

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



### INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

### PROGETTO ESECUTIVO

**GALLERIA NATURALE LONATO (GN02)**  
**Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00**  
**Specifiche tecniche macchina di scavo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio <i>(Ing. T. Taranta)</i> Data: _____	Valido per costruzione Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	S P	G N 0 2 0 1	0 0 1	A

PROGETTAZIONE							IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	REGE	20/11/18	MERLINI	20/11/18	20/11/18	 Data: 20/11/2018
B							
C							

CIG. 751447334A      File: ANOR11EE2SPGN0201001A\_10.docx



CUP: F81H91000000008

**INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	4
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	7
3.	NORMATIVE, SPECIFICHE TECNICHE E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	10
3.1.	NORMATIVE .....	10
3.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	10
3.3.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	11
4.	CONDIZIONI GEOLOGICHE .....	12
5.	CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE .....	14
5.1.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	14
5.2.	PERMEABILITÀ DEI TERRENI INTERESSATI DALLA GALLERIA LONATO .....	16
5.3.	ANDAMENTO DELLA FALDA .....	18
6.	CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE LUNGO IL TRACCIATO .....	25
7.	CONDIZIONI TIPICHE DEL FRONTE DI SCAVO .....	30
8.	PROPRIETÀ DEL TERRENO NELLA CAMERA DI SCAVO E CORRETTA SCELTA DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI .....	34
8.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DELLE EPBM E NECESSARIE CARATTERISTICHE DEL TERRENO NELLA CAMERA DI SCAVO	34
8.2.	PROVE DI LABORATORIO PER LA DEFINIZIONE DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI .....	39
9.	VALUTAZIONE DELLA PRESSIONE MASSIMA NELLA CAMERA DI SCAVO .....	44
10.	DEFINIZIONE DELLA SPINTA PER L'AVANZAMENTO DELLO SCAVO .....	49
11.	SINTESI DEI PRINCIPALI REQUISITI DELLA EPBM .....	53
11.1.	GENERALITÀ .....	53
11.2.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO .....	55
11.2.1.	Testa fresante .....	56
11.2.2.	Camera di lavoro .....	56
11.2.3.	Sistema di trasmissione della Testa di Scavo .....	58
11.2.4.	Sistema di avanzamento .....	58
11.2.5.	Sistema di potenza .....	59
11.2.6.	Cabina di controllo .....	59

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
3 di 90

11.2.7. Sistema di rimozione del materiale di scavo.....	60
11.2.8. Sistema per la posa in opera del rivestimento .....	60
11.2.9. Sistema di tenuta (tra scudo e conci).....	61
11.2.10. Sistema per le iniezioni di riempimento.....	61
11.2.11. Sistema di prospezione geognostica e consolidamento in avanzamento .....	61
11.2.12. Sistema di guida e di registrazione dei dati.....	62
11.2.13. Sistemi di sicurezza.....	63
11.3. RICHIESTE ADDIZIONALI RIPORTATE NEL RECENTE RAPPORTO DI VERIFICA DELLE SPECIFICHE TECNICHE DEL PROGETTO DEFINITIVO EMESSE DA ITALFERR .....	63
11.4. CONCLUSIONI .....	64
11.5. CHECK LIST DELLE CARATTERISTICHE DELLA EPBM PROPOSTA DAL SINGOLO COSTRUTTORE.....	65
ALLEGATO A – GRAFICI INTERPRETATIVI DELLE ANALISI GRANULOMETRICHE EFFETTUATE PER CIASCUN SONDAGGIO PER QUANTO CONCERNE LE DIVERSE FRAZIONI DI TERRENO .....	71

## 1. INTRODUZIONE

La galleria naturale Lonato a doppia canna è compresa fra le progressive chilometriche 115+990 e 120+772 (binario pari) con una copertura massima di circa 80 m.

Le caratteristiche geometriche essenziali della galleria realizzata con tale metodologia sono le seguenti:

- Lunghezza binario pari = 4782.0 m;
- Lunghezza binario dispari = 4751.02 m;
- Raggio planimetrico minimo = 7130 m;
- Pendenza longitudinale massima = 0.605 %;
- Diametro di scavo  $\approx$  10 m, diametro interno galleria = 8.8 m (Figura 1.1);
- Interasse fra le due canne  $\approx$  30 m (Figura 1.2).

La Galleria Lonato è ubicata poco a sud dell'omonimo abitato di Lonato in adiacenza ad una zona industriale; il tracciato ferroviario interferisce dopo circa 350 m dal suo primo inizio (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano – Venezia, al di sotto della quale dovranno passare le due canne della galleria Lonato con una copertura, rispetto all'autostrada, di circa 10 m.

Il rivestimento della galleria sarà realizzato in conci prefabbricati, che fungono anche da rivestimento definitivo, posti in opera dalla macchina immediatamente dopo ogni fase di avanzamento, ad una ridotta distanza dal fronte.

Pertanto il rivestimento sarà costituito da una sequenza di anelli, tra loro uguali che, opportunamente ruotati attorno al proprio asse, permetteranno la realizzazione del rivestimento anche nelle curve plano-altimetriche.

La conformazione a cuneo del singolo anello consentirà, senza l'impiego di elementi speciali, di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato con una serie continua di approssimazioni e correzioni delle deviazioni del rivestimento, e della macchina, in fase di avanzamento.

La geometria dei conci è la seguente:

- raggio interno = 8800 mm
- spessore = 450 mm
- lunghezza media anello = 2000 mm
- numero conci = 6.

Fra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento definitivo sono previste delle iniezioni di intasamento mediante miscele cementizie del tipo bicomponente.

La tenuta stagna tra i giunti (sia longitudinali che circolari) sarà garantita da apposite guarnizioni in EPDM.

Particolari criticità del progetto sono, per quanto concerne i potenziali rischi, le seguenti:

1. il sotto attraversamento dell'autostrada A4 con una copertura estremamente ridotta e pari a circa un diametro;

2. tratte con presenza in superficie di numerosi manufatti con conseguente necessità di ridurre l'entità dei cedimenti a piano campagna relativi al bacino di subsidenza con la necessità di valori estremamente ridotti del volume perso;
3. presenza di terreni prevalentemente a grana grossa (ghiaie con sabbia o sabbie con ghiaia) caratterizzati da una ridotta frazione di fine (limo e argilla inferiore al 30%) e con conseguenti medio - alte permeabilità;
4. possibile presenza di carichi piezometrici elevati ( $30 \div 60$  m), nella tratta a massime coperture, compresa fra le progressive chilometriche 108+500 e 109+500, a causa della possibile saturazione dei terreni alla quota della galleria per la circolazione idrica sotterranea alimentata dalla presenza delle falde sospese più superficiali, nelle sole zone con presenza di terreni di media - alta permeabilità, come ampiamente discusso nel capitolo 5 relativo alle condizioni idrogeologiche;
5. possibile presenza lungo l'intero sviluppo della galleria di blocchi anche di rilevanti dimensioni (trovanti) nonché la possibilità di attraversamento di zone cementate o con presenza di livelli cementati, come discusso nel capitolo 7.

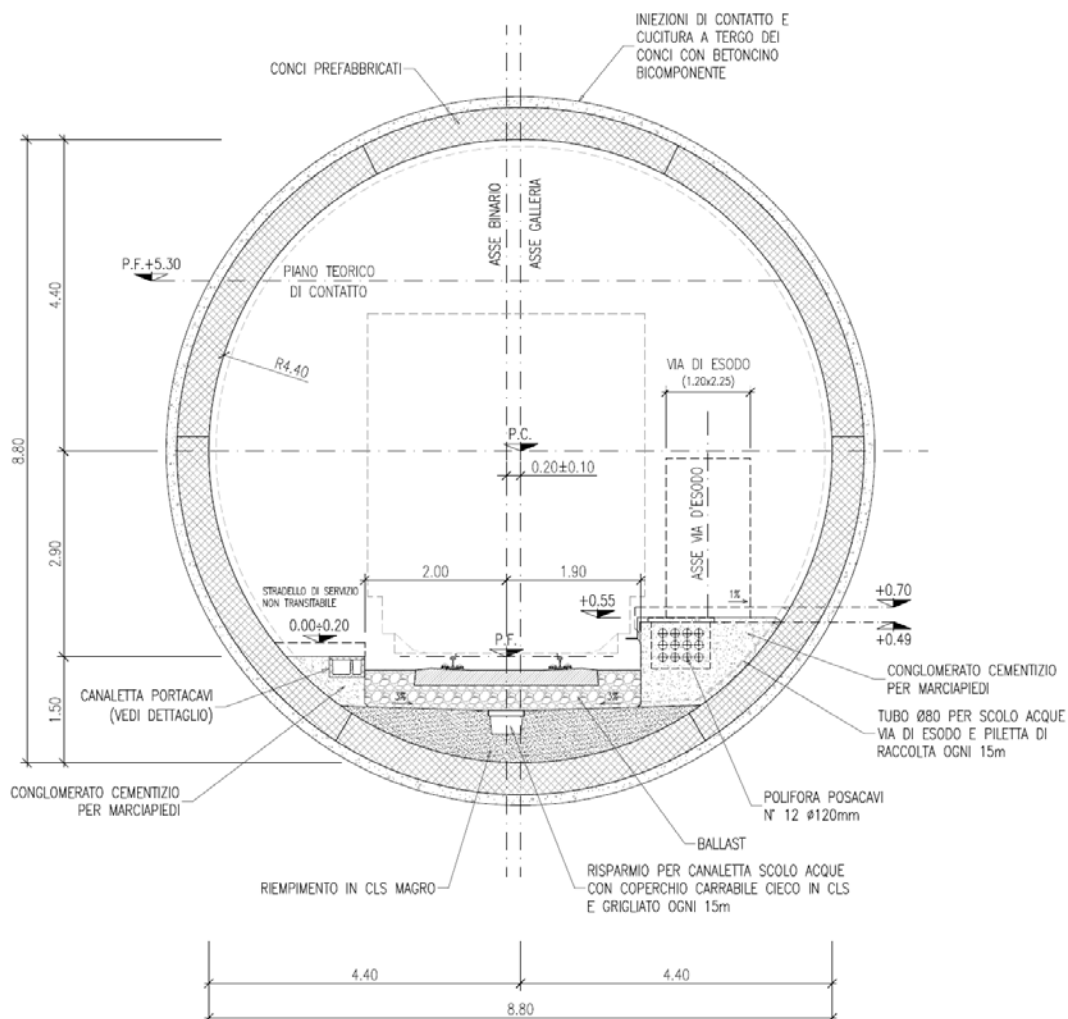
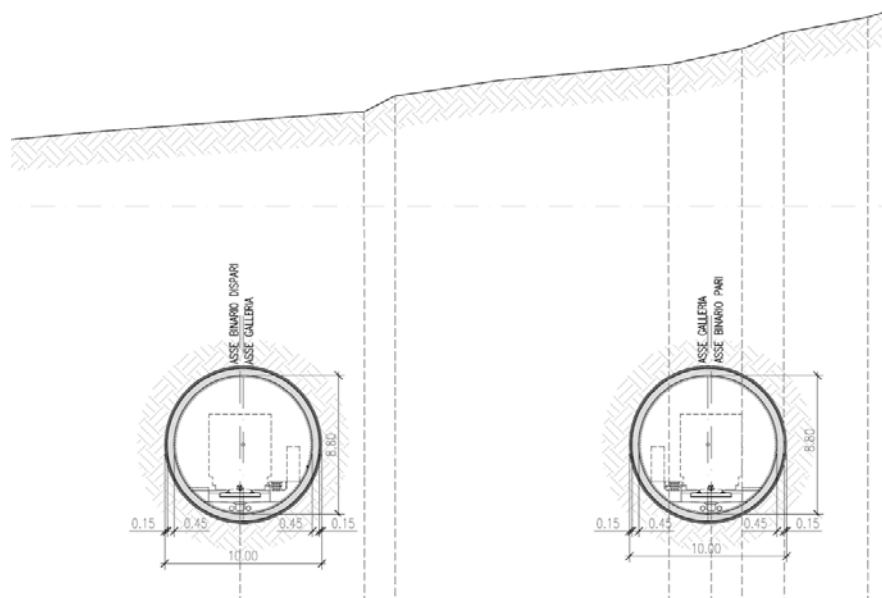
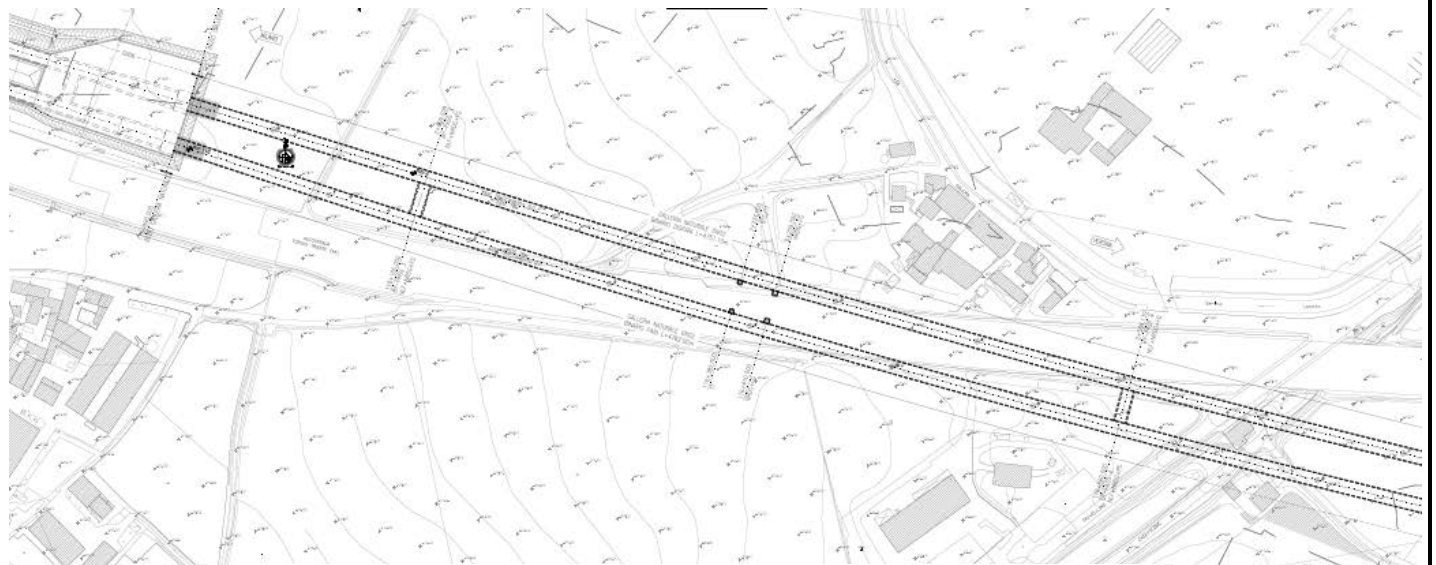


Figura 1.1 – Progetto Esecutivo Galleria Lonato, sezione tipo a singolo binario.



**Figura 1.2 – Stralcio planimetrico e sezione trasversale tipica con posizione delle due canne monobinario alla progressiva chilometrica 106+300 circa.**



## 2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	R	B	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione geotecnica
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione di smaltimento acque di piattaforma ed esterne
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 1 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 2 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 3 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 4 di 4)
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezione trasversale tipologica della galleria
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	A	T	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo - allegati numerici
INOR	11	E	E2	S	P	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Specifiche Tecniche Macchina di scavo
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di monitoraggio
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Valutazione statistica dei trovanti presenti lungo il tracciato della galleria
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Modalità di esecuzione degli interventi di consolidamento
INOR	11	E	E2	S	R	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Analisi di rischio estesa
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo degli effetti indotti in superficie
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 3/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 1 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 2 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 3 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Sede autostradale
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Esterno - Sezioni con strumentazione.
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Interno - Sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 2 e 3 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 4 e 5 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 6 e 7 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 8 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Sezioni e schema planimetrico anello

Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001Rev.  
AFoglio  
8 di 90

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Viste frontali e posizioni concio di chiave
INOR	11	E	E2	D	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Schema anello coordinate punti di riferimento
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo A
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo F
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo A
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo F
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Andamento concii in rettilineo e in curva
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	001	GALLERIA LONATO (GA06 - G103 - GN02 - G105 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	002	GALLERIA LONATO (GA06 - G103 - GN02 - G105 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie - Allegati numerici
INOR	11	E	E2	W	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali tipologiche delle nicchie
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - Nicchie TE
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - By-pass di sicurezza
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei concii - By-pass MT
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TE - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia NRDG+FG - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001Rev.  
AFoglio  
9 di 90

CODICE											DESCRIZIONE
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	016	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Armatura
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	B	X	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Collegamenti equipotenziali masse metalliche

### 3. NORMATIVE, SPECIFICHE TECNICHE E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

#### 3.1. Normative

- D.M. 9/01/1996: Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. 14/01/2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni" Capitolo 11 – Materiali per uso strutturale;
- Circolare 15/10/1996 n° 252: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per il calcolo ed il collaudo delle opere in cemento armato e precompresso e per le strutture metalliche;
- D.M. 11/03/1988: Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- D.M. 03/12/1987: Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione ed il collaudo delle costruzioni prefabbricate;
- Istruzioni C.N.R. 10025/84: "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati".
- Circolare del 16/03/1989 n.0311 04: Istruzioni in merito alle Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate;
- Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 28 ottobre 2005. Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie.
- UNI EN 206-1:2006: "Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- UNI 8991: "Durabilità delle opere e manufatti in calcestruzzo".
- DLgs 152/2006: Norme in materia Ambientale

#### 3.2. Specifiche tecniche di riferimento

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;

- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008;

### 3.3. Riferimenti bibliografici

- G. Anagnostou, K. Kovari (1996). Face Stability Conditions with Earth – Pressure – Balanced Shields (1996). Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 165-173.
- T. William Lambe, Robert V. Whitman (1969). Soil mechanics. John Wiley & Sons.
- Borio L. (2010), Soil conditioning for cohesionless soils, Politecnico di Torino; PhD tesi, (non pubblicata).
- Budach, C., Thewes, M.: Erweiterte Einsatzbereiche von EPB-Schilden. geotechnik 36 (2013) No. 2, pp. 96–103.
- COST (Co-operation in Science and Technology). Guidelines for the use of advanced numerical analysis. Thomas Telford. 2002.
- EFNARC (2005), Specifications and guidelines for the use of specialist products for mechanized tunnelling (TBM) in soft ground and hard rock, <http://www.efnarc.org/pdf/TBMGuidelinesApril2005.pdf>.
- M. Galli, M. Thewes (2014). Investigations for the application of EPB shields in difficult grounds. Geomechanics and Tunnelling 7, No.1.
- Guglielmetti, V., Mahtab, A., Xu, S. (2007), Mechanized tunnelling in urban area, Taylor and Francis, London, p. 507.
- Maidl, B., Herrenknecht, M., Anheuser, L. (1995), Mechanized shield tunneling, Ernst & Sohn, Berlin, p. 428.
- B. Maidl, M. Herrenknecht, U. Maidl e G. Wehrmeyer (2012). Mechanised Shield Tunnelling, 2nd edition. Wilhelm Ernst & Sohn.
- Peila, D., Oggeri, C., Vinai, R. (2007), Screw conveyor device for laboratory tests on conditioned soils for EPB tunneling operations, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, vol. 133, pp. 1622 – 1625.
- Peila, D., Oggeri, C., Borio, L. (2008), Influence of granulometry, time and temperature on soil conditioning for EPBM applications., In: Underground Facilities for Better Environment and Safety, Avarali Printers & Publishers (IND), 34th World Tunnel Congress 2008 – Underground Facilities for Better Environment and Safety, Agra 22-24 September, 2008, Vol. 2, pp. 881 – 891.
- Peila, D., Oggeri, C., Borio, L. (2009), Using the slump test to assess the behaviour of conditioned soil for EPB tunnelling, Environmental & Engineering Geoscience, vol. XV(3), pp. 167 – 174.
- Peña, M. (2003), Soil conditioning for sands, T & T International, July 2003, pp. 40 – 42.
- Quebaud, S., Sibai, M., Henry, J. P. (1998), Use of chemical foam for improvements in drilling by earth pressure balanced shields in granular soils, Tunnelling and underground space technology, 13 (2), Pergamon, Oxford, pp. 173 – 180.
- Vinai, R., Borio, L., Peila, D., Oggeri, C., Pelizza, S. (2008), Soil conditioning for EPB tunnelling, T & T international, vol. Dicembre, pp. 25 - 27.
- Vinai, R. (2007), Soil conditioning for cohesionless soils, Politecnico di Torino; PhD tesi, (non pubblicata).
- Williamson, G. E., Traylor, M. T., Higuchi, M. (1999), Soil conditioning for EPB shield tunnelling on the south bay ocean outfall, in Proceedings RETC, Orlando, Florida, June 21 – 23 1999, pp. 897 – 925.

#### 4. CONDIZIONI GEOLOGICHE

Di seguito si riportano le principali conclusioni degli studi geologici relativamente alle condizioni stratigrafiche dei terreni interessati dallo scavo della galleria Lonato.

L'imbocco occidentale della galleria Lonato alla progressiva chilometrica 105+990 è situato nell'ampia area pianeggiante costituita dai depositi fluvioglaciali dell'Allogruppo di Lonato e San Giorgio, che si estende dalla collina di Calcinato all'abitato di Lonato. Tali depositi sono caratterizzati da una certa omogeneità litologica: prevalgono infatti ghiaie e ghiaie con sabbia, nelle quali è possibile riconoscere isolate lenti di materiali più fini (sabbie limose). I depositi si spingono fino a profondità superiori a quelle della galleria in oggetto.

L'estesa piana fluvioglaciale è incisa, tra le pk 116+700 e pk 117+200 circa, da due scarpate fluvioglaciali, che delimitano un settore lievemente ribassato rispetto ai tratti confinanti all'esterno. La scarpata fluvioglaciale orientale costituisce il margine di un terrazzo morfologico che sviluppandosi verso est, si raccorda con il primo cordone morenico, orientato circa Nord-Sud. I depositi glaciali che costituiscono questo rilievo collinare, presentano rapporti di eteropia, in quanto sindeposizionali, con le unità fluvioglaciali, sono costituiti da ghiaie eterogenee con clasti di dimensioni variabili (da 0.5 a 10 cm), da angolari a subarrotondati, immersi in una matrice limoso-argillosa. Questo cordone morenico si sviluppa verso Est ed è attraversato da piane fluvioglaciali strette e poco profonde alle quali talvolta si sostituiscono episodi glaciolacustri di limitata estensione.

Da località S. Cipriano Sotto, approssimativamente in corrispondenza della progressiva km 109+250 fino a circa la progressiva km 110+250, l'unità glaciale è interrotta da un'ampia incisione fluvioglaciale caratterizzata litologicamente da terreni costituiti prevalentemente da ghiaie e ghiaie sabbiose, con isolati livelli di sabbie limose. Lo spessore del deposito, compreso tra 25 e 45 m, è delimitato alla base da depositi morenici e glaciolacustri. Procedendo verso Est un nuovo cordone morenico, con direzione Nord-Sud, separa l'area pianeggiante sopra descritta da un'altra piana fluvioglaciale dalle caratteristiche litologiche del tutto simili alla precedente. I depositi morenici presentano al loro interno episodi fluvioglaciali e glaciolacustri con estensione e spessore non prevedibile.

In località Bornade di Sopra, a Sud del rilevato autostradale, si verifica il contatto stratigrafico tra l'Allogruppo di Lonato e San Giorgio (Pleistocene medio) e l'Allogruppo di Lugana (Pleistocene superiore). L'imbocco orientale della Galleria di Lonato è situato nel primo cordone morenico dell'Allogruppo di Lugana, caratterizzato da ghiaie a supporto di matrice limoso-sabbiosa. In tutto il tratto interessato dalla galleria sono presenti numerosi massi erratici; quelli rilevati in superficie hanno dimensioni da 50 cm a oltre 2 m (capitolo 7). I sondaggi geognostici eseguiti durante le campagne d'indagine (1992-1994, 2001-2002, 2004) indicano la presenza di trovanti con dimensioni estremamente variabili, con un diametro massimo di 90 cm; si deve in questo caso tener conto che i sondaggi sono stati eseguiti con carotieri da 101 mm e che quindi le dimensioni reali dei massi incontrati potrebbero essere maggiori.

Lo schema dei rapporti stratigrafici che segue, schematizzato nella Figura 4.1, sintetizza la distribuzione dei diversi depositi attraversati dallo scavo della Galleria di Lonato.

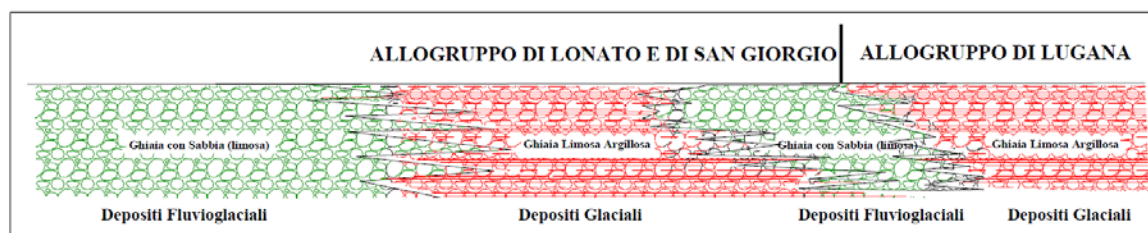


Figura 4.1 – Schema dei rapporti stratigrafici.

Volendo schematizzare la distribuzione dei depositi attraversati dalla galleria di Lonato si ottiene il seguente quadro:

- dall'imbocco occidentale situato alla progressiva km 115+990 fino alla progressiva km 108+700 circa sono presenti i depositi fluvioglaciali dell'Allogruppo di Lonato e S. Giorgio;

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
13 di 90

- dal km 118+700 fino al km 119+250 sono presenti dei depositi glaciali dell'Allogruppo di Lonato e S. Giorgio; tra la progressiva km 108+910 fino alla progressiva km 109+130 è stata rilevata, dalle stratigrafie dei sondaggi eseguiti, una lente di depositi fluvioglaciali;
- dalla progressiva km 119+250 sino alla progressiva km 120+220 circa, viene attraversata un'ampia incisione costituita da depositi fluvioglaciali, interrotta per un breve tratto da depositi morenici tra la progressiva km 119+335 e la progressiva km 109+440;
- dalla progressiva km 120+220 fino alla progressiva km 110+700 viene inciso un cordone morenico costituito da depositi glaciali. In corrispondenza della progressiva km 110+520 circa sono stati evidenziati tre episodi deposizionali sovrapposti di origine fluvioglaciale, glaciolacustre e nuovamente fluvioglaciale. L'estensione e lo spessore dei sopracitati depositi è stato stimato in base all'unico sondaggio che li evidenzia, il 3SS073;
- tra la progressiva km 120+700 e la zona dell'imbocco orientale, situato alla progressiva chilometrica 120+772, si ritrovano i depositi fluvioglaciali.



## 5. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE

### 5.1. Inquadramento idrogeologico

L'assetto geologico-stratigrafico si presenta piuttosto diversificato. Una gran varietà di complessi geologici con caratteristiche genetiche, litologiche, granulometriche e tessiturali differenti, infatti, si distribuisce sul territorio in oggetto con spessori e continuità laterale del tutto variabili. Tale complessità si ripercuote, inevitabilmente, sull'assetto idrogeologico di interesse, caratterizzato da un'alternanza irregolare di unità a permeabilità anche molto differente.

I corpi morenici, in genere, anche se costituiti in predominanza da ghiaie sabbiose, presentano valori di conducibilità idraulica modesti, in relazione all'abbondante matrice limoso-argillosa che ne controlla la struttura. All'interno dei corpi morenici, sono rinvenibili lenti di depositi fluvioglaciali di dimensioni variabili, contraddistinti da una minore percentuale di fine, la cui conducibilità idraulica può aumentare anche di alcuni ordini di grandezza e ospitare acquiferi potenzialmente in pressione, di continuità laterale di difficile definizione.

Alle pendici delle morene affiorano depositi alluvionali antichi e/o recenti e depositi fluvioglaciali, caratterizzati da tessitura e composizione granulometrica del tutto eterogenea.

Negli studi condotti sono state individuate le seguenti unità idrogeologiche:

- I depositi morenici che risultano essere costituiti da materiale grossolano a supporto di matrice limoso sabbiosa, con più o meno abbondanti intercalazioni di livelli maldefiniti e discontinui di materiale prevalentemente fine (argille con ghiaia e ciottoli) e prevalentemente grossolano (ghiaie e ciottoli con sabbie); inoltre i rilievi glaciali sono caratterizzati dalla presenza di suoli da mediamente a molto evoluti, meglio conservati sui fianchi e generalmente erosi sulla sommità. Tale condizione rende i cordoni morenici, in particolar modo quelli più antichi, dei corpi acquiferi "isolati", sede di falde sospese, spesso in pressione, arealmente limitate e solo localmente correlabili le une alle altre.
- I depositi glaciolacustri che sono costituiti essenzialmente da materiali fini (argille) con conducibilità idrauliche tali da renderli degli acquiclude e quindi di rappresentare la base di eventuali falde sospese e/o il tetto di eventuali falde confinate.
- I depositi fluvioglaciali che sono costituiti da ghiaie da grossolane a molto grossolane a supporto di clasti con matrice sabbioso-limosa. I clasti sono arrotondati, poligenici e alterati per circa il 50% del totale (litologie carbonatiche da decarbonatate ad argillificate e litologie cristalline da fragili ad arenitizzate); tali depositi risultano confinati lateralmente dai diversi cordoni morenici presenti, e quindi sede di falde non connesse a quelle dell'Alta Pianura Lombarda.
- I depositi sub glaciali, presenti al di sotto di tutte le facies glaciali e fluvioglaciali che caratterizzano l'area dell'anfiteatro morenico, sono costituiti da materiali fini generati dalla pressione del ghiacciaio in movimento, con locali intercalazioni di materiali grossolani più o meno continue e spesso non intersecanti; questi depositi, come ben osservabile dalle stratigrafie dei pozzi profondi, sono sede di falde confinate in pressione, difficilmente correlabili fra loro a grande scala.

Tale complessa successione sarebbe sede di un sistema di acquiferi a pelo libero, ben sviluppati e continui, cui corrispondono le falde freatiche circolanti nei depositi fluvioglaciali di pianura. Gli acquiferi freatici principali sarebbero isolati, tra di loro, dai cordoni morenici, essenzialmente impermeabili. In particolare sono stati riconosciuti quattro sistemi acquiferi freatici differenti:

- Acquifero freatico della piana intramorenica a ovest di Lonato: il settore pianeggiante compreso tra gli abitati di Lonato e di Montichiari è sede di un acquifero freatico continuo, con direzione di flusso circa N-S e soggiacenza elevata (superiore ai 50 metri dal p.c.). Tale acquifero, altamente produttivo, è captato da numerosi pozzi.
- Acquifero freatico della piana intramorenica "Croce di Venzago": la soggiacenza della falda freatica in questi settori si attesterebbe a circa 20 metri dal p.c., con una direzione di flusso che segue quella della Fossa Redone, principale asse drenante della piana fluvioglaciale in oggetto.

- Acquifero freatico della piana intramorenica del Lavagnone: presso il tracciato della galleria Lonato la soggiacenza di questo acquifero sarebbe quantificabile in 15 metri circa dal p.c., con una direzione di flusso essenzialmente conforme al gradiente topografico. Lo stagno Lavagnone qui presente, rappresenterebbe un punto di emergenza di detta falda.
- Acquifero freatico della piana in località Bornade: rappresentato da una falda freatica di estensione ridotta, caratterizzata da una soggiacenza di 10 metri circa e in contatto con un sistema di falde sospese a carattere locale.

Gli studi idrogeologici hanno inoltre evidenziato, nell'Anfiteatro Morenico del Garda, la presenza di diverse falde sospese, sia all'interno dei cordoni morenici, sia all'interno dei depositi fluvioglaciali, nonché all'interno dei livelli più permeabili dei depositi glacialacustri (Figura 5.1 e Figura 5.2).

Le falde sospese di questo settore risultano ben definibili all'interno delle piane fluvioglaciali interne alle cerchie, nella porzione a sud di Lonato e nella zona del veronese. i corpi idrici risultano separati fra di loro dalle colline moreniche stesse che localmente li alimentano. L'alimentazione avviene prevalentemente dalle acque di infiltrazione e le direzioni di flusso risultano fortemente condizionate dalla morfologia del territorio. La soggiacenza di queste falde varia da pochi metri da p.c. fino a un massimo di 10 m circa da p.c. (in corrispondenza delle piane fluvioglaciali più estese). All'interno dei cordoni morenici sono localmente presenti delle falde più o meno continue, con direzione di flusso orientate verso le piane fluvioglaciali laterali, caratterizzate da conducibilità idrauliche maggiori.



**Figura 5.1 – Andamento delle Falde Sospese dell'Anfiteatro Morenico del Garda, zona bresciana.**



Figura 5.2 – Aree caratterizzate dalla presenza di falde sospese arealmente limitate.

## 5.2. Permeabilità dei terreni interessati dalla galleria Lonato

Nella Figura 5.3 sono riportati i risultati di tutte le prove di permeabilità Lefranc condotte nei sondaggi delle campagne geognostiche del 1992-1994, del 2001-2002 e del 2004.

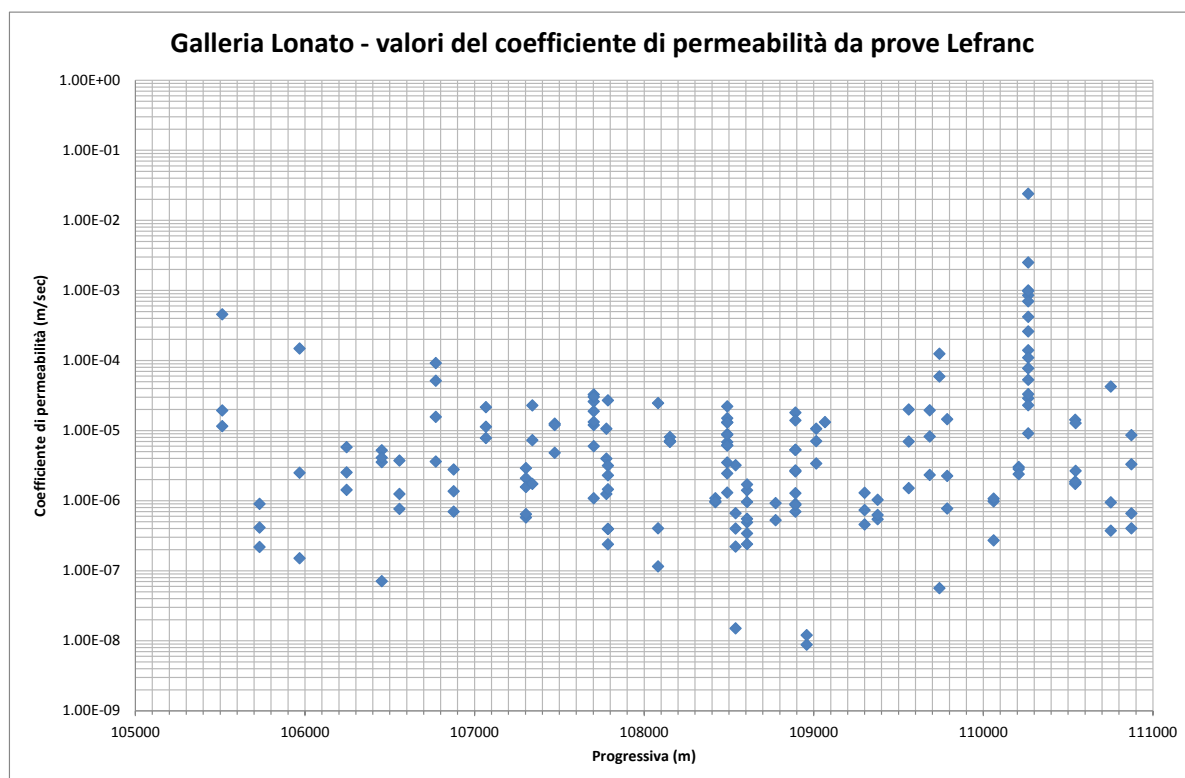


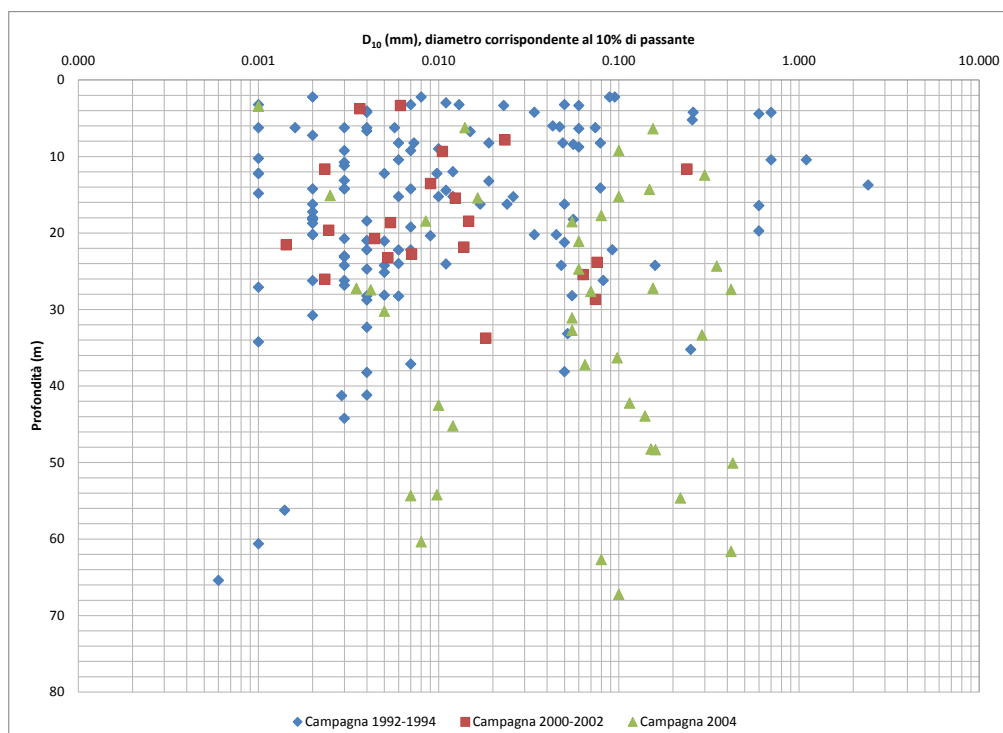
Figura 5.3 – Risultati delle prove di permeabilità Lefranc effettuate nei sondaggi eseguiti lungo il tracciato della galleria Lonato.

Come si può notare, la distribuzione dei coefficienti di permeabilità lungo la galleria mostra una notevole variabilità relativamente ai diversi depositi presenti (depositi glaciali, fluvioglaciali e glaciolacustri).

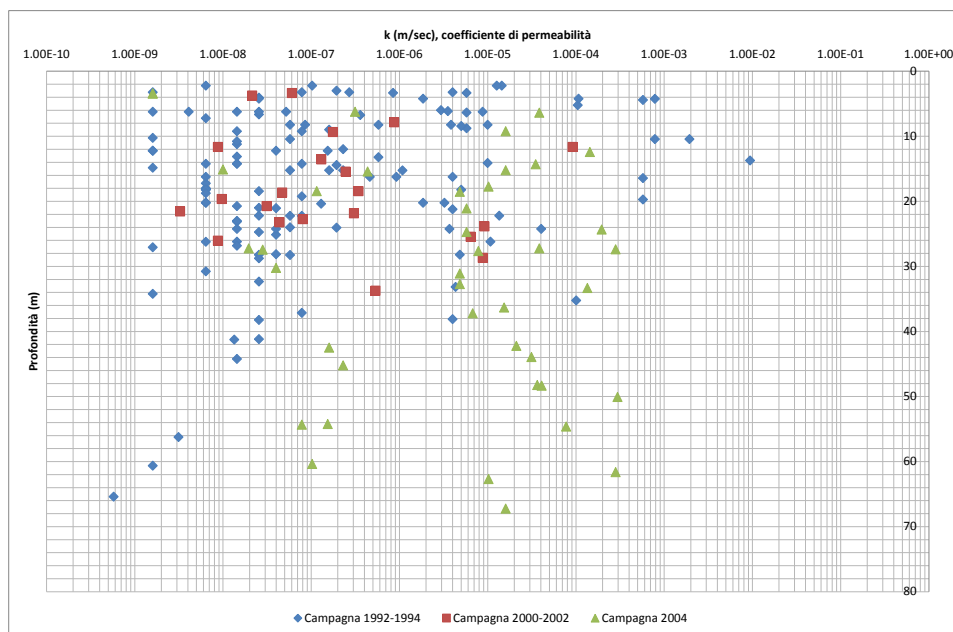
Occorre notare che i risultati delle prove di permeabilità sono in buon accordo con le curve granulometriche ottenute dai campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi. Infatti, nella seguente Figura 5.4 sono riportati i valori di permeabilità ricavati dai valori del diametro medio corrispondente al 10% di passante,  $D_{10}$ , definito diametro efficace, utilizzando le correlazioni fra la permeabilità  $K$  e il valore di  $D_{10}$  proposte da Lambe e Whitman (1969) e riportate nella seguente Tabella 5.1.

