

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

LOTTO 2

Relazione tecnica delle opere in sotterraneo

SCALA:

-

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

I R 0 F 0 2 R 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	G. Quarzicci	Ottobre 2021	G. Quarzicci	Ottobre 2021	C. Urciuoli	Ottobre 2021		
		F. Bergamo							

File: IR0F02R07RHGN000001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	6
5	ALLEGATI	6
6	DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
6.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	7
6.1.1	<i>Galleria Valtreara</i>	8
6.1.2	<i>Galleria Genga</i>	8
6.1.3	<i>Galleria Mogiano</i>	8
6.1.4	<i>Galleria Ponte Chiarodovo</i>	8
6.1.5	<i>Galleria La Rossa</i>	9
6.1.6	<i>Galleria Murano</i>	9
6.2	OPERE DI IMBOCCO	12
6.3	OPERE PER LA SICUREZZA IN GALLERIA	14
6.4	OPERE TECNOLOGICHE.....	16
6.5	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO	16
7	METODOLOGIA DI LAVORO	18
8	FASE CONOSCITIVA	19
8.1	IL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	19
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	23
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	24
8.3.1	<i>Depositi di versante (DT)</i>	25
8.3.2	<i>Scaglia Rossa (SAA)</i>	35
8.3.3	<i>Scaglia Bianca (SBI)</i>	41
8.3.4	<i>Marne (FUC)</i>	46
8.3.5	<i>Maiolica (MAI)</i>	51

8.3.6	Calcare diasprini umbro-marchigiani (CDU).....	55
8.3.7	Calcare di Posidonia (POD).....	57
8.3.8	Corniola (COI)	59
8.3.9	Calcare massiccio (MAS2)	63
8.3.10	Prove geofisiche.....	70
8.3.11	Condizioni idrauliche del sottosuolo	75
9	FASE DI DIAGNOSI	77
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	77
9.2	DEFINIZIONE DELLE TRATTE A COMPORTAMENTO TENSIO-DEFORMATIVO OMOGENEO	78
10	FASE DI TERAPIA	82
10.1	DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO	82
10.2	SEZIONI DI AVANZAMENTO	82
10.3	RISCHI POTENZIALI	86
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	89
11.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	89
12	CONCLUSIONI	90

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

1 PREMESSA

Nel presente documento sono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi al Lotto 2 del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (di seguito denominato per brevità 'PFTE') della tratta P.M. 228 – Castelplanio, nell'ambito del potenziamento infrastrutturale Orte-Falconara.

Il tracciato di progetto ricade all'interno del territorio della Provincia di Ancona ed è suddiviso in 3 lotti funzionali, per una lunghezza complessiva di circa 21 km, suddivisi come di seguito:

- Lotto 1: da PM228 (pk 0+000) a Bivio Nord Albacina (pk 7+200);
- Lotto 2: da Bivio Nord Albacina (pk 0+000) a Serra San Quirico (i) (pk 8+889);
- Lotto 3: da Serra San Quirico (e) (pk 0+000 a Castelplanio (e) (pk 6+272).

Il Lotto 2 oggetto di questa relazione ha una lunghezza complessiva di circa 9 km e prevede la realizzazione di sei gallerie naturali con configurazione singola canna doppio binario e due gallerie artificiali scatolari a doppio binario.

Nel 2003 era stato redatto da ITF il progetto preliminare nell'ambito della Legge Obiettivo che già si articolava con 3 Lotti funzionali. Rispetto al tracciato di PP, che non ha ricevuto alcuna approvazione da parte degli Enti, il tracciato di PFTE recepisce gli aggiornamenti normativi intersorsi.

Lo scopo del documento è la descrizione delle principali soluzioni tecnico-progettuali individuate per la realizzazione della sei gallerie presenti nel Lotto 2. Gli obiettivi della progettazione sono stati i seguenti:

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

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

2 NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO

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

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [10] doc IROF00R69RGGE0001001A “Relazione geologica”;
- Rif. [11] U.O. Geologia tecnica, dell’ambiente e del territorio, Elaborati specialistici;
- Rif. [12] doc IROF02R07F4GN0000001A “Profilo geotecnico”;
- Rif. [13] U.O. Gallerie doc IROF 00R 07 RH GN00 00F01 A “Analisi di spostamenti superficiali da dati radar satellitari elaborati con tecnica SqueeSarTM”;
- Rif. [14] doc IROF02R11RGOC0000001A “Relazione generale OOCC Lotto 2”;
- Rif. [15] doc IROF02R09RIID0002001A “Relazione di compatibilità idraulica - Fiume Esino - Opere maggiori - Lotto 2”
- Rif. [16] doc IROF00R05RGMD0000001A “Relazione Generale”;
- Rif. [17] doc IROF02R18DXA00000001A “Profilo di linea IS”;
- Rif. [18] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [19] F.H. Kulhawy and P.W. Mayne (1990), “Manual on estimating soil properties for foundation design”, New York: Electric Power Res. Inst., Geotechnical Engineering Group, and (EPRI-EL-6800), Cornell University, 2-28 to 2-36;
- Rif. [20] Rif. [22] Schmertmann, J.H.: Guidelines for cone penetration test, performance and design, Report no. FHWA-TS-78-209, Washington D.C., US Department of Transportation, p. 145 (1978);
- Rif. [21] Rif. [23] Bolton M.D. (1986) “The strength and dilatancy of sands” Geotechnique, 36(1), 65-78.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

4 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

- Rif. [22] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 F4 GN00 00001 A “Profilo Geotecnico”.
- Rif. [23] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 WB GN00 00001 A “Sezione di intradosso.”
- Rif. [24] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 PZ GN00 00001 A “Uscite/accessi di emergenza pedonali - Pianta e sezioni”.
- Rif. [25] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 WB GN00 00002 A “Sezioni di avanzamento – Comportamento tipo A - Carpenteria, scavo e consolidamenti”.
- Rif. [26] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 WB GN00 00003 A “Sezioni di avanzamento – Comportamento tipo B e C - Carpenteria, scavo e consolidamenti”.
- Rif. [27] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 PZ GA00 00001 A “Opere di imbocco - Tipologici”.
- Rif. [28] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 P9 GA01 00001 A “Interventi propedeutici alle opere di imbocco ed allo scavo delle gallerie naturali – Imbocco GN01 lato PM228”.
- Rif. [29] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 P9 GA02 00001 A “Interventi propedeutici alle opere di imbocco ed allo scavo delle gallerie naturali – Imbocco GN02 lato Castelplanio”.
- Rif. [30] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 P9 GA03 00001 A “Interventi propedeutici alle opere di imbocco ed allo scavo delle gallerie naturali – Imbocco GN03 lato PM228”.
- Rif. [31] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 P9 GA04 00001 A “Interventi propedeutici alle opere di imbocco ed allo scavo delle gallerie naturali – Imbocco GN03 lato Castelplanio e GA01”.
- Rif. [32] Lotto 2. Documento n. IR0F 02R 07 P9 GA05 00001 A “Interventi propedeutici alle opere di imbocco ed allo scavo delle gallerie naturali – Imbocco GN06 lato Castelplanio”.

5 ALLEGATI

Non sono presenti allegati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE

6.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

Il progetto prevede il raddoppio della tratta compresa tra PM228 e Castelplanio con un tracciato prevalentemente in variante (Figura 1). L'intervento è suddiviso in tre lotti funzionali, di lunghezza complessiva pari a circa 21 km, nel quale le opere in sotterraneo interessano il Lotto 1 ed il Lotto 2 per una estensione in sotterraneo totale di 9,9 km pari a circa il 45% del tracciato.

I tre lotti sono consecutivi come progressive di intervento ma non dal punto di vista della realizzazione che invece vedrà tale sequenza: Lotto 2, Lotto 3 e Lotto 1. Il Lotto 1 inizia alla pk 228+014 della linea storica, corrispondente ad una progressiva di progetto pari a 0+000, e termina alla pk 7+200. Il Lotto 2 termina alla pk di progetto 8+889,982 (riferita al binario dispari). Il Lotto 3 infine termina alla pk 6+272,075 (progressiva riferita al binario dispari).

Oltre al raddoppio della tratta, il progetto prevede anche la realizzazione della nuova stazione di Genga in sostituzione dell'esistente e la trasformazione in fermata della stazione di Serra S. Quirico.

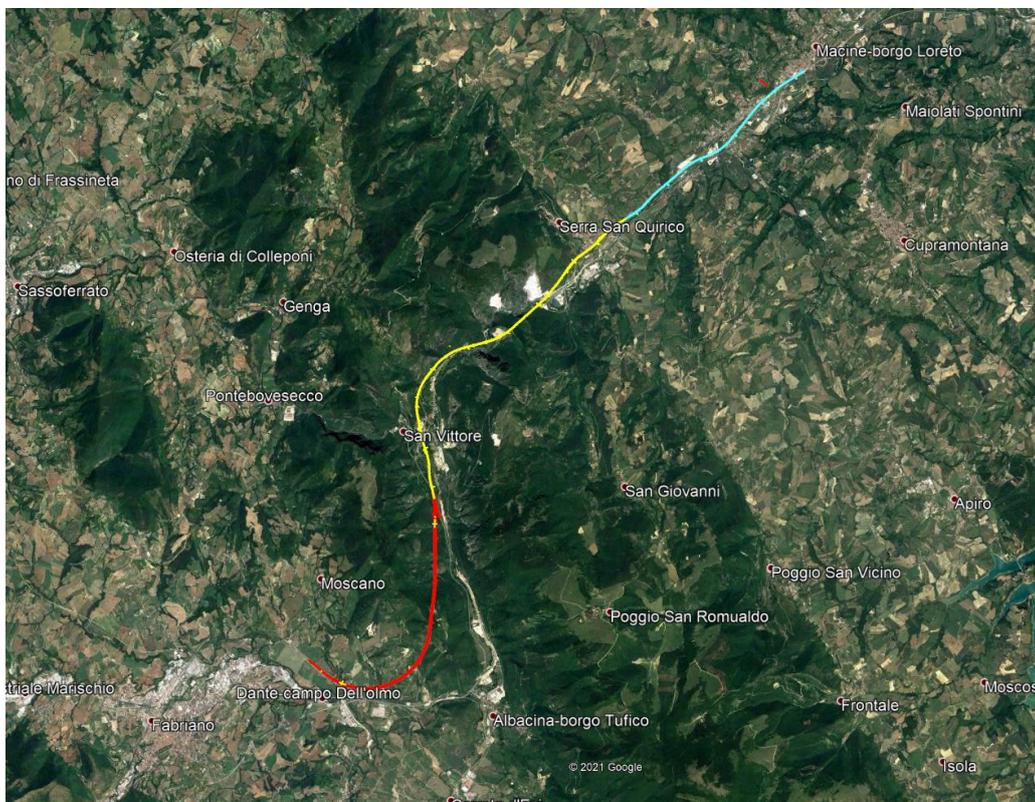


Figura 1 Corografia generale (in giallo il Lotto 2)

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Il tracciato del Lotto 2 prevede la realizzazione di sei gallerie naturali a singola canna doppio binario realizzate mediante metodo di scavo tradizionale:

- Galleria GN01 “Valtreara”, L = 915 m;
- Galleria GN02 “Genga”, L = 578,5 m;
- Galleria GN03 “Mogiano”, L = 849 m;
- Galleria GN04 “Ponte Chiarodovo”, L = 285 m;
- Galleria GN05 “La Rossa”, L = 1225 m;
- Galleria GN06 “Murano” L = 1148m.

È prevista inoltre la realizzazione di due gallerie artificiali scatolari a doppio binario (GA01 e GA02) che seguono e precedono rispettivamente la GN04 “Mogiano” e la GN06 “Murano”. Tali opere risultano necessarie per esigenze di interferenza, di natura idraulica e di viabilità, lungo il tracciato in progetto (per maggiori dettagli si rimanda al capitolo 6.5).

6.1.1 Galleria Valtreara

La galleria naturale Valtreara con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 915 m (tra le progressive 0+050.00 e 0+965.00 riferite al binario dispari), di cui 50 m in artificiale e 865 in naturale e presenta una copertura massima pari a circa 83 m.

6.1.2 Galleria Genga

La galleria naturale Genga con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 578.5 m (tra le progressive 1+675.00 e 2+2253.50 riferite al binario dispari), di cui 43.5 m in artificiale e 535 m in naturale e presenta una copertura massima pari a 93 m circa.

6.1.3 Galleria Mogiano

La galleria naturale Mogiano con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 849 m (tra le progressive 2+946.00 e 3+795.50 riferite al binario dispari), di cui 359 m in artificiale e 490 m in naturale e presenta una copertura massima pari a circa 60 m.

6.1.4 Galleria Ponte Chiarodovo

La galleria naturale Ponte Chiarodovo con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 285 m (tra le progressive 4+135.00 e 4+420.00 riferite al binario dispari), di cui 30 m in artificiale e 255 m in naturale e presenta una copertura massima pari a circa 90 m.

6.1.5 Galleria La Rossa

La galleria naturale La Rossa con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 1225 m (tra le progressive 4+735.00 e 5+960.00 riferite al binario dispari), di cui 45 m in artificiale e 1180 m in naturale con una copertura massima pari a circa 230 m.

Il tracciato si sviluppa ad una distanza di circa 50 m dalla galleria ferroviaria esistente per la quale, per un maggior dettaglio, si rimanda al capitolo 10.3 della presente relazione.

Nel rispetto della normativa vigente in tema di sicurezza passeggeri in galleria, lungo la galleria GN05 - La Rossa è prevista un'uscita di sicurezza pedonale, con configurazione a cunicolo, che si sviluppa parallelamente alla galleria di linea, di lunghezza pari a 280 m (cfr. §6.4).

6.1.6 Galleria Murano

La galleria naturale Murano con configurazione a singola canna doppio binario ha una lunghezza complessiva di 1148 m (tra le progressive 6+160.00 e 7+294.00 riferite al binario dispari), di cui 214 m in artificiale e 934 m in naturale con una copertura massima pari a circa 230 m.

Nel rispetto della normativa vigente in tema di sicurezza passeggeri in galleria (Rif. [4]), lungo la galleria GN06 - Murano è prevista un'uscita di sicurezza pedonale di lunghezza pari a circa 100 m (cfr. §6.4).

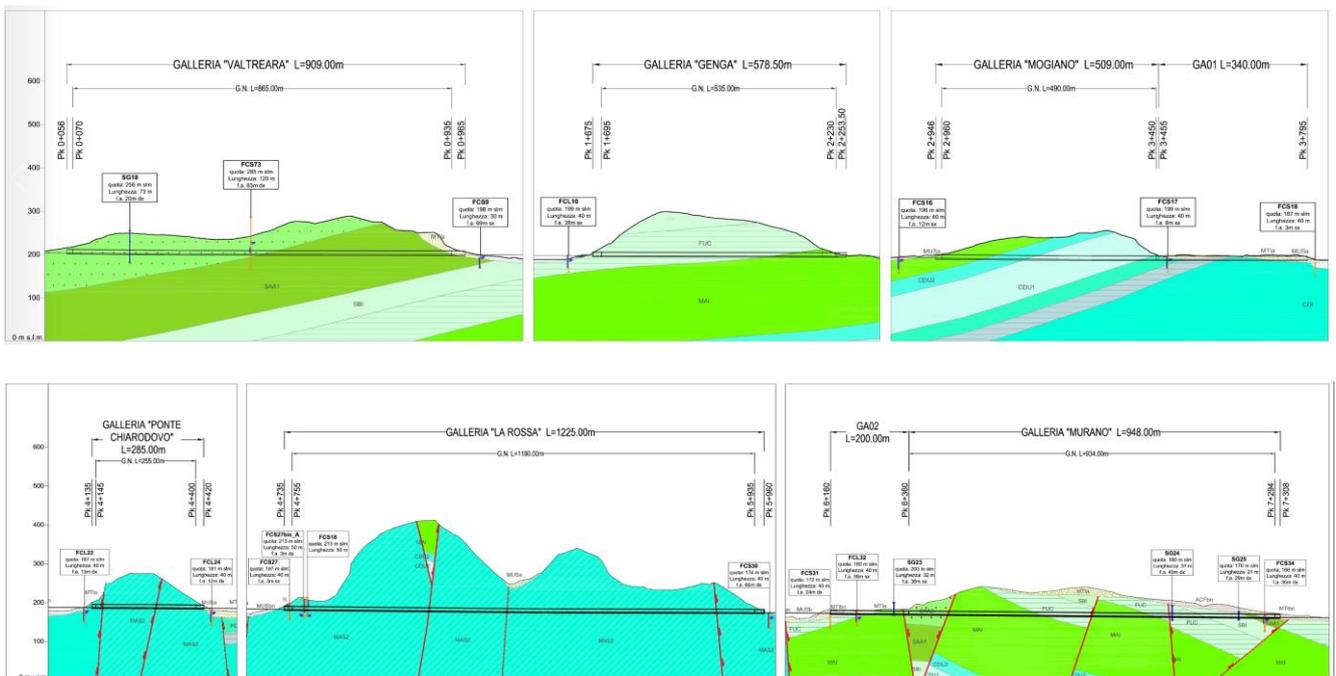


Figura 2 Profilo Gallerie del Lotto 2

Le gallerie sono progettate per consentire il transito del Gabarit C (P.M.O. n°5) con velocità di tracciato ≤ 200 km/h. È previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale ed elettrificazione a c.c. a 3 kV, con predisposizione a 25 kV.

Le sezioni geometrico funzionali previste sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [7]).

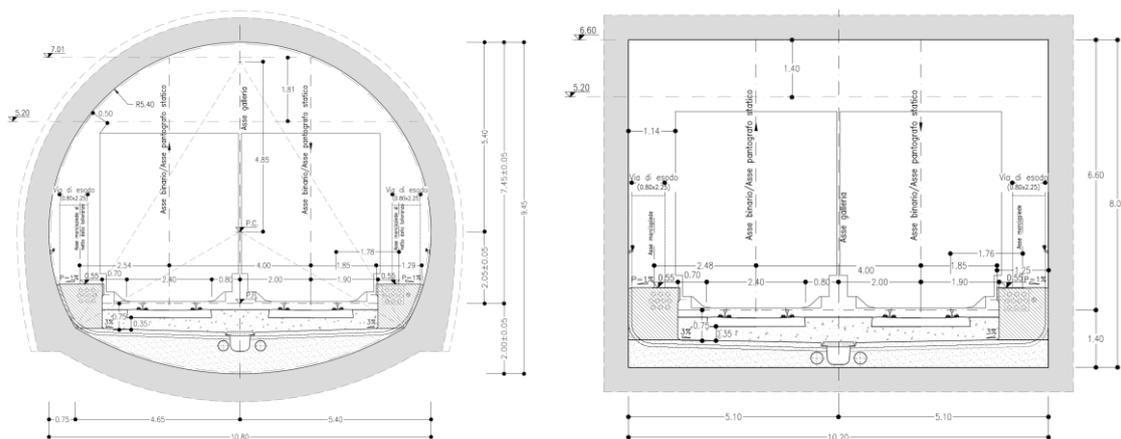


Figura 3 Sezioni di intradosso gallerie a doppio binario

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche geometriche delle gallerie del Lotto 2 (Tabella 1).

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche Gallerie naturali e artificiali scatoari del Lotto 2

Gallerie	PK iniziale (BD)	PK finale (BD)	Lunghezza (m)	Copertura massima (m)	Sezione tipo
GN01 - Galleria Valtreara	0+070	0+935	865	83	Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale
GN02 - Galleria Genga	1+695	2+230	535	93	Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale
GN03 - Galleria Mogiano	2+960	3+450	490	59	Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale
GA01	3+455	3+795	340	-	Galleria artificiale scatoare

GN04 - Galleria Ponte Chiarodovo	4+145	4+400	255	90	Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale
GN05 - Galleria La Rossa	4+755	5+935	1180	230	Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale
GA02	6+160	6+360	200	-	Galleria artificiale scatolare
GN06 - Galleria Murano	6+360	7+294	934	65	Galleria artificiale scatolare + Galleria canna unica – doppio binario scavo tradizionale

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</p> <p>LOTTO 2</p>					
	<p>RELAZIONE TECNICA</p>	<p>COMMESSA IROF</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA R 07 RH</p>	<p>DOCUMENTO GN 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>

6.2 Opere di imbocco

Galleria Valtreara

L'imbocco lato PM228 della galleria "Valtreara" è collocato alla base di una parete rocciosa in affioramento (calcari marnosi della formazione della Scaglia Rossa – Membro Intermedio SAA2) ad eccezione della presenza di uno spessore di materiale detritico che ricopre il versante. Tale imbocco presenta una condizione di forte asimmetria, con l'attacco della galleria naturale non ortogonale all'asse del tracciato: sono previsti pertanto interventi propedeutici alla realizzazione delle opere di imbocco ed allo scavo della galleria naturale (cfr. 10.3, Rif. [28]). Nello specifico si prevede la realizzazione di una "protesi" realizzata per mezzo di un misto cementato ed un intervento di consolidamento per mezzo di iniezioni. Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 0+056 e 0+070 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno e di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto rovesciato", che assolve anche alla funzione di protezione della piattaforma ferroviaria dalla caduta eventuale di blocchi di roccia di piccole dimensioni, proveniente dal versante sovrastante.

L'imbocco lato Castelplanio della galleria "Valtreara" è caratterizzato in superficie dalla presenza di depositi di versante mediamente cementati (Sintema di Matelica – MTIa), che poggiano sulla formazione della Scaglia Rossa – Membro Inferiore (SAA1) senza situazioni di criticità di natura geomorfologica. Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 0+935 e 0+965 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno e di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto".

Galleria Genga

L'imbocco lato PM228 della galleria Genga è situato nelle vicinanze di Genga Stazione e ricade all'interno della formazione delle Marne a Fucoidi (FUC) che presentano superficialmente un elevato grado di alterazione e fratturazione, come evidenziato dai dati geomeccanici ottenuti dagli stop geostrutturali eseguiti in sito (stazione SG9, Rif. [10]). Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 1+675 e 1+695 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno ed inoltre di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto".

L'imbocco lato Castelplanio è ubicato alcuni metri al di sopra dell'attuale sedime ferroviario ed è caratterizzato da affioramenti delle Marne a Fucoidi (FUC) con elevato grado di alterazione, come riscontabile dai modesti valori di GSI (25-35) ricavati durante i rilievi, e dalla formazione calcarea della Maiolica (MAI).

Tale imbocco presenta una condizione di forte asimmetria con l'attacco della galleria naturale non ortogonale all'asse del tracciato; sono previsti pertanto interventi propedeutici alla realizzazione delle opere di imbocco ed allo scavo della galleria naturale (cfr. 10.3, Rif. [29]). Nello specifico si prevede la realizzazione di una "protesi" realizzata per mezzo di un misto cementato ed un intervento di consolidamento per mezzo di iniezioni.

Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 2+230 e 2+253 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno e di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto".

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Galleria Mogiano

L'imbocco lato PM228 della galleria Mogiano è situato poco ad est della frazione di Mogiano e si colloca tra una zona di raccordo tra i Depositi alluvionali terrazzati (MTIbn) e la formazione della Maiolica (MAI), a tratti affiorante nella zona di imbocco.

