini integrative, che prevede:

- N. 24 sondaggi a carotaggio continuo, di lunghezza compresa tra 12 e 45 metri, per una lunghezza totale pari a 716 m.
- N. 241 prove SPT complessive da realizzare durante il carotaggio.
- N. 4 sondaggi saranno attrezzati per prove Down Hole.
- Prelievo di campioni rimaneggiati, indisturbati e litoidi da sottoporre a prove fisiche e meccaniche di laboratorio.
- N. 5 tomografie sismiche in onde P e S, di lunghezza complessiva L=2050m
- N. 1 MASW

Tutti i sondaggi dovranno essere supervisionati da tecnico laureato (preferibilmente geologo) che compilerà i log stratigrafici con una dettagliata descrizione litologica dei terreni attraversati, completa di documentazione fotografica delle carote. Sulle carote dovranno essere eseguite prove di resistenza speditiva ogni 20 cm (pocket-penetrometer e/o van-test nei tratti coesivi) ovvero determinazione dell'indice RQD (in corrispondenza dei tratti litoidi).

Le profondità ed estensione delle indagini sono state opportunamente definite al fine di fornire dati geotecnici all'interno dei volumi significativi dei singoli elementi di fondazione, in modo da permetterne le opportune verifiche progettuali.

La sintesi della suddetta campagna di indagine è riportata nella tabella 2.1 seguente e nelle figure che seguono, in cui si riportano degli stralci delle planimetrie con l'ubicazione delle indagini integrative.

La successiva tabella 2.2 riporta un prospetto dei campioni da prelevare in sito e delle prove di laboratorio che dovranno essere eseguite in laboratorio. Il numero di campioni e prove di laboratorio è da intendersi indicativo e potrà essere compiutamente definito solo in corso d'opera alla luce dei dati stratigrafici via via acquisiti, ed in funzione del numero e qualità dei campioni effettivamente disponibili.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	19/59

OPERA RIFERIMENTO	N°	Codice Sondaggio	fondazione riferimento	obiettivo di dettaglio	Lunghezza Sondaggio (m)	DH	SPT
VI03 – Viadotto Lettojanni	1	BH01	spalla A	geotecnico	15		8
	2	BH02	Pila 2	scalzamento	40	X	13
	3	BH03	Pila 3/4	geotecnico	35		11
TOM 1, lunghezza 350 m circa							
VI04 – Ponte torrente Fondaco Parrino	4	BH04	Spalla 1/P1	geotecnico	35		11
Stazione S. Alessio - S. Teresa	5	BH05			20		6
VI05 –viadotto Fiumara D'agrò	6	BH06	pila 1/2	geotecnico	35		11
	7	BH07	Pila 3	scalzamento	12		6
	8	BH08	Pila 4	scalzamento + geot	45	X	15
	9	BH09	Pila 6	geotecnico: cont filladi	35		11
TOM 2, lunghezza 450 m circa							
VI06 –viadotto Fiumedisini	10	BH10	spalla A	geotecnico	30		10
	11	BH11	Pila 4	scalzamento	12		6
	12	BH12	Pila 5	scalzamento + geot	45	X	15
	13	BH13	Pila 6	scalzamento	12		6
	14	BH14	Pila 11	geotecnico	30		10
	15	BH15	Pila 14	geotecnico	25		8
TOM 3, lunghezza 650 m circa							
VI07 – Viadotto Satano	16	BH16	Pila 2	geotecnico	40		13
	17	BH17	Pila 3	geotecnico	40		13
	18	BH18	Pila 7	geotecnico	35		11
	19	BH19	Spalla B	geotecnico	35		11
TOM 4, lunghezza 350 m circa							
VI08 – Viadotto D'Ali	20	BH20	Spalla A	geotecnico	30	X	10
	21	BH21	Spalla B	geotecnico	30		10
TOM 5, lunghezza 250 m circa							
Fermata Itala Scaletta	22	BH22			30		10
VI09 – Viadotto Itala Scaletta							
Fermata Lettojanni	23	BH23			20		6
	24	BH24			30		10
MASW 1, lunghezza 60 m circa							

Tabella 2.1 – Campagna di indagine

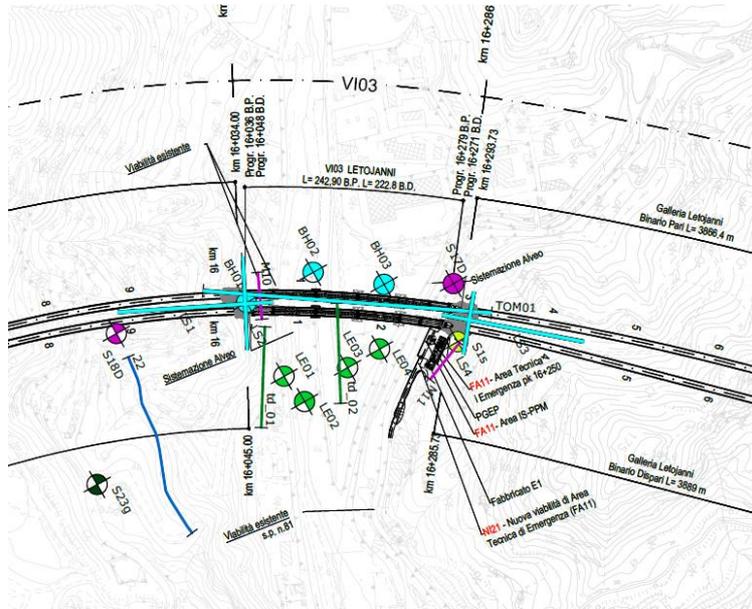


Figura 4.1 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 03 (in ciano)

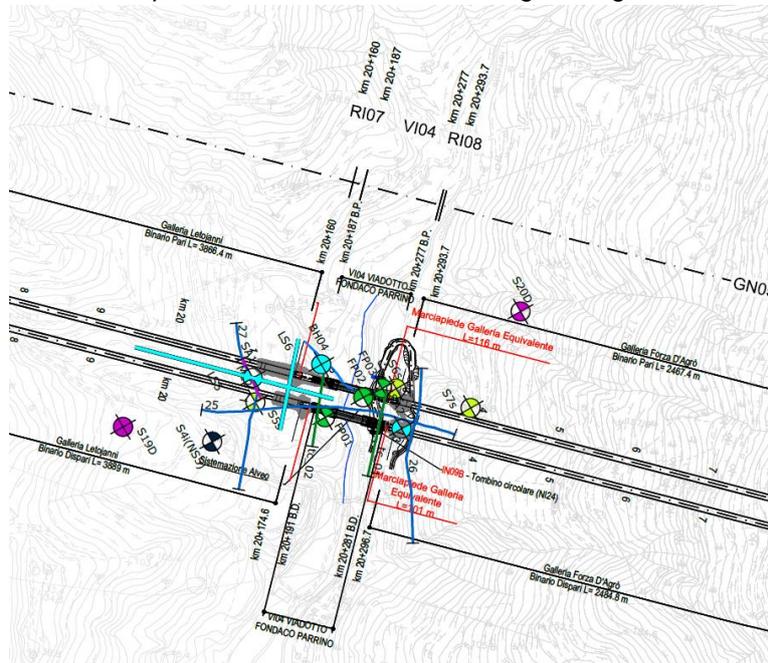


Figura 2.2 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 04 (in ciano)

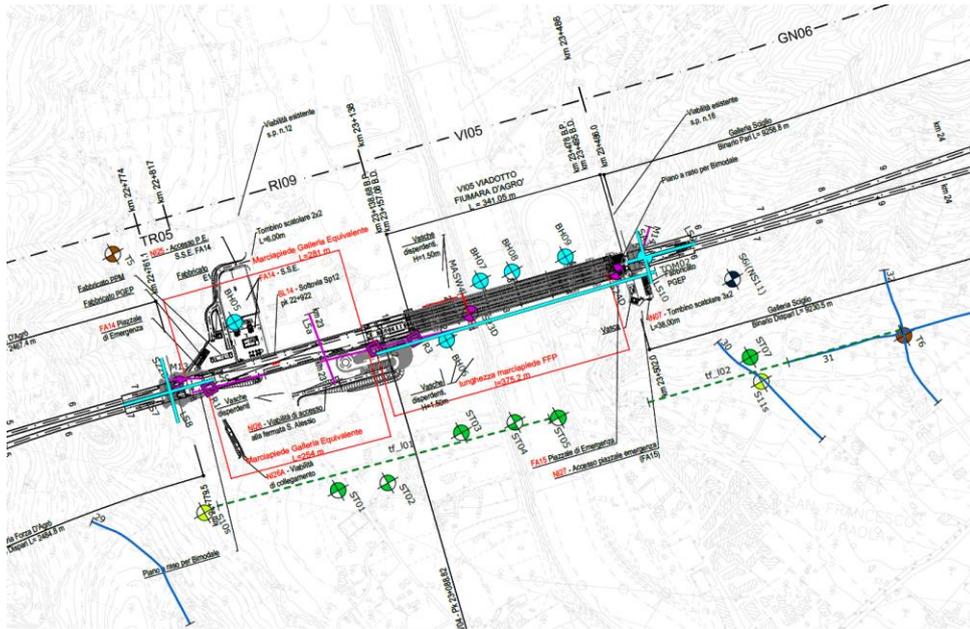


Figura 2.3 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 05 (in ciano)

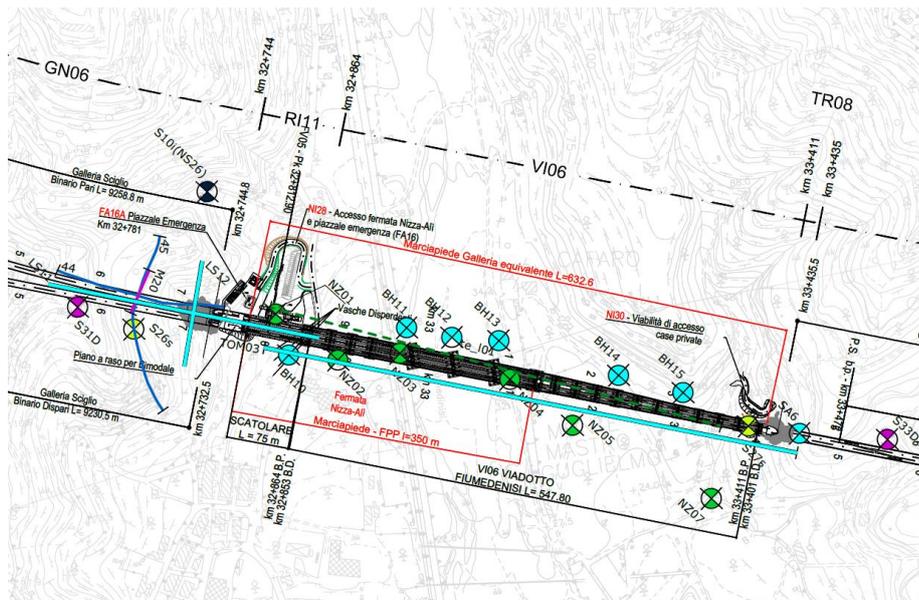


Figura 2.4 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 06 (in ciano)

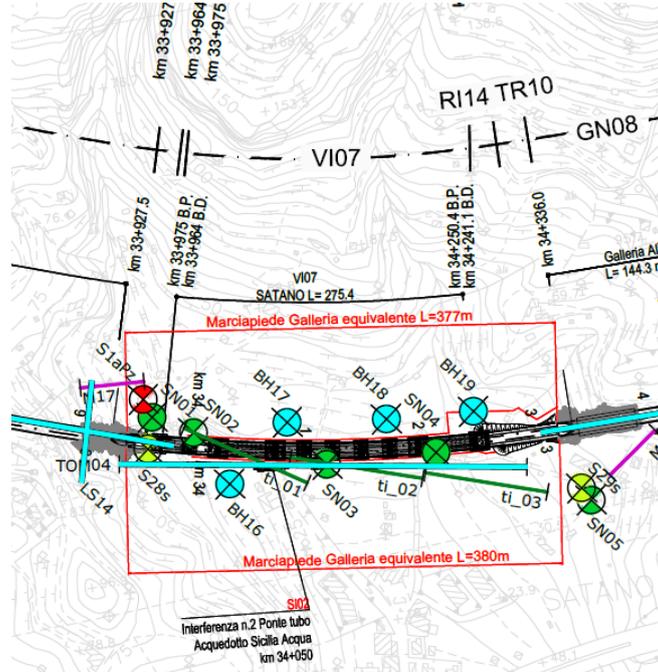


Figura 2.5 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 07 (in ciano)

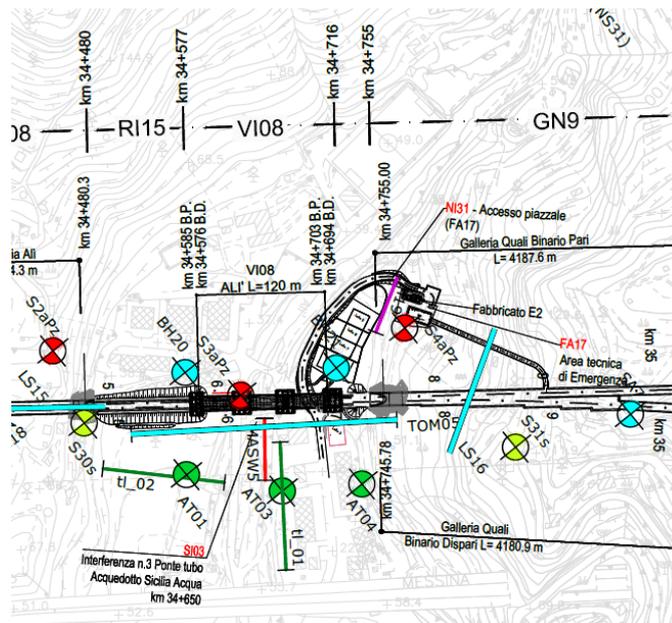


Figura 2.6 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative VI 08 (in ciano)

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	23/59



Figura 2.7 – Stralcio planimetria con ubicazioni indagini integrative Stazione Lettojanni (in ciano)