**Tabella 5.1 – Correlazioni proposte da Lambe e Whitman (1969) fra il valore del diametro corrispondente al 10% di passante,  $D_{10}$ , e il valore del coefficiente di permeabilità.**

Terreno	$D_{10}$ (cm)	Permeabilità ( $\mu\text{m}/\text{sec}$ )	$K/D_{10}^2$ (1/sec cm)
Ghiaia grossolana	0.082	1100	16
Ghiaia sabbiosa	0.020	160	40
Ghiaia fine	0.030	71	8
Ghiaia limosa	0.006	4.65	11
Sabbia grossolana	0.011	1.1	1
Sabbia media	0.002	0.29	7
Sabbia fine	0.003	0.096	1
Limo	0.0006	0.15	42







(b)

**Figura 5.4 – (a) Valori del diametro efficace  $D_{10}$  ottenuti dalle analisi granulometriche condotte sui campioni rimaneggiati prelevati dai sondaggi; (b) valori del coefficiente di permeabilità ottenuto sulla base delle correlazioni proposte da Lambe e Whitman (1969).**

### 5.3. Andamento della falda

Per una approfondita conoscenza dell'assetto idrogeologico dell'anfiteatro morenico sono state eseguite 3 campagne d'indagine nel periodo compreso tra il 1991 e il 2004. Nel corso della prima campagna d'indagine, svolta nel periodo 1991-1992, sono stati realizzati 11 piezometri. Le letture piezometriche sono state eseguite dal 18 giugno al 5 agosto 1992 e dal 31 agosto al 25 settembre 1992 con una cadenza circa settimanale. Nel corso della seconda campagna d'indagine, svolta nel 2001-2002, le letture piezometriche sono state eseguite, con una cadenza circa bisettimanale, dal marzo del 2002 all'agosto del 2002. I piezometri posati nei sondaggi S4 e S5 sono stati invece monitorati dal luglio 2002 al dicembre 2002 con cadenza settimanale. Nel corso della terza campagna d'indagine, svolta nel 2004, sono stati realizzati 18 piezometri; le letture, anche per 13 piezometri installati durante la campagna 2002, sono state acquisite fino al mese di agosto 2005.

Inoltre più recentemente (2014) lungo l'intero tracciato della galleria sono stati installati 7 piezometri nell'ambito dello studio per l'utilizzo delle terre da scavo (indicati con la sigla PUT nelle figure successivamente riportate).

L'analisi globale di tutte le misure piezometriche eseguite, ha evidenziato la complessità nell'assetto idrogeologico caratteristico dell'Anfiteatro Morenico del Garda. L'estrema variabilità nella distribuzione dei valori piezometrici massimi registrati nelle diverse verticali dei sondaggi rende difficoltoso se non impossibile tracciare una superficie piezometrica continua lungo tutta la sezione geologica; ciò si spiega con la presenza di corpi acquiferi complessi, il cui grado di interdipendenza, difficilmente interpretabile, è regolato dalla variabilità da punto a punto dei coefficienti di permeabilità. Inoltre, come già illustrato nei precedenti paragrafi, sembrano presenti dei corpi acquiferi più superficiali, che alimentano i fontanili presenti nell'area oggetto di studio. E' probabile che si tratti di falde sospese o sostenute, non comunicanti con gli acquiferi più profondi.

A questo riguardo, anche con riferimento al recente aggiornamento dello studio idrogeologico generale condotto da S.In.Ge.A., nel settore dell'Anfiteatro Morenico del Garda sono presenti delle zone dove non è stato possibile definire un andamento piezometrico, a causa della non correlabilità dei dati freaticometrici a disposizione. In particolare, il cordone morenico più esterno in comune di Lonato presenta dei valori di soggiacenza estremamente discordanti fra



loro, con variazioni di quota assoluta delle falde di oltre 20 m. Ciò è con ogni probabilità legato alla presenza di diverse falde, spesso in pressione, con estensioni areali e verticali estremamente limitate.

Sulla base di tutti i dati raccolti è stata ricostruita una sezione geologica ed idrogeologica in scala 1:5.000/1:500, del territorio interessato dallo scavo della Galleria di Lonato (doc. rif. IN0500DE2F5GE00010182).

A favore di sicurezza in tale elaborato è stato scelto, per ognuno dei piezometri utilizzati per l'elaborazione del profilo idrogeologico, di inserire i valori di minima e massima soggiacenza registrati nelle varie campagne di misura. Questa scelta è stata determinata dalla necessità di valutare i massimi carichi piezometrici potenzialmente gravanti sulle opere in progetto e le oscillazioni stagionali della falda.

Nelle Figura 5.6 e Figura 5.7, rispettivamente, per l'andamento dei livelli massimi e minimi della falda e del carico piezometrico, sono stati riportati: (a) i valori delle letture condotte sui piezometri installati nelle precedenti campagne geognostiche; (b) i valori delle misure dei livelli piezometrici relativi ai più recenti piezometri installati nel 2014, nell'ambito dello studio per l'utilizzo delle terre da scavo (indicati con la sigla PUT); (c) la quota della falda ricavata dalla carta piezometrica dell'acquifero principale da km 101+263.16 a km 111+007.73 (elaborato di progetto definitivo n. IN0500DE2N4GE00020241); (d) la quota della falda ricavata dalla carta piezometrica dell'acquifero, allegata al recente aggiornamento dello studio idrogeologico condotto da S.In.Ge.A s.r.l.; (e) le prime letture di un piezometro integrativo, realizzato nel dicembre 2017 alla progressiva pk 108+615, costituito da un piezometro a tubo aperto con il tratto finestrato in corrispondenza del fronte di scavo della galleria, al fine di valutare l'effettiva entità del battente d'acqua in corrispondenza del fronte di scavo.

Nella descrizione della sezione geologica e idrogeologica sono stati posti in evidenza quattro tratti principali caratterizzati da una certa omogeneità morfologica e litologica, associata ad un affine assetto idrogeologico e distribuzione del livello di falda (Figura 5.6 ÷ Figura 5.10).

- Il primo tratto omogeneo si sviluppa nella piana fluvio-glaciale compresa tra Cascina Faccendina e la base dei cordoni morenici (pk 107+800 circa). In questa zona i terreni attraversati sono piuttosto uniformi, di origine fluvio-glaciale, costituiti prevalentemente da ghiaia sabbiosa limosa. La superficie piezometrica si attesta in linea di massima a quote comprese tra 107 e 130 m s.l.m., con un battente d'acqua massimo, rispetto al piano ferro, intorno ai 10 m.
- Il secondo tratto considerato si sviluppa sotto il cordone morenico, tra le progressive pk 107+800 e pk 108+500. In questa zona la galleria attraversa i depositi fluvio-glaciali. Nella sezione (si veda la Figura 5.5) si sono indicate due possibili ipotesi sull'andamento della falda: (a) nella prima si ipotizza un progressivo innalzamento della tavola d'acqua da 107 m s.l.m. (3SC068) fino a raggiungere una quota di circa 140 m s.l.m. (S16-XA202G156), ciò appare però in contrasto con le letture relative alla cella più profonda del piezometro Casagrande 3SC400 che risulta sempre asciutta, la cui posizione è indicata nelle Figura 5.6 e Figura 5.8, e i cui valori insieme a quelli relativi alle altre celle Casagrande sono mostrati nella Figura 5.9; (b) la seconda ipotesi prevede un livello di falda costante tra 105 e 107 m s.l.m., con presenza di falde sospese o sostenute in lenti di terreni a maggiore permeabilità rispetto a quella dei depositi circostanti. In tale ottica trova giustificazione la presenza d'acqua nel piezometro S16XA202G156 alla quota di circa 140 m s.l.m.
- Il terzo tratto considerato si sviluppa al di sotto dei cordoni morenici, tra le progressive pk 108+500 e pk 109+250. È costituito da depositi glaciali, glaciolacustri e fluvio-glaciali che si alternano in rapporti di eteropia sindeposizionale. I rapporti stratigrafici appaiono piuttosto complessi, sembra tuttavia plausibile ipotizzare l'esistenza di lenti di depositi fluvio-glaciali, variamente intercomunicanti tra loro, che costituiscono un reticolo drenante posto all'interno del cordone morenico. L'ipotesi sembra avvalorata dal diverso comportamento dei piezometri filtranti all'interno dei depositi morenici rispetto a quelli filtranti nei depositi fluvio-glaciali: nei primi non viene rilevata presenza di acqua a causa dei bassi valori di permeabilità, nei secondi viene sempre segnalata la presenza di falda, il più delle volte in pressione. I massimi battenti registrati, rispetto all'arco rovescio, sono di circa 43 metri sulla verticale del sondaggio 3SC069 e di circa 50 m sulla verticale del sondaggio S17-XA202G157 (Figura 5.7). Nell'ambito degli studi idrogeologici è stato pertanto scelto di non tracciare una superficie di falda. Con riferimento alla Figura 5.9, occorre menzionare che i livelli piezometrici misurati dalle celle Casagrande indicano la presenza di differenti falde, in modo particolare per il piezometro 3SC500 nel quale sono state installate 3 celle piezometriche.
- Il quarto tratto, compreso tra le pk 109+250 e pk 110+780 è costituito da depositi morenici incisi da scaricatori glaciali. Sul profilo geologico ed idrogeologico è stata tracciata la superficie del supposto primo acquifero, unendo i livelli di minima soggiacenza registrati durante le campagne di monitoraggio (Figura 5.10). La superficie piezometrica, frutto di

una attendibile correlazione dei livelli piezometrici misurati nelle verticali disponibili, è rappresentata con una linea continua all'interno dei depositi fluvio-glaciali, sicura sede di un acquifero, mentre non è stata disegnata in corrispondenza dei cordoni morenici, dove l'interpretazione risulta essere meno certa. All'interno del cordone morenico i piezometri che intercettano lenti di depositi fluvio-glaciali indicano presenza di falda in pressione con superficie piezometrica a circa 108 m s.l.m., quindi 4-5 m sopra la quota dell'arco rovescio. L'acquifero presente nei depositi fluvio-glaciali appare separato da quello più profondo, captato dai pozzi di approvvigionamento idrico, da un acquitardo costituito da depositi glaciolacustri.

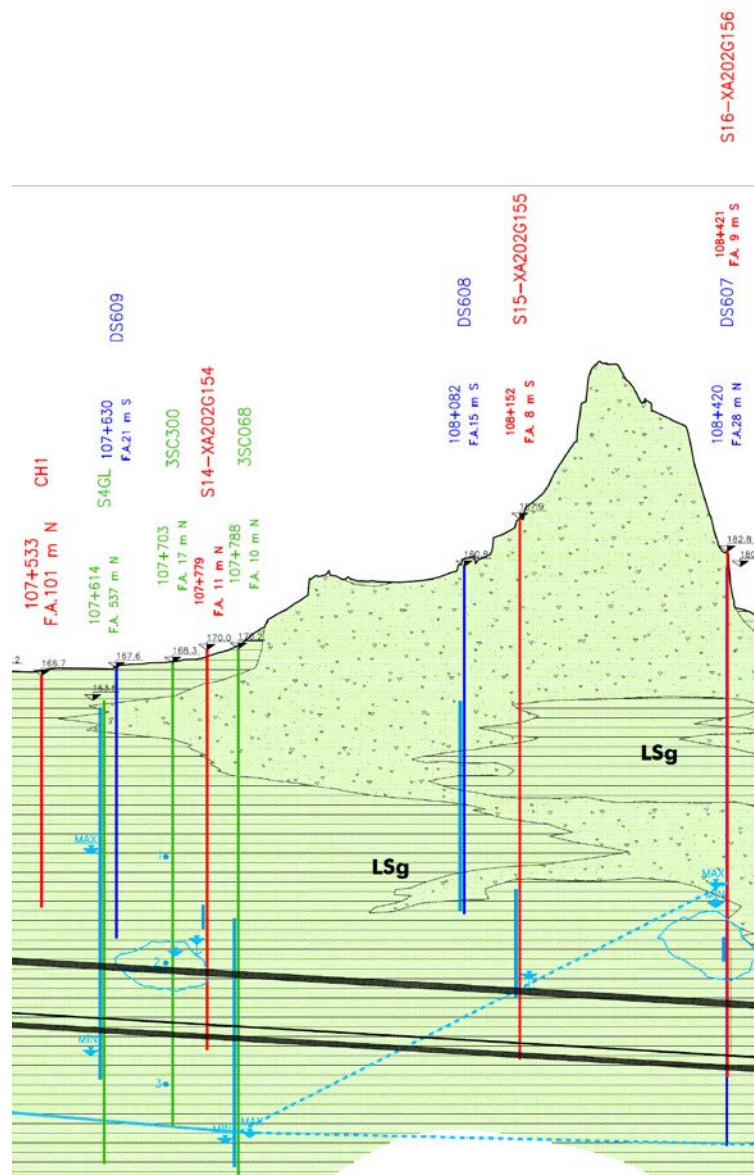
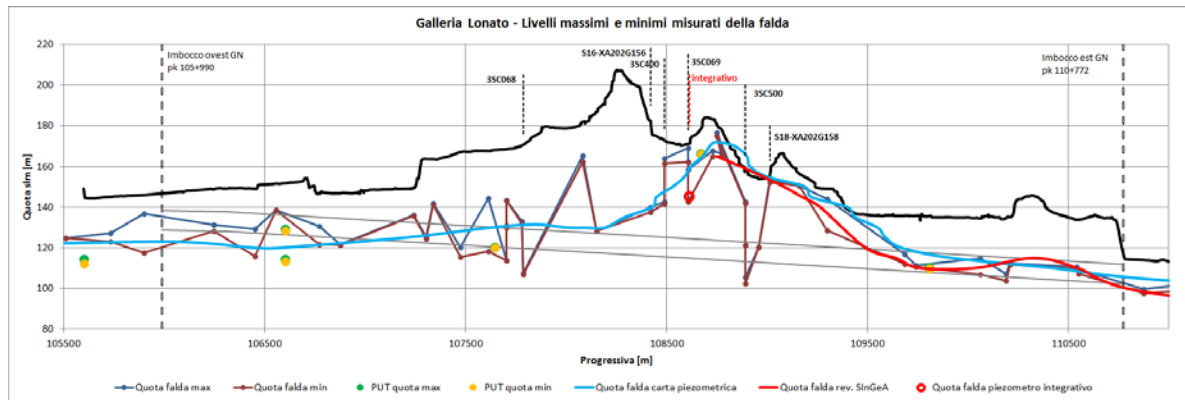
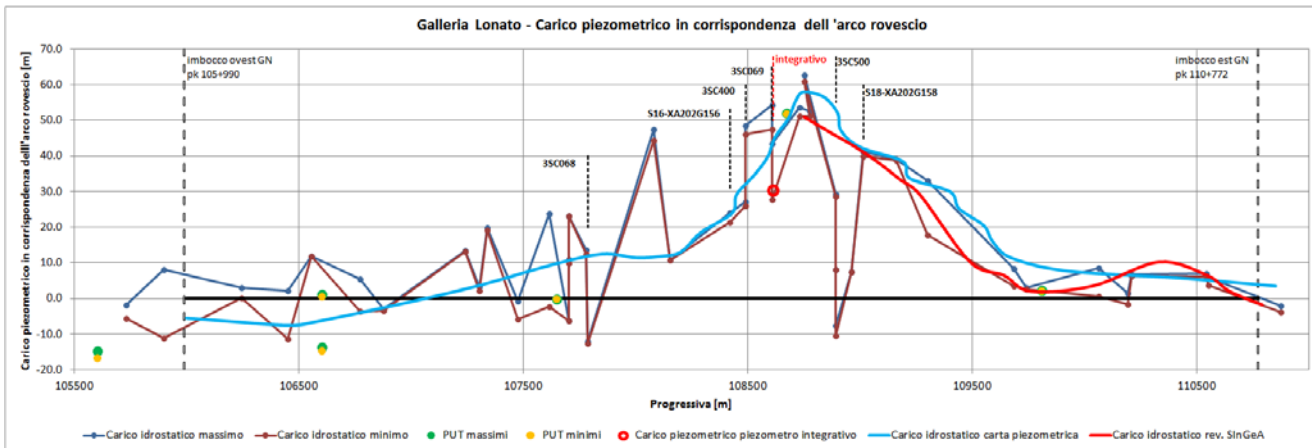


Figura 5.5 – Tratto fra le progressive pk 107+800 e pk 108+500; estratto del profilo geologico ed idrogeologico della galleria Lonato con indicate le due possibili ipotesi sull'andamento della falda.



**Figura 5.6 – Andamento dei livelli massimi e minimi della falda misurata dai piezometri installati.**



**Figura 5.7 – Andamento del carico piezometrico massimo e minimo della falda misurato dai piezometri, in corrispondenza dell'arco rovescio della galleria.**

Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
22 di 90

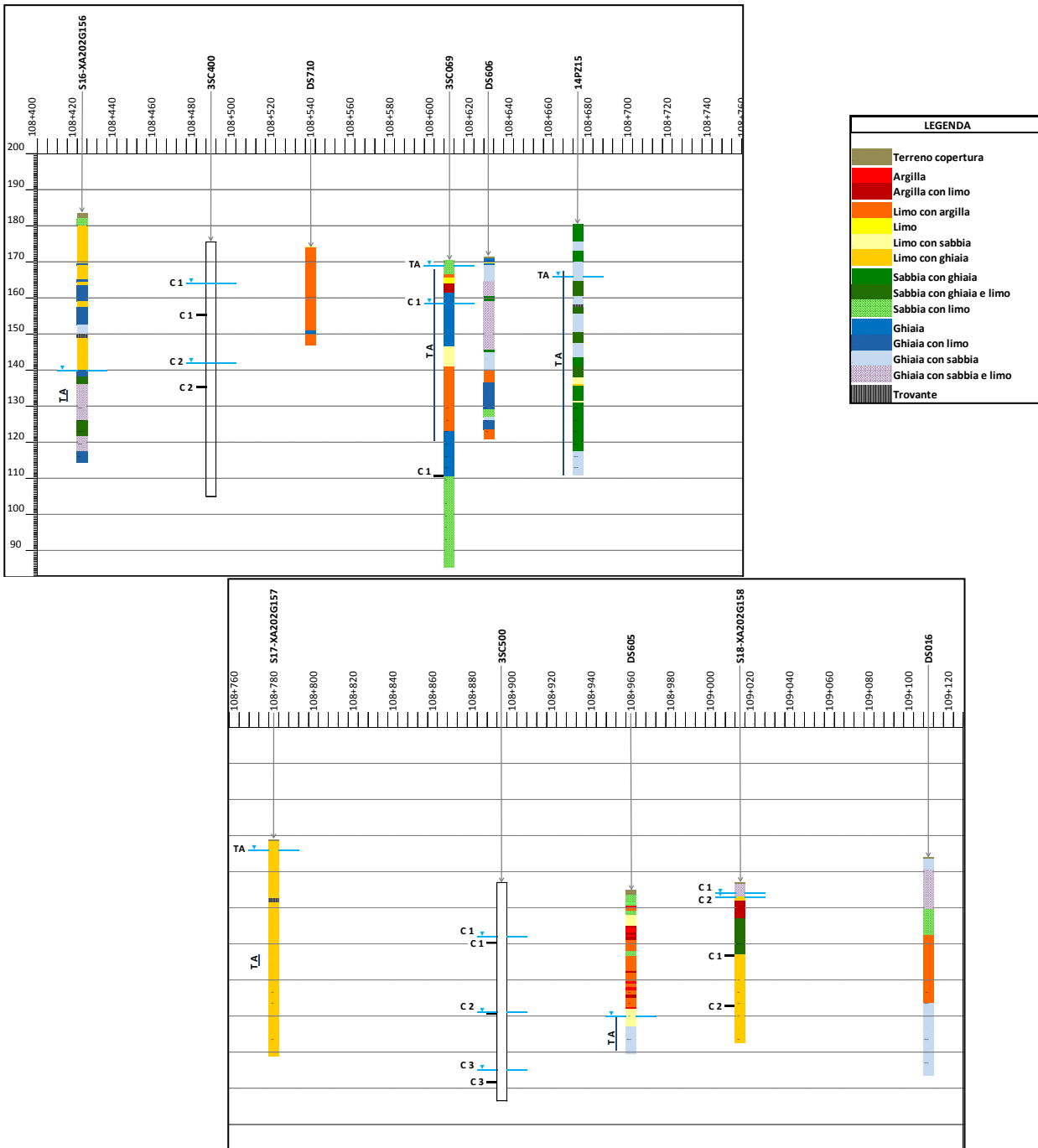


Figura 5.8 – Tratta fra le progressive pk 108+400 e 109+120, ubicazione dei piezometri a tubo aperto e delle celle Casagrande installate alle diverse profondità.

Doc. N.

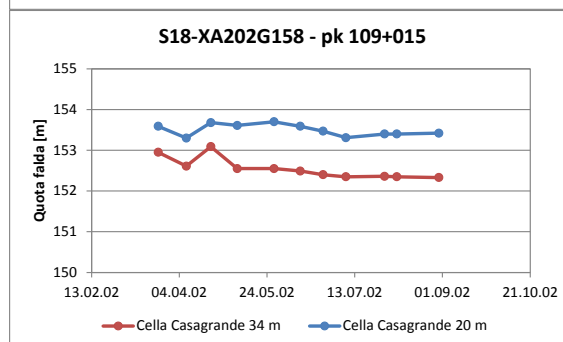
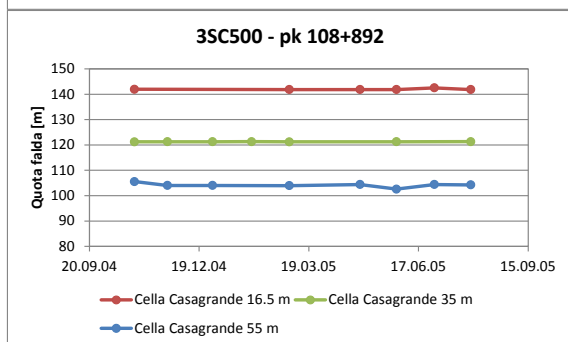
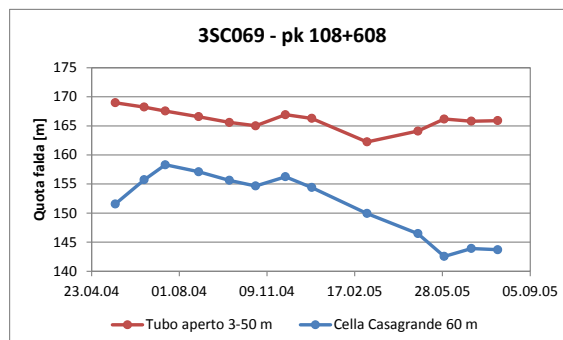
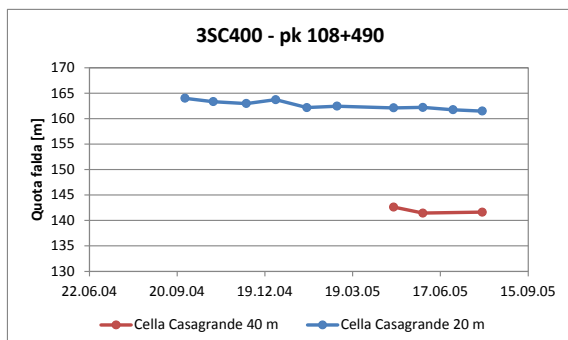
Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
23 di 90



**Figura 5.9 – Tratta fra le progressive pk 108+400 e 109+120, livelli piezometrici misurati dalle celle Casagrande installate alle diverse profondità.**



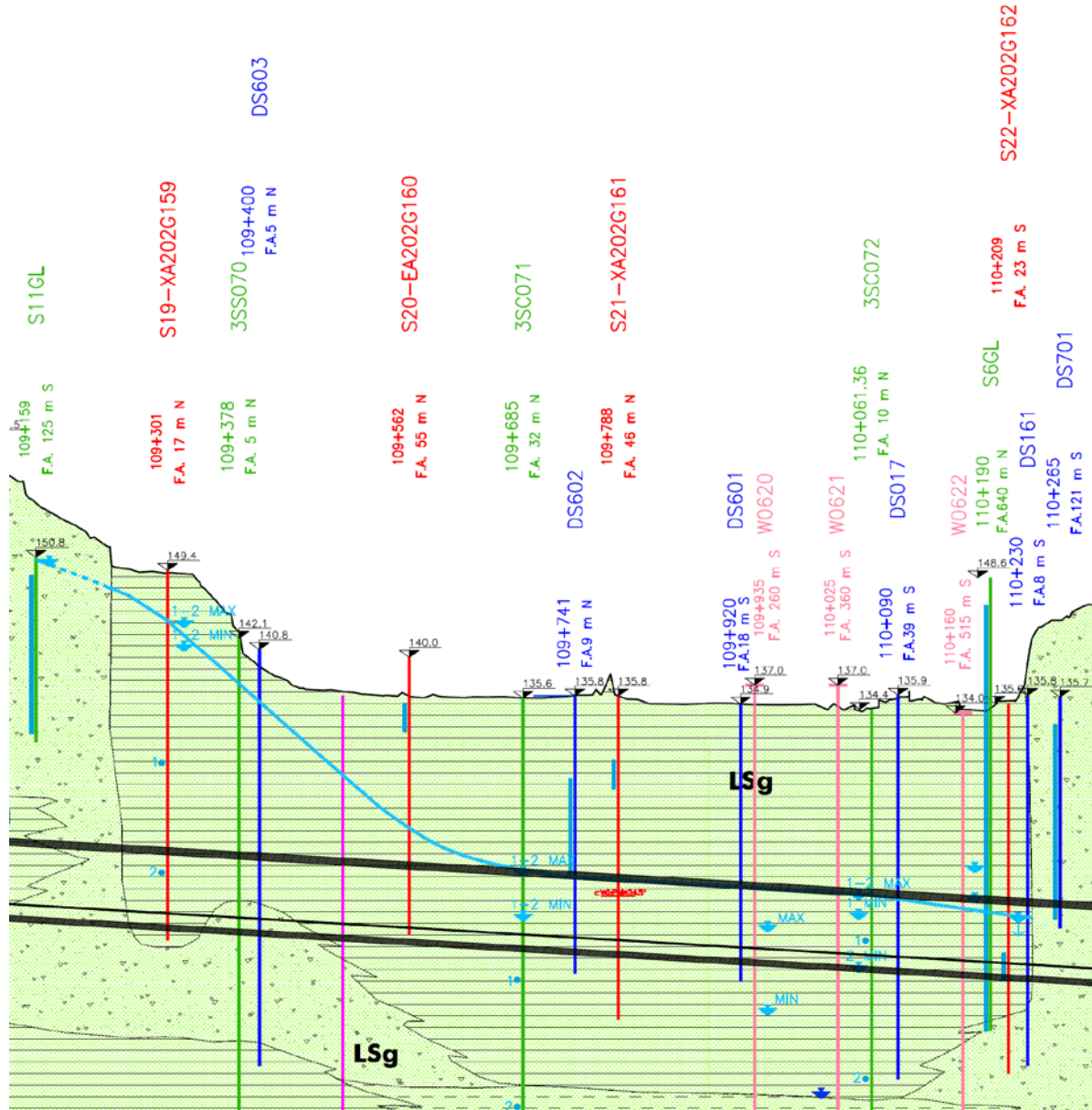


Figura 5.10 – Tratto fra le progressive pk 109+250 e pk 110+780; estratto del profilo geologico ed idrogeologico della galleria Lonato con indicazione dell'ipotizzata superficie piezometrica.

## 6. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE LUNGO IL TRACCIATO

In sede di progetto definitivo, la caratterizzazione geotecnica è stata condotta sulla base delle prove eseguite in sito ed in laboratorio nel corso delle varie campagne di indagine svolte per la progettazione delle opere.

All'interno dei terreni sono state riconosciuti dei gruppi geotecnici basati su granulometrie, litologia e caratterizzazione geotecnica; la ricostruzione delle diverse unità è stata riportata negli elaborati relativi al profilo geologico e geotecnico longitudinale della galleria Lonato.

I seguenti gruppi geotecnici del progetto definitivo sono stati definiti sulla base delle caratteristiche dei terreni e le suddivisioni sono risultate indipendenti da quelle delle unità geologiche:

- GRUPPO 1: terreno coltivo o fascia di alterazione superficiale, questa unità non viene incontrata dallo scavo in sotterraneo e non è stata caratterizzata dal punto di vista geotecnico.
- GRUPPO 2: ghiaie e sabbie debolmente limoso-argillose. Depositi a comportamento granulare (limo + argilla circa 14%).
- GRUPPO 3: ghiaie limose e sabbie limose con ghiaia (limo + argilla mediamente pari al 24%) alternate a depositi eterometrici.
- Il GRUPPO 4: costituito da limi, limi argilloso – sabbiosi che tuttavia non risulta presente alla quota della galleria.
- GRUPPO 5: sabbie e ghiaie limose e limi sabbioso-ghiaiosi con blocchi litici da decimetrici a metrici, da consolidati a sovraconsolidati (limo + argilla pari a circa il 31%).

Dalle analisi granulometriche effettuate sono state ricavate le composizioni granulometriche medie dei differenti depositi, riportate nella seguente Tabella 6.1. Nelle relazioni del progetto definitivo si rileva che all'interno di ciascuna litofacies, considerata l'estrema eterogeneità dei depositi, sono presenti notevoli variazioni. La Tabella 6.1 ripresa dalle relazioni del progetto definitivo è basata sulle prove granulometriche e sulle areometrie effettuate sui campioni delle campagne 2002 e 2004.

**Tabella 6.1 – Granulometrie per i vari gruppi geotecnici.**

GRANULOMETRIE DA SONDAGGI 2002 -2004						
	Trovanti	ghiaia	Sabbia	Limo +argilla	limo	argilla
<b>GRUPPO 2</b>	Sporadica presenza trovanti fino a 20 40 cm	50%	36%	14%	11%	5%
<b>GRUPPO 3</b>	Presenza localizzata di trovanti di dimensioni decimetriche (sondaggio XA202G151)	40%	36%	24%	21%	5%
<b>GRUPPO 4</b>	Assenza trovanti in depositi glacialacustri s.s.	5,3%	8,7%	86%	-	-
<b>GRUPPO 5</b>	Presenza relativamente frequente di trovanti di dimensioni anche fino a 130 cm	31%	38%	31%	20%	5%

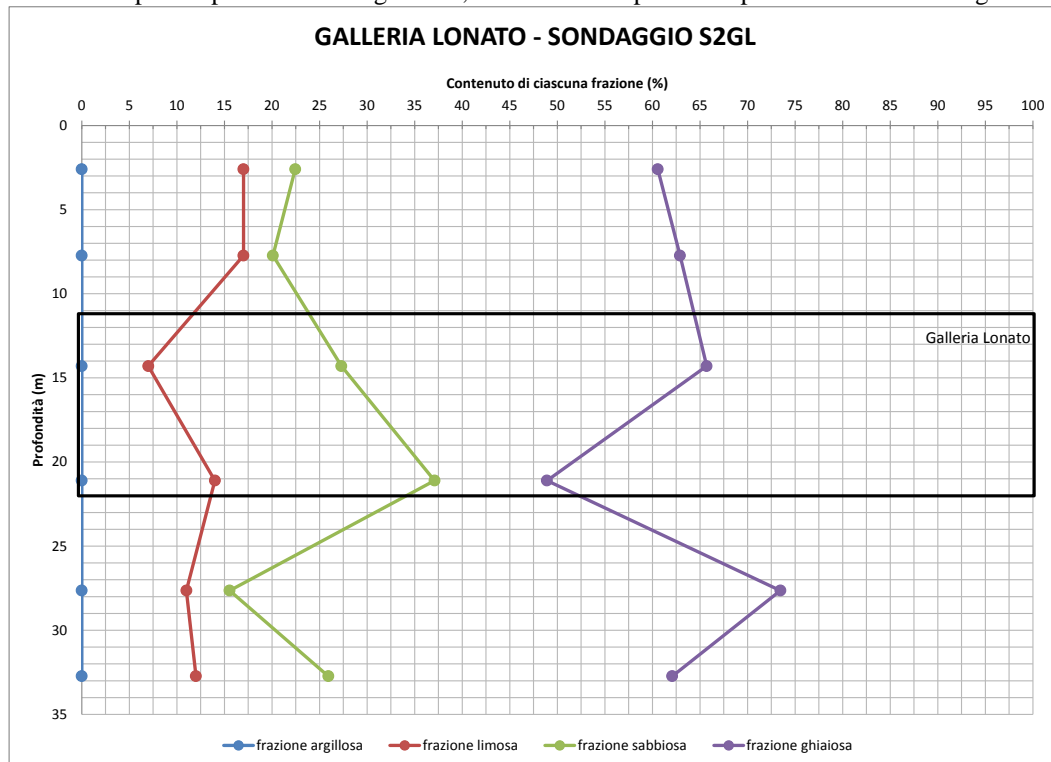
Allo scopo di una definizione di maggiore dettaglio delle effettive frazioni granulometriche dei terreni presenti al fronte di scavo lungo l'intero sviluppo longitudinale della galleria - elemento di fondamentale importanza per la valutazione sia delle condizioni di stabilità del fronte di scavo sia delle problematiche relative al condizionamento dei terreni, per l'applicazione della tecnologia EPB, i risultati di tutte le analisi granulometriche effettuate sono stati interpretati secondo il seguente approccio.

Innanzitutto, per ogni verticale di sondaggio, sono stati prodotti dei grafici che riportano le diverse frazioni di terreno (ghiaia, sabbia, limo, argilla) ottenute dalle analisi granulometriche, effettuate sui campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi, in base alla classifica, puramente convenzionale, proposta dall'AGI (Associazione Geotecnica Italiana) e riportata nella seguente Tabella 6.2.

**Tabella 6.2 – Sistema di classificazione secondo l'AGI (Associazione Geotecnica Italiana).**

CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO			ARGILLA
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	
	60	20	6.0	2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002
Diametro dei grani D (mm)										

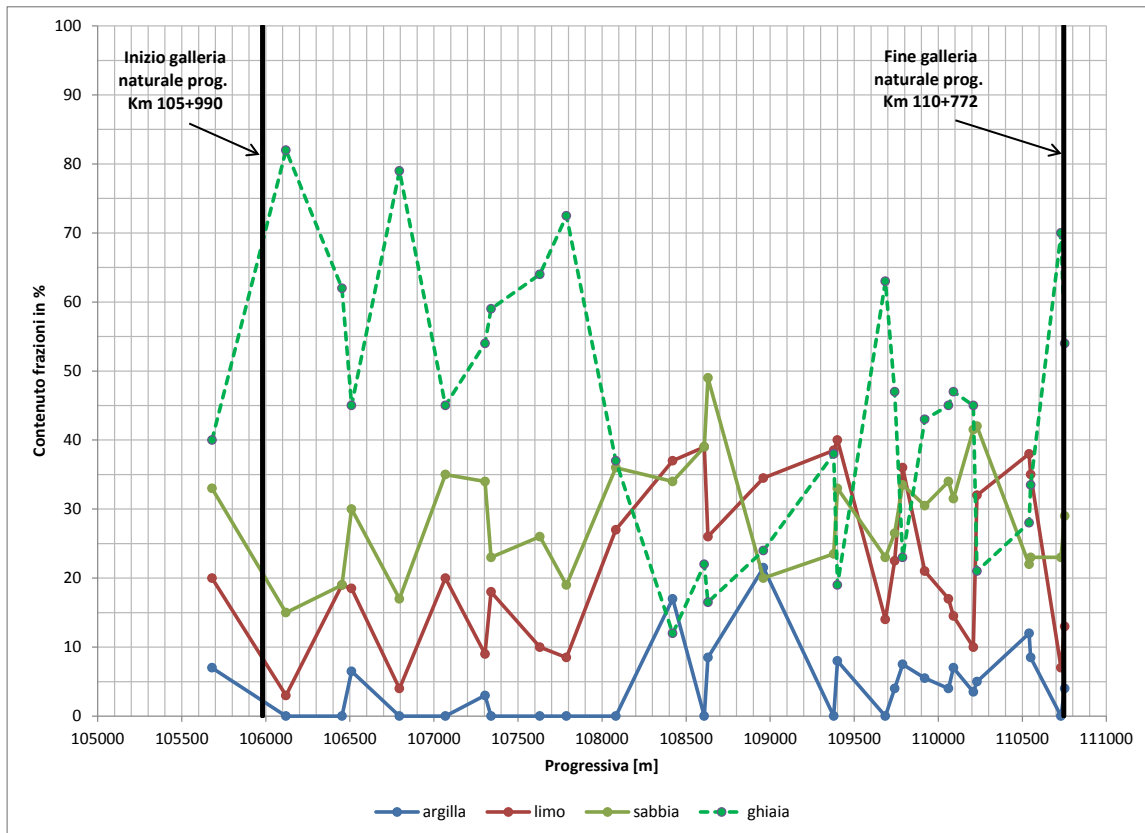
In tali grafici, di cui un esempio è riportato nella Figura 6.1, è stata anche riportata la posizione esatta della galleria.



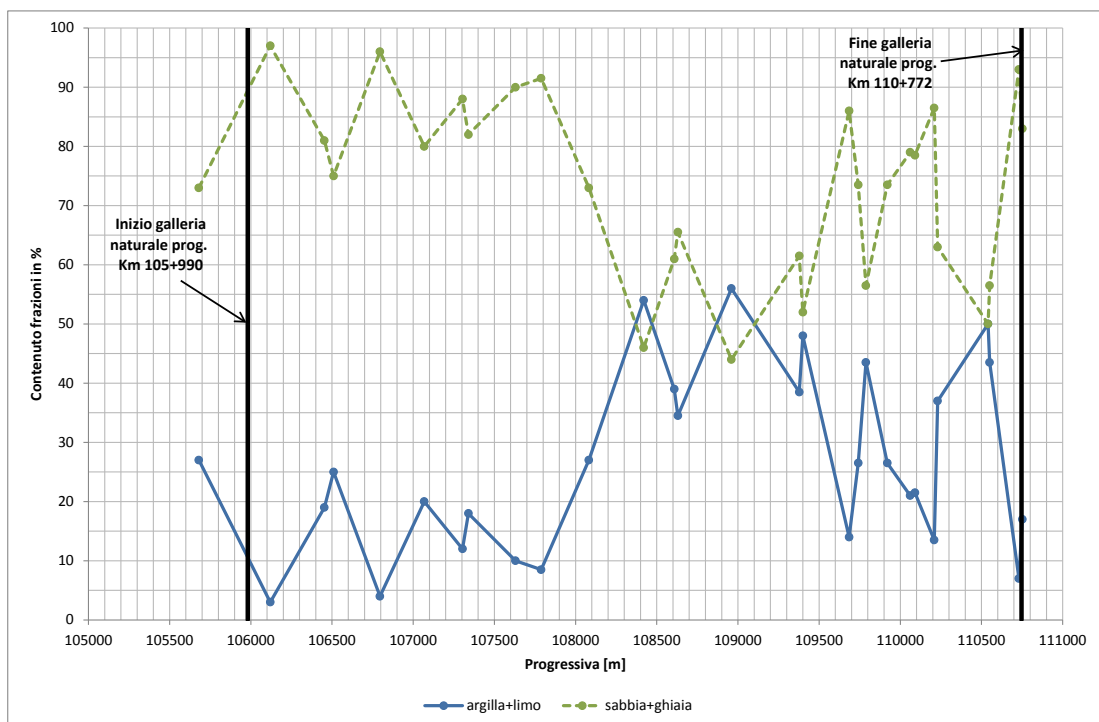
**Figura 6.1 – Interpretazione delle analisi granulometriche effettuate su campioni rimaneggiati prelevati nel sondaggio S2GL, in funzione delle diverse frazioni di terreno presenti.**

Nell'allegato A della presente nota sono riportati tutti i grafici interpretativi delle analisi granulometriche effettuate per ciascun sondaggio relativamente alle diverse frazioni di terreno.