Tale imbocco presenta una condizione di forte asimmetria con l'attacco della galleria naturale non ortogonale all'asse del tracciato e pertanto sono previsti interventi con soluzione tipo "protesi" realizzata per mezzo di misto cementato ed un intervento di consolidamento per mezzo di iniezioni che consente di fornire alla galleria la copertura idonea per un attacco in naturale (cfr. 10.3, Rif. [30]). Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 2+946 e 2+960 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno e di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto rovesciato".

L'imbocco lato Castelplanio è ubicato poco a sud della frazione di Palombare ed è caratterizzato dalla presenza in superficie di Deposito di versante (MTI) e dalla formazione dei Calcari diasprini umbro-marchigiani (CDU). Data la natura dell'ammasso interessato dalla realizzazione dell'imbocco, è stata prevista una soluzione che prevede un attacco diretto in roccia ed è inoltre prevista una galleria artificiale sotto dima che precede la galleria artificiale scatolare GA01.

Galleria Ponte Chiarodovo

L'imbocco lato PM228 della galleria Ponte Chiarodovo si sviluppa tra la strada per la frazione di Palombare, sul lato ovest del Fiume Esino, e la via Clementina sul lato est, all'inizio delle Gole della Rossa ed interessa la formazione della Corniola (COI) in affioramento sul versante con un modesto spessore della coltre detritica cementata che tende via via ad assottigliarsi sul versante. Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 4+135 e 4+145.

L'imbocco lato Castelplanio è caratterizzato da un modesto spessore di accumulo detritico legato alla presenza di dorsali calcaree (Calcare Massiccio - MAS2) e dalla presenza della formazione del Calcare Massiccio in locale affioramento nell'area di imbocco. Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 4+400 e 4+420.

Per entrambi gli imbocchi, data la natura dell'ammasso, è prevista una soluzione con attacco diretto e galleria artificiale con un portale a "becco di flauto rovesciato" per l'imbocco lato PM228, che assolve anche alla funzione di protezione della piattaforma ferroviaria dalla caduta eventuale di blocchi di roccia di piccole dimensioni proveniente dal versante sovrastante e portale a "becco di flauto" per l'imbocco lato Castelplanio. Inoltre, per garantire le lavorazioni in sicurezza, è previsto un intervento di stabilizzazione delle pareti rocciose sovrastanti le aree di imbocco mediante barre auto perforanti, spritz sulla parete dello scavo e doppia rete elettrosaldata.

Galleria La Rossa

L'imbocco lato PM228 è situato entro l'area di pertinenza dell'ex cava (Calcare massiccio) di Convento Santa Maria ed in particolare, nel piano di lavoro più ribassato della cava, in affioramento della formazione del Calcare massiccio (MAS2). Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 4+735 e 4+755. Per garantire le

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

lavorazioni in sicurezza, è previsto un intervento di stabilizzazione della parete rocciosa sovrastante mediante barre auto perforanti, spritz sulla parete dello scavo e doppia rete elettrosaldata.

L'imbocco lato Castelplanio è situato in destra Esino a valle dello sbocco delle Gole della Rossa ed in adiacenza all'imbocco nord della galleria della linea ferroviaria esistente; l'area di imbocco è caratterizzata dalla presenza di un modesto spessore di depositi alluvionali che poggiano sul substrato calcareo (Calcarea Massiccio - MAS2). Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 5+935 e 5+960.

Per entrambi gli imbocchi, data la natura dell'ammasso, è prevista una soluzione con attacco diretto in roccia ed è inoltre prevista una galleria artificiale con un portale a "becco di flauto".

Galleria Murano

L'imbocco lato PM228 della galleria Murano intercetta un versante in corrispondenza di un deposito alluvionale poggiante sul substrato calcareo della formazione della Maiolica (MAI). L'area di imbocco è prevista ribassata rispetto all'attuale piano di calpestio del piazzale di cava; dal punto di vista geomorfologico non si ravvisano situazioni di criticità. Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 6+355 e 6+360 con la realizzazione di un'opera di sostegno ed inoltre di una galleria artificiale sotto dima successiva alla precedente galleria artificiale scatolare GA02.

L'imbocco lato Castelplanio è situato nel versante sinistro della Valle Esino all'interno di un'area attualmente coltivata con blande pendenze ed è interessato dai depositi alluvionali (MTIbn). Tale imbocco presenta una condizione di asimmetria con coperture non favorevoli all'attacco in naturale e attacco della galleria non ortogonale all'asse del tracciato e pertanto sono previsti interventi con soluzione tipo "protesi" realizzata per mezzo di misto cementato (cfr. 10.3, Rif. [32]). Le opere di imbocco ricadono tra le progressive 7+294 e 7+308 ed è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno e di una galleria artificiale con un portale "becco di flauto rovesciato".

Le strutture provvisorie di sostegno degli scavi realizzate con berlinese di micropali e i rivestimenti delle gallerie artificiali sono stati pre-dimensionati ricorrendo a soluzioni progettuali ed esperienze precedenti in contesti simili.

6.3 Opere per la sicurezza in galleria

Come descritto in precedenza, nel rispetto della normativa vigente in tema di sicurezza passeggeri in galleria, lungo le gallerie GN05 "La Rossa" e GN06 "Murano", sono previste uscite/accessi di emergenza pedonali. Nella Figura 4 sono rappresentate le uscite di sicurezza per le due gallerie.

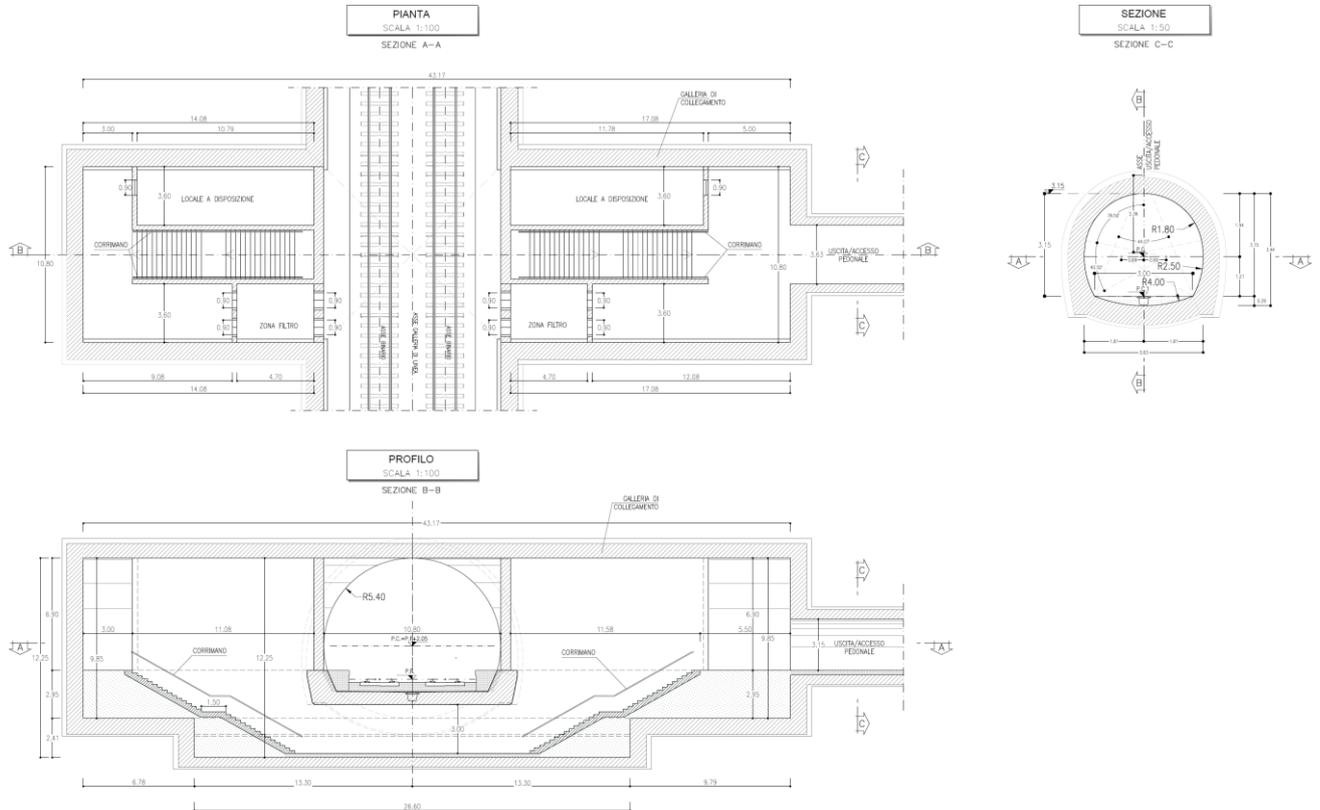


Figura 4 Uscite/accessi di emergenza pedonali – Pianta e sezioni

Nella **Tabella 2** sono riportati progressiva di innesto e lunghezza delle uscite/accessi di emergenza previste.

Tabella 2 – Uscite/accessi di emergenza

Uscite/accessi di emergenza	pk innesto	Lunghezza (m)
Uscita/accesso di emergenza pedonale della GN05 - Galleria La Rossa	4+985	280
Uscita/accesso di emergenza pedonale GN06 - Galleria Murano	6+920	100

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

6.4 Opere tecnologiche

Nicchie IS in galleria

Per gli impianti di sicurezza e segnalamento, all'interno delle gallerie, devono essere previste le nicchie per contenere le casse induttive. Le nicchie IS devono avere le seguenti dimensioni: 2.30m (altezza) x 1.80m (larghezza) x 2.40m (profondità).

Le nicchie sono così distribuite all'interno delle gallerie:

- n.2 per la GN01 “Valtreara”;
- n.4 per la GN02 “Genga”;
- n.2 per la GN03 “Mogiano”;
- n.2 per la GN05 “La Rossa”;
- n.2 per la GN06 “Murano”.

Per un maggiore dettaglio si rimanda all'elaborato specialistico di progetto (Rif. [17]).

6.5 Interferenze lungo il tracciato

Il tracciato in progetto presenta cinque maggiori interferenze:

- GA01 con il corso d'acqua, affluente in sinistra idraulica del Fiume Esino, alla pk 3+470 (IN04);
- GA01 con la nuova viabilità NV03 alla pk 3+670;
- GN05 con la nuova viabilità NVP3 in prossimità dell'imbocco lato PM228, alla pk 4+740;
- GN05 con galleria ferrovia esistente;
- GA02 con la strada statale SS76 alla pk 6+230;
- GN06 con la viabilità NV07 in corrispondenza della pk 7+264.

Per la risoluzione dell'interferenza della GA01 con il corso d'acqua alla pk 3+470 circa (IN04), affluente in sinistra idraulica del Fiume Esino, si prevedono opere di riprofilatura del fondo alveo e delle sponde dell'impluvio. In particolare, si prevede di innalzare la quota di fondo alveo, a partire da una sezione ubicata 100 m a monte dell'interferenza (pk 3+470 circa) con il nuovo tracciato ferroviario, in modo da raccordare il corso d'acqua al canale a sezione rettangolare previsto in testa alla galleria artificiale GA01. Per maggiori dettagli, si rimanda allo specifico elaborato di progetto (Rif. [15]).

Per quanto riguarda invece la Nuova Viabilità NV03, essa realizza la ricucitura della viabilità compresa fra le due frazioni Palombare e Mogiano; in questo tratto la viabilità esistente (denominata Via Mogiano) viene interferita dal tracciato della ferrovia di progetto nel tratto finale a nord della galleria della GN03 “Mogiano”, in corrispondenza della galleria artificiale scatolare GA01. La NV03 realizza il riallaccio della viabilità interferita con un nuovo tracciato che sovrappassa la galleria artificiale GA01 di progetto in corrispondenza della pk 3+670 circa. per maggiori dettagli circa questa interferenza si rimanda agli elaborati specifici di progetto (Rif. [16], Rif. [31]).

La nuova viabilità di accesso ai piazzali NVP3 garantisce l'accesso al piazzale all'imbocco Sud della galleria GN05 “La Rossa”, attraverso la riorganizzazione della viabilità esistente con tre tratti: il primo tratto è la nuova

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</p> <p>LOTTO 2</p>												
<p>RELAZIONE TECNICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R 07 RH</td> <td>GN 00 00 001</td> <td>A</td> <td>17 di 90</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R 07 RH	GN 00 00 001	A	17 di 90
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IR0F	02	R 07 RH	GN 00 00 001	A	17 di 90								

NVP3 che sovrappassa la ferrovia di progetto in corrispondenza dell'imbocco lato PM228 della galleria (pk. 4+4740 circa), il secondo tratto riqualifica la strada esistente (strada di servizio ANAS) che collega la NVP3 alla SS76 e il terzo tratto ricalca la strada esistente che dalla NVP3 scende a quota piazzale.

Il tracciato ferroviario della galleria GN05 "La Rossa" si sviluppa ad una distanza di circa 50 m dalla galleria ferroviaria esistente (galleria della Rossa).

La Nuova Viabilità NV07 mette direttamente in comunicazione Via Fratelli Bandiera con la SP76 (Via Clementina) in prossimità dell'area urbana di Serra San Quirico Stazione; la nuova viabilità interferisce con il tracciato della ferrovia di progetto in prossimità dell'imbocco lato Castelplanio della GN06 "Murano", in corrispondenza della pk. 7+265 ca.

Per ogni ulteriore approfondimento riguardo le viabilità interferenti con il tracciato di progetto si rimanda a Rif. [16].

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

7 METODOLOGIA DI LAVORO

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [18]) si è articolata nelle seguenti fasi:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8 FASE CONOSCITIVA

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

8.1 Il modello geologico di riferimento

Metodi e risultati dello studio geologico sono illustrati e commentati negli elaborati specialistici di progetto (Rif. [11]). Si riporta di seguito una breve sintesi dei principali caratteri litologici e strutturali delle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

L'area oggetto di studio ricade nel territorio della Provincia di Ancona; il nuovo tracciato ferroviario comprensivo dei tre lotti così come previsto da progetto, si snoderà tra l'area industriale a est di Fabriano (zona Ponte Moscano) e la stazione di Castelplanio-Cupramontana, per un totale di circa 21.5 km.

L'area di studio, nel tratto Fabriano-Serra San Quirico, è caratterizzata dai massicci e delle dorsali montuose dell'Appennino Umbro-Marchigiano mentre nel settore compreso tra Serra San Quirico e Castelplanio la morfologia è pedemontana-collinare.

In virtù delle differenti formazioni affioranti appartenenti alla Successione Umbro-Marchigiana, la morfologia è più dolce e blanda in corrispondenza delle litologie pelitiche (Marne a Fucoidi) e più aspra e acclive in corrispondenza delle litologie più calcaree. I depositi continentali, piuttosto estesi, sono costituiti da alluvioni prevalentemente ghiaiose, ma con significativa presenza di orizzonti pelitici e da coperture detritiche più o meno grossolane.

Per quanto riguarda le caratteristiche di sismicità della zona di studio si rimanda allo specifico elaborato di progetto (Rif. [10]).

Lo studio geologico (Rif. [10]) ha permesso di individuare le differenti unità geologiche che costituiscono il sottosuolo dell'area interessata dall'intervento in progetto:

- **Calcare massiccio – MAS2 (Cretaceo inferiore)**: è il prodotto di una sedimentazione carbonatica di mare sottile. Si riconoscono due unità: il Calcare Massiccio del Burano (MAS) e il Calcare Massiccio del M. Nerone (MAS1-MAS2). In generale, è costituito (per uno spessore fino a circa 700-800 m) da una successione di spessi banchi calcarei biancastri rosati o nocciola.
- **Corniola – COI (Giurassico)**: la formazione affiora a est di Genga, in continuità sia stratigrafica che tettonica con il Calcare Massiccio. È costituita da calcari a grana molto fine (micriti), grigiastri o beige, con selce bruna o grigio-chiara e con intercalazioni pelitiche grigio-verdastre, piuttosto abbondanti nella porzione superiore. Si rinvencono frequenti livelli calcareo-detritici a granulometria variabile da fine a grossolana.

- **Calcarei di Posidonia – POD (Giurassico)**: la formazione è costituita da calcari e calcari marnosi, talora nodulari, e da calcari detritici biancastri o beige, con selce via via più abbondante verso l'alto.
- **Calcarei Diasprini umbro-marchigiani – CDU (Giurassico)**: la formazione è suddivisa in due membri, cartografati separatamente: i Calcarei diasprini (CDU1 – membro inferiore) e i Calcarei a Saccocoma ed Aptici (CDU2 – membro superiore). I Calcarei diasprini (CDU1) sono costituiti da calcari fango-sostenuti parzialmente o completamente silicizzati, grigio-verdastri o rossastri di aspetto granulare, in strati da sottili a medi, con selce varicolore in liste e noduli. I Calcarei a Saccocoma ed Aptici (CDU2) sono costituiti da calcari fango-sostenuti selciferi, a luoghi da calcari granulo-sostenuti biodetritici, spesso ricchi in Aptici, di colore grigio-verdastro e talora rossastro, in strati medi e sottili.
- **Maiolica – MAI (Giurassico)**: la formazione è diffusamente presente nella zona centrale dell'area in studio. È costituita quasi esclusivamente da micriti biancastre, in strati medi, con selce nera e con sottili intercalazioni di peliti nerastre, che aumentano di spessore e frequenza verso la parte sommitale della formazione.
- **Marne a Fucoidi – FUC (Cretaceo inferiore)**: la formazione è costituita essenzialmente da marne, marne argillose e calcari marnosi; affiorano tra M. Le Conche e Serra San Quirico. La porzione inferiore è costituita da marne e marne argillose policrome e da sottili intercalazioni calcareo-marnose verdoline e beige. Sporadicamente sono presenti liste e noduli di selce verdastra. La porzione superiore è caratterizzata da calcari marnosi e marne calcaree in strati medi, biancastri, con sottili intercalazioni di marne argillose grigio-verdi e con selce verdastra in strati, liste e noduli.
- **Scaglia Bianca – SBI (Cretaceo inferiore)**: la formazione affiora tra Fabriano e Serra San Quirico ed è costituita da: a) calcari e calcari marnosi biancastri, a frattura scagliosa, in strati medi, con sottili livelli bituminosi, e da strati di selce rosata, nella parte inferiore (SBI1); b) calcari e calcari marnosi bianchi con selce nerastra, zonata, nella parte superiore (SBI2). Localmente sono presenti intercalazioni di livelli calcarenitici.
- **Scaglia Rossa – SAA (Cretaceo inferiore)**: la formazione è suddivisa in tre membri, tutti affioranti tra Fabriano e Serra San Quirico. Il membro inferiore (SAA1) è costituito da calcari marnosi rosati, talora con bande policrome, e da selce rossa in liste e noduli. Il membro intermedio (SAA2) è caratterizzato da calcari rossi e rosso mattone privo di selce; all'interno di tale membro sono presenti livelli marnosi e marnoso calcarei. Il membro superiore (SAA3) è costituito da calcari e calcari marnosi rossastri con selce rossa in liste e noduli ed ha talora uno spessore ridotto, fino a pochi metri.
- **Sintema del Fiume Musone – MUS (Quaternario)**: sono riferibili a questa unità i depositi alluvionali attuali (MUSb) e terrazzati (MUSbn) costituiti da materiali ghiaiosi, talora grossolani, legati ad apporti laterali, con intercalazioni sabbiose e limose.

All'unità in esame vengono inoltre riferiti: materiali detritici di versante sciolti o a luoghi stratificati/cementati (MUSa), costituiti da elementi ruditici a spigoli vivi con matrice argillosa più o meno abbondante; depositi siltosi-argillosi di origine colluviale (MUSb2), con frazione sabbiosa e con elementi marnosi in relazione alla natura del bacino di alimentazione; depositi di frana attivi (MUSa1), quiescenti (MUSa1q) e antichi (MUSa1a).

- **Sintema di Matelica – MTI (Quaternario)**: le caratteristiche dei depositi di questa unità risultano spesso differenti in funzione delle diverse litologie, nelle aree montane i materiali sono essenzialmente ciottolosi (generalmente centimetrici e più raramente decimetrici), con spigoli da angolosi a subangolosi e grado di cementazione talora piuttosto spinto, mentre nelle aree collinari sono più arrotondati ed eterogenei e con abbondante matrice sabbioso-siltosa.

I depositi alluvionali terrazzati (MTIbn) sono costituiti da ghiaie, sabbie, limi e argille. L'unità in parola include anche materiali detritici di versante (MTIa), costituiti da elementi calcarei e silicei, a spigoli vivi o debolmente arrotondati, in matrice limoso-argillosa generalmente scarsa. Possono essere stratificati e/o cementati oppure rimaneggiati da processi colluviali recenti. Non mancano depositi eluvio-colluviali (MTIb2), costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi con elementi ghiaiosi, arenacei, e rari elementi calcarei.

Lungo il tracciato dell'intervento in oggetto è prevista la realizzazione di sei gallerie naturali, le formazioni sopra descritte si presentano in successioni stratigrafiche variabili:

- **Galleria Valtreara**: lo scavo della galleria si sviluppa per i primi 500 m circa all'interno della formazione della Scaglia Rossa – Membro intermedio (SAA2) per poi passare, alla pk 0+500 (in corrispondenza del sondaggio FCS73), all'interno della formazione della Scaglia Rossa – Membro inferiore (SAA1).
- **Galleria Genga**: lo scavo della galleria si sviluppa per la quasi totalità all'interno della formazione della Marne a Fucoidi (FUC), per poi intercettare, in prossimità della zona dell'imbocco lato Castelplanio, alla pk. 2+100 i calcari della formazione della Maiolica (MAI) affioranti lungo le scarpate dell'attuale linea ferroviaria.
- **Galleria Mogiano**: lo scavo della galleria naturale interessa la formazione della Maiolica (MAI); in superficie si riscontra uno spessore di circa 7 m di alluvioni terrazzate e depositi di versante (tale ricostruzione è supportata dalle evidenze del sondaggio FCS16). Alla pk 3+060 lo scavo della galleria intercetta la formazione dei Calcari Diasprini Umbro-Marchegiani (CDU2 da 3+060 a 3+160 e CDU1 da 3+160 a 3+380). Tale formazione affiora con continuità nell'area della frazione di Mogiano. Dalla pk 3+380 fino al termine della galleria naturale lo scavo passa nella formazione dei Calcari a Posidonia (POD) con in superficie uno strato modesto di coltre detritica, come riscontrabile più a valle dalle evidenze del sondaggio FCS17. In uscita dalla galleria naturale è prevista la realizzazione della galleria artificiale scatolare GA01, per la quale si rimanda al capitolo 6.1 ed alla Tabella 1 per un maggior dettaglio.
- **Galleria Ponte Chiarodovo**: lo scavo della galleria naturale interessa nel tratto di imbocco lato PM228 la formazione della Corniola (COI) per poi intercettare, in corrispondenza della pk 4+160, una faglia che separa la formazione della Corniola (COI) dal Calcare massiccio (MAS2). Per maggiori dettagli su questa struttura si rimanda allo specifico elaborato di progetto (Rif. [10]). Da tale progressiva, la galleria entra quindi all'interno della formazione del Calcare Massiccio (MAS2) dove, alla pk 4+300 circa, intercetta un'ulteriore faglia per poi proseguire all'interno della stessa formazione fino al termine della galleria.

