

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO MESSINA CATANIA LOTTO SUD

Mandataria



Mandante



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

PROGETTO ESECUTIVO

LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO Lotto 1: Fiumefreddo (i) - Taormina (i)/Letojanni (e)

PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
LOTTO 1

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS5M	01	E	ZZ	RG	GE0005	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione	Baietto	14/10/2021	Sandrucci	14/10/2021	Listorti	14/10/2021	G. Cassani	14/10/2021

File:	n. Elab.:
-------	-----------

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	2/71

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE IN SOTTERRANEO	4
2.1	UBICAZIONE E DESCRIZIONE DEI SONDAGGI.....	5
2.1.1	Sondaggio S1 – G. Calatabiano (GN01).....	5
2.1.2	Sondaggio S2 – G. Calatabiano (GN01).....	7
2.1.3	Sondaggio S3 – G. Taormina (GN02).....	8
2.1.4	Sondaggio S4 – G. Taormina (GN02).....	9
2.1.5	Sondaggi S5– G. Taormina (GN02).....	11
2.1.6	Sondaggi S7 e S8 – G. Taormina (GN02)	12
2.1.7	Sondaggi S9 – G. Taormina (GN02).....	13
2.1.8	Sondaggio S10 – Interconnessione Letojanni.....	15
2.2	MONITORAGGIO DEI GAS	19
2.3	INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE	19
2.3.1	Indagini di fresabilità.....	21
3	INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE ALL'APERTO.....	23
4	INDAGINI RELATIVE AL SUBCRITERIO TECNICO 2.2.1	30
4.1	CONTESTO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO RICOSTRUITO NEL PROGETTO DI BASE GARA.....	30
4.1.1	Assetto geologico	30
4.1.2	Assetto idrogeologico	38
4.1.3	Assetto geotecnico	40
4.2	INCERTEZZE E CRITICITA'	44
4.2.1	Stato delle conoscenze ed incertezze	44
4.3	CRITICITÀ CONNESSE ALLE INCERTEZZE SUL MODELLO GEOTECNICO	45
4.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	45
4.4.1	Quadro sinottico delle indagini.....	45
4.4.2	Indagini dirette.....	49
4.4.3	Indagini indirette	54
4.4.4	Prove idrauliche.....	62
4.4.5	Prove in situ e in laboratorio	64
5	INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE.....	67

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	3/71

1 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. Il Piano delle Indagini Geognostiche ed Ambientali è suddiviso nelle seguenti tipologie di indagini:

- Indagini relative alle tratte in sotterraneo;
- Indagini relative alle tratte all'aperto;
- Indagini geognostiche relative al subcriterio tecnico 2.2.1 di gara d'appalto, inerenti all'interferenza tra le opere in sotterraneo e l'autostrada A18;
- Indagini di caratterizzazione ambientale.

Le indagini che verranno complessivamente realizzate sono riportate nel quadro sinottico seguente.

Ambito di indagine	Tipologia e quantità
Indagini relative alle tratte in sotterraneo	<ul style="list-style-type: none"> • 9 sondaggi • Indagini in foro e prove di laboratorio • 6 linee di sismica a rifrazione
Indagini relative alle tratte all'aperto	<ul style="list-style-type: none"> • 16 sondaggi + 3 stese sismiche (tomografia in onde P e S): viadotti e opere all'aperto • Indagini in foro e prove di laboratorio • 3 trincee paleosismologiche
Indagini caratterizzazione ambientale	<ul style="list-style-type: none"> • Campionamento in foro all'interno dei sondaggi geognostici • Pozzetti per campionamento superficiale
Indagini per biodegradazione e condizionamento con tensioattivi	<ul style="list-style-type: none"> • Prelievo di materiale da cassette a fine indagine
Indagini di fresabilità	<ul style="list-style-type: none"> • Indagini di laboratorio su materiale da cassette finalizzate a valutare indici di abrasività e scavabilità dei materiali attraversati



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

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	4/71

2 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.

Le indagini sono rappresentate da 9 sondaggi su cui verranno eseguite una serie di prove in foro e il campionamento di rocce per la caratterizzazione geotecnica di laboratorio. Tutti i sondaggi saranno attrezzati a piezometro. Inoltre, saranno realizzate 6 stese sismiche per la ricostruzione delle caratteristiche litotecniche del sottosuolo. Nei paragrafi successivi si fornisce una breve descrizione delle indagini in oggetto. Le caratteristiche dei sondaggi che verranno realizzati sono sintetizzate nella tabella seguente:

Sondaggi integrativi Lotto 1

N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
1	S1	GN01 - Calatabiano	3+375	Sotto alla Fiumara, possibili interferenze tra depositi alluvionali e scavo galleria	30	0	30
2	S2	GN01 - usc Calatabiano FA04	4+695	In questo settore mancano completamente informazioni di profondità	20	0	20
3	S3	GN02 - Galleria Taormina	8+050	Zona in cui mancano totalmente informazioni geologiche-idrogeologiche e geotecniche relative alla formazione CODc (argille limose e argille marnose di consistenza incerta e probabile struttura scagliosa)	50	0	50
4	S4	GN02 - Galleria Taormina	8+450	Approfondimento del contesto geologico-strutturale che al momento non è vincolato da dati di profondità. Rapporti geometrici CODa-CODb-CODc e possibilità di sovrascorrimenti multipli	140	40	100
5	S5	GN02 - Galleria Taormina	8+900	Depositi alluvionali della fiumara in contatto con formazione CODa conglomerati. Le permeabilità sono molto elevate a quota galleria (K=1E-04 m/s) con rischi costruttivi correlati. Necessità di caratterizzare l'assetto idraulico del sottosuolo e le caratteristiche dei materiali per un corretto condizionamento in fase di scavo meccanizzato	50	0	50
6	S7	GN02 - Galleria Taormina	10+900	Contesto molto tettonizzato e non coperto sufficientemente da indagini in profondità. Non vi sono informazioni a quota galleria. Da verificare strutture e caratterizzazione geotecnica dei materiali	170	100	70
7	S8	GN02 - Galleria Taormina	11+160	Contesto molto tettonizzato, la galleria attraversa la Form. della Maiolica (calcarei), rocce potenzialmente solubili e carsificabili, necessità di verificare le proprietà geotecniche/idrauliche. Non vi sono informazioni a quota galleria.	100	0	100
8	S9	GN02 - Galleria Taormina	12+070	Contesto privo di indagini a quota galleria per una lunga tratta. Nel profilo sono ricostruiti calcari marnosi e biocalcareni, non è nota tuttavia la profondità di interfaccia tra le due formazioni, possibili implicazioni di carattere idrogeologico.	170	100	70
9	S10	Interconn. Letojanni	0+700	Zona scarsamente coperta da indagini sotterranee in contesto tettonico molto articolato. Il sondaggio S15D si colloca significativamente fuori asse	100	0	100
N° tot					m tot	m tot	m tot
9					830	240	590

Tabella 1: Descrizione delle indagini relative alle tratte in sotterraneo. Indagine S6: salta numerazione

2.1 UBICAZIONE E DESCRIZIONE DEI SONDAGGI

Si riporta in seguito una breve descrizione dei sondaggi e del contesto geologico indagato.

2.1.1 Sondaggio S1 – G. Calatabiano (GN01)

L'ubicazione del sondaggio S1 è riportata in Figura 1 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 2. L'obiettivo dell'indagine è quella di definire con maggiore dettaglio la profondità dell'interfaccia tra le argille appartenenti alla Formazione FAG e i depositi alluvionali (bb). Infatti, la profondità dei depositi alluvionali potrebbe variare lateralmente in funzione dei vari cicli di erosione-alluvionamento che hanno interessato l'alveo della Fiumara. Una ricostruzione di maggiore dettaglio di tale interfaccia consentirà di adeguare le modalità di scavo alle effettive condizioni geologiche. È previsto il carotaggio di un tratto di 30 m di lunghezza per la ricostruzione delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo.

Le caratteristiche del sondaggio sono di seguito riassunte:

Sondaggi integrativi Lotto 1							
	Codice Sondaggio			Motivazione	Lunghezza prevista	Distruzione di nucleo	Carotaggio continuo
N°		Opera	pk		(m)	(m)	(m)
1	S1	GN01 - Calatabiano	3+375	Sotto alla Fiumara, possibili interferenze tra depositi alluvionali e scavo galleria	30	0	30

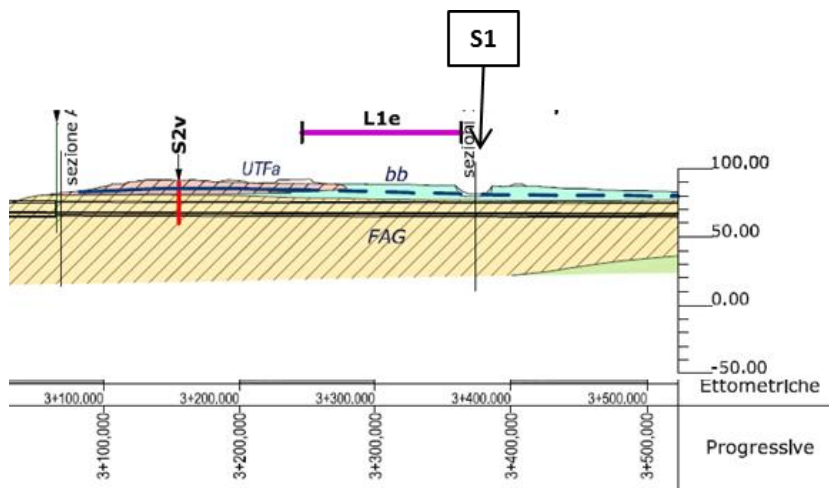


Figura 1 – Ubicazione del sondaggio S1 sul profilo geologico di PD.



Figura 2 – Planimetria con ubicazione del sondaggio S1.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	7/71

2.1.2 Sondaggio S2 – G. Calatabiano (GN01)

L'ubicazione del sondaggio S2 è riportata in Figura 4 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 3. Tale sondaggio verrà realizzato nell'ottica di acquisire dei dati utili alla progettazione della finestra "Uscita intermedia Calatabiano". Attualmente, tale opera non risulta coperta da indagini pregresse utili alla ricostruzione del quadro geologico-geotecnico. È previsto un carotaggio di lunghezza pari a 20 m in prossimità dell'imbocco della finestra.

Le caratteristiche del sondaggio sono le seguenti:

Sondaggi integrativi Lotto 1							
N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
2	S2	GN01 - usc Calatabiano FA04	4+695	In questo settore mancano completamente informazioni di profondità	20	0	20

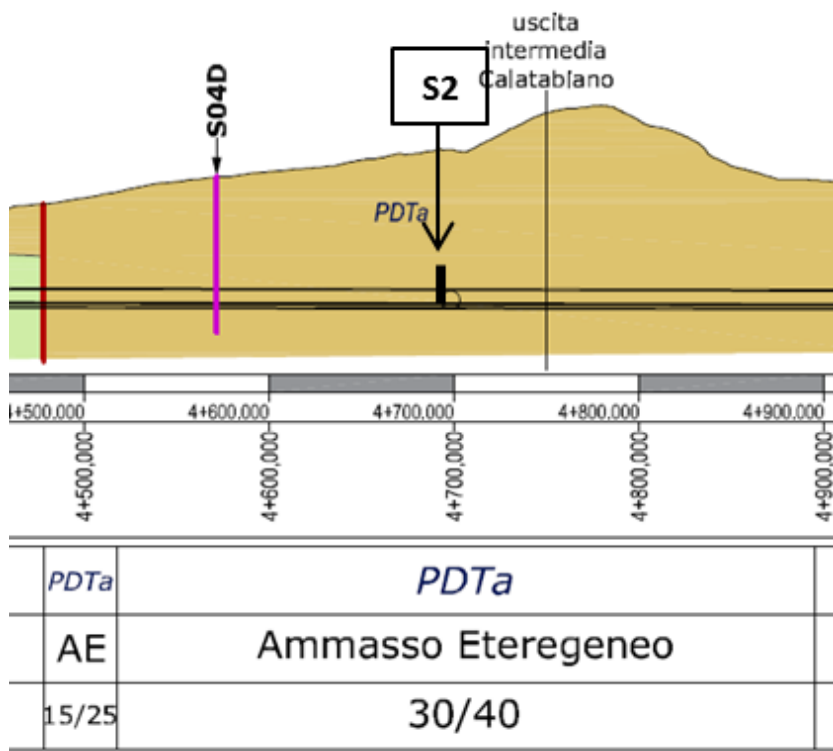


Figura 3 - Ubicazione del sondaggio S2 sul profilo geologico di PD.

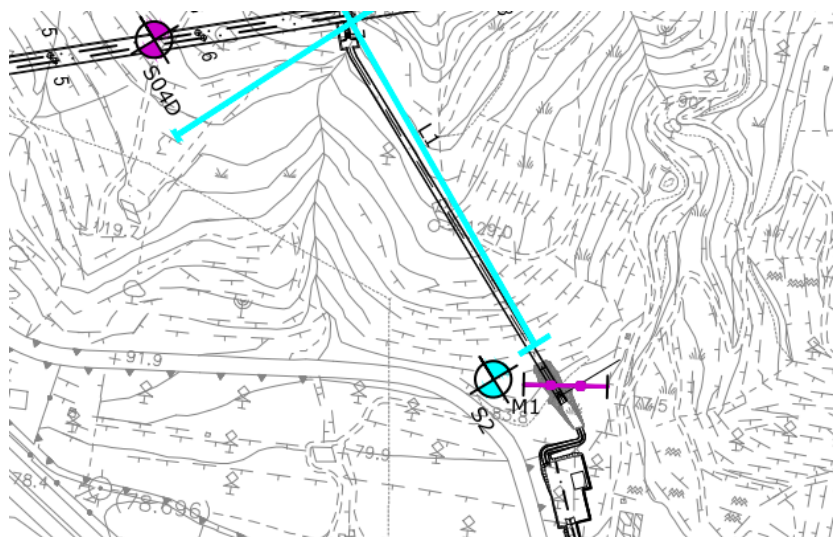


Figura 4 - Planimetria con ubicazione del sondaggio S2.

2.1.3 Sondaggio S3 – G. Taormina (GN02)

L'ubicazione del sondaggio S3 è riportata in Figura 6 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 5. Nell'intervallo compreso all'incirca tra le pk 7+800 e 8+500 è previsto che la Galleria Taormina attraversi la facies composta da argille, argille limoso-sabbiose-del Flysch di Capo d'Orlando. Date le forti eteropie laterali di questa facies sedimentaria rispetto a quelle più conglomeratica (CODa) e arenacea (CODb), si è valutato come opportuno acquisire maggiori informazioni circa le caratteristiche stratigrafiche e litotecniche di tale materiale. Verrà realizzato un sondaggio carotato di lunghezza pari a 50 m.

Le caratteristiche del sondaggio sono le seguenti

Sondaggi integrativi Lotto 1							
	Codice Sondaggio			Motivazione	Lunghezza prevista	Distruzione di nucleo	Carotaggio continuo
N°		Opera	pk		(m)	(m)	(m)
3	S3	GN02 - Galleria Taormina	8+050	Zona in cui mancano totalmente informazioni geologiche-idrogeologiche e geotecniche relative alla formazione CODc (argille limose e argille marnose di consistenza incerta e probabile struttura scagliosa)	50	0	50

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	9/71

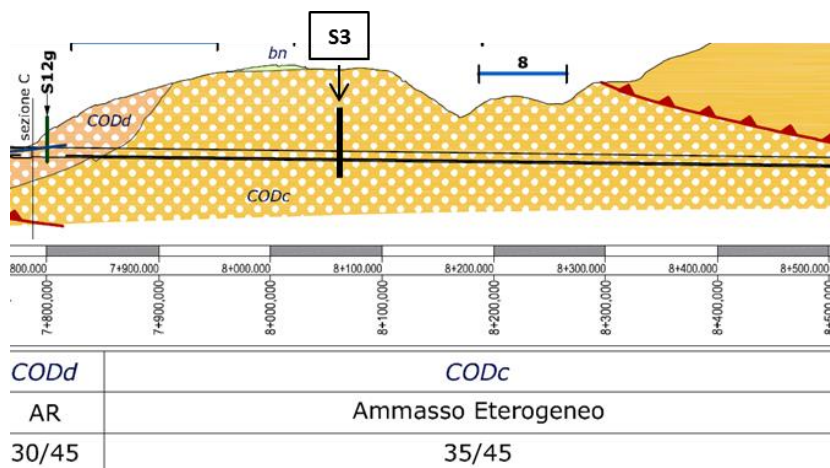


Figura 5 - Ubicazione del sondaggio S3 sul profilo geologico di PD

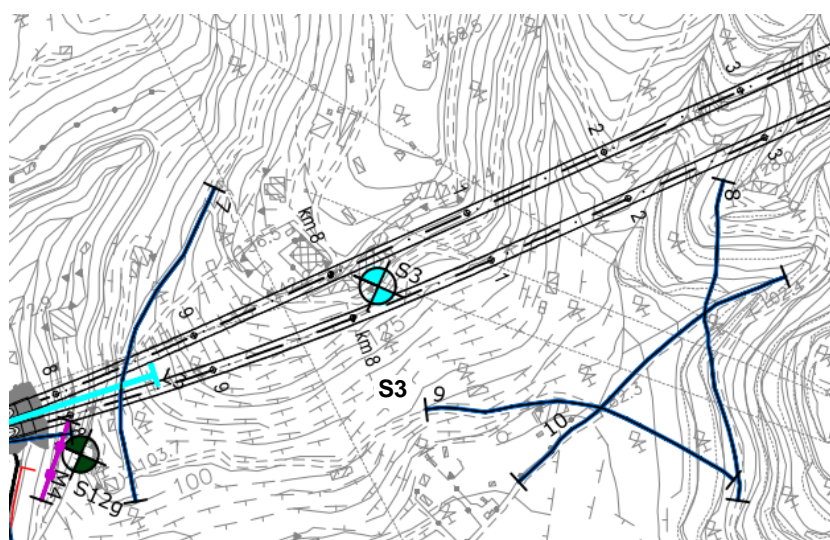


Figura 6 - Planimetria con ubicazione del sondaggio S3.

2.1.4 Sondaggio S4 – G. Taormina (GN02)

L'ubicazione del sondaggio S4 è riportata in Figura 8 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 7. Tal a pk 8+300 e 8+800 la Galleria Taormina è interessata dalla presenza della facies conglomeratica (CODa), arenacea (CODb) e argilloso-limosa (CODc) del Flysch di Capo d'Orlando. Lungo il profilo geologico è stato tracciato un sovrascorrimento che mette in contatto tali facies sedimentarie. Tuttavia, non vi sono dati vincolanti che permettano di circoscrivere la profondità di tale struttura. Il sondaggio S4 avrà quindi l'obiettivo di ricostruire le profondità e le caratteristiche stratigrafiche e geomeccaniche delle litologie attraversate dalla galleria. Verrà realizzato un sondaggio carotato di lunghezza pari a 100 m (i primi 40 m saranno realizzati a distruzione di nucleo). Le caratteristiche del sondaggio sono le seguenti:

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	10/71

Sondaggi integrativi Lotto 1

N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
4	S4	GN02 - Galleria Taormina	8+450	Approfondimento del contesto geologico-strutturale che al momento non è vincolato da dati di profondità. Rapporti geometrici CODa-CODb-CODc e possibilità di sovrascorrimenti multipli	140	40	100

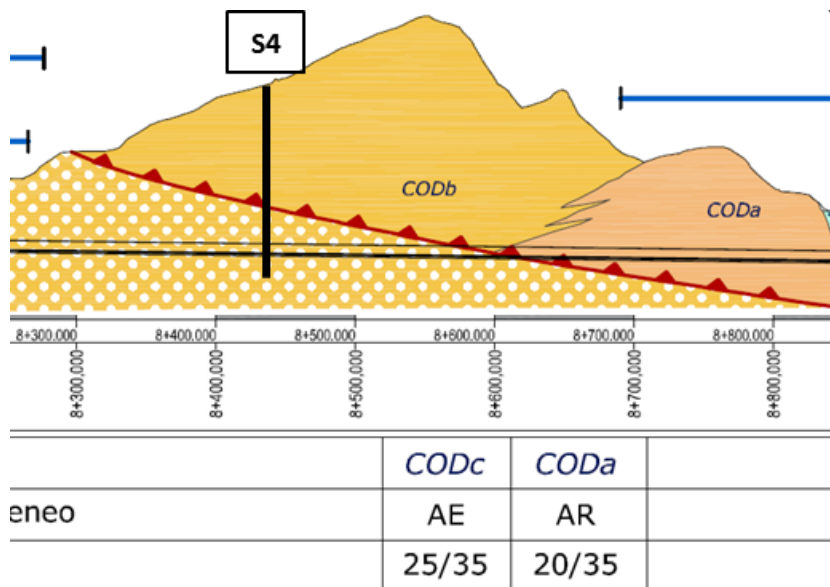


Figura 7 - Ubicazione del sondaggio S4 sul profilo geologico di PD.