Inoltre, considerando i risultati delle analisi granulometriche relative ai campioni prelevati in corrispondenza del fronte di scavo sono stati prodotti due grafici, mostrati nelle seguenti Figura 6.2 e Figura 6.3, che riportano in funzione della progressiva, rispettivamente, l'entità delle quattro frazioni granulometriche (ghiaia, sabbia, limo, argilla) e delle frazioni dei terreni a grana grossa (ghiaia e sabbia) e a grana fine (limo e argilla), in corrispondenza del fronte di scavo.



**Figura 6.2 – Risultati delle analisi granulometriche su campioni prelevati alla profondità corrispondente al fronte di scavo in funzione delle progressive della galleria, relativamente alle diverse frazioni di terreno (ghiaia, sabbia, limo, argilla).**

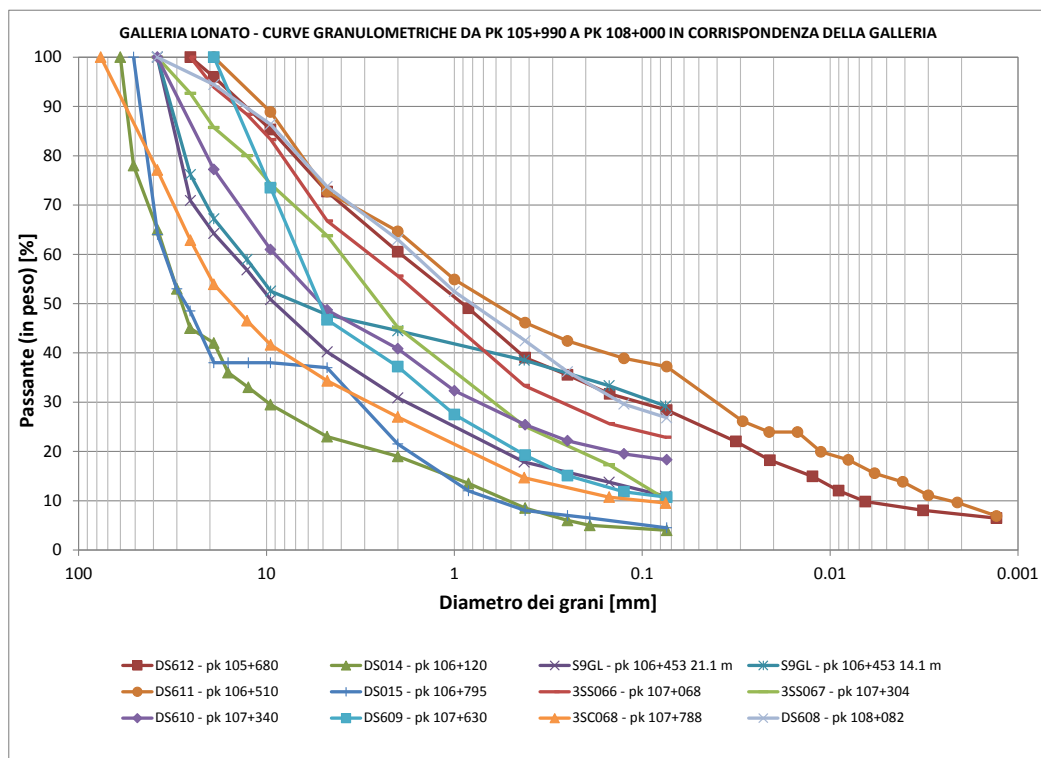


**Figura 6.3 – Risultati delle analisi granulometriche su campioni prelevati alla profondità corrispondente al fronte di scavo in funzione delle progressive della galleria relativamente alle frazioni di terreno a grana grossa (ghiaia, sabbia) e a grana fine (limo, argilla).**

Come si può notare dalle Figura 6.2 e Figura 6.3, lungo l'intero sviluppo della galleria si possono individuare le seguenti due condizioni geotecniche, relativamente alle curve granulometriche dei terreni:

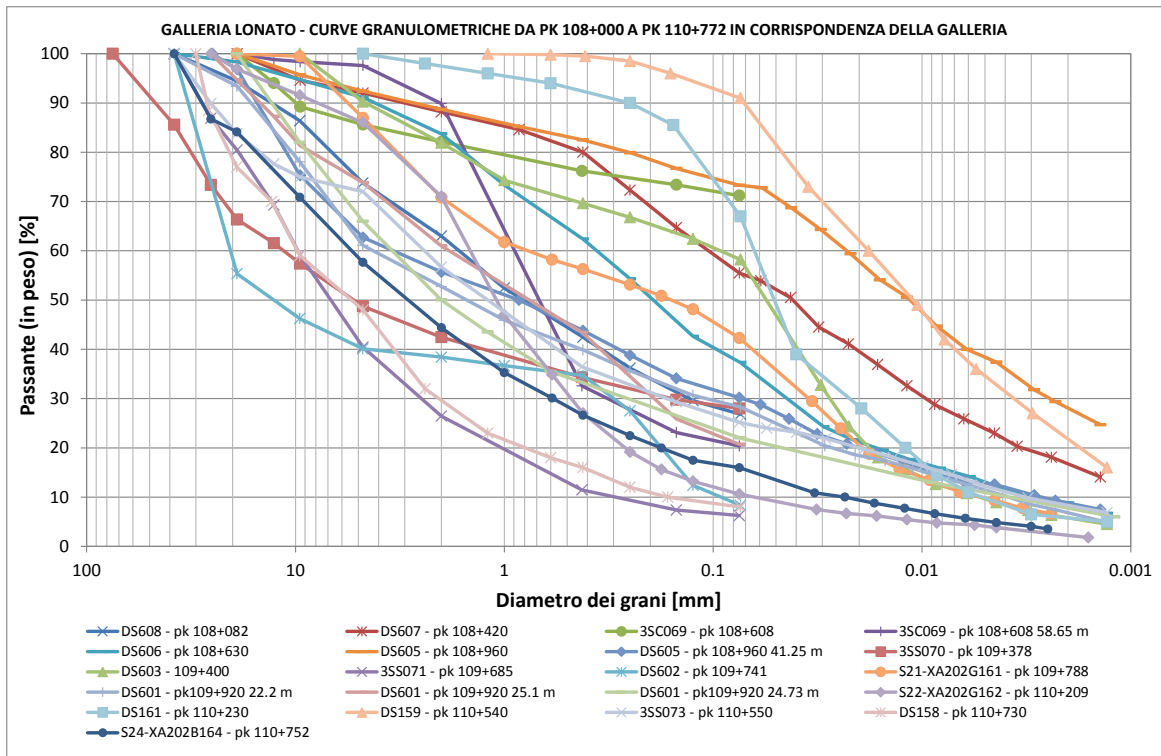
- La prima tratta, dalla progressiva km 105+990 di inizio della galleria naturale (imbocco lato Milano) alla progressiva km 108+000 circa, caratterizzata dalla presenza, adottando la convenzione suggerita dall'AGI, di ghiaie con sabbia debolmente limosa e ghiaie sabbiose debolmente limose; con riferimento alla Figura 6.3, in tale tratta la presenza di terreno a grana fine è mediamente intorno al 10% - 15%.
- La seconda tratta, dalla progressiva km 108+000 circa fino all'imbocco lato Verona (progressiva km 110+772), caratterizzata dalla presenza di ghiaie con sabbia limose debolmente argillose, limi sabbiosi con ghiaia debolmente argillose; con riferimento alla Figura 6.3 in tale tratta la presenza di terreni a grana fine risulta variabile e mediamente compresa fra il 30 ed il 40%, raggiungendo in alcuni casi percentuali superiori al 40% e, in alcune tratte valori intorno al 20%.

Sulla base delle Figura 6.2 e Figura 6.3, nelle seguenti Figura 6.4 e Figura 6.5, rispettivamente per le due tratte in oggetto, sono riportate le curve granulometriche più rappresentative alla quota della galleria (fronte di scavo).



**Figura 6.4 – Galleria Lonato, tratta dalla progressiva km 105+990 alla progressiva km 108+000, curve granulometriche alla quota della galleria (fronte di scavo).**

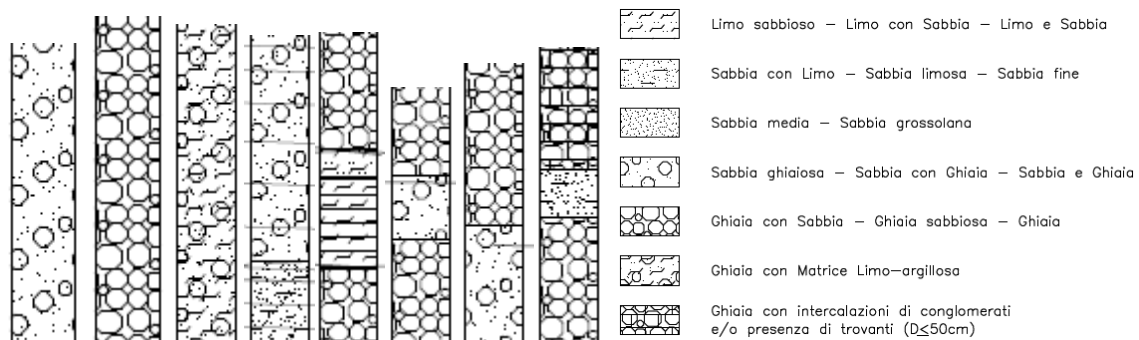




**Figura 6.5 – Galleria Lonato, tratta dalla progressiva km 108+000 alla progressiva km 110+772, curve granulometriche alla quota della galleria (fronte di scavo).**

## 7. CONDIZIONI TIPICHE DEL FRONTE DI SCAVO

Sulla base di quanto riportato nei precedenti capitoli, sul fronte di scavo della galleria si presenteranno prevalentemente delle situazioni geotecniche caratterizzate dalla presenza di terreni a grana grossa con una frazione di fine (limo e argilla) prevalentemente compresa, a seconda delle tratte, fra il 10 ed il 35%. Tenendo conto del diametro di scavo della galleria di circa 10 m, corrispondente ad una superficie di circa 79 m<sup>2</sup>, nella seguente Figura 7.1 sono schematizzate le tipiche situazioni geotecniche prevalenti al fronte, durante lo scavo della galleria. L'aspetto più critico per la progettazione della EPBM e per la conseguente corretta valutazione delle performance della macchina è tuttavia legato alla possibile intercettazione di trovanti nei cordoni morenici dell'Allogruppo di Lonato. Su tale problematica sono stati condotti numerosi studi, i cui risultati principali sono riportati nel presente capitolo.



**Figura 7.1 – Tipiche situazioni geotecniche al fronte di scavo della galleria Lonato.**

Per quanto concerne la valutazione della presenza di trovanti al fronte di scavo, sono stati compiuti due differenti studi da parte di Aquater e del geologo dott. Crestana, basati entrambi su accurati sopralluoghi finalizzati alla ricerca di massi erratici presenti lungo il tracciato della galleria Lonato. La ricerca ha interessato una fascia di territorio ampia 500 m posta a nord del tracciato ed una fascia altrettanto ampia ubicata a sud, corrispondente quindi a circa 5 km<sup>2</sup> complessivi. L'ubicazione di ogni masso individuato è stata riportata in una apposita carta (doc. rif. IN0500DE2G5GE00010011) adottando una apposita simbologia e ne sono state valutate, in via speditiva, natura petrografica e dimensioni.

Gli studi basati sul rilievo superficiale dei trovanti hanno permesso di valutarne le caratteristiche e confermare la rilevante frequenza degli stessi lungo il tracciato. Il ritrovamento di trovanti nelle perforazioni dei sondaggi hanno fornito invece dei dati che si prestano ad una valutazione statistica del fenomeno. Occorre tenere presente che numerosi trovanti non si trovano in posizione originaria ma sono stati spostati nel corso di lavori precedenti (ad esempio per la trincea autostradale e per la preparazione di zone coltivate).

I dati di superficie non rivelano nella zona prospiciente al tracciato trovanti di dimensioni superiori a 3-4 m<sup>3</sup> e gli elementi superiori ad un m<sup>3</sup> risultano poco frequenti.

Sulla citata carta si nota una concentrazione di massi di dimensioni superiori a 50 cm nella zona di Montelungo e S. Cipriano. Lo studio del Dott. Crestana individua come fascia a maggior concentrazione di trovanti di grosse dimensioni quella nella porzione sommitale dei cordoni morenici a poche decine di metri dal piano campagna o nei depositi fluvio-glaciali a contatto con le sottostanti morene. I risultati delle indagini condotte sia in superficie sia attraverso l'esecuzione dei sondaggi sono sintetizzati nella seguente Tabella 7.1 e nella Figura 7.2.

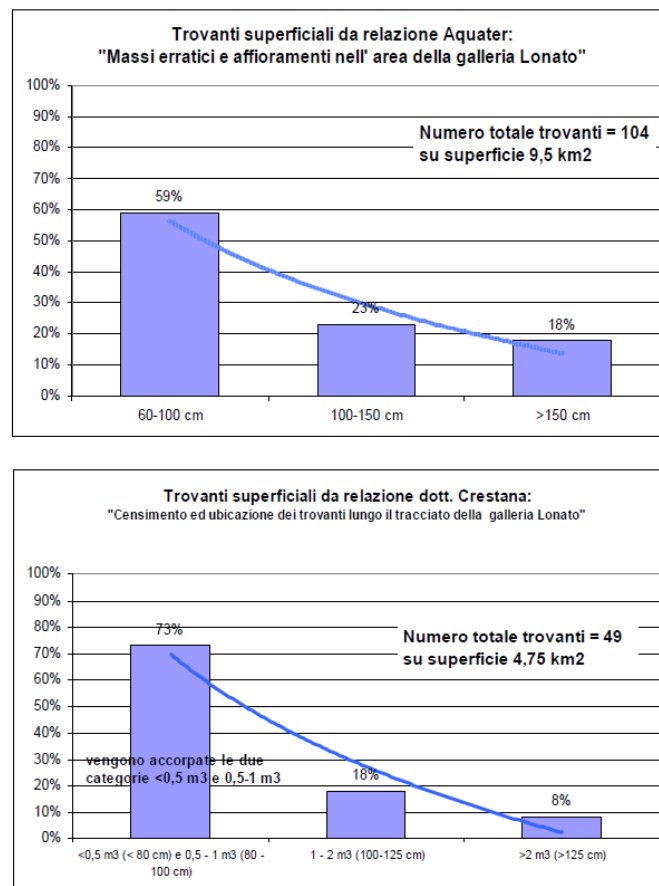
**Tabella 7.1 – Presenza dei trovanti lungo il tracciato della galleria Lonato, riepilogo dati.**

MASSI ERRATICI LUNGO TRACCIATO GALLERIA LONATO												
			Relazione Aquater			Relazione Crestana				Trovanti in sondaggi		
progr. Iniz.	progr. fine	lungh. (m)	60-100 cm	100-150 cm	>150 cm	< 0,5 m <sup>3</sup> < 80 cm	0,5-1 m <sup>3</sup> 80 - 100 cm	1 - 2 m <sup>3</sup> 100-125 cm	> 2 m <sup>3</sup> > 125 cm	15-50 cm	50-100 cm	>100 cm
105990	106740	750	3	1	0	0	0	0	0	3	0	0
106740	107250	510	0	0	0	1	0	0	0	7	0	1
107250	108910	1660	13	5	6	19	2	4	0	3	0	1
108910	109070	160	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
109070	109400	330	11	3	0	6	0	0	1	0	1	0
109400	110160	760	10	4	6	0	0	2	2	0	0	1
110160	110747	587	22	10	7	7	1	3	1	2	0	0
somma			61	24	19	33	3	9	4	15	1	3
area di indagine			9,51 km <sup>2</sup>			4,75 km <sup>2</sup>				2,145 km lineari sondaggio		
trovanti >50 cm per km <sup>2</sup>			6,41	2,52	2,00	6,95	0,63	1,89	0,84	7,01	0,47	1,40

Si può osservare che nella relazione Aquater si individuano complessivamente 104 trovanti. Dallo studio del Dott. Crestana condotto su di un'area più ristretta corrispondente con il tracciato definitivo per una larghezza di circa 500 metri a monte ed a valle del tracciato sono stati individuati 49 trovanti.

La Tabella 7.1 mostra le distribuzioni di trovanti rispetto alle loro dimensioni, molto simili tra i due citati studi condotti sul rilievo superficiale di massi erratici affioranti; in particolare per quanto concerne i trovanti con dimensioni tra 60 cm e 100 cm. Questi trovanti, di diametro compreso tra 60-100 cm, ovvero di volume fino a 0,5-1,0 m<sup>3</sup>, rappresentano la percentuale maggiore, 59% secondo la relazione Aquater e 73% secondo la relazione del Dott. Crestana. I trovanti di diametro superiore a 100-150 cm sono presenti in percentuali inferiori al 20%.

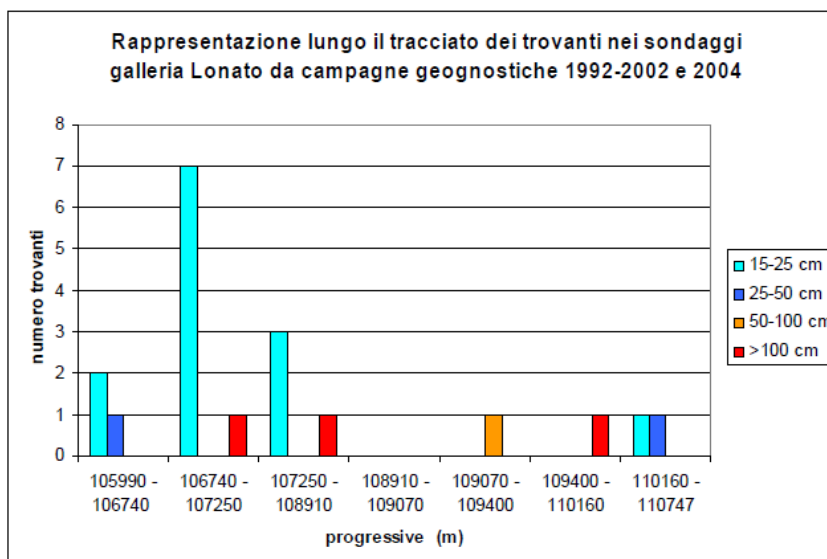
Si osserva peraltro che l'indagine di superficie tende a trascurare trovanti con diametri inferiori a 40-50 cm, così che la percentuale di tale classe dimensionale può risultare sottostimata.

**Figura 7.2 – Grafici della frequenza di trovanti in funzione delle loro dimensioni.**

Gli studi condotti indicano che i trovanti di più grosse dimensioni (superiori a 100 cm - 150 cm) risultano concentrati nei cordoni morenici mentre la presenza di trovanti decimetrici interessa la totalità del tracciato della galleria naturale Lonato pur con diversa frequenza. Esaminando infatti la distribuzione dei trovanti lungo il tracciato, e la conseguente correlazione con le unità geologiche-geotecniche, si è osservato che essi risultano particolarmente presenti in corrispondenza del primo cordone morenico a partire dall'imbocco lato Milano e nella zona fluvio-glaciale prossima allo svincolo di Desenzano della A4 tra le progressive chilometriche 109+250 e 110+230.

In percentuali inferiori, ma comunque significative, sono presenti anche lungo le restanti parti del tracciato così che non vi è alcuna tratta in cui non si manifesti la possibilità di incontrarli durante gli scavi.

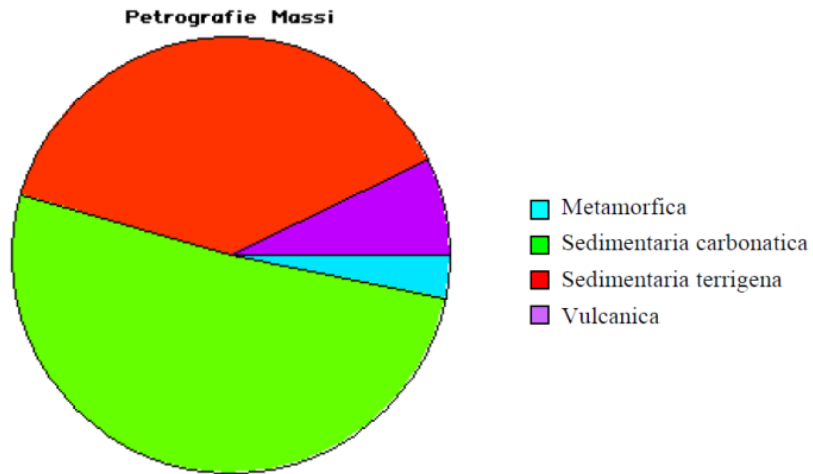
Sulla base dei blocchi rocciosi incontrati durante l'esecuzione dei sondaggi, nella Figura 7.3 è riportata, in funzione delle progressive, l'entità e dimensione dei trovanti.



**Figura 7.3 – Rappresentazione lungo il tracciato dei trovanti intercettati nei sondaggi condotti per le campagne geognostiche 1992 – 2002 e 2004.**

L'esame della distribuzione dei trovanti nei sondaggi evidenzia una distribuzione che può essere difficilmente correlata con le caratteristiche delle varie situazioni geologiche interessate; pertanto sembra ragionevole non individuare fasce con diverso numero di eventi, ma di ritenere che il rischio di intercettare trovanti possa essere assunto costante lungo il tracciato della galleria.

La composizione petrografica dei trovanti pur disponendo solo di stime limitate ricavate sia dai censimenti dei trovanti che dai sondaggi, risulta differente da quella riscontrata nelle ghiaie. Nelle ghiaie gli elementi calcarei o dolomitici sono pari all'85%, nei trovanti di dimensioni pluridecimetriche sembrano essere frequenti, oltre ai calcari sempre predominanti, anche elementi di porfido, granito, e del basamento metamorfico (Figura 7.4). La differenza di composizione indica che nel caso di scavo meccanizzato, l'abrasività dei depositi non deve essere valutata solo sulla frazione delle ghiaie ma deve considerare la presenza di blocchi di grosse dimensioni costituiti da rocce più abrasive.



**Figura 7.4 – Distribuzione delle litologie nei massi erratici in affioramento censiti.**



## 8. PROPRIETA' DEL TERRENO NELLA CAMERA DI SCAVO E CORRETTA SCELTA DEGLI AGENTI CONDIZIONANTI

Nel presente capitolo viene brevemente illustrata una problematica di fondamentale importanza, nella tecnologia degli scudi a contropressione di terra (EPBM), per il successo delle modalità di scavo e di avanzamento della TBM. Tale problematica, nel caso dei terreni interessati dallo scavo della galleria Lonato, assume una ulteriore importanza in quanto, trattandosi prevalentemente di terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) con percentuale di fine assai modesta, l'impiego di uno scudo a contropressione di terra (EPBM) esula dal tipico campo di applicazione di tali macchine (terreni a grana fine ovvero sabbie e limi).

Nei successivi paragrafi viene brevemente illustrato lo stato dell'arte e le relative problematiche di applicazione delle EPBM ai terreni a grana grossa. Sono inoltre esposti i criteri che saranno adottati, nell'ambito del Progetto Esecutivo della galleria Lonato, che si svilupperà nei prossimi mesi, per l'esecuzione delle necessarie prove sperimentali di laboratorio sugli agenti condizionanti da utilizzare durante lo scavo della galleria Lonato. Tali prove sono state condotte presso il Politecnico di Torino, allo scopo di definire in dettaglio gli agenti condizionanti e le loro necessarie proprietà, per lo scavo del terreno mediante una EPBM, sulla base anche delle esperienze più recenti e di diverse "case histories" relative all'impiego di tale tecnologia nei terreni a grana grossa.

### 8.1. Principi di funzionamento delle EPBM e necessarie caratteristiche del terreno nella camera di scavo

Il principio di funzionamento delle EPBM è basato sulla presenza di una testa fresante che opera davanti a una camera riempita con lo stesso materiale scavato. Tale materiale è estratto dalla camera di scavo in modo controllato mediante una coclea, che consente di gestire la quantità di terreno scavato in camera e quindi la pressione di terra applicata al fronte. Il controllo di tale pressione e, più in generale, dello scavo è quindi ottenuto bilanciando adeguatamente la velocità d'avanzamento dello scudo e la portata di estrazione del materiale attraverso la coclea. La condizione di equilibrio si realizza quando il terreno additivato nella camera di lavoro raggiunge la massima densità per la pressione applicata e la massa del volume del materiale estratto con la coclea è uguale a quella teorica del volume scavato dalla testa fresante.

A questo riguardo, uno degli aspetti chiave nell'impiego di una EPBM è relativo alle proprietà del materiale presente nella camera di scavo, ottenuto dallo scavo del terreno naturale, che deve essere opportunamente trasformato in una pasta (muck) caratterizzata da una bassa resistenza al taglio (tipicamente nell'ordine del 20 – 30 kPa), in grado di trasferire la necessaria pressione di sostegno al fronte di scavo in modo continuo ed omogeneo, senza un elevato consumo di energia.

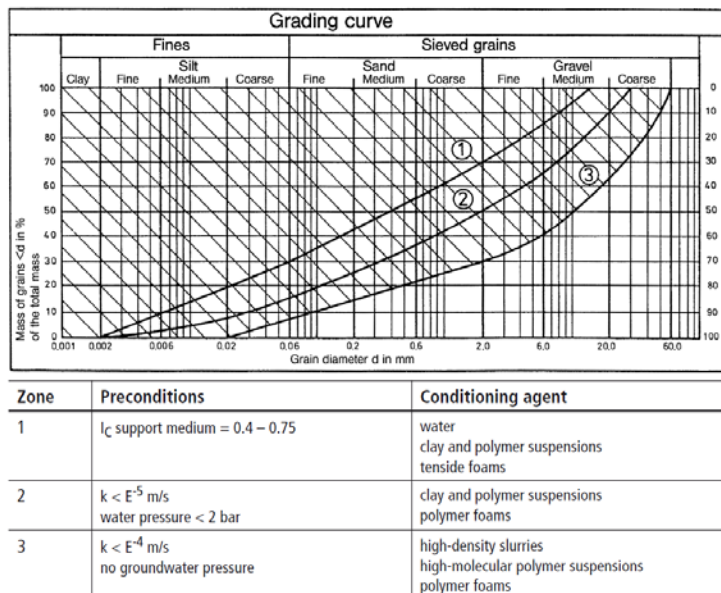
Il controllo del flusso del terreno estratto attraverso la coclea è necessario per controllare sia il volume dello smarino estratto dalla camera di scavo sia la dissipazione della pressione tra la camera di scavo (nella quale è elevata) e il nastro trasportatore (nel quale la pressione è pari a quella atmosferica).

Se il terreno è troppo "fluidico", il controllo della portata dello smarino e del gradiente di pressione può risultare problematico, in quanto l'appropriato controllo del fronte di scavo richiede che la camera di scavo sia sempre riempita con il terreno di scavo mentre, se il terreno è troppo rigido, il sistema di evacuazione dello smarino (coclea e nastro trasportatore) può richiedere una eccessiva potenza per operare o arrivare ad inceppare lo stesso sistema di estrazione.

I terreni naturali in genere non hanno proprietà ideali quando vengono scavati e, conseguentemente, occorre utilizzare opportuni agenti condizionanti per modificarne le proprietà al fine di metterlo in pressione nella camera di scavo, per la corretta gestione dello scavo mediante l'estrazione con coclea.

Le principali finalità degli agenti condizionanti sono quelle di garantire il controllo della pressione di sostegno del fronte di scavo, di facilitare la formazione di un vero e proprio tappo (plug) all'interno della coclea, e di minimizzare sia il valore del momento torcente necessario per la rotazione della testa fresante sia l'usura e il conseguente consumo degli utensili di scavo.

La Figura 8.1 mostra le aree di applicazione delle macchine EPBM (Maidl et al., 2012) in funzione delle curve granulometriche del terreno, dei diversi agenti condizionanti e della pressione dell'acqua interstiziale presente, ricavate sulla base di prove di laboratorio e di esperienze di scavo acquisite dagli Autori.



**Figura 8.1 – Aree di applicazione delle EPBM in funzione delle distribuzioni granulometriche dei terreni (fonte: Maidl, B., Herrenknecht, M., Maidl, U., Wehrmeyer, G., “Mechanised Shield Tunneling. 2<sup>nd</sup> edition”, Berlin: Ernst & Sohn, 2012).**

In accordo a Maidl et al.(2012), la classica area di applicazione delle EPBM è relativa ai terreni con una quantità di fine ( $d \leq 0.063$  mm) di almeno il 30% in peso. In questo caso può essere sufficiente la sola aggiunta di acqua e di un additivo per evitare che il terreno coesivo aderisca agli utensili di scavo e agli elementi della macchina di scavo (problematica indicata in inglese con il termine clogging). Con riferimento alla figura 8.1, la linea 1 mostra la separazione fra la classica area di applicazione delle EPBM (terreni prevalentemente a grana fine) e i terreni con maggiore presenza di sabbia e ghiaia. Al di là della linea 1 si ha una area nella quale si può estendere l'applicazione delle EPBM. Infatti, con l'impiego di schiume, polimeri e sospensioni di materiali fini, le macchine EPB possono essere impiegate anche in terreni più permeabili.

Budach e Theves (2013) hanno investigato, con numerose prove di laboratorio, la possibile estensione dell'area di applicazione delle EPBM e, sulla base dei risultati ottenuti in laboratorio, hanno modificato le aree di applicazione riportate nella precedente Figura 8.1.

La Figura 8.2 mostra l'area di applicazione per le EPBM nei terreni a grana grossa alla quale gli Autori sono pervenuti, tenendo conto del possibile impiego di tutti gli agenti condizionanti disponibili (schiume, polimeri, sospensioni di materiali fini).

Sulla base del diagramma riportato nella Figura 8.2, è chiaro che le macchine EPB possono essere impiegate anche in sabbie ghiaiose fini, ma solamente con l'impiego di schiume come agenti condizionanti, se il terreno ha un contenuto di fine di circa il 5% in peso e se la pressione dell'acqua non supera i 3 bar. Se la frazione di terreno fine è inferiore a tale valore del 5%, occorre provvedere all'aggiunta di ulteriori additivi.

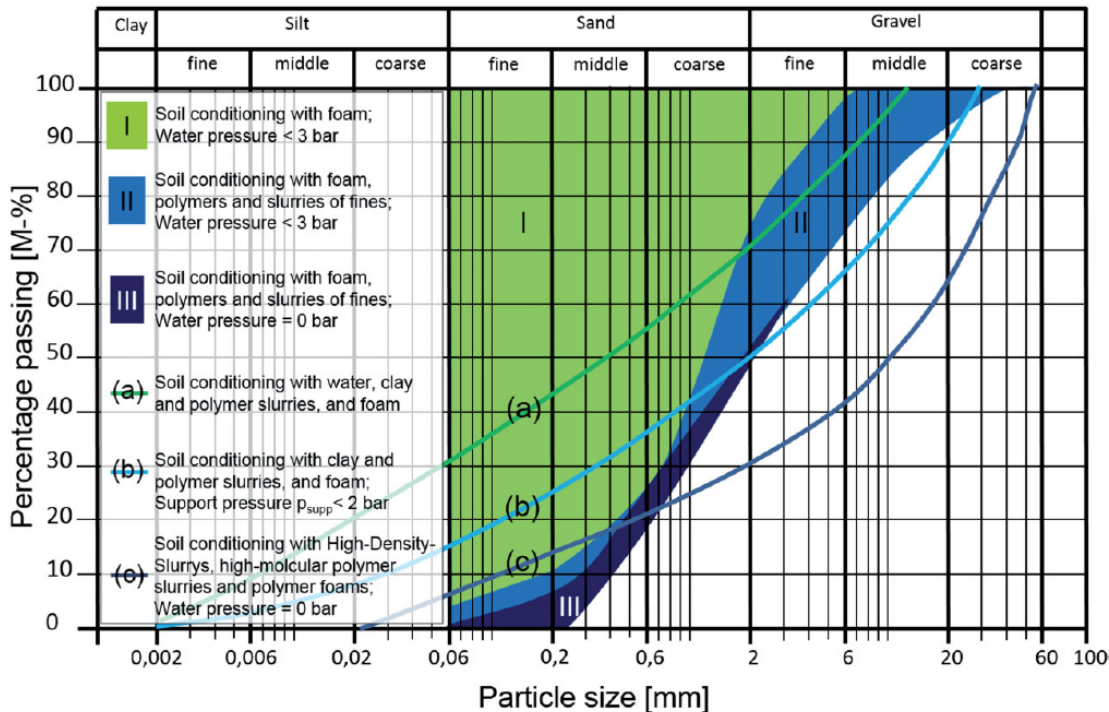


Figura 8.2 – Campi di applicazione per le EPBM in terreni a grana grossa in funzione degli agenti condizionanti (Budach e Theves, 2013).

Come agenti condizionanti nel caso di terreni a grana grossa sono principalmente utilizzate le schiume.

I principali fattori che caratterizzano il controllo e la stabilità di una schiuma sono i seguenti:

- Il fattore di concentrazione (CF = Concentration Factor) che è tipicamente compreso fra lo 0.5 e il 5% ma che dovrebbe essere definito in funzione delle raccomandazioni del costruttore della macchina. Questa concentrazione dipende fortemente dall'ammontare di acqua che è iniettata durante lo scavo o che è già presente nel terreno ed influenza l'attività e la stabilità della schiuma utilizzata. Si ha più precisamente:

- CF = concentrazione dell'agente surfactante in acqua
- $CF = 100 \cdot m_s / m_F$
- $m_s$  = massa del surfactante nella soluzione schiumogena
- $m_F$  = massa della soluzione schiumogena

- Il tasso di espansione FER (Foam Expansion Ratio) definito come rapporto percentuale fra il volume di schiuma generale ed il volume di liquido generatore: acqua + agente schiumogeno. Più umido è il terreno e più asciutta dovrebbe essere la schiuma. Si ha quindi:

$$FER = \frac{V_f}{V_{fl}} \cdot 100$$

- dove:

- $V_f$  = volume di schiuma
- $V_{fl}$  = volume di liquido generatore costituito dall'acqua più l'agente schiumogeno.

- Le proprietà della schiuma dipendono in maniera fondamentale dalla proporzione di aria e della soluzione schiumogena. Tipicamente i valori di FER sono compresi fra 5 e 30. Tale tasso di espansione, FER, viene definito in base alla regolazione delle portate dei due fluidi: l'aria e il liquido generatore (acqua + additivo).

In funzione del valore di CF e del parametro FER, possono essere prodotte delle schiume caratterizzate da diversa stabilità e grado di secchezza.

L'introduzione di schiume nel terreno, durante il processo di scavo, può produrre una migliore compressibilità del materiale e un effetto di contrasto, al fronte di scavo, nei confronti delle possibili infiltrazioni d'acqua, qualora lo scavo avvenga sotto falda, come previsto in alcune tratte della galleria Lonato. Il terreno con l'opportuna aggiunta di schiuma è in grado di fluire attraverso la coclea e se il dosaggio è corretto mostra un comportamento plastico, tipico di un terreno coesivo (normalmente condizionato con la semplice aggiunta di acqua).

Allo scopo di garantire una sufficiente stabilità del terreno con l'aggiunta delle schiume, sono vantaggiosi dei tempi di drenaggio lunghi, con la finalità che il processo di decomposizione della schiuma, presente nel materiale di sostegno del fronte di scavo, proceda il più lentamente possibile. La formazione di bolle d'aria nella parte alta (chiave) della camera di scavo può, infatti, causare il trasferimento irregolare e forse anche insufficiente della pressione di sostegno del fronte di scavo.

Il volume di schiuma aggiunto al terreno può essere controllato dal parametro FIR.

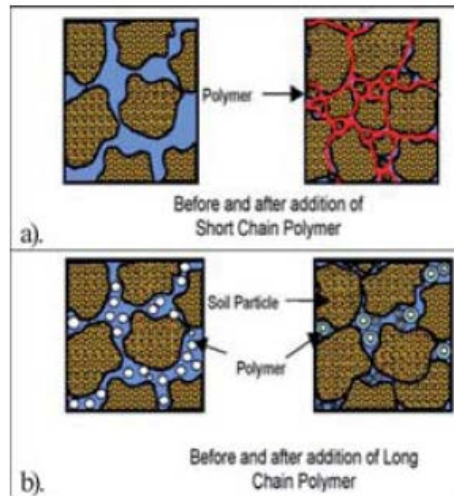
- Il tasso di iniezione della schiuma FIR (Foam Injection Ratio) è definito come rapporto percentuale fra il volume di schiuma iniettata e il volume di terreno trattato. Si ha pertanto:

$$\bullet \quad \text{FIR} = \frac{V_f}{V_s} \cdot 100$$

- dove:
- $V_f$  = volume di schiuma alla pressione atmosferica
- $V_s$  = volume del terreno

Nel caso non fosse possibile produrre con le sole schiume le necessarie proprietà al materiale presente nella camera di scavo (sufficiente capacità di rifluire, permeabilità sufficientemente bassa, adeguata compressibilità e stabilità) possono essere aggiunti dei polimeri e/o delle sospensioni di fini.

Per quanto riguarda i polimeri, essi sono adatti come agenti di condizionamento dei terreni in combinazione con le schiume. In funzione della loro concentrazione, i polimeri lavorano come agenti con la finalità di modificare la viscosità del terreno nella camera di scavo. Altri vantaggi dei polimeri includono una riduzione della viscosità e rigidità di un terreno coesivo e un incremento nella stabilità della schiuma. Quando utilizzato in un campo di concentrazione compreso fra l'1 e il 3%, il polimero tende a bordare delle particelle di dimensioni maggiori formando dei grani di maggiori dimensioni che possono essere maggiormente maneggiabili (Figura 8.3). Un polimero è una macromolecola, ovvero una molecola dall'elevato peso molecolare, costituita da un gran numero di gruppi molecolari (detti monomeri). I polimeri sono in grado di assorbire dell'acqua e possono essere aggiunti al materiale scavato quando è necessario asciugarlo, per essere in grado di trasportarlo correttamente durante la fase del trasporto. Il medesimo risultato può essere ottenuto più economicamente con calce o cemento quando le condizioni di messa a dimora lo consentono.



**Figura 8.3 – Principio di funzionamento dei polimeri: a) polimeri a catena corta (solubili in acqua), b) polimeri a catena lunga (composti poco solubili o insolubili).**

Con riferimento ai polimeri si può definire il tasso di iniezione del polimero PIR (Polymer Injection Ratio) nella seguente maniera:

$$PIR = \frac{V_p}{V_s} \cdot 100$$

dove:

$V_p$  = volume della soluzione di polimeri

$V_s$  = volume del terreno

Infine, può essere definito il tasso di iniezione del liquido totale LIR (Liquid Injection Ratio) per l'iniezione di un condizionante costituito da una schiuma e/o polimero nella seguente maniera:

$$LIR = \frac{V_{fl} + V_p}{V_s} = \frac{FIR}{FER} + PIR$$

In aggiunta, la concentrazione del surfactante e del polimero ( $c_s$  e  $c_p$  rispettivamente) utilizzati nelle preparazione della soluzione di schiuma e di polimero sono definite nella seguente maniera:

$$c_s = \frac{V_{surf}}{V_{fl}} \cdot 100$$

$$c_p = \frac{V_{pol}}{V_p} \cdot 100$$

dove:

$V_{surf}$  = volume del surfactante

$V_{fl}$  = volume di liquido generatore costituito dall'acqua più l'agente schiumogeno

$V_{pol}$  = volume del polimero

$V_p$  = volume della soluzione di polimeri



I valori di  $c_s$  e  $c_p$  influenzano le proprietà della schiuma e della soluzione di polimero e quindi le proprietà del terreno condizionato.

La seguente Tabella 8.1, fornita da EFNARC, riepiloga i differenti prodotti utilizzabili per il condizionamento dei terreni per lo scavo con EPBM, in funzione dei differenti tipi di terreno.

**Tabella 8.1 – Indicazioni fornite dalle linee guida di EFNARC per i possibili diversi prodotti utilizzabili per il condizionamento dei terreni per lo scavo con EPBM in funzione dei differenti tipi di terreno.**

Terreno	Tipo di schiuma			FIR	Polimeri
	A	B	C		
Argilla	X			30 – 80	Polimero anti intasamento
Argilla sabbiosa - limo	X	X		40 – 60	Polimero anti intasamento
Sabbia – limo argilloso		X		20 – 40	Polimero per il controllo della consistenza
Sabbia		X	X	30 – 40	Polimero per terreni granulari e per il controllo della consistenza
Ghiaie argillose			X	25 – 50	Polimero per terreni granulari e per il controllo della consistenza
Ghiaie sabbiose			X	30 - 60	Polimero per terreni granulari e per il controllo della consistenza

Con riferimento a tale tabella proposta da EFNARC, vengono distinti tre tipi di schiume, che possono essere utilizzate in base al tipo di terreno e alla finalità da perseguire:

- Schiuma di tipo A: caratterizzata da una capacità altamente dispersiva ovverosia in grado di rompere i legami fra le particelle argillose e/o con una buona capacità di amalgama (riducendo possibili effetti di rigonfiamento).
- Schiuma di tipo B: usata generalmente nei terreni sabbiosi e più generale nei terreni a grana grossa.
- Schiuma di tipo C: che garantisce un elevato grado di stabilità con proprietà di anti segregazione mantenendo il terreno coesivo ed impermeabile.