- **Galleria La Rossa:** il tracciato si sviluppa ad una distanza di circa 50 m dalla galleria ferroviaria esistente ed interamente all'interno della formazione del Calcere massiccio (MAS2), attraversando tre faglie (pk 5+090, 5+300 e 5+840) di cui per un maggiore dettaglio si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Rif. [10]). In merito all'interferenza con la galleria ferrovia esistente si rimanda invece al capitolo 10.3 della presente relazione.
Lo scavo dell'uscita di emergenza interessa anch'esso per tutto il suo sviluppo la formazione del Calcere Massiccio (MAS2).
- **Galleria Murano:** lo scavo della galleria naturale è caratterizzato dapprima da un tratto a bassa copertura in cui intercetta i calcari della formazione della Maiolica (MAI) con in superficie uno spessore modesto di deposito alluvionale. Alla pk. 6+340 circa il tracciato intercetta una faglia che mette in contatto la formazione della Maiolica (MAI) con quella della Scaglia Rossa (SAA2). Successivamente una ulteriore faglia, in corrispondenza della pk 6+460 circa, mette in contatto tale formazione nuovamente con i calcari della Maiolica (MAI). Nella Maiolica prosegue lo scavo della galleria fino alla pk 6+700. In corrispondenza di tale progressiva lo scavo della galleria passa dalla formazione della Maiolica (MAI) a quella delle Marne a Fucoidi (FUC) e, successivamente, la presenza di una ulteriore faglia (pk 6+820) segna di nuovo l'ingresso all'interno della formazione della Maiolica (MAI).
Alla pk 7+040 circa la presenza di una faglia mette in contatto le Marne a Fucoidi (FUC) con la precedente formazione della Maiolica (MAI). In corrispondenza della pk 7+180 il tracciato attraversa il limite stratigrafico tra le Marne a Fucoidi (FUC) e la sovrastante formazione della Scaglia Bianca (SBI) e successivamente con la formazione della Scaglia Rossa (SAA1) (pk 7+240) per poi terminare nella zona di imbocco lato Castelplanio all'interno dei depositi alluvionali terrazzati (MTIbn).

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8.2 Indagini geotecniche

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

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

- *Campagna indagini Italferr 2021 -Potenziamento infrastrutturale Orte-Falconara, raddoppio della tratta PM228-Castelplanio.*

Con riferimento alle tratte in sotterraneo, nella campagna indagini del 2021 a supporto del PFTE del raddoppio della tratta PM228-Castelplanio sono stati eseguiti:

- n. 28 sondaggi a carotaggio continuo (profondità variabili tra 40 m e 360 m dal piano campagna), attrezzati con strumentazione geotecnica in foro;
- n. 55 prove dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 63 prove di permeabilità di tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 44 prove SPT;
- n. 3 prove sismiche in foro di tipo Down-hole;
- n. 5 prospezioni sismiche MASW;
- n. 14 stop gestrutturali;
- n. 75 rilievi geomeccanici (Waypoint)

Il numero totale dei campioni analizzati nella tratta di interesse e sottoposti a prove di laboratorio è di 195. Sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove meccaniche:

- n. 8 prove di taglio diretto (TD);
- n. 4 prove di compressione triassiale consolidate non drenate (CIU);
- n. 1 prova di compressione triassiale consolidata drenata (CID);
- n. 54 prove di compressione monoassiale;
- n. 67 misure della velocità sonica V_p e V_s ;
- n. 58 prove di carico puntuale (PLT);
- n. 3 prove di trazione indiretta;
- n. 5 prove di compressione triassiale in roccia;

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto specialistici (Rif. [10]).

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

Nei paragrafi che seguono sono riepilogati nel dettaglio i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica eseguita per ciascuna delle formazioni interessate dalle opere lungo il tracciato. Per quanto concerne l'elaborazione delle prove geofisiche, in foro e di superficie, si rimanda nel dettaglio al paragrafo 8.3.10 della presente Relazione.

8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

A partire dal modello geologico di riferimento (§ Rif. [10]), l'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini geotecniche in sito e in laboratorio hanno consentito di individuare nell'area interessata dall'intervento in progetto le seguenti 8 Unità Geotecniche corrispondenti alle formazioni geologiche descritte nel capitolo 8:

1. Depositi di versante (DT)
2. Scaglia rossa (SAA)
3. Scaglia bianca (SBI)
4. Marne (FUC)
5. Maiolica (MAI)
6. Calcari diasprini umbro-marchigiani (CDU)
7. Calcari di posidonia (POD).
8. Corniola (COI)
9. Calcare massiccio (MAS2)

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

Sono illustrate nel seguito le caratteristiche fisiche e meccaniche di ciascuna Unità Geotecnica, ricavate dalle prove eseguite in sito e in laboratorio. La Tabella 3 riporta i simboli di riferimento adottati nella caratterizzazione geotecnica.

Tabella 3 - simboli di riferimento adottati per la caratterizzazione

γ	kN/m^3	Peso dell'unità di volume
γ_s	kN/m^3	Peso specifico
w	%	Umidità naturale
w_L	%	Limite liquido
w_P	%	Limite plastico
I_P	%	Indice di plasticità
D_r	-	Densità relativa
φ'_{SPT}	°	Angolo di attrito efficace da prove SPT
c'_{TX}	kPa	Coesione efficace da prove triassiali
φ'_{TX}	°	Angolo di attrito efficace da prove triassiali
c'_{TD}	kPa	Coesione efficace da prove di taglio diretto
φ'_{TD}	°	Angolo di attrito efficace da prove di taglio diretto
σ_{ci}	MPa	Resistenza a compressione monoassiale da prove CM
$\sigma_{ci,PLT}$	MPa	Resistenza a compressione monoassiale da prove PLT
E_i	GPa	Modulo elastico della roccia intatta
K_0	-	Coefficiente di spinta in quiete
E'_{DTM}	MPa	Modulo elastico da prove dilatometriche
E'_{SPT}	MPa	Modulo elastico da prove SPT
$G_{0,\text{SPT}}$	MPa	Modulo di taglio iniziale da prove SPT
k	m/s	Coefficiente di permeabilità
GSI_{rilievi}	-	Indice di qualità GSI da rilievi geomeccanici
GSI_{WP}	-	Indice di qualità GSI da Waypoint

8.3.1 Depositi di versante (DT)

I depositi di versante affiorano diffusamente nell'area di studio ed includono le formazioni geologiche: MTIa, MTIbn, MUSbn, MUSa.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati mostrano la prevalenza della componente a grana grossa. Il terreno è classificabile mediamente come ghiaia con sabbia e limo debolmente argillosa, a luoghi l'unità geotecnica si presenta come limo con argilla. (AGI, 1977) (Figura 6).



Figura 5 Sondaggio FCL22 (5-10 m da p.c.) e sondaggio FCS9 (0-5 m da p.c.)

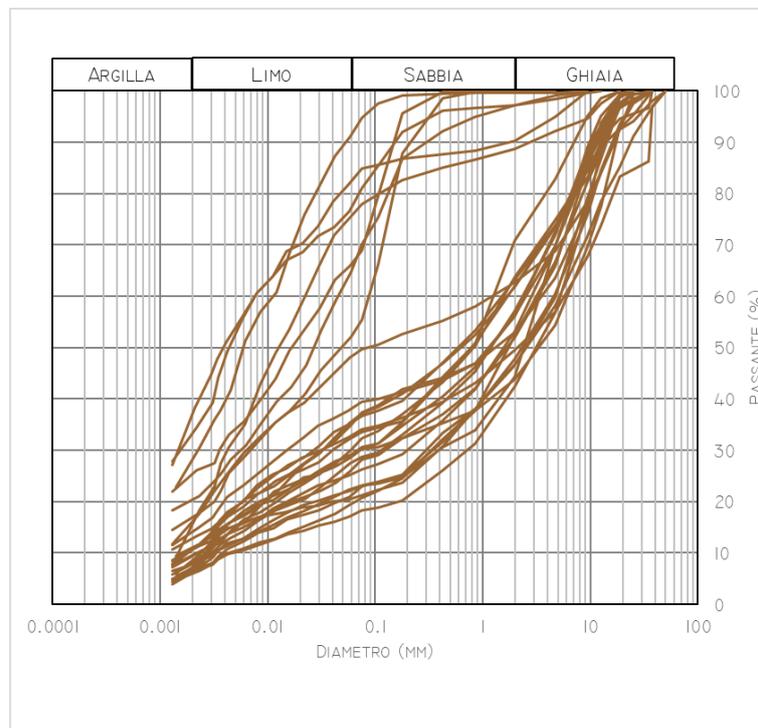


Figura 6 Analisi granulometrica

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 3 m e 18 m da piano campagna, 7 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio e 24 campioni rimaneggiati (questi ultimi utilizzati solo per determinare la composizione granulometrica e i limiti di Atterberg del terreno ove pertinente).

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

Il peso dell'unità di volume è compreso tra $17,5 \div 20 \text{ kN/m}^3$ mentre il peso specifico è compreso tra $25,5 \div 27,5 \text{ kN/m}^3$.

I limiti di Atterberg per le frazioni coesive sono compresi negli intervalli di seguito riportati:

- Limite plastico, w_p : 4% ÷ 33%
- Limite liquido, w_L : 16% ÷ 50%
- Indice di Plasticità, I_p : 2% ÷ 20%.

Il contenuto d'acqua naturale w risulta compreso tra il 22% ed il 29.

Si riportano in Tabella 4 per ciascun campione i valori delle caratteristiche fisiche dell'unità geotecnica dei *Depositi di versante (DT)*:

Tabella 4 - caratteristiche fisiche

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	w	w_L	w_p	I_p
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(%)	(%)	(%)	(%)
FCS31	CR1	3			20	15	5
FCS31	CR2	6			20	14	6
FCS31	CR3	10			23	14	9
FCS31	CR4	15			50	33	17
FCL32	CI1	4.4			41	25	16
FCL32	CR1	8			22	16	6
FCS34	CI1	3.6			40	26	14
FCS34	CR1	9.3			18	12	6
FCS34	CR2	13.6			26	15	11
FCS71	CR1	2.85					
FCS71	CI1	10.25	18.84	29.48	47	29	18
FCL34 bis	CI1	3.15	17.56	22.80	44	27	17
FCL34 bis	CR1	5.9			24	15	9
FCS18	CR1	3.45			34	23	11
FCS18	CI1	8.75	18.84	23.69	26	20	6
FCS18	CR2	12.15			22	16	6
FCS18	CR3	17.65			23	14	9
FCS30	CI1	11.5	19.91	22.34	29	20	9
FCS30	CR1	17.9			19	15	4
FCL22	CR1	5.8			29	9	20
FCL22	CR2	10.2			19	4	15
FCL24	CR1	5.5			18	13	5
FCL24	CI1	8.9	19.03	26.27	37	23	14
FCL24	CR2	12.2			16	12	4
FCL25	CR1	4.2			18	13	5
FCL25	CR2	9.2			17	13	4
FCL25	CR3	11.5			31	21	10
FCL52	CI1	6.8	19.42	23.87	19	17	2
FCL52	CR1	8.4			21	15	6
FCS16	CR1	6.65			44	24	20

Caratteristiche meccaniche

Sono stati analizzati, ai fini della caratterizzazione meccanica, i risultati delle prove di sito e di laboratorio condotte sui campioni indisturbati. Le profondità di prelievo dei 7 campioni variano tra 3,2 e 11,5 m da p.c.

Per determinare le caratteristiche di resistenza dell'unità geotecnica dei *Depositi di versante*, sono stati elaborati i risultati di 3 prove di taglio diretto (TD), 2 prove triassiali (1 CIU e 1 CID) e di 44 prove SPT.

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti t' ed s' (Figura 7) derivante delle 2 prove triassiali consolidate eseguite sui campioni indisturbati restituisce un valore di coesione c' pari a circa 16 kPa e angolo di

resistenza al taglio φ' pari a circa 27° . I risultati si riferiscono a campioni prelevati alle profondità di 10,3 e 11,5 m da piano campagna.

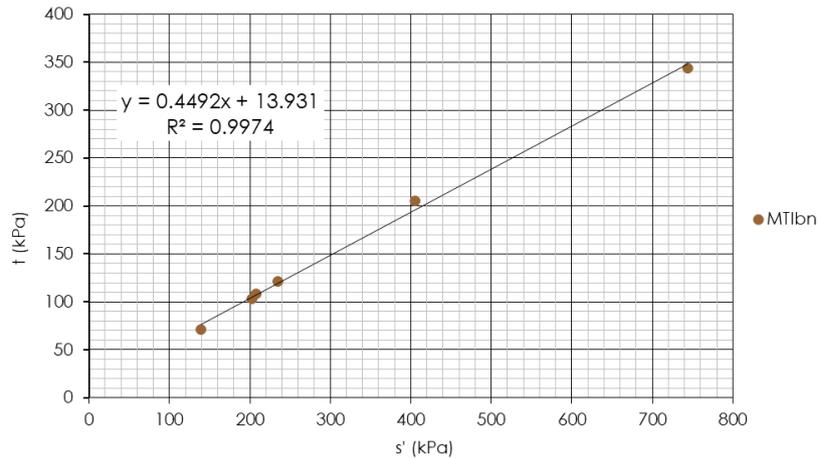


Figura 7 involuppo di resistenza delle prove triassiali

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 8), fornisce un valore di intercetta di coesione c' pari a circa 12 kPa e angolo di resistenza al taglio φ' pari a circa 35° .

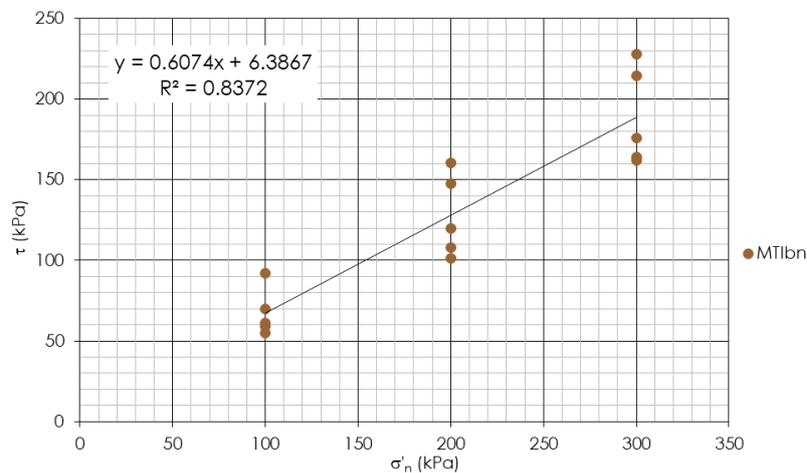


Figura 8 involuppo di resistenza delle prove di taglio diretto

Di seguito le tabelle riassuntive dei valori a rottura dedotti dalle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiale:

Prove di taglio diretto			
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	σ'_n	τ
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)
FCL34 bis - CI1	3.2	100	55
		200	108
		300	162
FCS18 - CI1	8.8	100	59
		200	120
		300	176
FCL24 - CI1	8.9	100	61
		200	101
		300	164

Prove di compressione triassiale						
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	σ'_1	σ'_3	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
CID	FCS71 - CI1	10.25	316	100	108	208
			610	200	205	405
			1088	400	344	744
CIU	FCS30 - CI1	11.5	211	68	72	140
			306	100	103	203
			356	114	121	235

Le 44 prove penetrometriche dinamiche SPT sono state elaborate con riferimento alle correlazioni empiriche dei terreni granulari di letteratura (Rif. [19] - Rif. [21]). In Figura 9 si riporta l'andamento, in funzione della profondità, del numero di colpi N_{SPT} , della densità relativa D_r e dell'angolo di attrito efficace ϕ' , definito utilizzando le correlazioni empiriche di riferimento.

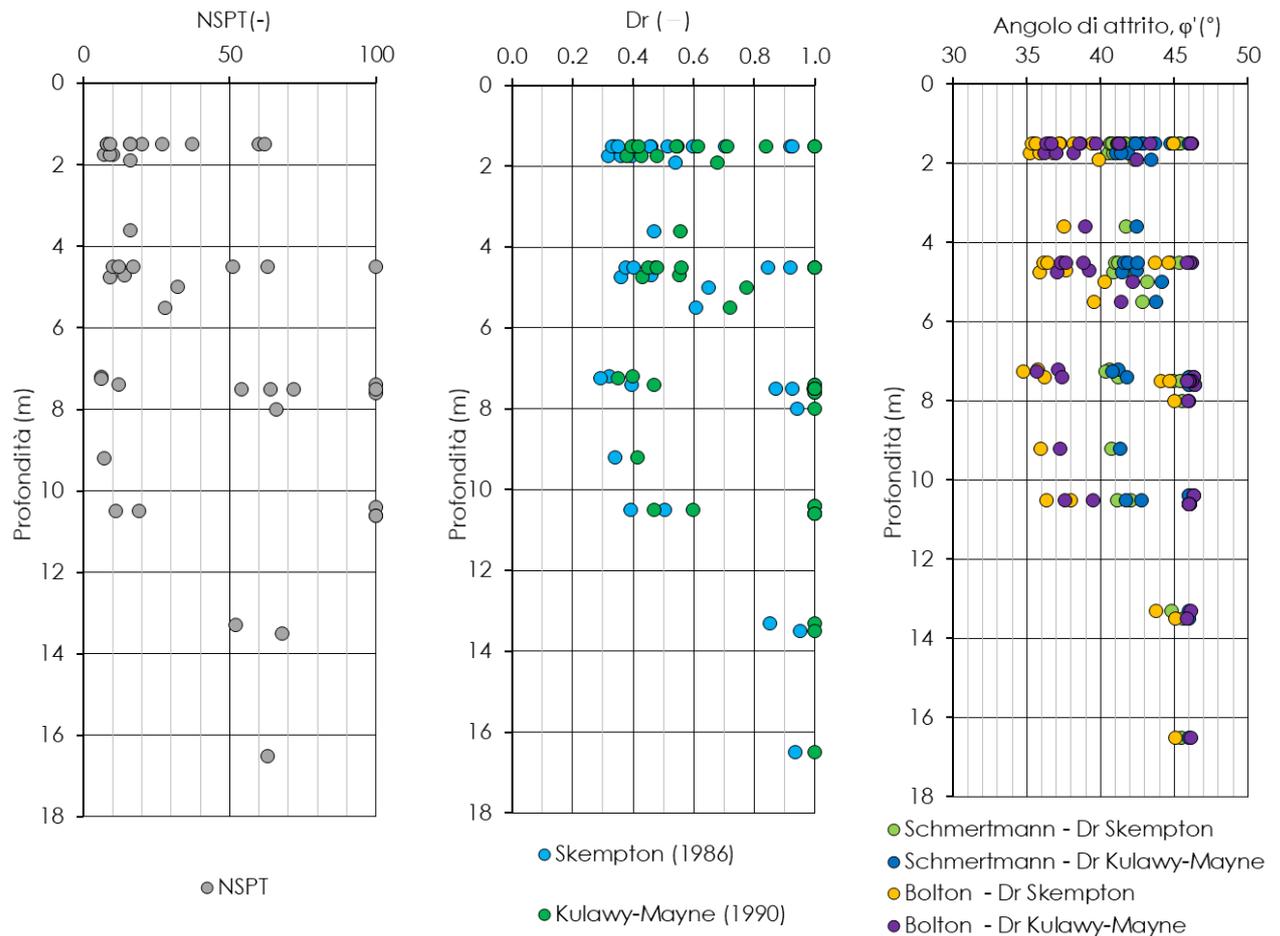


Figura 9 NSPT, densità relativa e angolo di attrito da prove SPT

I risultati delle prove SPT mostrano un angolo di attrito compreso tra 25° e 46° e densità relativa compresa tra 0,3 e 1,0. Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori numerici, delle prove relative ad ogni verticale di indagine. Quando la prova SPT ha dato come risultato “rifiuto” è stato attribuito un valore pari a 100 colpi:

Sondaggio	z	N _{SPT}
FCL22	1.9	16
FCL22	7.2	6
FCL24	9.2	7
FCL32	1.75	10
FCL32	4.7	14
FCL32	7.6	100
FCL34 bis	1.75	7
FCL34 bis	4.75	9
FCL34 bis	7.4	100
FCL34 bis	10.4	100
FCL52	1.75	9
FCL52	7.25	6
FCS3	1.5	8
FCS3	4.5	10
FCS30	1.5	60
FCS30	4.5	51
FCS30	7.5	54
FCS30	10.5	11
FCS30	13.3	52
FCS30	16.5	63
FCS31	1.5	62
FCS31	4.5	100

Sondaggio	z	N _{SPT}
FCS31	7.5	72
FCS31	10.6	100
FCS34	1.5	8
FCS34	3.6	16
FCS34	7.5	100
FCS34	10.6	100
FCS50	1.5	9
FCS50	4.5	12
FCS50	8	66
FCS71	1.5	37
FCS71	4.5	63
FCS71	7.5	64
FCS71	10.5	19
FCS71	13.5	68
FCS4	1.5	20
FCS9	1.5	27
FCS9	5	32
FCS16	1.5	16
FCS16	5.5	28
FCS18	1.5	16
FCS18	4.5	17
FCS18	7.4	12

Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 8 prove geofisiche (3 Down-Hole e 5 MASW), 44 prove penetrometriche dinamiche SPT e 13 prova dilatometriche.

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione ed il dettaglio dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo 62 ÷ 642 MPa e del coefficiente di spinta in quiete nell'intervallo 0.5 ÷ 1.5.

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCS30	6	70	0.7
FCS30	13	511.6	0.5
FCS18	6	62.2	0.7
FCS34	10	289	0.8
FCL24	7	429	0.7
FCL32	5.5	161	0.6
FCL22	7	66	0.5
FCL25	6.5	642	0.5
FCS9	6.5	210	1
FCS16	6.5	124	1
FCS17	5.5	461	1.5
FCS18	12.5	285	0.5
FCS31	8.5	199	0.5

La Figura 10 mostra gli andamenti con la profondità del modulo elastico E' e del modulo di taglio iniziale G_0 ottenuti da prove SPT. I parametri risultano rispettivamente compresi negli intervalli: $5 \div 100$ MPa e $48 \div 347$ MPa.