VIADOTTI	SONDAGGI E PROVE IN SITO				CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO							
	OPERA RIFERIMENTO	N°	Codice Sondaggio	fondazione riferimento	obiettivo di dettaglio	Campioni rimaneggiati	campioni indisturbati/litoidi	Apertura e identificazione (suoli e rocce)	Peso di volume naturale (suoli e rocce)	Contenuto di umidità (suoli)	Granulometria (suoli)	Limiti di Atterberg (suoli)
VI03 – Viadotto Lettojanni	1	BH01	spalla A	geotecnico	5	3	8	3	3	8	3	3
	2	BH02	Pila 2	scalzamento	10	1	11	1	11	1	1	1
	3	BH03	Pila 3/4	geotecnico	5	3	8	3	3	8	3	3
	TOM 1, lunghezza 350 m circa											
VI04 – Ponte torrente Fondaco	4	BH04	Spalla 1/P1	geotecnico	4	4	8	4	4	8	4	4
Stazione S. Alessio - S. Teresa	5	BH05			3	1	4	1	1	4	1	1
VI05 – viadotto Fiumara D'agrò	6	BH06	pila 1/2	geotecnico	5	1	6	1	1	6	1	1
	7	BH07	Pila 3	scalzamento	6		6		6			
	8	BH08	Pila 4	scalzamento + geot	6	4	10	4	4	10	4	4
	9	BH09	Pila 6	geotecnico: cont filladi	2	4	6	4	4	6	4	4
TOM 2, lunghezza 450 m circa												
VI06 – viadotto Fiumedisini	10	BH10	spalla A	geotecnico	4		4	0	0	4	0	0
	11	BH11	Pila 4	scalzamento	6		6		6			
	12	BH12	Pila 5	scalzamento + geot	10	2	12	2	2	12	2	2
	13	BH13	Pila 6	scalzamento	6		6		6			
	14	BH14	Pila 11	geotecnico	2	3	5	3	3	5	3	3
15	BH15	Pila 14	geotecnico	2	3	5	3	3	5	3	3	
TOM 3, lunghezza 650 m circa												
VI07 – Viadotto Satano	16	BH16	Pila 2	geotecnico	4		4		4			
	17	BH17	Pila 3	geotecnico	4	2	6	2	2	6	2	2
	18	BH18	Pila 7	geotecnico	3	2	5	2	2	5	2	2
	19	BH19	Spalla B	geotecnico	3	3	6	3	3	6	3	3
TOM 4, lunghezza 350 m circa												
VI08 – Viadotto D'Alì	20	BH20	Spalla A	geotecnico	4		4		4			
	21	BH21	Spalla B	geotecnico	3	2	5	2	2	5	2	2
TOM 5, lunghezza 250 m circa												
Fermata Itala Scaletta	22	BH22			3	1	4	1	1	4	1	1
VI09 – Viadotto Itala Scaletta	0											
Fermata Lettojanni	23	BH23			3		3			3		
	24	BH24			3		3			3		
MASW 1, lunghezza 60 m circa												

Tabella 2.2 – Tabella riepilogativa prelievo campioni e indagini di laboratorio

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 24/59

3 INDAGINI RELATIVE AL SUBCRITERIO TECNICO 2.1.1

Il capitolo descrive le indagini che saranno realizzate tra il km 41+400 ed il km 41+800, in corrispondenza della Galleria Scaletta, ove la galleria interferisce planimetricamente con il tracciato autostradale della A18. Le indagini di seguito descritte sono le stesse descritte nell'ambito della proposta tecnica presentata nella Relazione Tecnica di Offerta relativamente al Subcriterio tecnico 2.1.1 - *Modalità di approfondimento dello studio geotecnico per la Galleria Scaletta, in termini di indagini geognostiche integrative, anche di tipo innovativo, che il Concorrente si impegna ad attuare nello sviluppo del progetto esecutivo.*

Prima di entrare nel merito delle indagini che verranno realizzate si fornisce un breve richiamo del contesto geologico, idrogeologico e geomeccanico in cui si inseriscono le indagini e si descrivono gli aspetti di criticità da cui si è partiti per la pianificazione delle indagini in oggetto.

3.1 CONTESTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO RICOSTRUITO NEL PROGETTO DI BASE GARA

3.1.1 Assetto geologico

La che segue riporta un estratto della carta geologica di Progetto definitivo a base gara (di seguito abbreviato PBG) nella tratta di interesse tra il km 41+400 e 41+800 . Questo settore è caratterizzato dalla presenza di un substrato cristallino appartenente al complesso metamorfico varisico. Tale complesso, partendo dalla porzione geometricamente inferiore, è costituito da paragneiss di colore grigio (PMAa), a tessitura massiva o orientata, progressivamente passanti a micascisti biotitici di colore grigio scuro, a tessitura scistosa (**Figura**). I litotipi gneissici sono poco granatiferi, mentre i litotipi più scistosi sono ricchi, oltre che in biotite, anche in granati, sillimanite e muscovite. Nelle aree a minore deformazione tettonica le rocce mostrano un'unica foliazione principale, spesso crenulata nei litotipi più scistosi. Sovrapposta alla litofacies PMAa, è presente una litofacies costituita da marmi a silicati di colore grigio e biancastro (PMAc), a tessitura massiva, con subordinati fels Ca-silicatici e lenti metriche di anfiboliti; sono presenti comuni lenti e noduli di quarzo. I marmi hanno tessitura saccaroide, grana media e sono caratterizzati dalla presenza di biotite, granati, quarzo, feldspati e muscovite.

LEGENDA

SUCCESSIONI CLASTICHE QUATERNARIE

Depositi quaternari

Depositi detritico-colluviali
(b2) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso generalmente abbondante. Depositi di versante e di alterazione del substrato.
Olocene

Depositi alluvionali attuali
(ba) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso da scarsa ad abbondante. Depositi di canale fluviale e argine.
Olocene

Depositi alluvionali recenti
(bb) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso da scarsa ad abbondante. Depositi di canale fluviale, argine e conoide alluvionale.
Olocene

Depositi marini e transizionali

Depositi di spiaggia
(g2) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso limosa generalmente scarsa. Depositi di spiaggia.
Olocene

Depositi di piana litorale
(g1) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso da scarsa ad abbondante. Depositi di spiaggia e cordone litoraneo.
Olocene

Depositi marini terrazzati
(gn) Ghiaie poligeniche ed eterometriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso da scarsa ad abbondante. Depositi di spiaggia e cordone litoraneo.
Pleistocene medio - Pleistocene superiore

SUCCESSIONI CLASTICHE OLIGO-MIOCENICHE

UNITÀ KABILO-CALABRIDI

Coperture sintettoniche paleogeniche

Complesso metamorfico varisico
(PMAa) Paragneiss di colore grigio, a tessitura massiva o orientata.
(PMAb) Gneiss occhiadini di colore grigio e rosato, a tessitura orientata, cui si associano corpi di metagranitoidi, inclusi magmatici e filoni decimetrici di metapegmatiti e metapliti. **(PMAc)** Marmi a silicati di colore grigio e biancastro, a tessitura massiva.
Pre-Paleozoico

Unità tettonica di Mandanici

Metamorfiti di Mandanici
(FDN) Filladi di colore grigio, nerastro, grigio-azzurro e verdastro, a tessitura scistosa, progressivamente passanti a metareniti, metasiltiti e micascisti di colore grigio, verde e nerastro, a tessitura scistosa.
Paleozoico

SIMBOLOGIA

-  Corso d'acqua
-  Limite stratigrafico
-  Giacitura degli strati inclinati
-  Giacitura della scistosità
-  Faglia di cinematica sconosciuta, a tratteggio se presunta e/o sepolta
-  Faglia diretta, a tratteggio se presunta e/o sepolta
-  Faglia inversa, a tratteggio se presunta e/o sepolta
-  Faglia trascorrente, a tratteggio se presunta e/o sepolta. La freccia indica il verso del movimento
-  Sovrascorrimento, a tratteggio se presunto e/o sepolto
-  Fascia cataclastica
-  Deposito di frana
-  Linea di riva
-  Argine artificiale
-  Stazione geologica
-  Stazione geologica con rilievo geomeccanico
-  Rilievo geostrutturale 2003
-  Tracciato di progetto

Simbologia	Descrizione	Simbologia	Campagna Indagini
	Sondaggio a carotaggio continuo non attrezzato		Campagna geognostica 2017-2018
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato con piezometro		Campagna geognostica 2013-2014 (Geomerid/SGG)
	Sondaggio a carotaggio continuo attrezzato per sismica in foro		Campagna geognostica 2006 (Imprefond)
	Sismica a rifrazione		Campagna geofisica 2006 (Progeo)
	Geoelettrica		Campagna geognostica 2005 (Geomerid)
	MASW		Campagna geofisica 2005 (Progeo)
	RE,MI		Campagna geognostica 2005 (Sidercem)
			Campagna geognostica 2005 (Sortige)
			Campagna geognostica 2003 (Geomerid)
			Indagini bibliografiche

Figura 3.2 – Estratto della carta geologica di PBG relativa alla tratta di interesse (km 41+400 – 41+800) con legenda annessa; elaborato di PBG n° 116 riferimento documentale: RS2S 02 D69 G5 GE0001 004 B.

PROGETTO ESECUTIVO

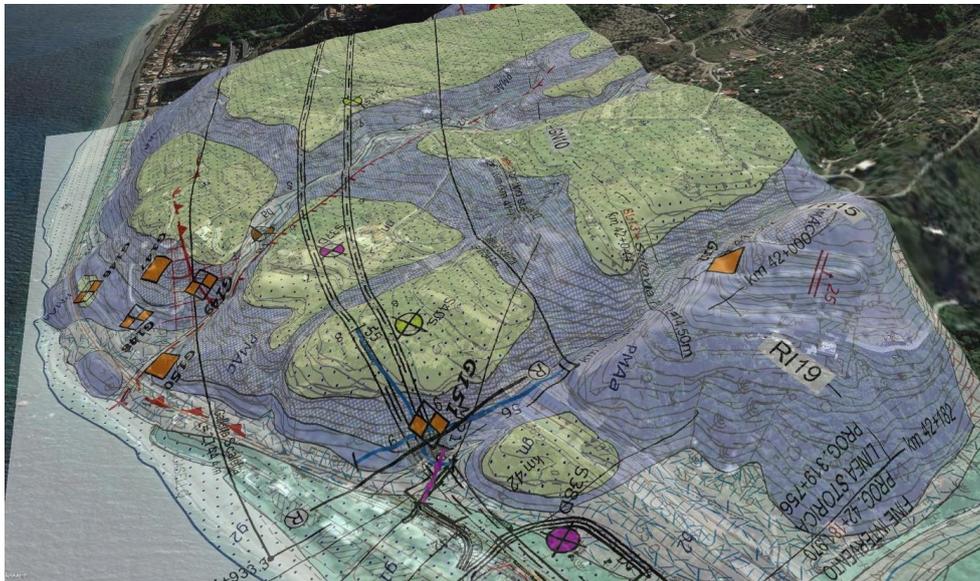
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	27/59

Sul basamento varisico poggiano in discordanza i depositi marini terrazzati (gn) pleistocenici. Sono costituiti da ghiaie poligeniche eterometriche in matrice sabbioso-limosa.

Dai rilievi strutturali e geomeccanici disponibili per il settore in esame, le rocce affioranti del basamento varisico si presentano molto spesso come intensamente cataclosate, per effetto dell'attraversamento di faglie che inducono una forte tettonizzazione (Figura 3.3 e Figura 3.5). Sono presenti innumerevoli discontinuità strutturali che disgiungono la roccia isolando elementi rocciosi dell'ordine di uno o pochi cm³. I paragneiss e micascisti risultano generalmente molto alterate nella porzione più superficiale, con argillificazione che può variare da parzialmente sviluppata lungo fratture a completamente pervasiva.

Le faglie presenti nel settore sono di due tipologie: quelle più antiche sono rappresentate da thrust, ovvero da strutture contrazionali a basso angolo rispetto all'orizzontale e che hanno permesso il sovrascorrimento di scaglie geometricamente inferiori anche all'interno delle stesse unità. Nel complesso varisico i thrust sono presenti sia come entità singole, sia come strutture con cosiddetta geometria a duplex, ovvero con sovrascorrimenti multipli lungo la verticale. Evidenze di thrust nella zona di interesse sono presenti a SE del tracciato in progetto nel basamento varisico. Tali strutture sono tagliate da faglie normali sub-verticali a direzione ca. E-W, di età Plio-Pleistocenica, che tagliano anche i depositi marini terrazzati.



PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	28/59



Figura 3.4 – Paragneiss (PMAa) di colore grigio scuro appartenente al Complesso metamorfico varisico; rif. Stop geologico n. 141.



Figura 3.5 – Paragneiss (PMAa) con cataclase e brecce tettoniche (rif. Stop geologico n. 144).

Dalla ricostruzione disponibile dal PBG, nel settore di interferenza con le gallerie dell'A18 le gallerie ferroviarie attraversano una porzione di paragneiss e micascisti appartenenti all'unità PMAa, così come evidenziato dal profilo geologico di linea (Figura 3.6).

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	29/59

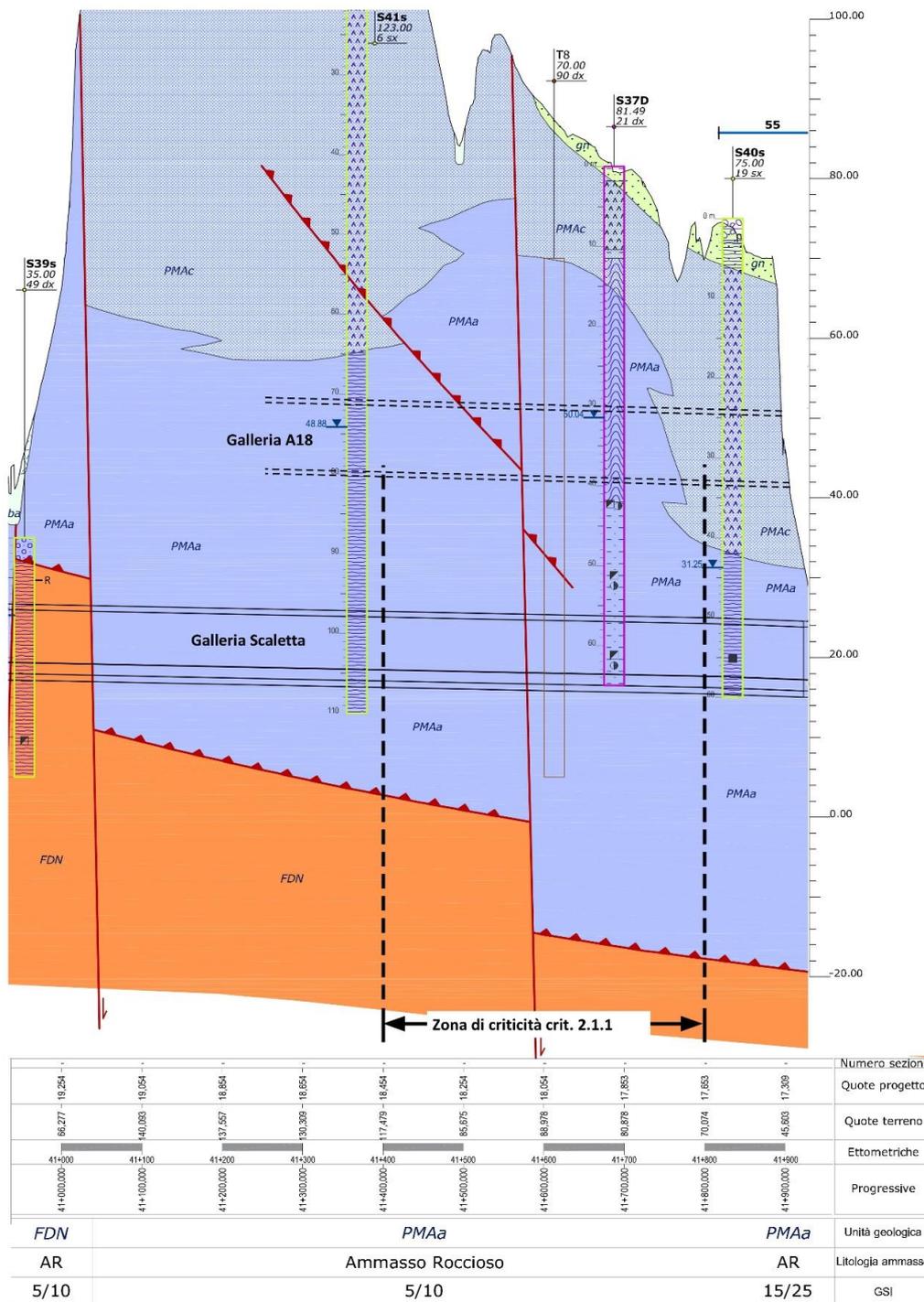


Figura 3.6 – Estratto del profilo geologico di linea (elaborato di PBG n° 124 - RS2S02D69F5GE0001008C) con alterazione della scala verticale (x10). Sono riportati i sondaggi e gli stendimenti delle MASW.