## 8.2. Prove di laboratorio per la definizione degli agenti condizionanti

La scelta del prodotto specifico o della combinazione di prodotti, l'individuazione dei vari parametri di applicazione in relazione al prodotto (concentrazione dell'additivo nella soluzione acquosa, tasso d'espansione della schiuma, tasso d'iniezione nel suolo, etc.) ed il metodo di avanzamento da seguire dipendono, come sopra illustrato, dalle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati durante lo scavo. A questo riguardo si riportano alcuni esempi caratteristici.

Nel caso, ad esempio, in cui si abbia un fronte sabbioso, con buona presenza di fini nell'aggregato minerale, il fronte di scavo e lo smarino all'interno della camera di accumulo vengono resi coesivi dall'azione dei prodotti chimici precedentemente descritti. Nel caso in cui lo scavo avvenga sotto falda e quindi i pori ed i vuoti dell'aggregato minerale siano intrisi d'acqua, si rende necessario l'utilizzo di particolari additivi, ossia di polimeri ritenitori d'acqua da utilizzarsi anche in combinazione alle schiume.

In generale l'azione dei prodotti chimici in questione si rende necessaria non solo per agevolare scavo e smarino, ma anche, come già accennato, per il contenimento del fronte stesso nelle fasi di riempimento della camera di scavo. Infatti, quando si opera in EPB, la pressione della sola aria non è in grado di contenere il fronte poiché essa penetra

entro i pori del terreno, oppure, nel caso di sottofalda, non è in grado di contenere l'acqua di percolazione al fronte. Nella seguente Figura 8.4, sono riportati degli esempi di gallerie realizzate con EPBM in terreni a grana grossa.

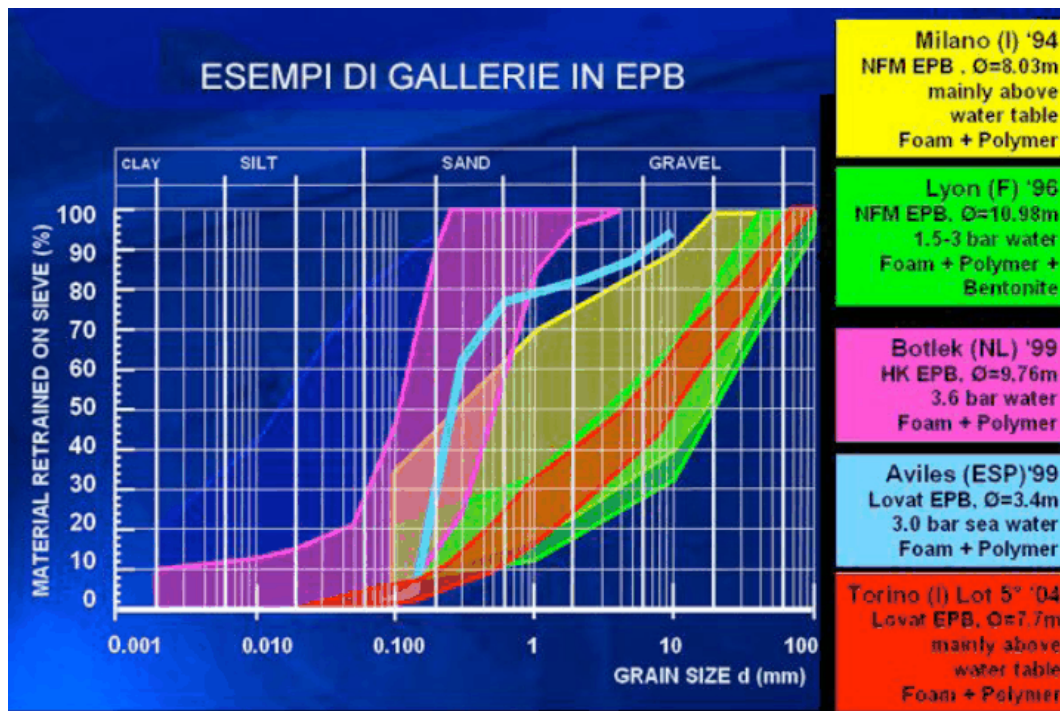


Figura 8.4 – Esempi di gallerie realizzate con EPBM in terreni a grana grossa con indicazione degli agenti condizionanti adottati.

Con riferimento al manuale pubblicato da B. Maidl, M. Herrenknecht, U. Maidl e G. Wehrmeyer (Mechanised Shield Tunnelling, 2nd edition, 2012), la quantità di schiuma,  $Q$ , che occorre aggiungere al terreno naturale può essere calcolata mediante la seguente formula, data dalla compagnia giapponese Obayashi:

$$Q(\%) = \frac{\alpha}{2} \cdot [(60 - 4 \cdot X^{0.8}) + (80 - 3.3 \cdot Y^{0.8}) + (90 - 2.7 \cdot Z^{0.8})]$$

dove:

$X$  = passante al vaglio 0.075 mm (frazione di terreno < sabbia fine)

$Y$  = passante al vaglio 0.420 mm (frazione di terreno < sabbia grossolana)

$Z$  = passante al vaglio 2.0 mm (frazione di terreno < ghiaia fine)

$\alpha$  = fattore di correzione

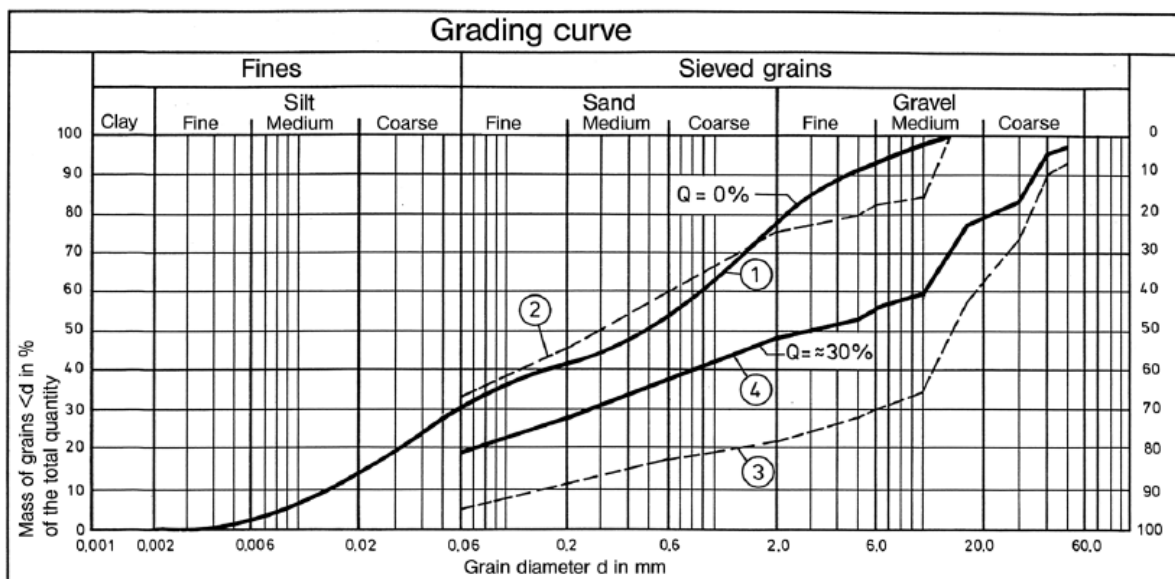
Il fattore di correzione,  $\alpha$ , tiene conto della curva granulometrica del terreno e deve essere assunto in funzione del grado di uniformità  $U = d_{60} / d_{10}$  come segue:

$$U < 4 \quad \alpha = 1.6$$

$$4 \leq U \leq 15 \quad \alpha = 1.2$$

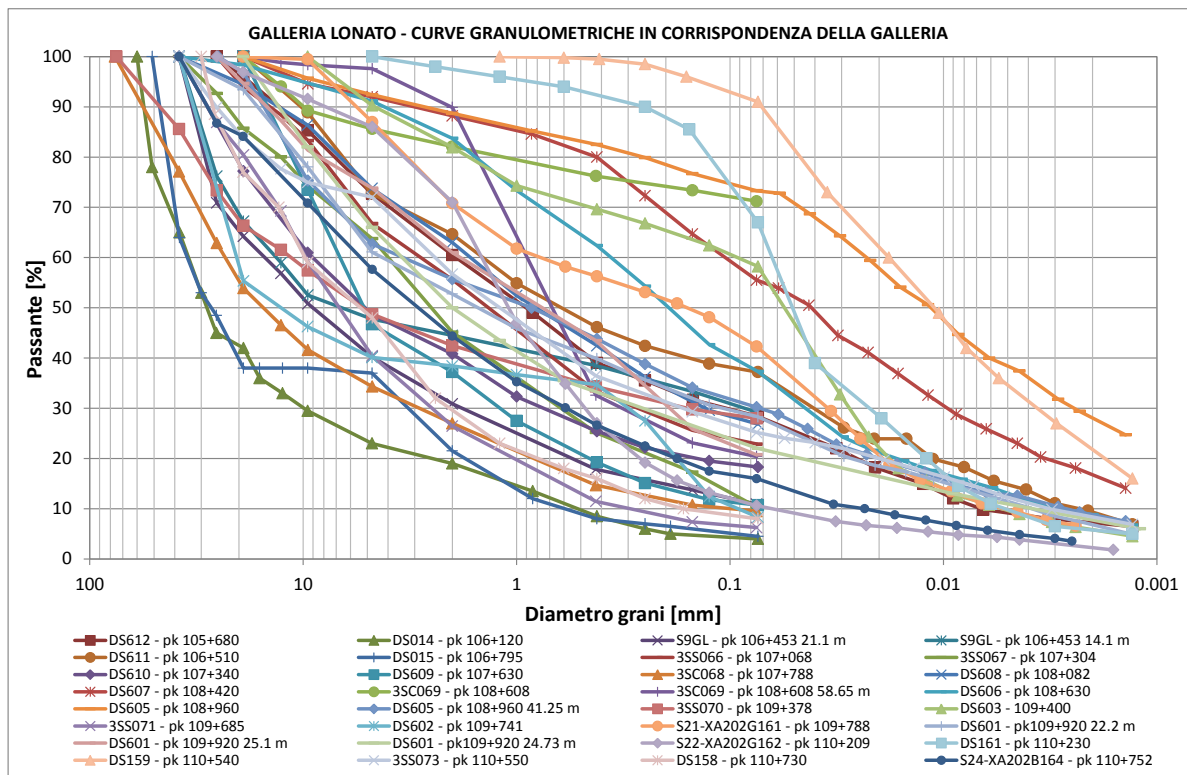
$$U > 15 \quad \alpha = 1.0$$

Questa formula non tiene conto dei parametri relativi all'indice dei vuoti, al contenuto naturale d'acqua, alla permeabilità, consistenza o alla necessaria pressione di sostegno del fronte di scavo nella camera di scavo. Sulla base di tale formula, nella Figura 8.5, per la curva granulometrica (1) non è necessaria l'aggiunta di schiuma ( $Q=0$ ). Nella medesima figura sono inoltre riportate delle curve granulometriche relative alle ghiaie e sabbie del progetto del Passante Ferroviario, realizzato a Milano, per il quale come agenti condizionanti sono state utilizzate delle schiume (area tra le curve granulometriche 2 e 3). La quantità di schiuma richiesta, sulla base della formula sopra riportata, per la curva granulometrica intermedia 4 è pari al 30% circa. La galleria venne realizzata utilizzando un scudo EPB del diametro esterno di 8.03 m con la linea piezometrica interamente situata al di sotto della galleria.



**Figura 8.5 – Passante Ferroviario di Milano, determinazione della necessaria quantità di schiuma (Q).**

La medesima formula è stata applicata ai terreni interessati dallo scavo della galleria Lonato, le cui curve granulometriche, relative ai campioni prelevati alla quota del fronte di scavo della galleria, sono riportate nella Figura 8.6. Più precisamente la formula è stata adottata considerando le seguenti tre curve granulometriche: (1) curva granulometrica relativa al campione di terreno più grossolano; (2) curva granulometrica relativa al campione di terreno più fine; (3) curva granulometrica media, con riferimento all'intero fuso granulometrico; nella seguente Tabella 8.2 sono riportati i valori di schiuma ottenuti con la sopra riportata formula.



**Figura 8.6 – Curve granulometriche dei terreni presenti al fronte di scavo della galleria Lonato.**

**Tabella 8.2 – Valutazione della percentuale di schiuma necessaria per la curva granulometrica più grossolana, più fine e media dei terreni presenti al fronte di scavo della galleria Lonato.**

	Curva più grossolana	Curva più fine	Curva media
Fattore correttivo $\alpha =$	1	1	1
X (percentuale di passante allo 0.074 mm) =	10	90	37
Y (percentuale di passante allo 0.25 mm) =	16	99	46
Z (percentuale di passante al 2 mm) =	26	100	63
Q (quantità di schiuma) in percentuale =	68.9	-77.1	6.6

Come si può notare dalla Tabella 8.2, nel caso della curva granulometrica relativa al terreno più fine si ottiene un valore negativo ovverosia non è necessario l'impiego di agenti condizionanti.

In conclusione, le prove di laboratorio che sono state condotte presso il Politecnico di Torino, nei primi mesi del 2018, hanno avuto le seguenti finalità: (1) valutazione della qualità degli agenti condizionanti, con particolare riferimento al comportamento delle schiume, del loro drenaggio, compressibilità e dimensione delle bolle d'aria (Figura 8.7); (2) comportamento del terreno condizionato per quanto concerne la lavorabilità, compressibilità, permeabilità, resistenza al taglio e densità (Figura 8.8); (3) simulazione dell'estrazione del materiale con coclea tenendo sotto controllo i parametri fondamentali per valutare l'efficienza del condizionamento nella trasmissione della pressione e dell'effettiva estraibilità del materiale condizionato (Figura 8.9).





Figura 8.7 – Prove di laboratorio per la valutazione della qualità degli agenti condizionanti, con particolare riferimento al comportamento delle schiume, del loro drenaggio, compressibilità e dimensione delle bolle d'aria.

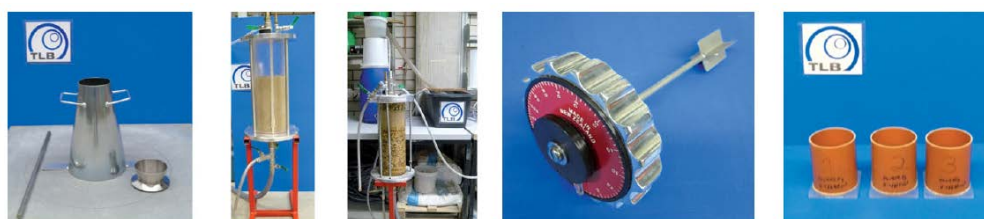


Figura 8.8 – Prove di laboratorio per la valutazione della lavorabilità, compressibilità, permeabilità, resistenza al taglio e densità.

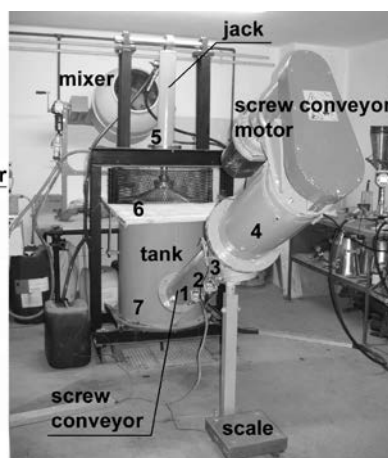
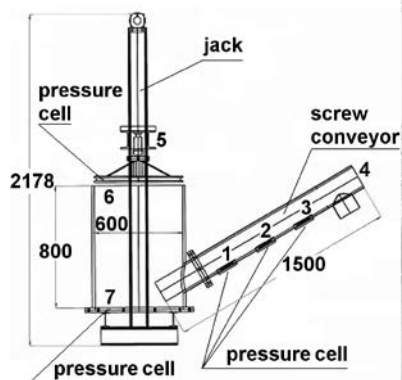


Figura 8.9 – Attrezzatura sperimentale per la realizzazione di prove di estrazione controllata da camera in pressione con coclea nel laboratorio “Gallerie e Spazi Sotterranei” del Politecnico di Torino (Peila et al., 2007).



## 9. VALUTAZIONE DELLA PRESSIONE MASSIMA NELLA CAMERA DI SCAVO

Allo scopo di definire la pressione massima nella camera di scavo della EPBM sono state analizzate le condizioni di stabilità del fronte di scavo lungo l'intero sviluppo longitudinale della galleria.

A questo riguardo è stato adottato il metodo di Anagnostou e Kovàri (1996) che è ritenuto in letteratura uno dei metodi più appropriati per valutare la stabilità del fronte in terreni anche sotto elevati battenti idrostatici.

Il metodo analizza il potenziale fenomeno di collasso del fronte in condizioni drenate ovvero sia in termini di tensioni efficaci. Conseguentemente, viene effettuata una distinzione fra la pressione dell'acqua e la pressione efficace nella camera di lavoro. La stabilità del fronte di scavo è controllata attraverso gli effetti combinati di queste due entità. La pressione efficace può essere visualizzata come una pressione di contatto fra grano e grano tra il terreno e i detriti di scavo in corrispondenza del fronte di scavo. La pressione dell'acqua nella camera di lavoro riduce il gradiente idraulico nel terreno e, conseguentemente, le forze di filtrazione che agiscono in corrispondenza del fronte di scavo.

Il fronte è pertanto stabilizzato sia dal sostegno diretto del terreno scavato, in pressione all'interno della camera di lavoro, sia dalla riduzione delle forze di filtrazione nel terreno. Maggiore è la differenza del carico idrostatico fra il terreno e la camera di lavoro e maggiore sarà l'entità della pressione efficace di sostegno del fronte per garantirne la stabilità.

Sulla base degli studi di Anagnostou e Kovàri, all'equilibrio limite, la pressione efficace di sostegno del fronte  $s'$  dipende dal diametro della galleria  $D$ , dalla copertura  $H$ , dal carico piezometrico nella camera di lavoro  $h_F$ , dalla quota della falda  $h_0$ , dai parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci  $c$  e  $\phi$ , dal peso dell'unità di volume del terreno alleggerito  $\gamma'$  (per terreni al di sotto della falda) e dal peso dell'unità di volume del terreno secco (per terreni al di sopra della falda), come mostrato nella seguente Figura 9.1.

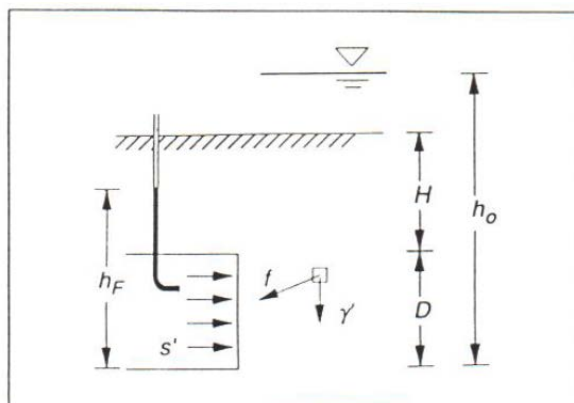


Figura 9.1 – Forza di filtrazione,  $f$ , e pressione efficace di sostegno del fronte  $s'$ .

In accordo alle equazioni di equilibrio, la pressione efficace di sostegno dipende linearmente dalle dimensioni delle forze agenti sul cuneo di potenziale rottura al fronte di scavo. In accordo al criterio di rottura di Mohr – Coulomb, le forze di taglio dipendono linearmente dalla coesione. Inoltre, le forze di filtrazione sono proporzionali ai gradienti piezometrici e, a causa della linearità della legge di Darcy, alla differenza di carico piezometrico ( $h_0 - h_F$ ).

Per questa ragione, si ha una relazione lineare fra la pressione efficace di sostegno del fronte  $s'$ , la coesione  $c$  e la differenza di carico piezometrico  $\Delta h = h_0 - h_F$ .

Gli autori mediante una analisi dimensionale hanno ottenuto la seguente relazione generale in condizioni di equilibrio limite per il valore di  $s'$ :

$$s' = F_0 \gamma' D - F_1 c + F_2 \gamma' \Delta h - F_3 c \frac{\Delta h}{D} \quad (9.1)$$

dove i coefficienti adimensionali da  $F_0$  a  $F_3$  dipendono dall'angolo di resistenza al taglio  $\phi$ , dai parametri geometrici  $H/D$  e  $(h_0 - D)/D$  e dal rapporto fra il pesi dell'unità di volume del terreno secco ed alleggerito  $\gamma_d / \gamma'$ , come mostrato nei nomogrammi della Figura 9.2.

Nel caso il fronte della galleria sia situato al di sopra della falda avendo, conseguentemente, il peso dell'unità di volume del terreno secco, il valore della pressione di sostegno è data dalla seguente espressione:

$$s = F_0 \gamma_d D - F_1 c \quad (9.2)$$

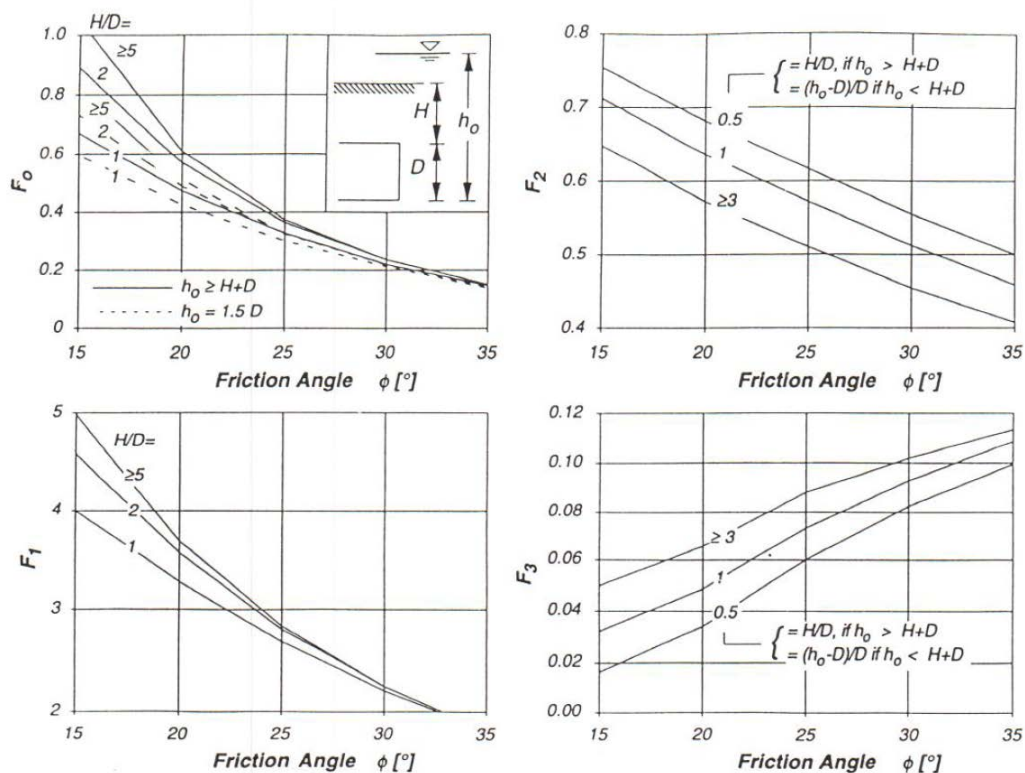
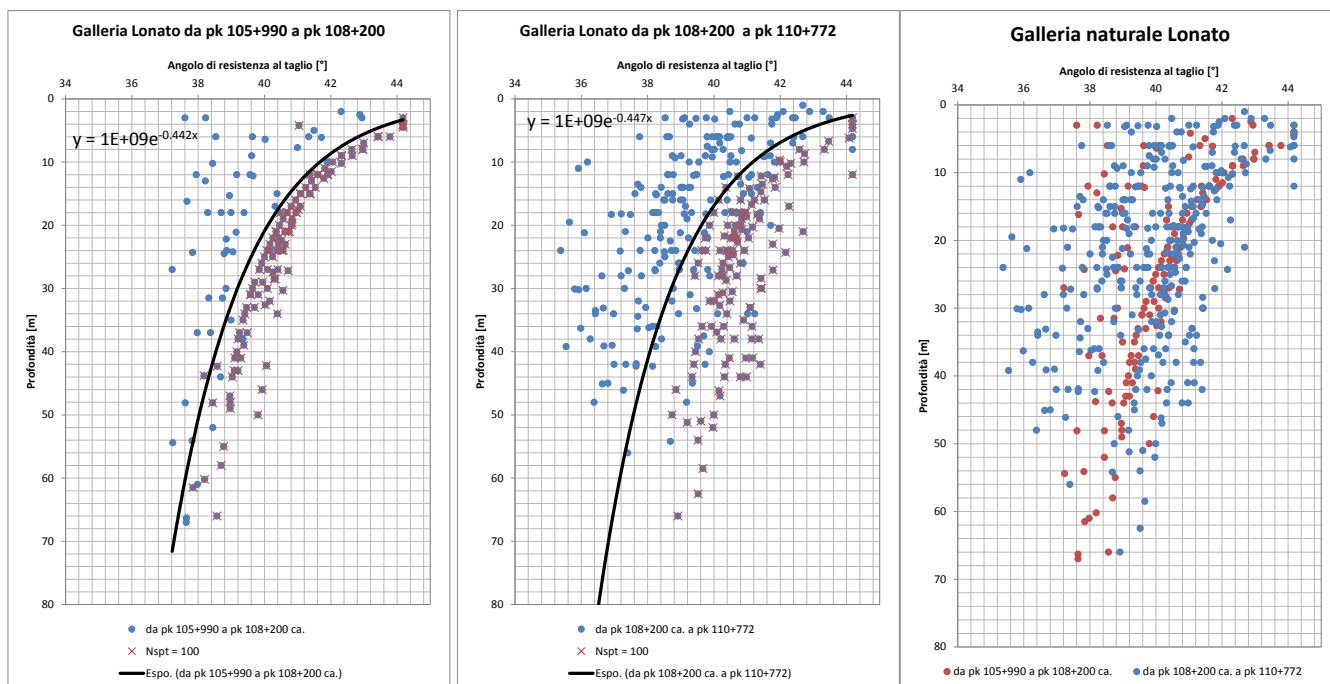


Figura 9.2 – Nomogrammi relativi ai coefficienti da  $F_0$  ad  $F_3$ .

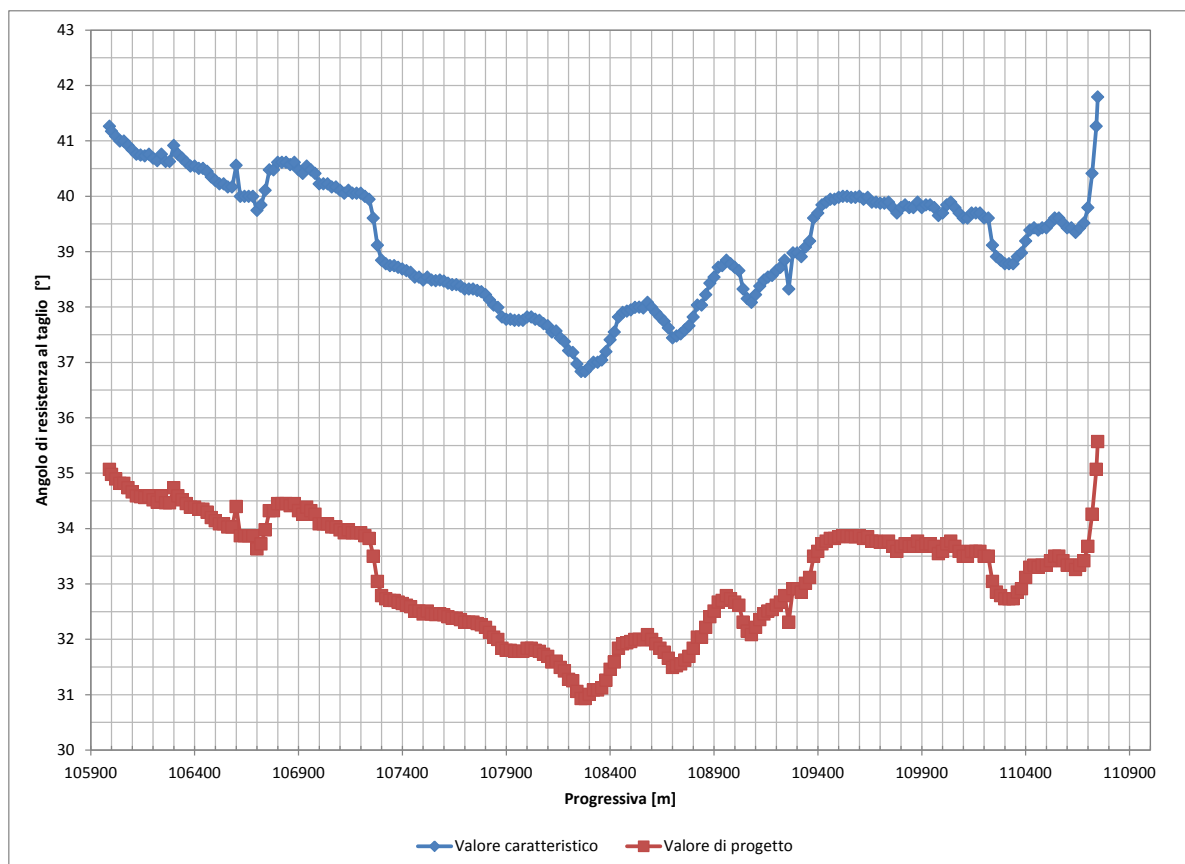
Adottando pertanto la soluzione proposta da Anagnostou e Kovári sono stati determinati i valori della necessaria pressione di sostegno lungo l'intero sviluppo della galleria.

Per i carichi piezometrici sono stati adottati i valori riportati nella Figura 5.4; i valori caratteristici dell'angolo di resistenza a taglio sono stati ricavati sulla base dell'interpretazione dei valori di  $N_{SPT}$  ottenuti dalle prove SPT eseguite nei sondaggi, adottando la correlazione di Bolton (1986), come mostrato nella Figura 9.3.



**Figura 9.3 – Valori caratteristici dell'angolo di resistenza al taglio ricavati adottando la correlazione di Bolton (1986) per tutti i valori di  $N_{SPT}$  ottenuti delle prove SPT effettuate nei sondaggi lungo lo sviluppo longitudinale della galleria Lonato.**

Sulla base dei valori dell'angolo di resistenza al taglio mostrati nella Figura 9.3, nella Figura 9.4 sono riportati i valori adottati lungo lo sviluppo longitudinale della galleria per quanto concerne sia i valori caratteristici (valori medi e cautelativi ottenuti dai risultati delle prove SPT) sia i valori di progetto ottenuti da quelli caratteristici adottando il coefficiente parziale per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio ( $\gamma_{\phi} = 1.25$ ) prescritto dalle NTC 2008.



**Figura 9.4 – Andamento del valore caratteristico e di progetto dell'angolo di resistenza al taglio lungo lo sviluppo longitudinale della galleria.**

E' stata pertanto effettuata una prima valutazione della pressione necessaria al fronte di scavo adottando la soluzione originaria, sopra indicata, di Anagnostou & Kovari (1996) che adotta un moto di filtrazione verso il fronte di scavo, avendo assunto un valore nullo del carico piezometrico nella camera di lavoro  $h_F$ .

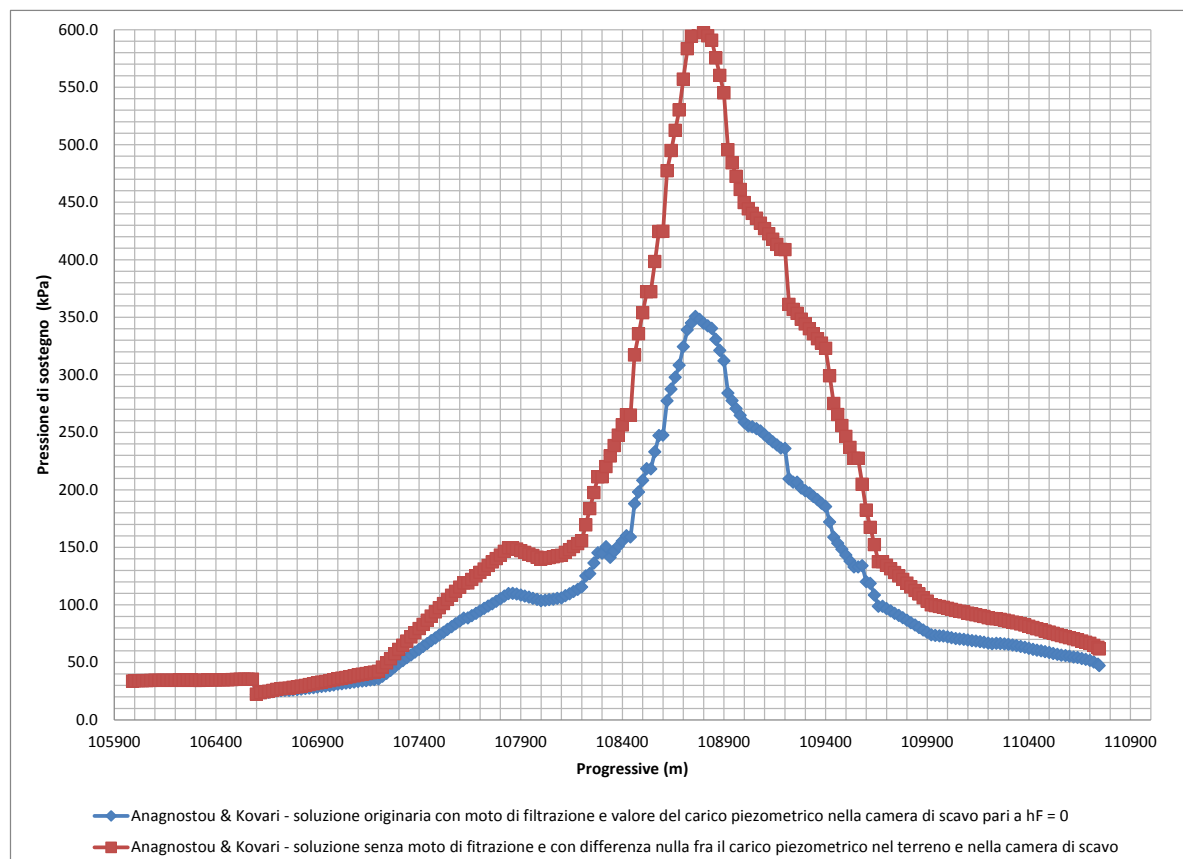
Una seconda valutazione è stata invece condotta non considerando il fenomeno della filtrazione. Tale valutazione tiene conto della presenza di terreni prevalentemente a grana grossa e della loro conseguente medio – alta permeabilità nonché delle criticità nello stesso impiego degli agenti condizionanti, come ampiamente discusso nel precedente capitolo 8. Infatti, nel caso che nella camera di scavo non si contrasta il carico piezometrico esterno, con conseguente instaurazione di un moto di filtrazione verso il fronte di scavo, si possono avere i seguenti potenziali rischi: (a) difficile controllo del moto di filtrazione che si instaura verso il fronte di scavo, nel caso della presenza di elevati battenti d'acqua; (b) possibile generazione di sovrappressioni d'acqua che possono ostacolare la corretta evacuazione dello smarino attraverso la coclea.

In questo caso, assumendo una differenza di carico piezometrico nulla fra il terreno circostante lo scavo e la camera di scavo ( $\Delta h = 0$ ), la pressione al fronte è data dalla somma della pressione dell'acqua più la pressione di sostegno efficace del terreno nella camera di scavo, determinata dalla formula dell'articolo originario, utilizzando i due soli coefficienti  $F_0$  ed  $F_1$  ovvero "troncando" l'equazione di Anagnostou e Kovari a soli due termini ed eliminando i restanti due relativi al fenomeno della filtrazione; tale assunzione è indicata in letteratura come "membrane model". Più precisamente la pressione di sostegno è data dalla seguente espressione:

$$s = s' + u = (F_0 \gamma' D - F_1 c) + h_0 \gamma_w \quad (9.3)$$

dove  $u$  è la pressione dell'acqua e  $\gamma_w$  il peso dell'unità di volume dell'acqua.

Nella Figura 9.5 sono riportati i valori calcolati per la pressione di sostegno del fronte di scavo necessaria con i due differenti approcci; tali valori della pressione di sostegno sono da intendersi come valori medi nella camera di scavo (asse galleria).



**Figura 9.5 – Metodo di Anagnostou e Kovari, andamento della pressione di sostegno del fronte di scavo lungo lo sviluppo longitudinale della galleria rispettivamente con moto di filtrazione e conseguente drenaggio dell’acquifero ( $h_F = 0$ ) e senza drenaggio ( $\Delta h = 0$ ).**

In conclusione, per la costruzione della EPBM si assumeranno, cautelativamente, i risultati ottenuti con l’approccio più cautelativo che non considera un moto di filtrazione verso il fronte di scavo della galleria e, conseguentemente, la macchina dovrà essere in grado di raggiungere una pressione massima, nella camera di scavo, pari a 6 bar.

In un apposito documento del presente progetto esecutivo (“Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB”, doc. INOR11EE2ROGN0201001) sono fornite tutte le indicazioni relative ai parametri operativi della macchina da adottare (protocollo di avanzamento della galleria), per ogni tratta a comportamento geotecnico omogeneo, sulla base delle effettive portate drenate e dei battenti d’acqua che saranno misurati, saranno indicati i valori di riferimento, attenzione e allarme della pressione di sostegno effettivamente da adottare nella camera di scavo.



## 10. DEFINIZIONE DELLA SPINTA PER L'AVANZAMENTO DELLO SCAVO

La valutazione della spinta necessaria per l'avanzamento dello scudo è stata condotta secondo il seguente approccio che fa riferimento alle formulazioni proposte nel libro "Mechanised Shield Tunneling" degli autori B. Miadl, M. Herrenknecht e L. Anheuser.

La spinta complessiva per l'avanzamento dello scudo deve tenere conto di quattro singoli contributi ai quali va inoltre va applicato un fattore di sicurezza per tenere conto di aspetti non quantificabili (ad esempio le sovraspinte in curva):

$$\Sigma W = W_M + W_{ST} + W_{BA} + W_{Sch}$$

dove:

$W_M$  = forza dovuta all'attrito macchina - terreno

$W_{ST}$  = forza risultante della pressione di stabilizzazione applicata al fronte

$W_{BA}$  = forza necessaria allo scavo

$W_{Sch}$  = forza dovuta alla presenza delle spazzole e del cutting edge

### 1. FORZA DOVUTA ALL'ATTRITO MACCHINA – TERRENO

In particolare la forza dovuta all'attrito macchina terreno è data dalla formula:

$$W_M = \mu \cdot [2 \pi \cdot R \cdot L \cdot p_{media} \cdot 0.5 + G_s]$$

essendo:

$\mu$  = coefficiente di attrito scudo – terreno = 0.5 (valore intermedio fra ghiaie e sabbie come indicato da B. Miadl, M. Herrenknecht e L. Anheuser)

Per la scelta di tale valore si vuole evidenziare il contributo fondamentale di ciascun costruttore allo scopo di limitare tale forza ad esempio adottando speciali lubrificanti al contorno dello scudo metallico finalizzati a ridurre l'attrito rispetto al profilo di scavo.

$R$  = raggio di scavo assunto pari a 5 m

$p_{media}$  = pressione del terreno agente sullo scudo

$L$  = lunghezza dello scudo pari a 14.5 m

$G_s$  = peso della macchina assunto pari a 15000 kN

Per quanto concerne la pressione verticale agente sullo scudo, assunta cautelativamente come pressione media  $p_{media}$ , è stata adottata la seguente soluzione proposta da Terzaghi.

Per basse coperture (gallerie superficiali) il carico attivo verticale  $p_v$  è stato calcolato con riferimento alle seguenti ipotesi:

per coperture inferiori a  $D$  (diametro equivalente della galleria) si è adottato l'intero carico geostatico;

per coperture superiori a  $D$  il carico verticale  $p_v$  è calcolato con la seguente formula:

$$p_v = \frac{B \left( \gamma - \frac{2 \cdot c}{B} \right)}{2 \cdot \operatorname{tg} \phi} \left( 1 - e^{-\frac{2H \operatorname{tg} \phi}{B}} \right)$$

in cui:

$$B = b + 2 h \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

dove:

H = copertura della galleria

b = larghezza della galleria

h = altezza della galleria

$\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno

$c, \phi$  = parametri di resistenza al taglio del terreno secondo il criterio di Mohr – Coulomb

Nella seguente Figura 10.1 è mostrato l'andamento del carico verticale del terreno agente sullo scudo, calcolato con formula di Terzaghi lungo l'intero sviluppo della galleria.