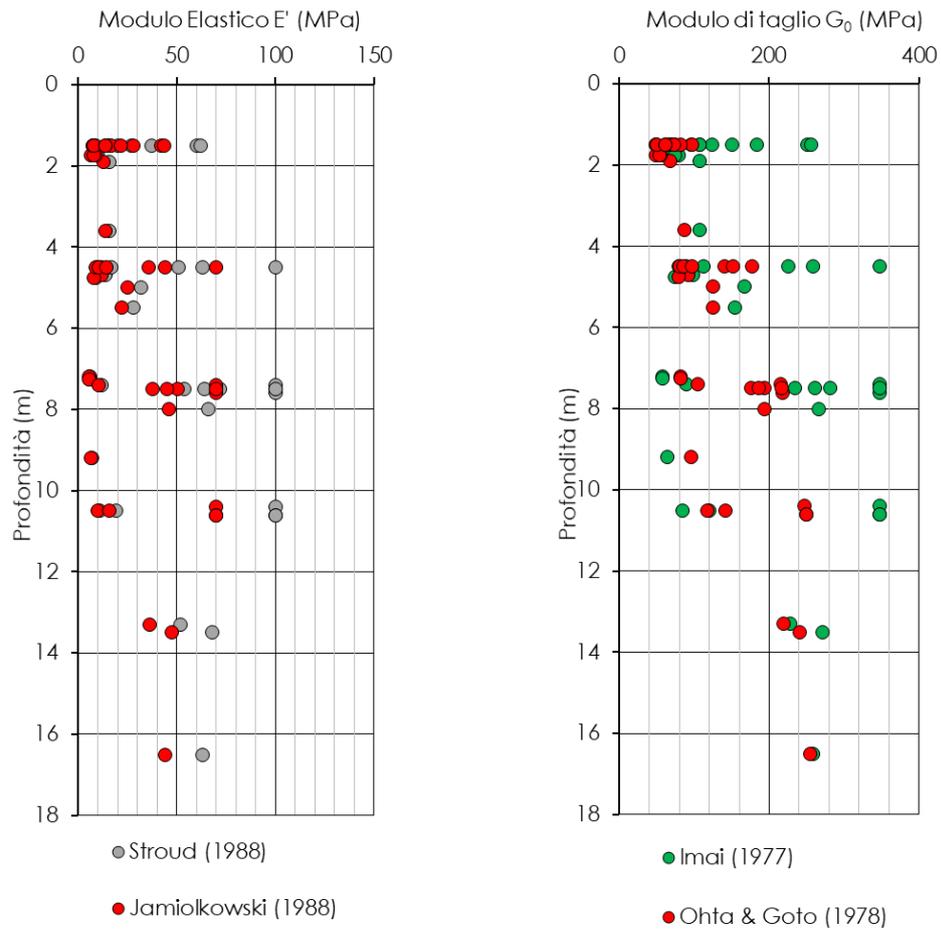
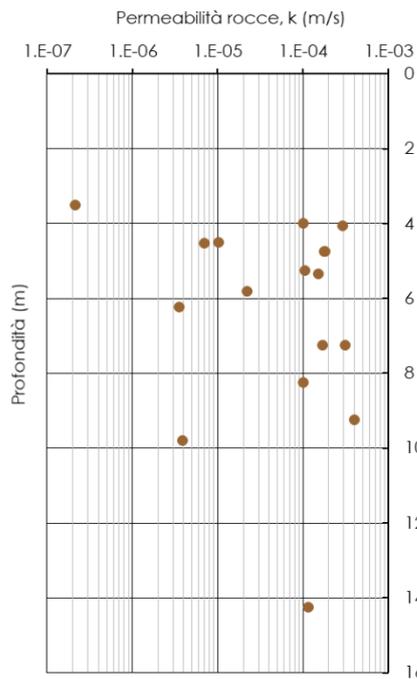


Figura 10 modulo elastico E' e modulo di taglio G_0 da prove SPT

Sono state eseguite 16 prove di permeabilità di tipo Lefranc e 2 prove Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 4 e 14 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $2 \cdot 10^{-7}$ e $2 \cdot 10^{-3}$ m/s (Figura 11).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	FCS30	4.1	2.9E-04
Lefranc	FCS31	5.4	1.5E-04
Lefranc	FCS34	4.5	7.0E-06
Lefranc	FCS34	14.3	1.1E-04
Lefranc	FCL32	3.5	2.1E-07
Lugeon	FCS4	6.2	3.5E-06
Lugeon	FCS4	9.8	3.9E-06
Lefranc	FCS9	7.3	3.1E-04
Lefranc	FCS16	4.5	1.0E-05
Lefranc	FCS71	5.3	1.1E-04
Lefranc	FCS17	4.0	1.0E-04
Lefranc	FCS18	4.8	1.8E-04
Lefranc	FCS18	12.5	1.9E-03
Lefranc	FCL10	8.3	1.0E-04
Lefranc	FCL22	5.8	2.2E-05
Lefranc	FCL24	7.3	1.7E-04
Lefranc	FCL25	4.8	1.8E-04
Lefranc	FCL52	9.3	4.0E-04

Figura 11 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri geotecnici per l'unità dei *Depositi di versante*. La Tabella 5 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro.

Tabella 5 - sintesi parametri geotecnici

	min	max	
γ	17.6	19.9	(kN/m ³)
γ_s	25.6	27.3	(kN/m ³)
w	22.3	29.5	(%)
w_L	16.0	50.0	(%)
w_P	4.0	33.0	(%)
I_P	2.0	20.0	(%)
D_r	0.3	1.0	(-)
ϕ'_{SPT}	25.2	46.4	(°)
K₀	0.5	1.5	(MPa)
E'_{DM}	62.2	642.0	(MPa)
E'_{SPT}	5.5	100.0	(MPa)
G_{0,SPT}	48.3	347.2	(MPa)
k	2.13E-07	1.89E-03	(m/s)

involuppi di rottura		
c'_{TD}	12	(kPa)
ϕ'_{TD}	35	(°)
c'_{TX}	16	(kPa)
ϕ'_{TX}	27	(°)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

8.3.2 Scaglia Rossa (SAA)

L'unità geotecnica Scaglia Rossa è costituita da calcari e calcari marnosi individuati nelle formazioni geologiche: membro inferiore (SAA1), membro intermedio (SAA2) e membro superiore (SAA3).



Figura 12 Sondaggio FCS73 (39-44 m da p.c.) e sondaggio FCS8 (70-75 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 7 m e 88 m da piano campagna, 22 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 25 e 26.5 kN/m³ (Figura 13).

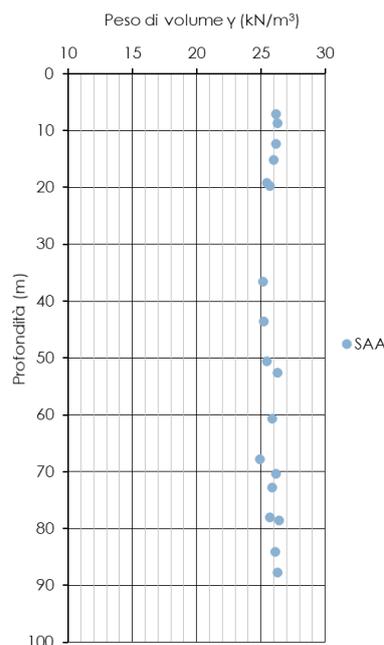


Figura 13 Peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 12 prove di compressione monoassiale e 9 prove di carico puntuale (PLT) eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 25 e 132 MPa (Figura 14). Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 8,8 e 87,7 m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 15 prove di velocità sonica su provino e 12 prove di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 24.7 e 75.3 GPa (Figura 15).

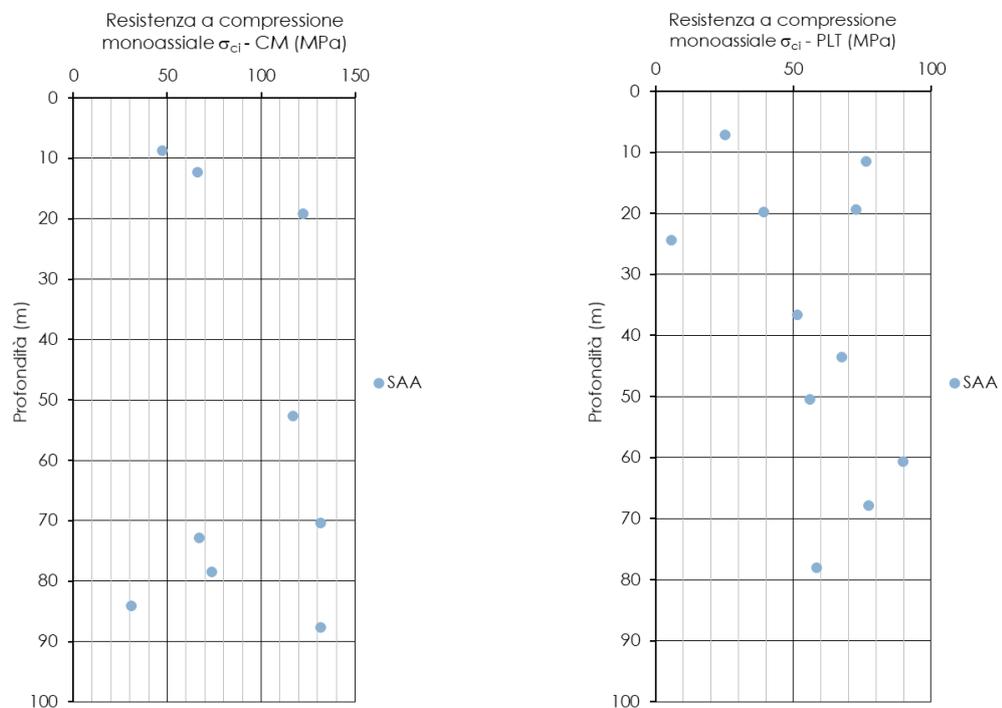


Figura 14 Resistenza a compressione monoassiale

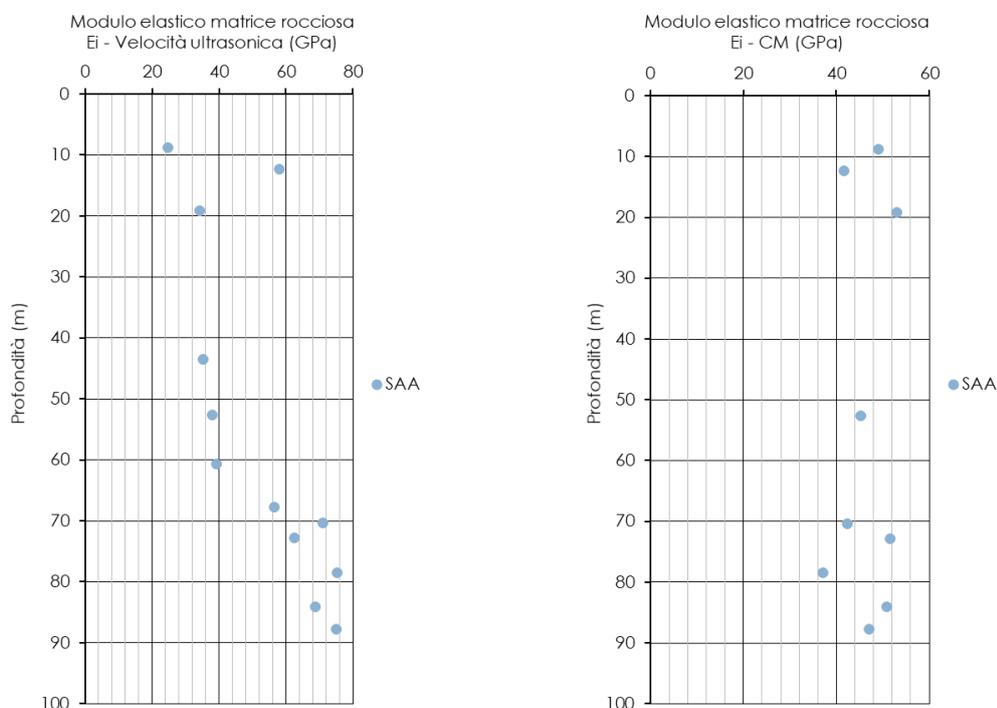


Figura 15 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 6 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Scaglia rossa*.

Tabella 6 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
FCS8	CI2	36.6	25.18		51.288		
FCS8	CI3	43.55	25.24		67.584		35.3
FCS8	CI4	50.5	25.45		56.088		
FCS8	CI5	60.6	25.86		89.736		39.1
FCS8	CR3	67.8	24.91		77.256		56.5
FCS8	CR4	78	25.71		58.32		
FCS73	CR3	52.6	26.29	116.8		45.3	38.0
FCS73	CI1	70.35	26.19	131.5		42.36	71.0
FCS73	CI2	72.8	25.90	67.0		51.56	62.5
FCS73	CI3	78.5	26.39	73.5		37.1	75.3
FCS73	CI4	84.1	26.09	31.0		50.89	68.7
FCS73	CI5	87.7	26.29	131.8		47.04	75.0
FCS4	CI2	7.1	26.19		25.032		
FCS4	CI4	15.15	26.00				
FCS4	CI5	19.75	25.70		39.12		
FCS6	CI4	19.3			72.6		
FCS9	CI1	8.75	26.29	47.5		48.97	24.7
FCS9	CI2	12.3	26.19	66.2		41.71	57.9
FCS9	CR2	19.15	25.45	122.3		53	34.1
FCS9	CI1	8.75	26.29	47.5		48.97	24.7
FCS9	CI2	12.3	26.19	66.2		41.71	57.9
FCS9	CR2	19.15	25.45	122.3		53	34.1

Per determinare le caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati di 2 prove geofisiche (1 Down-Hole e 1 MASW) e 7 prove dilatometriche.

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo 1245 ÷ 7185 Mpa e del coefficiente di spinta in quiete nell'intervallo 0.7 ÷ 1.0.

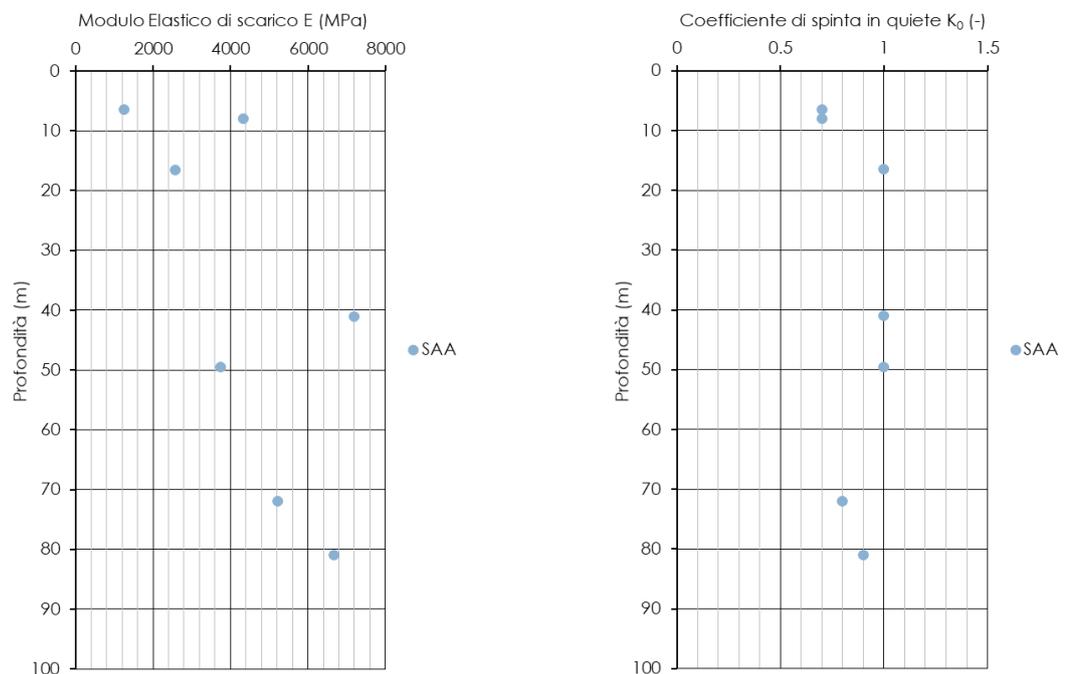
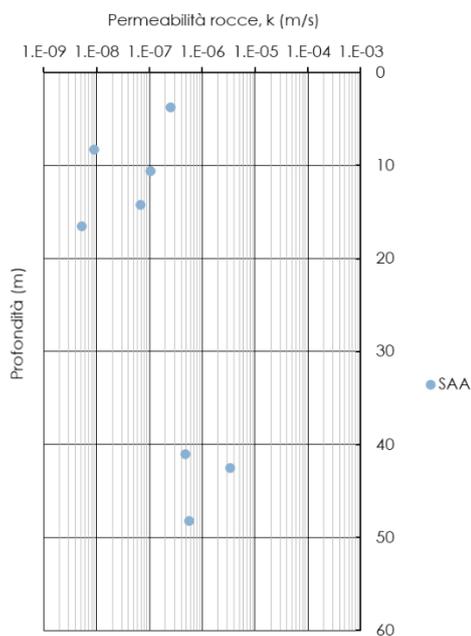


Figura 16 modulo di deformabilità operativo da prove dilatometriche e coefficiente di spinta in quiete

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCS73	72	5220	0.8
FCS73	81	6665	0.9
FCS8	41	7185	1
FCS8	49.5	3753	1
FCS4	6.5	1245	0.7
FCS4	8	4336	0.7
FCS9	16.5	2569	1

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 2 prove di tipo Lefranc e 6 prove di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 3.7 e 48.5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $5 \cdot 10^{-9}$ e $3 \cdot 10^{-6}$ m/s (Figura 17).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	FCS8	41	4.84E-07
Lugeon	FCS8	48.25	5.76E-07
Lugeon	AFC61	42.5	3.42E-06
Lugeon	FCS6	3.75	2.54E-07
Lugeon	FCS6	10.6	1.05E-07
Lugeon	FCS9	14.25	6.86E-08
Lefranc	FCL34 bis	8.25	9.04E-09
Lefranc	FCL34 bis	16.5	5.30E-09

Figura 17 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 40÷50 e 15÷55.

Caratteristiche delle discontinuità

I rilievi geostrutturali, eseguiti lungo il tracciato dell'opera, hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, ognuno di essi ha rilevato la presenza di 3÷4 famiglie principali di discontinuità e superfici di stratificazione. Tali discontinuità presentano valori di spaziatura media variabile tra 0,1 e 0,9 m di gran lunga inferiore alla dimensione dell'opera in progetto.

Si riporta nel seguito il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità relative ad ogni stop geostrutturale eseguito:

Stop geomeccanico	Formazione	Famiglia discontinuità	Immersione	Inclinazione	JRC	JCS
-	-	-	°	°	-	Mpa
SG4	SAA3	strato	214	7	6÷8	48.3
		K1	180	83	8÷10	76.6
		K2	87	84	6÷8	60.1
		K3	134	89		
SG14	SAA1	strato	227	34	6÷8	104
		K1	328	89	10÷12	
		K2	56	64	14÷16	73.2
SG15	SAA2	strato	246	67		70.5
		K1	157	12		
		K2	169	84		
		K3	170	50		55.9
SG5	SAA2	strato	231	86	6÷10	42
		K1	329	87		
		K2	312	87	8÷10 - 16÷18	
		K3	115	71	8÷10	35.5

Figura 18 stop geostrutturali

Per ulteriori dettagli sui valori ricavati si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica SAA. La Tabella 7 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 7 - sintesi parametri geotecnici SAA

	min	max	
γ	24.9	26.4	(kN/m ³)
σ_{ci}	31.0	131.8	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	25.0	89.7	(MPa)
E_i	24.7	75.3	(GPa)
E	1245.0	7185.0	(MPa)
K_0	0.7	1.0	(-)
k	5.30E-09	3.42E-06	(m/s)
$GSI_{rilievi}$	40.0	50.0	(-)
GSI_{WP}	15.0	55.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

8.3.3 Scaglia Bianca (SBI)

L'unità geotecnica Scaglia bianca (SBI) è costituita da calcari e calcari marnosi, a frattura scagliosa, in strati medi, con sottili livelli bituminosi, e da strati di selce rosata.



Figura 19 Sondaggio FCS3 (87-92 m da p.c.) e sondaggio FCS34 (25-30 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 20 m e 150 m da piano campagna, 14 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 22,5 e 26,5 kN/m³ (Figura 20).

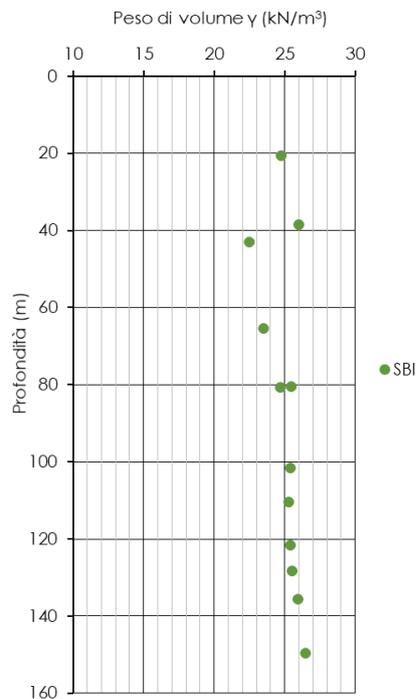


Figura 20 Peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 6 prove di compressione monoassiale e 7 prove di carico puntuale (PLT), eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 2,4 e 75,9 MPa (Figura 21). Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 20 e 150 m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 12 prove di velocità sonica su provino, 6 prove di compressione monoassiale (CM) e una prova di compressione triassiale (TX), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 1,2 e 80,3 GPa (Figura 22).