PROGETTO ESECUTIVO

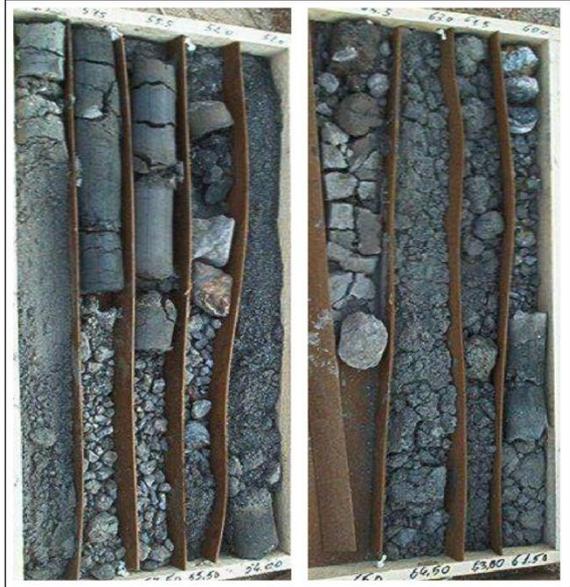
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	30/59

S41s



T8



S37D



S40s



Figura 3.7 – Stratigrafie dei sondaggi prelevati a quota della galleria ferroviaria.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 31/59

Con l'esame delle carote dei sondaggi effettuati nella zona è possibile ricostruire delle stratigrafie con evidenze di importanti deformazioni tettoniche. La figura 3.7 riporta le immagini delle stratigrafie relative alle quote di attraversamento delle gallerie ferroviarie nei sondaggi S41s, T8, S37D e S40s. In questi tratti, così come nei tratti superiori delle stratigrafie, i micascisti sono la litofacies prevalente, mentre gli gneiss sono subordinati. Tuttavia, le litologie originarie sono ridotte in sabbie con clasti lapidei di dimensioni variabili da 0,5 a 7 cm.

È possibile che in parte questo sia dovuto alle condizioni esecutive del sondaggio, che hanno presumibilmente provocato un disturbo sui campioni prelevati. Tuttavia, in alcuni tratti è evidente che la disgregazione del campione è dovuta a deformazioni di tipo tettonico, con evidenze di alterazioni più o meno pervasive che interessano i campioni. Dalle stratigrafie non è possibile ricostruire l'orientazione delle superfici tettoniche e di fratturazione, quindi non è possibile effettuare delle correlazioni tra strutturali con le faglie ricostruite nel profilo geologico.

Dal profilo geologico di figura 3.6 si può osservare come la zona di interferenza tra le gallerie ferroviarie e le gallerie dell'A18 sia interessata dall'intersezione di un'unica faglia sub-verticale, al km 41+575. Sulla base delle risultanze stratigrafiche è possibile ipotizzare che oltre a tale faglia siano presenti ulteriori fasce di tettonizzazione, anche se non è chiaro se queste possano essere correlate alle zone di taglio inverse (*thrust*) sub-orizzontali presenti nel settore o ad altre faglie normali sub-verticali, che attraversano le strutture precedenti.

3.1.2 Assetto idrogeologico

La zona di interferenza tra gallerie ferroviarie e gallerie dell'A18 è stata indagata dal punto di vista idraulico con una serie di prove Lefranc. Le conducibilità idrauliche ricavate sono indicativamente comprese tra 1×10^{-7} e 1×10^{-6} m/s, ovvero un valore medio o medio-basso di permeabilità. Procedendo in direzione CT, verso la pk 41+000 si può rimarcare come la permeabilità dell'ammasso aumenti verso valori maggiori di 1×10^{-5} m/s.

Inoltre, per la zona di interferenza è possibile ricostruire l'andamento della piezometria basandosi su valori misurati in parte durante una campagna di monitoraggio condotta nel 2007-2008 sui piezometri installati nei sondaggi S39s, S40s e S41s e con una campagna condotta nel 2017-2019 sui piezometri S36D e S37D; le quote di minimo e massimo livello sono riportate nel profilo idrogeologico del PBG. Nonostante i limiti di una correlazione tra livelli temporalmente così diversi, viene proposta una ricostruzione del livello piezometrico basata su tali misure.

Come si può vedere dalla figura 3.8 tra il km 41+400 e 41+700 il livello massimo si attesta ad una quota prossima a quella della calotta delle gallerie dell'A18, per poi abbassarsi al km 41+800 sotto alle gallerie. Il livello minimo mostra invece delle variazioni significative in quanto tenderebbe ad abbassarsi significativamente tra il km 41+400 e 41+700, raggiungendo un minimo presunto in corrispondenza del piezometro S37D ove si attesterebbe ad una quota inferiore persino a quella delle gallerie in progetto. In corrispondenza di questo piezometro l'escursione tra minimo e massimo è molto significativa essendo di

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	32/59

ca. 34 m. Tale oscillazione può essere giustificata dalla presenza di un'alimentazione saltuaria e differenziata per diversi domini separati da faglie compartimentanti.

Un'altra possibilità è che nell'acquifero siano presenti compartimentazioni idrauliche che spiegano il motivo per cui si osserva una differenza così marcata tra oscillazioni di livello minimo-massimo sul lato Messina e sul lato Catania della zona di interferenza con l'A18.

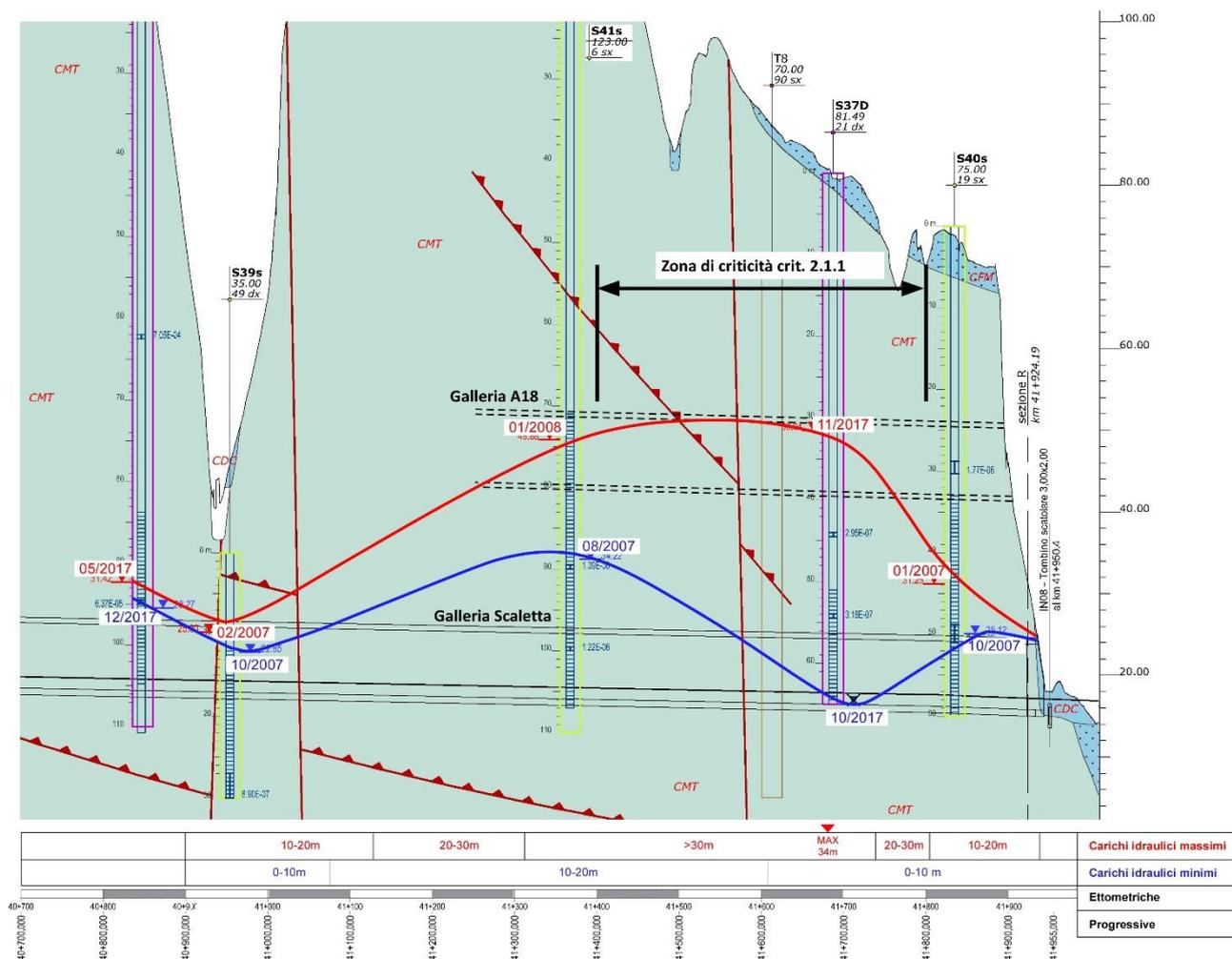


Figura 3.8 – Ricostruzione della piezometria ipotizzando assenze di compartimentazioni idrauliche. Nelle fincature sono riportati i valori di carico idraulico massimo e minimo attesi.

3.1.3 Assetto geotecnico

A livello qualitativo la caratterizzazione geotecnica dei materiali presenti lungo il tracciato della galleria nella zona di interferenza con l'A18 è desumibile dai valori di GSI riportati lungo il profilo geologico del PBG. Come si può osservare dalla figura 3.6 nel tratto di interesse, i valori di GSI sono compresi tra 5 e 10. Valori di tale entità indicano un materiale molto scadente.

Inoltre, nell'ambito della presente proposta tecnica, una ricostruzione del GSI è stata effettuata anche lungo una direzione verticale utilizzando i dati stratigrafici del sondaggio S37D. I risultati di tale ricostruzione riportati in sono proiettati sulla sezione al km 41+601, consentendo di valutare la distribuzione dei valori GSI rispetto alla quota delle due canne della Galleria Scaletta e delle gallerie dell'A18. Anche in questo caso si può notare che i materiali presentano caratteristiche molto scadenti, attestandosi su valori prevalentemente inferiori a 20. Lungo il sondaggio S37D, così come lungo altri sondaggi (cfr. figura 3.7), sono visibili orizzonti molto potenti in cui le rocce metamorfiche sembrano perdere le proprietà litoidi assumendo le caratteristiche di terreni granulari.

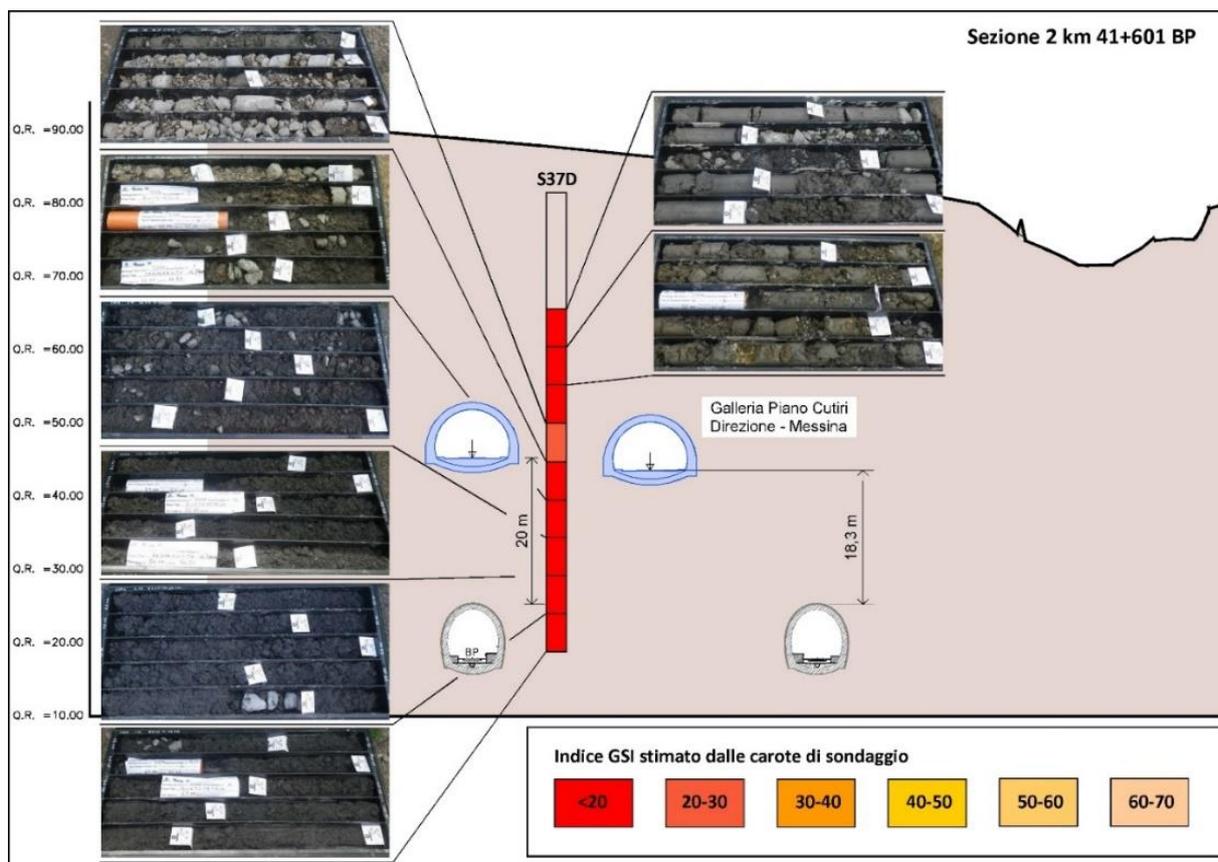


Figura 3.9 – Ricostruzione dei valori di GSI a partire dalla stratigrafia del sondaggio S37D e proiettando i valori sulla sezione 2 al km 41+601.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 34/59

La parametrizzazione geotecnica dei materiali presenti lungo tracciato della galleria nella zona di interferenza con l'A18 è stata definita sulla base dei risultati di prove di velocità ultrasonica, di *Point Load Tests* e di prove di compressione uniassiale in laboratorio eseguiti su campioni estratti nei sondaggi geognostici. Per una trattazione più approfondita riguardo al modello geotecnico ricostruito dal PBG si rimanda alla relazione tecnico-descrittiva sul Subcriterio 2.1.2.

In estrema sintesi, sulla base delle informazioni derivanti dalle indagini eseguite sui materiali dell'unità *PMAa*, attraversati dalla galleria Scaletta, il PBG fornisce le caratteristiche geotecniche attese nell'elaborato di progetto n° 1699-RS2S01D07F6GN1000001D e riportate in Tabella 3.1.

Unità geotecnica	γ (kN/mc)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
PMAa	26-28	5-40	5-10	23	4000-25000	0.2-1.8	90-600

Tabella 3.1 - Parametri di caratterizzazione unità geotecnica.

I parametri meccanici, adottando il criterio di *Mohr-Coulomb*, assunti dal PBG per la verifica della sezione di scavo (doc. n.1697 – RS2S02D07RBGN1000001E) e per l'analisi numerica (doc. n.340_2 - RS2S00D07RHGN0000001B), sono riportati in Tabella 2.

Unità geotecnica	γ (kN/mc)	ϕ' (°)	c'_k (kPa)	E' (MPa)	ν (-)	k_0 (-)
PMAa	26	31	75	310	0.3	0.8

Tabella 3.2 - Sezione di scavo – analisi di interazione: dati di input.