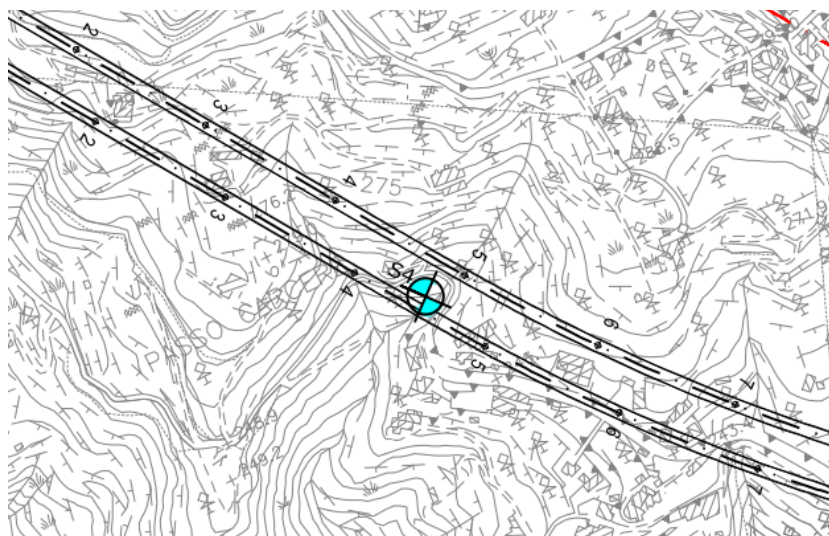


Figura 8 - Planimetria con ubicazione del sondaggio S4.

2.1.5 Sondaggi S5– G. Taormina (GN02)

L'ubicazione del sondaggio S5 è riportata in Figura 10 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 9. In corrispondenza della fiumara i depositi alluvionali sono in contatto con formazione conglomeratica (CODa) del Flysch di Capo d'Orlando. Dalle prove idrauliche realizzate in foro sul sondaggio S11D sono risultate, a quota galleria, permeabilità molto elevate (i.e. $K=1E-04$ m/s). Il sondaggio S5 ha lo scopo di caratterizzare i materiali, in modo da definire quali saranno le modalità di corretto condizionamento degli stessi nell'ambito dello scavo meccanizzato, alla luce delle elevate permeabilità e delle conseguenti elevate portate attese. Sarà effettuato un sondaggio a carotaggio di profondità pari a 50 m.

Le caratteristiche del sondaggio S5 sono le seguenti:

Sondaggi integrativi Lotto 1							
	Codice Sondaggio			Motivazione	Lunghezza prevista	Distruzione di nucleo	Carotaggio continuo
N°		Opera	pk		(m)	(m)	(m)
5	S5	GN02 - Galleria Taormina	8+900	Depositi alluvionali della fiumara in contatto con formazione CODa conglomerati. Le permeabilità sono molto elevate a quota galleria ($K=1E-04$ m/s) con rischi costruttivi correlati. Necessità di caratterizzare l'assetto idraulico del sottosuolo e le caratteristiche dei materiali per un corretto condizionamento in fase di scavo meccanizzato	50	0	50

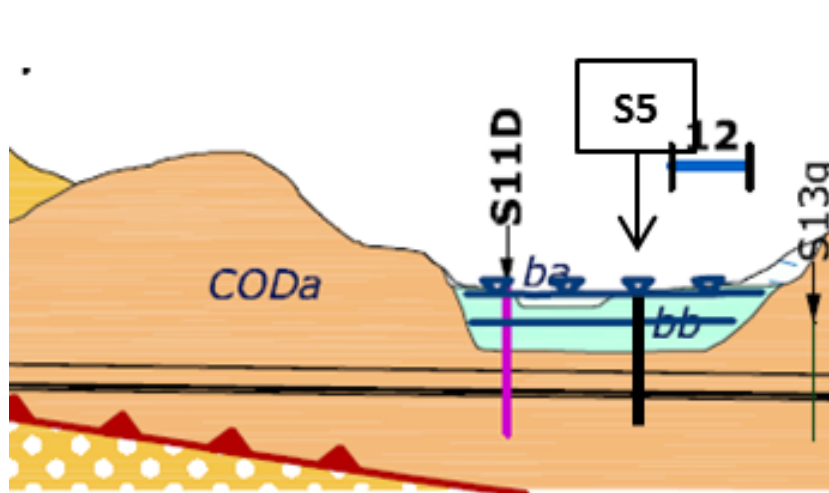


Figura 9 - Ubicazione dei sondaggi S5 sul profilo geologico di PD.



Figura 10 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi S5.

2.1.6 Sondaggi S7 e S8 – G. Taormina (GN02)

L'ubicazione dei sondaggi S7 e S8 è riportata in Figura 11 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 12. Il settore compreso tra le pk 10+800 e 11+300 è caratterizzato da una complessa articolazione strutturale con faglie ad alto angolo che hanno provocato una dislocazione molto consistente (anche >100 m) delle formazioni geologiche. Ne consegue che i blocchi separati dalle faglie cartografate in questo settore presentano caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche molto differenti. Per questo motivo, dato anche l'elevata fratturazione che contraddistingue quest'area, verranno realizzati i sondaggi S7 e S8, allo scopo di ottenere una ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale e geomeccanico di maggiore dettaglio. Il sondaggio S7 avrà una lunghezza di carotaggio pari a 70 m (i soprastanti 100 m saranno a distruzione di nucleo), mentre il sondaggio S8 sarà interamente eseguito a carotaggio continuo per una profondità di 100 m.

Le caratteristiche dei sondaggi sono le seguenti:

Sondaggi integrativi Lotto 1							
N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
6	S7	GN02 - Galleria Taormina	10+900	Contesto molto tettonizzato e non coperto sufficientemente da indagini in profondità. Non vi sono informazioni a quota galleria. Da verificare strutture e caratterizzazione geotecnica dei materiali	170	100	70
7	S8	GN02 - Galleria Taormina	11+160	Contesto molto tettonizzato, la galleria attraversa la Form. della Maiolica (calcari), rocce potenzialmente solubili e carsificabili, necessità di verificare le proprietà geotecniche/idrauliche. Non vi sono informazioni a quota galleria.	100	0	100

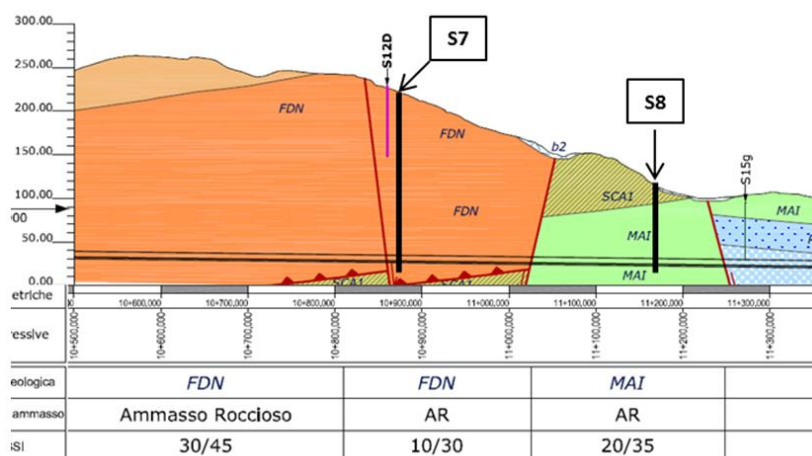


Figura 11 - Ubicazione dei sondaggi S7 e S8 sul profilo geologico di PD.

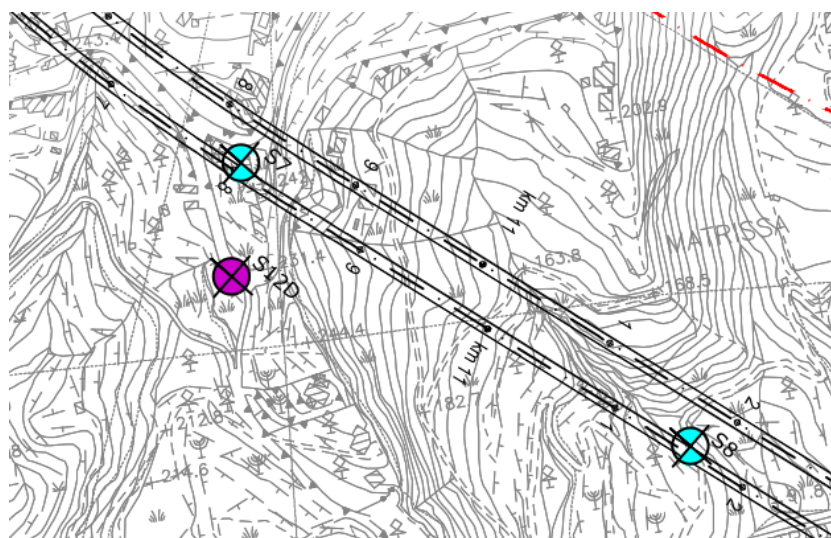


Figura 12 - Planimetria con ubicazione dei sondaggi S7 e S8

2.1.7 Sondaggi S9 – G. Taormina (GN02)

L'ubicazione del sondaggio S9 è riportata in Figura 13 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 14. Il settore attorno alla pk 12+000 è caratterizzato da un assetto geologico-strutturale articolato nel quale sono stati eseguiti sondaggi di bassa profondità che non coprono le quote di progetto. Il sondaggio S9 ha lo scopo di ricostruire la profondità di interfaccia tra i calcari marnosi e le biocalcareni riportate nel profilo di PD. Il sondaggio avrà lunghezza pari a 170 m di cui i primi 100 m eseguiti a distruzione di nucleo e i successivi 70 m a carotaggio continuo.

Le caratteristiche del sondaggio sono le seguenti:

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	14/71

Sondaggi integrativi Lotto 1

N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
8	S9	GN02 - Galleria Taormina	12+070	Contesto privo di indagini a quota galleria per una lunga tratta. Nel profilo sono ricostruiti calcari massivi e biocalcareni, non è nota tuttavia la profondità di interfaccia tra le due formazioni, possibili implicazioni di carattere idrogeologico.	170	100	70

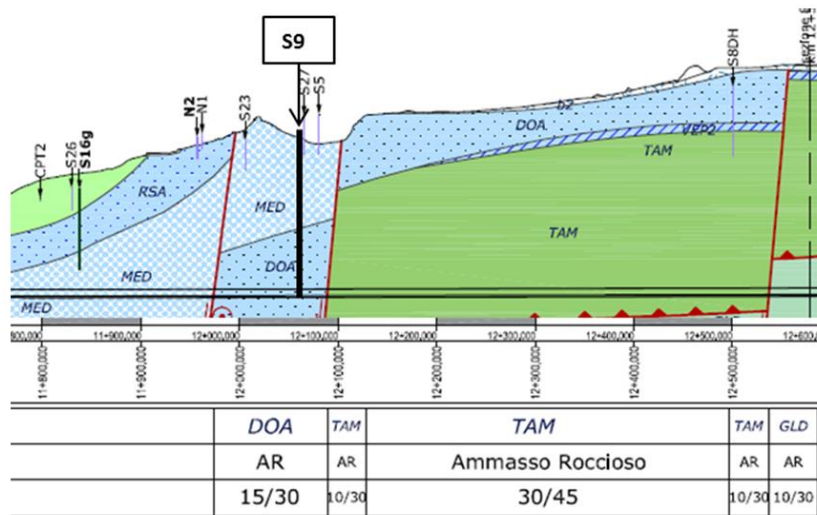


Figura 13 - Ubicazione del sondaggio S9 sul profilo geologico di PD.

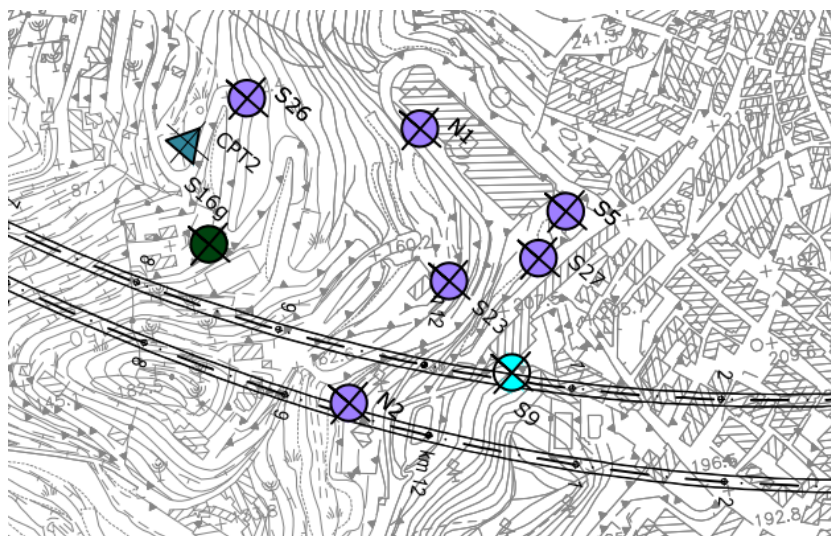


Figura 14 - Planimetria con ubicazione del sondaggio S9.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	15/71

2.1.8 Sondaggio S10 – Interconnessione Letojanni

L'ubicazione del sondaggio S10 è riportata in Figura 15 mentre la raffigurazione sul profilo geologico è riportata in Figura 16. Il sondaggio S10 è stato ubicato allo scopo di raccogliere informazioni aggiuntive in un settore caratterizzato sia da una forte articolazione geologico-strutturale, sia dalla presenza di opere in sotterraneo ravvicinate piuttosto complesse. Il sondaggio S10 sarà effettuato a carotaggio continuo per una lunghezza pari a 100 m.

Le caratteristiche del sondaggio sono le seguenti

Sondaggi integrativi Lotto 1							
N°	Codice Sondaggio	Opera	pk	Motivazione	Lunghezza prevista (m)	Distruzione di nucleo (m)	Carotaggio continuo (m)
9	S10	Interconn. Letojanni	0+700	Zona scarsamente coperta da indagini sotterranee in contesto tettonico molto articolato. Il sondaggio S15D si colloca significativamente fuori asse	100	0	100

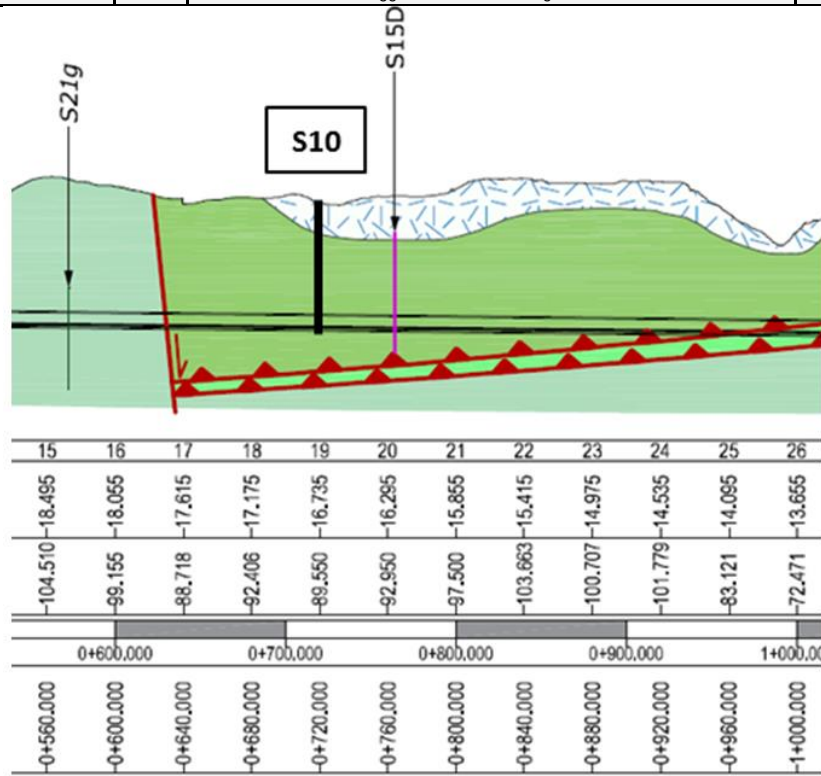


Figura 15 - Ubicazione del sondaggio S10 sul profilo geologico di PD.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	16/71

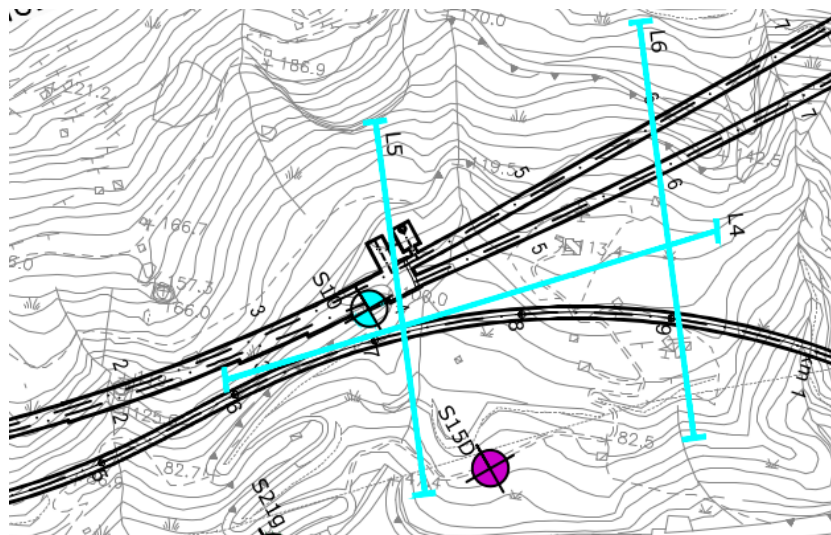


Figura 16 - Planimetria con ubicazione del sondaggio S10.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	17/71

1.1.1.1 Prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica

Per la caratterizzazione geomeccanica delle rocce attraversate dai sondaggi di cui al capitolo precedente verranno effettuate le seguenti prove in foro (Tabella 2):

Codice Sondaggio	Prove e rilievi in foro				Attrezzamento
	MPM o DRT - Pressiometrica Menard (zone di taglio) - Dilatométrica in roccia	Prove di permeabilità Lugeon (LU) /Lefranc (LE)	Verifica e misura del livello di falda	Monitoraggio gas in foro	Installazione Piezometro o Inclino metro
	n	n			
S1	5	5	si	si	piezometro
S2	5	5	si	si	piezometro
S3	5	5	si	si	piezometro
S4	3	3	si	si	piezometro
S5	5	5	si	si	piezometro/pozzo
S7	5	5	si	si	piezometro
S8	5	5	si	si	piezometro
S9		5	si	si	piezometro
S10	5	5	si	si	piezometro
	n tot	n tot	n tot	n tot	n tot
	38	43	9	9	9

Tabella 2: prove in foro previste nei sondaggi.

Sulle varie verticali verranno eseguiti i campionamenti e le prove di laboratorio seguenti (Tabella 3):

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	18/71

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	Densità / Soil Compressione monoassiale (rocce) / UCS	Test triassiale (rocce) / Triaxial test (rock)	Point load test - rock	Contenuto di umidità (suoli) / moisture	Granulometria integrale (suoli) / Total grain size	Limite 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
S1	3	3	3	3				3	3	3	3	3
S2	3	3	3	3				3	3	3	3	3
S3	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S4	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S5	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S7	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S8	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
S9	4	3	4	4	4		4		3			
S10	5	3	5	5	2		2	3	3	3	3	3
	n° und. Sample	dist. Samp	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°
	40	27	40	40	16	0	16	24	27	24	24	24

Tabella 3: prove di laboratorio previste per i campioni prelevati nei sondaggi.



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

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	19/71

2.2 MONITORAGGIO DEI GAS

Sui sondaggi che verranno realizzati (S1-S10) per le tratte in sotterranee sarà effettuato il monitoraggio dei gas. Il rilevamento avverrà tramite uno strumento portatile accoppiato ad una pompa di aspirazione. Nei sondaggi a carotaggio la rilevazione sarà compiuta ad ogni fine manovra di recupero della carota. Si procederà alla rilevazione di: H₂S (ppm), CO (ppm), O₂ (%) e CH₄ (% di gas esplosivi).

2.3 INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE

Le tratte in sotterraneo relativamente meno indagate o che presentano caratteristiche geologiche tali da richiedere un approfondimento conoscitivo saranno indagate attraverso delle indagini sismiche a rifrazione. Saranno realizzate le seguenti indagini (Tabella 4).