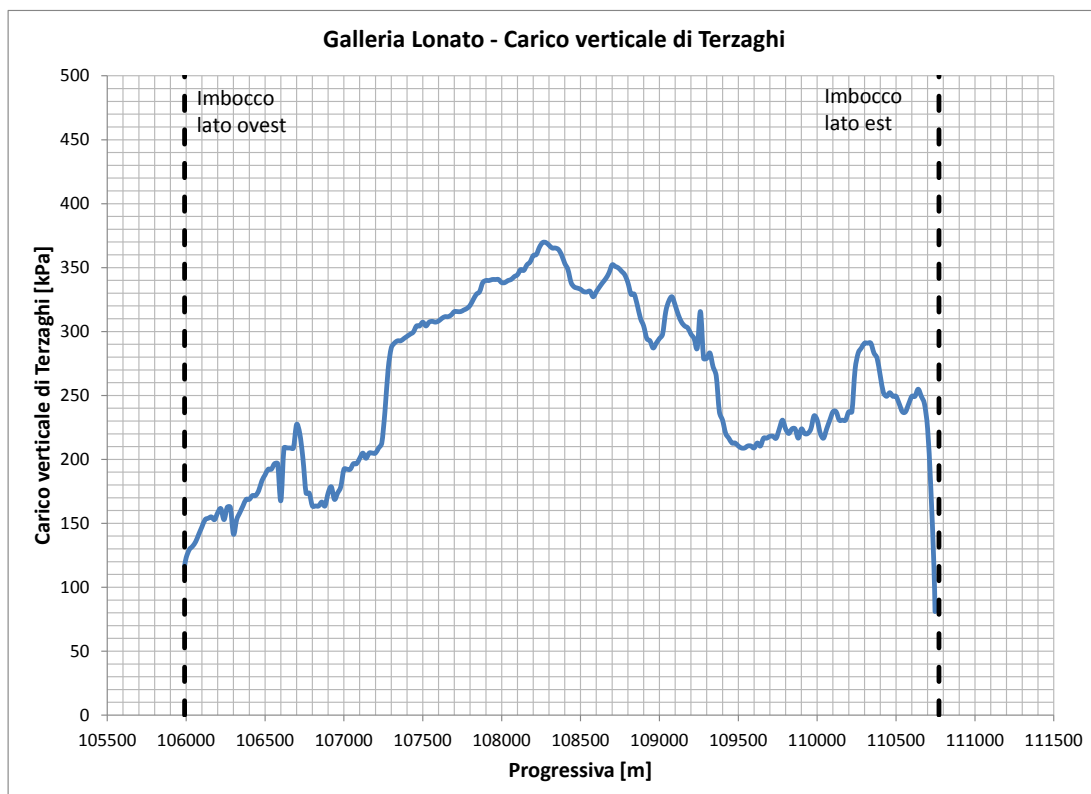


Figura 10.1 – Andamento del carico verticale del terreno agente sullo scudo lungo l'intero sviluppo della galleria.

## 2. FORZA ALL'AVANZAMENTO PER EFFETTO DELLA PRESSIONE DEL TERRENO CONDIZIONATO NELLA CAMERA DI SCAVO

La risultante  $W_{ST}$  della pressione da applicare al fronte, con riferimento alla sottostante figura è data da:

$$W_{ST} = s \cdot A_{fronte}$$

dove:

$s$  = pressione di sostegno del fronte calcolata con la formula (9.3) del capitolo 9

$A_{fronte}$  = area di scavo della galleria

### 3. FORZA NECESSARIA ALLO SCAVO

La forza necessaria allo scavo è data da:

$$W_{BA} = n_c \cdot P_c$$

dove:

$n_c$  = numero dischi (cutters) = 56

$P_c$  = forza sviluppata da ciascun disco = 200 kN per disco

### 4. FORZA DOVUTA ALLA PRESENZA DELLE SPAZZOLE E DEL CUTTING EDGE

La forza causata dalla presenza delle spazzole e del cutting edge (rappresentati in dettaglio nelle Figura 10.2 e Figura 10.3) è data da:

$$W_{sh} = 2\pi \cdot R \cdot (p_{sh} \cdot t + p_{sp})$$

dove:

$p_{sh}$  = forza sul cutting edge = 10 kN/m<sup>2</sup>

$t$  = spessore del cutting edge = 0.8 m

$p_{sp}$  = forza dovuta alle spazzole = 1 kN/m

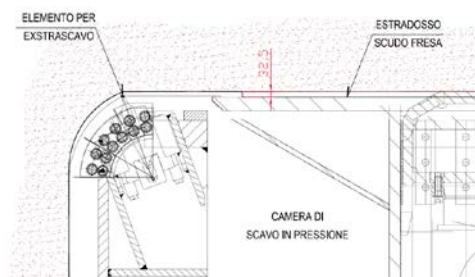
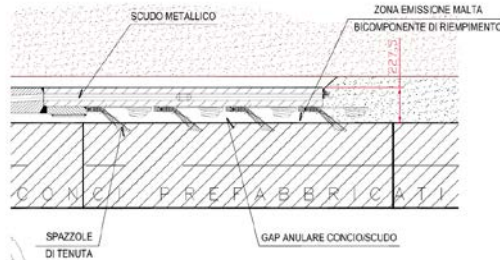
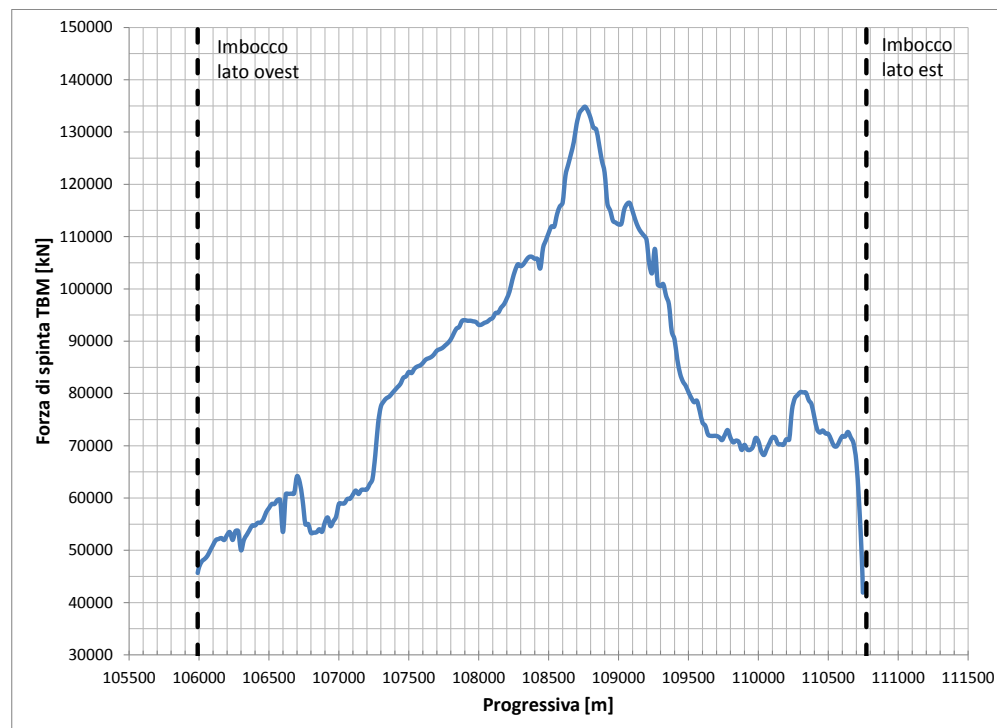


Figura 10.2 – Particolare cutting edge.



**Figura 10.3 – Particolare spazzole.**

Nella seguente Figura 10.4 è mostrato l'andamento della spinta di progetto avendo considerato un fattore di sicurezza pari a 1.1 (anche alla luce del fatto che si ha un possibile margine sul coefficiente di attrito reale). Come si può notare il massimo valore della spinta di progetto è pari a circa 135000 kN. Occorre evidenziare che trattandosi di terreni a grana grossa avendo assunto un valore cautelativo per il coefficiente di attrito fra lo scudo e il terreno ( $\mu = 0.45$ ), il valore massimo calcolato tiene conto anche della condizione di possibile sblocco.



**Figura 10.4 – Valutazione delle spinte necessarie all'avanzamento della TBM.**

## 11. SINTESI DEI PRINCIPALI REQUISITI DELLA EPBM

Sulla base del tracciato, del profilo longitudinale della galleria, delle condizioni geologiche, idrogeologiche e geotecniche riportate nei precedenti capitoli, si hanno le seguenti principali criticità e rischi:

- il sotto attraversamento dell'autostrada A4 con una copertura estremamente ridotta e pari a circa un diametro;
- tratte con presenza in superficie di numerosi manufatti con conseguente necessità di ridurre l'entità dei cedimenti a piano campagna relativi al bacino di subsidenza con la necessità di valori estremamente ridotti del volume perso;
- presenza di terreni prevalentemente a grana grossa (ghiaie con sabbia o sabbie con ghiaia) caratterizzati da una ridotta frazione di fine (limo e argilla inferiore al 30%) e con conseguenti medio - alte permeabilità;
- possibile presenza di carichi piezometrici elevati (30 ÷ 60 m), nella tratta a massime coperture, compresa fra le progressive chilometriche 108+500 e 109+500, a causa della possibile saturazione dei terreni alla quota della galleria per la circolazione idrica sotterranea alimentata dalla presenza delle falde sospese più superficiali, nelle sole zone con presenza di terreni di media – alta permeabilità, come ampiamente discusso nel capitolo 5 relativo alle condizioni idrogeologiche;
- possibile presenza lungo l'intero sviluppo della galleria di blocchi anche di rilevanti dimensioni (trovanti) nonché la possibilità di attraversamento di zone cementate o con presenza di livelli cementati, come discusso nel capitolo 7.

Nel presente capitolo sono riportati i principali requisiti della EPBM che dovrà realizzare lo scavo della galleria Lonato a doppia canna allo scopo di minimizzare i citati rischi e consentire di raggiungere le migliori performance, con riferimento all'attuale stato dell'arte nella costruzione di tali macchine.

### 11.1. Generalità

La macchina deve essere costituita da un insieme di apparecchiature progettate, organizzate e condotte per consentire lo svolgimento delle seguenti quattro attività principali:

- lo scavo con contestuale supporto al fronte;
- la rimozione dello smarino;
- la posa in opera del rivestimento in conci prefabbricati e riempimento a tergo mediante iniezioni di intasamento con miscele cementizie del tipo bicomponente;
- il controllo, monitoraggio e registrazione dei parametri di funzionamento;

La EPBM sarà progettata in modo da garantire, in tutte le fasi operative, le seguenti condizioni:

- la presenza continua della pressione di sostegno nella camera di scavo, indicata negli elaborati del Progetto Esecutivo relativi ai parametri operativi della macchina;
- il montaggio del rivestimento a conci prefabbricati nel rispetto delle tolleranze di progetto;
- il completo riempimento a tergo dei conci fino a raggiungere le pressioni definite dal Progetto Esecutivo;
- il rispetto dell'andamento plano-altimetrico di progetto.

La EPBM dovrà quindi essere equipaggiata con un sistema che permetta il continuo controllo della pressione nella camera di scavo e del volume di materiale estratto dalla camera stessa in funzione della velocità di avanzamento.



Inoltre dovranno essere predisposte due specifiche unità di misurazione del volume di materiale effettivamente estratto durante la fase di scavo.

La EPBM sarà progettata in modo tale da potersi inscrivere nelle curve di progetto - ed in quelle ragionevolmente prevedibili di correzione – minimizzando il più possibile la generazione di sovrascavo.

Nella presente relazione è riportata una valutazione della pressione di sostegno necessaria nella camera di scavo lungo l'intero sviluppo della galleria che ha portato a stabilire una massima pressione di 6 bar e la necessità che la macchina sia in grado, nelle condizioni più gravose di sviluppare una forza di spinta nominale per l'avanzamento dello scavo almeno pari a 150000 kN che comprende le condizioni più critiche e anche la condizione di possibile sblocco.

Lo scudo sarà progettato in considerazione della pressione massima prevedibile durante lo scavo, dei carichi geostatici totali nel punto più sfavorevole e di quelli che la EPBM dovrà generare nelle diverse fasi operative. A questo riguardo l'entità di tali valori sono indicati nel precedente capitolo 10.

Tuttavia, i valori riportati nel precedente capitolo 10 dovranno essere condivisi e/o rivisti da parte del costruttore sulla base dei modelli da loro utilizzati di analisi numerica, normalmente in condizioni tridimensionali, volta a stabilire l'effettiva entità delle sollecitazioni fra lo scudo e il terreno tenendo conto della conicità dello scudo oltretutto delle diverse dimensioni in modo particolare per lo scudo di coda.

Le relative tenute, guarnizioni e sistemi di spinta saranno progettati e realizzati in considerazione della pressione massima prevedibile, degli opportuni fattori di sicurezza e della necessità di manutenzione durante le diverse fasi esecutive della galleria.

A sostegno degli spessori proposti dal costruttore in sede di offerta, le dimensioni delle strutture della macchina e degli altri componenti principali, di seguito elencati, dovrà essere verificata mediante un'analisi strutturale agli Elementi Finiti utilizzando scenari di carico individuati secondo Linee Guida riconosciute a livello Internazionale (si veda, ad esempio, il documento "Guidelines for the use of advanced numerical analysis" pubblicato da Thomas Telford, indicato anche nel paragrafo 3.3):

- struttura scudo (frontale, mediano e coda);
- testa di scavo;
- cuscinetto della trasmissione principale.

La EPBM, nel suo insieme, si presenta come un'unità scudata preposta all'esecuzione dello scavo, all'estrazione dello smarino e alla posa in opera del rivestimento. Al servizio dello scudo si trova il sistema di Back-Up formato da diversi carrelloni, trascinati dallo scudo, dove trova posto tutta l'impiantistica necessaria al funzionamento della TBM. Le parti principali dello scudo sono:

- la testa fresante che realizza lo scavo della galleria;
- una serie di martinetti idraulici che permettono l'avanzamento della macchina;
- un sistema di trasporto del materiale di scavo con due unità di misurazione della massa di materiale estratto;
- sistema per il condizionamento del materiale nella camera di scavo;
- dispositivo per la posa in opera degli anelli composti da più conci;
- sistema di controllo della direzione (planimetrica e altimetrica) che assicura una guida precisa permettendo rapide correzioni;
- dispositivo d'iniezione di adatto materiale di riempimento del vuoto anulare che si crea durante lo scavo tra il terreno e l'estradosso del rivestimento;
- dispositivi per l'accesso e l'intervento nella camera pressurizzata di scavo, costituiti da un sistema di produzione di aria compressa e camera iperbarica di sicurezza a due compartimenti comunicanti.

Lo scudo dovrà essere progettato con un'opportuna conicità (diametro minore in coda) al fine di evitare il blocco dello scudo durante l'avanzamento; tuttavia dovrà essere minimizzata, relativamente alla natura dei terreni presenti, al fine di ridurre il più possibile i volumi persi in corrispondenza del sotto attraversamento dell'autostrada A4 e nelle tratte con manufatti presenti in superficie.

## 11.2. Principi di funzionamento

La EPBM consente di evitare una perdita di stabilità del fronte di scavo grazie all'introduzione di una contropressione di sostegno, che viene assicurata da parte dello stesso materiale scavato dalla testa fresante all'interno della camera di scavo.

La camera di scavo è costituita dal volume compreso fra il fronte di scavo e la parete di contenimento (detta anche paratia). Quest'ultima si oppone alla pressione del terreno, consentendo in tal modo di lavorare nell'area dello scudo in condizioni di pressione atmosferica.

Il terreno, viene disgregato dagli utensili posti sulla testa fresante (dischi o raschiatori) e quindi raggiunge la camera di scavo passando opportune finestre realizzate nella testa di scavo.

Nel precedente capitolo 8 è stata discussa la problematica fondamentale dell'impiego degli agenti condizionanti per i terreni di scavo; lo studio di fattibilità del condizionamento è stato effettuato, nei primi mesi del 2018, presso il laboratorio del Politecnico di Torino sotto la direzione del Prof. Peila.

Durante le normali operazioni di avanzamento, la camera di scavo è completamente riempita dal materiale opportunamente condizionato: tale situazione è detta "Modalità Chiusa".

Nella parte inferiore, la paratia è attraversata dalla coclea di smarino che ha il compito di estrarre il materiale scavato mantenendo la pressione della camera di scavo. La lunghezza della coclea (e relativa vite senza fine) dovrà essere calcolata in modo tale da garantire la necessaria perdita di pressione per avere una pressione atmosferica al punto di uscita pur avendo una pressione maggiore nella camera di scavo.

La portata di marino può essere regolata variando il numero di giri della coclea e la posizione della ghigliottina di scarico. In particolare, tale ghigliottina quando in posizione di chiusura consente il completo isolamento della camera di scavo e del condotto contenente la coclea (ovviamente ferma).

Il materiale estratto dalla coclea è scaricato su una serie di nastri che lo portano fuori dalla galleria stessa.

Da quanto sopra indicato, si possono desumere i principi fondamentali del sistema di smarino a pressione bilanciata ovvero, il terreno scavato può essere scaricato continuamente attraverso la coclea, mantenendo in contemporanea una pressione sufficiente sul terreno al fronte di scavo. Operativamente quando la macchina avanza, deve mantenere completamente piena la camera di pressione, supportare il fronte e, nello stesso tempo, smarinare.

Il metodo migliore per eseguire quest'operazione è di controllare il volume del materiale scavato e di quello smarinato in modo che rimangano sempre uguali.

Oltre alla testa fresante e allo scudo, completano la EPBM gli impianti, il gruppo di trasmissione, le attrezzature per la posa dei conci di rivestimento e i sistemi di controllo e guida.

I conci prefabbricati sono posti in opera da un erettore, collocato nella parte posteriore della macchina, in modo che questa, mentre avanza, lascia dietro la galleria già rivestita.

L'extrascavo (tra anello prefabbricato e intradosso del cavo) deve essere riempito, in continuo con l'avanzamento della macchina, con iniezioni di miscela cementizia, pompato attraverso ugelli posti sulla coda dello scudo.

Il sistema dovrà essere progettato in modo tale da garantire il completo riempimento dello spazio anulare. A tale scopo ogni linea d'iniezione dovrà essere equipaggiata con apposito misuratore di pressione e volume in modo tale da permettere all'operatore l'esecuzione di tale operazione in conformità al Progetto Esecutivo.

Di seguito si riportano alcune indicazioni per formulare da parte del costruttore le caratteristiche tecniche dei singoli elementi della EPBM.

### ***11.2.1. Testa fresante***

La testa fresante proposta dal costruttore sulla base dei dati geologici, idrogeologici e geotecnici riportati nella presente relazione dovrà essere:

- bidirezionale: le aperture della testa e gli utensili potranno consentire lo scavo sia in senso orario che in senso anti-orario;
- adatta ad eseguire, in particolari condizioni, un sovrascavo variabile, la cui entità deve essere predeterminata in funzione delle condizioni geotecniche attese, delle esatte caratteristiche geometriche della macchina e del tracciato, l'azione di sovrascavo sarà controllata dalla Cabina di Comando della TBM;
- munita di utensili idonei, in qualità e distribuzione, allo scavo dei terreni incontrati lungo il tracciato con particolare riguardo alla presenza di trovanti e la protezione contro l'usura;
- equipaggiata con un numero di ugelli per il condizionamento del terreno compatibile con i terreni incontrati durante lo scavo, tali ugelli devono poter essere sostituiti lavorando dalla sola parte posteriore della testa;
- equipaggiata con delle linee di iniezione di acqua in pressione, di diametro e portata adeguata;
- equipaggiata con dei sistemi di rilevamento dello stato di usura degli utensili, tali sensori devono essere sostituibili lavorando dalla sola parte posteriore della testa, il sistema deve essere collegato alla cabina di comando e deve dare evidenza della zona di sviluppo del fenomeno di usura.

Il montaggio e il cambio di tutti gli utensili deve poter essere eseguito a tergo, dall'interno della camera di lavoro e non davanti alla ruota stessa; analogamente la posizione degli utensili per il sovrascavo deve essere regolata da un sistema oleodinamico assistito dall'esterno, senza impiego di personale all'interno della camera di lavoro.

La superficie della ruota frontale e dell'anello periferico della testa fresante dovranno essere muniti di protezione antiusura che per tipologia e dimensione garantirà la massima protezione possibile alla testa per tutta la durata dei lavori.

In particolare sulla superficie periferica dovrà essere predisposto un sistema di protezione dall'usura mediante utensili sostituibili dall'interno della camera di scavo senza la necessità di azioni al di fuori della protezione dello scudo.

Per le operazioni di manutenzione, dovranno essere disponibili opportune passerelle e scale, per garantire in ogni momento e in ogni posizione la sicurezza dei lavoratori. Analogamente dovrà essere presente una camera dedicata di passaggio per l'approvvigionamento dei materiali durante la manutenzione in modo da non dover utilizzare le camere iperbariche dedicate al personale.

Nella camera di scavo dovranno essere predisposti i mezzi di ausilio al sollevamento dei materiali necessari durante le manutenzioni così come degli opportuni punti di allaccio per gli approvvigionamenti di acqua, aria, energia.

Il fattore di apertura della testa, cioè il rapporto tra la superficie delle vie di passaggio e la superficie totale della testa, dovrà essere compatibile con le condizioni geotecniche dei terreni incontrati durante lo scavo e con il livello di plasticità atteso a seguito del condizionamento con schiuma.

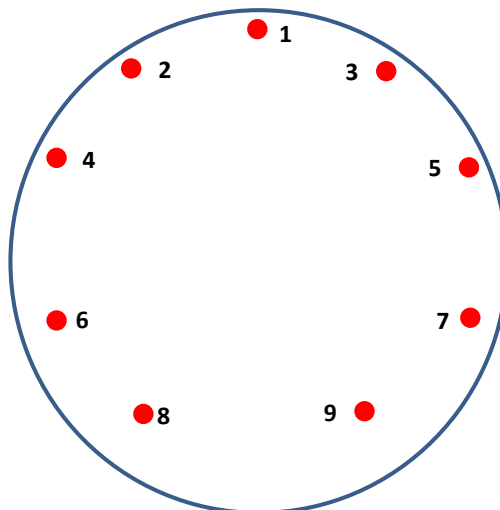
La testa fresante dovrà essere dotata di barre miscelatrici che lavoreranno in combinazione alle barre miscelatrici (fisse) montate sulla paratia.

### ***11.2.2. Camera di lavoro***

La camera di lavoro permette l'utilizzo del materiale di scavo, fluidificato dagli agenti condizionanti, come sistema di stabilizzazione del fronte di scavo stesso. Per raggiungere tale scopo la camera di scavo dovrà essere completamente piena di materiale scavato e condizionato.

Sulla paratia dovranno essere installati i pressostati per il rilievo della pressione di supporto presente in camera di lavoro. Tali sensori saranno montati su diversi livelli, sia a destra sia sinistra del gruppo di trasmissione. Dovrà essere previsto un adeguato numero di livelli di rilievo della pressione. Il primo livello deve essere il più alto possibile nella camera di lavoro mentre quello inferiore dovrà essere posto alla quota di prelievo della coclea di smarino.

Più precisamente poiché le celle di pressione installate, nella parete fissa posteriore, non possono per forza di cose garantire un'alta precisione di misura è necessario aumentare significativamente il numero delle celle, disponendole soprattutto nella semi metà superiore delle sezione di scavo in modo da avere un dettagliato controllo della pressione affinché il manovratore possa subito intervenire all'occorrenza (Figura 11.1).



**Figura 11.1 – Esempio di posizione orientativa dei sensori per la misura della pressione nella camera di scavo e del suo andamento con l'altezza del fronte.**

I pressostati dovranno essere progettati in modo tale da poter essere sostituiti da dietro la paratia, cioè dallo scudo senza la necessità di ingresso in camera di lavoro.

Nella camera di lavoro, saldate sulla paratia ci dovranno essere un numero adeguato di barre miscelatrici (statori) che, in combinazione con quelle montate sulla testa dovranno garantire una certa rimescolazione del terreno condizionato.

Nella camera di lavoro devono essere installati e funzionanti un adeguato numero di punti di iniezione di agente condizionante per il trattamento del materiale di scavo in seconda fase, tali punti di iniezione saranno alimentati da un sistema dedicato di preparazione dell'agente condizionante. In aggiunta e sempre nella camera di scavo (attraverso la paratia) dovranno essere disponibili ulteriori vie di iniezione per eventuale fluidificazione con acqua e/o bentonite.

Poiché sarà possibile variare la pressione al fronte di scavo, modificando l'equilibrio tra materiale scavato e rimosso, dovrà essere predisposto un opportuno sistema di controllo del materiale estratto, realizzato mediante opportune bilance (con controllo incrociato) e tutta la strumentazione e software necessaria alla visualizzazione in tempo reale dei valori in cabina di comando, al fine di permettere tempestive correzioni in caso di superamento dei livelli di Attenzione e di Allarme definiti dal progetto di scavo.

In aggiunta al sistema di bilance e con lo scopo di garantire il riempimento della camera di scavo, la stessa dovrà essere equipaggiata con un sistema di rilievo dello stato di riempimento della stessa.

In emergenza e/o per manutenzione la camera di lavoro deve poter essere svuotata, conservando la pressurizzazione mediante aria compressa, sia nella sola metà superiore sia totalmente.

Dovrà essere presente una via dedicata di passaggio per l'approvvigionamento dei materiali durante la manutenzione in modo da non utilizzare le camere iperbariche per il personale.

Nella camera di scavo dovranno essere predisposti i mezzi di ausilio al sollevamento dei materiali necessari durante le manutenzioni così come degli opportuni punti di allaccio per gli approvvigionamenti di acqua, aria, energia.

Per le operazioni di manutenzione, dovranno essere disponibili opportune passerelle e scale, per garantire in ogni momento e in ogni posizione la sicurezza dei lavoratori.

### ***11.2.3. Sistema di trasmissione della Testa di Scavo***

Il sistema di trasmissione della Testa di Scavo deve essere di tipo elettrico con velocità e coppia torcente variabile.

La progettazione del sistema deve garantire la trasmissione alla testa fresante della coppia e velocità idonea a uno scavo efficiente dei terreni compresi nel tracciato.

Il sistema di trasmissione deve garantire il completamento dello scavo, dell'intera galleria, senza la sostituzione degli elementi principali inclusi il cuscinetto, i pignoni, i riduttori e i motori idraulici. Il cuscinetto principale deve essere nuovo e garantire il completamento dello scavo senza sostituzione dello stesso. A questo riguardo, tuttavia, si rimanda al paragrafo 11.3 in quanto in una recente istruttoria da parte di Italferr viene richiesta la disponibilità di un cuscinetto di riserva trasportabile in cantiere nel più breve tempo possibile.

La progettazione del sistema di trasmissione deve essere tale da permettere la sostituzione in galleria del cuscinetto principale in caso di rottura o danno.

Il sistema di guarnizione dovrà includere il monitoraggio della reale efficacia di detta guarnizione, tale monitoraggio dovrà segnalare le eventuali anomalie prima che i materiali inquinanti raggiungano la corona principale e il cuscinetto di rotazione. Il cuscinetto dovrà essere lubrificato da un sistema indipendente, con impianto di filtraggio, di raffreddamento dedicato e di monitoraggio continuo.

Il circuito di funzionamento dovrà essere continuamente monitorato nei suoi parametri principali: pressione, temperature (sia del fluido sia delle singole unità di trasmissione), potenze istantanee.

La Coppia Torcente di Sblocco dovrà essere attivabile in maniera semplice e rapida ma comunque solamente dal personale autorizzato, quindi il sistema dovrà essere protetto da idoneo sistema di sicurezza.

Il sistema deve includere un sistema frenante a doppio controllo per garantire la stabilità della testa fresante durante le operazioni di manutenzione.

### ***11.2.4. Sistema di avanzamento***

L'avanzamento dello scudo è assicurato da un sistema di martinetti idraulici che contrastano posteriormente sul rivestimento, già in opera, della galleria e davanti sulla periferia della paratia di tenuta della camera di lavoro. Il punto di spinta anteriore deve essere il più vicino possibile alla testa di scavo in modo da garantire il corretto controllo direzionale dello scudo. La posizione e il numero dei martinetti di propulsione devono essere progettati in maniera da trasmettere un carico uniforme agli anelli con pressione, sui conci prefabbricati, tale da non comprometterne l'integrità.

I martinetti sono raggruppati in unità le quali agiscono sui conci per mezzo di una scarpa di ripartizione articolata. Il sistema deve essere progettato e realizzato in maniera da ridurre al minimo le sollecitazioni tangenziali in fase di



spinta sul rivestimento, quindi saranno dotati di giunto sferico in corrispondenza sia della piastra di appoggio sui conci sia della paratia.

Le unità sono raggruppate in gruppi e l'operatore, in fase di avanzamento, regolando la pressione di ogni singolo gruppo può controllare la direzione di avanzamento della TBM. Il numero di gruppi e la loro distribuzione deve essere tale da permettere la corretta conduzione della TBM in conformità al tracciato plano-altimetrico del progetto e le eventuali azioni correttive necessarie.

Il sistema dovrà prevedere un numero adeguato di gruppi di spinta, nella parte inferiore ci dovranno essere due gruppi distinti per la parte destra (45°) e per quella di sinistra (45°).

Durante il montaggio del rivestimento, l'operatore deve poter controllare ogni singola unità indipendentemente dalle altre.

La distanza fra il centro di spinta di ogni martinetto e il centro della superficie di giunto del concio deve essere minimizzata in maniera tale da non indurre momenti nocivi nel concio e nel martinetto stesso.

La corsa dei martinetti (e la portata della pompa oleodinamica) deve essere calcolata per permettere la posa facile, rapida ed in condizioni di massima sicurezza dei conci ordinari e della chiave in tutte le situazioni plano-altimetriche ed in particolare in corrispondenza delle curve di raggio minimo.

Il mantello della TBM dovrà essere dotato di un sistema di lubrificazione, esterna, di tipo centralizzato e controllabile dalla cabina di comando.

#### ***11.2.5. Sistema di potenza***

Le centraline elettro-oleodinamiche devono essere ubicate in modo da permettere la manutenzione o la rimozione delle stesse con un disturbo minimo agli altri elementi della macchina. La centralina dovrà essere dotata di un impianto di filtrazione e di raffreddamento opportunamente dimensionati.

Le centraline elettro-oleodinamiche dovranno essere protette da opportune barriere antirumore in modo da garantire un ambiente di lavoro conforme alle normative vigenti in ambito di sicurezza per i lavoratori.

#### ***11.2.6. Cabina di controllo***

Il pannello di controllo per l'operatore della macchina deve essere ubicato in ambiente sicuro e adeguatamente confortevole, nello scudo o, in prossimità dello stesso, sul back-up. Il rumore e la temperatura registrabili nella camera di controllo devono essere conformi alle norme vigenti.

Tramite tale pannello l'operatore deve poter verificare tutti i parametri di funzionamento della TBM e operare sugli stessi per la conduzione della stessa.

Nella cabina sarà inoltre possibile attivare e disattivare il sistema di nastri di smarino e verificarne continuamente i parametri di funzionamento.

Sarà inoltre disponibile nella cabina una linea telefonica collegata con la rete del cantiere e con la rete telefonica pubblica.

Sempre in cabina si trovano i monitor di restituzione delle videocamere di sorveglianza poste lungo la TBM:

- punto di scarico della coclea
- varie tramogge di trasferimento da un nastro al successivo
- zona di arrivo dei mezzi di trasporto dei conci.

### ***11.2.7. Sistema di rimozione del materiale di scavo***

La macchina sarà progettata per permettere la rimozione del materiale dalla camera di lavoro mediante un trasportatore a coclea, completato da una serie di nastri trasportatori.

L'apertura dello scarico della coclea deve essere provvista di una porta a ghigliottina azionata idraulicamente. La ghigliottina deve poter essere chiusa in qualsiasi momento, in caso di emergenza ed anche durante un'eventuale interruzione di corrente elettrica. Il diametro della coclea deve essere tale da permettere l'estrazione dei trovanti o frammenti di essi entrati nella camera di lavoro.

In abbinamento alla ghigliottina principale sarà installata una seconda ghigliottina per permettere le eventuali manutenzioni senza compromettere la chiusura della coclea.

La coclea è formata da un'elica senza fine ad asse centrale costruita in pezzo unico (senza flange bullonate) che ruota all'interno di un tubo. Sia l'elica sia il tubo devono essere protetti da idoneo materiale antiusura dimensionato in modo da garantire il funzionamento del sistema per tutta la durata dei lavori.

In corrispondenza del punto d'ingresso nella camera di lavoro, la coclea dovrà essere equipaggiata con opportuna portella d'isolamento che, in abbinamento al telescopismo della stessa permetterà il completo isolamento del tubo coclea dalla camera di lavoro.

La coclea dovrà essere dotata di punti d'iniezione di agente condizionante per contrastare eventuali fenomeni d'intasamento della coclea stessa. Il sistema di iniezione di agente condizionante nella coclea deve essere indipendente, quindi non dovrà attingere dai sistemi di produzione della schiuma previsti per la camera di lavoro o per la testa di scavo.

Il sistema di trasmissione del moto (moto-riduttore) dovrà essere protetto da un'idonea guarnizione contro l'ingresso di materiale inquinante, tale guarnizione sarà della stessa tipologia di quella prevista per la trasmissione della testa fresante e dimensionata per la pressione massima prevedibile all'interno della coclea e relativi fattori di sicurezza.

Si richiede al costruttore di formulare la proposta delle performance minime della coclea che è in grado di garantire per quanto concerne: (1) diametro nominale; (2) velocità rotazione con doppio senso di rotazione; (3) capacità estrattiva; (4) pressione di collaudo; (5) coppia massima.

### ***11.2.8. Sistema per la posa in opera del rivestimento***

La posa in opera del rivestimento avviene tramite l'erettore costituito da una piastra di presa (con ventosa) guidata da due cilindri telescopici montati su un supporto rotante. L'erettore deve essere in grado di ruotare in senso orario e antiorario e deve poter traslare per raggiungere il punto di resa del concio. La piastra deve essere dotata di sistemi idraulici per il movimento tridimensionale completo (rollio, beccheggio e rotazione). Il sistema di funzionamento deve essere di tipo idraulico e permettere il controllo dei movimenti, macro e micro, dell'erettore. L'erettore sarà controllato da un pannello a radio frequenza dimensionato in modo tale da permettere un agevole utilizzo da parte dell'operatore. La TBM sarà equipaggiata con un sistema di riserva mediante pannello portatile con cavo.

In caso di emergenza e durante un'eventuale interruzione di corrente elettrica, l'erettore deve garantire l'immediato blocco del movimento (freno) e impedire la caduta del concio. La struttura dell'erettore deve garantire il mantenimento del concio in qualsiasi posizione per un tempo non inferiore a 1 ora. Laddove possibile l'erettore completo o almeno la piastra/ventosa deve essere alimentato da una linea elettrica di emergenza che quindi garantisce la corrente anche in caso di black-out per il resto della TBM.

Il sistema complessivo formato dai martinetti di spinta, dall'erettore e dalla geometria dei conci, deve essere progettato in modo tale che, durante la fase di montaggio, i conci dell'anello precedente e di quelli in montaggio, siano sempre sostenuti da almeno una unità ovverosia non si verifichi mai la situazione di un singolo concio mantenuto in posizione dai soli sistemi di montaggio (bulloni o inserti).

### **11.2.9. Sistema di tenuta (tra scudo e conchi)**

La coda dello scudo deve essere munita di almeno 4 file di spazzole di guarnizione e deve essere progettata per resistere anche alla pressione massima dell'acqua e del betoncino di riempimento. Le spazzole devono poter essere sostituite in galleria previo smontaggio dell'ultimo anello montato oppure esecuzione di un avanzamento prolungato. Lo spazio tra le file deve essere continuamente riempito da opportuno grasso di tenuta tramite un sistema che ne controlla il volume e la pressione d'iniezione. Tale sistema d'iniezione del grasso deve essere tale da permettere un'adeguata distribuzione dello stesso lungo tutta la circonferenza della guarnizione. Tutti i dati di funzionamento di questo sistema devono essere riportati in cabina e registrati nella acquisizione dati.

Nella progettazione delle "spazzole" dovranno essere considerati con attenzione i seguenti aspetti:

- garanzia di completa chiusura dell'interfaccia conchio/coda
- facile manutenzione

Alla estremità della coda, sul lato esterno, ci dovranno essere dei lamierini in materiale elastico per ridurre il rischio di formazione di un flusso di betoncino di riempimento verso la camera di scavo o comunque verso lo scudo.

### **11.2.10. Sistema per le iniezioni di riempimento**

Lo spazio residuo tra estradosso dei conchi e profilo di scavo deve essere riempito con un idonea malta cementizia, contestualmente alla fase di avanzamento. Tale iniezione avverrà attraverso la coda dello scudo, senza interruzioni, durante l'avanzamento fino al completo riempimento del volume e il raggiungimento della pressione prevista dal Progetto. Il sistema d'iniezione sarà dotato di un sistema di misura dei volumi di miscela iniettati in modo da verificare continuamente il completo riempimento di tale spazio lungo tutta la circonferenza.

La coda dello scudo dovrà includere un numero adeguato di coppie di linee o tubi d'iniezione per il betoncino. Ogni coppia sarà formata da una linea attiva e da una di riserva. La progettazione delle linee deve essere tale da permettere la rapida attivazione della linea di riserva nel caso d'intasamento di quella principale.

Il sistema sarà controllato da un operatore attraverso un apposito pannello di controllo posto in prossimità delle pompe stesse. I dati principali di funzionamento dell'impianto saranno visibili nella cabina di controllo così come eventuali messaggi di errore e di anomalia.

Il controllo del sistema per le iniezioni deve essere munito di un "inter-blocco" che non permetta l'avanzamento della macchina al superamento dei limiti di sicurezza preimpostati sui parametri di funzionamento della iniezione del betoncino.

Il sistema di iniezioni dovrà poter essere comandato nei modi automatico, semiautomatico e manuale.

### **11.2.11. Sistema di prospezione geognostica e consolidamento in avanzamento**

La TBM dovrà essere dotata di un sistema duale per la prospezione geognostica:

1. sistema geofisico che contestualmente alla fase di avanzamento sia in grado di analizzare il terreno davanti alla TBM per un tratto di almeno 30 metri con particolare riferimento all'individuazione dei trovanti;
2. attrezzatura di perforazione permanentemente installata e pronta all'uso.

Dovrà essere possibile eseguire indagini geotecniche e consolidamenti in qualsiasi posizione del tracciato e in particolare in quelle zone ritenute a rischio dagli elaborati del Progetto Esecutivo.

Il sistema geofisico sarà collegato a un monitor presente in cabina in modo che le informazioni ricevute siano subito utilizzate dal personale operante sulla TBM. I dati del sistema saranno registrati in una banca dati dedicata con riferimenti alle progressive di avanzamento.

Per le indagini da eseguire mediante la perforazione, sarà necessario prevedere un numero opportuno di fori di uscita sul mantello disposti sulla semicirconferenza superiore in prossimità della testa ed eventualmente anche sulla testa stessa. Detti fori dovranno essere attrezzati per permettere perforazioni di almeno 40 m di lunghezza.

La TBM sarà dotata permanentemente di un'attrezzatura di perforazione in avanzamento montata su apposita struttura rotante per permettere la perforazione attraverso le aperture previste nello scudo. Conseguentemente, nella camera di scavo dovrà essere prevista la predisposizione di fori per consentire il passaggio delle aste di perforazione per i sondaggi.

### ***11.2.12. Sistema di guida e di registrazione dei dati***

La TBM sarà dotata di un sistema di navigazione con restituzione grafica in cabina di controllo. Tale sistema dovrà continuamente monitorare la posizione della TBM e la sua tendenza rispetto il tracciato di progetto. Il sistema dovrà dare indicazione all'operatore a proposito della curva ottimale di correzione nel caso di disallineamenti rispetto il tracciato di progetto, inoltre il sistema selezionerà la tipologia di anello da montare (posizione della chiave) in base alla reale posizione della TBM.