3.2 INCERTEZZE E CRITICITA'

3.2.1 Stato delle conoscenze ed incertezze

Dall'analisi critica dei dati di base e delle ricostruzioni geologiche, idrogeologiche e geotecniche è possibile individuare le seguenti incertezze conoscitive che interessano il settore di galleria compreso tra il km 41+400 e 41+800 (tabella 3.3):

- **Geologia.** L'assetto geologico-strutturale delle rocce appartenenti al complesso metamorfico varisco, così come osservate attraverso i rilevamenti di terreno indica, la presenza di estese fasce di tettonizzazione, con cataclasi diffusa e pervasiva nell'ammasso roccioso. Anche dalle evidenze fotografiche delle carote di sondaggio è possibile ricostruire la presenza di zone di elevato spessore (pluridecametrico) che sembrerebbero essere interessate da una deformazione tettonica pervasiva. Sulla base di questi elementi riferibili alla tettonica regionale si può pertanto ipotizzare che questo settore sia attraversato da numerose faglie e superfici di sovrascorrimento, la cui geometria ed



LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	35/59

estensione sono tuttavia incerte, non consentendo di definire con maggiore dettaglio di quanto è stato fatto negli elaborati geologici del PBG tali elementi. Nel caso in cui fossero presenti dei thrust (faglie inverse a basso angolo), questi potrebbero interessare l'opera ferroviaria per tratte anche relativamente lunghe.

- **Idrogeologia.** Allo stato attuale, la ricostruzione dell'andamento della piezometria non può che essere basato su valori di monitoraggio di campagne effettuate in periodi molto diversi (2007-2008) e su punti collocati a distanze relativamente elevate. Ne consegue che in questa fase non è possibile definire con esattezza l'entità delle oscillazioni piezometriche nella zona di criticità per intersezione con l'A18. Inoltre, dai dati ad oggi disponibili è possibile evidenziare che attorno al km 41+700 l'escursione tra minimo e massimo livello piezometrico è molto significativa (34 m), mentre sulle altre tratte della zona di interferenza non si denota un'escursione tra livelli di tale entità. Inoltre, come ipotizzato precedentemente, non è possibile escludere che nel settore in oggetto vi siano delle compartimentazioni idrauliche tra faglie, condizione che determinerebbe la presenza di domini ad alimentazione differenziata e conseguentemente con livelli idraulici molto variabili lateralmente. Questa condizione si determinerebbe in presenza di faglie molto mature ove una deformazione tettonica protratta nel tempo potrebbe aver avuto l'effetto di produrre delle rocce di faglia a granulometria molto fine (gouge di faglia) con comportamento idraulico sigillante. Le permeabilità misurate nelle rocce dell'unità PMA nel tratto di criticità sono medie o medio-basse, mentre per rocce di questo tipo (miscascisti e gneiss) le permeabilità attese dovrebbero essere di norma molto basse. Questa è un'ulteriore indicazione indiretta del fatto che la zona in oggetto è probabilmente interessata dall'attraversamento di faglie che determinano lo sviluppo di un'importante porosità secondaria per fratturazione, che a tratti potrebbe essere anche molto elevata.
- **Geotecnica.** L'elevato stato di fratturazione del materiale reperito dai sondaggi ha prodotto un consistente effetto di decadimento delle caratteristiche geomeccaniche dello stesso. In molte zone si osserva che il deterioramento della qualità geomeccanica è talmente elevato da privare le rocce delle caratteristiche litoidi, che assumono caratteristiche da terreni granulari (nelle descrizioni stratigrafiche sono riportate come sabbie). L'esatta estensione di tali fasce di decadimento non è tuttavia nota, non essendo essa chiaramente circoscrivibile in quanto dipende dalla tettonica regionale che caratterizza la zona progettuale con falde di ricoprimento sovrapposte.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	36/59

OGGETTO	PRINCIPALI INCERTEZZE
Geologia	Posizione delle zone di faglia rispetto al tracciato delle gallerie
	Composizione delle zone di faglia alla profondità delle gallerie
Idrogeologia	Variabilità spaziale del carico idraulico alla profondità delle gallerie
	Variabilità temporale del carico idraulico alla profondità delle gallerie
	Permeabilità dell'ammasso nell'intorno delle gallerie
	Condizioni di ricarica degli acquiferi
	Interferenza con sorgenti e pozzi nell'area di progetto
Geotecnica	Parametri di resistenza dei litotipi all'interno delle zone di faglia
	Parametri di deformabilità dei litotipi all'interno delle zone di faglia
	Parametri di resistenza dei litotipi al di fuori delle zone di faglia
	Parametri di deformabilità dei litotipi al di fuori delle zone di faglia

Tabella 3.3 - Principali incertezze del modello geologico di riferimento del PBG

3.2.2 Criticità connesse alle incertezze sul modello geotecnico

Le limitate informazioni ottenute dalle indagini realizzate in sede di progettazione definitiva conducono ad incertezze nella caratterizzazione geologico/geotecnica della zona di interferenza della galleria Scaletta con le gallerie autostradali dell'A18.

La probabile presenza di faglie e sovrascorrimenti non cartografabili, perché non evidenti dalla superficie, e che potrebbero intercettare per lunghe tratte il tracciato della galleria Scaletta va indagata accuratamente con indagini specifiche e mirate alla comprensione della locale tettonica regionale. L'ipotesi che vi possano essere delle zone di taglio a basso angolo che perdurano per lunghi tratti lungo il tracciato va pertanto approfondita opportunamente, cercando di evidenziare il più possibile l'estensione e la geometria delle strutture coinvolte. Coerentemente con questa ricostruzione va quindi approfondito il modello geotecnico, andando a circoscrivere spazialmente l'estensione della zona o delle zone in cui si denotano differenti caratteristiche geotecniche dei materiali attraversati dalla galleria Scaletta.

Dal punto di vista idrogeologico, l'eventuale presenza di zonazioni di permeabilità e/o compartimentazioni idrauliche, con alternanza di zone permeabili coincidenti con porzioni di ammasso intensamente fratturate, e zone di possibile permeabilità da bassa a molto bassa, coincidenti con porzioni di ammasso indeformate o con nuclei di faglie molto mature associate allo sviluppo di rocce di faglia a granulometria molto fine va approfondita accuratamente. Infatti, la presenza di eventuali compartimentazioni idrauliche può determinare che in fase di scavo la galleria passi da una zona di bassa ad una di alta permeabilità con variazioni di carico e venute improvvise di acqua e trasporto di materiale fine.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 37/59

3.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.3.1 Quadro sinottico delle indagini

Alla luce del contesto geologico, idrogeologico e geotecnico reso disponibile dalla stazione appaltante e in relazione alle incertezze conoscitive delineate nei paragrafi precedenti, si è progettato un piano di indagini integrative finalizzato a colmare le lacune e a fornire i dati necessari per una progettazione degli interventi necessari ad eliminare i rischi di interferenza con le gallerie autostradali. Le indagini integrative che verranno realizzate si possono dividere in: indagini dirette, indagini indirette, prove idrauliche e prove geotecniche in foro e in laboratorio.

Le indagini dirette comprendono la realizzazione di:

- **2 perforazioni direzionate** con primo breve tratto inclinato seguito da un tratto curvilineo atto al raggiungimento dell'asse della galleria, proseguendo poi in orizzontale lungo l'asse stesso; la prima parte del sondaggio (tratto inclinato + tratto rettilineo) verrà eseguita a distruzione con tecnica HDD (*Horizontal Directional Drilling*), mentre il tratto orizzontale verrà eseguito con tecnica di carotaggio wireline lungo l'asse della galleria;
- **6 sondaggi verticali a carotaggio continuo**, ciascuno di 100 m di profondità, ubicati in corrispondenza del tracciato della Galleria Scaletta, nei pressi dell'intersezione con le gallerie dell'A18.

Le indagini indirette comprendono la realizzazione di:

- **2 prove sismiche cross-hole** su triplette di fori;
- **5 stendimenti di sismica VSP** (*Vertical Seismic Profile*) con acquisizione dei dati nei fori verticali;
- **acquisizioni acustic televiewer (ATV) lungo le 6 verticali** dei fori carotati.

Le prove idrauliche comprendono la realizzazione, **su 4 dei sondaggi verticali** realizzati in questa fase di indagine, di **test idraulici combinati**, che consentono di ottenere una parametrizzazione idraulica dell'ammasso molto accurata. Le prove saranno realizzate in intervalli isolati con doppio packer e consisteranno nella combinazione di sulg test, prove di tipo DST (*Drill Stem Test*) e di pompaggio di lunga durata.

Le indagini geotecniche in foro comprendono la realizzazione di 2 prove dilatometriche o pressiometriche (a seconda della natura del materiale testato) in ciascuno dei 6 sondaggi verticali al fine di ottenere i parametri di deformabilità alle quote di scavo, utili per la definizione del modello geotecnico del sottosuolo.

Le prove geotecniche di laboratorio, su campioni estratti durante l'esecuzione dei sondaggi verticali, consentiranno di integrare il modello geotecnico del sottosuolo delle caratteristiche di resistenza. Tali indagini comprendono: prove di identificazione della natura del materiale e prove di taglio residuo, il cui numero e tipologia di prova sarà determinato in funzione della qualità del campione prelevato. Si prevede, comunque, il prelievo di almeno 2 campioni per foro, in prossimità delle quote di scavo della galleria di progetto.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	38/59

La vista in pianta e in profilo lungo il tracciato di linea delle indagini sopra indicate è riportata rispettivamente in figura 3.10 e in 3.11. La figura 3.12 riporta l'ubicazione delle indagini in vista 3D.

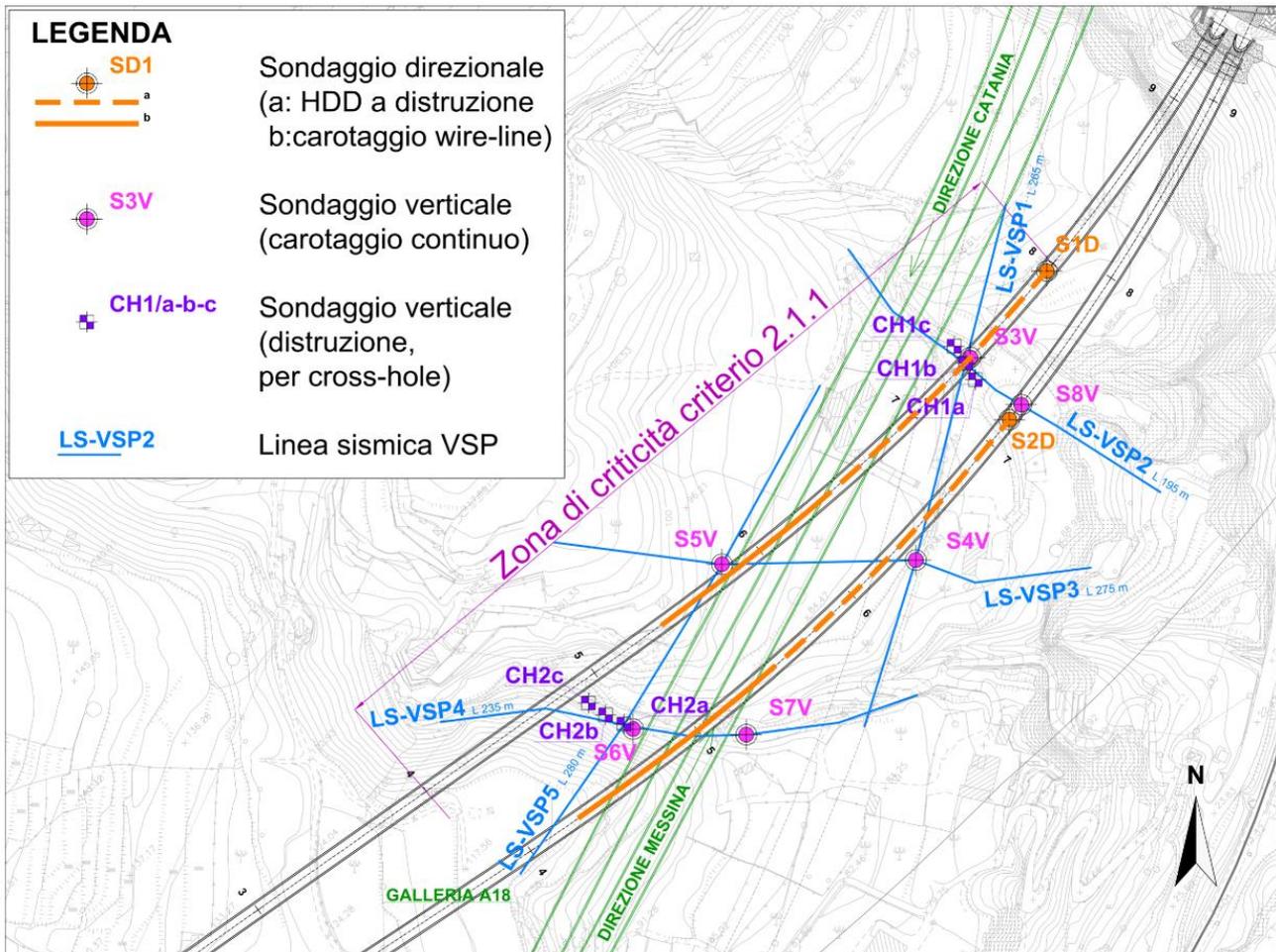


Figura 3.10 – Vista in pianta con ubicazione delle indagini da realizzare. In verde è riportato il tracciato delle gallerie dell'autostrada A18.

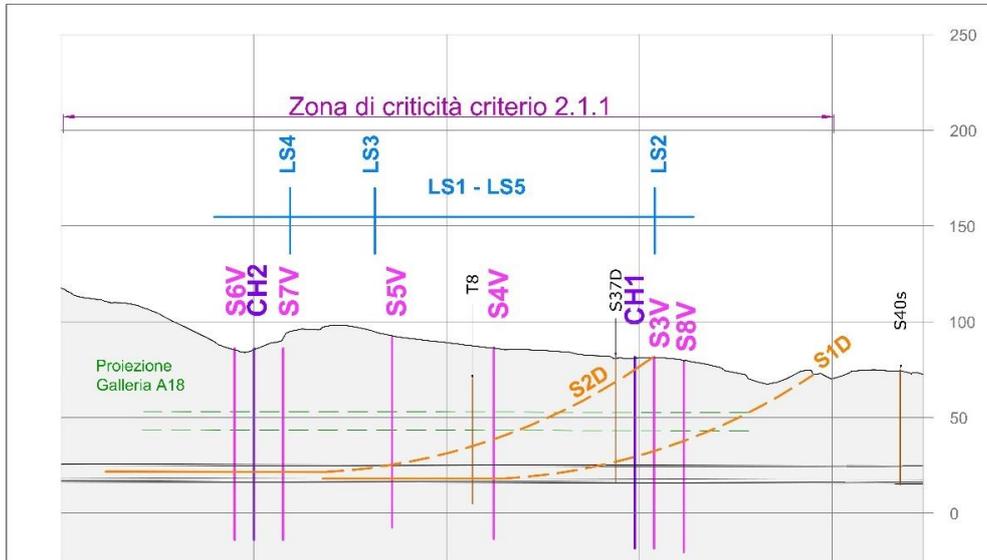


Figura 3.11 – Profilo con ubicazione delle indagini da realizzare. Per i colori delle linee di indagine si faccia riferimento alla legenda della figura 3.10.