Indagini sismiche a rifrazione					
N°	Opera	pk	Motivazione	Codice Linea sismica	Lunghezza tot prevista (m)
1-2	Calatabiano	4+700	Zona della finestra non coperta da indagini	L1-L2	400
3	Taormina	7+800	Imbocco lato CT, integrare con linee con baricentro sulla zona di imbocco	L3	200
4	Interc. Letojanni	14+500	Zona linea in contesto tettonico articolato non coperto da indagini	L4	400
5	Int Letojanni - G. Taormina	14+400	Zona interconnessione Letojanni G. Taormina non coperto da indagini in zona tettonica articolata	L5	300
6	Int Letojanni - G. Taormina	14+600	Zona interconnessione Letojanni G. Taormina non coperto da indagini in zona tettonica articolata	L6	300
N° tot 6					m tot 1600

Tabella 4 : Indagini sismiche a rifrazione

L'ubicazione delle stese sismiche è riportata nelle immagini seguenti (Figura 17, Figura 18, Figura 19)

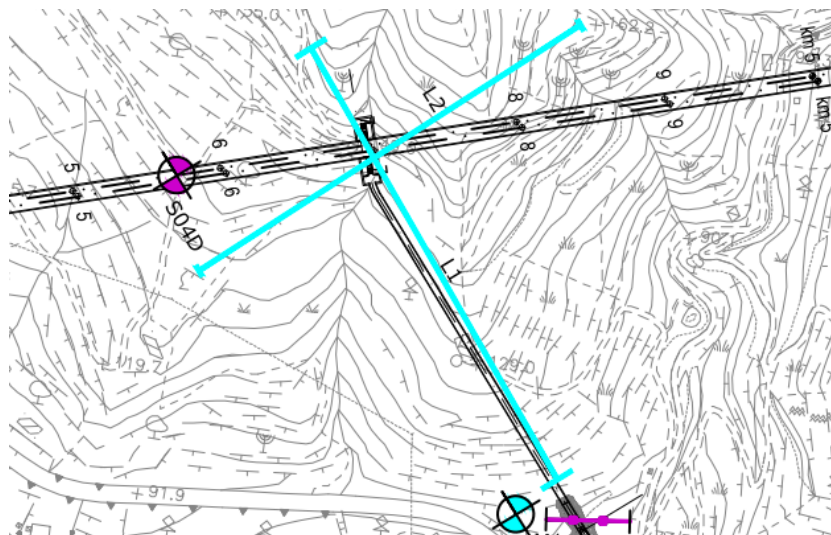


Figura 17: Ubicazione degli stendimenti L1 e L2

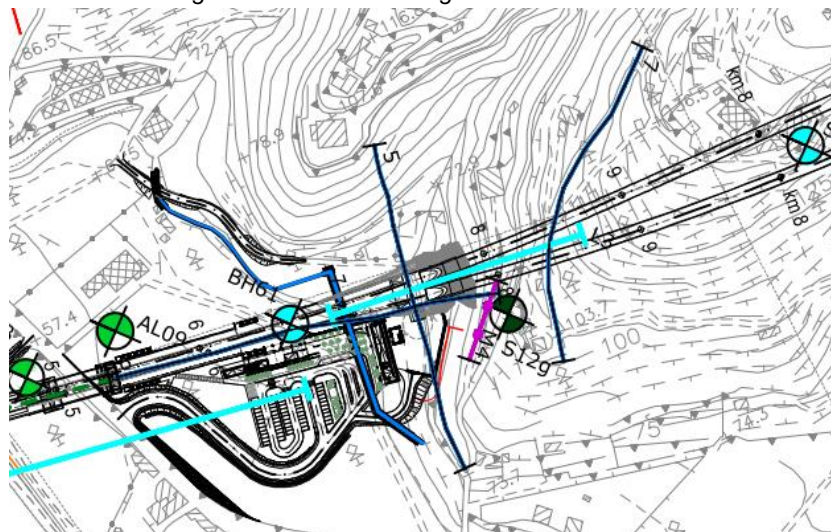


Figura 18: Ubicazione dello stendimento L3

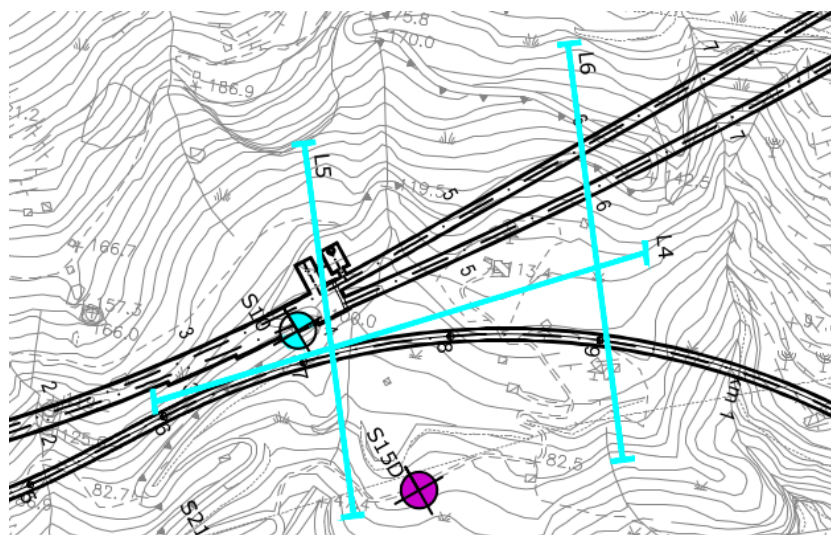


Figura 19 - Ubicazione degli stendimenti L4, L5 e L6.

2.4 INDAGINI DI FRESABILITÀ

Attraverso i fori di sondaggio verrà effettuato anche il campionamento di materiali appartenenti a diverse litologie allo scopo di definire le loro proprietà in termini di fresabilità. Questo consentirà una progettazione ad hoc delle caratteristiche degli utensili di scavo. Le prove previste sono elencate nella seguente tabella (Tabella 5).

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	22/71

Prove di fresabilità										
Codice Sondaggio	Analisi petrografica su sezione sottile	Analisi diffrattometrica	Tenore in silice	Indice di abrasione CERCHAR (CAI Index) sulla	Prova di frammentazione NHT ed indice di fragilità S20 sulla media di 3 provini	Prova di perforabilità metodo Sievers' J sulla media di	NTNU Abrasion Test (AV)- abrasione su utensili da scavo TBM	NTNU Abrasion Test (AVS)- abrasione su dischi TBM in acciaio	Prova di durezza Knopp	Punching Penetration Test
	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
S1	3	3	3	3			3	3		
S2	3	3	3	3			3	3		
S3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
S10										
	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°	n°
	24	24	24	24	18	18	24	24	18	18

Tabella 5 - prove di fresabilità previste



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

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	23/71

3 INDAGINI RELATIVE ALLE TRATTE ALL'APERTO

Lungo il tracciato, in corrispondenza delle tratte all'aperto, si prevede la realizzazione di 1 ponte (VI01), 1 viadotto (VI02), 3 gallerie artificiali (GA01, GA25 e GA05), 2 fermate (Fiumefreddo e Alcantara).

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).

La principale opera all'aperto è il VI02 Alcantara che si sviluppa per circa 940 m con 2 spalle e 21 pile. Generalmente le fondazioni del viadotto interessano depositi alluvionali prevalentemente incoerenti di buone caratteristiche meccaniche (sottoposti a potenziale scalzamento nell'alveo della fiumara), che sovrastano le formazioni rocciose di base costituita prevalentemente da depositi basaltici nella prima metà del viadotto, che si alterna alla formazione flyshoide successivamente. Il contatto tra le varie formazioni è molto irregolare e difficilmente correlabile tra i sondaggi contigui. Pertanto l'ubicazione delle indagini integrative ha privilegiato le zone non coperte dalle indagini pregresse ovvero dove 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.

Tra le opere di maggiore rilevanza si segnala anche la galleria artificiale GA02, che si sviluppa per una lunghezza di circa 770 con importanti trincee di accesso. Quattro delle sei verticali d'indagine esistenti risultano ubicate con fuori asse notevoli; si ha quindi la necessità di una campagna integrativa al fine di indagare l'intera tratta con inter-distanze tra i sondaggi dell'ordine di 250 m.

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 e gallerie artificiali.
- 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 m circa) necessari per condurre analisi puntuali dei fenomeni di scalzamento previsti per 7 pile del VI01 (da Pila 4 a

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	24/71

Pila 10): in queste zone sono previste 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 (DH e geofisica a rifrazione).

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

- N.16 sondaggi a carotaggio continuo, di lunghezza compresa tra 12 e 40 metri, per una lunghezza totale pari a 440 m.
- Circa N. 90 prove SPT complessive da realizzare in foro di sondaggio.
- N. 4 sondaggi saranno attrezzati per prove Down Hole, N.3 con piezometro a tubo aperto nei primi 20 m dal p.c.
- Prelievo di campioni rimaneggiati, indisturbati e litoidi da sottoporre a prove fisiche e meccaniche di laboratorio.
- N. 3 tomografie sismiche in onde P e S, di lunghezza complessiva L=1150 m circa.

Alcuni sondaggi previsti lungo il viadotto VI01 hanno il principale obiettivo di intercettare il tetto del substrato roccioso (BH52, BH53, BH56, BH58 e BH61); la loro lunghezza qui prospettata è da intendersi indicativa e potrà essere modificata in corso d'opera, con la richiesta di penetrare il substrato per almeno 15 m senza soluzione di continuità. I sondaggi BH55 e BH56 hanno il compito di caratterizzare granulometricamente i terreni detritici ed alluvionali soggetti a potenziale trasporto idraulico (scalzamento); tali verticali potranno essere interrotte anticipatamente dopo aver intercettato il substrato basaltico per almeno 1 m.

In fine, in ottemperanza alle prescrizioni, sono previste 3 trincee paleo-sismologiche di profondità di circa 2 m, ubicate in corrispondenza del rilevato RI01, con l'obiettivo di verificare eventuali elementi stratigrafici relativi a depositi recenti ove si possa individuare la presenza di movimenti tettonici.

Tutti le indagini in sito dovranno essere supervisionate da tecnico laureato (preferibilmente geologo) che compilerà i log stratigrafici con una dettagliata descrizione litologica dei terreni attraversati, completa di documentazione fotografica. 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. L'ubicazione planimetrica indicata è quella ottimale, fermo restando la necessità di verificare l'accessibilità dei luoghi e le esigenze logistiche di cantiere.

La sintesi della suddetta campagna di indagine è riportata nella Tabella 6 e nelle figure che seguono (da Figura 20 a Figura 26) in cui si riportano degli stralci delle planimetrie con l'ubicazione delle indagini integrative.

La seconda tabella riporta anche un prospetto dei campioni da prelevare in sito e delle prove di laboratorio prospettate (Tabella 7). 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

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	25/71

SONDAGGI E PROVE IN SITO								
OPERA RIFERIMENTO	N°	Codice Sondaggio	fondazione riferimento	obiettivo di dettaglio	Lunghezza Sondaggio (m)	Piez. T.A. L=20m	DH	SPT
VI01 – Ponte T. Fogliarano	1	BH51	spalla B	geotecnico	30			5
	2	BH52	SP1	geotecnico	35 (*)		X	5
VI02 – Viadotto Alcantara + Fermata Alcantara	3	BH53	P2	geotecnico	25 (*)	X		5
	4	BH54	P7	scalzamento	10 (**)			5
	5	BH55	P8	scalzamento	10 (**)			5
	6	BH56	P9	geotecnico + scalz.	20 (*)			5
	7	BH57	P10	geotecnico + scalz.	40		X	5
	8	BH58	P14	geotecnico	30 (*)			5
	9	BH59	P17	geotecnico	40			5
	10	BH60	P20	geotecnico	40			15
	11	BH61	Fermata	geotecnico	30 (*)	X		5
	TOM 51, lunghezza 600 m circa							
	12	BH62		geotecnico	30		X	5
	13	BH63		geotecnico	20	X		5
	14	BH64	TR01A	geotecnico	20			5
TOM 52, lunghezza 500 m circa								
GA25 – Galleria Artificiale	15	BH65	+ Stazione	geotecnico	30		X	5
GA05 – Galleria Artificiale Scatolare	16	BH66	Imbocco Est	geotecnico	30			5
TOM 53, lunghezza 50 m								
Tot. Sondaggi	16				Tlunghezza Totale Sondaggi [m]	440.0		Tot. SPT 90

Tabella 6 – Sintesi delle indagini previste

Note.

(*) - Il sondaggio potrà essere interrotto dopo aver penetrato il substrato (roccia) per almeno 15 m senza soluzione di continuità.

(**) - Il sondaggio dovrà attraversare la copertura detritico-alluvionale e potrà essere interrotto dopo aver penetrato il substrato (roccia) per almeno 1 m.

CAMPIONI E PROVE DI LABORATORIO								
OPERA RIFERIMENTO	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)	Prova TX UU (suoli) o ELL (rocce)
VI01 – Ponte T. Fogliarano	5	5	10	5	5	10	5	5
VI02 – Viadotto Alcantara + Fermata Alcantara	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	0	5	0	0	5	0	0
	5	0	5	0	0	5	0	0
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	15	2	17	2	2	17	2	2
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
	5	5	10	5	5	10	5	5
GA25 – Galleria Artificiale	5	5	10	5	5	10	5	5
GA05 – Galleria Artificiale Scatolare	5	5	10	5	5	10	5	5

Tabella 7 – Tabella riepilogativa delle indagini di laboratorio previste

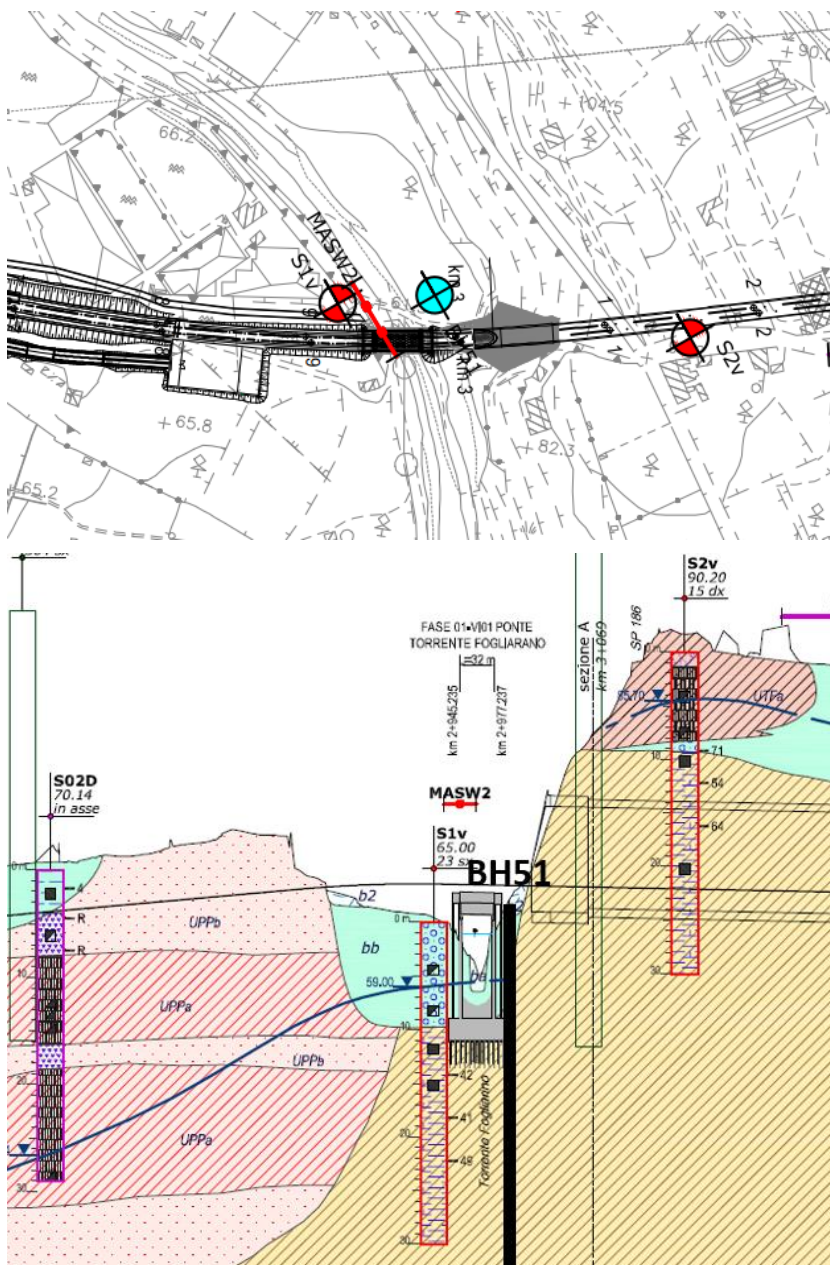


Figura 20 – Posizione del sondaggio BH51 in planimetria e profilo

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	27/71

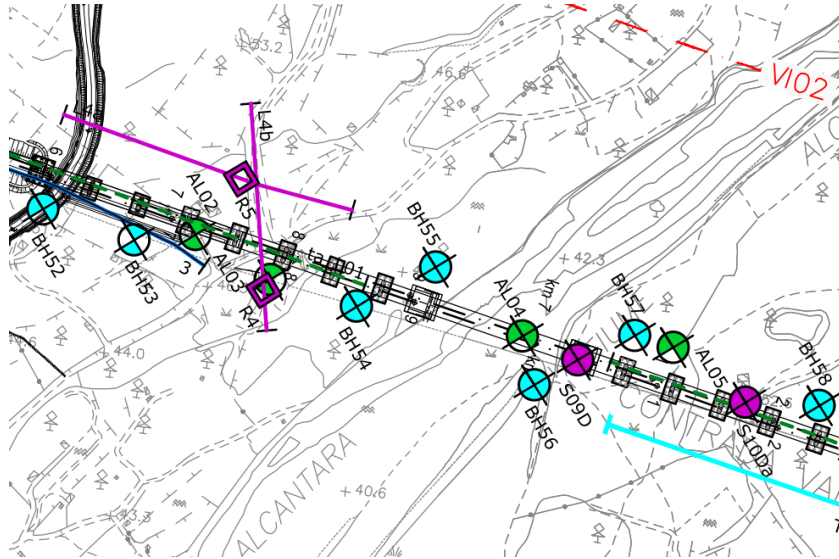


Figura 21 – Stralcio della planimetria con ubicazione dei sondaggi da BH52 a BH58

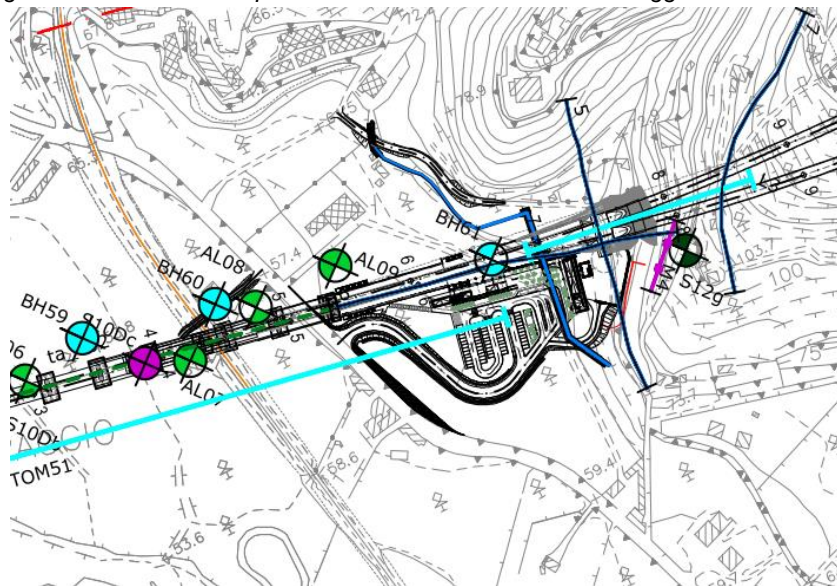


Figura 22 – Stralcio della planimetria con ubicazione dei sondaggi da BH59 a BH61

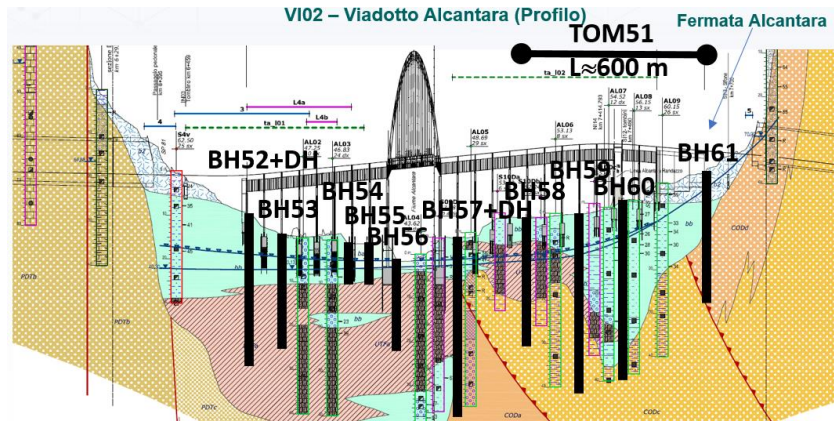


Figura 23 – Stralcio del profilo geologico PD con posizione dei sondaggi BH52-BH61