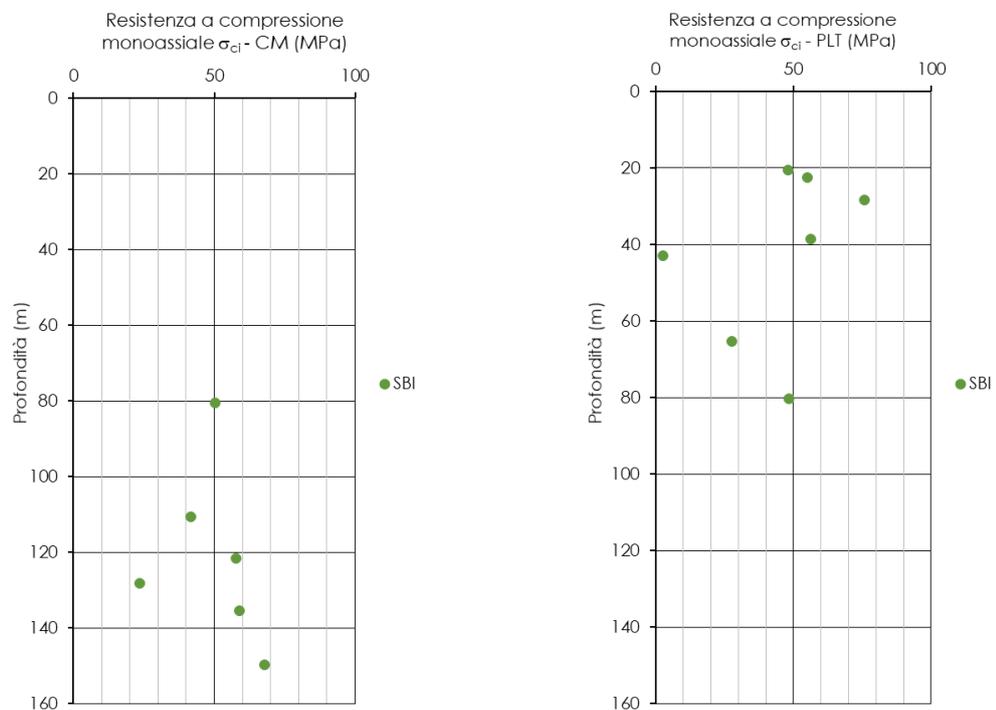


Figura 21 Resistenza a compressione monoassiale

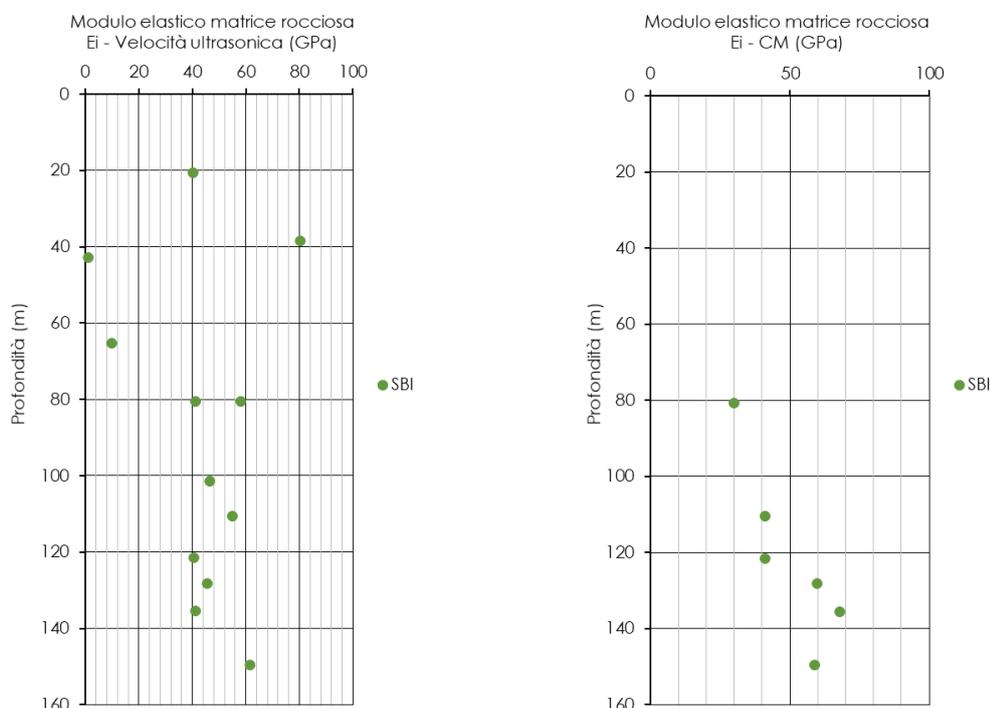


Figura 22 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 8 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Scaglia bianca*.

Tabella 8 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,TX}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)
FCS3	CR1	42.9	22.48		2.448			1.2
FCS3	CR2	65.3	23.52		27.7			9.9
FCS3	CR3	80.4	25.46		48.2			41.2
FCS3	CI1	101.5	25.41				70.07	46.4
FCS3	CI2	110.5	25.26	41.5		41.19		55.0
FCS3	CI3	121.5	25.42	57.8		41.14		40.5
FCS3	CI4	128.2	25.52	23.5		59.64		45.7
FCS3	CI5	135.5	25.93	58.8		67.86		41.3
FCS3	CR4	149.6	26.49	67.8		58.8		61.5
FCS34	CI2	20.5	24.75		48.0			40.1
FCS34	CR3	28.4			75.9			
FCS34	CR4	38.5	25.97		56.2			80.3
ACF61	CI3	80.6	24.70	50.4		29.89		58.0
FCS6	CI5	22.6			55.0			

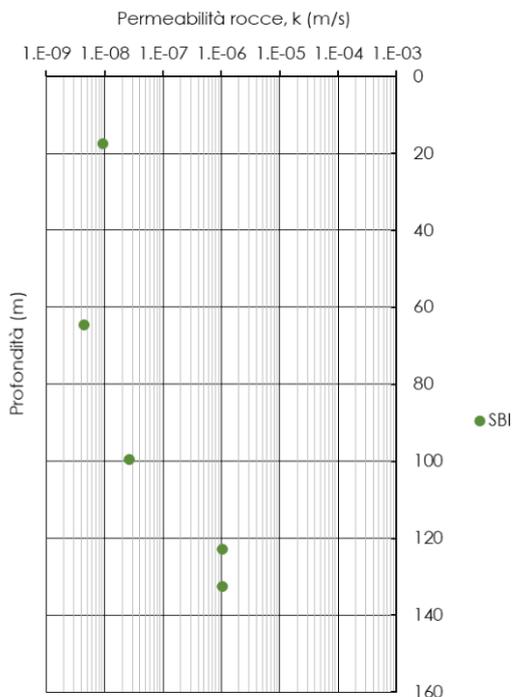
Per determinare le caratteristiche di deformabilità sono stati elaborati i risultati di 7 prove dilatometriche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo $3536 \div 13951$ MPa, mentre il coefficiente di spinta in quiete risulta pari a 0.7.

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K_0
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCS3	61	13951	0.7
FCS3	120	10271	0.7
FCS3	129	3536	0.7

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 5 prove di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 17,5 e 132,5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $4 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (Figura 23).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	FCS3	64.5	4.40E-09
Lugeon	FCS3	122.85	1.05E-06
Lugeon	FCS3	132.5	1.04E-06
Lugeon	FCS34	17.5	9.38E-09
Lugeon	AFC61	99.5	2.63E-08

Figura 23 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: $35 \div 45$ e $25 \div 45$.

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *SBI*. La Tabella 9 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 9 - sintesi parametri geotecnici SBI

	min	max	
γ	22.5	26.5	(kN/m ³)
σ_{ci}	23.5	67.8	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	2.4	75.9	(MPa)
E_t	1.2	80.3	(GPa)
E	3536.0	13951.0	(MPa)
K_0	0.7	0.7	(-)
k	4.40E-09	1.05E-06	(m/s)
$GSI_{rilievi}$	35.0	45.0	(-)
GSI_{WP}	25.0	45.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8.3.4 Marne (FUC)

L'unità geotecnica delle Marne è costituita essenzialmente da marne, marne argillose e calcari marnosi.



Figura 24 Sondaggio FCL10 (30-35 m da p.c.) e sondaggio FCS52 (30-35 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 13 m e 233 m da piano campagna, 10 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24,5 e 26,5 kN/m³ (Figura 25).

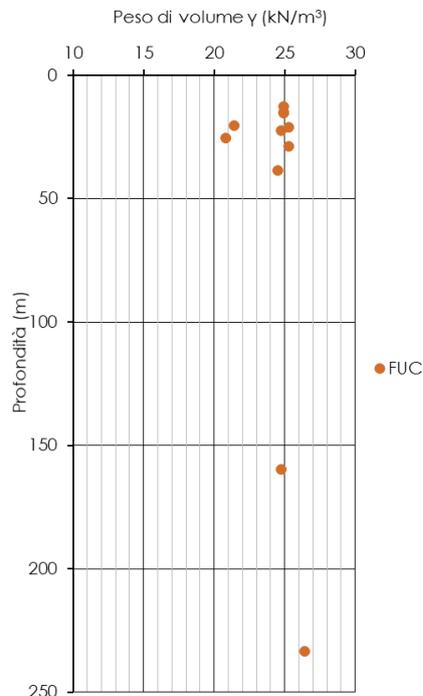


Figura 25 peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 7 prove di compressione monoassiale e 2 prove di trazione indiretta, eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 14,1 e 97,4 MPa (Figura 26) e di resistenza a trazione σ_T compresi nell'intervallo $4,1 \div 4,9$ MPa. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 12,6 e 233,3 m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 9 prove di velocità sonica su provino e 9 prove di compressione monoassiale (CM) condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 7,1 e 68,2 GPa (Figura 27).

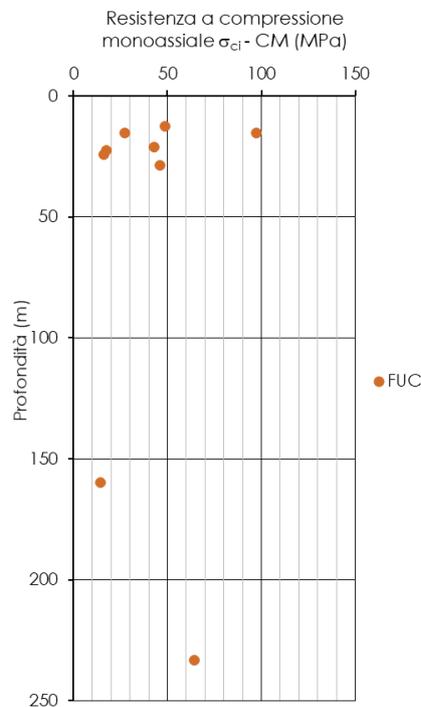


Figura 26 Resistenza a compressione monoassiale

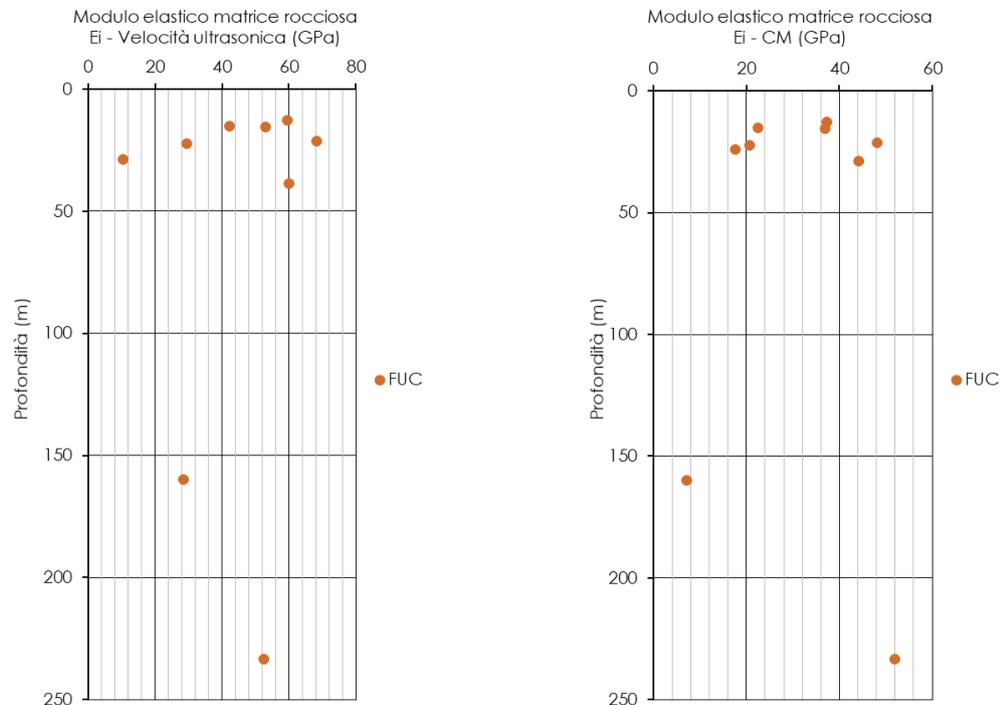


Figura 27 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 10 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica delle *Marne*.

Tabella 10 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
ACF61	CI8	159.8	24.77	14.1		7.08	28.4
ACF61	CI10	233.3	26.42	64.3	4.9	51.88	52.5
FCL10	CR3	15.1	24.90	27.3		22.51	42.3
FCL10	CR4bis	22.3	24.72	17.3		20.64	29.5
FCL10	CR4	24.1		16.2		17.58	
FCL10	CR5bis	38.5	24.53				60.1
FCL52	CR2	12.6	24.92	48.7		37.33	59.6
FCL52	CR3bis	15.3	24.93	97.4	4.1	36.99	53.1
FCL52	CR4bis	21.2	25.30	42.8		48.17	68.2
FCL52	CR5bis	28.7	25.30	46.0		44.09	10.4

Per determinare le caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati di 2 prove geofisiche (1 Down-Hole e 1 MASW) e 8 prove dilatometriche.

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo 334 ÷ 12010 MPa e del coefficiente di spinta in quiete nell'intervallo 0.5 ÷ 1.1.

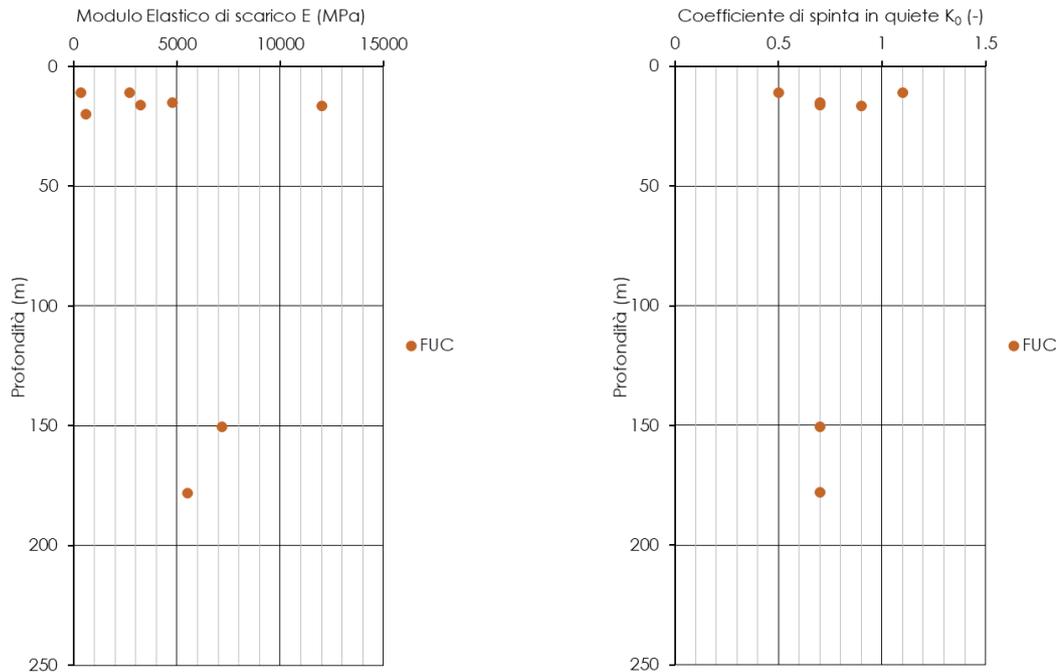
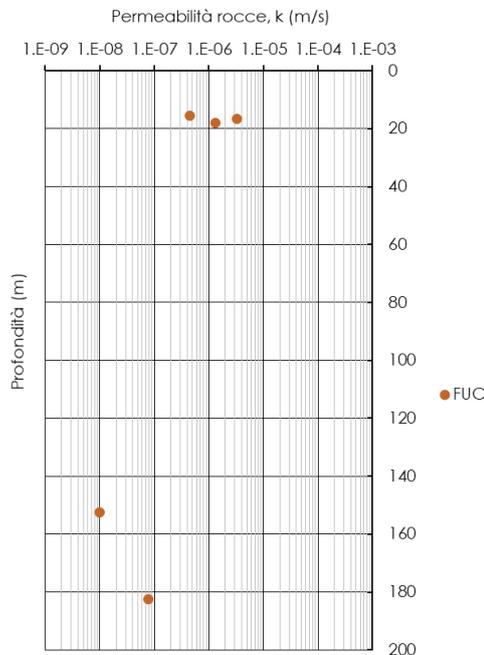


Figura 28 modulo di deformabilità operativo da prove dilatometriche e coefficiente di spinta in quiete

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
AFC61	150.5	7162	0.7
AFC61	178	5506	0.7
FCS34	16.1	3256	0.7
FCL10	11	334	0.5
FCL10	15	4786	0.7
FCL52	11	2711	1.1
FCL52	16.5	12010	0.9
FCS31	20	579	1

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 5 prove di tipo Lefranc nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 17,5 e 132,5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $3 \cdot 10^{-6}$ m/s (Figura 29).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	FCS31	15.4	4.53E-07
Lugeon	AFC61	152.5	9.89E-09
Lugeon	AFC61	182.5	7.65E-08
Lugeon	FCL10	16.5	3.30E-06
Lugeon	FCL52	18	1.32E-06

Figura 29 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 25÷35 e 20÷35.

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica FUC. La Tabella 11 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 11 - sintesi parametri geotecnici FUC

	min	max	
γ	22.5	26.5	(kN/m ³)
σ_{ci}	23.5	67.8	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	2.4	75.9	(MPa)
E_i	1.2	80.3	(GPa)
E	3536.0	13951.0	(MPa)
K_0	0.7	0.7	(-)
k	4.40E-09	1.05E-06	(m/s)
$GSI_{rilievi}$	35.0	45.0	(-)
GSI_{WP}	25.0	45.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

8.3.5 Maiolica (MAI)

Caratteristiche fisiche

L'unità geotecnica Maiolica è costituita quasi esclusivamente da micriti biancastre, in strati medi, con selce nera e con sottili intercalazioni di peliti nerastre.



Figura 30 Sondaggio FCS16 (30-40 m da p.c.)

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 9 m e 357 m da piano campagna, 16 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24 e 26.5 kN/m³ (Figura 31).

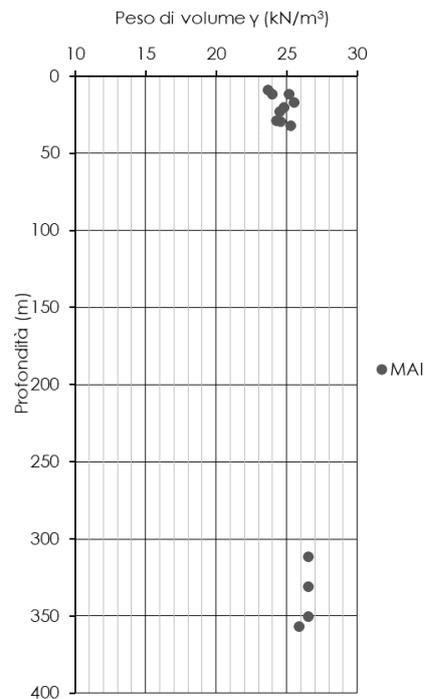


Figura 31 peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 7 prove di compressione monoassiale, 7 prove di carico puntuale (PLT), 1 prova di trazione indiretta e 2 prove triassiali eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 22,3 e 101,3 MPa (Figura 32). Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 9 e 357 m da p.c.

Solo una delle prove triassiali su provini in roccia fornisce risultati interpretabili, di seguito si riporta la tabella riassuntiva:

sondaggio/campione	sondaggio	campione	profondità da p.c.	formazione	σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)	s_{ci}	m_i
FCS16 - CI2	FCS16	CI2	11.35	MAI	2.00	99.70	82.14	19.73
					4.00	122.80		
					6.00	132.60		

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 8 prove di velocità sonica su provino, 7 prove di compressione monoassiale (CM) e 2 prove di compressione triassiale (TX), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 16.1 e 77.9 GPa (Figura 33).

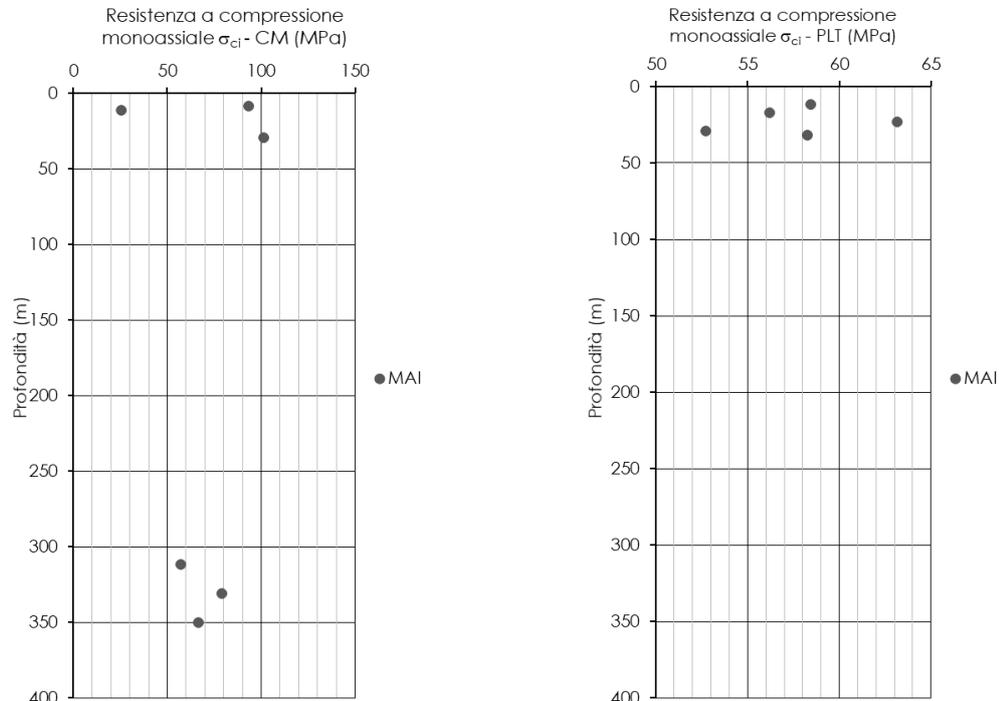


Figura 32 Resistenza a compressione monoassiale

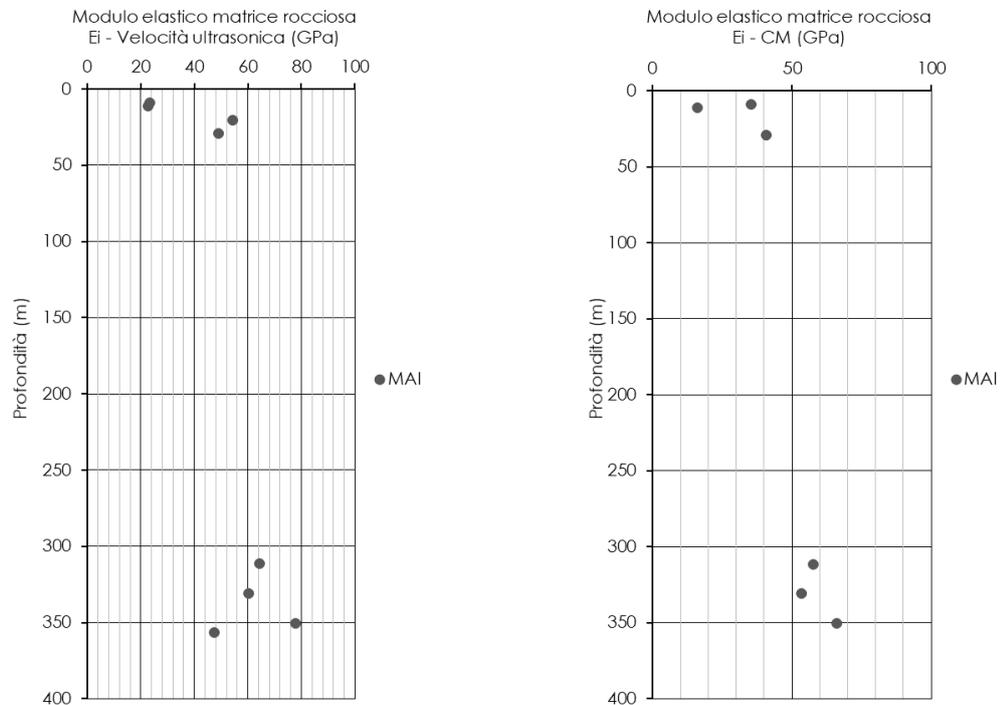


Figura 33 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 12 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Maiolica*.