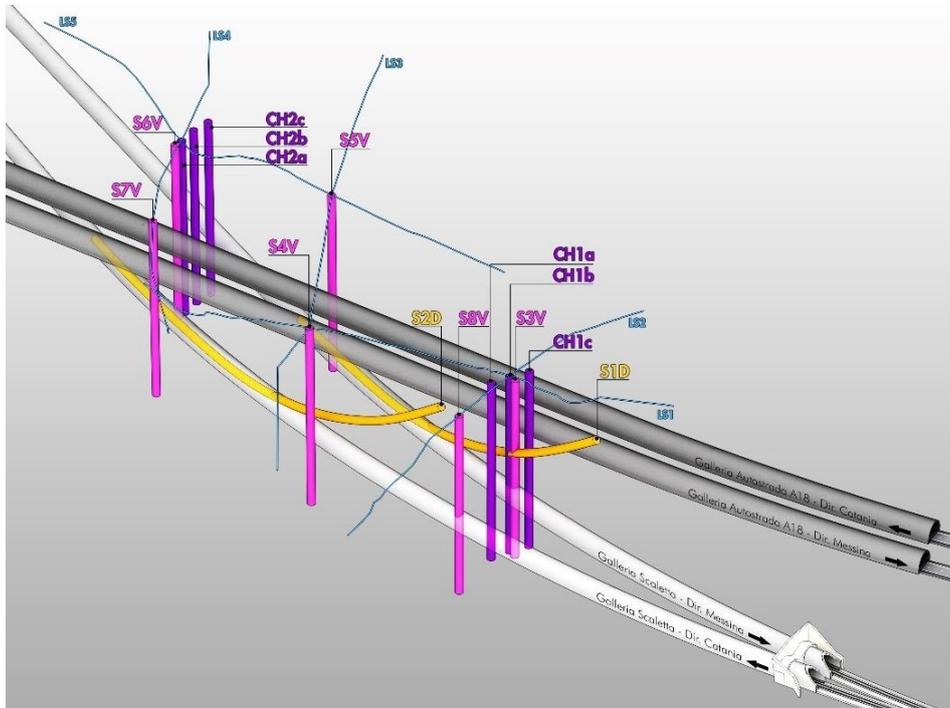


Figura 3.12 – Vista 3D dello schema tipologico tridimensionale delle indagini dirette (sondaggi) e indirette (linee sismiche) incluse nella presente proposta di indagini integrative. Per i colori delle linee di indagine si faccia riferimento alla legenda della figura 3.10

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	40/59

3.4 INDAGINI DIRETTE

Le indagini dirette saranno costituite da 2 sondaggi direzionati, da eseguire in parte a distruzione nelle tratte curvilinee da boccaforo fino al raggiungimento del piano della galleria, e in parte a carotaggio wire-line lungo un tratto di sviluppo della galleria e da 6 sondaggi verticali da eseguire con carotaggio wire-line.

La descrizione delle caratteristiche dimensionali e l'ubicazione degli 8 sondaggi che verranno realizzati sono riportate nella tabella 3.4 seguente.

CODICE SONDAGGIO	DESCRIZIONE	COORDINATE bocca foro (SR: GAUSS-BOAGA)	LUNGH. TOT (m)	DIREZIONE (sond. HDD)	LUNGH. distruzione di nucleo	LUNGH. carotaggio continuo
S1D	Sondaggio direzionato da realizzarsi con tecnica HDD nel primo tratto e carotaggio wireline orizzontale nel secondo tratto - tratto di partenza rettilineo inclinato a 51° (dalla verticale) L=5 m - curva R=320 m L=170 m – tratto orizzontale L=95 m; lunghezza tot. 250 m	Est: 2561725 Nord: 4212261	250	N221E	175	75
S2D	Sondaggio direzionato da realizzarsi con tecnica HDD nel primo tratto e carotaggio wireline orizzontale nel secondo tratto - tratto di partenza rettilineo inclinato a 51° (dalla verticale) L=5 m - curva R=320 m L=170 m – tratto orizzontale L=115 m; lunghezza tot. 290 m	Est: 2561827 Nord: 4212415	290	N219E	175	115
S3V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo con piezometro.	Est: 2561700 Nord: 4212255	100	-	-	100
S4V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo per rilievi geofisici e installazione piezometro in foro a distruzione laterale.	Est: 2561674 Nord: 4212156	100	-	100	100
S5V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo per rilievi geofisici e installazione piezometro in foro a distruzione laterale.	Est: 2561580 Nord: 4212154	100	-	100	100
S6V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo con piezometro.	Est: 2561537 Nord: 4212073	100	-	-	100
S7V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo per rilievi geofisici e installazione piezometro in foro a distruzione laterale.	Est: 2561592 Nord: 4212071	100	-	100	100
S8V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo per rilievi geofisici e installazione piezometro in foro a distruzione laterale.	Est: 2561725 Nord: 4212232	100	-	100	100

Tabella 3.4 – Descrizione delle caratteristiche geometrico-dimensionali ed ubicazione dei sondaggi proposti.

3.4.1 Sondaggi direzionati

È prevista la realizzazione di **2 sondaggi direzionati** (S1D e S2D) che verranno realizzati attraverso l'applicazione di una **metodologia innovativa** che è stata **progettata in esclusiva per la proposta tecnica migliorativa in oggetto**. Il metodo applicato è il risultato della **combinazione delle seguenti due tecniche di perforazione che di norma vengono applicate separatamente e con scopi differenti**:

- Tecnica di perforazione **Horizontal Directional Drilling (HDD)**, in italiano denominata anche come *Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*, o *Perforazione Direzionale*. È una tecnologia cosiddetta “no dig” idonea alla installazione di nuove condotte senza effettuare scavi a cielo aperto. La caratteristica essenziale di questa tecnologia è quella di permettere l'esecuzione di fori nel sottosuolo che possono avere andamento curvilineo spaziale. Tale perforazione, che viene condotta a distruzione di nucleo, verrà applicata partendo dalla superficie e fino al raggiungimento della quota della galleria.
- Tecnica di perforazione con **carotaggio wire-line**. Il sistema wire-line è una tecnica di derivazione petrolifera che è stata introdotta per velocizzare i tempi di recupero delle carote a grande profondità. Necessita di aste cave senza restringimenti, che consentono di fare scendere velocemente un carotiere in fondo al foro e all'interno delle stesse. Il carotaggio wire-line sarà effettuato lungo tratti orizzontali, con il **recupero di campioni di 63,5 mm di diametro** (utile per la realizzazione di prove di laboratorio), e consentendo di ottenere **un'informazione continua dal punto di vista geologico e geotecnico** lungo l'asse della galleria **su una lunghezza di 75 m** (nel caso di S1D) e **su una lunghezza di 115 m** (nel caso di S2D).

Le caratteristiche geometriche e dimensionali dei due sondaggi che verranno realizzati con la combinazione di queste due metodologie sono riportate in figura 3.13 e nel rendering di schema tipologico tridimensionale figura 3.14.



Figura 3.13 – Caratteristiche dimensionali dei sondaggi direzionati. Caratteristiche dimensionali dei sondaggi teleguidati. Con la linea tratteggiata i tratti da eseguire a distruzione di nucleo con tecnica HDD; con la linea continua i tratti da realizzare a carotaggio continuo con tecnica wire-line.

Caratteristiche realizzative della perforazione con tecnica HDD. La tecnologia HDD a distruzione di nucleo sarà utilizzata nel tratto curvilineo mostrato in sezione per raggiungere la quota dell'asse della galleria in progetto. Questa tecnica consiste nel controllare con precisione la direzionalità del sondaggio durante la perforazione. Il controllo di precisione della direzionalità del sondaggio è governato attraverso un sistema di "filoguida" basato sulla predisposizione in superficie di un dispositivo che emette un campo elettro-magnetico di riferimento lungo la direzione di avanzamento del foro pilota. La tecnologia è stata sviluppata dalla Inrock® tramite la sonda Paratrack la quale, tramite cavo, invia i dati necessari all'ingegnere di guida e verrà alloggiata all'interno delle aste a-magnetiche, che escludono le interferenze di natura magnetica.

La trasmissione dati al computer permetterà di esercitare in tempo reale un controllo sul posizionamento piano/altimetrico dell'utensile e di conseguenza di guidare la punta sino alla profondità e al punto prefissati. La posizione della sonda è costantemente monitorata tramite un localizzatore satellitare. La trasmissione dati al computer permetterà di esercitare in tempo reale un controllo sul posizionamento piano/altimetrico dell'utensile e di conseguenza di guidare la punta sino alla profondità e al punto prefissati. La posizione della sonda è costantemente monitorata tramite un localizzatore satellitare.

La sonda, per lo scopo dell'attività in progetto, avrà una lunghezza pari a 4.5 m e un diametro indicativamente pari a 4"1/8.

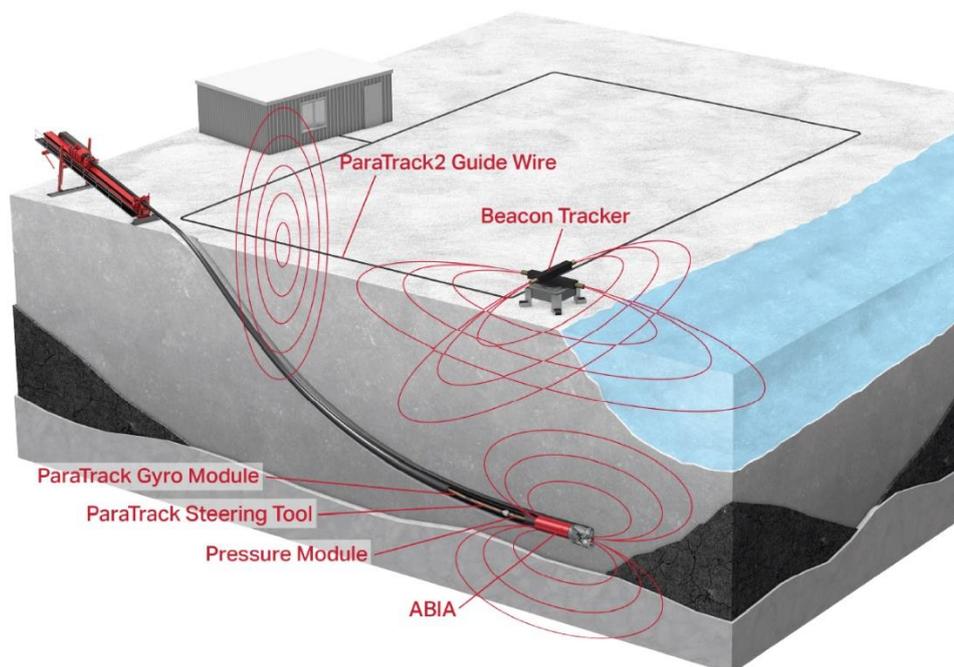


Figura 3.14 – Schema di funzionamento della "filoguida" basata sull'emissione di un campo elettro-magnetico generato in superficie che permette di controllare precisamente la direzione di avanzamento del sondaggio.

L'utensile di perforazione che verrà utilizzato per l'esecuzione del foro pilota sarà di tipo speciale (non standard) e sarà applicato alla sonda e alla batteria di perforazione, tramite mandrino anch'esso "non-standard". Il cavo di trasmissione dati viene alloggiato all'interno degli utensili e all'interno delle aste. La

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE001 001A	X	43/59

trasmissione dati al computer permetterà di esercitare in tempo reale un controllo sul posizionamento piano/alteometrico dell'utensile e di conseguenza di guidare la punta sino alla profondità e al punto prefissati.

Con l'avanzamento del foro pilota, si procederà contiguamente con l'alesaggio del foro, operazione effettuata tramite un alesatore del tipo mostrato in figura 3.15. Questa operazione ha il duplice scopo di consentire sia l'estrazione senza incastrarsi della batteria di perforazione, sia di posizionare una colonna di rivestimento al cui interno, una volta raggiunta la posizione di partenza per il tratto da eseguire a carotaggio, possa essere calato un carotiere per il prelievo delle carote lungo il tratto in orizzontale previsto da progetto.

Per l'attività specifica, qualora sia sufficiente utilizzare un solo diametro di rivestimento, si può ipotizzare che venga utilizzato un rivestimento con diametro esterno paria a 127 mm, che è stato valutato essere flessibile da poter ampiamente garantire l'esecuzione di sondaggi con raggi di curvatura di 320 m, come ipotizzato nel presente piano di indagini.

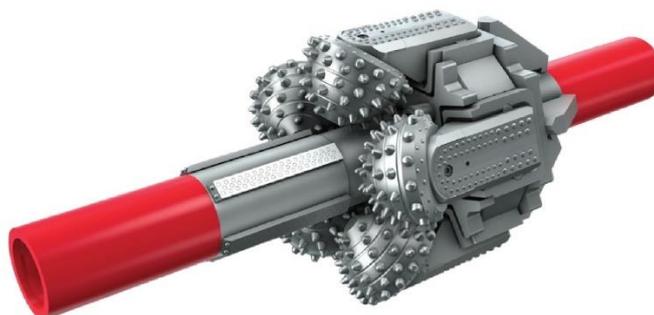


Figura 3.15 – Immagine del segmento di un alesatore utilizzato per l'allargamento del diametro del foro e il posizionamento della colonna di rivestimento.

Caratteristiche realizzative della perforazione con tecnica di carotaggio wire-line. Con questa tecnica verrà realizzato il secondo tratto di sondaggio, cioè la parte suborizzontale mostrata con la linea arancione continua in figura 3.11 e figura 3.13, tramite carotaggio continuo (schema di esempio di figura 3.16). Questo sistema consentirà di impiegare un doppio carotiere con il tubo interno che verrà reso solidale alla colonna di rivestimento (che, in questo caso, sostituisce le aste di perforazione) tramite sistema di aggancio; spinta e rotazione vengono quindi impresse contemporaneamente dallo stesso rivestimento. Nel caso specifico, dovendo effettuare una perforazione essenzialmente sub-orizzontale, la spinta per l'aggancio del carotiere interno avverrà tramite pompaggio di fluido di perforazione attraverso le aste. Il moto idraulico del fluido associato insieme a particolari guarnizioni, da installare sulla testa del carotiere, farà sì che lo stesso avanzerà all'interno delle aste anche in fori orizzontali.

La batteria di aste del rivestimento verrà recuperata solo nel caso di usura della corona o problematiche connesse alle lavorazioni che necessitino di interventi localizzati per permettere la successiva ripresa del carotaggio. Il recupero del carotiere avviene attraverso un pescante a punta conica, calato dall'alto tramite un cavo d'acciaio collegato ad un argano (solitamente idraulico), che si aggancia in profondità

alla testa del carotiere vero e proprio. Il vantaggio di questo metodo è quindi la velocità, e la parziale stabilizzazione del foro tramite le aste stesse.

In seguito ad un'attenta analisi delle caratteristiche meccaniche delle attrezzature in commercio e delle geometrie dei sondaggi, è stato ipotizzato l'utilizzo di una batteria di aste e di utensili di diametro HQ (esempio di figura 3.16), che prevede le seguenti caratteristiche dimensionali: diametro esterno delle aste di 88.9 mm, diametro interno delle aste di 77.8 mm, diametro del foro di 96 mm e **diametro della carota di 63.5 mm**. Un diametro di questo tipo è particolarmente utile in quanto oltre a permettere di ridurre il disturbo del campione, in corrispondenza delle zone fratturate o delle litologie più tenere, consente anche l'esecuzione delle prove geotecniche di laboratorio.



Figura 3.16 – Schema di carotaggio in orizzontale partendo dal foro deviato realizzato tramite HDD (immagine di sinistra), esempio di carote di sondaggio prelevate con wire-line di diametro HQ.