Tutti i dati di funzionamento della TBM devono essere registrati dal "sistema di acquisizione e gestione dati", nel quale confluiscono almeno i valori dei parametri qui di seguito indicati:

1. Per il controllo del tracciato devono essere acquisite almeno le seguenti informazioni:
  - coordinate della posizione dello scudo e progressiva di avanzamento;
  - inclinazione verticale e orizzontale dell'asse TBM rispetto al tracciato;
  - tendenza dello scostamento piano-altimetrico rispetto al tracciato;
  - angolo di rollio dello scudo (rotazione intorno al proprio asse);
  - posizione piano-altimetrica degli anelli montati;
  - tipologia (posizione della chiave) degli anelli montati.
2. Per il controllo dell'attività di scavo devono essere acquisiti almeno i seguenti parametri:
  - velocità di rotazione della testa e senso di rotazione;
  - coppia applicata alla testa;
  - spinta applicata sulla testa;
  - spinta applicata allo scudo;
  - velocità di elongazione dei martinetti durante l'avanzamento (per ogni gruppo);
  - velocità di avanzamento globale;
  - pressione all'interno della camera di scavo per ogni singolo pressostato;
  - pressione lungo la coclea;
  - velocità della coclea, coppia applicata e senso di rotazione;
  - posizione della coclea (telescopismo);
  - apertura ghigliottina coclea;
  - quantità di smarino (in peso e volume);
  - volume perso;
  - quantità e pressione di additivi fluidificanti aggiunti (acqua, tensioattivo, aria, polimeri) per ogni singola linea in testa di scavo, in camera di lavoro e in coclea;
  - quantità e pressione del fluido iniettato per il mantenimento del riempimento della camera di lavoro;

- lettura in continuo della pressione e portata di ogni punto di iniezione d'intasamento;
- lettura in continuo della pressione e portata dal grasso di intasamento delle spazzole della coda.

Il software di gestione deve permettere l'archiviazione dei valori acquisiti, l'elaborazione dei dati e la presentazione grafica dei risultati mediante unità di misura ingegneristiche e in diverse scale dei tempi. Inoltre il software dovrà redigere in automatico un report per ogni anello scavato, dove saranno raccolti e riassunti i valori (minimo, massimo, medio) relativamente ai parametri principali di funzionamento.

Il software o comunque il sistema di acquisizione dati dovrà rendere disponibile, in tempo reale, il pacchetto completo dei dati acquisiti mediante un sistema di gestione dei dati TBM (hardware e software) che riceverà il pacchetto dai dati TBM direttamente dal sistema di acquisizione dati.

### **11.2.13. Sistemi di sicurezza**

La macchina sarà dotata di tutti i sistemi di protezione e sicurezza previsti dalle normative vigenti. La TBM e le relative attrezzature dovranno essere marcate secondo la Normativa Europea in materia di sicurezza delle macchine e impianti.

Per consentire l'accesso del personale durante i lavori di manutenzione ordinaria o straordinaria alla camera pressurizzata di scavo, lo scudo deve essere munito di camera iperbarica (progettata, fabbricata e collaudata in piena conformità alle norme vigenti). È necessaria la predisposizione di una camera iperbarica a doppio ambiente interconnesso in modo da permettere il contestuale ingresso del personale medico durante la decompressione dell'eventuale operatore infortunato. In posizione comoda deve essere prevista la collocazione delle valvole e dei manometri necessari alla corretta conduzione delle camere iperbariche nonché di un sistema di comunicazione collegato con le camere iperbariche. I diversi ambienti delle camere iperbariche saranno equipaggiati con sistemi di comunicazione interni e verso la rete telefonica pubblica oltre ad un sistema di emergenza.

L'alimentazione dell'aria compressa dovrà essere assicurata in tutte le fasi di lavoro da due sistemi di alimentazione completi (compressore, stazione di filtrazione, condutture e sistema di regolazione) e tra di loro connessi tramite by-pass.

### **11.3. Richieste aggiuntive riportate nel recente rapporto di verifica delle specifiche tecniche del Progetto Definitivo emesso da Italferr**

In aggiunta alle indicazioni riportate nel precedente paragrafo, si riportano di seguito le richieste di Italferr riportate nel rapporto di verifica della progettazione relativamente al seguente documento del Progetto Definitivo: "Specifiche Tecniche Macchina di Scavo" (documento IN0500DE2SPGN020X003). Tali indicazioni sono state recepite nel presente Progetto Esecutivo ed in particolare nella presente relazione.

- Testa fresante. La macchina dovrà avere la possibilità di intercambiare picchi con dischi dall'interno della macchina in tempi rapidi.
- Cuscinetto principale. Il cuscinetto dovrà essere studiato in modo tale che, in caso di danneggiamento, possa avvenire la sostituzione sia del cuscinetto stesso che delle guarnizioni direttamente dall'interno dello scudo così da evitare interventi dall'esterno tramite la realizzazione di pozzi. L'Appaltatore dovrà mettere a punto una corretta procedura di sostituzione cuscinetto da sottoporre per l'approvazione all'esame della DL.
- Cuscinetto principale. Dovrà essere sempre disponibile un cuscinetto di riserva trasportabile in cantiere nel più breve tempo possibile, dando evidenza di codesta disponibilità alla DL.

- Camera di scavo. Dovrà essere prevista la predisposizione di fori per consentire il passaggio delle aste di perforazione per i sondaggi.
- Camera di scavo. Il diaframma metallico dovrà essere dimensionato per pressioni di esercizio almeno pari alla pressione massima di stabilizzazione del fronte prevista nella relazione di calcolo della galleria.
- Scudo. Carichi ovalizzanti e possibili fenomeni di instabilità devono essere considerati dal fornitore dello scudo secondo consuetudine ed in funzione delle possibili situazioni di utilizzo della TBM (blocco, ecc.).
- Scudo. Il sistema di spazzole dovrà essere adeguato alle pressioni massime di iniezione previste in progetto, in modo tale, comunque, da evitare l'ingresso della malta d'intasamento a tergo dei conci.
- Estrazione con coclea. La coclea deve essere dimensionata per garantire una portata oraria sufficiente a soddisfare le prestazioni di avanzamento della TBM previste in progetto.
- Iniezione di additivi. Le linee di iniezione alla testa di scavo devono essere indipendenti (per l'iniezione indipendente di schiuma, acqua libera, polimeri e bentonite) e ciascuna linea deve essere dotata di un flussimetro di controllo.
- Sistema di spinta. L'appoggio del martinetto sull'anello di rivestimento deve essere studiato in modo tale da ottenere un contatto uniforme: ad esempio, equipaggiando l'estremità di ogni martinetto con un cuscinetto ammortizzatore montato su un manicotto a sfera e di collegamento e coperto con poliuretano.
- Iniezione di intasamento a tergo dei conci. Descrizione del sistema. Il serbatoio contenente la miscela cementizia (componente A) dovrà avere capacità sufficiente all'iniezione completa dell'intercapedine tra il terreno scavato e l'estradosso del concio almeno per una spinta. Dovrà essere presente anche il serbatoio per il componente B.
- Iniezione di intasamento a tergo dei conci. Descrizione del sistema. Il controllo continuo dei volumi di malta iniettata dovrà avvenire mediante un flussimetro installato su ciascuna linea di iniezione.
- Cabina di comando e controllo. In cabina di comando, oltre alla registrazione dei parametri fondamentali del sistema dovrà essere possibile effettuare la stampa di documenti (ad es. di report di scavo, grafici, ecc.).
- Monitoraggio. Il sistema di registrazione ed elaborazione dei dati deve permettere la rappresentazione dei dati anche da remoto mediante grafici, in funzione del numero dell'anello e della progressiva di riferimento, immediatamente comprensibili con unità di misura e scala dei tempi opportuna. Il software di gestione dei dati deve permettere ulteriori operazioni matematiche sulla serie di misure per agevolarne l'interpretazione anche da parte del Progettista e della Direzione Lavori.
- Monitoraggio. Per il sistema di iniezione della malta cementizia di backfilling occorre monitorare anche il volume di iniezione iniettato da ciascuna linea per ciascun avanzamento ed il volume cumulato iniettato da tutte le linee.
- Monitoraggio. Per il sistema di iniezione del grasso occorre monitorare per ciascun avanzamento il volume di ciascun grasso/olio utilizzato per la lubrificazione delle guarnizioni del cuscinetto.
- Monitoraggio. Alla fine dei lavori tutti i dati dei parametri macchina registrati devono essere archiviati in modo ordinato ed in formato editabile (\*.csv/\*.xls/similare) e consegnati, preferibilmente anche con software di lettura ed elaborazione, su supporto informatico.

#### 11.4. Conclusioni

Sulla base di quanto riportato nei precedenti paragrafi, si evidenziano i seguenti aspetti critici per i miglioramenti tecnologici richiesti al costruttore della EPBM da impiegare nello scavo della galleria Lonato:



- A. controllo ed adeguamento della contropressione al fronte, anche in situazioni con una ridotta frazione fine nel materiale di scavo;
- B. contenimento della perdita di volume dovuta alla conicità dello scudo;
- C. eliminazione della perdita di volume che potrebbe manifestarsi allo sfilamento dello scudo di coda.
- D. Mitigazione dei rischi dovuti alla presenza di trovanti inclusi nella matrice;
- E. Controllo della usura sugli utensili e relativa ottimizzazione delle procedure e dei metodi di manutenzione.

Allo scopo di gestire un accurato controllo di una grandezza è necessario misurare dettagliatamente la grandezza stessa. Poiché la maggiore entità di volume perso (cioè volume che entra inopinatamente nella macchina sparendo dal contorno e quindi lasciando vuoti che evolvono in cedimenti) è legata al valore della contropressione al fronte, essa va misurata con precisione.

Da ciò la macchina offerta dovrà essere arricchita rispetto al consueto da varie attrezzature e modalità operative che non sono ordinarie:

- mantenimento della contropressione al fronte sempre attiva ai valori di progetto e confermati dall'esperienza diretta di scavo nelle prime tratte sperimentali non ancora strettamente vincolate, anche in concomitanza delle fermate della macchina (installazione conci, manutenzioni e riparazioni), che sono i momenti più delicati, mediante vari provvedimenti: un maggior numero rispetto al consueto di sensori di pressione per il rilevamento della pressione nella camera di condizionamento, con relativo più dettagliato controllo della densità del terreno condizionato, posizionando il più alto dei sensori il più possibile vicino alla calotta della camera ove tendono a salire eventuali vuoti o accumuli di schiuma o liquidi;
- installazione in posizione prossima alla calotta della camera di condizionamento di una valvola di rilascio di aria, schiuma o liquidi, manovrabile dall'operatore alla guida direttamente dalla cabina di controllo della TBM;
- installazione assialmente lungo la parte superiore dello scudo di apposite valvole per eventuali iniezioni a pressione controllata di miscela bentonitica adeguatamente densa, in modo da riempire immediatamente il sovrascavo ed il vuoto anulare dovuto alla conicità dello scudo;
- eventuale iniezione automatica nella camera di scavo alla pressione prestabilita di miscele bentonitiche a densità prestabilita per sopperire istantaneamente a cali del valore della contropressione stabilizzante (che in particolare sono frequenti in occasione della fermata a causa della sedimentazione del terreno nella camera, nonché per altre svariate cause minori);
- iniezioni integrative di acqua al centro della camera di condizionamento per evitare che si formino terreni a grana fine semicotti e duri che impediscono la buona rotazione della testa fresante;
- controllo continuativo preciso ed in tempo reale del volume di terreno scavato, mediante due bilance installate sui nastri di smarino e frequentemente tarate, soprattutto nelle tratte in pendenza della galleria, quando a causa della gravità cambia la tensione nel telo del trasportatore. I valori di peso saranno analizzati e processati automaticamente e con continuità dal computer di bordo e potranno determinare l'interruzione dello scavo in casi di estrazione superiore od inferiori ai valori di allarme predefiniti.

### 11.5. Check list delle caratteristiche della EPBM proposta dal singolo costruttore

Nelle seguenti tabelle è riportata una check list delle caratteristiche tecniche della macchina richiesta.

## DESCRIZIONE

### Dati Generali del Progetto

Lunghezza totale della galleria

Geometria del rivestimento

Raggio minimo (del rivestimento)

Raggio minimo di progetto

Pendenza massima

Pressione Operative (Asse Galleria)

### Scudo

#### Scudo Frontale

Diametro esterno (mm)

Spessore della camicia

Spessore della paratia di pressione

Qualità dell'acciaio

Sistema di unione degli elementi

Lunghezza

Numero sensori di pressione di terra

Posizione dei sensori di terra

Posizione dei sensori di pressione di terra sulla camicia

Numero di stabilizzatori antirollio

Peso complessivo carpenteria

Sistemi di riduzione del rollio

Numero di camere iperbariche per il personale

Linee di iniezione per schiuma

Linee di iniezione per acqua in pressione

Sistemi di agitazione (propeller)

Monitoraggio Temperatura della paratia

Utilities per la manutenzione

Sistemi di Controllo riempimento della camera di scavo

Videocamera di sorveglianza

Numero di camere iperbariche per trasferimento materiali

#### Scudo Mediano

Diametro esterno (mm)

Spessore della camicia

Lunghezza

Qualità dell'acciaio

Sistema di unione degli elementi

Number of thrust cylinders

Stroke of thrust cylinders (mm)

Forza di Spinta Massima Nominale

Forza massima di Spinta Eccezionale

Velocità massima di estensione dei cilindri in fase di avanzamento (mm/min)

Massima velocità di ritrazione dei cilindri idraulici (mm/min)

Dimensione dei cilindri di spinta (pistone / stelo / corsa )

Numero di passaggi per perforazioni in avanzamento

Numero sensori di pressione di terra

Posizione dei sensori di pressione di terra sulla camicia

Diametri dei passaggi

Peso complessivo

Massima eccentricità dei cilindri di spinta verso rivestimento (mm)

Passaggi per lubrificazione camicia scudo

Area di contatto tra scarpe cilindri e conchi (m<sup>2</sup>)

#### Coda

Diametro esterno (mm)

Spessore della camicia

Lunghezza

Qualità dell'acciaio

Sistema di unione degli elementi

Peso complessivo

Collegamento con scudo mediano

Numero di file di spazzole di isolamento

Piastra di tamponatura esterna

Numero di linee per riempimento a tergo (attive)

Numero di linee per riempimento a tergo (di riserva)

Numero di linee per iniezione grasso per isolamento

**Testa di Scavo**

Diametro nominale di scavo
Peso complessivo (kN)
Profondità della testa
Fattore di Apertura (%)
Coppia Nominale Massima / Velocità di Rotazione (kNm / r.p.m)
Coppia di Sblocco (kNm)
Velocità di Rotazione (r/min)
Qualità dell'acciaio
Punti di iniezione per la schiuma
Punti di iniezione per acqua in pressione
Sistema di controllo del sovrascavo
Distributore rotativo
Sistema di collegamento con trasmissione principale
Tipologia di utensili per raccolta del materiale
Distanza tra Cuter Ring e carpenteria frontale
Traslazione Longitudinale della Testa di Scavo (mm)
Sistema di traslazione longitudinale
Direzioni di rotazione
Sistemi di rilevamento Usura

**Utensili di Scavo**

Tipologia Dischi
Numero di Cutter Disc
Spaziatura (mm)
Forza di contatto per ogni cutter disc (kN)
Utensili di sovrascavo regolabile (idraulico)
Penetrazione massima per i dischi (mm/rev)
Altra tipologia di utensili
Quantità degli utensili a scalpello
Quantità degli utensili raschiatori
Manutenzione

**Trasmissione Principale**

Tipologia
Numero di Motori Elettrici
Potenza Totale Installata (kW)
Forza per lo spostamento longitudinale della Testa di Scavo
Numero di Cilindri per lo spostamento Longitudinale
Dimensione dei cilindri (pistone / stelo / corsa )
Numero di cilindri per il supporto della Coppia
Dimensione dei cilindri (pistone / stelo / corsa )
Numero di Pompe Idrauliche per la Trasmissione Principale
Tipologia delle Pompe
Velocità nominale di rotazione delle pompe (r.p.m.)
Cilindrata delle pompe (l/rev.)
Portata nominale complessiva delle pompe (l/min)
Pressione Nominale di lavoro delle pompe (bar)
Pressione Massima di lavoro delle pompe (bar)
Numero di Motori Idraulici
Tipologia dei Motori Idraulici
Potenza Idraulica Totale Installata (kW)
Velocità Nominale massima di rotazione dei Motori Idraulici (r.p.m.)
Cilindrata/e dei motori idraulici (l/rev)
Portata Massima Nominale complessiva dei motori idraulici (cm³/min)
Pressione Nominale di Lavoro (bar)
Pressione Massima di Lavoro (bar)
Tipologia di Collegamento Motore / Riduttore
Coefficiente di Riduzione del riduttore
Coppia Nominale dei Riduttori(Nm)
Numero di pinioni
Numero di denti sui pinioni
Tipologia cuscinetti per i pinioni
Diametro Esterno / Interno della corona principale di trasmissione (mm)
Numero di denti della corona principale (Esterno / Interno)
Tipologia di Cuscinetto Principale
Diametro del cuscinetto principale (mm)
Life time del cuscinetto Principale
Fornitore del Cuscinetto Principale
Massima Forza assiale per il cuscinetto (kN)
Numero di canali per la tenuta di isolamento (Sistema Esterno)
Numero di canali per la tenuta di isolamento (Sistema Interno)
Monitoraggio Temperatura del sistema di tenuta
Lubrificanti per il sistema di Tenuta
Camera di controllo
Tipologia del sistema di lubrificazione per i pinioni
Tipologia del sistema di lubrificazione dei riduttori
Tipologia del sistema di lubrificazione del cuscinetto

Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001Rev.  
AFoglio  
68 di 90**Camere di transito iperbariche per il personale**

Quantità

Lunghezza

Diametro

Pressione Operativa

Pressione di collaudo

Numero di persone

**Erettore per i conchi**

Capacità Statica (kN)

Capacità Dinamica (kN)

Motorizzazione

Velocità di rotazione (r/min)

Ampiezza di Rotazione

Coppia (kNm)

Potenza Installata (kW)

Corsa dei cilindri telescopici (mm)

Sistema di Presa

Fattore di sicurezza del sistema di presa

Sistema di Controllo

Corsa dei cilindri spostamento longitudinale (mm)

Velocità di spostamento longitudinale (m/min)

Velocità estrazione cilindri telescopici (m/min)

Gradi di libertà complessivi

Peso erettore (t)

Vuoto (mbar)

Possibilità per la rimozione ultimo anello per manutenzione spazzole

Area di contatto della ventosa

Sistema di sicurezza in caso di black-out

**Coclea di Smarino**

Numero di coclee

Sistema di Motorizzazione

Diametro Interno (mm)

Diametro Esterno (mm)

Lunghezza (mm)

Power (kW)

Velocità di rotazione in estrazione (r/min)

Senso di rotazione

Passo (mm)

Portata nominale massima (m<sup>3</sup>/h)

Dimensione massima del passante (mm)

Numero di celle di pressione

Coppia massima (kNm)

Corsa longitudinale (mm)

Posizione della coclea

Pressione di collaudo (bar)

Punti di iniezione schiuma / acqua

Ghigliottine di chiusura posteriori (no.)

Ghigliottine di chiusura anteriore (no.)

**Sistema di Perforazione**

Sistemi di trasporto (no.)

Martelli (no.)

Carrelli (no.)

Potenza Installata (kW)

Pannelli di controllo

**BACK-UP Struttura, Installazioni ed equipaggiamenti****Back-up**

Numero di Carri

Sistema di supporto/traslazioni

Lunghezza totale del Back-Up (m)

Tipologia dei carri (aperti / chiusi)

Carico massimo per gruppo di ruote (t)

Distanza tra la coda e il primo punto di carico sul rivestimento

Sistema di sterzature dei gruppi ruota (dove applicabile)

Sistema di connessione

**Cabina di Controllo**Superficie (m<sup>2</sup>)

Sistema di condizionamento dell'aria

Isolamento Acustico

Isolamento da vibrazioni

Sistema di Acquisizione dei dati

Monitor per telecamere di sorveglianza

Monitor per controllo fresa

Monitor per controllo nastri

Monitor per sistema di guida

Monitor per sistema monitoraggio Gas

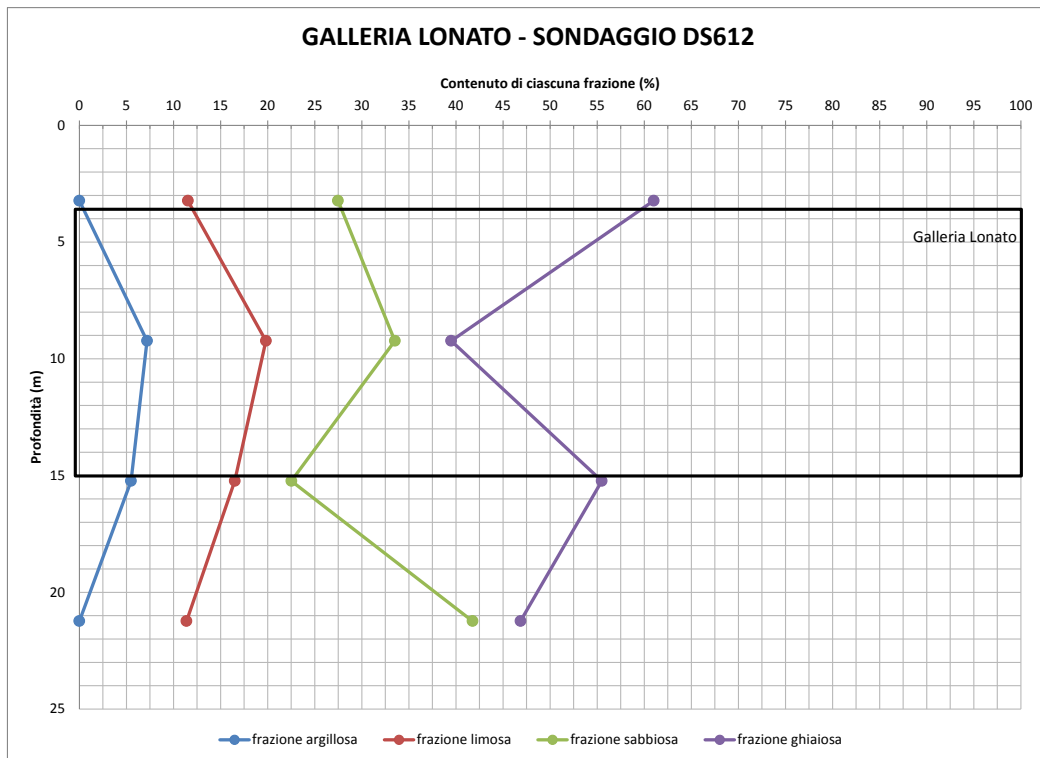
Monitor per sistema di Indagini in Avanzamento

<b>Sistema di Navigazione</b>
Fornitore
Modello
Indicare Marca e Modello del Teodolite
Sistema di trasmissione dati e supporto in remoto
Software addizionale per acquisizione dati
<b>Nastri di Smarino</b>
Numero di Nastri
Lunghezza del nastro Macchina / Nastro Trasversale
Larghezza del Nastro Macchine /Nastro Trasversale
Velocità del nastro Macchina / Nastro Trasversale (m/s)
Potenza installata Nastro Macchina / Nastro Trasversale (kW)
Tipologia di Tappeto
Sistema di controllo
<b>Culla Portaconci</b>
Capacità
Sistema di controllo
<b>Gruetta per concii</b>
Tipologia
Capacità di sollevamento (t)
Velocità di sollevamento (m/min)
Velocità di traslazione (m/min)
Sistema di presa
Sistema di controllo
Sistemi di sollevamento ausiliario
<b>Sistema di Scarico rapido dei concii</b>
Tipologia
Capacità di sollevamento (t)
Controllo
<b>Impianto Elettrico Principale</b>
Tensione Primaria (kV)
Potenza Totale Installata (kW)
Voltaggio per i motori della trasmissione principale (V)
Voltaggio per gli altri motori (V)
Voltaggio illuminazione (V)
Numero e capacità dei trasformatori(kVA)
Sistema di rifasatura
Capacità dell'avvolgicavo (m)
Supporto per bobina cavo in stesura definitiva
Sezione del cavo di alimentazione (mm)
Ulteriori aree per bobine di cavi ausiliari
<b>Impianto Elettrico di Emergenza (M2)</b>
Tensione Primaria (kV)
Potenza Totale Installata (kW)
Voltaggio illuminazione (V)
Numero e capacità dei trasformatori(kVA)
Capacità dell'avvolgicavo o deposito (m)
Sezione del cavo di alimentazione (mm)
<b>Sistema Idraulico</b>
Potenza Totale (kW)
Pressioni di Lavoro (bar)
Capacità serbatoio Olio (m <sup>3</sup> )
Sistema Automatico Analisi Qualità Olio Idraulico
Portata circuito acqua di raffreddamento(m <sup>3</sup> /h)
<b>Sistema di Ingrassaggio e lubrificazione</b>
Numero di pompe per barili
Diametro dei barili
Sistemi di aiuto alla movimentazione
Sistema di preriscaldamento
Sistemi a cartuccia per ingrassaggi localizzati
<b>Impianto dell'acqua industriale</b>
Portata massima (m <sup>3</sup> /h) / temperatura (°C)
Capacità Serbatoio Interno (m <sup>3</sup> )
Capacità sistema di allungamento dei tubi (m)
Potenza Installata (kW)
Sistema di recupero/riciclo acqua di risulta
Portata del sistema di recupero/riciclo (m <sup>3</sup> /h)
Rete interna per lavaggio in alta pressione
Potenza Impianto di recupero/riciclo (kW)

<b>Impianto dell'acqua di raffreddamento</b>
Portata in ingresso (m <sup>3</sup> /h) / temperatura (°C)
Numero di scambiatori
Capacità degli scambiatori
Capacità del sistema di allungamento (m)
Diametro della tubazione (mm)
Potenza Installata per circolazione interna (kW)
<b>Grout injection - bicomponent</b>
Numero di pompe - Componente A
Portata per ogni pompa - Componente A (m <sup>3</sup> /h)
Numero di pompe - Componente B
Portata per ogni pompa - Componente B (m <sup>3</sup> /h)
Pressione massima di iniezione
Diametro delle linee (mm)
Numero di punti di iniezione
Serbatoio
Storage tank capacity (m <sup>3</sup> )
Potenza Installate per il sistema di iniezione (kW)
Sistemi di ausilio alla manutenzione
<b>Sistema di recupero acqua di risulta</b>
Capacità di pompaggio (m <sup>3</sup> /h)
Numero di pompe in area scudo (m <sup>3</sup> /h)
Numero di pompe in area carro Back-Up 1
Flow rate of permanent pump (m <sup>3</sup> /h)
Flow rate of emergency pump (m <sup>3</sup> /h)
Capacità del serbatoio di accumulo (m <sup>3</sup> )
Sistema di recupero/riciclo acqua di risulta
Capacità del sistema di allungamento (m)
Diametro della tubazione (mm)
Installed el. power (kW)
<b>Impianto di Condizionamento</b>
Numero di Generatori Schiuma
Numero pompe per il liquido
Numero pompe per tensioattivo
Maximum flow rate of foam (m <sup>3</sup> /h)
Numero linee per iniezione acqua
Portata complessiva sistema iniezione acqua in pressione (l/min)
Pressione massima sistema di iniezione acqua in pressione (bar)
Numero pompe per sistema di iniezione acqua in pressione
Potenza Installata Sistema produzione schiuma di condizionamento (kW)
Potenza Installa sistema di iniezione acqua in pressione (kW)
<b>Sistema Bentonite</b>
Numero di linee di iniezione
Capacità del sistema di allungamento (m)
Diametro della tubazione (mm)
Portata di iniezione (m <sup>3</sup> /h)
Capacità di stoccaggio a bordo (m <sup>3</sup> )
Tipologia del sistema di agitazione del serbatoio
<b>Sistema Lubrificazione Scudo</b>
Punti di Iniezione
Mezzo di Lubrificazione
Portata di iniezione (m <sup>3</sup> /h)
Sistema di controllo
<b>Sistema di Ventilazione a bordo fresa</b>
Quantità raccomandata di aria in ingresso alla fresa (m <sup>3</sup> /s)
Diametro della tubazione (mm)
Numero di cassette di ricarica
Capacità delle cassette di ricarica (m)
Ventilazione del nastro macchina
Portata per la ventilazione del nastro trasportatore (m <sup>3</sup> /s)
<b>Impianto Aria Industriale</b>
Numero di compressori
Capacità complessiva (m <sup>3</sup> /min)
Pressione di lavoro (bar)
Capacità del serbatoio (m <sup>3</sup> )
Potenza Installata (kW)
<b>Impianto Aria Respirabile</b>
Portata di aria richiesta (nm <sup>3</sup> /h)
Required pressure on board (bar)
Sistema di filtraggio per aria respirabile (a bordo fresa)
Pressione di lavoro (bar)
Capacità del serbatoio (m <sup>3</sup> )
Potenza Installata (kW)
<b>Altri sistemi di sollevamento e movimentazione</b>
Grucce per materiali zona prolungamento nastro galleria
Sistema di sollevamento e movimentazione cassetta di accumulo tubazione di ventilazione
Sistema di ausilio integrale per la movimentazione/posa/installazione e collegamento delle tubazioni di servizio
Sistema Integrato per il sollevamento/movimentazione dei materiali nella camera di lavoro



**ALLEGATO A – GRAFICI INTERPRETATIVI DELLE ANALISI GRANULOMETRICHE EFFETTUATE PER CIASCUN SONDAGGIO PER QUANTO CONCERNE LE DIVERSE FRAZIONI DI TERRENO**



Doc. N.

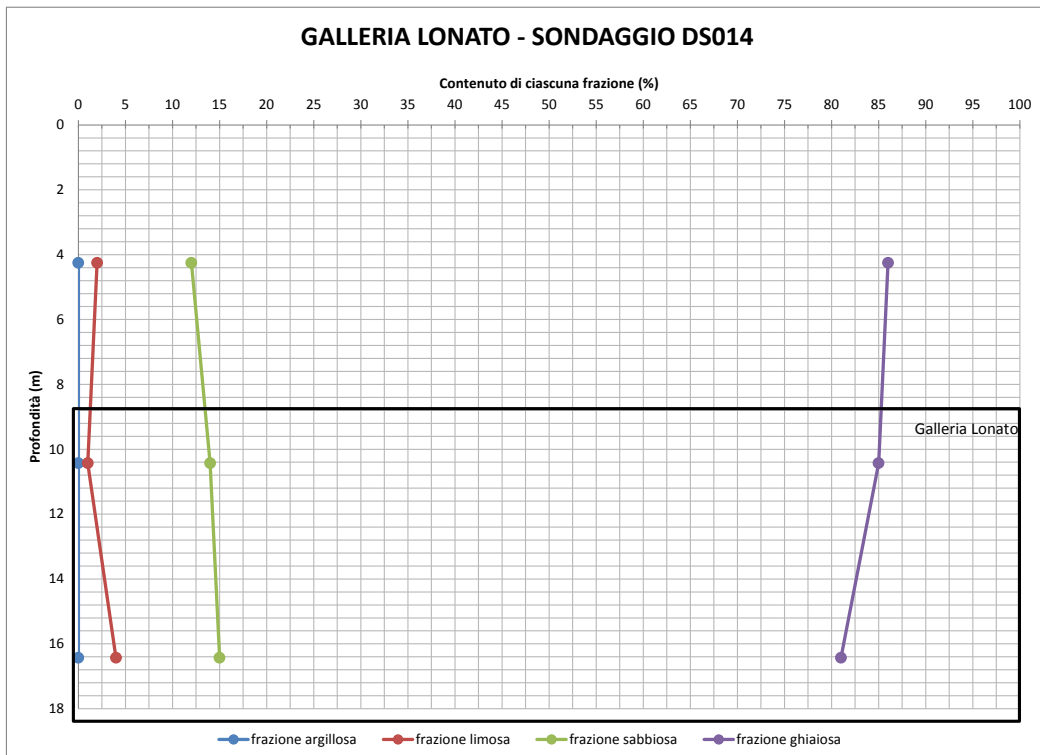
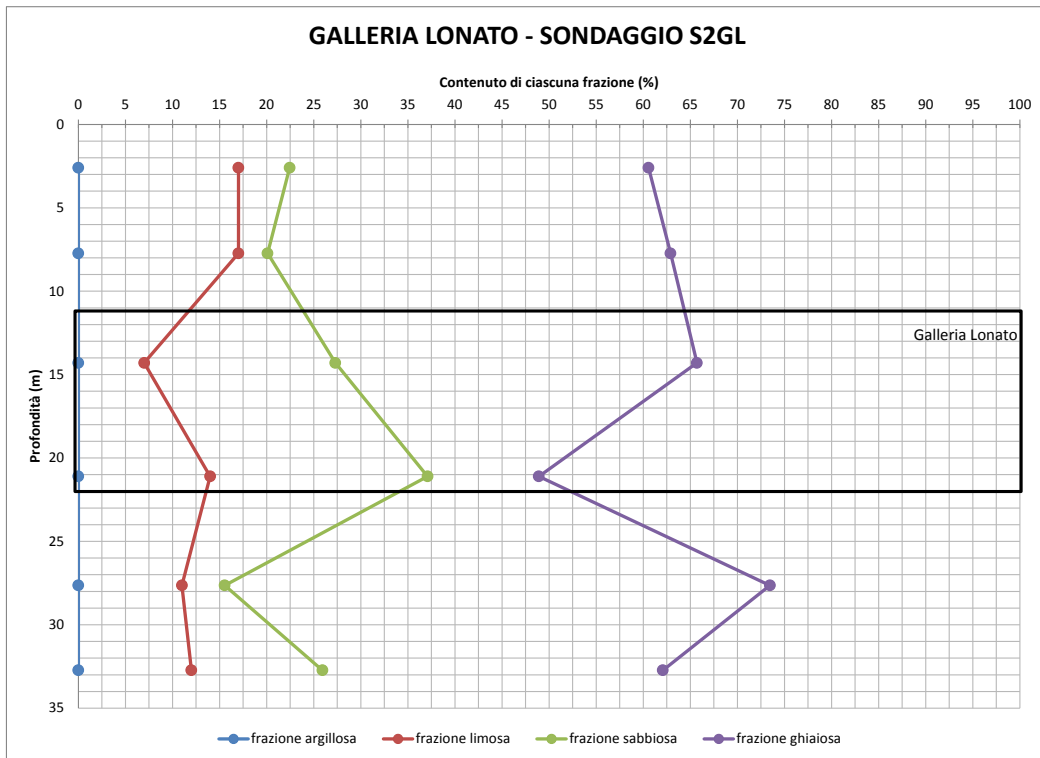
Progetto  
INOR

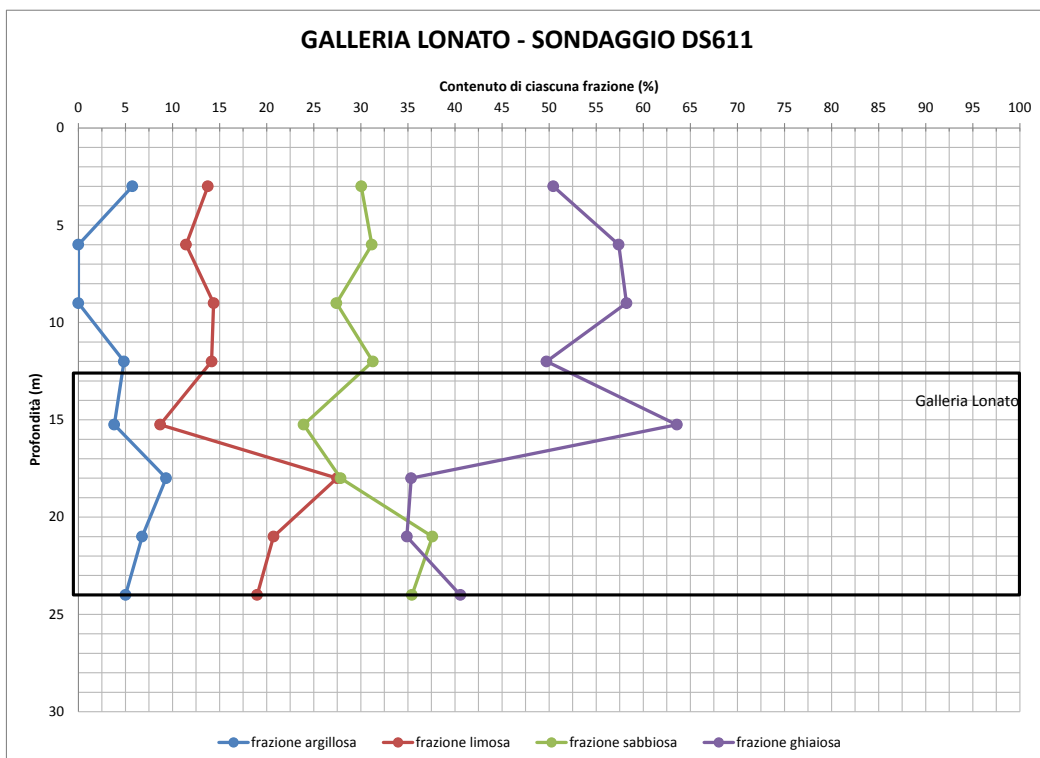
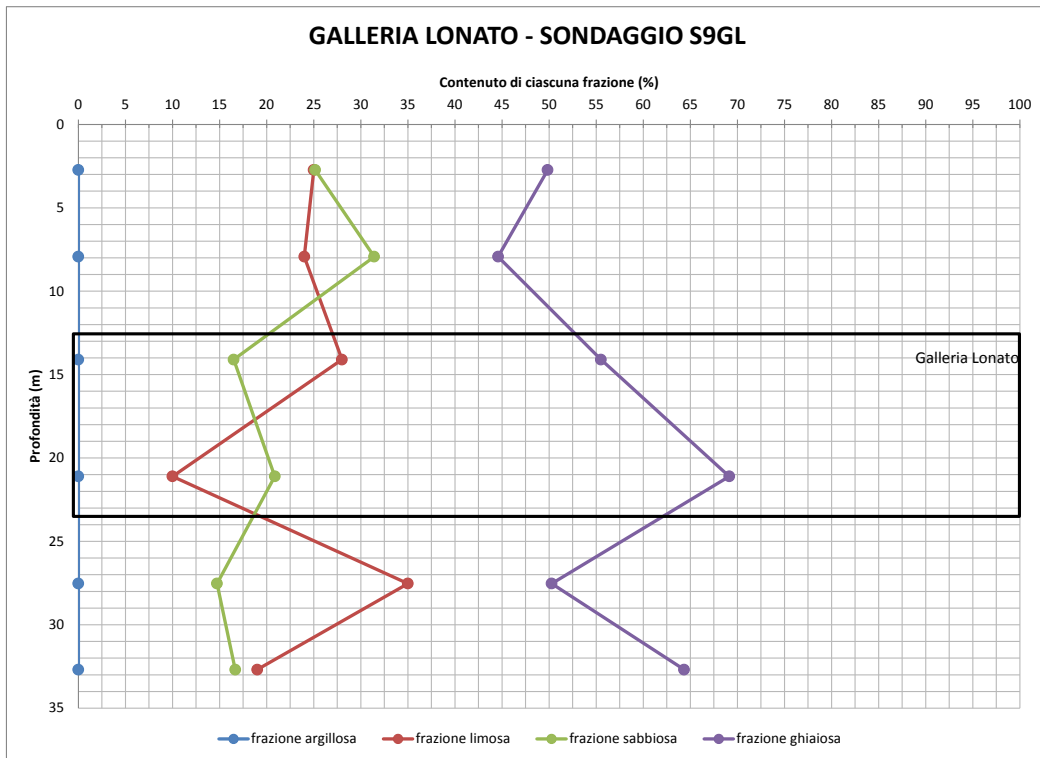
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
72 di 90





Doc. N.