Tabella 12 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_c	$\sigma_{c,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,TX}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)
FCL32	CR2	11.45	25.15		58.44				
FCL32	CR3	17.25	25.52		56.2				
FCL32	CR4	23.15	24.50		63.1				
FCL32	CR5	29	24.27		52.7				
FCL32	CR6	32	25.29		58.3				
FCL34 bis	CR7	27.8	24.53		41.3				
FCL34 bis	CR8	31.8	25.04		53.9				
FCL34 bis	CR9	39.8	25.31	22.3			28.81		
ACF61	CI15	311.5	26.54	57.1			57.52		64.5
ACF61	CI19	330.7	26.52	78.9		4.6	53.39		60.4
ACF61	CI21	350.3	26.51	66.4			66.06		77.9
ACF61	CI22	356.6	25.89					52.07	47.3
FCS16	CI1	8.7	23.70	93.1			35.37		23.5
FCS16	CI2	11.35	23.99	25.6			16.09		22.8
FCS16	CI3	20.35	24.83					43.53	54.4
FCS16	CI4	29.25	24.56	101.3			40.7		49.0

Per determinare le caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati di 1 prove Down-Hole e 3 prove dilatometriche.

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo 1482 ÷ 6849 MPa e del coefficiente di spinta in quiete nell'intervallo 0.7 ÷ 0.9.

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCL32	15	1482	0.7
FCL32	24	6849	0.7
FCS16	12.5	2409	0.9

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 6 prove di tipo Lefranc e 2 prove di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 3.7 e 48.5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità *k* risulta variabile tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $8 \cdot 10^{-6}$ m/s (Tabella 13).

Tabella 13 - coefficiente di permeabilità *k* da prove in sito

Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(m)	(m/s)
FCL32	10.5	8.50E-06
FCL32	20.5	3.40E-06
FCS16	11.5	1.28E-07

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 30÷60 e 35÷60.

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica MAI. La Tabella 14 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 14 - sintesi parametri geotecnici MAI

	min	max	
γ	23.7	26.5	(kN/m ³)
σ_{ci}	22.3	101.3	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	41.3	63.1	(MPa)
E_i	16.1	77.9	(GPa)
E	1482.0	6849.0	(MPa)
K₀	0.7	0.9	(-)
k	1.28E-07	8.50E-06	(m/s)
GSI_{rilievi}	30.0	60.0	(-)
GSI_{WP}	35.0	60.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8.3.6 Calcari diasprini umbro-marchigiani (CDU)

L'unità geotecnica dei Calcari diasprini umbro – marchigiani è costituita dalle due formazioni geologiche dei Calcari diasprini (CDU1 – membro inferiore) e i Calcari a Saccocoma ed Aptici (CDU2 – membro superiore) ed è costituita da calcari e calcari selciferi.



Figura 34 Sondaggio FCS73 (39-44 m da p.c.) e sondaggio FCS8 (70-75 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

È stato prelevato, alla profondità di 8,35 m da piano campagna un unico campione indisturbato sottoposto a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume risulta pari a 25 kN/m³.

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa è stata eseguita una prova triassiale (Tabella 15) e una prova di velocità sonica.

Tabella 15 - prova triassiale

sondaggio/campione	sondaggio	campione	profondità da p.c.	formazione	σ_3	σ_1
	(-)	(-)	(m)	(-)	(MPa)	(MPa)
FCS17 - CII	FCS17	CII	8.35	CDU1	2.00	82.10
					4.00	110.40
					6.00	177.00

Il modulo elastico della matrice rocciosa risulta compreso nell'intervallo: 38.2 e 48.7 GPa.

La Tabella 16 riporta i valori del peso dell'unità di volume e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni provino del campione FCS17.

Tabella 16 - peso di volume e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	$E_{t,TX}$	$E_{t,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(GPa)	(GPa)
FCS17	CII	8.35	24.92	38.16	48.7

Per le caratteristiche di resistenza di tale formazione si prendono a riferimento quelle della formazione del Calcarea massiccio (MAS2).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 35÷45 e 30÷45.

Caratteristiche delle discontinuità

Il rilievo geostrutturale, eseguito lungo il tracciato dell'opera, hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, ha rilevato la presenza di 3 famiglie principali di discontinuità e superfici di stratificazione. Tali discontinuità presentano valori di spaziatura media pari a 0,35 m di gran lunga inferiore alla dimensione dell'opera in progetto.

Si riporta nel seguito il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità:

Stop geomeccanico	Formazione	Famiglia discontinuità	Immersione	Inclinazione	JRC	JCS
-	-	-	°	°	-	Mpa
SG12	CDU2	strato	272	32		
		K1	128	66	4÷6 - 8÷10	
		K2	64	69		

Figura 35 stop geostrutturale

Per ulteriori dettagli sui valori ricavati si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *CDU*. La Tabella 17 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 17- sintesi parametri geotecnici CDU

	min	max	
γ	24.9	24.9	(kN/m ³)
σ_{ci}	0.0	0.0	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	0.0	0.0	(MPa)
E_i	38.2	48.7	(GPa)
$GSI_{rilievi}$	35.0	45.0	(-)
GSI_{WP}	30.0	45.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8.3.7 Calcari di Posidonia (POD)

L'unità geotecnica dei Calcari di Posidonia è costituita da calcari e calcari marnosi, e da calcari detritici.



Figura 36 Sondaggio FCL25 (35-40 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 11 m e 26,4 m da piano campagna, 3 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 25 e 26.5 kN/m³.

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 2 prove di compressione monoassiale e 1 prova di carico puntuale (PLT) eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 15,8 e 107,6 MPa. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 11 e 26.4 m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 2 prove di velocità sonica su provino e 2 prove di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 3.4 e 38.7 GPa.

La Tabella 18 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Calcari di Posidonia*.

Tabella 18 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ei}	$\sigma_{ei,PLT}$	$E_{4,UNI}$	$E_{4,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
FCS17	CI2	11.25	26.29	107.6		38.72	34.6
FCS17	CI3	19.35			85.9		
FCS17	CL1	26.4	25.02	15.8		3.34	7.3

Per determinare le caratteristiche di deformabilità è stato elaborato il risultato di 1 prova dilatometrica, che fornisce un valore del modulo di elasticità pari a 708MPa e del coefficiente di spinta in quiete pari a 1.

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, della prova dilatometrica:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K_0
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCS17	18	708	1

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 1 prova di tipo Lefranc e 1 prova di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, alle profondità di 14.5 e 19.5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $5 \cdot 10^{-8}$ e $6 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Tabella 19 - coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	FCS17	14.5	5.04E-08
Lefranc	FCL25	19.5	5.60E-05

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta compreso nell'intervallo: $30 \div 40$.

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *POD*. La Tabella 20 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 20 - sintesi parametri geotecnici POD

	min	max	
γ	25.0	26.3	(kN/m ³)
σ_{ci}	15.8	107.6	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	85.9	85.9	(MPa)
E_i	3.3	38.7	(GPa)
E	708.0	708.0	(MPa)
K_0	1.0	1.0	(-)
k	5.04E-08	5.60E-05	(m/s)
GSI_{WP}	30.0	40.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

8.3.8 Corniola (COI)

L'unità geotecnica Corniola è costituita da calcari a grana molto fine (micriti) con selce e con intercalazioni pelitiche.



Figura 37 Sondaggio FCS18 (35-40 m da p.c.) e sondaggio FCL22 (30-35 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 13 m e 31 m da piano campagna, 6 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 23.5 e 25.5 kN/m³ (Figura 38).

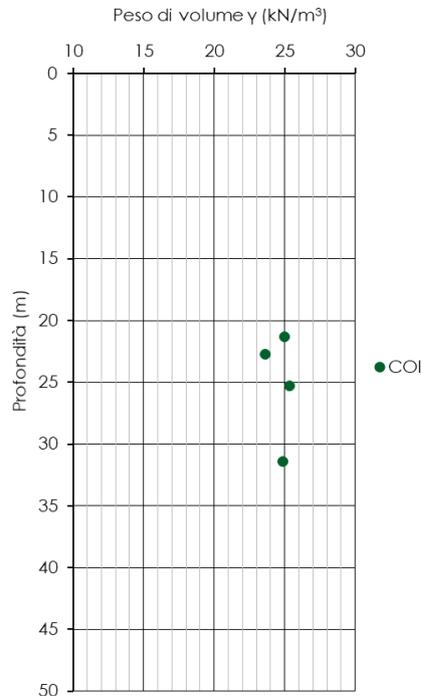


Figura 38 Peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 2 prove di compressione monoassiale e 4 prove di carico puntuale (PLT) eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 13.4 e 108.6 MPa. Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 13 e 31m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 2 prove di velocità sonica su provino e 2 prove di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 20.1 e 40.4 GPa.

La Tabella 21 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Corniola*.

Tabella 21 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
FCS18	CI2	21.3	24.98		90.576		
FCS18	CI3	25.25	25.32		108.6		
FCS18	CI4	31.4	24.89	53.4		40.41	35.2
FCL22	CR3	12.7			58.4		
FCL22	CR4	15.6			58.0		
FCL22	CR5	22.7	23.62	13.4		23.9	20.1

Per determinare le caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati di 2 prove geofisiche (1 Down-Hole e 1 MASW) e 1 prova dilatometrica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione della prova dilatometrica fornisce valori del modulo di elasticità pari a 834Mpa e del coefficiente di spinta in quiete pari a 0.7.

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCL22	21	834	0.7

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità è stata eseguita un'unica prova di tipo Lugeon alla profondità di 23.5 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta pari a $4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	FCL22	23.5	4.18E-06

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 45÷55 e 45÷55.

Caratteristiche delle discontinuità

I rilievi geostrutturali, eseguiti lungo il tracciato dell'opera, hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, ognuno di essi ha rilevato la presenza di 3÷5 famiglie principali di discontinuità e superfici di stratificazione. Tali discontinuità presentano valori di spaziatura media variabile tra 0,1 e 0,2 m di gran lunga inferiore alla dimensione dell'opera in progetto.

Si riporta nel seguito il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità relative ad ogni stop geostrutturale eseguito:

Stop geomeccanico	Formazione	Famiglia discontinuità	Immersione	Inclinazione	JRC	JCS
-	-	-	°	°	-	Mpa
SG2	COI	strato	261	46	4÷14	73.6
		K1	136	75	4÷6 - 8÷10	55.3
		K2	101	78	10÷12	52.6
		faglia	50	55		
SG1	COI	strato	338	22	12÷14	
		K1	107	77	10÷12	53.9
		K2	157	72		
		K3	14	76		
		K4	203	68	12÷14	
		faglia	244	64	12÷14	

Figura 39 stop geostrutturali

Per ulteriori dettagli sui valori ricavati si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IROF	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica *COI*. La Tabella 22 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 22 - sintesi parametri geotecnici COI

	min	max	
γ	23.6	25.3	(kN/m ³)
σ_{ci}	13.4	53.4	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	58.0	108.6	(MPa)
E_i	20.1	40.4	(GPa)
E	834.0	834.0	(MPa)
K_0	0.7	0.7	(-)
k	4.18E-06	4.18E-06	(m/s)
$GSI_{rilievi}$	45.0	55.0	(-)
GSI_{WP}	45.0	55.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

8.3.9 Calcare massiccio (MAS2)

L'unità geotecnica del Calcare massiccio è costituita da calcari, elastici e bioclastici vacuolari



Figura 40 Sondaggio FCS27 (25-30 m da p.c.) e sondaggio FCS30 (30-35 m da p.c.)

Caratteristiche fisiche

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 6 m e 40 m da piano campagna, 24 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24 e 26.5 kN/m³ (Figura 41).

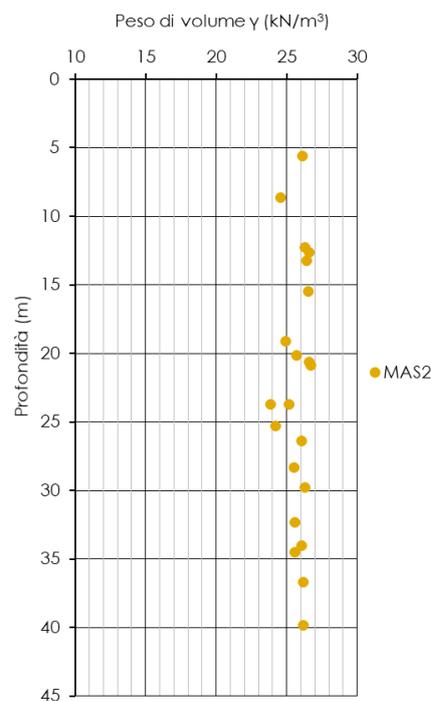


Figura 41 peso dell'unità di volume γ

Per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati di 10 prove di compressione monoassiale e 14 prove di carico puntuale (PLT) eseguite sui campioni lapidei prelevati dai fori di sondaggio. Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c compresi nell'intervallo: 7 e 91 MPa (Figura 42). Le profondità di prelievo dei campioni variano tra 5,6 e 40,2 m da p.c.

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato dall'interpretazione di 17 prove di velocità sonica su provino e 10 prove di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 13.4 e 69.6 GPa (Figura 43).

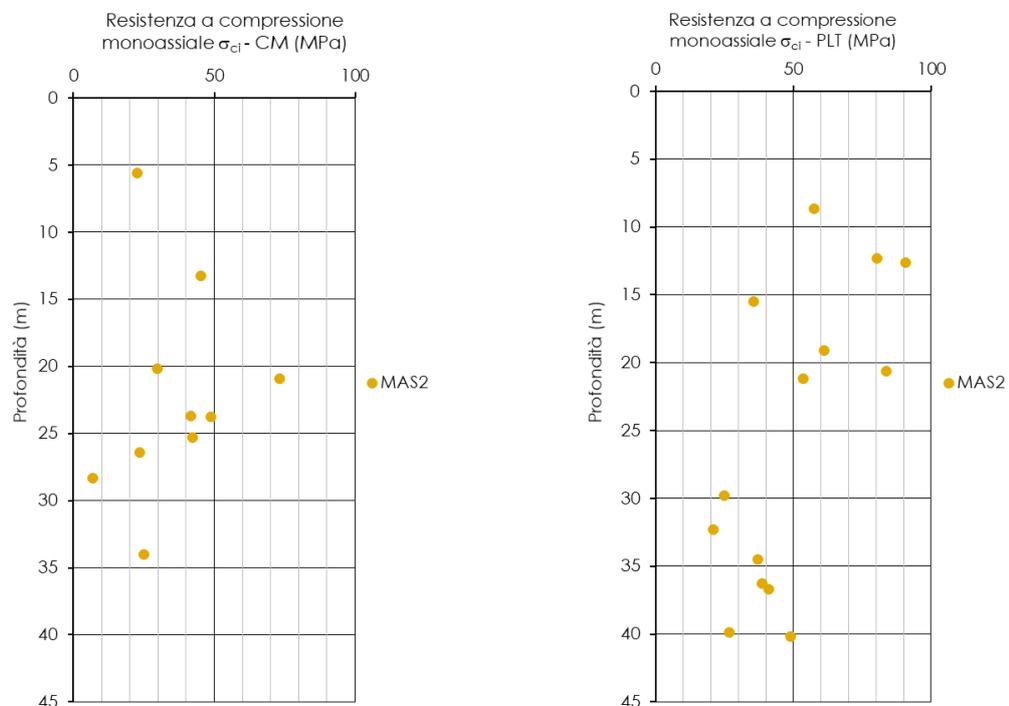


Figura 42 Resistenza a compressione monoassiale

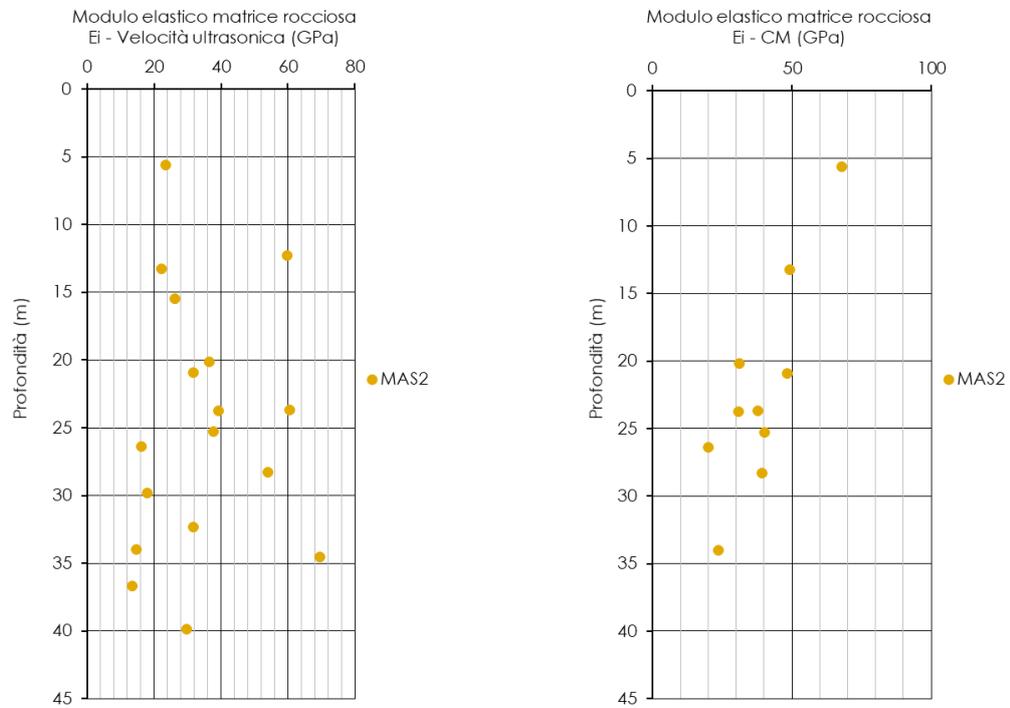


Figura 43 Modulo elastico della roccia intatta

La Tabella 23 riporta i valori del peso dell'unità di volume, della resistenza a compressione monoassiale e del modulo elastico per la roccia intatta, ricavato per ogni campione dell'unità geotecnica *Calcere massiccio*.

Tabella 23 - peso di volume, resistenza a compressione monoassiale e modulo di deformabilità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
FCS27	CI1	5.6	26.12	22.6		67.93	23.5
FCS27	CI2	8.65	24.57		57.4		
FCS27	CI3	12.65	26.59		90.8		
FCS27	D1	13.25	26.44	45.1		49.17	22.3
FCS27	CI4	15.5	26.55		35.4		26.3
FCS27	CI5	20.65	26.58		83.8		
FCS27	D2	20.9	26.73	73.3		48.27	31.8
FCS27	CI6	26.4	26.06	23.5		20.06	16.1
FCS27	CR1	29.8	26.29		24.7		17.9
FCS27	CR2	32.3	25.59		20.9		31.8
FCS27	D3	34	26.03	24.9		23.65	14.8
FCS27	CR3	34.5	25.56		37.0		69.6
FCS27	CR4	36.7	26.20		41.2		13.4
FCS27	CR5	39.85	26.16		26.5		29.8
FCS30	CI2	19.1	24.90		61.2		
FCS30	CI3	23.7	25.14	41.6		37.87	60.4
FCS30	CI4	28.3	25.54	6.9		39.42	54.0
FCS30	CR2	20.15	25.69	29.9		31.07	36.4
FCL24	CR3	23.75	23.85	48.9		30.85	39.2
FCL24	CR4	25.3	24.19	42.3		40.05	37.6
FCL25	CR4	36.3			38.5		
FCL25	CR5	40.2			48.9		
FCS27 bis	CI3	12.3	26.30		80.2		59.8
FCS27 bis	CI5	21.2			53.4		

Per determinare le caratteristiche di deformabilità, sono stati elaborati i risultati di 1 prova geofisica MASW e 4 prove dilatometriche.

Si rimanda al capitolo 8.3.10 per la valutazione dei moduli di deformabilità deducibili dalle prove geofisiche.

L'interpretazione delle prove dilatometriche mostrano valori del modulo di elasticità variabili nell'intervallo 2459 ÷ 5036 MPa e del coefficiente di spinta in quiete nell'intervallo 0.7 ÷ 0.8.

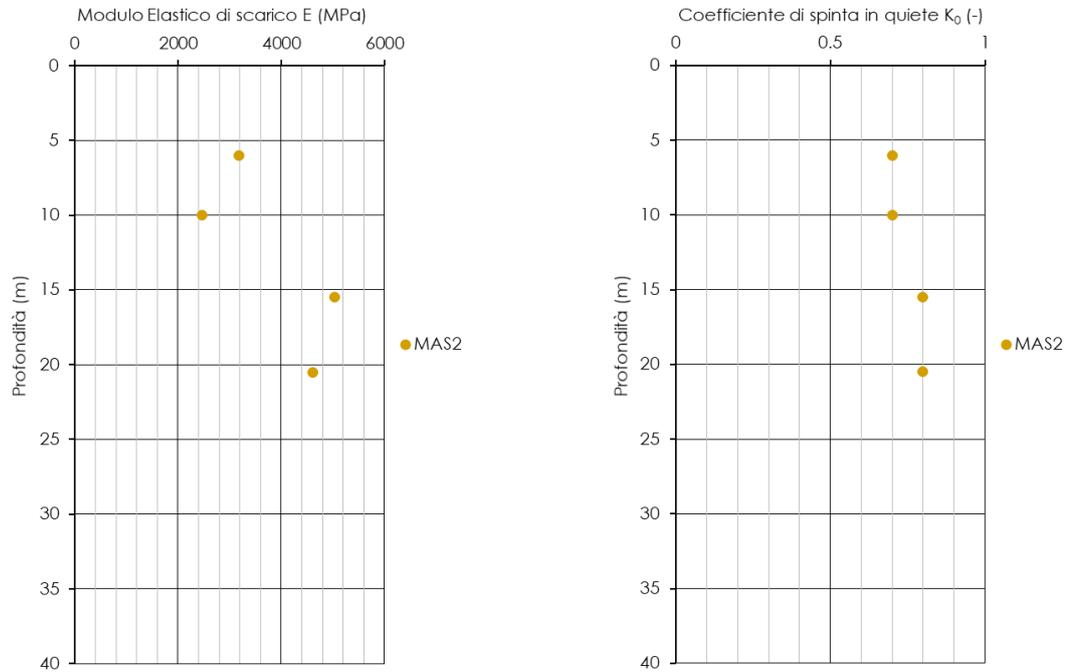
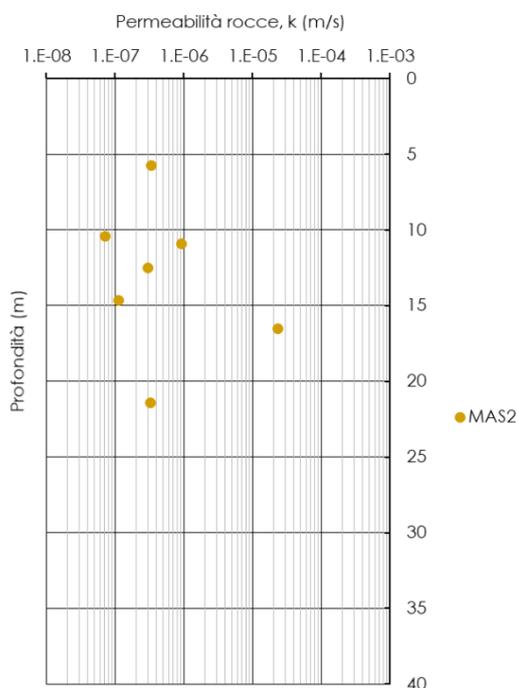


Figura 44 modulo di deformabilità operativo da prove dilatometriche e coefficiente di spinta in quiete

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori, delle prove dilatometriche relative ad ogni sondaggio:

sondaggio	Profondità da p.c.	E	K ₀
(-)	(m)	(MPa)	(-)
FCS27	6	3188	0.7
FCS27	10	2459	0.7
FCL24	15.5	5036	0.8
FCL25	20.5	4612	0.8

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite 2 prove di tipo Lefranc e 5 prove di tipo Lugeon nei fori di sondaggio, a profondità variabili tra 5.8 e 21.4 m da p.c. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra $7 \cdot 10^{-8}$ e $2 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figura 45).