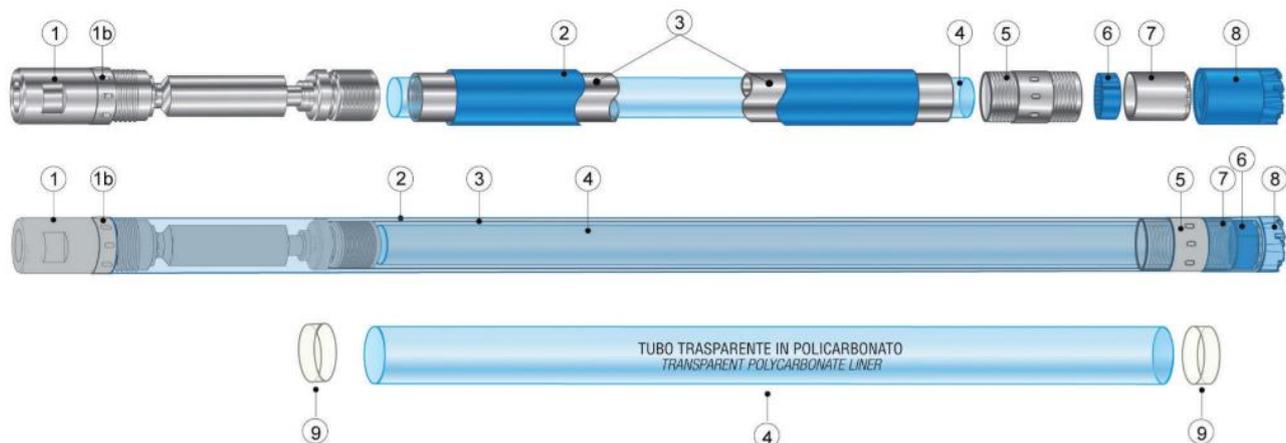
Si sottolinea nuovamente **l'assoluta innovatività di questa tipologia di perforazione che per l'appunto è stata progettata in esclusiva per l'esecuzione della campagna di indagini integrative**. Si rimarca che tale metodologia, frutto della combinazione di due tecniche utilizzate separatamente, è stata progettata assumendo margini di cautela per quanto attiene, ad esempio, i raggi di curvatura in relazione alla flessibilità della colonna di aste e rivestimenti da utilizzare e considerando i parametri derivanti dal contesto geologico di riferimento.

3.4.2 Sondaggi verticali a carotaggio continuo

È prevista la realizzazione di **6 sondaggi verticali** (S3V, S4V, S5V, S6V, S7V e S8V), la cui ubicazione è mostrata in figura 3.10. I sondaggi verticali avranno ciascuno una lunghezza di 100 m e saranno realizzati con carotaggio continuo wireline. Le lunghezze previste consentiranno di indagare profondità di oltre tre volte il diametro della galleria ferroviaria al di sotto della galleria stessa.

Viste le caratteristiche geotecniche dei materiali che verranno attraversati, il carotaggio sarà realizzato utilizzando dei **carotieri tripli** di tipo T6T o equivalenti. I carotieri T6T **sono particolarmente adatti per il carotaggio in formazioni sedimentarie, alluvionali ed alterate**, ove è necessario garantire un ottimo recupero del campione. Il tubo interno preserva il campione dagli sforzi torsionali trasmessi dalle aste di manovra e impedisce il disturbo da parte del fluido di perforazione che circola tra il tubo interno e quello esterno.

Il diametro previsto dei fori è di 101 mm, mentre il diametro delle carote è di 76 mm.



ARTICOLO Item	DESCRIZIONE DESCRIPTION
1	Raccordo asta-carotiere / Rod connection
1b	Anello alesatore / Reamer ring
2	Tubo esterno / Outer tube
3	Tubo interno / Inner tube
4	Liner in policarbonato / Polycarbonate liner
5	Niplo alesatore / Reamer nipple
6	Estrattore a molla / Core lifter
7	Porta estrattore / Core lifter case
8	Corona / Bit
9	Tappo / Cap

Figura 3.17 – Caratteristiche tecniche di un carotiere triplo di tipo T6T.

3.5 INDAGINI INDIRECTE

3.5.1 Indagini in foro

In **4 sondaggi verticali** realizzati a carotaggio verranno realizzati dei **log acoustic televiewer (ATV)**. Tali log rientrano nella categoria delle diagrafie soniche, utilizzate per fornire informazioni ad alta risoluzione sulla localizzazione e sui caratteri strutturali della fratturazione presente. La metodologia di acquisizione è basata su una registrazione continua della riflettività acustica delle pareti del perforo. Tale tecnica di acquisizione consente di ricostruire le peculiarità spaziali dei piani di frattura e di strato, ovvero le loro immersioni ed inclinazioni.

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	46/59

Il log ATV si serve di un trasduttore rotante ad alta frequenza, il quale funziona sia da trasmettitore che da ricevitore (figura 3.18). Il trasduttore piezoelettrico viene fatto girare a una velocità di due o tre rotazioni per secondo e contemporaneamente viene fatto pulsare ad un ritmo di 1200 pulsazioni al secondo. L'energia acustica ad alta frequenza viene riflessa dalle pareti del perforo, senza penetrarvi. Un impulso d'innescò è inviato alla strumentazione in superficie, tramite un flussometro elettronico, che fornisce un segnale elettrico proporzionale all'intensità del campo magnetico esterno, ogni volta che il trasduttore passa davanti al nord magnetico. Quest'impulso mette in moto un oscilloscopio, grazie al quale si ottiene uno scanning a 360° delle pareti del pozzo. La luminosità della traccia dell'oscilloscopio è proporzionale all'ampiezza del segnale acustico riflesso. L'apparecchiatura va centrata perfettamente rispetto all'asse del foro, e ciò si ottiene calandola in esso tramite delle balestre, che consentono di registrare un segnale che ha seguito un percorso della medesima lunghezza in tutte le direzioni.

Lo scopo dell'applicazione di questa tecnica è quello di acquisire delle informazioni sull'orientamento delle zone di faglia e dei sistemi di frattura che vengono intercettati dai sondaggi. Nel caso in esame, le stratigrafie di sondaggio che verranno reperite saranno utilizzate come supporto decisionale per la scelta dei tratti verticali su cui effettuare le acquisizioni ATV a foro scoperto, prima di procedere con la discesa del rivestimento provvisorio. Verranno selezionati quei tratti lungo i quali le stratigrafie offrono delle evidenze che si possa pervenire ad una ricostruzione spaziale delle superfici qualitativamente ottimale.



Figura 3.18 – Immagine di un sensore da foro di acquisizione acustica ATV.

L'acquisizione delle immagini acustiche (figura 3.19) consentirà di:

- localizzare e caratterizzare lungo la verticale le zone di faglia e di frattura;
- ricostruire l'immersione e l'inclinazione delle faglie e delle fratture;
- fornire dati accessori utili nella ricostruzione dell'orientazione del campo di sforzo.

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
 INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	47/59

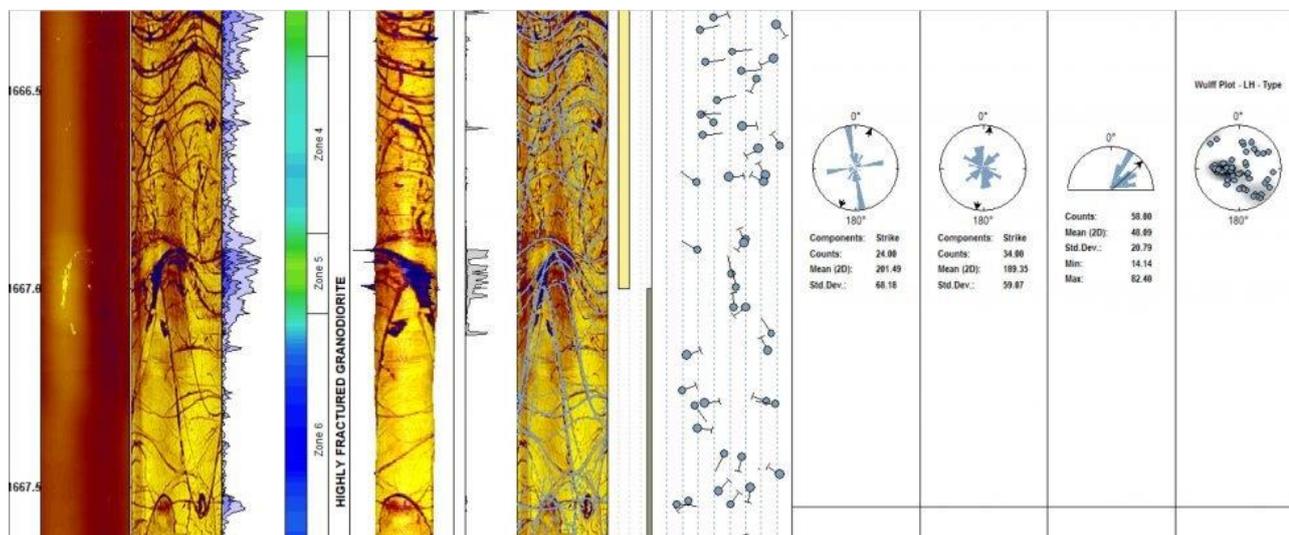


Figura 3.19 – Acquisizione di dati con la metodologia acoustic televiwer (ATV) e ricostruzione delle superfici orientate spazialmente, con statistica di riferimento.

3.5.2 Indagini sismiche

Le complessità geologico-geotecniche (zone di faglia, ammasso scadente, etc.) e logistiche (spazi ristretti, morfologia acclive con cambi di pendenza repentini) della zona in esame necessitano di una progettazione di indagini geofisiche ad-hoc sia dal punto di vista metodologico che dal punto di vista geometrico.

Pertanto, è stato predisposto un piano di indagine articolato che prevede l'impiego di fori di sondaggio opportunamente attrezzati ed un utilizzo del piano campagna che sia poco invasivo. Da un lato, infatti, la necessità di indagare strutture complesse a profondità notevoli e dall'altro la poca disponibilità di spazi in superficie.

Il processo di acquisizione di dati indiretti è basato sulle due seguenti tecniche:

- dati geofisici da sondaggi con caratterizzazione dei materiali: **indagini cross-hole**, utilizzando una configurazione di risalita su terna di fori;
- dati geofisici su modelli tridimensionali: **indagini VSP** (*Vertical Seismic Profiling*), configurazione allineamento in superficie - foro

Le informazioni ottenute attraverso queste due tecniche saranno rappresentate dalle velocità delle onde P e onde S, dai moduli dinamici, dall'analisi della discontinuità presenti e dai gradienti di transizione. Nella tabella seguente sono meglio dettagliate le tipologie di informazione derivanti dai metodi geofisici impiegati.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 48/59

METODOLOGIA	PARAMETRI	ESTENSIONE SPAZIALE DELL'INFORMAZIONE
CROSS-HOLE Vp/Vs	Vp, Vs, Poisson, moduli dinamici E, G	Porzione tra le coppie o triplette di fori (diagrafia su posizione fori)
VERTICAL SEISMIC PROFILING (VSP)	Vp, identificazione eventuali riflettori e/ o zone di transizione (gradiente)	Modello continuo del parametro Vp (tomografia) sulla sezione compresa tra foro e allineamento superficie Modello discontinuo per lineamenti di discontinuità/riflessioni-rifrazioni

Tabella 3.5 – tipologie di informazione derivanti dai metodi geofisici impiegati

Il piano di indagine mira quindi ad integrare le classiche prospezioni in foro (cross-hole) con indagini foro-superficie (VSP) su più fori e più allineamenti al fine di integrare tutte le informazioni desumibili in un modello geofisico-geologico integrato tridimensionale.

La disposizione dei fori che verranno utilizzati per le cross-hole e la traccia degli stendimenti che verranno utilizzati per la sismica VSP è riportata in **Figura 3.10**.

Indagini cross-hole Vp-Vs

Il rilievo cross-hole verrà eseguito su due terne di fori (CH1a-CH1b- CH1c e CH2a-CH2b- CH2c) su fori di 100 m di profondità (**Figura 3.10**). Tale indagine permette la determinazione dei tempi di arrivo dell'impulso delle onde compressionali P e delle onde di taglio S. Dalla misura dei tempi di arrivo viene calcolata, nota la distanza in superficie dei fori e lo scostamento rilevato dal rilievo inclinometrici, la velocità dell'impulso P e S per ogni intervallo di profondità (figura 3.20). Successivamente dai parametri Vp e Vs nota la densità del mezzo attraversato (ρ) è possibile definire i seguenti parametri: i) coefficiente di Poisson (ν), il modulo di deformazione a taglio (G) e il modulo di Young (E).

CODICE	PROFONDITA' (m)	DIREZIONE INDICATIVA DELLA TERNA
CH1a	100	N327°E
CH1b		
CH1c		
CH2a	100	N300°E
CH2b		
CH2c		

Tabella 3.6 – Geometria delle terne di perforazioni per esecuzione di prove Cross-Hole.

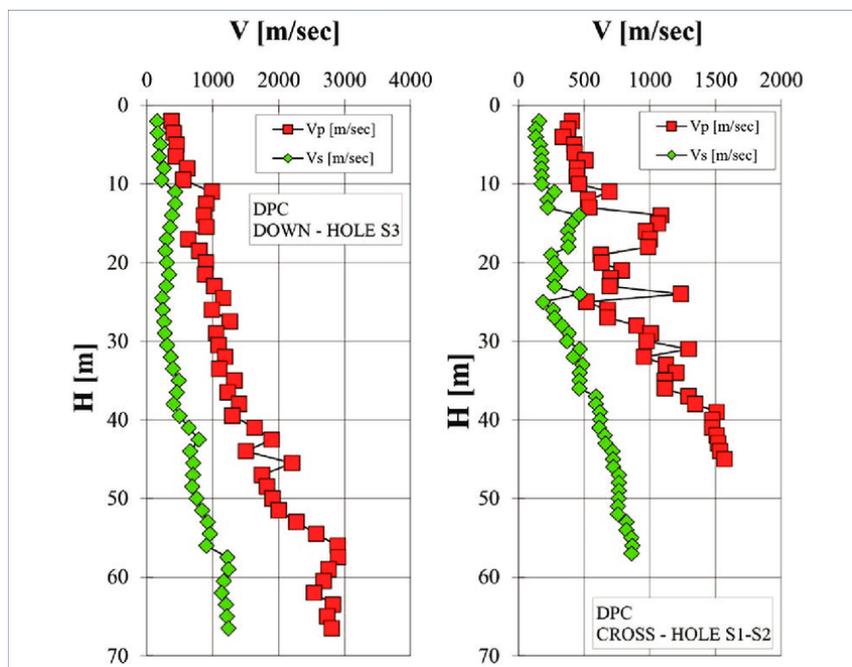


Figura 3.20 – Esempio di variazioni dei valori V_p e V_s con la profondità in differenti fori utilizzati per le cross-hole.

Dalle ricostruzioni tomografiche delle V_p e V_s delle cross-hole sarà possibile ricostruire le anomalie verticali riconducibili alla presenza di limiti geologici o di strutture tettoniche, come nell'esempio rappresentato in figura 3.21.

Le prove cross-hole saranno realizzate entro fori con diametro utile di 76mm, sia nel caso del foro in cui verrà posizionato il geofono triassiale da pozzo con sistema di ancoraggio meccanico, sia nel caso del foro entro il quale verrà inserito il sistema di energizzazione. I fori verranno opportunamente cementati. Il rilievo verrà eseguito su tutta la lunghezza dei fori.