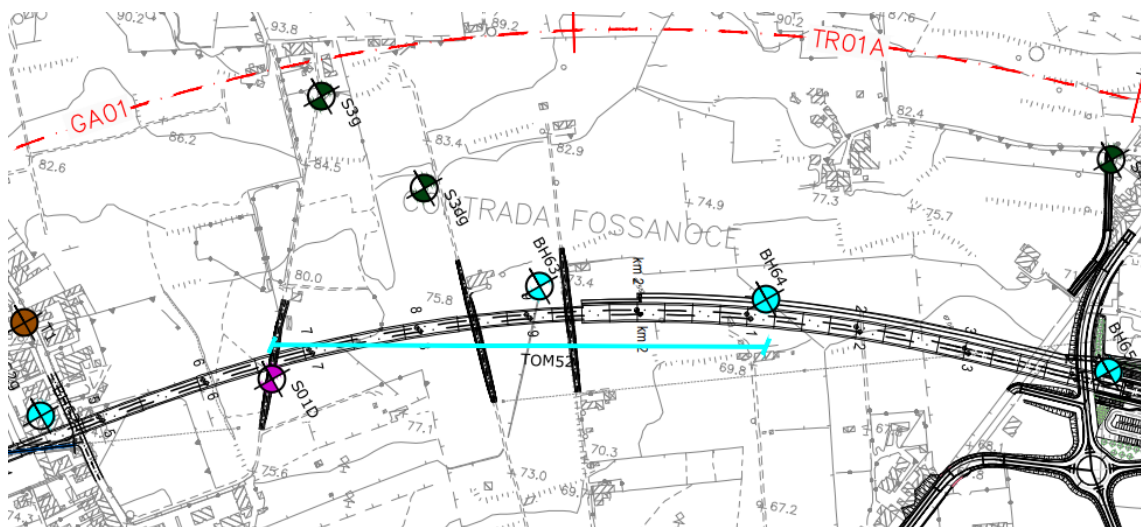


Figura 24 – Stralcio della planimetria con ubicazione dei sondaggi BH62-BH65

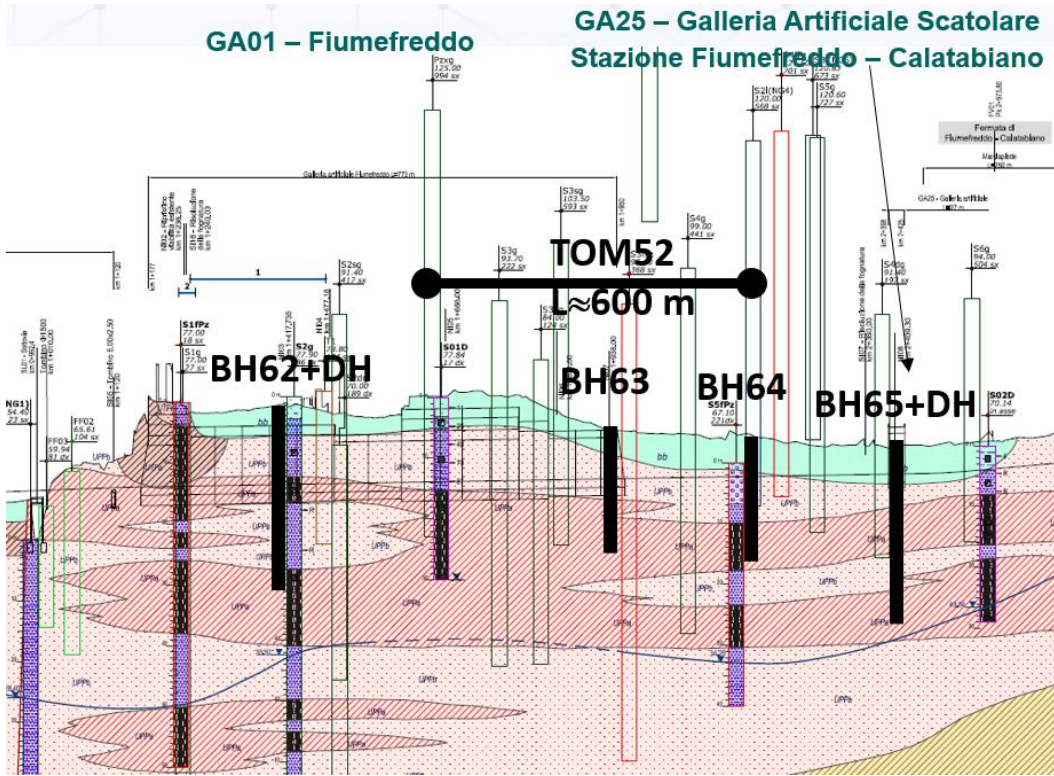


Figura 25 – Stralcio del profilo geologico PD con ubicazione dei sondaggi BH62-BH65

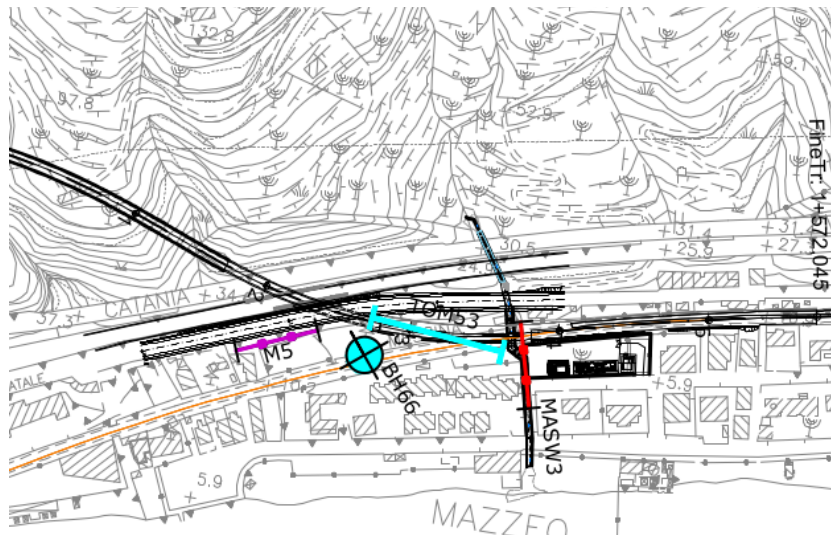



Figura 26 – Stralcio della planimetria con ubicazione del sondaggio BH66

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI SISTEMA	COMMESSA RS5M	LOTTO 01	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO RGGE0005001	REV. A	PAG. 30/71

4 INDAGINI RELATIVE AL SUBCRITERIO TECNICO 2.2.1

Il capitolo descrive le indagini che saranno realizzate tra il km 13+100 ed il km 13+800, in corrispondenza della Galleria Taormina, dove 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 2.2.1 - *Modalità di approfondimento dello studio geotecnico di progetto esecutivo per la Galleria Taormina, finalizzati alla definizione di proposte migliorative per la risoluzione delle interferenze tra le opere in sotterraneo e l'autostrada A18 dal km 13+100 al km 13+400 circa*".

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.

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

4.1.1 Assetto geologico

La Figura 27 riporta un estratto della carta geologica di Progetto definitivo a base gara (di seguito abbreviato PBG) nella tratta di interesse tra il km 13+100 e 13+400. Questo settore è caratterizzato dalla presenza di un substrato in parte calcareo e in parte cristallino (Figura 27 e Figura 28). La porzione geometricamente inferiore è occupata da un substrato cristallino costituenti la scaglia di basamento ercinico più profonda dell'edificio kabilo-calabride, nota come Unità tettonica di Gallodoro. Si tratta di materiali di origine pelitico-calcareo che hanno registrato un metamorfismo di basso grado.

Partendo dalla porzione geometricamente inferiore, si incontrano le epimetamorfiti del Vallone di Letojanni (GLD), databili al Paleozoico, costituite da argilloscisti di colore grigio scuro e rossastro, a tessitura da scistosa a sottilmente stratificata (levata fissilità), con diffuse intercalazioni di scisti, metareniti con quarzo, metasiltiti e metavulcaniti.

Superiormente, si trovano i Calcari di Mazzarò (GCM) di età mesozoica, costituiti da calcari micritici massivi e non stratificati di piattaforma carbonatica. Alla base dei calcari si riconoscono livelli clastici con facies analoga a quella tipica del Verrucano alpino, con clasti di quarzo a spigoli vivi. Si reperiscono frequenti Gasteropodi e Brachiopodi. I calcari sono interessati dallo sviluppo di numerose cavità carsiche spesso riempite da argille rosse.

Procedendo geometricamente verso l'alto si incontra la Scaglia di Gallodoro (SCA2), costituite da marne e marne calcaree rosa o rossastro, in strati da 5 a 10 cm, spesso fortemente tettonizzate, progressivamente passanti a marne argillose di colore avana. Localmente, l'unità assume i caratteri di una *broken-formation* (formazione caotica) con ripetuti lembi potenti da pochi cm a diverse decine di m, di calcari analoghi a quelli della successione mesozoica dei Calcari di Mazzarò.

Il settore esaminato costituisce un dominio strutturale estremamente deformato con numerosi lineamenti tettonici riferibili ad un'evoluzione polifasica, riconducibile alle diverse fasi deformative connesse alla



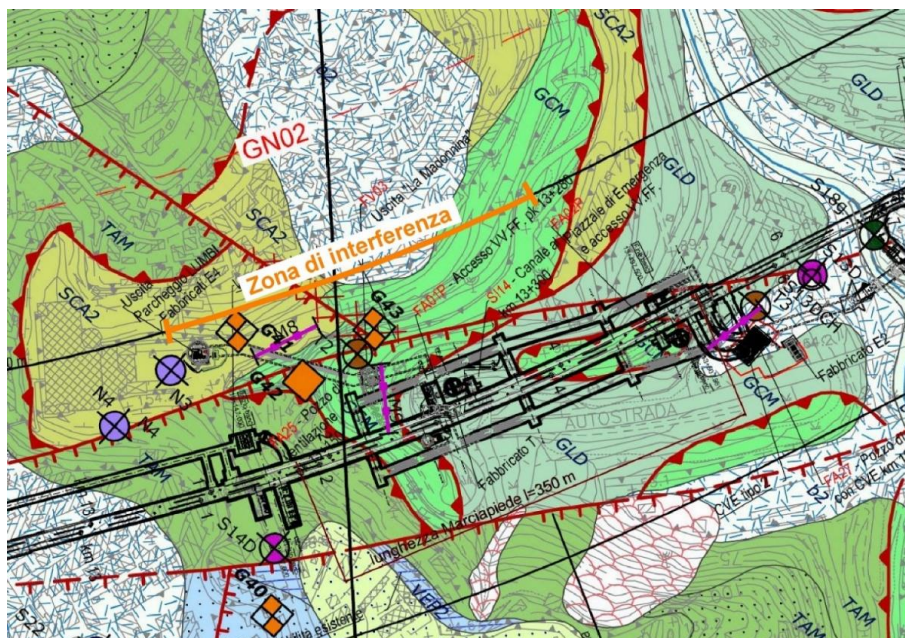
LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	31/71

collisione Africa-Europa. Nel complesso l'Unità tettonica di Gallodoro è strutturata in lembi distribuiti lungo un orizzonte estremamente deformato, delimitato da contatti tettonici sia al tetto che a letto. Sono presenti lineamenti tettonici paleogenico-neogenici che comprendono sistemi di faglie trascorrenti destre ad orientazione circa NO-SE e sistemi di pieghe e *thrust* (faglie inverse a basso angolo). In particolare, nel settore tra la pk 13+000 e 14+000, i livelli calcarei mesozoici sono ridotti in blocchi imballati tettonicamente all'interno della scaglia, lungo zone di *thrust* orientate NNE-SSO e a vergenza orientale. 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* multipli sono presenti lungo il tratto di tracciato ferroviario considerato. Tali strutture sono tagliate da faglie normali sub-verticali a direzione ca. NE-SW, di età Plio-Pleistocenica, anch'esse interferenti con la galleria e con la stazione ferroviaria in progetto.



SUCCESSIONI CLASTICHE QUATERNARIE

Depositi quaternari

- Depositi detritico-colluviali**
(b2) Depositi di versante e di alterazione del substrato.
Olocene
- Depositi di versante**
(a) Depositi di versante e di falda detritica.
Olocene
- Depositi alluvionali recenti**
(bb) Depositi di canale fluviale, argine e conoide alluvionale.
Olocene

Depositi marini e transizionali

- Depositi marini terrazzati**
(gn) Depositi di spiaggia e cordone litoraneo.
Pleistocene medio - Pleistocene superiore

SUCCESSIONI CLASTICHE OLIGO-MIOCENICHE

UNITÀ KABILO-CALABRIDI

Unità tettonica di Longi-Taormina

- Verrucano peloritano di Taormina (VEP2)**
Arenarie quarzose medio-fini massive o in grossi banchi, in alternanza con siltiti e argilliti laminate o sottilmente stratificate.
Hettangiano

- Epimetamorfiti di Longi-Taormina (TAM)**
Argilloscisti di colore grigio, grigio-azzurro e verdastro, a tessitura scistosa, con diffusi passaggi di scisti, metareniti e metasiltiti di colore grigio. (TAMa)
Paleozoico

Unità tettonica di Gallodoro

- Scaglia di Gallodoro (SCA2)**
Marna e marna calcareae di colore rosa e rossastro, spesso fortemente tettonizzate, progressivamente passanti a marna argillose di colore avana. (SCA2a) Localmente l'unità assume i caratteri di una broken-formation.

- GCM**
Calcarei di Mazzarò (GCM)
Calcarei micritici di colore grigio, massivi o non stratificati, con clasti di quarzo a spigoli vivi e frequenti esemplari di Gasteropodi e Brachiopodi.
Sinemurianno - Berriasiano

- GLD**
Epimetamorfiti del Vallone Letojanni (GLD)
Argilloscisti di colore grigio scuro, verde e rossastro, a tessitura da scistosa a sottilmente stratificata, con diffuse intercalazioni di scisti, metareniti, metasiltiti e metavulcaniti di colore grigio.
Paleozoico

SIMBOLOGIA

- Corso d'acqua
- Giacitura degli strati inclinati
- Giacitura della scistosità
- 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
- Stazione geologica
- Stazione geologica con rilievo geomeccanico
- Rilievo geostrutturale 2003
- Tracciato di progetto

Figura 27 - Stralcio della carta geologica di PBG relativa alla tratta di interesse (km 13+100 – 13+400); riferimento documentale: RS2S 01 D69 G5 GE0001 002 C. Gli altri pallini riportati sono i sondaggi eseguiti per il PBG.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	33/71

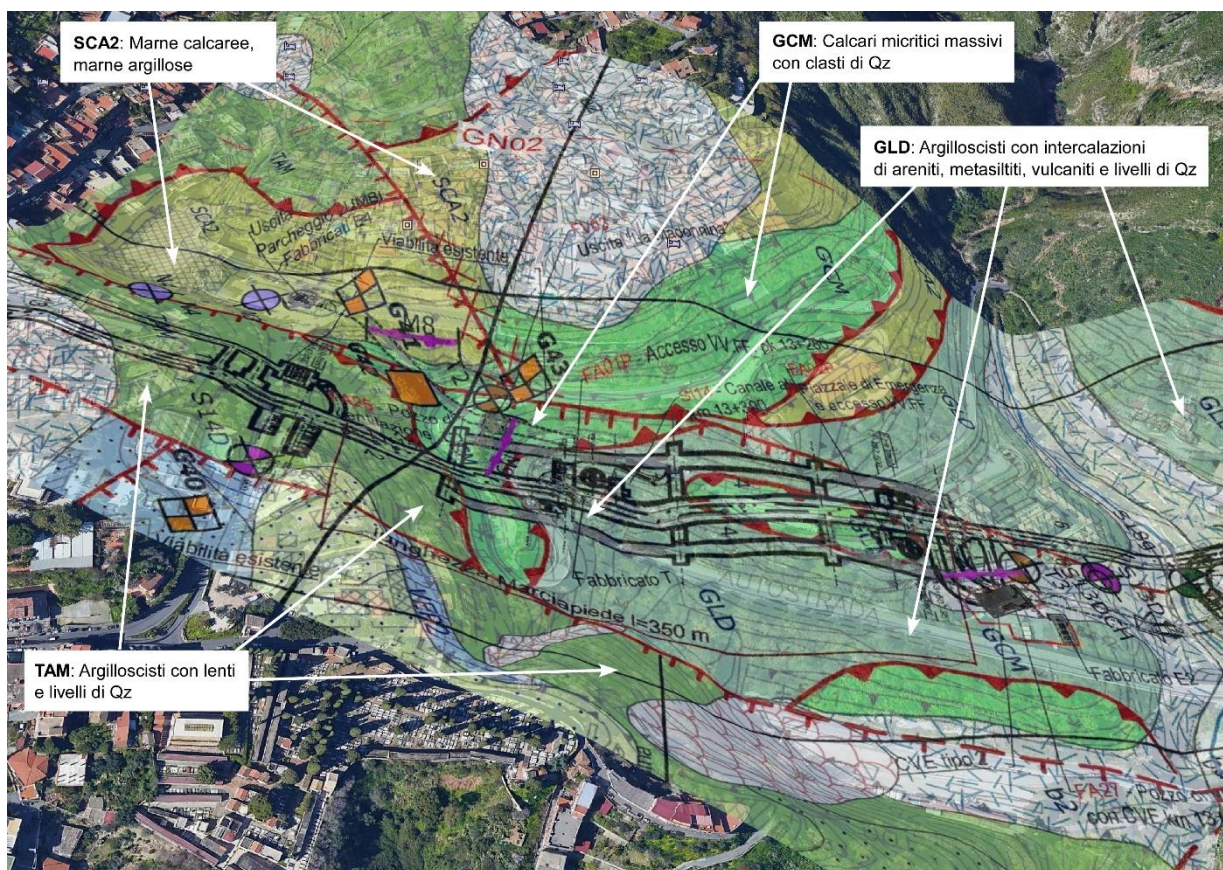


Figura 28 - Estratto della carta geologica di PBG sovrapposta in vista prospettica su foto satellitare di Google Earth.

Da quanto osservabile nelle schede dei rilievi strutturali e geomeccanici disponibili per il settore in esame, le diverse rocce affioranti si presentano molto spesso intensamente deformate, con sviluppo sia di strutture simil-milonitiche a tessitura duttile, specialmente sviluppate nelle litologie a maggiore fissilità, sia di strutture cataclastiche con associati domini con breccie di faglia (Figura 30). Sono presenti innumerevoli discontinuità strutturali che disgiungono la roccia isolando elementi rocciosi dell'ordine di uno o pochi cm³. I calcarei micritici mesozoici presentano invece più spesso evidenze di fratturazione pervasiva, con associato sviluppo di cavità carsiche nelle porzioni maggiormente fratturate (Figura 31).

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	34/71



Figura 29 - Marne e marne calcaree di colore rosa e rossastro (SCA2), progressivamente passanti a marne argillose di colore avana con piani di taglio duttili (rif. Stop geologico G41).



Figura 30 - Argilloscisti di colore grigio e rossastro a tessitura scistosa (GLD), fortemente deformati, costituenti breccie di faglia (rif. Stop geologico G45).

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	35/71



Figura 31 - Calcari grigio-biancastri massivi (GCM), fortemente fratturati e incarsiti (Stop geologico G44).

Dalla ricostruzione disponibile dal PBG, nel settore di interferenza con le gallerie dell'A18 le gallerie ferroviarie attraversano una porzione di argilloscisti appartenenti all'unità GLD, così come evidenziato dal profilo geologico di linea (Figura 32).

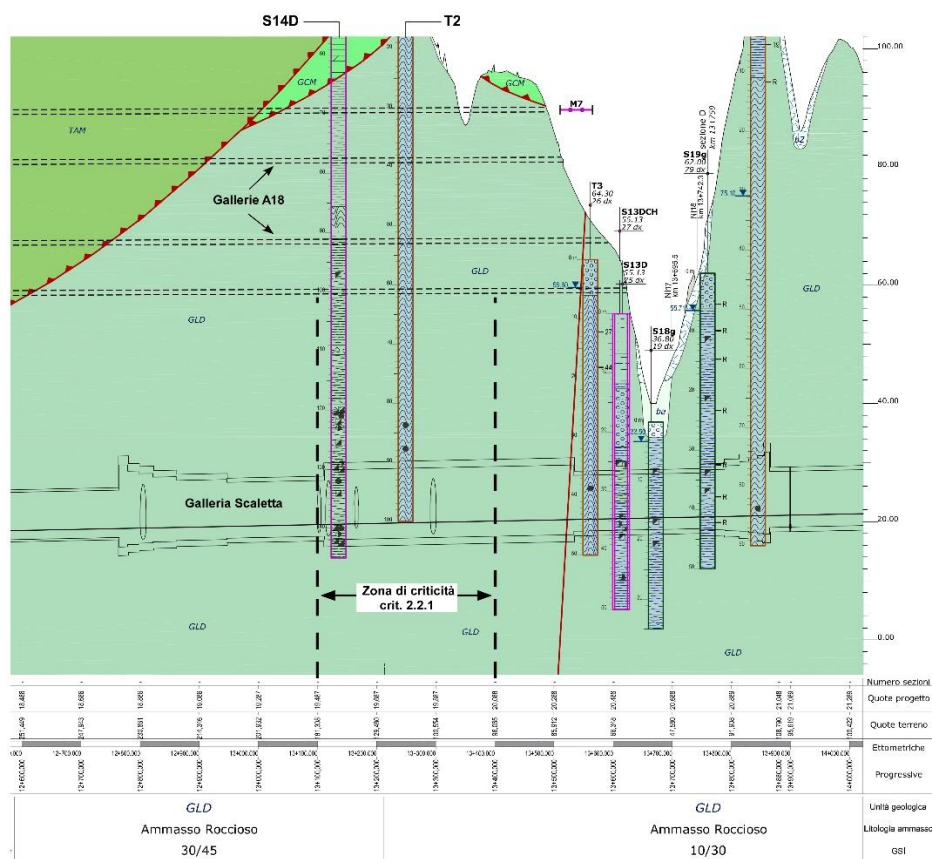


Figura 32 - Estratto del profilo geologico di linea (elaborato di PBG n° 87 - RS2S01D69F5GE0001004C) nel settore di interesse con evidenza della zona di interferenza con le gallerie dell'A18. Sono riportati i sondaggi e le linee MASW.

