Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	PENNINO	PENNINO	CASSANI

REGIONE LIGURIA

#ItaliaSicura
Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMUNE DI GENOVA

PIANO STRALCIO PER LE AREE METROPOLITANE E LE AREE URBANE CON ALTO LIVELLO DI POPOLAZIONE ESPOSTA AL RISCHIO DI ALLUVIONI

Presidenza del Consiglio dei Ministri

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
COMMISSARIO STRAORDINARIO
delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii.
(ex art. 10 del D.L. n. 91 del 24.06.2014)

Commissario straordinario

Dott. Giovanni TOTI

PROGETTISTI

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

ROCKSOIL S.p.A.
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA

MANDANTI:

art ambiente risorse territorio

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Mario CANGIANO

Ing. Paolo GALLO

Ing. Francesco DE SANCTIS

Dott.ssa Francesca GIOMI

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE: **Ing. Luca BERRUTI**

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO: **Ing. Stefano PINASCO**

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico della mandataria.
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori:
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Progettista/Geologo specialista responsabile elaborato
Rocksoil S.p.A.
Dott. Geol. Fiorenza Pennino
Ord. Reg. Geologi Lombardia N°1575 AP - sezione A

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
FIORENZA PENNINO
geologo specialista
Albo n. 1575 AP
sezione A

Intervento/Opera

SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA

PROGETTO ESECUTIVO

N° Progr.: ----

Codice elaborato: BIS2E - R - IND01 - RE01 - 0

Oggetto della tavola

INDAGINI

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Relazione illustrativa campagne indagini pregresse (PD) e Piano Indagini Integrative (PE)

Scala: -

Data: NOVEMBRE 2017

Codice FILE: BIS2E-R-IND01-RE01-0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA STRUTTURA COMMISSARIALE E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

INDICE

1 PREMESSA 2
2 DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ANTECEDENTI IL PROGETTO DEFINITIVO 3
3 CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO 5
4 DOCUMENTAZIONE INDAGINI E RILIEVI GALLERIA SCOLMATRICE FEREGGIANO 7
5 CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO ESECUTIVO 9
5.1 Scopi dell'indagine integrativa 9
5.2 Individuazione dei punti di indagine e descrizione generale delle attivita' condotte 9
5.2.1 Contesto area cantiere ex canile municipale 9
5.2.2 Contesto sponda sx idrografica Bisagno / Via Adamoli 10
5.2.3 Contesto alveo Bisagno 11
5.2.4 Contesto quartiere Terpi / Rio Mermi 12
5.2.5 Prove di abrasivita' 13
6 ESITI CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO ESECUTIVO 14
6.1 Contesto area cantiere ex canile municipale 14
6.1.1 Sondaggio geognostico SEB1 14
6.1.2 Stendimenti sismici a rifrazione SIS01 19
6.1.3 Stendimenti sismici a riflessione SIS02 20
6.1.4 Prove di Laboratorio 22
6.2 Contesto sponda sx idrografica Bisagno / Via Adamoli 23
6.2.1 Sondaggio geognostico SEB2 23
6.2.2 Prova cross-hole in perforazioni SEB2 27
6.2.3 Stendimenti sismici a rifrazione Linea C e Linea D 32
6.2.4 Prove di Laboratorio 34
6.3 Contesto alveo Bisagno 36
6.3.1 Sondaggio geognostico SEB3 36
6.3.2 Sondaggio geognostico SEB4 39
6.3.3 Stendimenti sismici a rifrazione Linea A e Linea B 41
6.4 Contesto quartiere Terpi / Rio Mermi 43
6.4.1 Sondaggio geognostico SEB5 43
6.4.2 Sondaggio geognostico SEB6 44

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di fornire un quadro organico delle indagini geognostiche condotte nell'iter progettuale dell'intervento in oggetto, illustrando dapprima i contenuti delle campagne indagini geognostiche pregresse rispetto alla presente fase di progettazione esecutiva, le risultanze raccolte in corso d'opera durante l'attività di scavo della galleria scolmatrice del rio Fereggiano e, da ultimo, gli esiti della campagna indagini integrativa relativa alla presente fase di progettazione esecutiva.