Le modalità di esecuzione della prova saranno le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio di sorgente (in un foro) e ricevitore (nell'altro foro) in corrispondenza della prima coppia di posizioni coniugate, in accordo con il progetto delle indagini; sorgente e ricevitore dovranno essere posizionati alla medesima profondità, in modo da realizzare un percorso delle onde orizzontale;
- generazione dell'impulso (è ammessa anche la somma di più impulsi) e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni per ciascuna coppia di punti coniugati lungo le due verticali d'indagine.

Le misure avranno frequenza pari a 1 misura ogni metro.

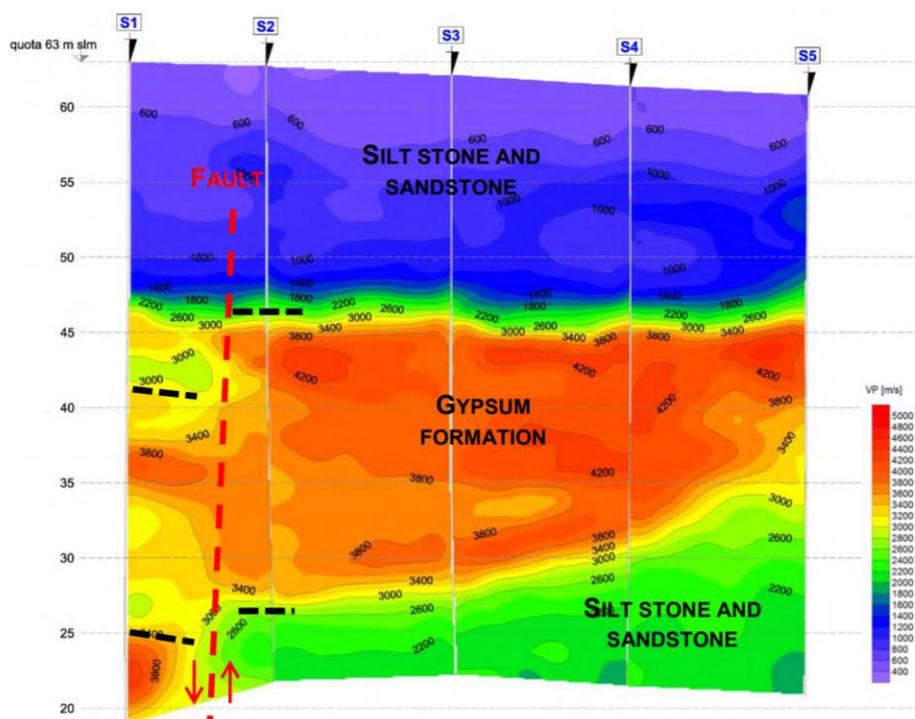


Figura 3.21 – Tomografia sismica di onde Vp ottenuta da indagini cross-hole combinate, con interpretazione geologico-strutturale sovrapposta.

Per le indagini in foro di tipo cross-hole verrà impiegata una sorgente elettrodinamica (sparker) con unità di controllo (IPG1005) e sonde sorgente SBS-42 (solo onde P) e SH (onde P e onde S). Il sistema di trigger è garantito dal sistema elettrico di controllo dello sparker. Per l'acquisizione dei dati verrà utilizzato un doppio geofono triassiale (modello DDS della Geotomographie) con frequenza pari a 10 Hz dotato di unità di controllo e sistema di ancoraggio pneumatico alle pareti del foro. Il sistema è costituito da 2 geofoni triassiali (assi x-y-z) con interdistanza pari a 2m.

Vertical Seismic Profiling – VSP

Le indagini VSP verranno eseguite utilizzando 5 linee sismiche (LS-VSP1, LS-VSP2, LS-VSP3, LS-VSP4 e LS-VSP5) utilizzando di volta in volta diversi fori che verranno strumentati per l'acquisizione dei dati sismici (figura 3.10). Lo schema indicativo di realizzazione dell'indagine, con le linee sismiche di energizzazione e i fori di acquisizione è riportato in tabella 3.7.

CODICE	POSIZIONE RISPETTO AD ASSE OPERA	LUNGHEZZA (m)	SONDAGGI DI ACQUISIZIONE/PROFONDITA'
LS-VSP1	Longitudinale BD	265	S4V/100, CH1/100
LS-VSP2	Trasversale	235	S8V/100, CH1/100
LS-VSP3	Trasversale	275	S4V/100, S5V/100
LS-VSP4	Trasversale	195	S7V/100, CH2/100
LS-VSP5	Longitudinale BP	280	S5V/100, CH2/100

Tabella 3.7 – Schema indicativo di realizzazione dell'indagine sismica VSP.

La metodologia VSP rappresenta una soluzione intermedia tra la tomografia cross-hole e la tomografia sismica a rifrazione. Questo metodo prevede l'utilizzo di un solo foro per l'alloggiamento dei ricevitori mentre i punti sorgente sono disposti attorno al foro o ai fori ricevitore in base ad un allineamento o ad un grid. Lo schema esemplificativo della geometria di acquisizione è illustrato in figura 3.22. I fori vengono attrezzati con inserimento di catene di sensori velocimetrici (idrofoli – il foro deve essere pieno d'acqua per garantire la ricezione di onde sismiche) e l'esecuzione di energizzazioni da superficie lungo allineamenti predefiniti.

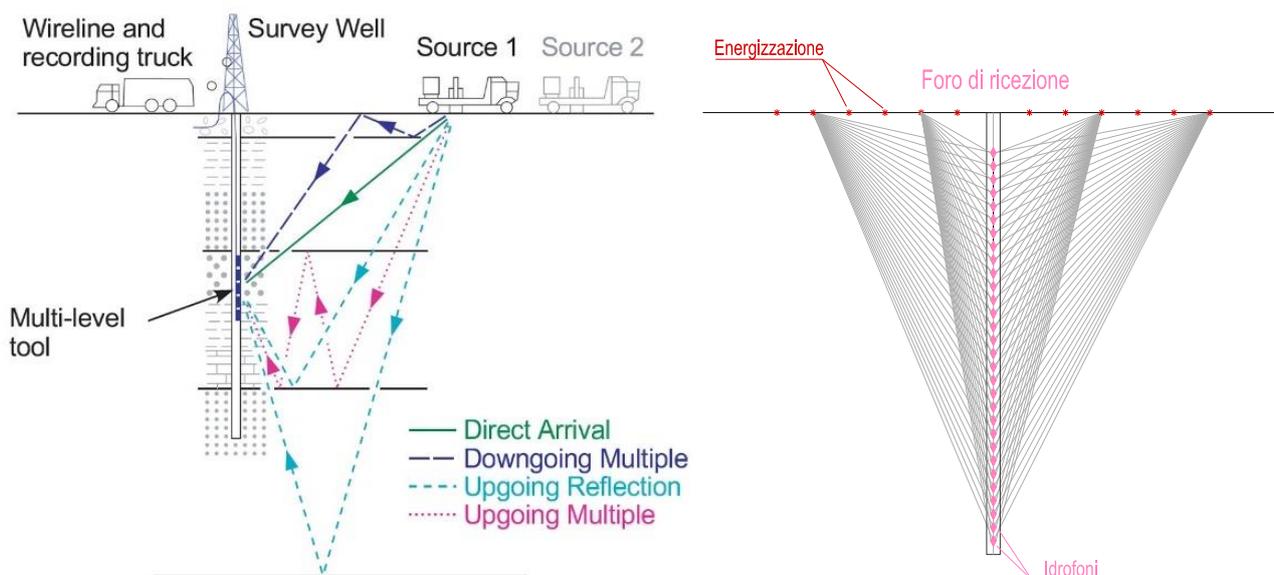


Figura 3.22 – Schema di realizzazione delle indagini VSP (immagine a sinistra) e schema della geometria dei punti di energizzazione e degli idrofoli di acquisizione (immagine a destra).

PROGETTO ESECUTIVO

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE001 001A	X	52/59

I dati verranno acquisiti con moduli GEODE della Geometrics a 24 bit dotati di 24 canali ciascuno con possibilità di stacking, filtri analogici e digitali (figura 3.23), mentre la sorgente di energia è costituita da una massa battente. In funzione delle posizioni di tiro potrà essere impiegato sistema di accelerazione della massa battente. L'istante di trigger è fornito da un geofono posizionato in prossimità del punto di battuta collegato mediante cavo di segnale al modulo Geode. I ricevitori sono costituiti da catene da 24 idrofoni con interdistanza pari a 2m. Gli idrofoni hanno frequenza propria pari a 10Hz e necessitano di acqua in foro (tubo cieco).



Figura 3.23 – Sismografo GEODE della Geometrics a 24 bit.

La peculiarità di questa modalità di indagine è infatti la possibilità sia di realizzare un modello tomografico del volume di ammasso compreso tra foro e allineamento in superficie e sia quello di individuare gli elementi riflettenti compresi in tale volume con le tecniche della sismica a riflessione.

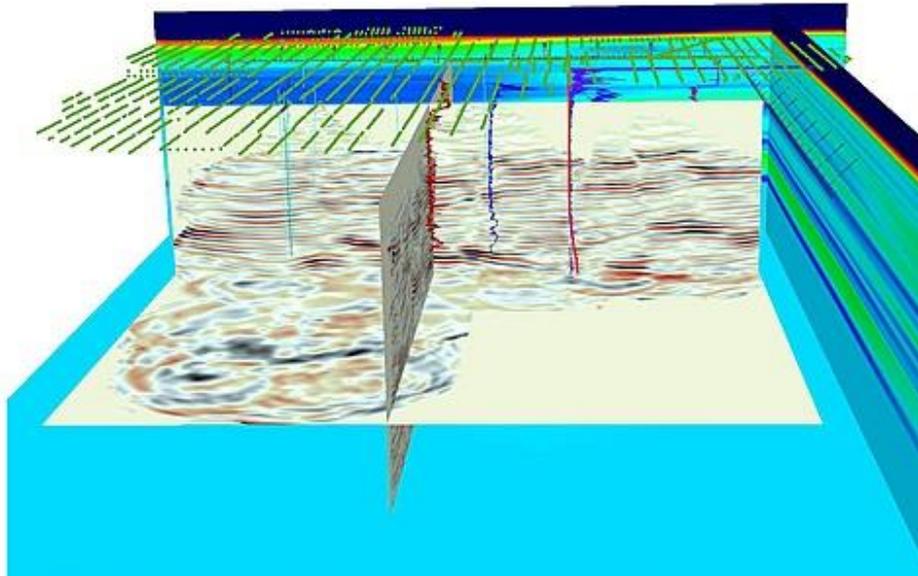


Figura 3.24 – Immagine 3D derivata da acquisizione multi-well con modello di velocità, traiettorie dei sondaggi, e punti di energizzazione.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 53/59

Rispetto alle classiche tecniche di sismica a rifrazione, **i test VSP forniscono una migliore risoluzione spaziale e temporale dei dati di prova**, grazie al fatto che i raggi sismici compiono dei percorsi più corti rispetto a quanto accade con le prospezioni sismiche di superficie, e questo può consentire **l'elaborazione di mappe ad alta risoluzione** (esempio in *Figura*), individuando sia un modello continuo delle velocità sismiche e sia la potenziale presenza di zone di discontinuità (riflettori), come ad esempio quelle determinate dalla presenza di faglie.

Va sottolineato che questa **tipologia di indagine è tipicamente utilizzata nel settore oil & gas per la definizione di modelli stratigrafici in situazioni complesse** mediante un solo foro di prospezione diretta.

3.6 PROVE IDRAULICHE

Un aspetto noto nella letteratura scientifica dedicata alle prove idrauliche in sottterraneo è che l'affidabilità nella stima dei parametri idraulici aumenta quando si applicano in sequenza diverse metodologie di indagine (Adams and Wyss, 1994; Bühler and Thut, 1999; Quinn, et al., 2012). Dato l'elevato stato di fratturazione della zona analizzata e le criticità a livello idrogeologico precedentemente evidenziate, si propone un piano di indagine che contempla la realizzazione di una **combinazione di diverse prove idrauliche sullo stesso foro**. Questo approccio consentirà di ricostruire l'assetto idraulico dell'ammasso con elevata precisione.

Le prove idrauliche verranno realizzate al completamento della perforazione utilizzando un doppio otturatore in foro. In funzione della stratigrafia reperita attraverso i sondaggi a carotaggio, verranno progettate in situ le ampiezze degli intervalli da testare, in modo da assicurarsi che gli intervalli più permeabili siano indagati dalle prove.

Nell'ambito delle prove idrauliche combinate verrà applicata la cosiddetta tecnica DST (*Drill Stem Test*). Questa tecnica, che è di derivazione petrolifera, è basata sull'applicazione di una successione di cicli di pompaggio nella quale si susseguono immissioni e scarichi con crescita controllata della pressione idraulica. Le diverse fasi sono controllate in real-time e i parametri di controllo possono essere regolati direttamente dalla superficie in modo da adattare la prova alla tipologia di risposta idraulica del pozzo.

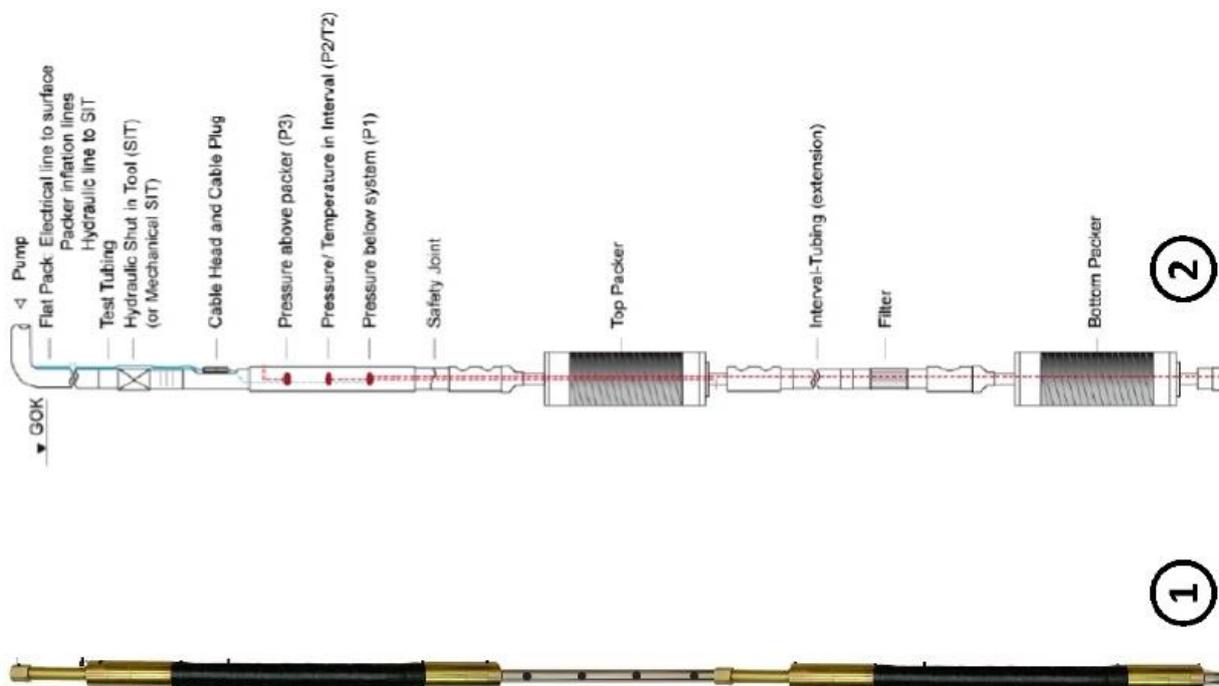


Figura 3.25 – Immagine di un dispositivo a doppio otturatore (1), sensori applicati a un dispositivo a doppio otturatore per la lettura dei parametri di pressione (2).