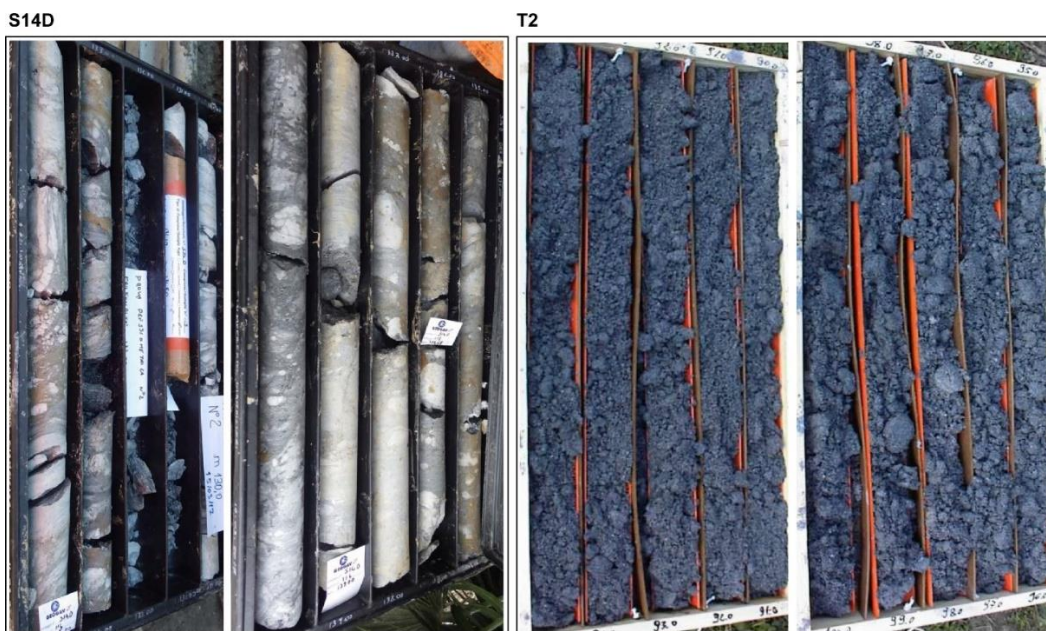


Figura 33 - Stratigrafie dei sondaggi con carote prelevate a quota della galleria ferroviaria nella zona di interferenza (cfr. Figura 32).

Dalle carote dei sondaggi effettuati nella zona è possibile osservare delle stratigrafie con evidenze di importanti deformazioni tettoniche. La Figura 33 riporta le immagini delle stratigrafie relative alle quote di attraversamento delle gallerie ferroviarie nei sondaggi S14D e T2. In questi tratti si può osservare una notevole variazione in termini di litologia e di qualità di recupero dei campioni. Il sondaggio S14D, qualitativamente migliore, è caratterizzato da una porzione litoide di argilloscisti con inclusi sub-arrotondati di quarzo di dimensione da centimentrica a decimetrica.

La litologia del sondaggio T2, originariamente costituita da argilloscisti, è invece ridotta in sabbie con clasti lapidei centimentrici, caratteristica ritrovata anche alle altre quote della carota stratigrafica. È possibile che, in parte, le caratteristiche granulari di questo sondaggio siano dovute 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 strutturali con le faglie ricostruite nel profilo geologico.

Dal profilo geologico di Figura 32 si può osservare come il settore indagato sia interessato dall'intersezione di un'unica faglia sub-verticale, al km 13+550. 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.

4.1.2 Assetto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, nel PBG il settore in esame è stato caratterizzato con due complessi idrogeologici: uno geometricamente superiore (CDO; complesso calcareo-dolomitico), ed uno inferiore (CMT; complesso metamorfico). Il CDO, associato ai Calcari di Mazzarò, è descritto come un complesso costituente acquiferi di modesta trasmissività, eterogenei, sede di falde di ridotta rilevanza, con flussi concentrati nelle porzioni più carsificate e fratturate dell'ammasso. Il complesso CDO affiora in superficie su un'area relativamente ristretta rispetto alla zona per cui è richiesto l'approfondimento di indagini. Si sottolinea che, nel corso del sopralluogo effettuato in quest'area per la predisposizione della proposta tecnica migliorativa, si è osservato che le forme carsiche sono sviluppate in maniera molto pervasiva, con presenza diffusa di cavità pluri-metriche (sia lineari sia circolari), inghiottitoi, fessure incarsite, assenza di rete idrografica superficiale, etc. (Figura 34).

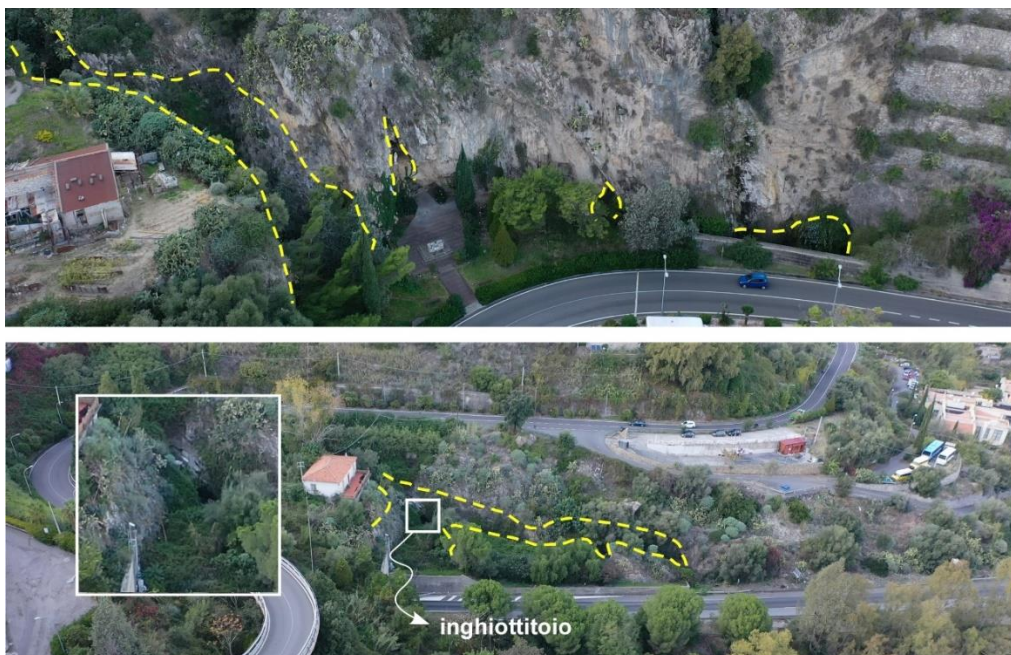


Figura 34 - Forme carsiche (contorno tratteggiato giallo) sviluppate in superficie in corrispondenza del complesso carbonatico tra la pk 14+200 e 13+400.

La permeabilità del complesso non è stata misurata in situ, tuttavia si può qualitativamente valutare come generalmente medio-bassa, indicativamente compresa tra indicativamente 1×10^{-5} e 1×10^{-8} m/s. Dalle osservazioni di superficie fatte nell'ambito della preparazione della proposta tecnica migliorativa si può dedurre che vi siano dei condotti carsici con permeabilità associata anche molto elevata. Non è tuttavia chiaro quanto tali condotti siano sviluppati in profondità e se tali elementi preservino una permeabilità elevata con la profondità oppure se la permeabilità decade fino a valori molto bassi per effetto del riempimento delle cavità carsiche da parte di materiale argilloso sigillante, la cui presenza è stata osservata in alcune stratigrafie di sondaggio.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	39/71

Lateralmente e inferiormente al complesso CDO è presente il complesso CMT, che costituisce un acquifero fessurato di scarsa trasmissività, fortemente eterogeneo e anisotropo, con permeabilità da bassa a molto bassa. Questo complesso, che viene attraversato dalla galleria ferroviaria, è stato indagato dal punto di vista idraulico con una serie di prove Lefranc. Le conducibilità idrauliche ricavate sono mediamente comprese tra 1×10^{-7} e 1×10^{-8} m/s.

Per la zona in esame è possibile ricostruire l'andamento della piezometria basandosi su valori misurati in parte durante una campagna di monitoraggio condotta nel 2003-2004 sui piezometri installati nei sondaggi T2, T3 e T4 nel 2006-2007, sui piezometri S18g e S19g, e su S14D nel 2017-2019; 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 (Figura 35).

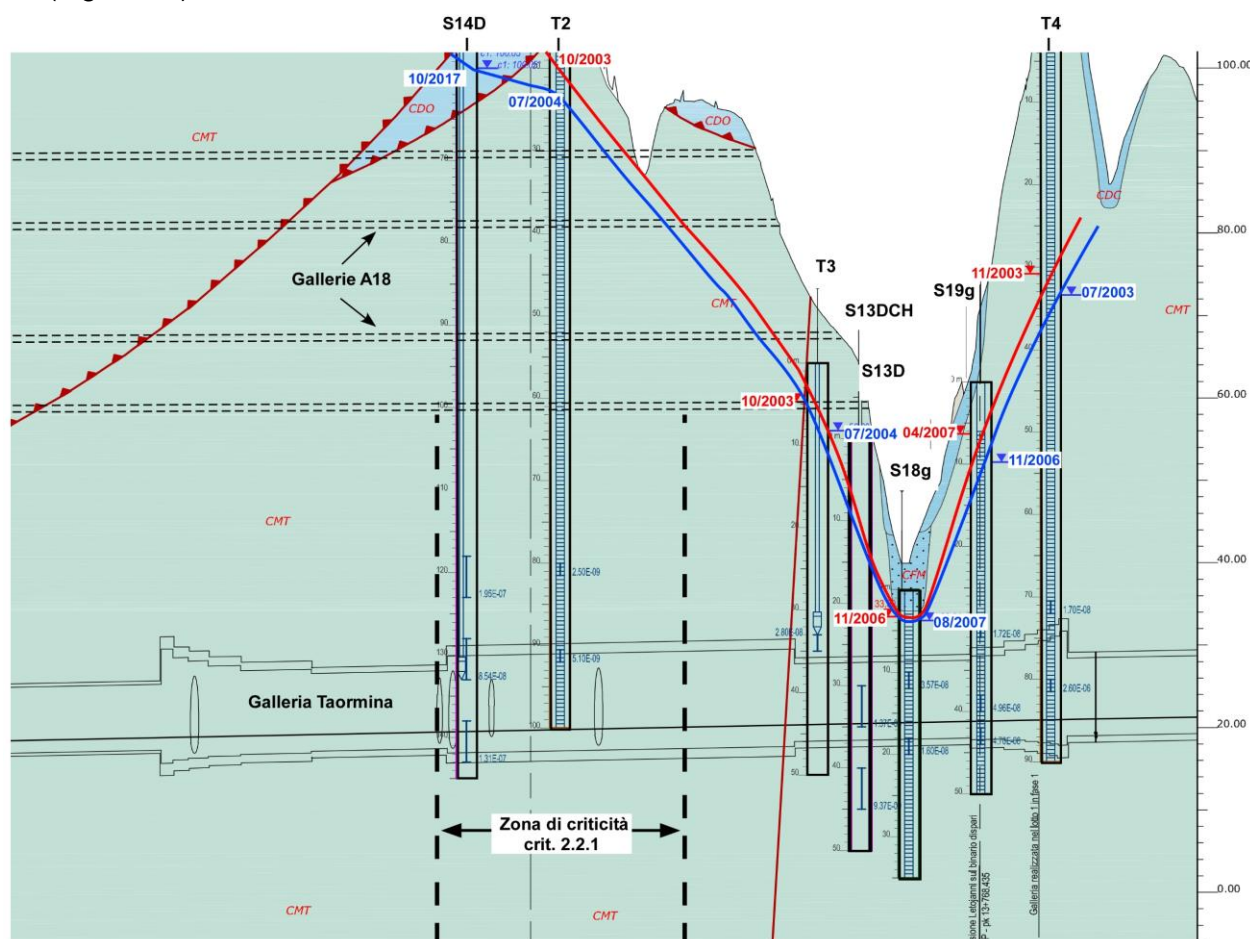


Figura 35 - Ricostruzione della piezometria sullo stralcio di profilo idrogeologico (elaborato di progetto a base gara n° 94 - RS2S01D69F5GE0002004C). Sono riportati i valori piezometrici massimi (in rosso) e minimi (in blu).

I dati a disposizione non permettono di caratterizzare il comportamento idraulico delle faglie osservabili lungo il profilo. È presumibile che, data la bassa permeabilità del complesso CDO, anche le permeabilità lungo faglia rimangano comunque basse. Tuttavia, non è possibile escludere del tutto che alcune faglie a



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

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	40/71

cui è associata una deformazione tettonica pervasiva, possano aver prodotto una fratturazione particolarmente intensa, specie se si sono verificati cicli di fratturazione, circolazione di fluidi nelle fratture, cementazione (frequentemente riportata nelle stratigrafie di sondaggio), e successiva ripresa della deformazione. Questa condizione può determinare infatti la presenza di canali più o meno localizzati ad elevata permeabilità, con associata circolazione di fluidi. La presenza in superficie di condotti carsici potenzialmente molto permeabili e ricaricati direttamente dalla superficie, potrebbe costituire una condizione per la presenza di flussi localmente significativi, sebbene molto localizzati, attivi anche a quote quali quelle del progetto ferroviario.

4.1.3 Assetto geotecnico

A livello qualitativo la caratterizzazione geotecnica dei materiali presenti lungo tracciato della galleria nella zona di interferenza con l'A18 è desumibile dai valori di GSI (*Geological Strength Index*) riportati lungo il profilo geologico del PBG. Nel tratto di interesse, i valori di GSI sono variabili lungo il tracciato: nel tratto verso Catania, dalla pk 12+600 alla 13+200 circa, il GSI attribuito è di 30-45, mentre nel tratto verso Messina, dalla pk 13+200 fino oltre alla 14+000, il GSI attribuito è di 10-30 (elaborato di progetto a base gara n° 87 - RS2S01D69F5GE0001004C).

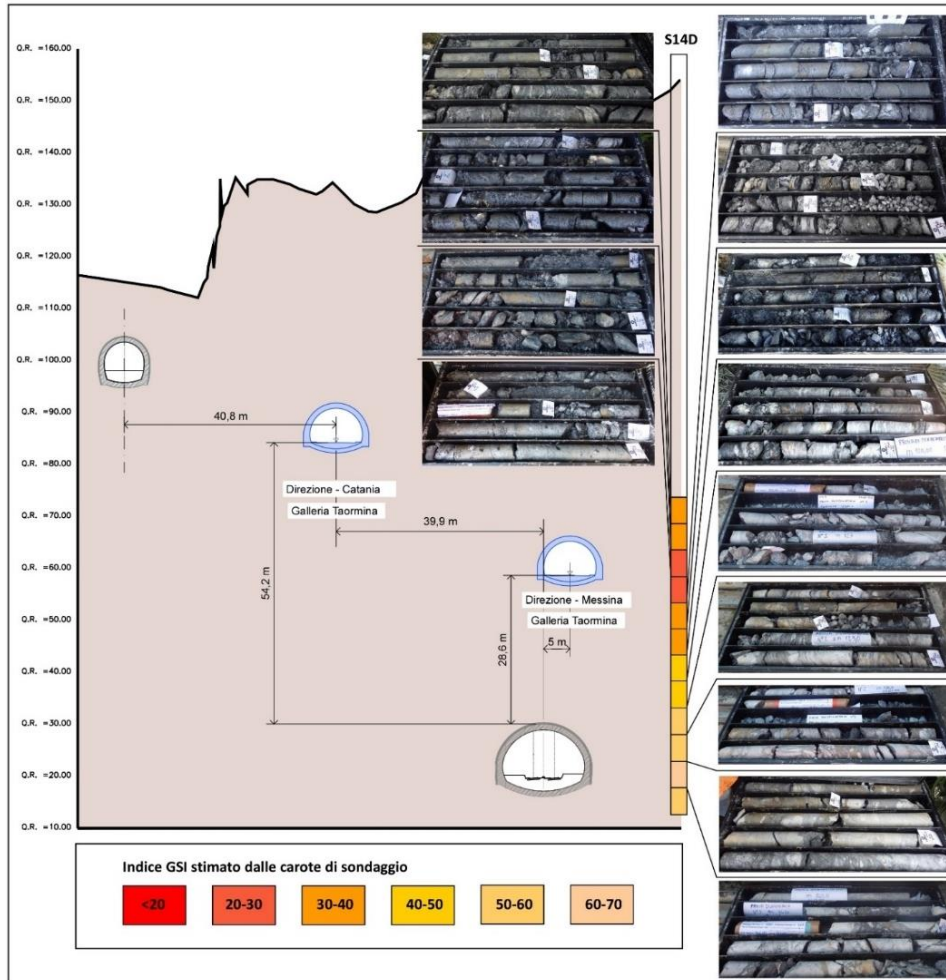


Figura 36 - Ricostruzione dei valori di GSI a partire dalla stratigrafia del sondaggio S14D e proiettando i valori sulla sezione 3_1 al km 13+174.

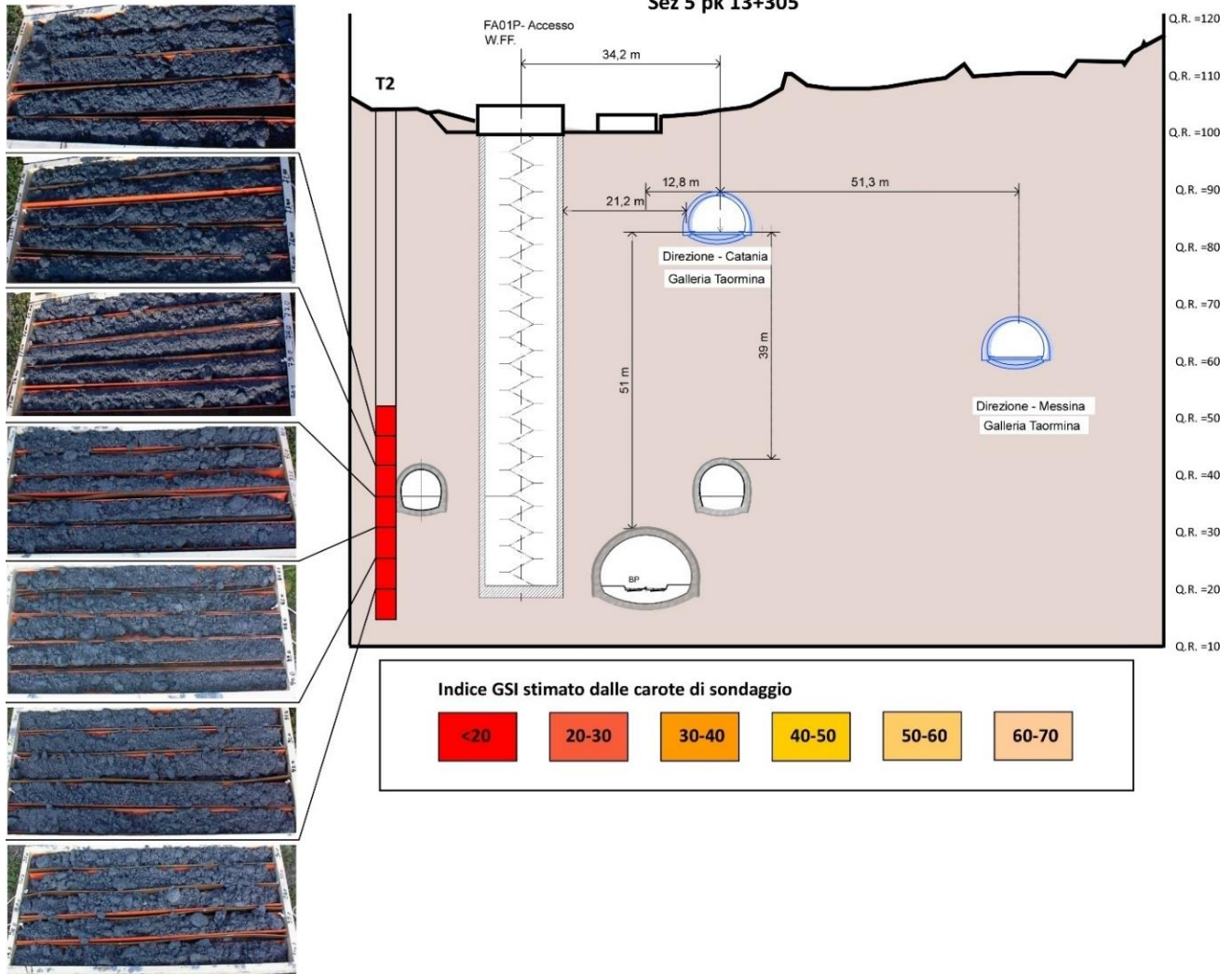


Figura 37 - Ricostruzione dei valori di GSI a partire dalla stratigrafia del sondaggio T2 e proiettando i valori sulla sezione 5 al km 13+305.

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 S14D e del sondaggio T2. I risultati di tale ricostruzione sono proiettati, rispettivamente, in Figura 36 sulla sezione al km 13+174 e in Figura 37 sulla sezione 13+305. Questa ricostruzione consente di valutare la distribuzione dei valori GSI rispetto alla quota delle due canne della Galleria Taormina e delle gallerie dell'A18. Si può notare come dal confronto tra le due figure si possa denotare un contrasto di proprietà geomeccaniche piuttosto marcato. Lungo la sezione al km 13+174 i materiali posseggono caratteristiche compatibili con un GSI medio di 40-50, con decadimenti lungo spessori plurimetri fino a valori pari a 20-30. Nel caso della sezione al km 13+305 si può invece rimarcare come il GSI si attesti su un intervallo di valori costantemente inferiore a 20 lungo tutta la verticale; in questo caso vi sono orizzonti molto spessi in cui le rocce metamorfiche sembrano perdere le proprietà litoidi assumendo le caratteristiche di terreni granulari.

Un'altra indicazione qualitativa inerente all'assetto geotecnico dell'ammasso deriva dall'analisi dei dati geofisici delle cross-hole realizzate in corrispondenza del sondaggio S13Dch posto alla pk 13+600 in corrispondenza degli argilloscisti dell'unità GLD. Come si può osservare dal grafico di sinistra, le velocità di propagazione sono molto basse ($V_p < 2500$ m/s), ad indicazione di scadenti caratteristiche geotecniche dei materiali attraversati.