2 DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ANTECEDENTI IL PROGETTO DEFINITIVO

I sondaggi pregressi eseguiti per conto dell'AMGA provengono da un lavoro finalizzato alla "caratterizzazione geomeccanica del sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling" redatto dalla società ENKI nell'ottobre 2002. Ubicati in Viale Benedetto XV, a valle dell'Ospedale di San Martino, hanno profondità comprese fra 6,00 e 25,00 m. da p.c. Queste verticali d'indagine, denominate SA1 – SA2 – SA3 – SA4 – SA5, rivestono particolare importanza in quanto localizzate in corrispondenza dell'opera di presa del Rio Noce. Per le stesse indagini sono disponibili prove di laboratorio su campioni con specifiche tabelle riepilogative.

Si dispone inoltre delle indagini reperite presso la banca dati del Comune di Genova, in particolare di indagini eseguite per opere, pubbliche e private, in aree prossime a quelle d'interesse progettuale ed in un arco di tempo compreso fra i primi anni ottanta ed il 2002. Pur se provenienti da diverse fonti, con profondità quasi sempre molto modeste in relazione all'opera in argomento tali indagini, ubicate in aree fortemente urbanizzate ed in assenza di affioramenti superficiali, permettono di ricondurre le litologie attraversate alle singole unità di appartenenza (depositi superficiali, depositi alluvionali, Flysch di Monte Antola, Argilliti di Montoggio, Argille di Ortovero). Pur mancando spesso dati relativi a prove in sito e/o di laboratorio forniscono un valido contributo, un'integrazione e, localmente, una verifica all'inquadramento geologico e strutturale dell'area. Queste indagini, indicate con un numero progressivo a 4 cifre cui segue il numero d'ordine originario del sondaggio, si dimostrano particolarmente utili per l'inquadramento delle aree poste in corrispondenza sia dell'opera di presa nonché della tratta posta fra le progressive 1.500 – 250 m. della galleria. Molto frequenti sono anche in prossimità dell'Ospedale di San Martino e del Rio Mermi dove confermano l'inquadramento geologico ed idrogeologico fornito dalle più profonde indagini di progetto definitivo.

Sondaggio	Progetto	Profondità	Litotipo	RQD (medio
[-]	[-]	[m da p.c.]	[-]	[%]
3007/S22	Indagini pregresse relative a lavori pubblici o privati del periodo 1980 - 2003	30	Alluvioni	
3007/S23		20	Alluvioni	
3007/S24		20	Alluvioni	
3104/S2		20	Alluvioni	
3104/S3		20	Alluvioni	
3012/S1		15	Detrito/Flysch di Monte Antola	30%
3012/S2		15	Flysch di Monte Antola	70%
3012/S3		15	Flysch di Monte Antola	30%
3249/S1		10	Argilliti di Montoggio	30%
3249/S2		10	Argilliti di Montoggio	30%
3249/S3		10	Argilliti di Montoggio	30%
3249/S4		10	Argilliti di Montoggio	35%
3249/S5		10	Argilliti di Montoggio	50%
3249/S6		10	Argilliti di Montoggio	40%
3249/S7		10	Argilliti di Montoggio	50%
169/S1		13.5	Riporto/Flysch di Monte Antola	50%
168/S2		13.5	Riporto/Flysch di Monte Antola	60%
3092/S37		20	Flysch di Monte Antola	30%
3195/S3		15	Flysch di Monte Antola	40%
171/S1		8	Flysch di Monte Antola	70%

171/S2		8	Flysch di Monte Antola	23%
4277/S5		12	Flysch di Monte Antola	20%

Tabella 1 – Indagini pregresse relative al periodo 1980 – 2003

3 CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO

La campagna d'indagine per il progetto definitivo è stata valutata con lo scopo di fornire informazioni di maggior dettaglio sulla natura e sulle caratteristiche geologico stratigrafiche, idrogeologiche e geomeccaniche delle formazioni incontrate. Le ubicazioni delle indagini sono state definite in relazione alla tipologia di opere presenti, al grado di conoscenza delle diverse aree, ottenuta dalle indagini disponibili, ed infine, in base alle possibilità di accesso ai singoli siti, problema questo di primo piano in un territorio prevalentemente urbanizzato con numerosi vincoli di superficie e sottoservizi. Vista la necessità di acquisire informazioni sia sull'idrogeologia che sulle caratteristiche di deformabilità della roccia, in corrispondenza di tutti i fori sono state eseguite prove in sito e si è provveduto alla messa in opera di un piezometro.
Le indagini relative al progetto definitivo sono così localizzate:

- Sondaggi S6D ed S7D: in corrispondenza dell'opera di presa;
- Sondaggio S8D: lungo il tracciato della galleria in corrispondenza della progressiva 5.500 m;
- Sondaggio S4D: lungo il tracciato della galleria in prossimità della progressiva 3.780 m;
- Sondaggio S3D: lungo il tracciato della galleria in prossimità della progressiva 2.900 m;
- Sondaggii S2D ed S5D: lungo il tracciato della galleria fra le progressive 2.400 – 2.050 m;
- Sondaggio S1D: lungo il tracciato della galleria in prossimità della progressiva 1.500 m.

Accanto ad una campagna d'indagini dirette è stata condotta anche una campagna d'indagini indirette a mezzo di traverse sismiche a rifrazione e riflessione realizzate a terra ed a mare. Tale metodo d'indagine, speditivo e leggero, è stato adottato in zone poco accessibili alle sonde e/o in aree dove era necessaria la sola conferma delle informazioni già disponibili.
Le traverse sismiche eseguite per il progetto definitivo sono così ubicate

- n° 2 traverse sismiche a rifrazione (denominate C e D) ubicate sull'alveo del Bisagno ed a valle di Via Adamoli, al fine di verificare la profondità del substrato il corrispondenza dell'opera di presa in un sito noto a mezzo di numerose indagini pregresse;
- n° 2 traverse sismiche a rifrazione (denominate A e B) ubicate lungo la spiaggia ed in prossimità dello sbocco a mare della galleria, per verificare ed integrare le informazioni ottenute dalle stratigrafie dei sondaggi SF9 – SF10 del Fereggiano..
- n° 8 rotte sismiche a riflessione in corrispondenza del tratto a mare dello sbocco quale mezzo d'indagine speditivo ed economico.

Nel complesso le indagini indirette, finalizzate alla valutazione della profondità del substrato roccioso soggiacente depositi di copertura, si dimostrano particolarmente attendibili in ragione dell'elevato contrasto di velocità esistente fra i mezzi indagati. Inoltre, interpolando le informazioni ricavate dai sondaggi e dalle traverse sismiche a terra ed a mare, è stato possibile definire la profondità della roccia lungo l'intero tratto compreso fra Corso Italia e lo sbocco a mare della galleria.
Di seguito si riporta la tabella relativa ai sondaggi geognostici del Progetto Definitivo.

Sondaggio	Progetto	Profondità	Litotipo	RQD (medio
[-]	[-]	[m da p.c.]	[-]	[%]
S1D	Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno. Campagna del 1995	85	Flysch di Monte Antola	75%
S2D		70	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	75%
S3D		90	Flysch di Monte Antola	70%
S4D		80	Flysch di Monte Antola	75%
S5D		65	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	35%
S6D		33	Depositi detritivo alluvionali e Flysch di Monte Antola	55%

S7D		23	Depositi detritivo alluvionali e Flysch di Monte Antola	60%
S8D		70	Argille di Ortovero/Flysch di Monte Antola	25%

Tabella 2 – Sondaggi geognostici Progetto Definitivo

Per quanto riguarda le indagini a mezzo di traverse sismiche, si riporta una tabella riassuntiva.

Traversa	Tipo	Lunghezza	Litotipo
[-]	[-]	[m]	[-]
A	Sismica a terra	46	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
B	Sismica a terra	69	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
C	Sismica a terra	69	Alluvioni/Flysch di Monte Antola
D	Sismica a terra	69	Alluvioni/Flysch di Monte Antola
R1	Sismica a terra	225	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R2	Sismica a terra	340	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R3	Sismica a terra	360	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R4	Sismica a terra	420	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R5	Sismica a terra	420	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R6	Sismica a terra	630	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola
R7	Sismica a terra	1180	Sabbie e ghiaie/Flysch di Monte Antola

Tabella 3 – Sismica a rifrazione e riflessione

4 DOCUMENTAZIONE INDAGINI E RILIEVI GALLERIA SCOLMATRICE FEREGGIANO

I sondaggi pregressi eseguiti per la progettazione della galleria del Fereggiano, con profondità comprese fra 16,00 e 60,00 m da p.c, rappresentano forse la miglior fonte d'informazione fra tutte le indagini disponibili. In particolare, ed in relazione al tracciato della galleria del Bisagno, sono fruibili:

- Sondaggi SF10 – SF9, ubicati in corrispondenza dello sbocco a mare;
- Il sondaggio SF8, ubicato lungo il tracciato della galleria in corrispondenza della progressiva 250 m;
- I sondaggi SF6 – SF5 – SF4, ubicati fra le progressive 2.300 – 3.500 m della galleria ma sensibilmente disassati rispetto a questa; ciononostante vengono comunque riportati in carta in quanto conservano un buon valore geognostico e sono utili per un corretto inquadramento generale dell'area.