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	FCS30	10.9	9.33E-07
Lugeon	FCS27	5.75	3.34E-07
Lugeon	FCS27	12.5	3.04E-07
Lugeon	FCS30	21.4	3.24E-07
Lugeon	FCS27bis	10.4	7.20E-08
Lugeon	FCS27bis	14.65	1.13E-07
Lefranc	FCL24	16.5	2.30E-05

Figura 45 coefficiente di permeabilità k da prove in sito

La definizione dell'indice di qualità dell'ammasso è stata eseguita mediante l'interpretazione di stop geostrutturali e di rilievi geomeccanici (Waypoint), il valore dell'indice GSI risulta rispettivamente compreso negli intervalli: 60÷70 e 55÷75.

Caratteristiche delle discontinuità

Il rilievo geostrutturale, eseguito lungo il tracciato dell'opera, hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, ha rilevato la presenza di 3 famiglie principali di discontinuità e superfici di stratificazione. Tali discontinuità presentano valori di spaziatura media pari a 0,13 m di gran lunga inferiore alla dimensione dell'opera in progetto.

Si riporta nel seguito il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità:

Stop geomeccanico	Formazione	Famiglia discontinuità	Immersione	Inclinazione	JRC	JCS
-	-	-	°	°	-	Mpa
SG11	MAS2	K1	153	72		71.8
		K2	84	77		72.1
		K3	16	82		

Figura 46 stop geostrutturale

Per ulteriori dettagli sui valori ricavati si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

Sintesi delle caratteristiche fisiche e meccaniche

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e delle prove descritte ha portato alla definizione dei principali parametri per l'unità geotecnica MAS2. La Tabella 24 riassume gli intervalli di variazione per ciascun parametro: si rimanda ai paragrafi precedenti per i dettagli relativi a ciascuna prova.

Tabella 24 - sintesi parametri geotecnici MAS2

	min	max	
γ	23.8	26.7	(kN/m ³)
σ_{ci}	6.9	73.3	(MPa)
$\sigma_{ci,PLT}$	20.9	90.8	(MPa)
E_i	13.4	69.6	(GPa)
E	2459.0	5036.0	(MPa)
K_0	0.7	0.8	(-)
k	7.20E-08	2.30E-05	(m/s)
$GSI_{filievi}$	60.0	70.0	(-)
GSI_{wp}	55.0	75.0	(-)

La notazione in forma simbolica fa riferimento alla Tabella 3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO 2					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	CODIFICA R 07 RH	DOCUMENTO GN 00 00 001	REV. A

8.3.10 Prove geofisiche

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

- prove Multi-channel analysis of surface waves (MASW);
- prove sismiche in foro di tipo down-hole;

I risultati di tali indagini sono rappresentati in forma grafica, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale G_0 . E il modulo di Young "operativo", pari al 10% del Modulo di Young iniziale.

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

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

Dove:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

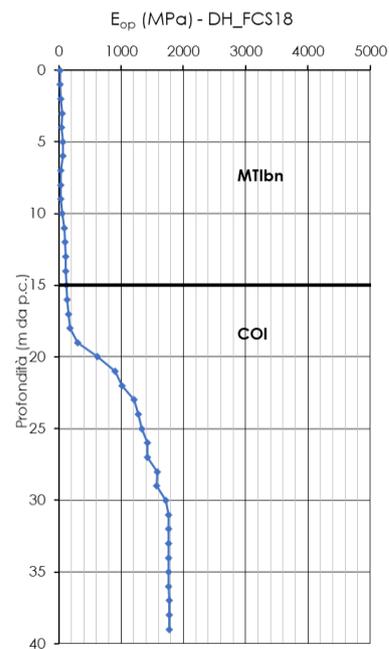
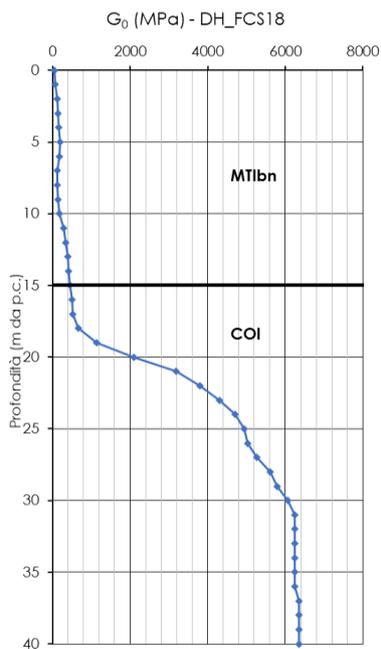
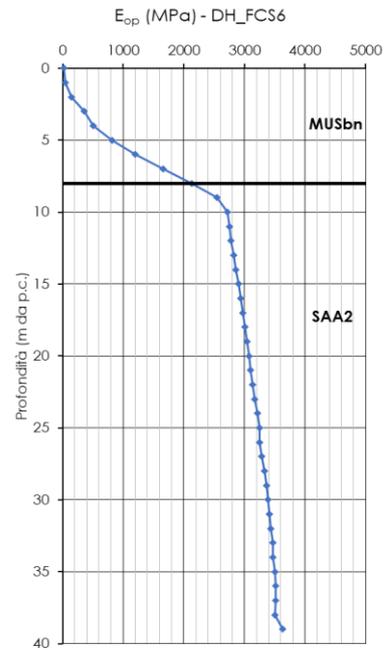
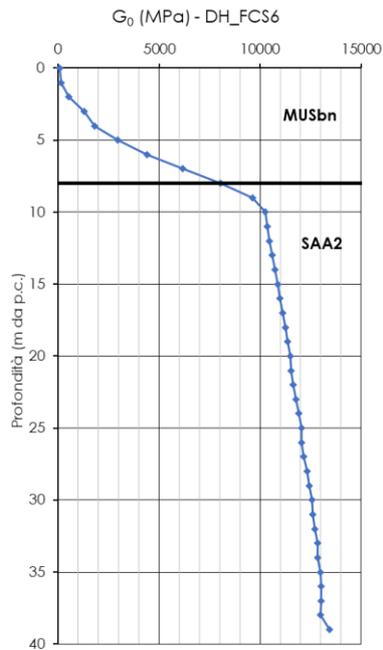
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

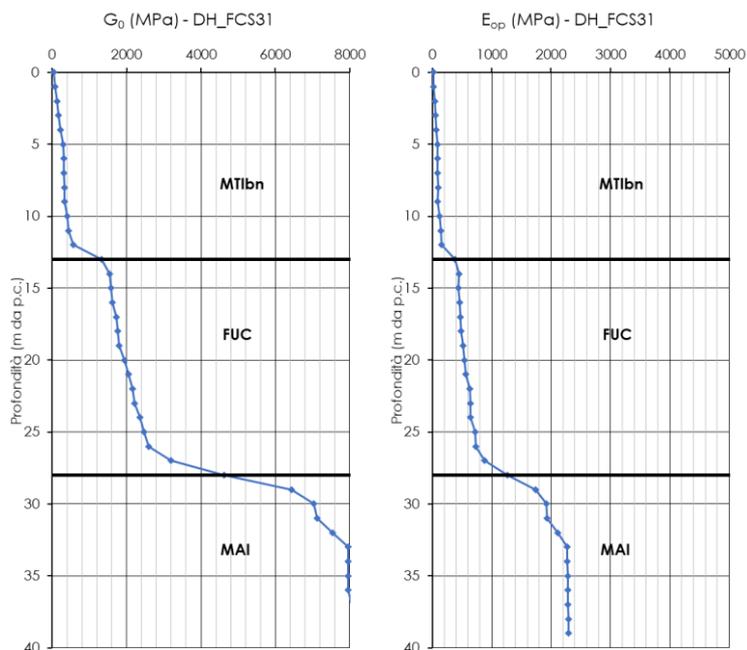
In Tabella 25 sono riportati valori di $V_{s,eq}$ per tutte le prove geofisiche.

Tabella 25 - categorie di sottosuolo

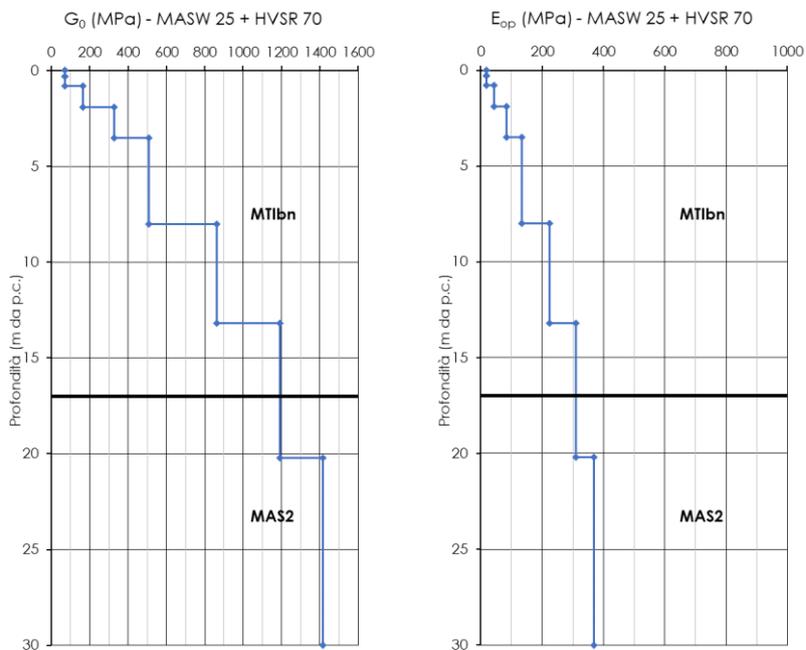
Prova	sondaggio/stesa	$V_{s,eq}$ m/s	Categoria di sottosuolo
-	-	m/s	-
Down-Hole	FCS6	>800	A
Down-Hole	FCS18	347	C
Down-Hole	FCS31	375	B
MASW	25	586	B
MASW	35	350	C
MASW	6	448	B
MASW	52	467	B
MASW	71	443	B

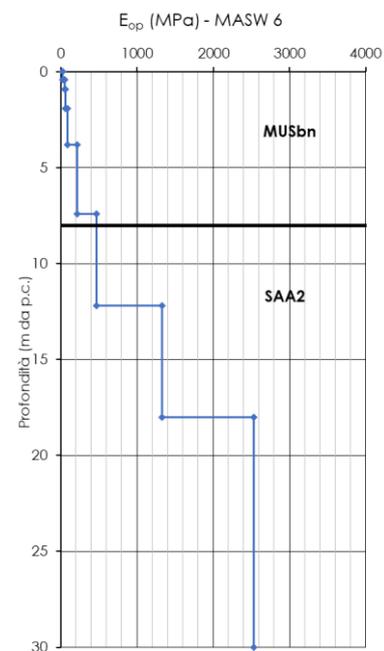
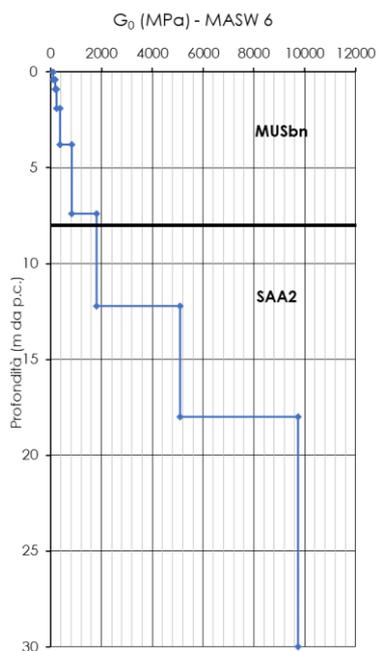
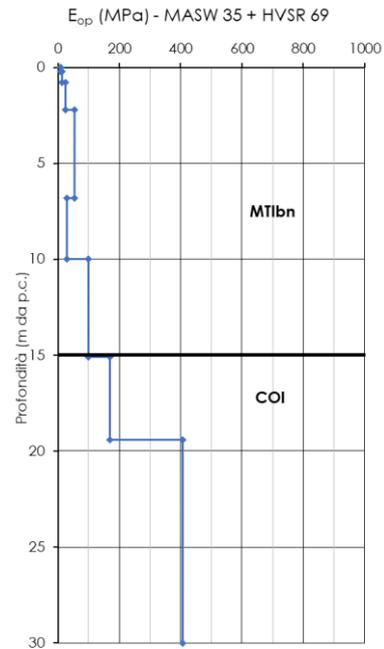
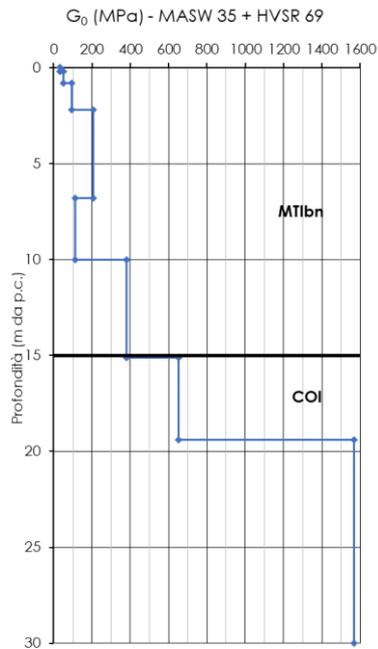
Prove Down-Hole

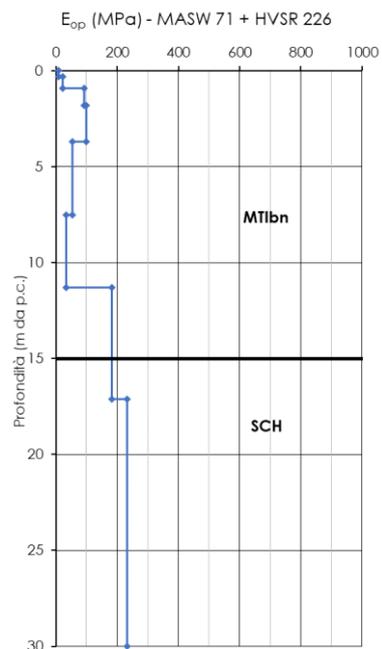
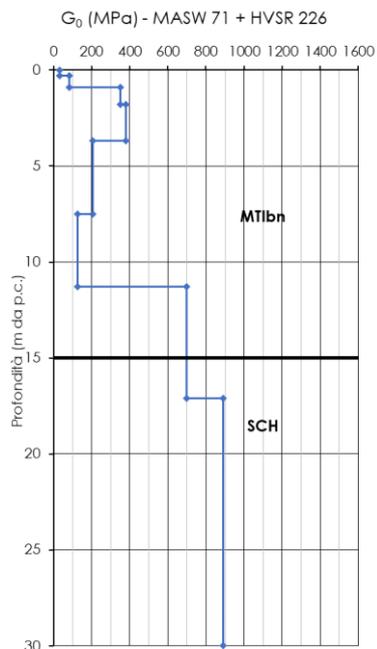
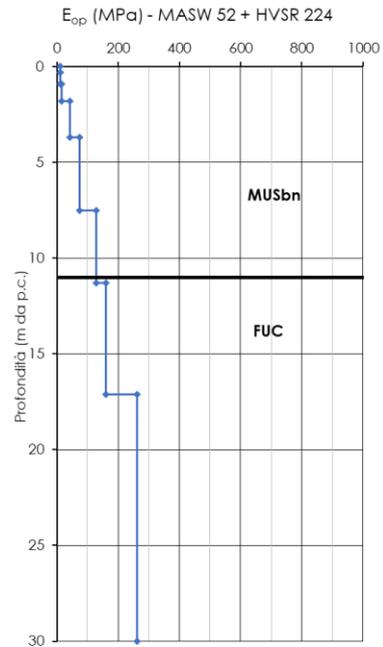
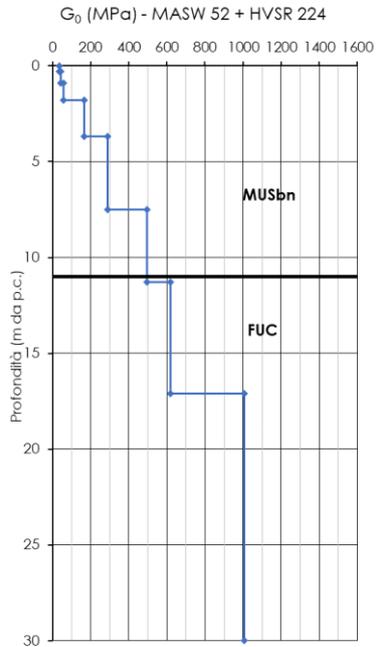




Prove MASW







8.3.11 Condizioni idrauliche del sottosuolo

Lungo il tracciato dell'opera in progetto i litotipi affioranti nell'area sono stati accorpati in complessi idrogeologici, differenziati in relazione alle caratteristiche di permeabilità (Rif. [10]).

Complesso acquifero dei depositi di versante

È costituito dai depositi di versante ed è caratterizzato da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi altamente permeabili, con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose. L'acquifero principale è sempre in collegamento con l'asta fluviale e la sua ricarica può avvenire dalla superficie o da contributi sotterranei provenienti dagli acquiferi calcarei adiacenti. Il complesso viene intercettato lungo tutta la porzione di tracciato che si sviluppa in superficie. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra 10^{-7} e 10^{-3} m/s.

Complesso acquifero della Scaglia (SBI, SAA)

È costituito dalla formazione calcarea e calcareo-marnosa permeabile della Scaglia; sorretto alla base dall'*aquiclude* delle Marne a Fucoidi, è generalmente tamponato al tetto dai litotipi a bassa permeabilità della Scaglia cinerea. Il complesso della Scaglia rappresenta un "serbatoio" molto importante ed è sede di numerose manifestazioni sorgentizie. Il complesso viene intercettato per lunghi tratti in galleria tra Palazzo Vatria e Gattuccio e più a nord, per un totale di circa 150 m, nella galleria Murano. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra 10^{-9} e 10^{-6} m/s.

Complesso acquiclude delle Marne a Fucoidi (FUC)

Si tratta di un livello *aquiclude* a scala regionale (data la sua continuità stratigrafica), costituito da marne e marne argillose calcaree; solamente la porzione superiore del litotipo è più francamente calcarea. Tale formazione rappresenta il livello di separazione fra il complesso acquifero della Scaglia e il sottostante acquifero della Maiolica. Il complesso viene intercettato sui fianchi dell'anticlinale di M. Valmontagnana, successivamente entro gran parte della galleria Genga, e a più riprese lungo la galleria Murano. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra 10^{-9} e 10^{-6} m/s.

Complesso acquifero della Maiolica (MAI)

Si tratta di un complesso prevalentemente calcareo-micritico e permeabile per fratturazione, limitato dalla formazione delle Marne a Fucoidi al tetto e dal complesso calcareo-silico marnoso a bassa permeabilità alla base. Con uno spessore variabile fra i 200 e i 400 m, costituisce un acquifero regionale molto importante, a volte in collegamento idraulico con il complesso acquifero "basale" sottostante. Il complesso in questione viene intercettato dal tracciato una prima volta al nucleo della struttura anticlinale di M. Valmontagnana, successivamente tra le gallerie Genga e Mogiano e infine lungo la galleria Murano. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra 10^{-7} e 10^{-6} m/s.

Complesso a bassa permeabilità calcareo-siliceo-marnoso (RSA, POD, CDU)

Si tratta di un complesso a permeabilità medio-bassa costituito dai litotipi prevalentemente marnosi del Rosso ammonitico, dei Calcari a Posidonia e dei Calcari diasprigni umbro-marchigiani. Il ruolo di confinamento, più o meno marcato, è direttamente proporzionale agli spessori ed inversamente al grado di fratturazione dei diversi litotipi. Il grado di fratturazione e lo spessore dei livelli calcarei permette in alcuni casi anche la formazione di

falde acquifere di importanza minore. Il complesso viene intercettato dal tracciato al nucleo della struttura anticlinale di Valmontagnana e successivamente lungo la galleria Mogiano. Il coefficiente di permeabilità k risulta variabile tra 10^{-8} e 10^{-5} m/s.

Complesso acquifero basale (MAS2, COI)

È costituito dalle formazioni prevalentemente calcaree e intensamente fratturate, del Calcere Massiccio, e della Corniola. Tale complesso nella serie completa è limitato al letto dalla formazione delle Anidridi di Burano, costituite dall'alternanza di calcari dolomitici, dolomie e anidriti. Il complesso basale presenta caratteristiche di alta permeabilità, con valori del coefficiente di permeabilità compresi nell'intervallo: 10^{-8} e 10^{-5} m/s.

Per la descrizione completa dei complessi idrogeologici ed ulteriori approfondimenti si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

Sono stati installati nei fori di sondaggio un totale 42 piezometri (36 di tipo tubo aperto e 6 Casagrande). I dati del monitoraggio hanno permesso la ricostruzione dei livelli piezometrici, che, nell'arco temporale, si sono mantenuti stabili. Nello specifico, i livelli piezometrici sono complessivamente al di sotto della quota del cavo delle gallerie, ad eccezione della galleria GN01 "Valtreara" dove si collocano al di sopra della quota del cavo (come da evidenze del sondaggio FCS73).