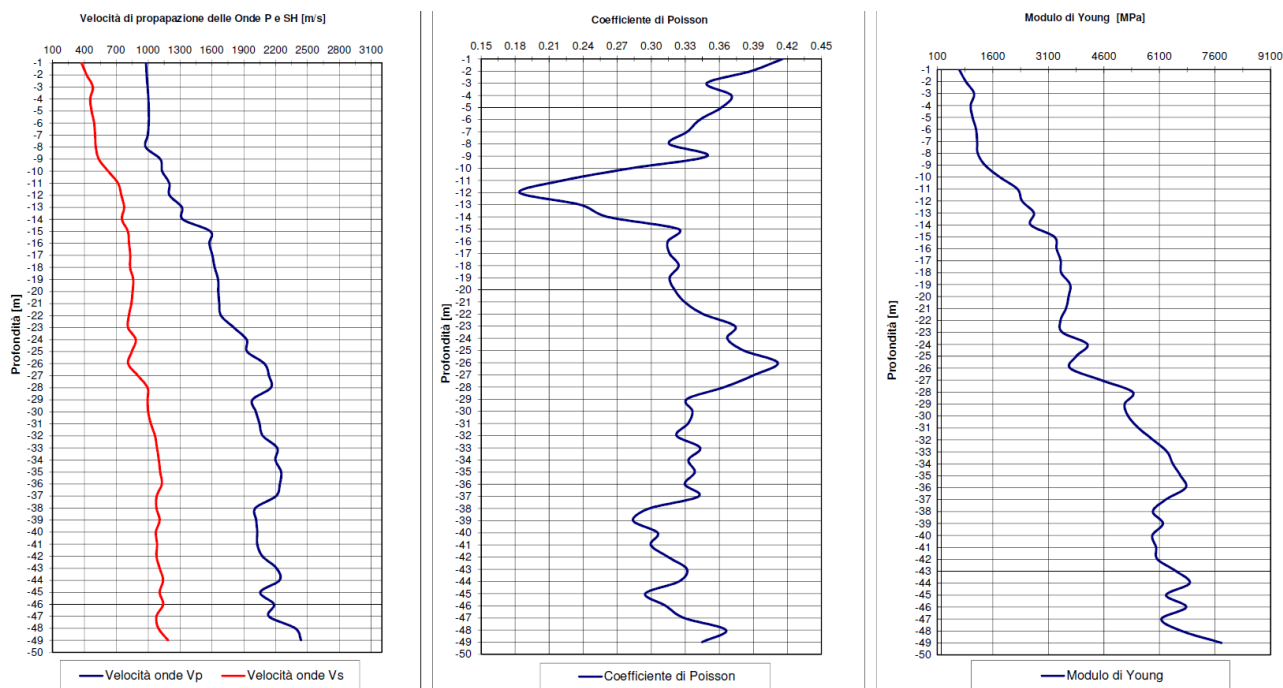


Figura 38 - Propagazione delle onde V_p e V_s e derivazione del coefficiente di Poisson e del modulo di Young per il sondaggio S13D collocato alla pk 13+600 (elaborato di progetto a base gara n° 65 - RS2S00D69IGGE0005002A).

In estrema sintesi, sulla base delle informazioni derivanti dalle indagini eseguite sui materiali dell'unità GLD attraversati dalla galleria Taormina, il PBG fornisce le caratteristiche geotecniche seguenti:

Unità geotecnica	γ (kN/mc)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
FDN/GLD/TAM/(MMF)	24-28	15-35	10-30 30-45	10	10000-15000	0.6-3.0 1.3-4.6	260-830 550-2125

Tabella 8 – Parametri delle unità geotecnica

Tale caratterizzazione viene ripresa nei modelli di riferimento del PBG come di seguito riportato.

Unità geotecnica	Profondità da pc (m)	C (m)	Falda (m da pc)	γ (kN/mc)	ϕ' (°)	c'_k (kPa)	E' (MPa)	ν (-)	k_0 (-)
GLD	>0	120	55	26	31	230	820	0.3	0.8

Tabella 9 - Sezione B2V – analisi di interazione: dati di input.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	44/71

Unità geotecnica	Profondità da pc (m)	C (m)	Falda (m da pc)	γ (kN/mc)	ϕ' (°)	c'_k (kPa)	E' (MPa)	ν (-)	k_o (-)
GLD	0-20	75	15	24	29	34	290	0.3	0.8
GLD	20-50			26	26	80	320	0.3	0.8
GLD	<50			26	25	145	400	0.3	0.8

Tabella 10 - Sezione C2V – analisi di interazione: dati di input.

4.2 INCERTEZZE E CRITICITA'

4.2.1 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 13+100 e 13+400, illustrate anche nell'elaborato grafico 2.2.1 - Tavola N. 6:

- **Geologia.** L'assetto geologico-strutturale del settore in oggetto è caratterizzato da un'intensa deformazione tettonica che interessa le rocce appartenenti all'Unità tettonica di Gallodoro. Le evidenze di terreno indicano 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 (pluridecamentrico) 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 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. Va tuttavia specificato che all'interno della zona oggetto dell'approfondimento sembrerebbero essere presenti anche domini (litoni) caratterizzati da minore grado di deformazione. I domini apparentemente meno deformati sembrerebbero essere sviluppati dalla pk 13+100 alla 13+200 ca., mentre quelli più deformati si estenderebbero dalla pk 13+200 alla 13+400;
- **Idrogeologia.** L'assetto idrogeologico dell'area è caratterizzato dalla presenza di un complesso superiore carbonatico (CDO), da poco permeabile a localmente anche molto permeabile a causa di un carsismo molto pervasivo sviluppatosi in corrispondenza di zone di fratturazione e faglie, e di un complesso inferiore metamorfico (CMT) caratterizzato da permeabilità basse-molto basse. I carichi idraulici insistenti sulla galleria tra la pk 13+100 e 13+400 sono dell'ordine di 6-10 bar e sembrano seguire il profilo topografico, condizione che parrebbe in coerenza con la presenza di un ammasso di bassa permeabilità. Tuttavia, non vi sono sufficienti dati che permettano di escludere che anche nel complesso CMT di bassa permeabilità siano presenti locali condotti permeabili in corrispondenza di zone di fratturazione particolarmente intense, con influssi importanti diretti anche alle quote della galleria ferroviaria;

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	45/71

- Geotecnica. Similmente a quanto osservato per l'assetto geologico, anche l'assetto geotecnico risulta essere influenzato dalla presenza di domini ad intensa deformazione tettonica intervallati da domini relativamente meno deformati. Ove lo stato di fratturazione è elevato, il materiale reperito dai sondaggi ha subito un consistente effetto di decadimento delle caratteristiche geomeccaniche dello stesso. In molte zone si osserva che il deterioramento delle 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.

4.3 CRITICITÀ CONNESSE ALLE INCERTEZZE SUL MODELLO GEOTECNICO

Le incertezze conoscitive sopra discusse si ripercuotono in alcune potenziali criticità relative sia alla correttezza delle assunzioni progettuali sia ai possibili rischi costruttivi della Galleria Taormina e sia, ovviamente, in termini di sottovalutazione dei rischi di interferenza con le gallerie autostradali dell'A18.

La probabile presenza di faglie non cartografabili, perché non evidenti dalla superficie, e che potrebbero intercettare per lunghe tratte il tracciato della galleria Taormina 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. Va definita una zonazione quanto più precisa possibile delle aree deformate e dei domini meno deformati (lioni). La potenziale presenza di zone di intensa fratturazione entro le quali vi siano dei flussi canalizzati alimentati dalla circolazione carsica superiore va attentamente indagata per evitare che in corso di scavo si verificino afflussi elevati e inattesi in galleria.

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 Taormina, in modo da poter effettuare un'opportuna progettazione delle opere quanto più coerente possibile con l'effettivo assetto geologico-strutturale e idrogeologico dell'ammasso da attraversare.

4.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.4.1 Quadro sinottico delle indagini

Alla luce del contesto geologico, idrogeologico e geotecnico 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 situ e in laboratorio.

Le indagini dirette comprendono la realizzazione di:

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	46/71

- **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;
- **5 sondaggi verticali a carotaggio continuo** con tecnica wireline, di profondità variabile tra 100 e 160 m e **1 sondaggio inclinato di 45° a carotaggio continuo** e di lunghezza di 100 m. **Cinque sondaggi** sono ubicati in corrispondenza del tracciato della Galleria Taormina, mentre un sondaggio è ubicato all'esterno del tracciato, in prossimità del pozzo verticale corrispondente alla Stazione Lumbi.

Le indagini indirette comprendono la realizzazione di:

- **3 prove sismiche cross-hole** su triplette di fori;
- **5 stendimenti di sismica VSP** (*Vertical Seismic Profile*) con acquisizione dei dati nei fori verticali;
- **acquisizioni acoustic televiewer (ATV) lungo le 5 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 prove dilatometriche e pressiometriche, in funzione del tipo di materiale intercettato, per una valutazione del comportamento tenso-deformativo ed una valutazione diretta delle caratteristiche di deformabilità e rigidità dei materiali.

Le indagini geotecniche di laboratorio comprendono prove di caratterizzazione delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali, sia per roccia intatta che per materiale roccioso alterato/terreni, e prove di fresabilità, necessarie alle valutazioni sulle caratteristiche della macchina di scavo.

La vista in pianta e in profilo lungo il tracciato di linea delle indagini sopra indicate è riportata rispettivamente in Figura 39 e in Figura 40. La Figura 41 riporta l'ubicazione delle indagini in vista 3D.

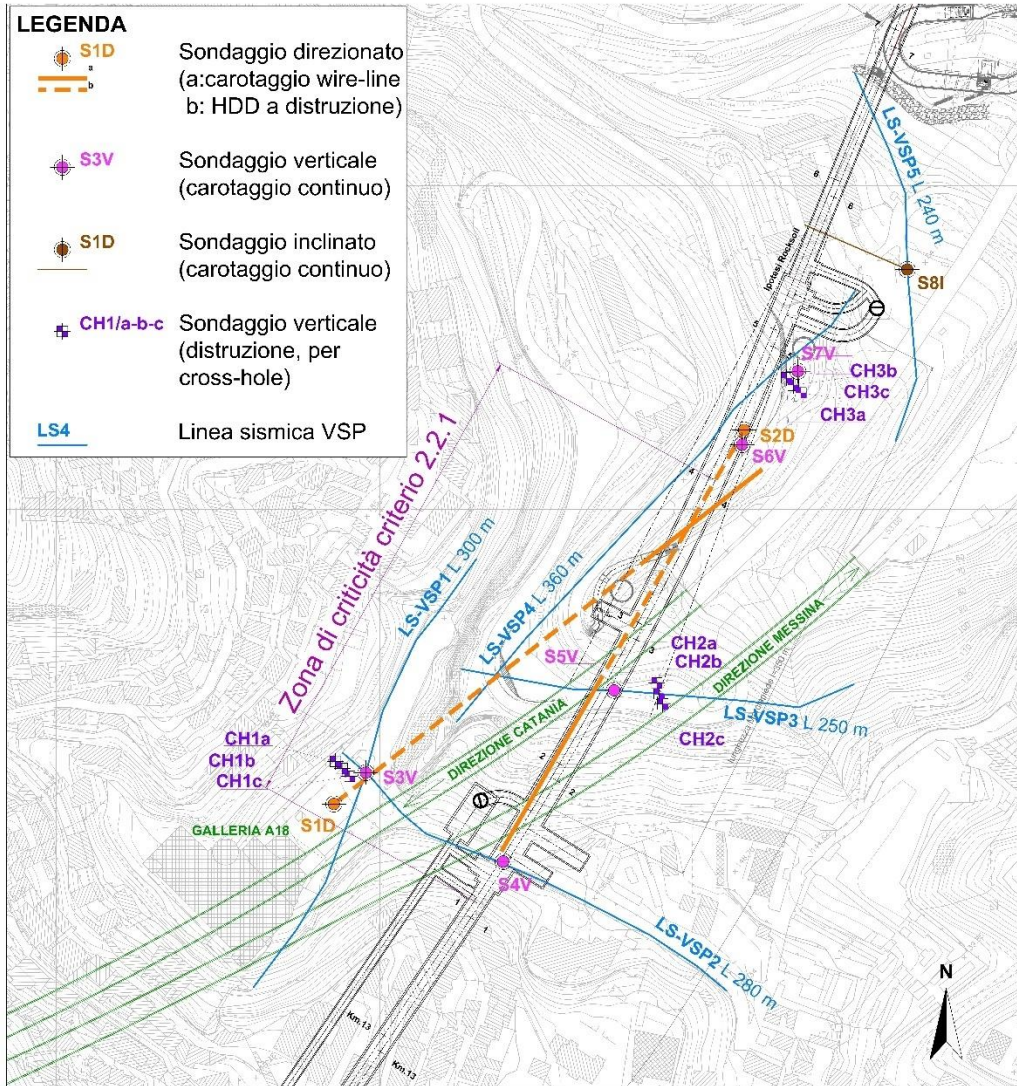


Figura 39 – Vista in pianta con ubicazione delle indagini proposte. In verde è riportato il tracciato delle gallerie dell'autostrada A18.

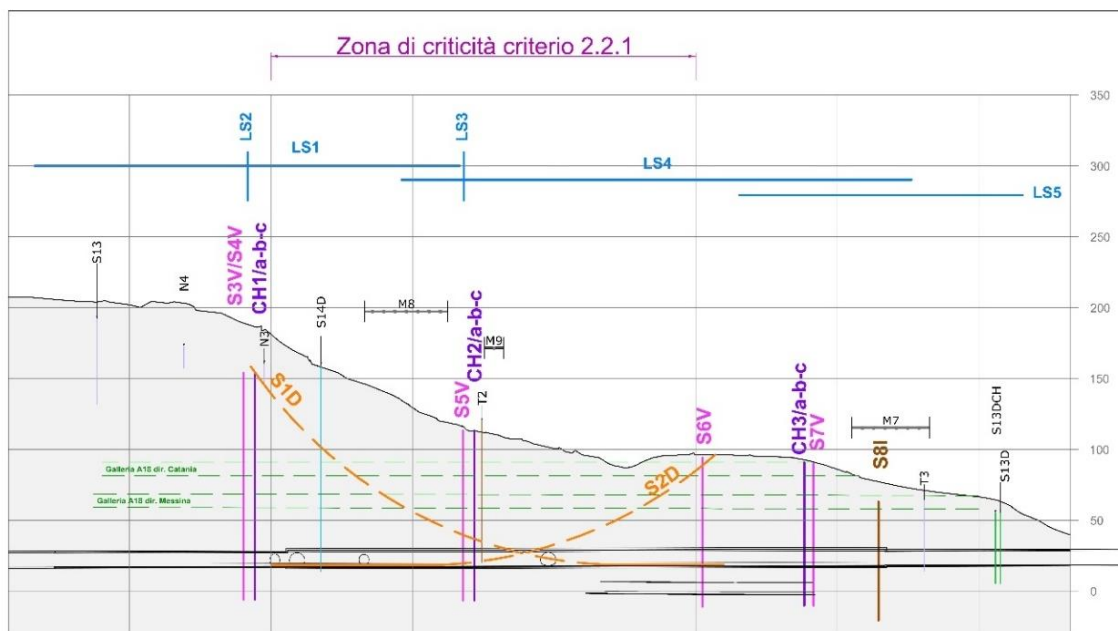


Figura 40 – Profilo con ubicazione delle indagini proposte. Per i colori delle linee di indagine si faccia riferimento alla legenda della Figura 39.

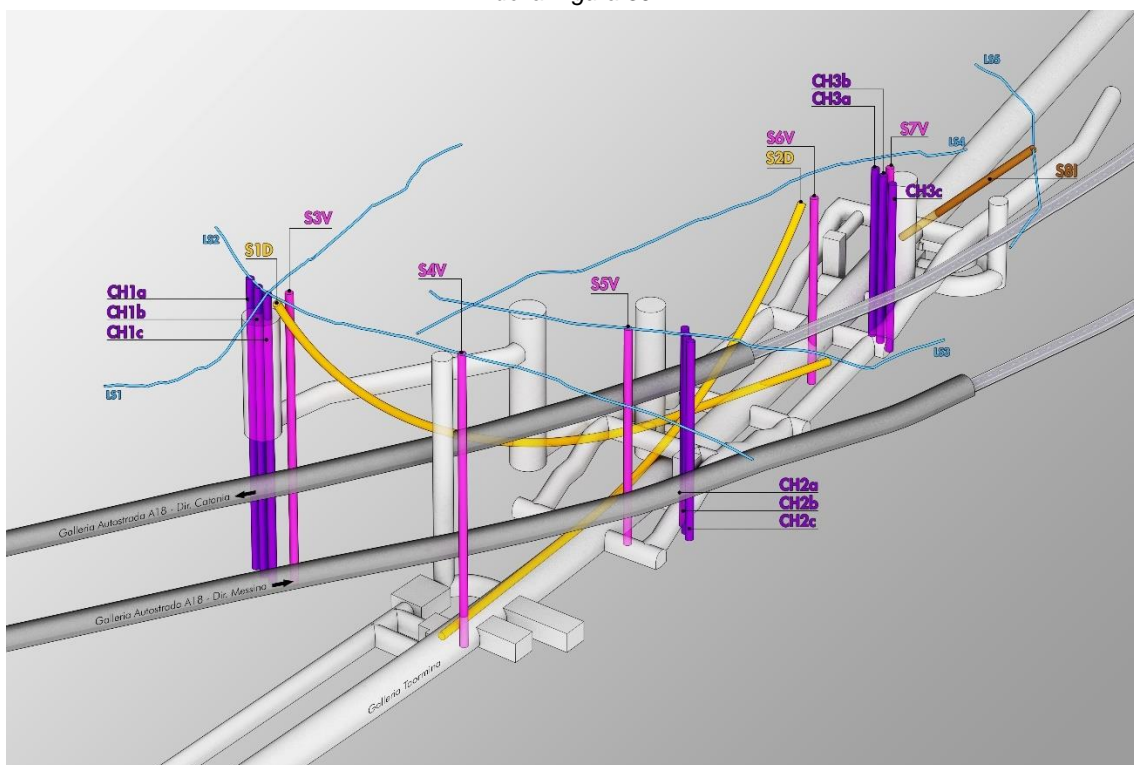


Figura 41 – Vista 3D dello schema tipologico tridimensionale delle indagini dirette (sondaggi) e indirette (linee sismiche) incluse nella presente proposta di indagini integrative. Per i colori delle linee di indagine si faccia riferimento alla legenda della Figura 40. Inoltre, sono illustrati i dettagli delle opere principali della Stazione di Taormina.

4.4.2 Indagini dirette

La descrizione delle caratteristiche dimensionali e l'ubicazione degli 8 sondaggi che verranno realizzati sono riportate nella tabella 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 rettilineo inclinato a 27° (dalla verticale) L=10 m - curva R=320 m L=285 m – tratto sub-orizzontale L=85 m - lunghezza totale 380 m	Est: 2545372 Nord: 4190018	380	N52E	295	85
S2D	Sondaggio direzionato da realizzarsi con tecnica HDD nel primo tratto e carotaggio wireline orizzontale nel secondo - tratto rettilineo inclinato a 42° (dalla verticale) L=10 m - curva R=320 m L=205 m – tratto sub-orizzontale L=120 m; lunghezza totale 335 m	Est: 2545625 Nord: 4190249	335	N210E	215	120
S3V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo con piezometro.	Est: 2545391 Nord: 4190037	160	-	-	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: 2545476 Nord: 4189982	160	-	-	160
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: 2545545 Nord: 4190088	120	-	-	120
S6V	Sondaggio verticale a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo con piezometro.	Est: 2545624 Nord: 4190240	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: 2545659 Nord: 4190285	100	-	-	100
S8I	Sondaggio inclinato a 45°, a carotaggio continuo - con prove e misure in foro - prelievo campioni per prove di laboratorio - Equipaggiamento perforo per rilievi geofisici.	Est: 2545726 Nord: 4190348	100	-	-	100

Tabella 11 - descrizione delle caratteristiche geometriche ed ubicazione dei sondaggi proposti.

Sondaggi direzionati

Saranno realizzati **2 sondaggi direzionati** (S1D e S2D) 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 (nel caso di S2D) **su una lunghezza di 120 m**, e a basso angolo rispetto ad essa (nel caso di S1D) **su una lunghezza di 85 m**.

Le caratteristiche geometriche e dimensionali dei due sondaggi che verranno realizzati con la combinazione di queste due metodologie sono riportate in Figura 42.