Progetto  
INOR

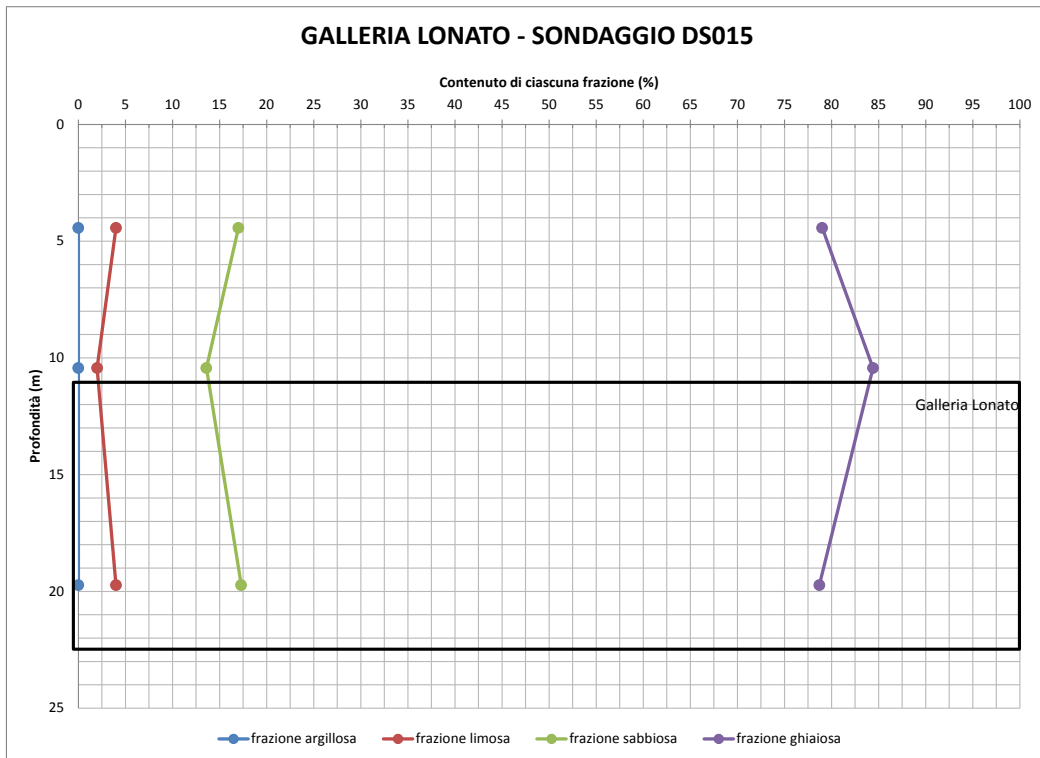
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

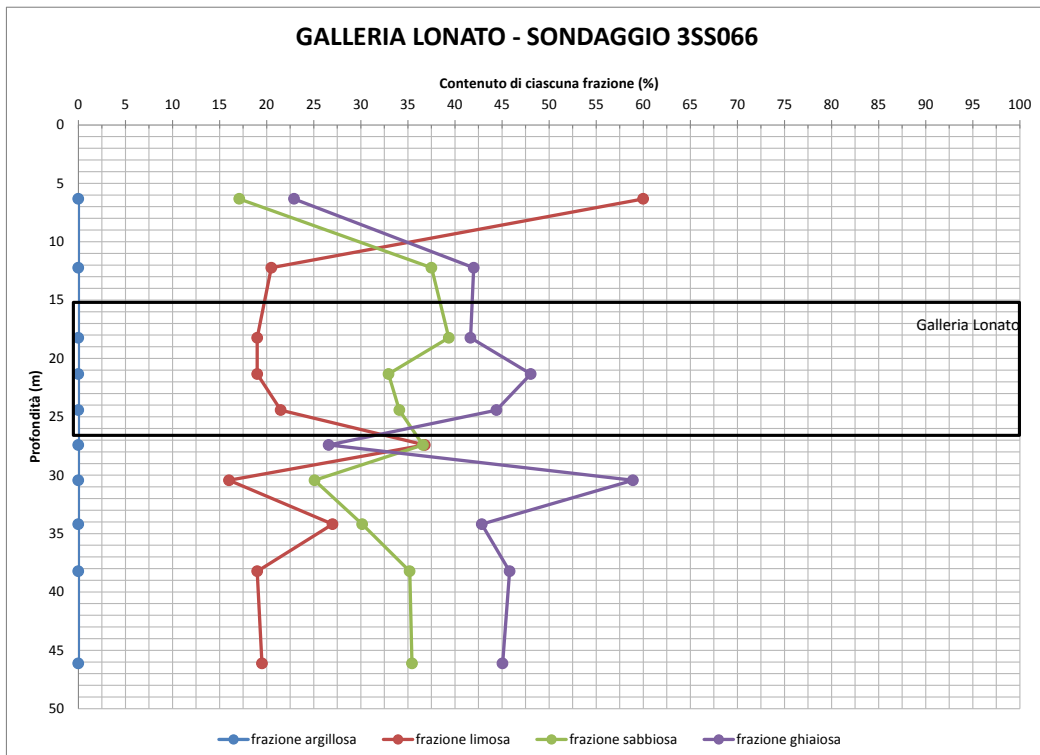
Rev.  
A

Foglio  
74 di 90

**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS015**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SS066**



Doc. N.

Progetto  
INOR

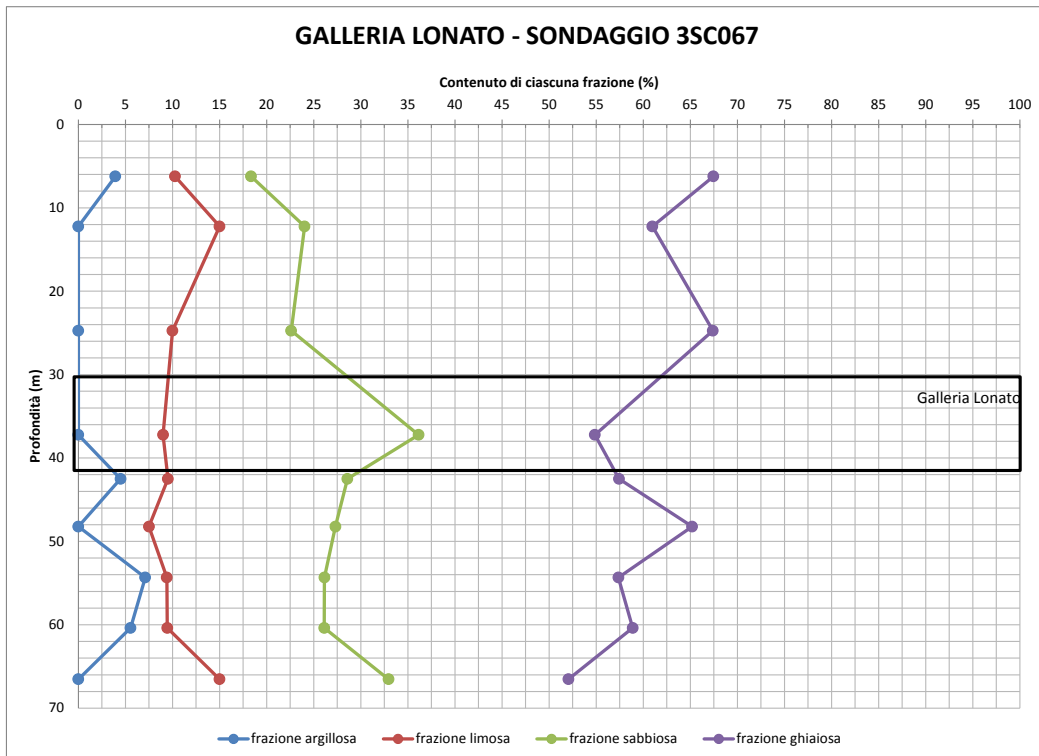
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

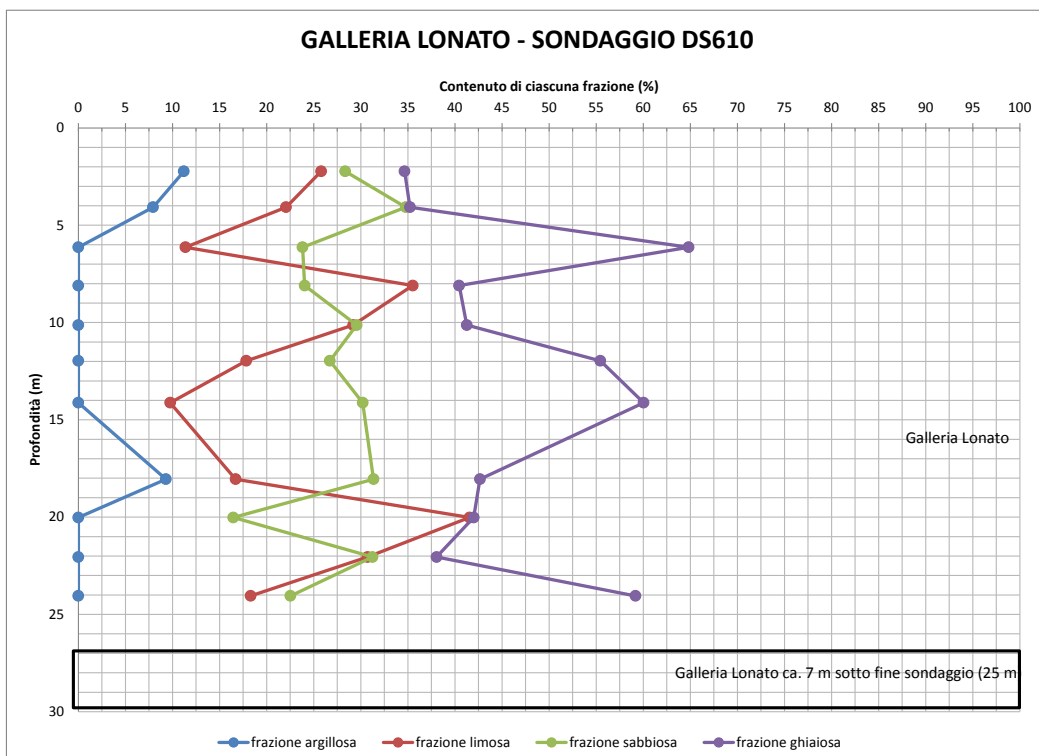
Rev.  
A

Foglio  
75 di 90

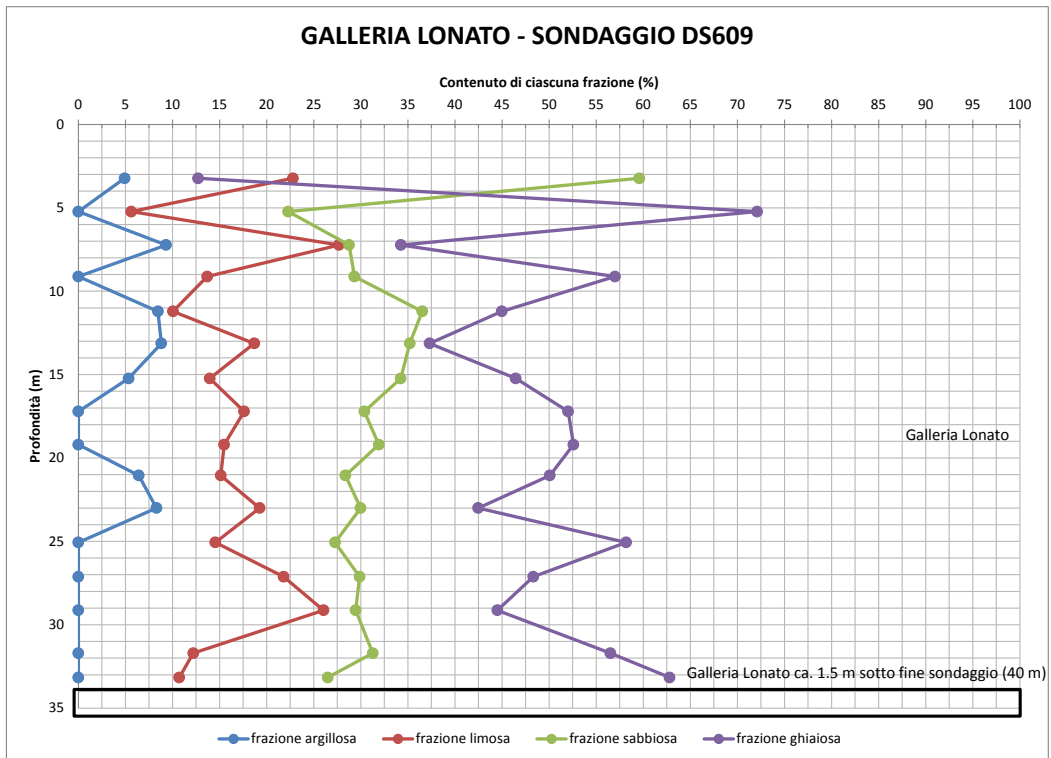
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SC067**



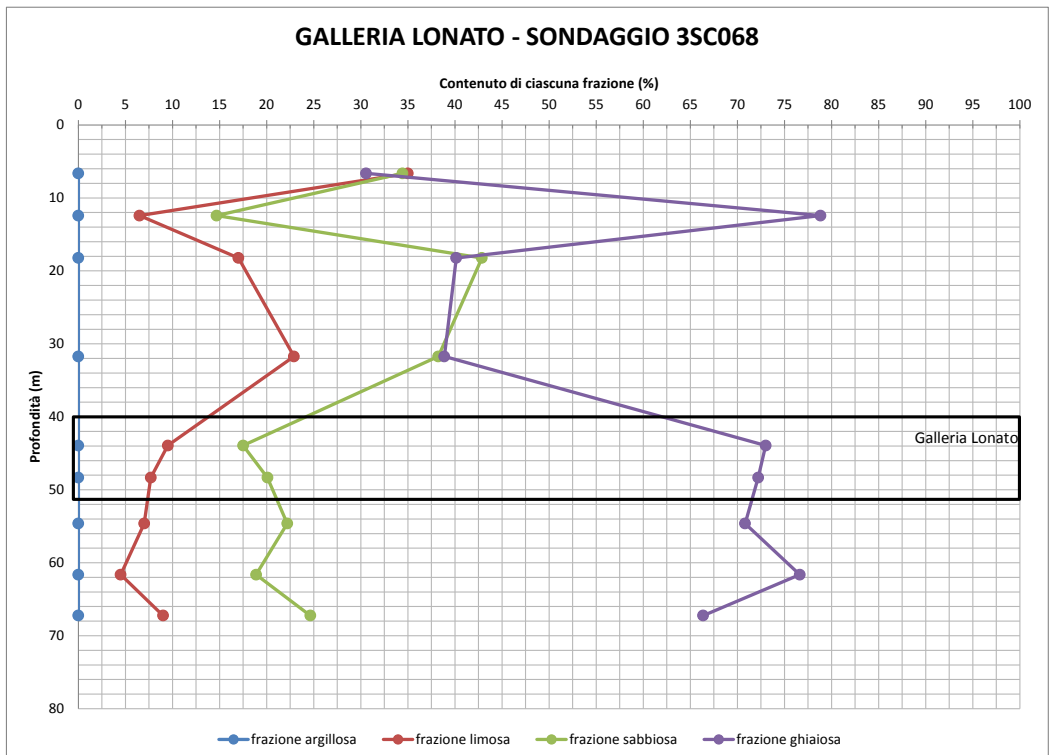
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS610**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS609**

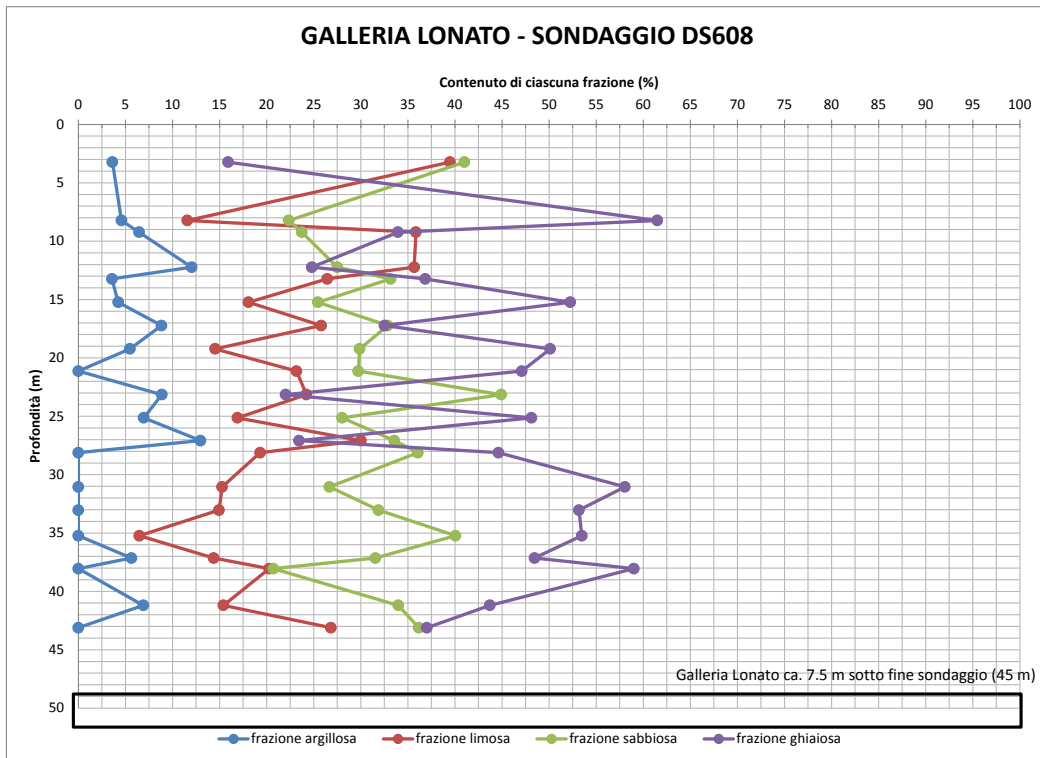


**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SC068**

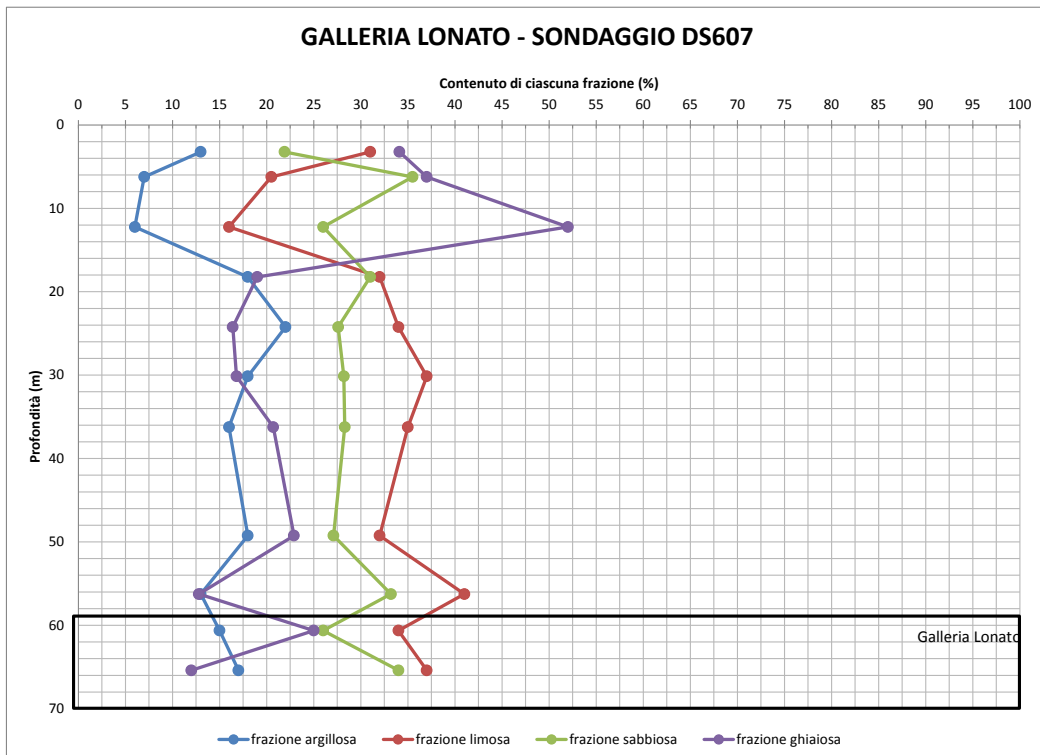




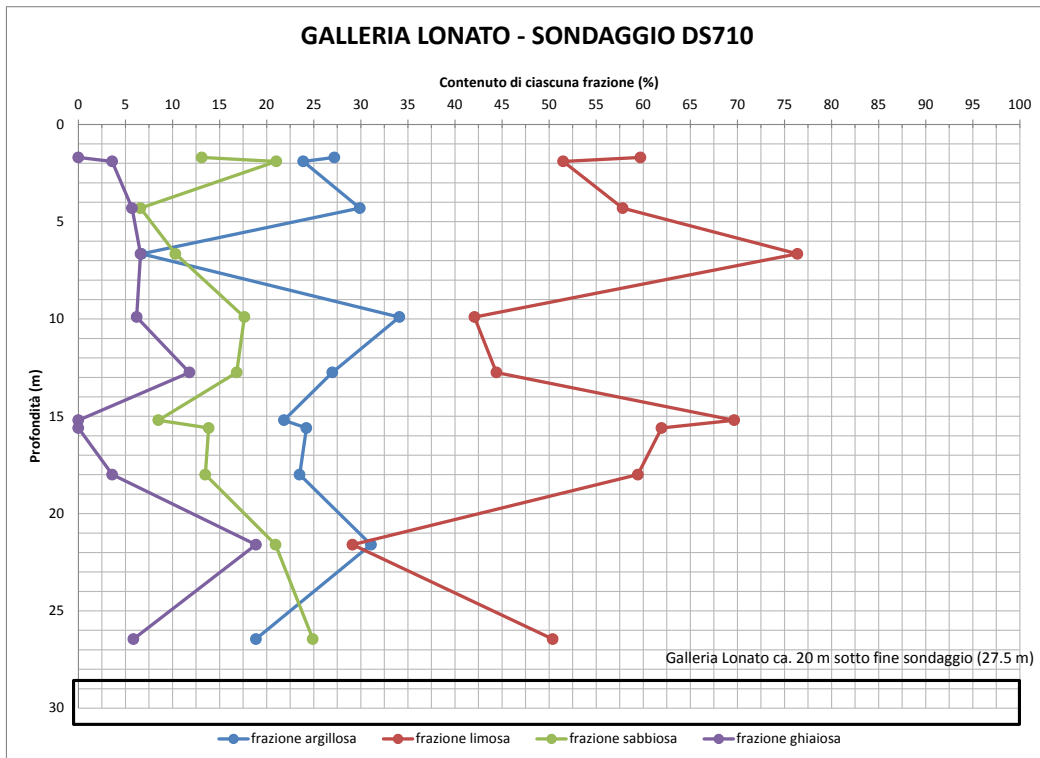
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS608**



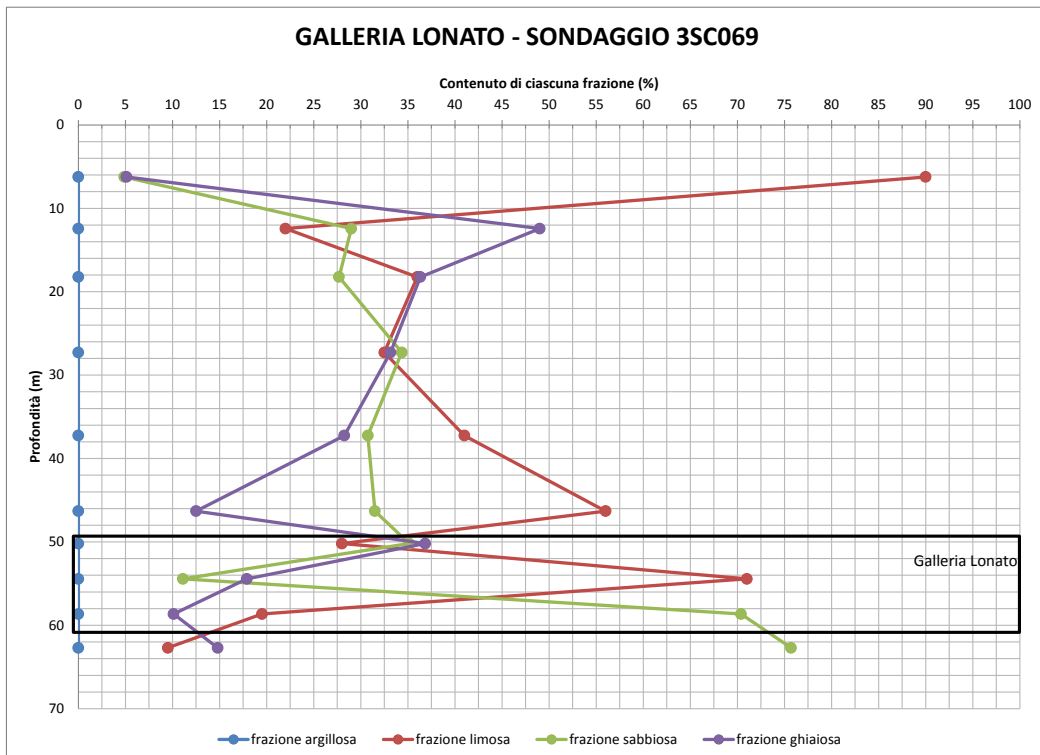
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS607**



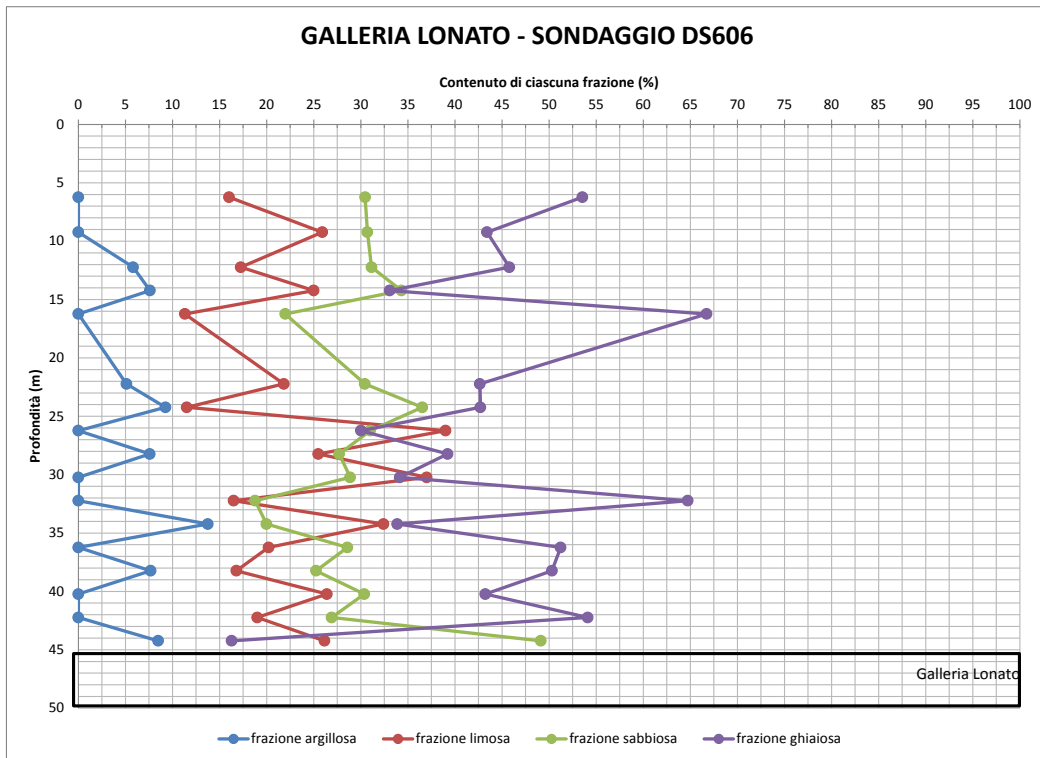
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS710**



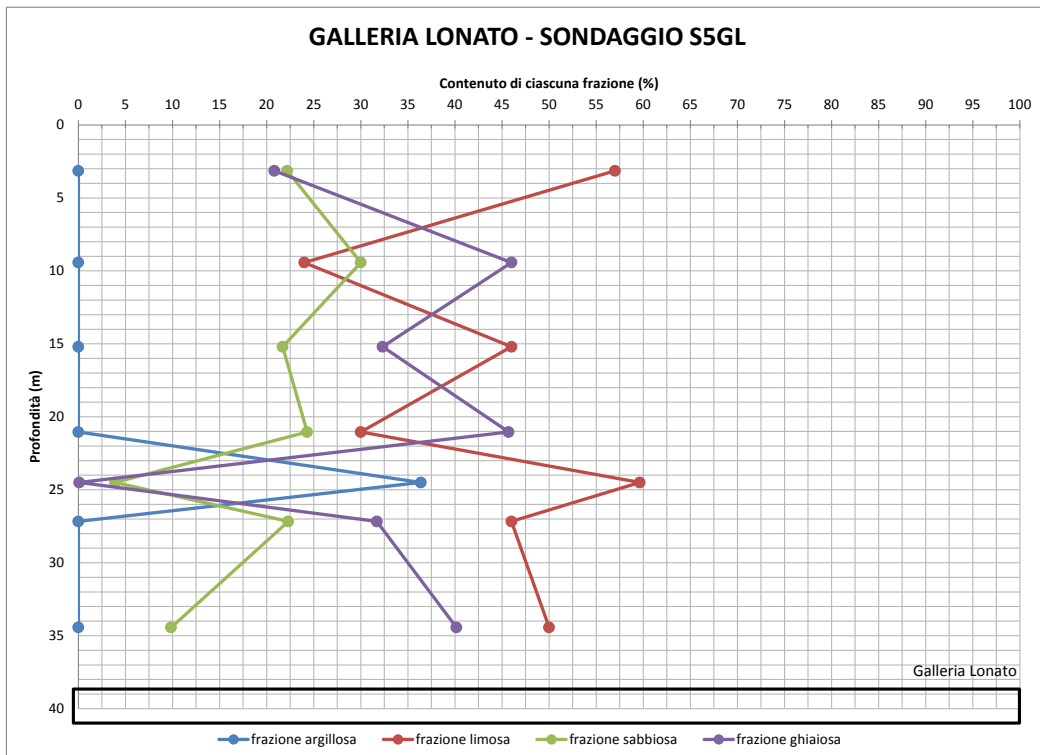
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SC069**



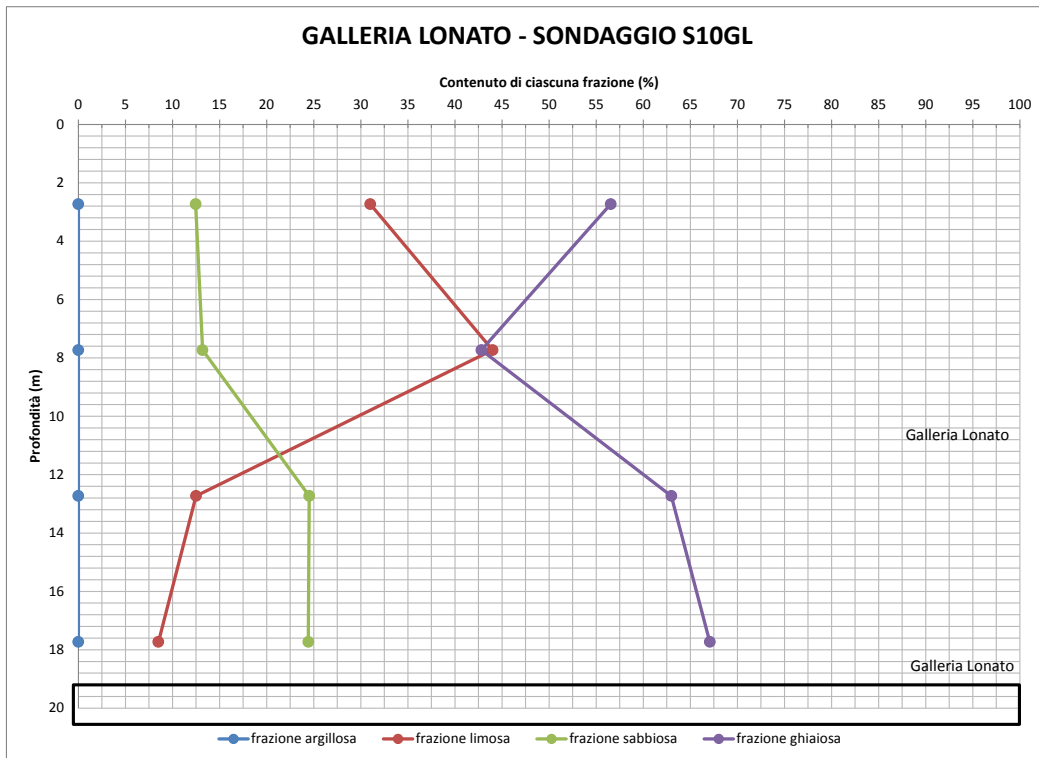
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS606**



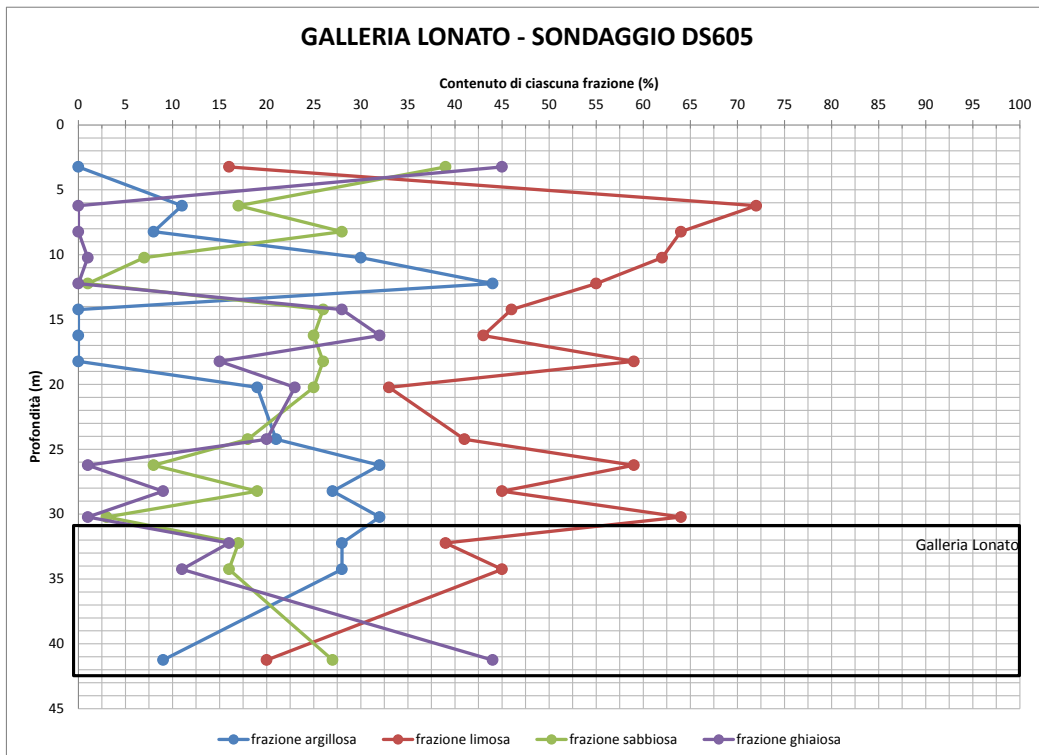
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S5GL**



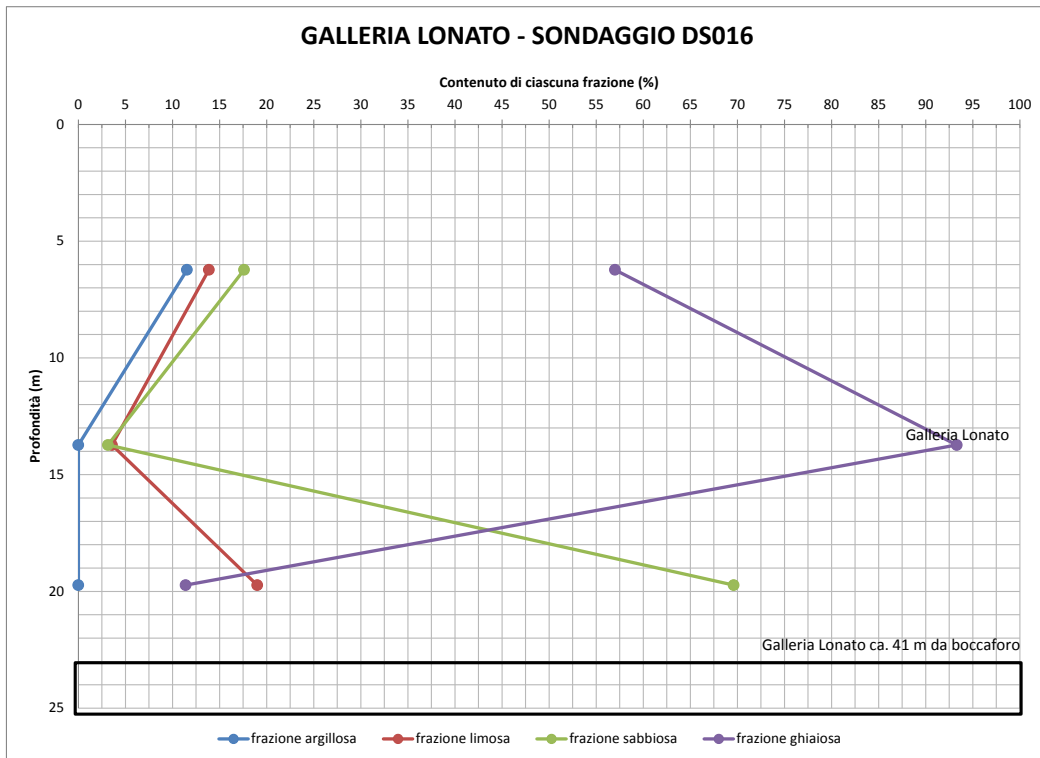
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S10GL**



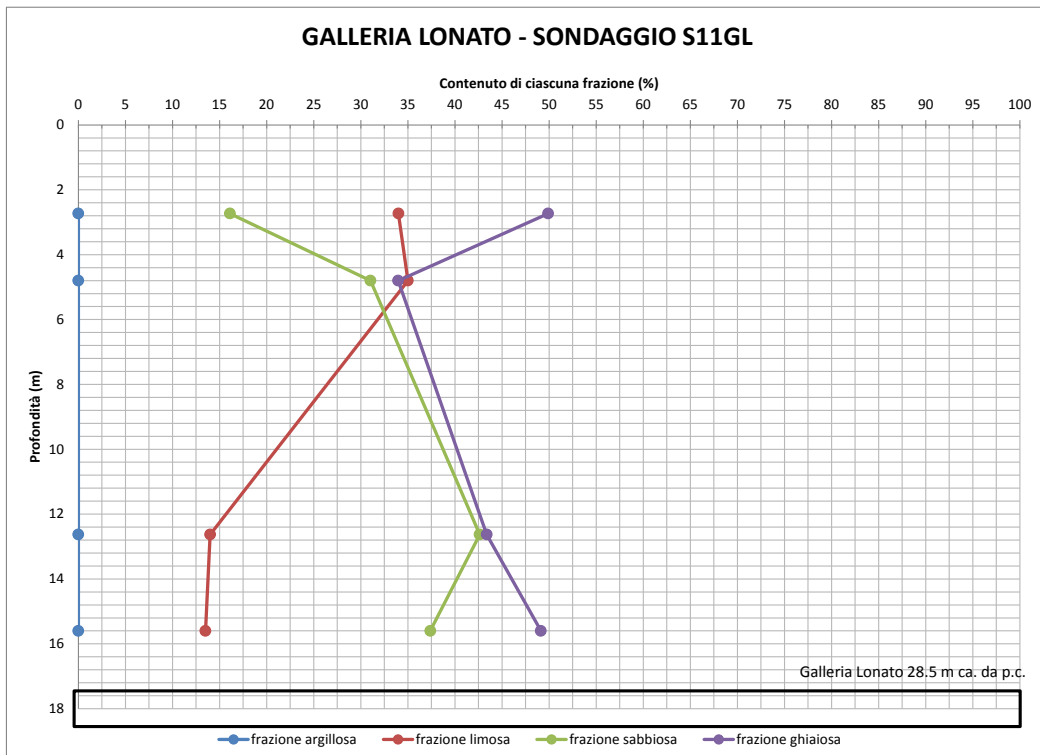
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS605**