La sequenza di fasi che si susseguiranno nell'ambito dei test idraulici che verranno realizzati è schematizzata in 3.26. Tale sequenza, che può essere modulata in funzione delle caratteristiche idrauliche peculiari del foro testato, può essere così descritta: i) Gonfiaggio dell'otturatore (INF); chiusura della valvola (SIT), fase di recupero (PSR), la quale permette di ristabilire nella camera tra otturatore le pressioni idrauliche iniziali della formazione; iii) Fase di test di pompaggio/iniezione ad impulso (PW/PI), la quale permette una prima valutazione approssimativa della trasmissività; iv) Prova DST (*Drill Stem Test*), che consiste in una successione di fasi di slug test (SW, SI) susseguite da interruzioni e recupero delle pressioni (SWS, SIS); v) Test di pompaggio a carico costante o a portata costante (HI, RI) seguite da fasi di recupero (HIS, RIS); vi) Sgonfiaggio dell'otturatore (DEF).

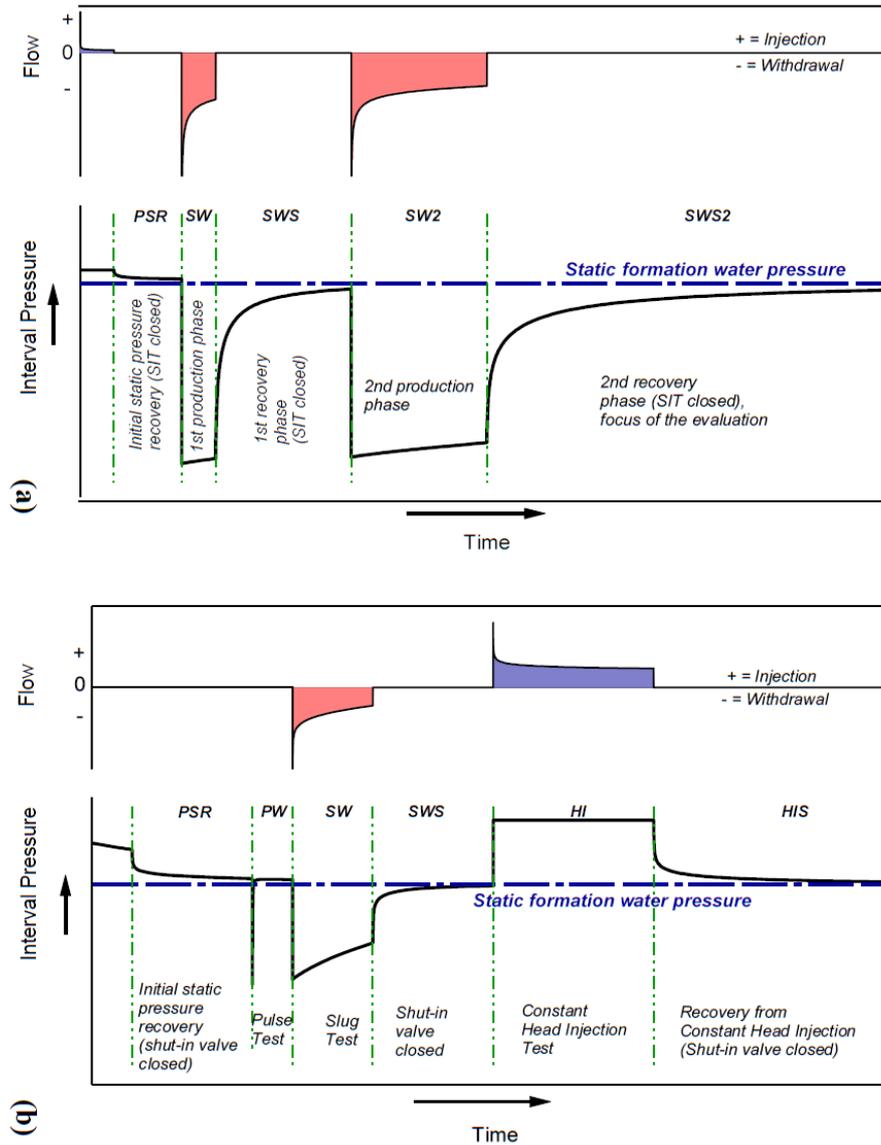


Figura 3.26 – Curve di pressione e di flusso relative ad un test DST (a), e una tipica sequenza di test idraulici realizzati in un mezzo di bassa-media permeabilità.

L'approccio utilizzato, con la sequenza specifica di prove da eseguire, consente di sfruttare delle peculiarità di ciascuna prova che, combinate insieme, consentono di ricostruire con elevata accuratezza le proprietà idrauliche dell'ammasso, specialmente in contesti complessi quali ammassi rocciosi fratturati. In particolare, **rispetto a prove convenzionalmente utilizzate quali le Lugeon e le Lefranc, questa metodologia ha i seguenti vantaggi:** i) la selezione dell'ampiezza più idonea dell'intervallo da indagare, ii) il controllo della qualità dell'esecuzione della prova e la possibilità di apportare delle modifiche nel caso di condizioni scadenti (es. cortocircuitazioni) (ii) la misura delle pressioni idrauliche iniziali del sistema, iii) lo sviluppo del foro che garantisce che le fratture siano in condizioni di pulizia, iv) la possibilità di ricostruire e distinguere i valori di permeabilità delle fratture principali dalla fratturazione

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 56/59

secondaria, v) la verifica delle condizioni di alimentazione dell'ammasso (es. limiti di ricarica, limiti impermeabili). In conclusione, le prove combinate con DST hanno una durata più lunga delle Lugeon e Lefranc, consentendo di ottenere un quadro della permeabilità su un contesto più ampio intorno al foro e quindi più vicino alla permeabilità su scala decametrica.

Le **prove idrauliche sopra descritte verranno realizzate sui 6 fori verticali** (S3V, S4V, S5V, S6V, S7V e S8V). Al termine delle prove idrauliche, i fori verranno attrezzati con tubi piezometrici per il monitoraggio dei livelli d'acqua. I fori che verranno utilizzati per i rilievi geofisici con tecnica VSP (S4V, S5V, S7V e S8V) non potranno essere utilizzati per essere attrezzati con piezometro in quanto l'intercapedine tra rivestimento e perforo verrà cementata per rendere possibile l'esecuzione delle prove sismiche. In questi casi a fianco di tali fori verranno realizzati ulteriori fori a distruzione che verranno utilizzati specificamente per l'attrezzamento di piezometri.

3.7 PROVE IN SITU E IN LABORATORIO

3.7.1 Prove geotecniche in situ

Durante l'esecuzione dei sondaggi verticali saranno realizzate delle prove geotecniche volte all'acquisizione delle caratteristiche meccaniche del deposito in termini di deformabilità. Data l'incertezza sullo stato di fratturazione alle varie profondità, viene lasciata la doppia possibilità di eseguire, in prossimità delle quote di scavo della galleria di progetto:

- Prove pressiometriche MPM per i tratti in roccia tenera;
- Prove dilatometriche in roccia DRT per i tratti in roccia dura.

Occorre eseguire, se possibile, a seconda dello stato del materiale, più cicli di carico-scarico per la determinazione diretta delle caratteristiche di deformabilità, inoltre, le prove dovranno spingersi a pressioni tali da raggiungere la pressione limite del materiale indagato.

caratteristiche delle prove geotecniche in situ previste in foro sono le seguenti:

- Prove pressiometriche MPM (roccia tenera). La prova con pressiometro tipo Menard si esegue misurando in un foro di sondaggio la deformazione del terreno quando questi viene sollecitato mediante l'espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso. Perché i risultati della prova siano attendibili, è indispensabile, in particolare, che il disturbo del terreno circostante il foro di sondaggio sia ridotto al minimo e sia comunque trascurabile.
- Prove dilatometriche in roccia DRT (roccia dura). Per l'esecuzione della prova si richiede la disponibilità di una sonda dilatometrica da roccia, inseribile in un foro di sondaggio adeguatamente perforato del diametro di circa 100 mm, dotata di almeno 3 trasduttori elettrici per la misura degli spostamenti indotti dalla pressurizzazione radiale di circa 1 mm di diametro di foro. La sonda sarà connessa in superficie ad una unità di misurazione, registrazione ed elaborazione dati.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	COMMESSA RS50	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RG GE0001 001A	REV. X	PAG. 57/59

3.7.2 Prove geotecniche di laboratorio

In *Tabella* si riporta l'elenco della tipologia e numero di prove di laboratorio previste.

CODICE SONDAGGIO	Campioni indisturbati (roccia / suoli coesivi) con carotiere Triplo	Campioni disturbati (suoli incoerenti)	profondità	Apertura e identificazione (suoli e rocce) / Opening and identification (soil and rock)	Peso di volume naturale (suoli e rocce) / Natural Density (soil and rock)	Compressione monoassiale (rocce) / UCS test (rock)	Compressione triassiale (rocce) / Triaxial test (rock)	Point load test - rock	Contenuto di umidità (suoli) / moisture content (soil)	Granulometria integrale (suoli) / Total grain size (soil)	Limiti di atterberg (suoli) / Atterberg limits (soil)	Prova di taglio triassiale (suoli) / Triaxial shear test (soil)	Prova di taglio diretta (suoli) / Direct shear test (soil)	
S1D	10	5	Asse galleria	15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S2D	12	8	Asse galleria	20	20	6	6	12	8	8	8	3	4	
S3V	10	5	distribuiti tra Q 50 e quota 10 m s.l.m.	15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S4V	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S5V	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S6I	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S7V	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
S8V	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3	
tot	82	43			125	125	41	41	82	43	43	43	17	25

Tabella 3.8 – Dettaglio del campionamento e delle prove geotecniche di laboratorio da realizzare

3.8 COMPLETEZZA ED INNOVATIVITÀ DELLE INDAGINI PROPOSTE

Il quantitativo e la tipologia di indagini da realizzare e discusse nei precedenti paragrafi permettono di acquisire tutti i dati utili per poter effettuare la ricostruzione di un modello geologico-idrogeologico-geotecnico accurato ed affidabile del settore indagato. I dati derivanti dalle diverse indagini geognostiche

verranno utilizzati per l'implementazione di un modello geologico tridimensionale. I principali elementi tecnici legati alle singole indagini da realizzare che concorrono all'acquisizione di una completezza conoscitiva e all'introduzione di caratteri di innovatività sono riportati in tabella 8.

TIPOLOGIA DI INDAGINE	ELEMENTI DI ACQUISIZIONE	INNOVATIVITA'	PUNTI DI FORZA
Sondaggi direzionati (HDD tratto direzionato + carotaggio wire-line)	Carotaggio continuo in asse alle due gallerie per una lunghezza pari a 120 m e 85 m	✓ ✓ ✓	- Continuità di acquisizione di informazioni geologiche lungo l'asse delle gallerie - Recupero di campioni con diametri (HQ) utili per prove geotecniche di laboratorio
Sondaggi verticali	Carotaggio continuo lungo le verticali di perforazione	✓	- Carotaggio con carotiere triplo idoneo ad un recupero ottimale in materiali scadenti
Indagini indirette in foro Log ATV	Immagini acustiche di faglie/fratture	✓ ✓	- Ricostruzione spazialmente orientata di piani di faglia e frattura - Ricostruzione del campo di stress
Indagini sismiche VSP	Acquisizione delle Vp, identificazione di eventuali riflettori e/ o zone di transizione (gradiente)	✓ ✓	- Ottima risoluzione spaziale e temporale dei dati sismici grazie ai sensori ubicati nei sondaggi - La configurazione con linee sismiche longitudinali e trasversali alla galleria permette la ricostruzione di immagini sismiche 3D
Indagini sismiche cross-hole	Registrazione di Vp e Vs su intervalli di profondità selezionati, derivazione del coefficiente di Poisson, del modulo di taglio e del modulo di Young	✓	- Elevata risoluzione in corrispondenza degli intervalli verticali selezionati
Prove idrauliche combinate con DST	Acquisizione delle pressioni idrauliche naturali, calcolo della conducibilità idraulica, stima della permeabilità primaria/secondaria,	✓ ✓	- Determinazione più affidabile dei parametri idraulici rispetto alle prove Lefranc e Lugeon - Analisi dell'alimentazione idraulica (ricarica, limiti impermeabili)
Indagini geotecniche in foro	Studio del comportamento tenso-deformativo dell'ammasso, valutazione diretta dei parametri di deformabilità dei materiali	✓	- Approfondimento del modello geotecnico nelle zone di interferenza, necessario ad analisi di dettaglio
Prove geotecniche di laboratorio	Parametri fisici e meccanici, caratteristiche di resistenza e deformabilità	✓	- Approfondimento del modello geotecnico - Analisi della fresabilità per valutazione caratteristiche TBM

Tabella 3.9 - Quadro di sintesi delle indagini da realizzare in relazione alla tipologia di informazioni acquisite e alla loro innovatività.

Si sottolinea in particolare che, sotto il profilo dell'innovatività, **la proposta di sondaggi con il primo tratto eseguito con metodologia di perforazione HDD combinata ad un secondo tratto a carotaggio wire-line, rappresenta una proposta tecnica del tutto inedita in ambito di**



LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

**PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
INTEGRATIVE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS50	02	E ZZ	RG GE0001 001A	X	59/59

progettazione di opere civili. In particolare, la possibilità di ottenere informazioni geologiche continue lungo l'asse delle due canne delle gallerie costituisce un vantaggio strategico in termini di riduzione dei rischi progettuali e costruttivi dovuti alle incertezze geologiche.

Per gli altri punti, nella valutazione sull'innovatività si è considerato anche se le metodologie di indagine da realizzare vengono comunemente applicate nell'ambito dell'ingegneria civile oppure se queste derivano da altri contesti settoriali. Ad esempio, la metodologia di **test idraulici combinati con tecnica DST**, oppure **le indagini sismiche VSP**, sono metodologie di derivazione oil & gas, da cui deriva che **la loro applicazione nell'ambito della progettazione e scavo di gallerie risulta essere innovativa.**

In conclusione, tenuto conto delle attuali incertezze conoscitive gravanti sulla zona di interferenza tra la Galleria Scaletta e le gallerie dell'A18 tra il km 41+400e 41+800, il programma di indagini predisposto consente di chiarire quelli che attualmente sembrano essere i principali aspetti controversi, quali:

- la ricostruzione della geometria, dell'estensione e dello spessore delle zone di faglia/frattura, e la delimitazione dei tratti di galleria interessati dall'intersezione dei principali sistemi di faglia/frattura;
- la caratterizzazione e parametrizzazione idrogeologica dell'ammasso, con zonazione del campo di permeabilità, definizione del comportamento idraulico delle faglie/fratture (condotti permeabili vs. orizzonti sigillanti) e variazioni idrauliche attese lungo tracciato;
- la parametrizzazione spaziale delle caratteristiche geotecniche dei materiali, in relazione ai due precedenti punti.

I risultati delle indagini, nel loro insieme frutto di una combinazione innovativa tra metodo di perforazione, prove sismiche e prove in foro e laboratorio, permetteranno dunque di sviluppare un modello geologico – idrogeologico e geotecnico tridimensionale, secondo le modalità descritte nel capitolo successivo, per la definizione dei parametri necessari alla stesura del Progetto Esecutivo.