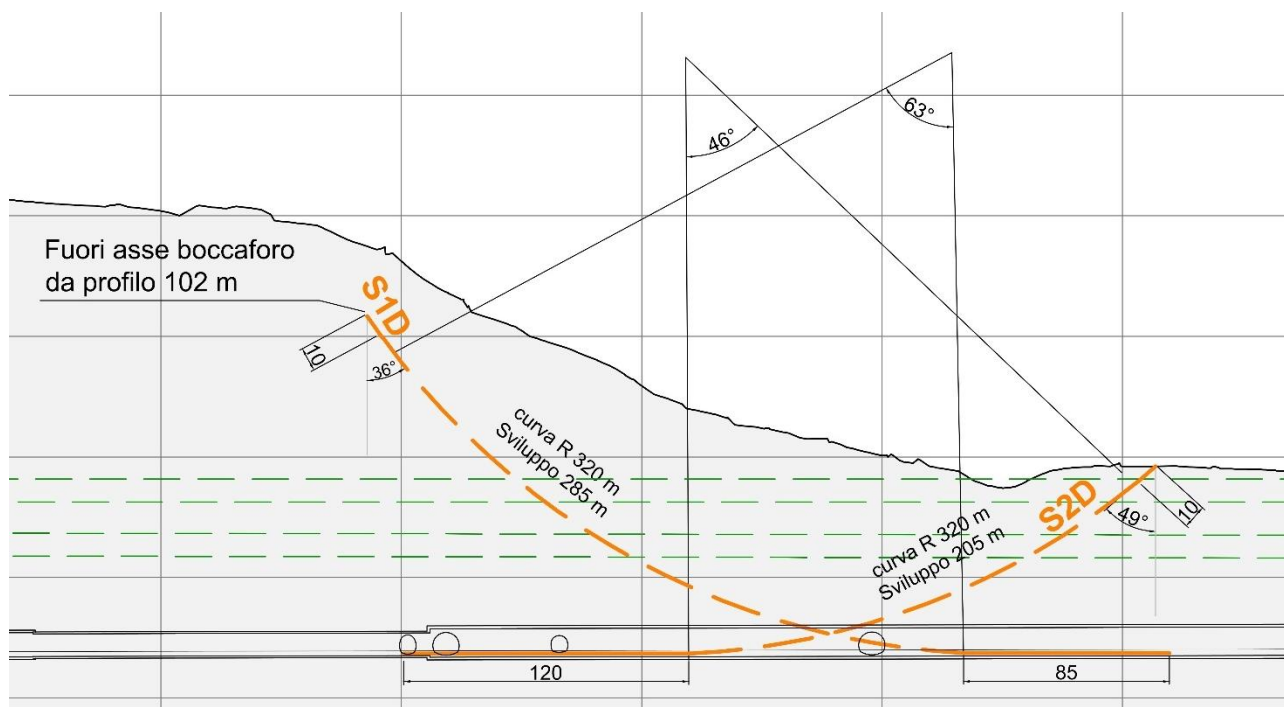


Figura 42 – Caratteristiche dimensionali dei sondaggi direzionati. Con la linea tratteggiata i tratti da eseguire a distruzione di nucleo con tecnica DHH; con la linea continua i tratti da realizzare a carotaggio continuo con tecnica wire-line

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

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	51/71

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.

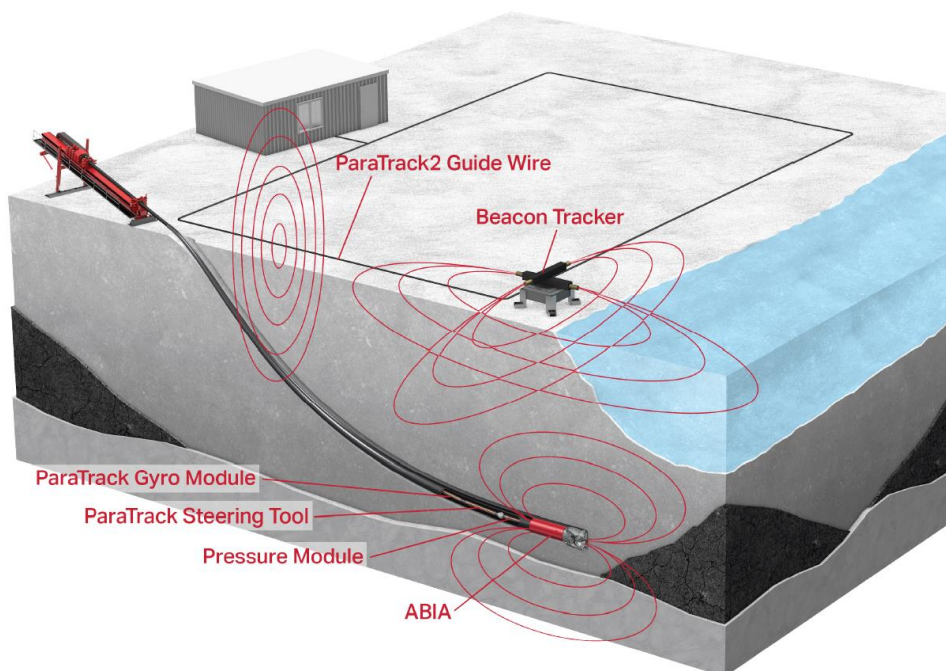


Figura 43 – Schema di funzionamento della “filoguida” basata sull'emissione di un campo elettro-magnetico generato in superficie che permette di controllare precisamente la direzione di avanzamento del sondaggio.

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 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. Con l'avanzamento del foro pilota, si procederà contiguamente con l'alesaggio del foro, operazione effettuata tramite un alesatore del tipo mostrato in Figura 43. Questa operazione ha il duplice scopo di consentire sia l'estrazione senza incastrì 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.

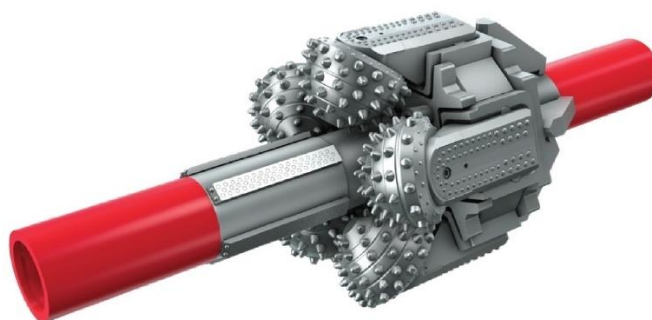


Figura 44 – Immagine del segmento di un alesatore utilizzato per l'allargamento del diametro del foro e il posizionamento della colonna di rivestimento.

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 line arancione continua in Figura 40 e Figura 42, tramite carotaggio continuo (schema di esempio di Figura 43). 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 45), 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.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	53/71



Figura 45 – 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.

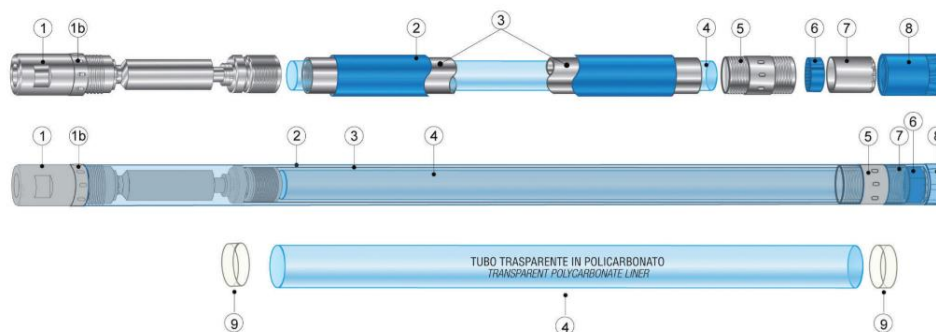
Si sottolinea nuovamente l'**assoluta innovatività di questa tipologia di perforazione che per l'appunto è stata progettata in esclusiva per l'esecuzione della campagna di indagini integrative**. Si rimarca che tale metodologia, frutto della combinazione di due tecniche utilizzate separatamente, è stata 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.

Sondaggi verticali e inclinati a carotaggio continuo

È prevista la realizzazione di **5 sondaggi verticali** (S3V, S4V, S5V, S6V, S7V) e di **1 sondaggio inclinato a 45°** (S8I), la cui ubicazione è mostrata in Figura 40. I sondaggi verticali avranno lunghezze fino a 160 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 polycarbonato / Polycarbonate liner
5	Nipplo alesatore / Reamer nipple
6	Estrattore a molla / Core lifter
7	Porta estrattore / Core lifter case
8	Corona / Bit
9	Tappo / Cap

Figura 46 – Caratteristiche tecniche di un carotiere triplo di tipo T6T.

4.4.3 Indagini indirette

Indagini in foro

Nei **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.

Il log ATV si serve di un trasduttore rotante ad alta frequenza, il quale funziona sia da trasmettitore che da ricevitore (Figura 47). 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.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	55/71

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 47 – Immagine di un sensore da foro di acquisizione acustica ATV.

L'acquisizione delle immagini acustiche (Figura 48) 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'orientamento del campo di sforzo.

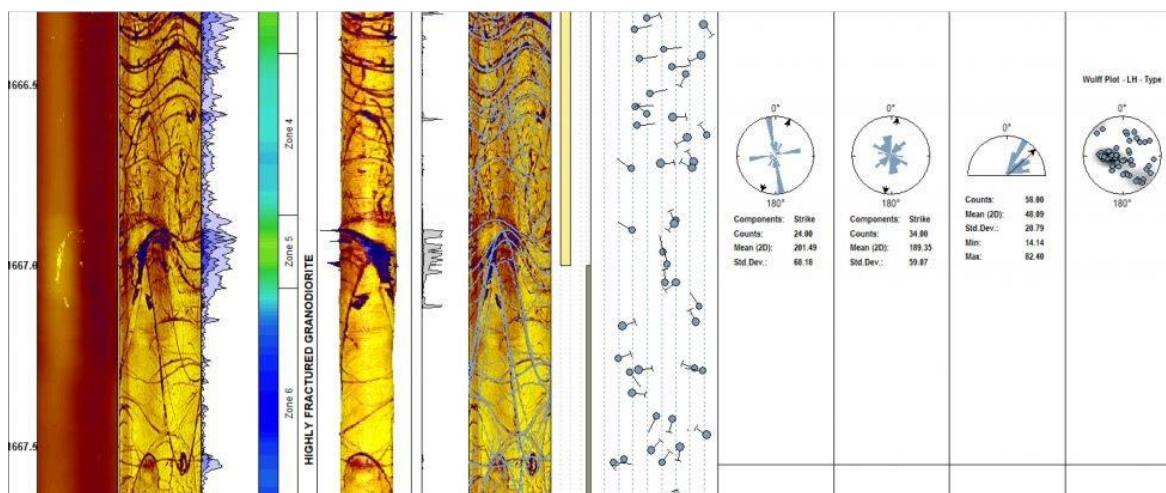


Figura 48 – Acquisizione di dati con la metodologia acoustic televiewer (ATV) e ricostruzione delle superfici orientate spazialmente, con statistica di riferimento.

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.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI SISTEMA	COMMESSA RS5M	LOTTO 01	CODIFICA EZZ	DOCUMENTO RGGE0005001	REV. A	PAG. 56/71

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.

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 12 – 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 39.

Indagini cross-hole Vp-Vs

Il rilievo cross-hole verrà eseguito su tre terne di fori (CH1a-CH1b- CH1c, CH2a-CH2b- CH2c e CH3a-CH3b- CH3c) su fori di 100 m di profondità (Tabella 13). 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 49). 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	140	N300°E
CH1b		
CH1c		
CH2a	140	N340°E
CH2b		
CH2c		
CH3a	95	N300°E
CH3b		
CH3c		

Tabella 13 – Geometria delle terne di perforazioni per esecuzione di prove Cross-Hole

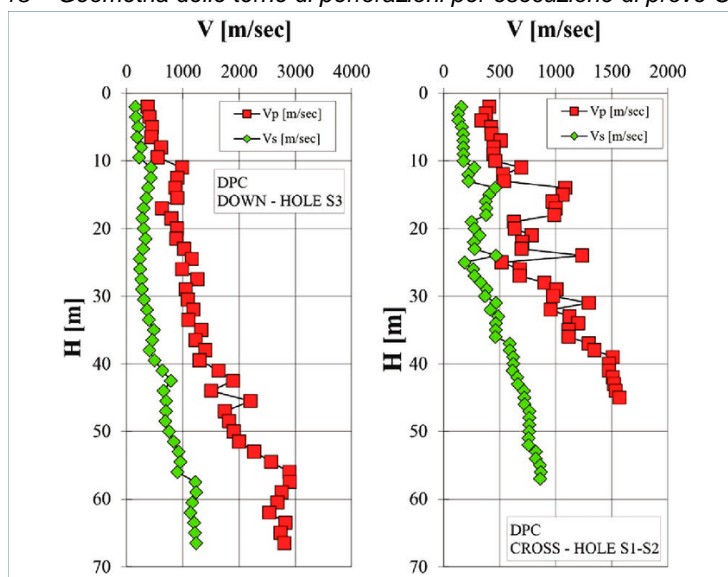


Figura 49 – Esempio di variazioni dei valori Vp e Vs con la profondità in differenti fori utilizzati per le cross-hole.

Dalle ricostruzioni tomografiche delle Vp e Vs 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 49.

Le prove cross-hole saranno realizzate entro fori con diametro utile di 76 mm, 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 meccanico mediante massa battente (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.

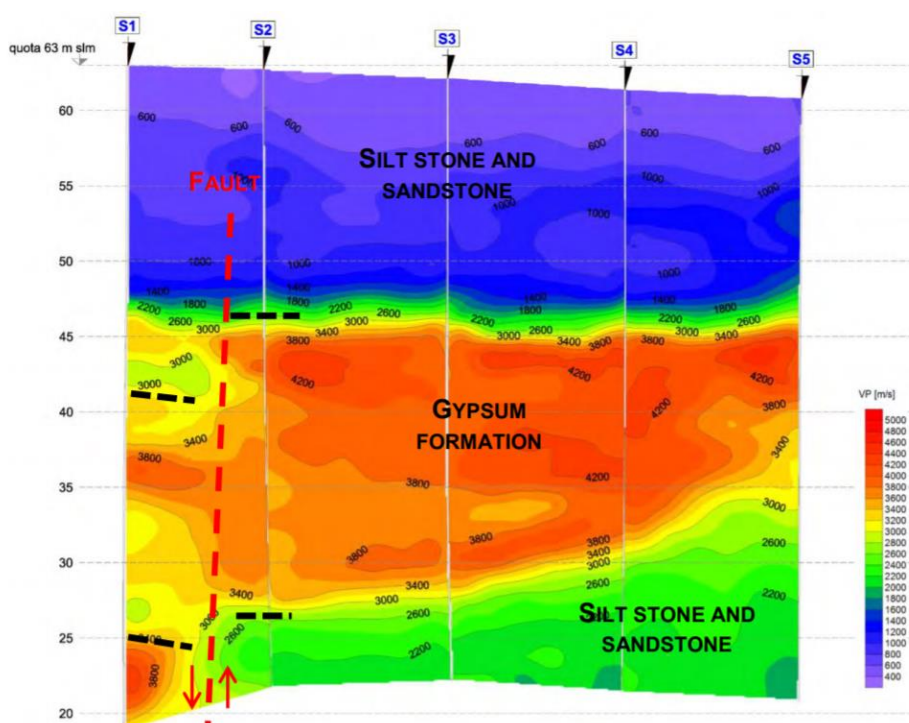


Figura 50 – Tomografia sismica di onde Vp ottenuta da indagini cross-hole combinate, con interpretazione geologico-strutturale sovrapposta.

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 39). La lunghezza complessiva degli stendimenti sismici che verranno realizzati sarà di ca.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

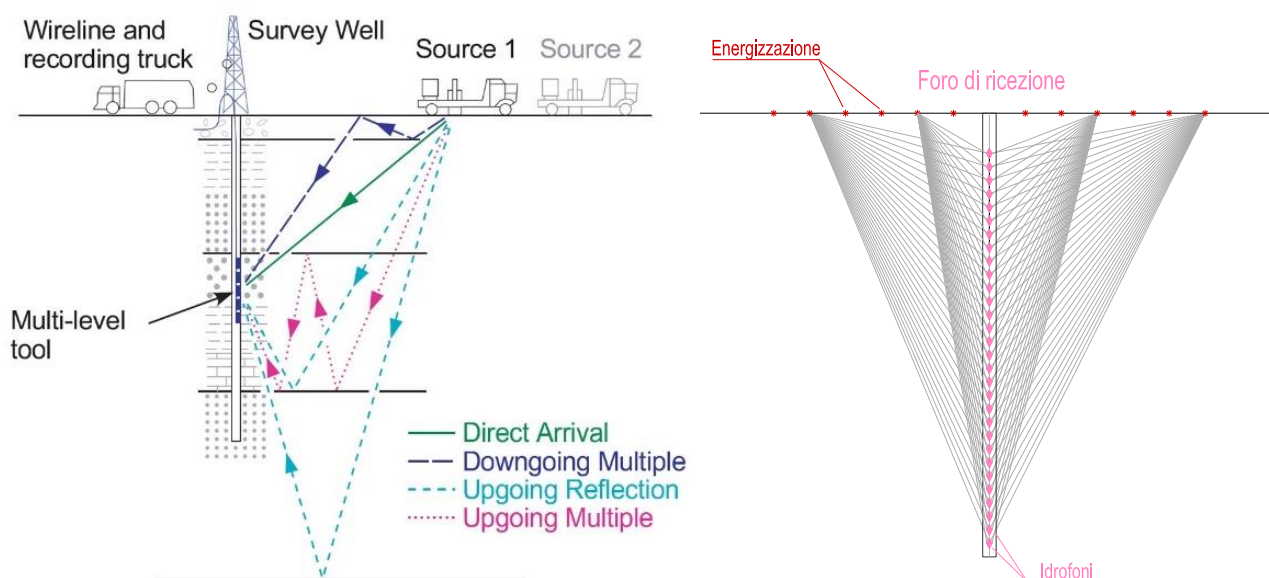
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	59/71

1400 m. Lo schema indicativo di realizzazione dell'indagine, con le linee sismiche di energizzazione e i fori di acquisizione è riportato nella tabella seguente.

CODICE	POSIZIONE RISPETTO AD ASSE OPERA	LUNGHEZZA (m)	SONDAGGI DI ACQUISIZIONE/PROFONDITA'
LS-VSP1	Trasversale a basso angolo	300	CH1/160
LS-VSP2	Trasversale ad alto angolo	235	CH1/160, S4V/160
LS-VSP3	Trasversale ad alto angolo	275	CH2/120
LS-VSP4	Longitudinale	195	S6I/160, CH2/120, S7V/100, CH3/100
LS-VSP5	Trasversale a basso angolo	280	S9I

Tabella 14 – 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 una griglia. Lo schema esemplificativo della geometria di acquisizione è illustrato in Figura 51. 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.



PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	60/71

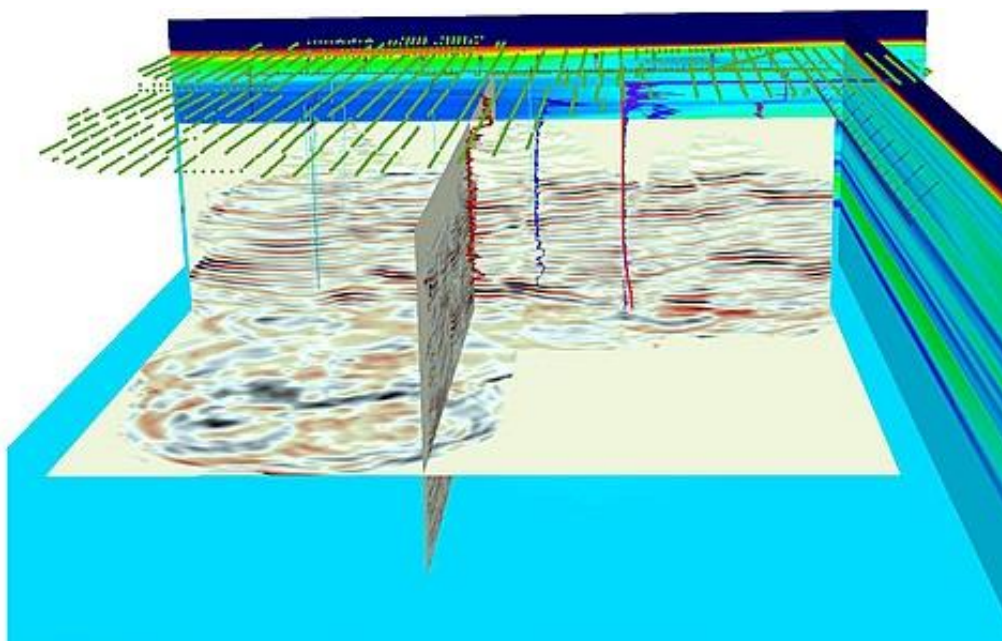
Figura 51 – Schema di realizzazione delle indagini VSP (immagine a sinistra) e schema della geometria dei punti di energizzazione e degli idrofoni di acquisizione (immagine a destra).

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 52), 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 52 – 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.



	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI SISTEMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	61/71

Figura 53 – Immagine 3D derivata da acquisizione multi-well con modello di velocità, traiettorie dei sondaggi, e punti di energizzazione.

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 53), 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.

4.4.4 Prove idrauliche

Un aspetto noto nella letteratura scientifica dedicata alle prove idrauliche in sottoterraneo 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.