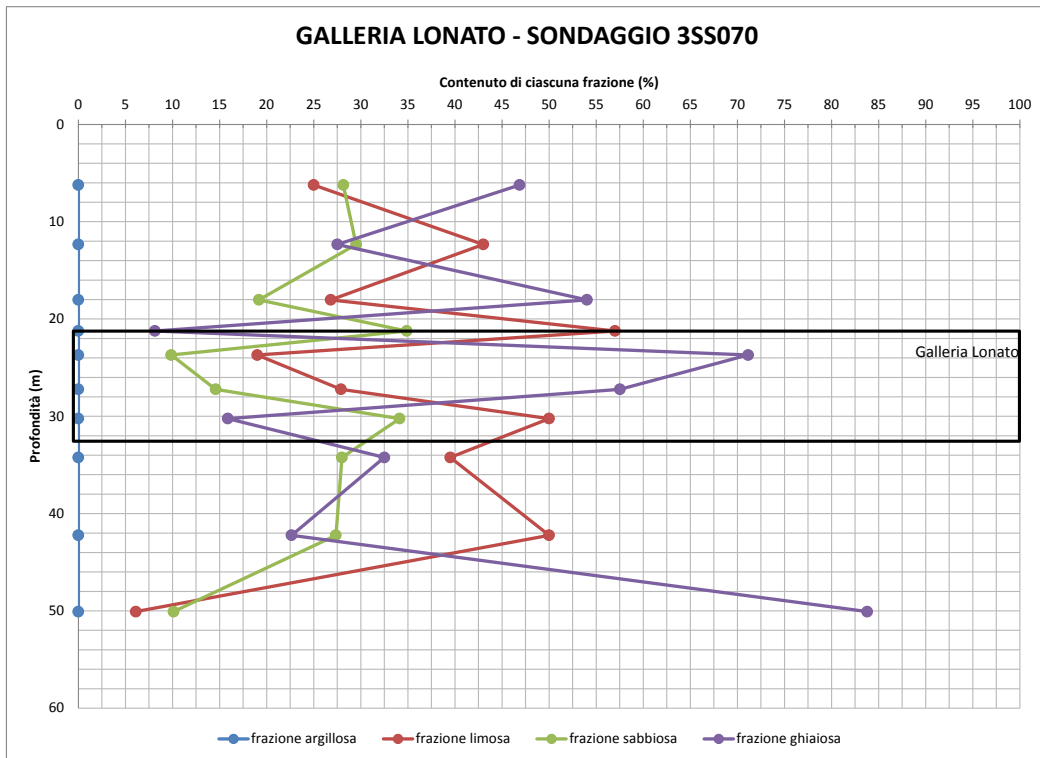
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS016**



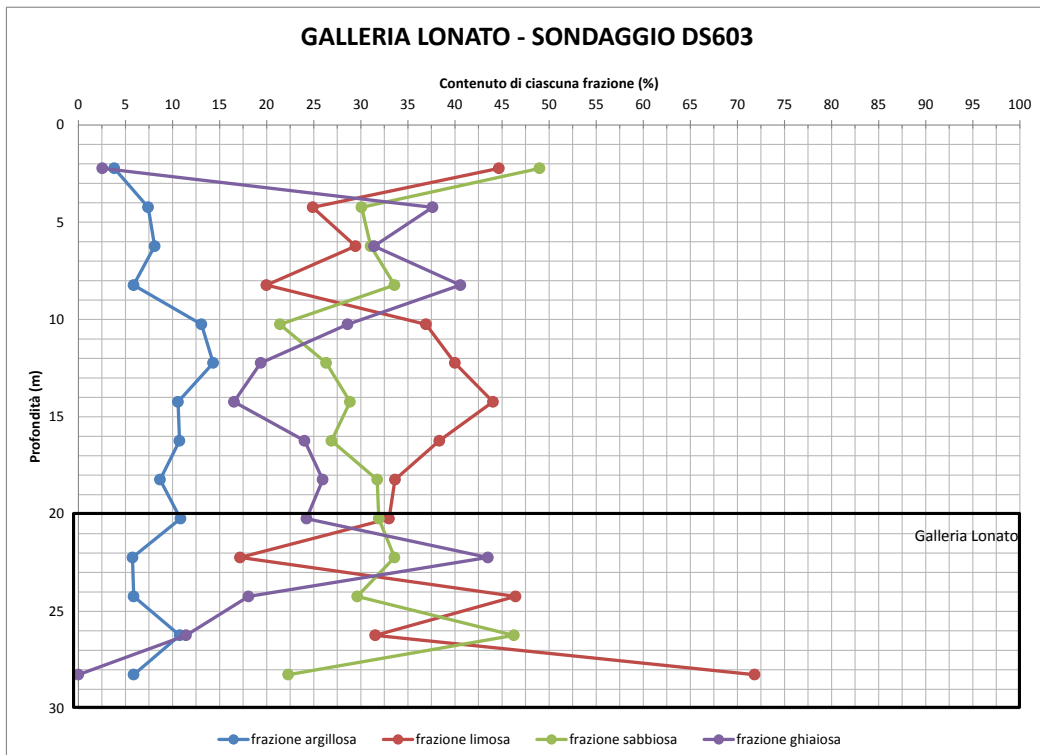
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S11GL**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SS070**

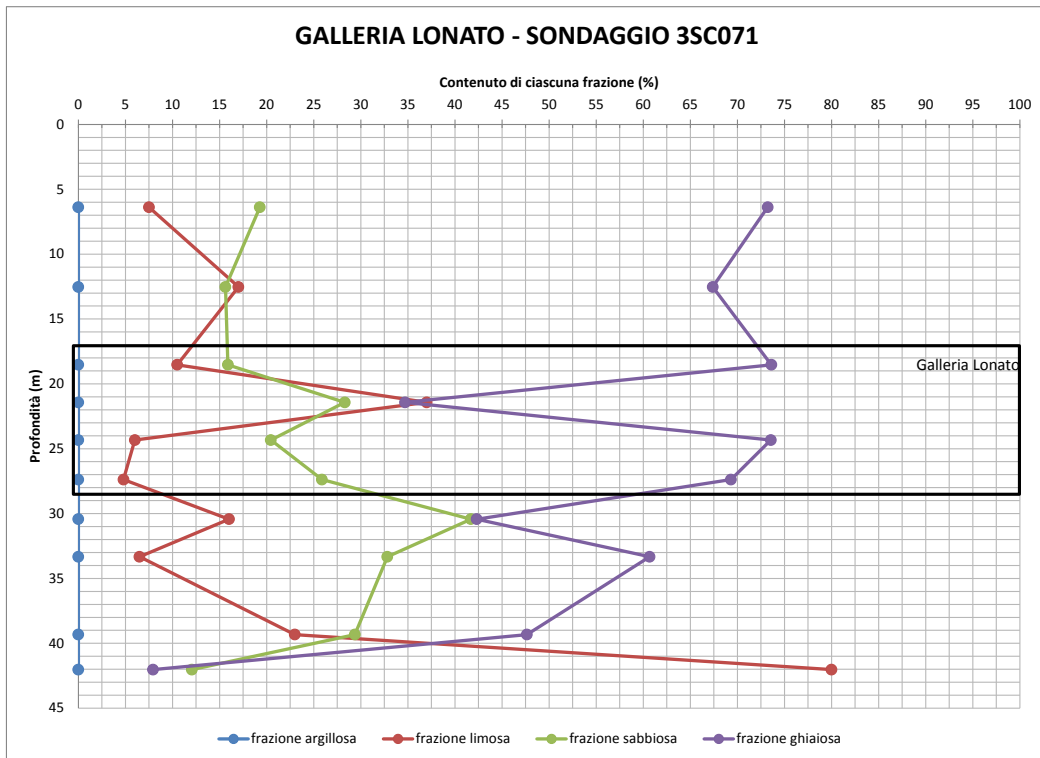


**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS603**

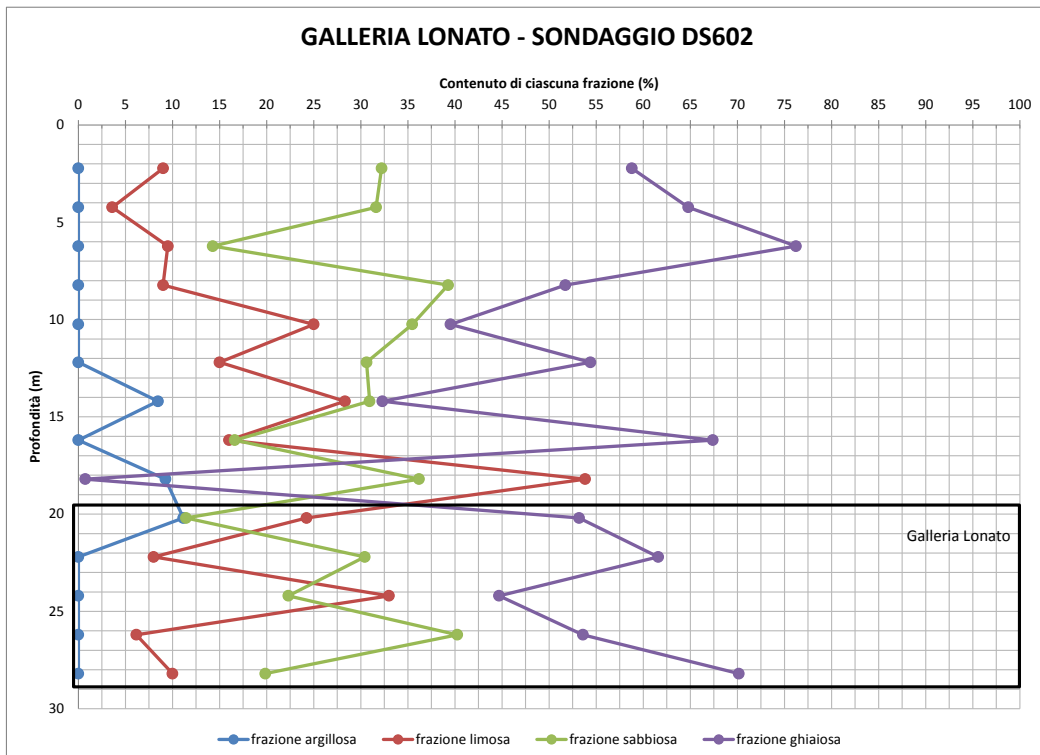




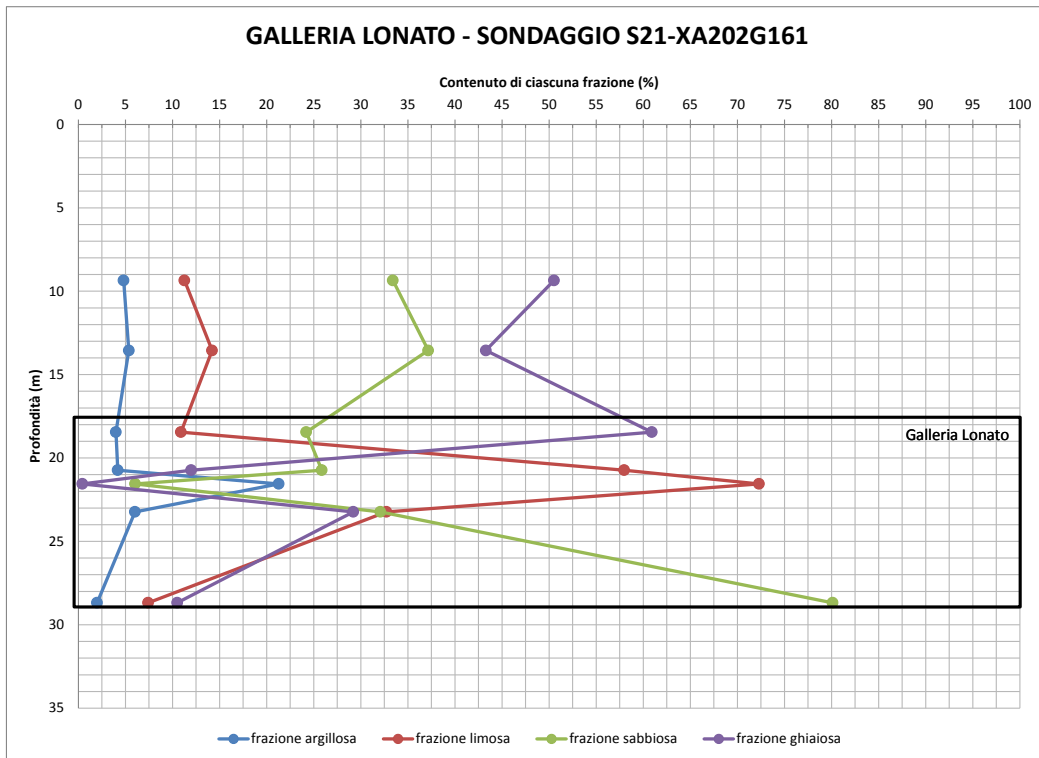
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SC071**



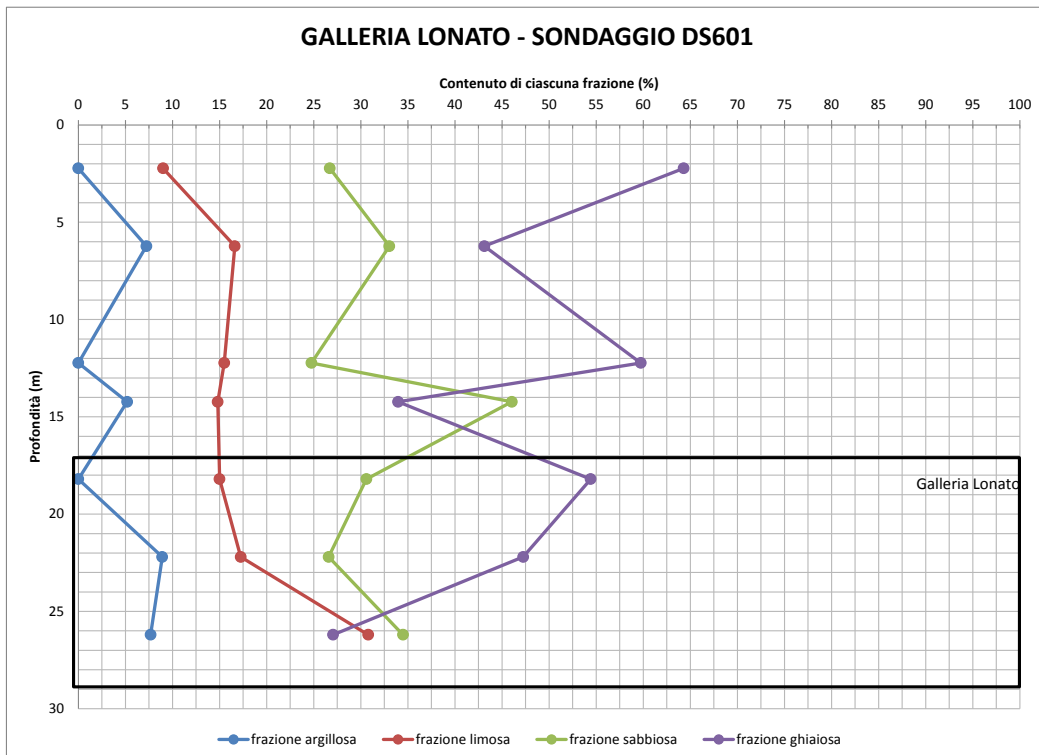
**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS602**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S21-XA202G161**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS601**



Doc. N.

Progetto  
INOR

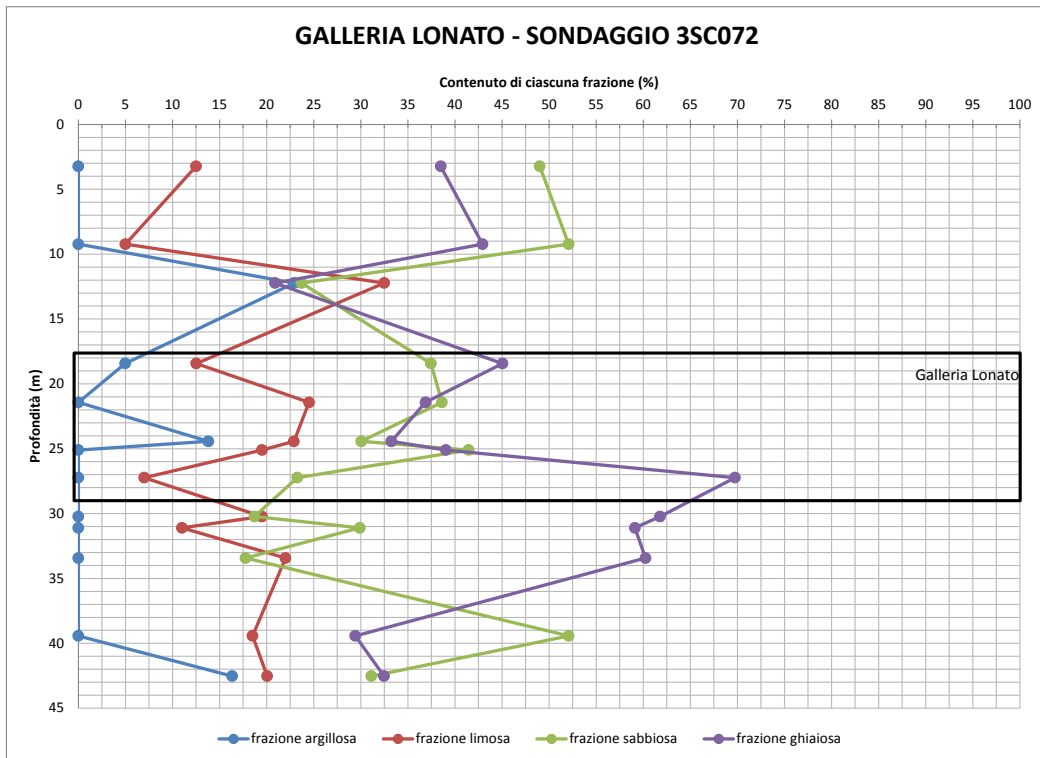
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

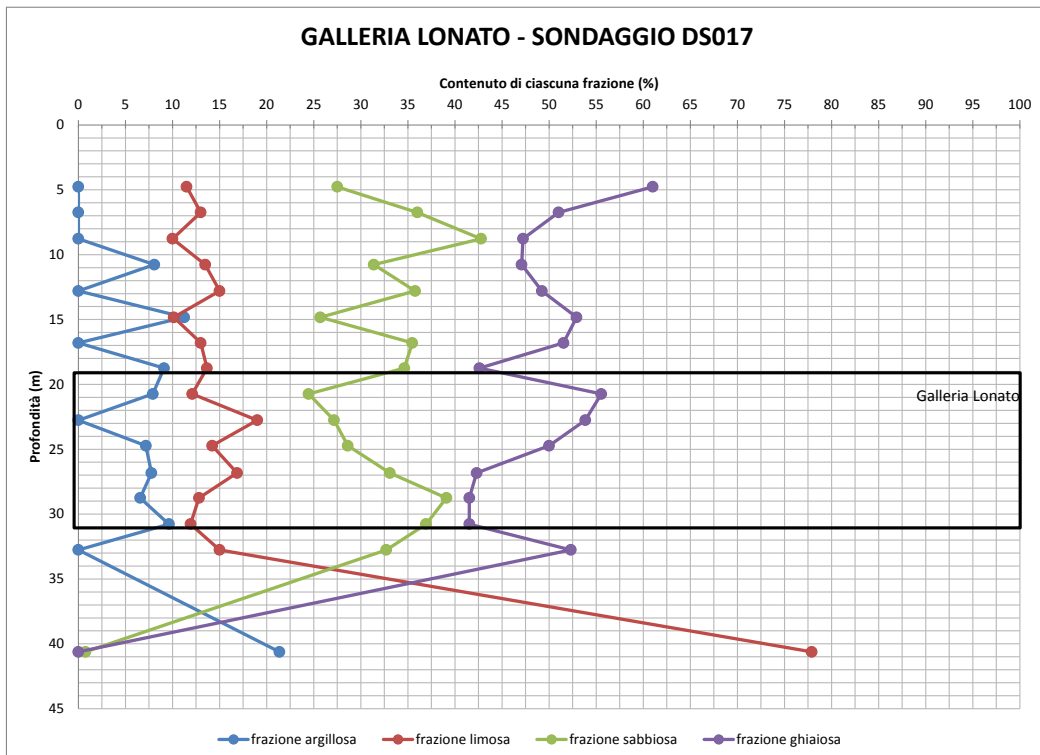
Rev.  
A

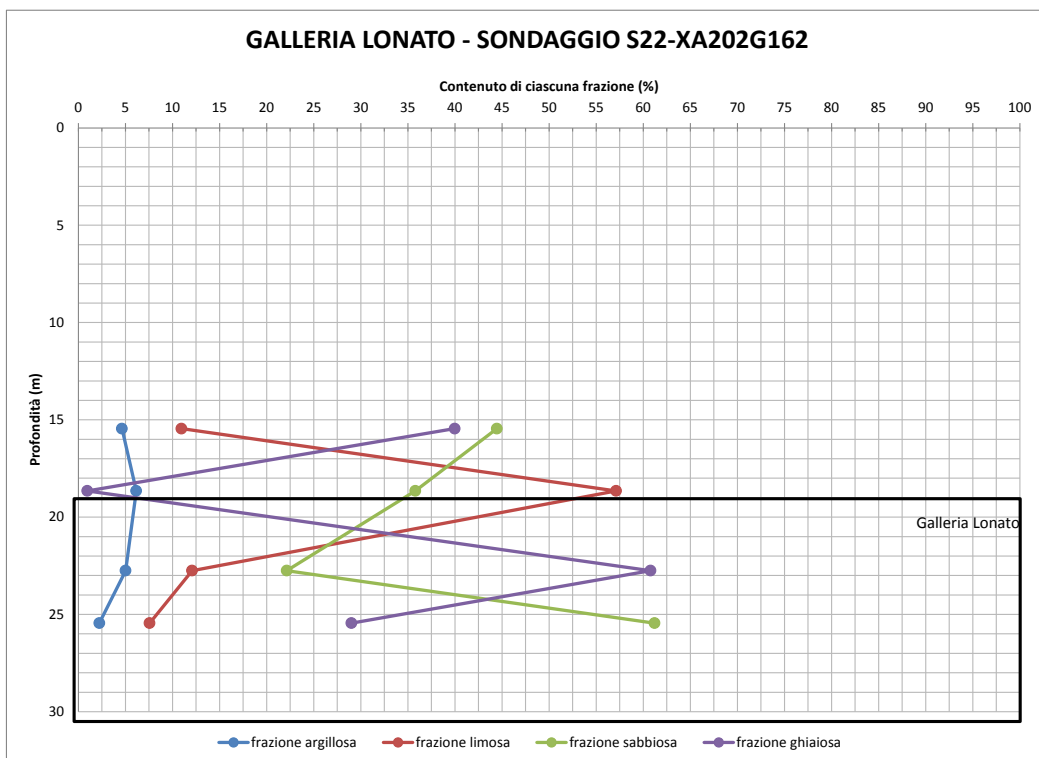
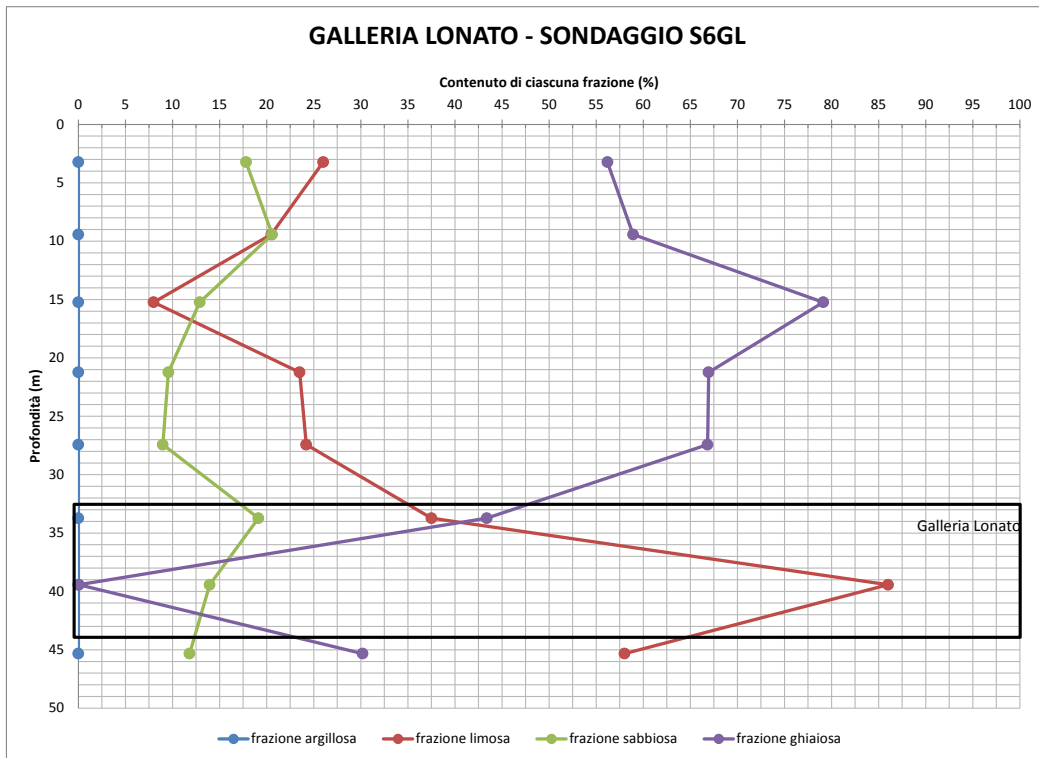
Foglio  
85 di 90

**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SC072**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS017**





Doc. N.

Progetto  
INOR

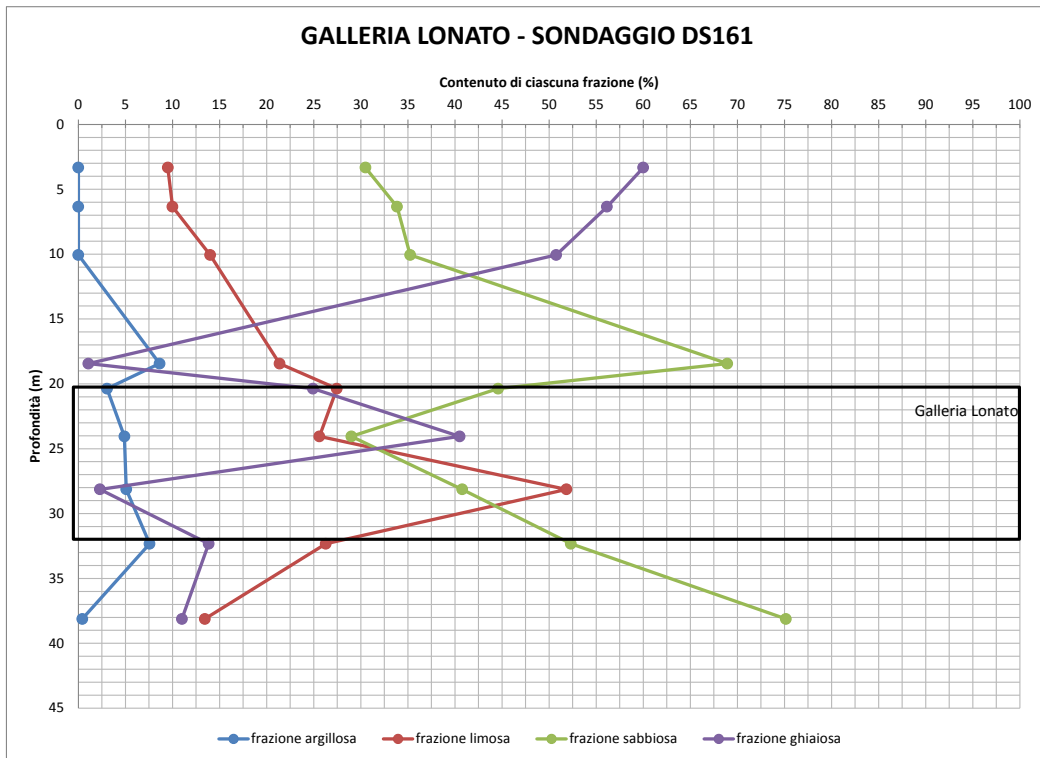
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

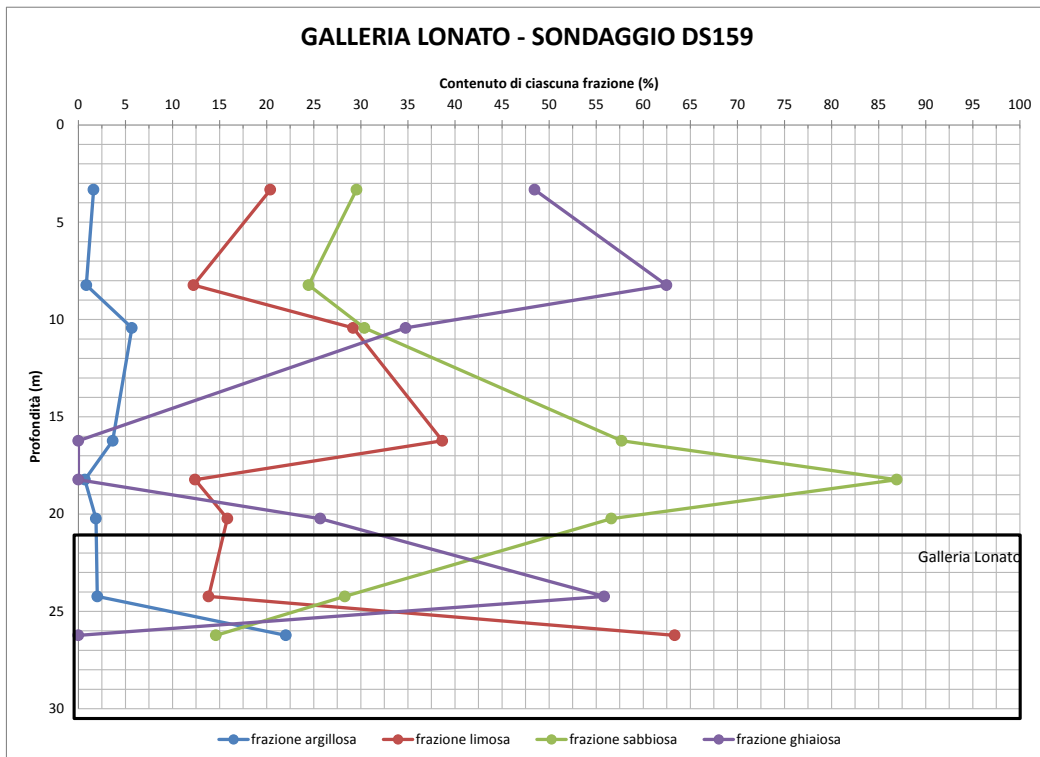
Rev.  
A

Foglio  
87 di 90

**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS161**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS159**



Doc. N.

Progetto  
INOR

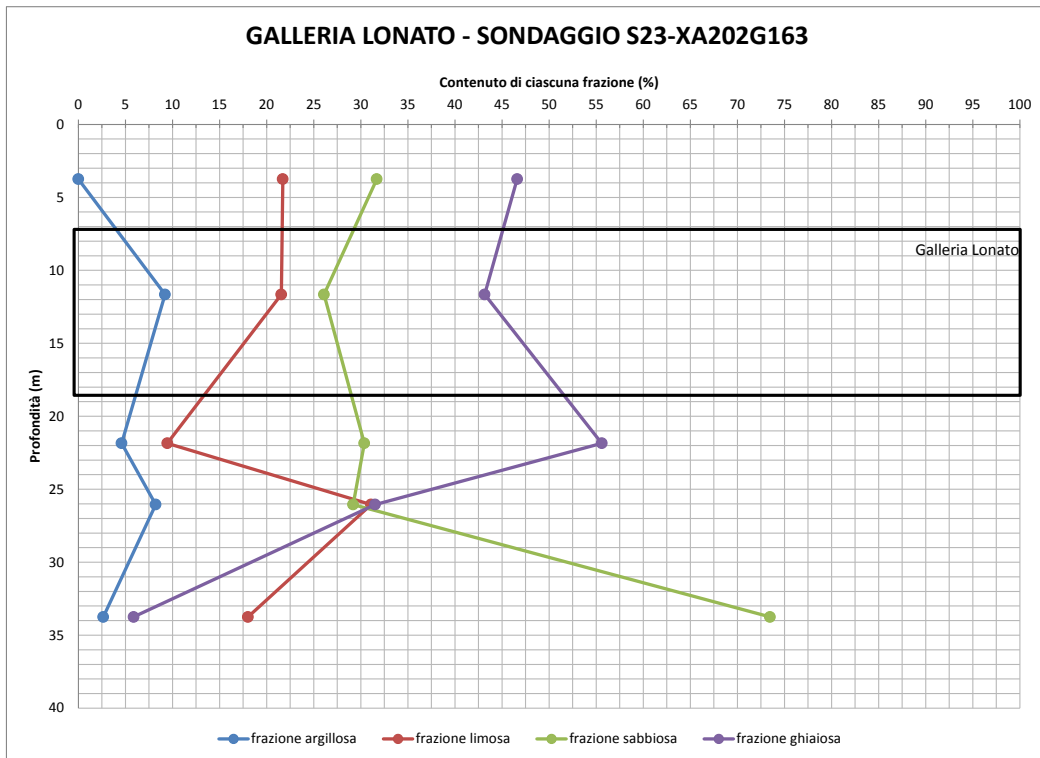
Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

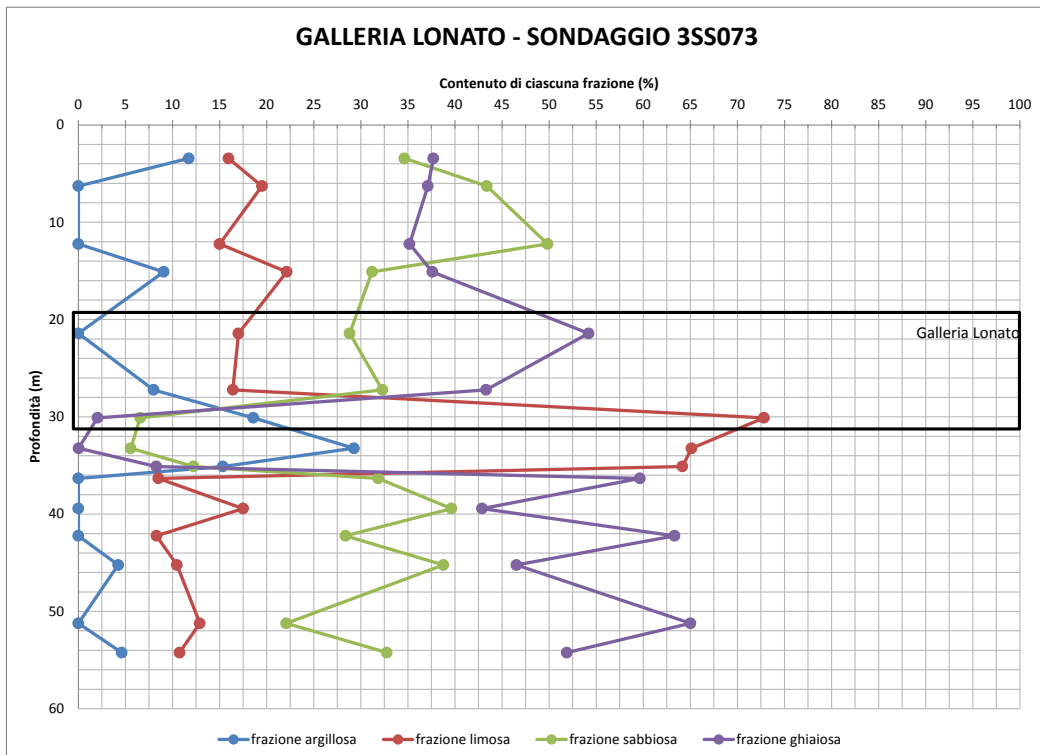
Rev.  
A

Foglio  
88 di 90

**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S23-XA202G163**

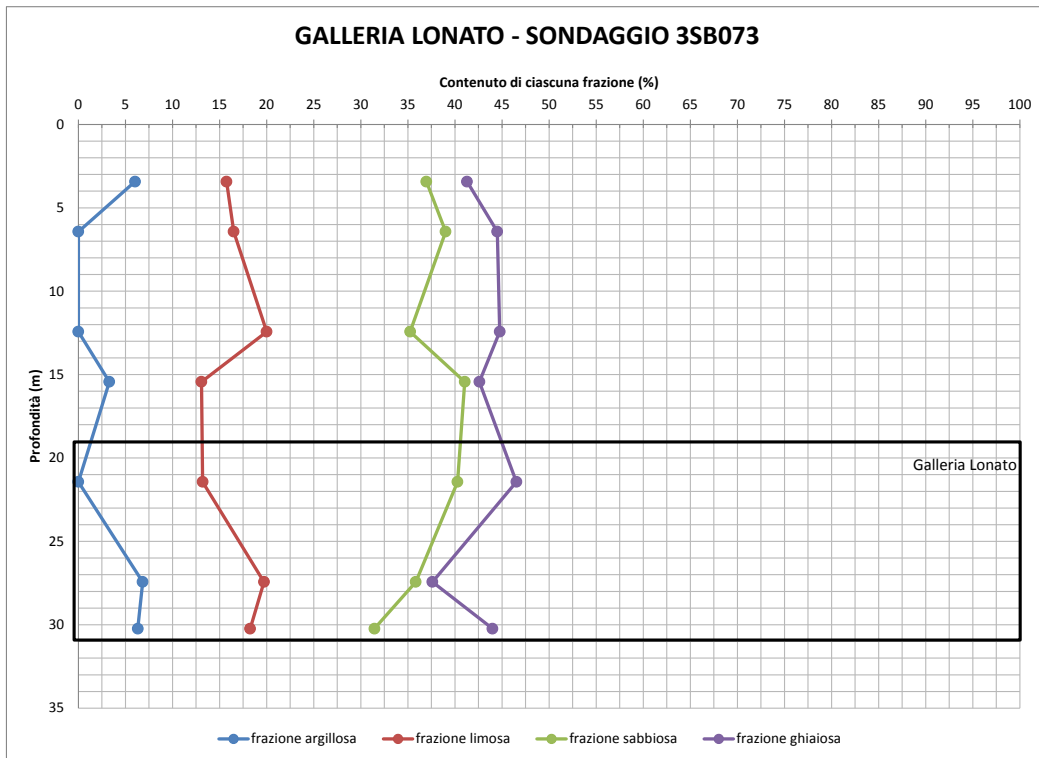


**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SS073**

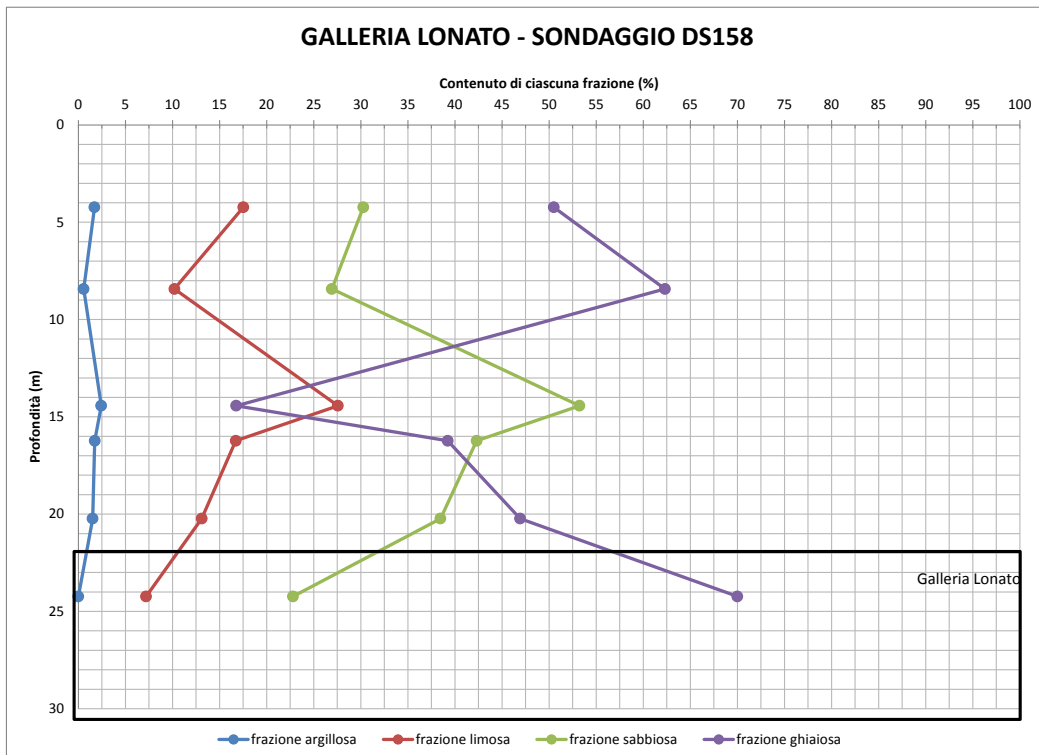




**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO 3SB073**



**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO DS158**



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 SP GN 020 1001

Rev.  
A

Foglio  
90 di 90

**GALLERIA LONATO - SONDAGGIO S24-XA202B164**