Tabella 26 – Monitoraggio piezometrico per i piezometri che interessano le opere in sotterraneo

Piezometro	Profondità	Tratto finestrato	mar-21	apr-21	mag-21	giu-21	lug-21	ago-21
(-)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)
FCS 73	120	69-81		21.6	27.8	51.0	60.8	60.9
FCS 9	40	5-30				7.3	7.4	7.4
FCL 10	40	3-30			14.3	14.4	14.9	14.9
FCS 16	40	3-30				10.7	12.0	11.7
FCS 17	40	3-30					13.3	13.7
FCL 22	40	5-35				13.8	14.3	14.3
FCL 24	40	2-30			9.5	9.7	10.1	9.9
FCS 27_bis A	50	8-38					49.4	48.0
FCS 30	50	2-40		15.1	15.1	15.5	16.7	15.7
FCL 32	40	3-30		18.5	18.3	21.7	22.3	22.4
FCS 34	40	3-20	12.9		13.1	12.6	12.9	12.8

Per ulteriori dettagli sul monitoraggio piezometrico si rimanda all'elaborato dedicato (Rif. [10]).

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

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO II					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA RS3C	LOTTO 01	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 101	REV. A

9 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [18]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

9.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

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

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

Categoria A: nucleo-fronte stabile

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

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

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

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

Categoria C: nucleo-fronte instabile

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

9.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle linee caratteristiche (per le tratte ad alta copertura).

Tali valutazioni sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni. In particolare, per la risposta allo scavo all'interno delle formazioni rocciose sono state considerate condizioni drenate.

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica (vedi §8.3), in funzione della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

Nelle tabelle seguenti sono riepilogate le sezioni analizzate con i relativi dati di input utilizzati per il calcolo.

Le sezioni di analisi D5, D9, D10, D13, D14, D15 e D19 sono ubicate in corrispondenza di zona di faglia o di disturbo tettonico. Per tali zone sono stati assunti valori più bassi del GSI, variabile tra 20 ÷ 30.

Per le analisi afferenti alla galleria GN03 "Mogiano", all'interno dei Calcari diasprini, si è fatto riferimento alle risultanze ottenute per le stesse coperture dalle analisi svolte all'interno del Calcare Massiccio (cfr. 8.3.6).

Tabella 27 - Sezioni analizzate con il metodo delle curve caratteristiche: dati di input

Galleria	Sezione di analisi	Unità	pk	H	h _w	σ _o	p _{w0}	p _{wR}	R _w	γ	c' _{k p}	φ' _{k p}	E _k
			[km]	[m]	[m]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[m]	[kN/m ³]	[MPa]	[°]	[MPa]
GN1	D1	SAA	0+072	92	0	2.39	0.00	0.00	0.0	26.0	0.387	40.0	3835
	D2	SAA	0+362	36	0	0.94	0.00	0.00	0.0	26.0	0.263	46.0	3835
GN2	D3	FUC	1+836	100	0	2.50	0.00	0.00	0.0	25.0	0.188	27.0	1366
	D4	FUC	2+169	36	0	0.90	0.00	0.00	0.0	25.0	0.103	35.0	1366
GN4	D5	COI/MAS	4+165	37	0	0.96	0.00	0.00	0.0	26.0	0.198	46.0	2929

	D6	COI	4+160	36	0	0.90	0.00	0.00	0.0	25.0	0.312	47.0	3218
	D7	MAS	4+253	98	0	2.55	0.00	0.00	0.0	26.0	0.727	43.0	9554
	D8	MAS	4+370	36	0	0.94	0.00	0.00	0.0	26.0	0.598	49.0	9554
	D9	MAS	4+300	60	0	1.56	0.00	0.00	0.0	26.0	0.254	42.0	2929
GN5	D10	MAS	5+104	236	0	6.14	0.00	0.00	0.0	26.0	0.563	32.0	2929
	D10bis	MAS	5+104	236	0	6.14	0.00	0.00	0.0	26.0	0.988	37.0	2929
	D11	MAS	4+865	36	0	0.94	0.00	0.00	0.0	26.0	0.598	49.0	9554
	D12	MAS	5+483	165	0	4.29	0.00	0.00	0.0	26.0	0.859	40.0	9554
	D13	MAS	5+828	75	0	1.95	0.00	0.00	0.0	26.0	0.287	41.0	2929
GN6	D14	SAA	6+440	36	0	0.94	0.00	0.00	0.0	26.0	0.263	46.0	3835
	D15	SAA	6+460	40	0	1.04	0.00	0.00	0.0	26.0	0.148	25.0	1300
	D16	MAI	4+566	72	0	1.80	0.00	0.00	0.0	25.0	0.389	36.0	3170
	D17	MAI	6+972	45	0	1.13	0.00	0.00	0.0	25.0	0.310	39.0	3170
	D18	FUC	6+805	73	0	1.83	0.00	0.00	0.0	25.0	0.156	29.0	1366
	D19	FUC	6+828	72	0	1.80	0.00	0.00	0.0	25.0	0.194	37.0	3835
	D20	SBI	7+150	36	0	0.90	0.00	0.00	0.0	25.0	0.160	41.0	2853

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

h_w = carico idraulico

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Le analisi sono svolte con riferimento allo scavo di una galleria di raggio equivalente R_{eq} pari a 6,20 m rappresentativo di sezioni doppio binario in scavo tradizionale.

Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce dello sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, con i criteri di seguito esposti:

u_F/R_{eq}	R_{pF}/R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0,2 \%$	$\leq 1,1$	A
$> 0,2\% \text{ e } \leq 0,5\%$	$> 1,1 \text{ e } \leq 1,5$	B
$> 0,5 \%$	$> 1,5$	C

u_F = convergenza radiale al fronte
 R_{pF} = raggio plastico al fronte
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria

Come evidenziato dalla Tabella 28, si prevede una risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in campo elastico, quindi stabile (categoria di comportamento di tipo A) per la quasi totalità delle unità geotecniche interessate dallo scavo delle gallerie (SAA, COI, MAS, MAI, SBI).

Nelle tratte di attraversamento delle Marne a Fucoidi (FUC) è atteso un comportamento nucleo-fronte di scavo di categoria B (stabile a breve termine).

Un comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria B (stabile a breve termine) è atteso nell'attraversamento di zone in faglia all'interno della formazione del Calcare Massiccio ed elevate coperture (MAS – sezione di analisi D10) e della Marne a Fucoidi (FUC – sezione di analisi D19).

Tabella 28 - Risultati delle analisi

Galleria	Sezione di analisi	Unità	u_F	u_F/R_{eq}	R_{pF}	R_{pF}/R_{eq}	u_∞	R_P	Criterio u_F/R_{eq}	Criterio R_{pF}/R_{eq}
			[m]	[%]	[m]	[-]	[m]	[m]		
GN1	D1	SAA	0.003	0.05	6.74	1.09	0.006	7.73	A	A
	D2	SAA	0.001	0.02	6.24	1.01	0.002	6.54	A	A
GN2	D3	FUC	0.025	0.40	9.18	1.48	0.055	14.79	B	B
	D4	FUC	0.005	0.07	7.38	1.19	0.009	9.37	A	B
GN4	D5	COI/MAS	0.001	0.02	6.39	1.03	0.003	6.87	A	A
	D6	COI	0.001	0.02	6.13	0.99	0.002	6.31	A	A
	D7	MAS	0.001	0.02	6.27	1.01	0.002	6.66	A	A
	D8	MAS	0.000	0.01	5.91	0.95	0.001	5.83	A	A
	D9	MAS	0.004	0.06	6.27	1.01	0.007	6.66	A	A
GN5	D10	MAS	0.018	0.30	7.98	1.29	0.039	11.04	B	B

	D10bis	MAS	0.011	0.18	6.89	1.10	0.023	8.12	A	A
	D11	MAS	0.000	0.01	5.91	0.95	0.001	5.83	A	A
	D12	MAS	0.002	0.03	6.58	1.06	0.004	7.36	A	A
	D13	MAS	0.003	0.06	6.77	1.09	0.007	7.78	A	A
GN6	D14	SAA	0.001	0.02	6.24	1.01	0.002	6.54	A	A
	D15	SAA	0.007	0.12	8.07	1.30	0.015	11.50	A	B
	D16	MAI	0.003	0.04	6.66	1.07	0.006	7.62	A	A
	D17	MAI	0.002	0.03	6.48	1.04	0.003	7.17	A	A
	D18	FUC	0.014	0.23	8.53	1.38	0.031	12.70	B	B
	D19	FUC	0.003	0.05	7.28	1.17	0.006	9.09	A	B
	D20	SBI	0.002	0.02	6.63	1.07	0.003	7.46	A	A

u_F = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)

R_{PF} = raggio plastico al fronte

u_∞ = convergenza finale del cavo

R_P = raggio plastico finale al contorno del cavo

R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria (vedi tabella precedente)

10 FASE DI TERAPIA

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

10.1 Definizione del metodo di scavo

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

L'avanzamento con scavo in tradizionale è previsto per la realizzazione delle gallerie naturali e delle opere per la sicurezza (uscite/accessi intermedi).

10.2 Sezioni di avanzamento

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

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

In generale, lo scavo avviene per sfondi successivi con applicazione, dopo ogni sfondo, di interventi di contenimento: nei casi in cui l'ammasso roccioso si presenta con un grado di fratturazione da medio ad elevato si fa ricorso ad un prerivestimento costituito da centine metalliche e spritz-beton fibrorinforzato e chiodatura radiale con barre ad ancoraggio continuo. Nelle zone in cui l'ammasso roccioso si presenta con grado di fratturazione basso ($GSI > 60$) il prerivestimento è costituito da bullonatura radiale e spritz-beton fibrorinforzato.

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

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

Sezione A0

La sezione A0 prevede interventi di contenimento al contorno tramite spritz-beton e bullonatura radiale e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista

l'applicazione nella formazione del Calcere Massiccio (MAS2) quando il grado di fratturazione è basso, corrispondente a valori di GSI compresi tra 60 e 70.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A0 di linea:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime pari a 2,80 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) da spritz-beton fibrorinforzato;
- chiodatura radiale mediante chiodi ad ancoraggio continuo disposti in raggiere alternate. ;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) in calcestruzzo gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo gettata ad una distanza non vincolata dal fronte;

Sezione A1

La sezione A1 prevede interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione, nella formazione del Calcere Massiccio (MAS2), dei Calcari diasprini umbro-marchigiani (CDU), della Scaglia Rossa (SAA), della Corniola (COI), della Scaglia Bianca (SBI) e della Maiolica (MAI) quando il grado di fratturazione è medio, corrispondente a valori di GSI compresi tra 40 e 50. L'applicazione della sezione A1 è prevista anche nella tratta a basse coperture all'interno della formazione della Scaglia bianca (SBI) quando i calcari presentano un medio grado di fratturazione (GSI > 40).

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

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

Sezione A2

La sezione A2 prevede interventi di contenimento al contorno tramite centine, spritz-beton e bullonatura radiale e può essere impiegata nelle tratte a comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A); ne è prevista l'applicazione nella formazione del Calcere Massiccio (MAS2), dei Calcari diasprini umbro-marchigiani (CDU), della Scaglia Rossa (SAA), della Corniola (COI) e della Maiolica (MAI) quando il grado di fratturazione della componente litoide è medio-basso, corrispondente a valori di GSI compresi tra 35-40. È prevista l'applicazione della sezione A2 nella tratta a bassa copertura all'interno della formazione della Scaglia bianca (SBI) nell'eventualità che i calcari presentino un medio-basso grado di fratturazione (GSI < 40).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2:

- scavo a piena sezione con sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da spritz-beton e doppie centine;
- chiodatura radiale mediante chiodi ad ancoraggio continuo disposti in raggiera alternate;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) in calcestruzzo gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,70 m) in calcestruzzo gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

Sezione B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno e può essere impiegata nelle tratte a comportamento nucleo-fronte stabile a breve termine (Categoria B). Ne è prevista l'applicazione all'interno della formazione delle Marne a Fucoidi (FUC). È prevista l'applicazione della sezione B1 anche nell'ambito degli ammassi rocciosi, nell'attraversamento di zone con elevato grado di fratturazione ($GSI < 35$).

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

- Scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da spritz-beton e doppie centine;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante tubi in acciaio;
- precontenimento del fronte realizzato elementi strutturali in VTR, cementati in foro con miscele cementizie;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore variabile 0,50 – 1,15 m) in calcestruzzo gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

Sezione C

La sezione C prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno realizzate tramite iniezioni e se ne riserva l'utilizzo nei casi di bassa copertura quando lo scavo interessa alla scala del fronte le formazioni dei terreni afferenti ai depositi di versante (Sintema del Musone – MUS, Sintema di Matelica – MTI, cfr. paragrafo 8.3.1 e Rif. [10]).

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

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12/10 m;
- drenaggi in avanzamento (eventuali);
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da spritz-beton e doppie centine;

- presostegno al contorno realizzato mediante iniezioni;
- precontenimento del fronte realizzato mediante elementi strutturali in VTR;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) in calcestruzzo armato gettato ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore variabile 0,50 – 1,15 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

In accordo con i principi del metodo osservazionale, tutte le sezioni di avanzamento contengono nella definizione degli interventi di stabilizzazione una predeterminata variabilità (passo centine, numero e lunghezza della bullonatura e delle iniezioni di consolidamento), tale da garantire alla soluzione progettuale la flessibilità necessaria per meglio adattarsi al contesto geotecnico ed alla risposta deformativa dell'ammasso. Tale variabilità è regolata in funzione di criteri oggettivi (ad es. GSI) definiti in progetto (cfr. §11).

Le analisi preliminari condotte (analisi numeriche bidimensionali ad elementi finiti con software Plaxis 2D) hanno consentito di definire le caratteristiche principali delle strutture del rivestimento provvisorio e definitivo nelle condizioni più severe in termini di sollecitazioni agenti lungo l'intero sviluppo delle gallerie. Per la modellazione dell'ammasso roccioso è stato adottato il modello di mezzo continuo equivalente.

In particolare, le analisi sono state svolte per tre sezioni di calcolo definite sulla base della fase conoscitiva e dei risultati delle analisi di diagnosi (cfr. Tabella 27 e §9) identificando le condizioni più rappresentative (e quindi dimensionanti) in termini di copertura e condizioni geotecniche. I parametri geotecnici utilizzati per il calcolo sono stati definiti sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica (fase conoscitiva §8).

Tabella 29 - Sezioni di calcolo

Analisi	Progressiva	Sezione	Copertura (m)	Formazione a quota cavo
1	1+836	B1	93	FUC
2	5+104	A0	230	MAS2
3	6+460	A2	36	SAA

Le sezioni di calcolo sopra riportate, così come evidenziato dal monitoraggio piezometrico (Rif. [22], §8.3.11), hanno una superficie piezometrica al di sotto della quota del cavo.

Si riportano di seguito i modelli di calcolo previsti per le sezioni di analisi:

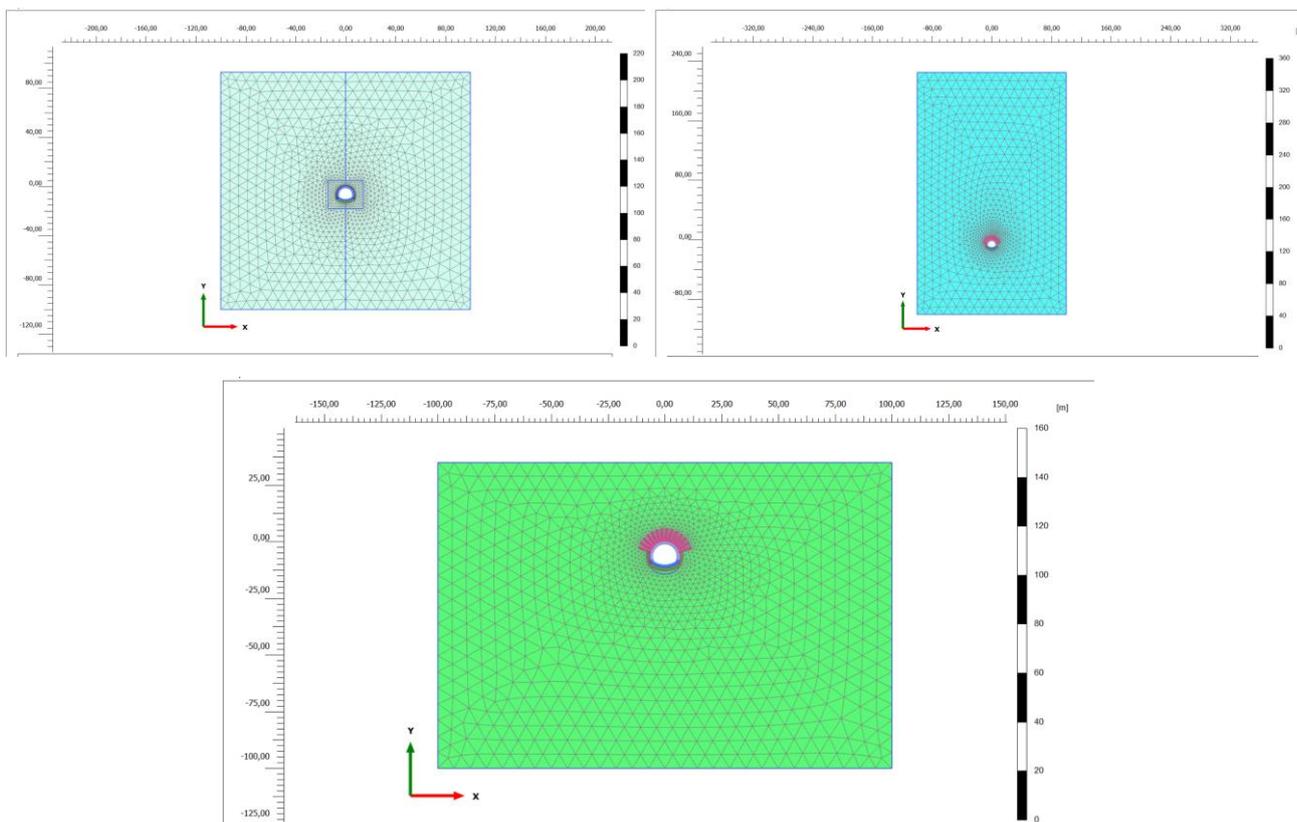


Figura 47 Modelli di calcolo: Analisi 1 (in alto a sinistra), Analisi 2 (in alto a destra) e Analisi 3 (in basso)

I rivestimenti definitivi delle sezioni di calcolo sono stati verificati adottando i criteri previsti dalla normativa vigente (Rif. [1]) sia per le sezioni in calcestruzzo non armato che armato e risultano sempre verificate.

Uscita/accesso pedonale

Per la realizzazione delle tratte in naturale dell'uscita/accesso pedonale della GN05 e della GN06 (cfr. 6.3), si utilizzerà la tecnica dello scavo intradizionale mediante avanzamenti a piena sezione.

Le tipologie di intervento previste nelle singole sezioni tipo e i criteri di applicazione sono del tutto analoghi a quelli definiti per le relative gallerie di linea.

10.3 Rischi potenziali

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

Instabilità del fronte e del cavo

Potenziati rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria a bassa copertura in corrispondenza dei depositi di versante e nelle transizioni litologiche (contatto detrito di versante-substrato):

- nei tratti in materiali detritici a bassa copertura è previsto l'avanzamento con sezione tipo C con interventi di consolidamento sia al fronte, sia al contorno;
- in prossimità delle zone di transizione litologica dovranno essere eseguite indagini in avanzamento al fine di tarare le sezioni di avanzamento in anticipo rispetto alla variazione del materiale al fronte.

Venute d'acqua

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

In particolare, lungo le sei gallerie del Lotto 2 si prevede un basso rischio di venute d'acqua perché il livello della superficie piezometrica, nella maggior parte del tracciato, è situato al di sotto del cavo; inoltre la permeabilità delle formazioni attraversate è risultata bassa-medio bassa (Rif. [10], Rif. [11]).

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

Fenomeni di instabilità

Lungo il tracciato di progetto che interessa il Lotto 2, come evidenziato dagli studi geologici (Rif. [10]) dall'analisi interferometrica condotta (Rif. [13]), sono stati individuati fenomeni di deformazione superficiale di limitata entità sia per estensione areale che per velocità di deformazione che non comportano situazioni di criticità per le opere in progetto.

Interferenze

La possibile interferenza dello scavo della galleria naturale GN05 "La Rossa" con la galleria ferroviaria esistente sarà gestita attraverso tecniche atte a minimizzare gli effetti indotti dallo scavo della galleria in progetto come l'adozione di avanzamenti a basso impatto vibrazionale. Dovranno essere messe a punto procedure di controllo restrittive, basate sul monitoraggio vibrometrico al fine di garantire il rispetto dei valori soglia della velocità di vibrazione in fase di scavo.

Fenomeni carsici

Nelle tratte in cui lo scavo delle gallerie intercetta la formazione del Calcere Massiccio (MAS2) si dovrà tenere presente la possibilità di rinvenimento di cavità per fenomeni di dissoluzione. Nelle cave attive nel Calcere Massiccio della Gola delle Rossa non sono state rinvenute cavità importanti, tuttavia, le caratteristiche litologiche del Calcere Massiccio non escludono la possibilità che, in fase di attraversamento di questa formazione, vengano intercettati canali o cavità più o meno sviluppati che potrebbero fungere da elemento di



POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**
LOTTO II

RELAZIONE TECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3C	01	R 07 RG	GN 00 00 101	A	88 di 90

trasferimento delle acque di precipitazione verso la zona satura. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato di riferimento (Rif. [10]).

Tale rischio è pertinente per le gallerie GN04 "Ponte Chiarodovo" e GN05 "La Rossa" che intercettano la formazione del Calcere Massiccio (MAS2). In particolare, in prossimità del tracciato di progetto della galleria La Rossa sono presenti alcune cavità che non sembrano interferire, per le parti rilevate, con il tracciato stesso (Rif. [10]).

Durante la fase di scavo dovranno essere previsti sondaggi in avanzamento, consistenti in perforazioni di sondaggio e rilievi di tipo geofisico, al fine di individuare in anticipo rispetto all'avanzamento l'eventuale presenza di cavità.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO LOTTO II					
	RELAZIONE TECNICA	COMMESSA RS3C	LOTTO 01	CODIFICA R 07 RG	DOCUMENTO GN 00 00 101	REV. A

11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

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

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

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

11.1 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli imbocchi ed in particolare delle gallerie naturali, in considerazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste, ottimizzandole nell'ambito delle variabilità indicata in progetto.

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

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

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

12 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle sei gallerie presenti nel Lotto 2 del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica relativo al Raddoppio della Tratta PM228-Castelplanio.

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

- fase conoscitiva (cap. 8): lo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui saranno realizzate le sei gallerie del Lotto II hanno condotto alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo, da affinare nelle successive fasi del progetto, e all'individuazione dei potenziali rischi connessi alla realizzazione dell'opera in sotterraneo;
- fase di diagnosi (cap. 9): la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione ha consentito di determinare le categorie di comportamento per la previsione e l'individuazione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo;
- fase di terapia (cap. 10): si prevede di realizzare lo scavo con metodo tradizionale. Sono state individuate le soluzioni progettuali che consentono l'avanzamento in condizioni di sicurezza e la mitigazione dei rischi potenziali.

Il progetto è completato dalle prime indicazioni per il piano di monitoraggio (cap. 11) da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.