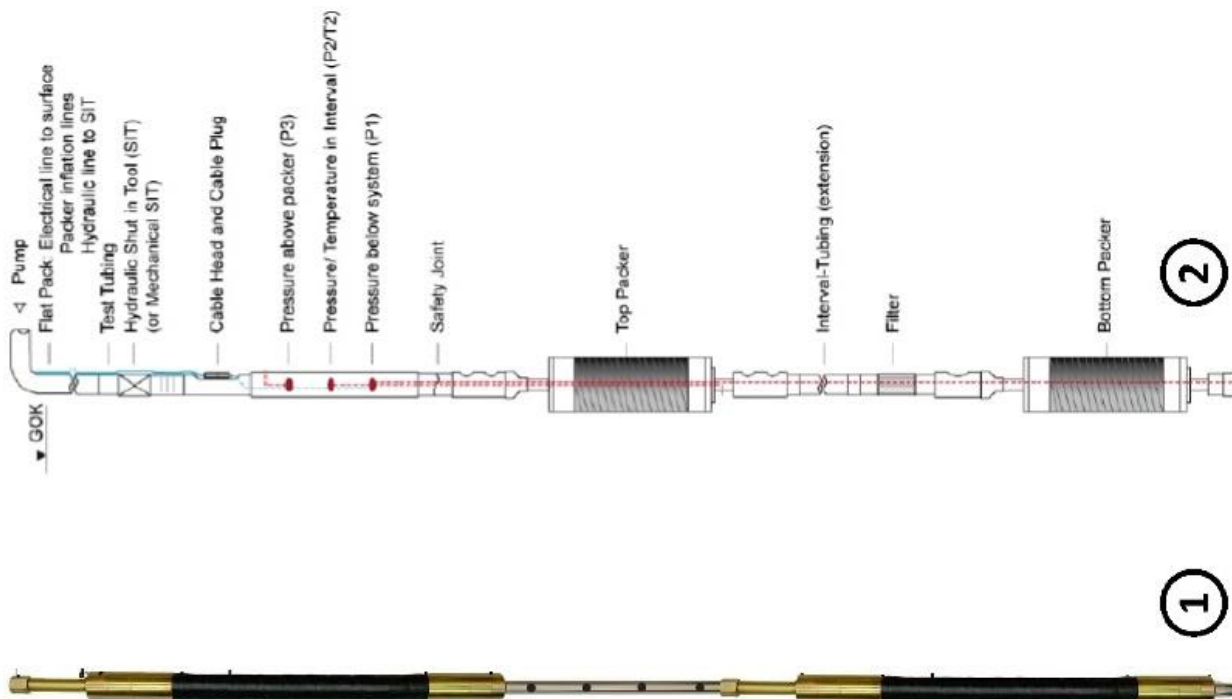


Figura 54 – Immagine di un dispositivo a doppio otturatore (1), sensori applicati a un dispositivo a doppio otturatore per la lettura dei parametri di pressione (2).

La sequenza di fasi che si susseguiranno nell'ambito dei test idraulici che verranno realizzati è schematizzata in Figura 55. Tale sequenza, che può essere modulata in funzione delle caratteristiche

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	63/71

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).

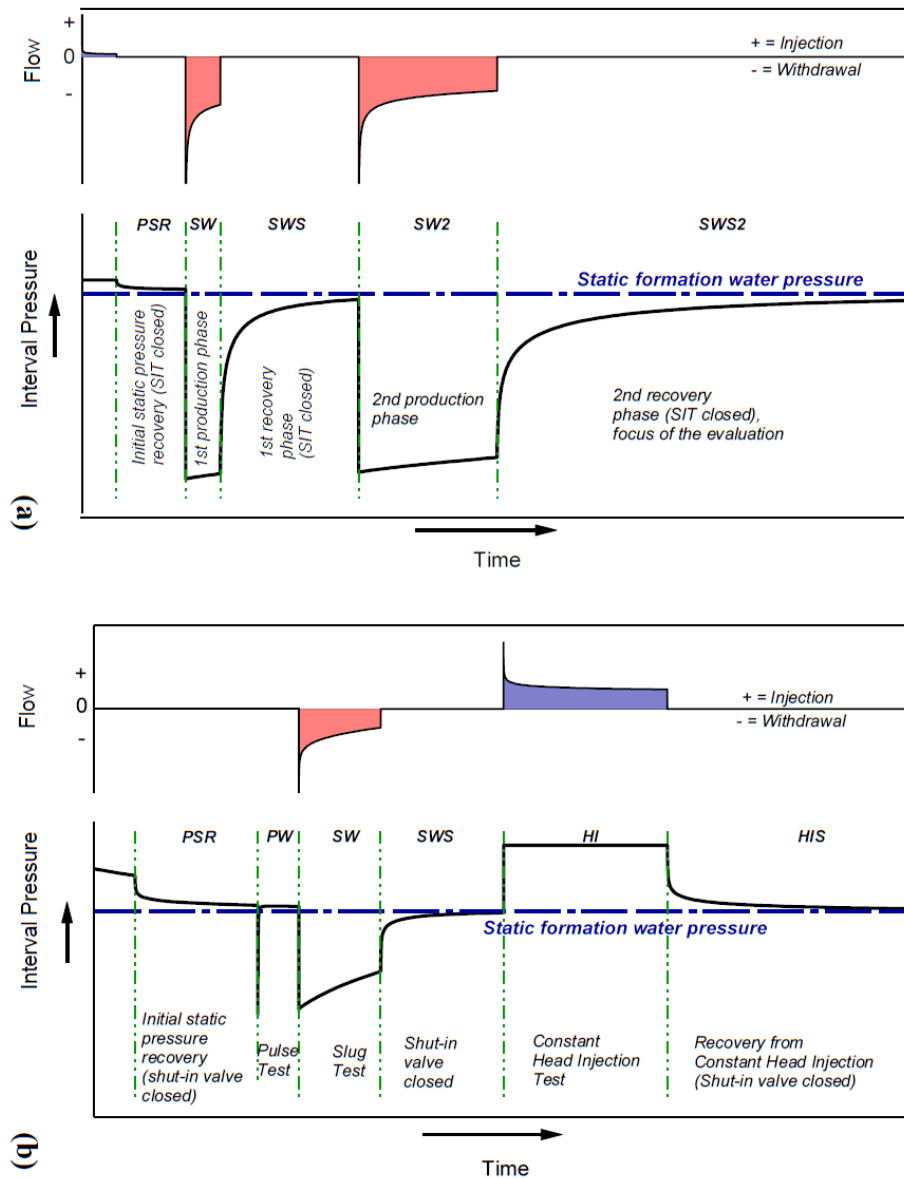


Figura 55 – Curve di pressione e di flusso relative ad un test DST (a), e una tipica sequenza di test idraulici realizzati in un mezzo di bassa-media permeabilità.

	LINEA FERROVIARIA CATANIA - MESSINA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	PROGETTO ESECUTIVO					
RELAZIONE DI SISTEMA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
	RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	64/71

L'approccio utilizzato, con la sequenza specifica di prove da eseguire, consente di sfruttare delle peculiarità di ciascuna prova che, combinate insieme, permettono 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) 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 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 5 fori verticali (S3V, S4V, S5V, S6V e S7V)**. 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; cfr. paragrafo 4.4.3) 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.

4.4.5 Prove in situ e in laboratorio

1.1.1.2 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.

Le 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;

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	65/71

- 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.

1.1.1.3 Prove geotecniche di laboratorio

Si riportano nelle seguenti tabelle le prove di laboratorio previste, suddividendo quelle fisiche e meccaniche da quelle previste per la determinazione della fresabilità dei materiali (cfr. 2.2.1 - Tavola N. 12).

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 80 e quota 0 m slm	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
S8I	10	5		15	15	5	5	10	5	5	5	2	3
tot	82	43			125	125	43	41	82	43	43	43	17

Tabella 15 – Dettaglio del campionamento e delle prove geotecniche di laboratorio proposte.

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	66/71

CODICE SONDAGGIO	Analisi petrografica su sezione sottile	Analisi diffrattometrica	Tenore in silice	Indice di abrasione CERCHAR (CAI Index) sulla media di 4 prove	Prova di frammentazione NHT ed indice di fragilità S20 sulla media di 3 provini	Prova di perforabilità metodo Sievers'-J sulla media di 3 provini	NTNU Abrasion Test (AV)-abrasione su utensili da scavo	NTNU Abrasion Test (AVS)-abrasione su dischi TBM in acciaio
S1D	2	2	2	3	3	3	3	3
S2D	3	3	3	4	4	4	4	4
S3V	1	1	1	3	2	2	2	2
S4V	1	1	1	3	2	2	2	2
S5V	1	1	1	3	2	2	2	2
S6I	1	1	1	3	2	2	2	2
S7V	1	1	1	3	2	2	2	2
S8I	1	1	1	3	2	2	2	2
tot	11	11	11	25	18	18	18	18

Tabella 16 – Dettaglio delle ulteriori prove di laboratorio utili alla caratterizzazione della fresabilità delle rocce.

5 INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Lo scopo delle seguenti indagini è quello di acquisire campioni del sottosuolo per l'accertamento dei dosaggi di tensioattivi e delle relative valutazioni ecotossicologiche.

A tal fine sono stati posizionare 4 diverse verticali di indagine per l'acquisizione di materiale litologico da sottoporre alle previste analisi di laboratorio geotecniche e ecotossicologiche, con le modalità esecutive di seguito illustrate.

Sondaggio S11 - caratterizzazione di PDTa (argille limose, argille marnose, marne argillose)

Ubicazione: in corrispondenza del tracciato di linea alla pk 5+320 (G. Calatabiano)

Lunghezza: 30 m

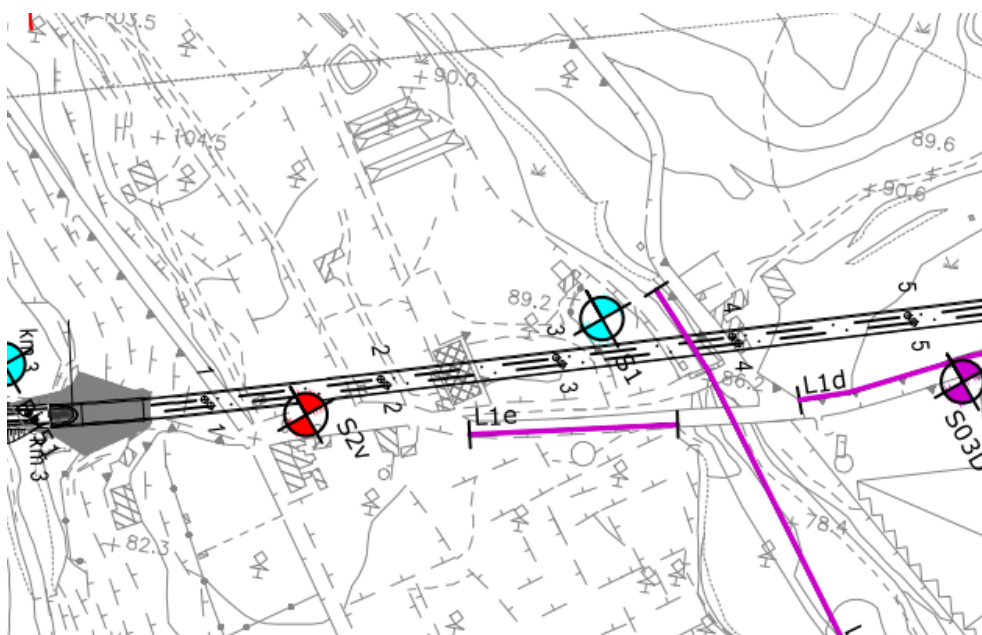


Figura 56 – Stralcio planimetrico con ubicazione del sondaggio S1

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI SISTEMA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
RS5M	01	EZZ	RGGE0005001	A	68/71

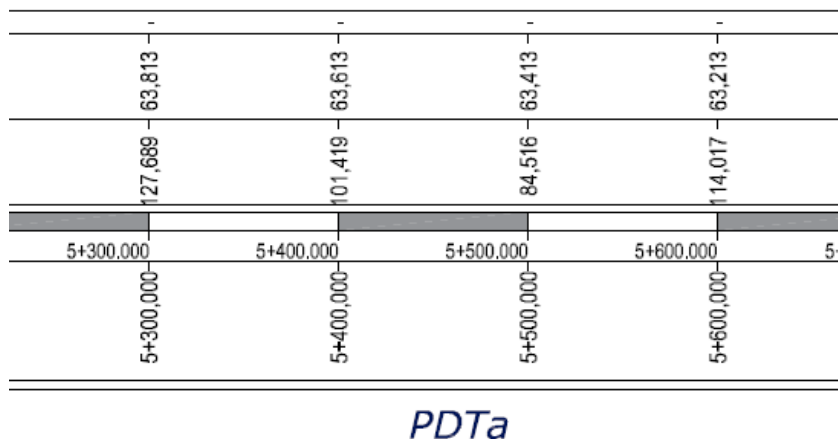
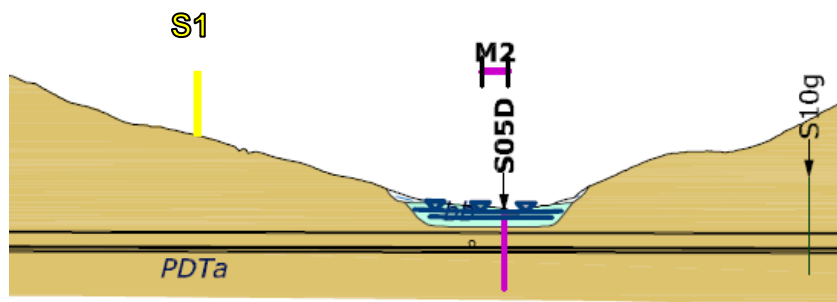


Figura 57 Stralcio del profilo geologico del PD con ubicazione del sondaggio S1

Sondaggio S12 - caratterizzazione di GLD (epimetamorfiti del Vallone Letojanni, argiloscisti grigio scuro)

Ubicazione: a ca. 75 m a ovest del tracciato (pk 13+700)

Lunghezza: 30 m

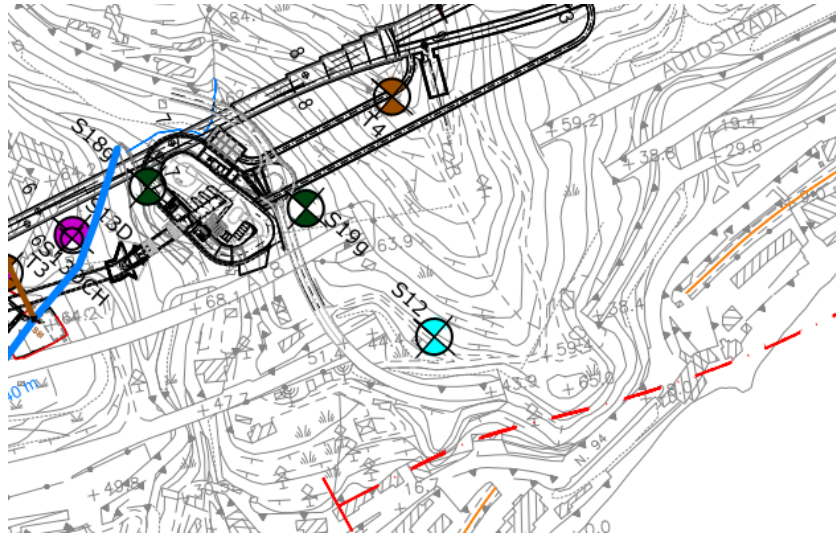


Figura 58 – Stralcio planimetro del sondaggio S12

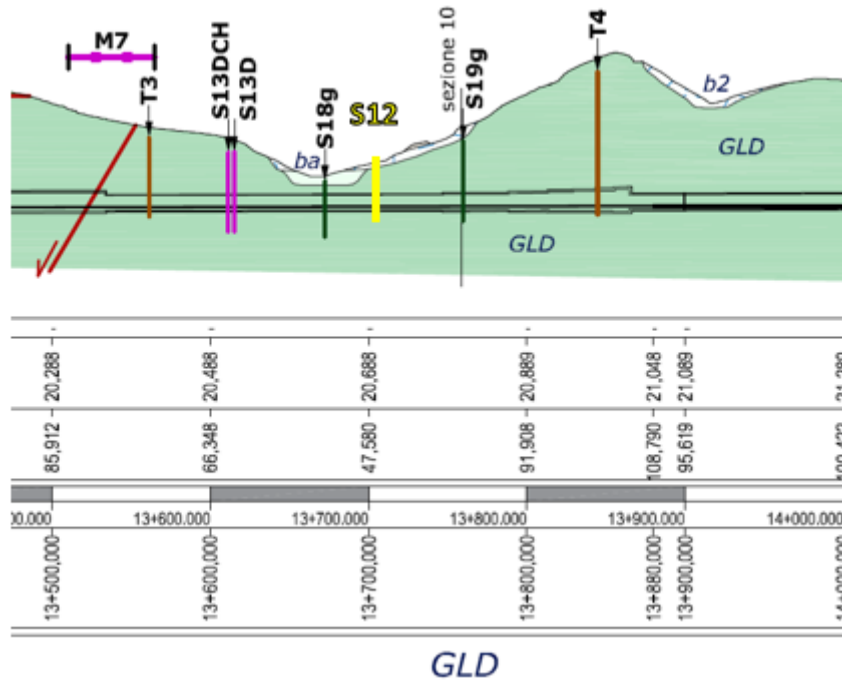


Figura 59 – Stralcio del profilo geologico del PD con ubicazione del sondaggio S12

Sondaggio S13 - caratterizzazione di MAI-RSA (zona di tettonizzazione con scaglie di calcari micritici e sottostanti marne) => possibile test con aggiunta di bentonite

Ubicazione: sul tracciato (pk 11+440)

Lunghezza: 30 m

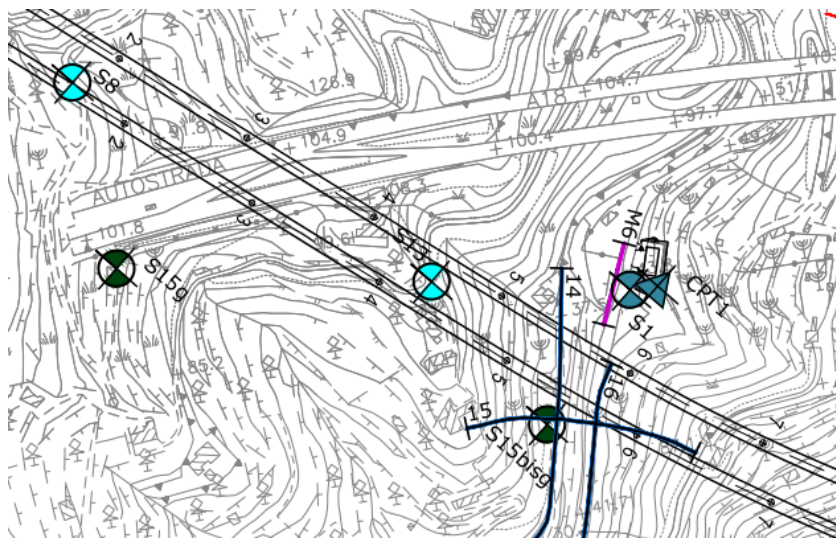


Figura 60 – Stralcio planimetrico con ubicazione del sondaggio S13

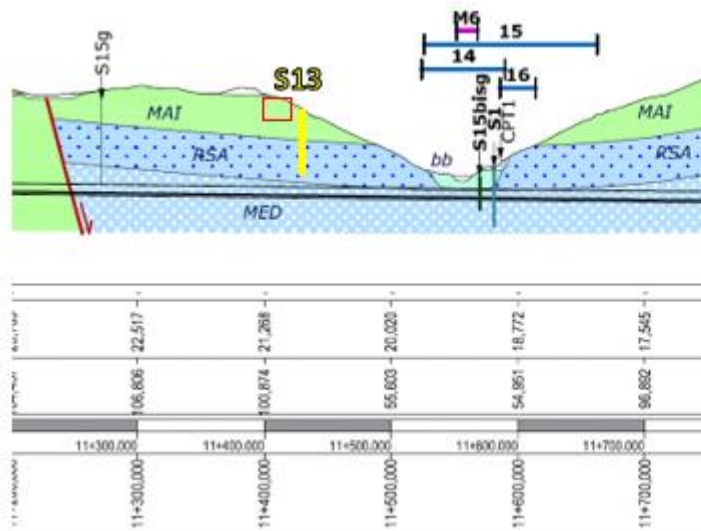


Figura 61 – Stralcio del profilo geologico del PD con ubicazione del sondaggio S13

Sondaggio S14 - caratterizzazione di ASF (Formazione delle argille scagliose superiori)

Ubicazione: sul tracciato (pk 4+300)

Lunghezza: 30 m

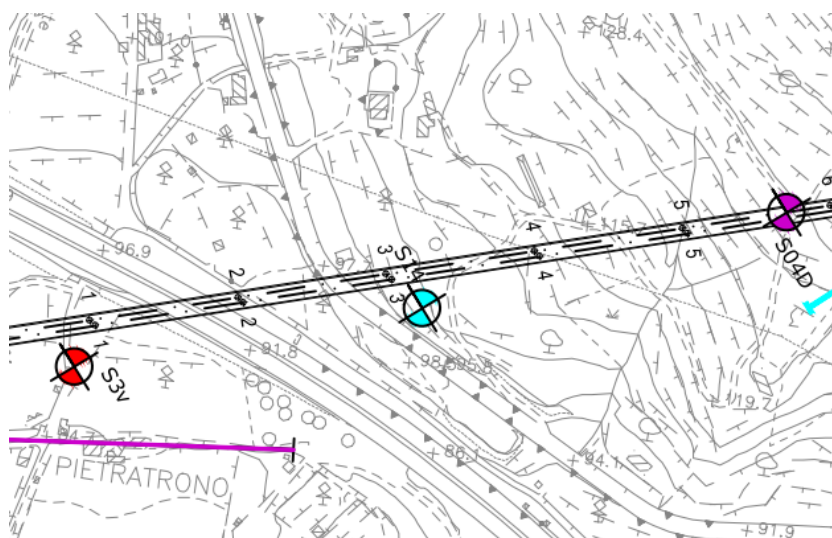


Figura 62 – Stralcio planimetrico con ubicazione del sondaggio S14

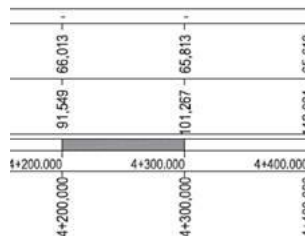
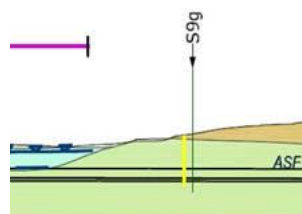


Figura 63 – Stralcio del profilo PD con ubicazione del sondaggio S14