In corrispondenza dei sondaggi in argomento, eseguiti da Radaelli & Castellotti per conto di Italstrade, sono disponibili misure piezometriche, prove in sito e prove di laboratorio su campioni i cui risultati sono riassunti nella relazione geotecnica di progetto redatta dalla stessa Italstrade nel febbraio 1989.

Sondaggio	Progetto	Profondità	Litotipo	RQD (medio
[-]	[-]	[m da p.c.]	[-]	[%]
SF4	Progettazione del deviatore del Fereggiano. Campagna del 1989	90	Coltre detritica/Flysch di Monte Antola	75%
SF5		60	Flysch di Monte Antola	45%
SF6		60	Argille di Ortovero	
SF8		25	Flysch di Monte Antola	70%
SF9		16.2	Riporto/Flysch di Monte Antola	40%
SF10		20	Riporto/Flysch di Monte Antola	30%

Tabella 4 – Sondaggi relativi alla progettazione del Fereggiano

La campagna di indagine geognostica condotta durante la fase di progettazione esecutiva è consistita nella perforazione di sei sondaggi meccanici a carotaggio continuo eseguiti con la sonda perforatrice Casagrande C6, nei giorni dal 02/04/2015 al 17/04/2015.
L'indagine geognostica eseguita è stata così condotta:

- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.1 ES perforato nell'area adibita a parcheggio di pertinenza del condominio sito in Via Ginestrato, spinto fino alla profondità di 44,50 m da piano campagna. Tale sondaggio è stato attrezzato con tubo piezometrico del diametro di 2";
- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.2 ES, perforato nell'area adibita ad aiuola in prossimità dell'ingresso dell'Ospedale San Martino in Corso Europa, spinto fino alla profondità di 61,00 m da piano campagna. Tale sondaggio è stato attrezzato con tubo piezometrico del diametro di 2";
- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.3 ES, perforato nell'area in prossimità delle cabine presso il Bagno Squash in prossimità di Corso Italia , spinto fino alla profondità di 15,00 m da piano campagna. Tale sondaggio non è stato attrezzato;
- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.4 ES, perforato nell'area in prossimità del bagnasciuga presso il Bagno Squash in prossimità di Corso Italia spinto fino alla profondità di 8,50 m da piano campagna. Tale sondaggio non è stato attrezzato;
- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.5 ES, perforato nell'area in prossimità del bagnasciuga presso il Bagno Squash in prossimità di Corso Italia spinto fino alla profondità di

5,00 m da piano campagna. Durante la realizzazione del sondaggio sono state eseguite n°4 prove SPT. Tale sondaggio non è stato attrezzato;
- Esecuzione di un sondaggio geognostico denominato S.6 ES, perforato nell'area dei giardini pubblici della Villa Cambiaso in Via Gildo Cuneo, spinto fino alla profondità di 30,00 m da piano campagna. Tale sondaggio è stato attrezzato con tubo piezometrico del diametro di 2".

Sono stati inoltre resi disponibili i verbali di rilievo geomeccanico del fronte eseguiti da "Lombardi" durante la fase di scavo della galleria scolmatrice del rio Fereggiano:

- Rilievo del 25-05-2017 n18 – 2384;
- Rilievo del 26-04-2017 n17 – 2285;
- Rilievo del 28-03-2017 n16 – 2226;
- Rilievo del 01-03-2017 n15 – Camerone Noce;
- Rilievo del 26-01-2017 n14 – 2124;
- Rilievo del 12-01-2017 n13 – 2061;
- Rilievo del 29-11-2016 n12 – 1887.8;
- Rilievo del 14-11-2016 n11 – 1807.6;
- Rilievo del 27-10-2016 n10 – 1723.7;
- Rilievo del 18-10-2016 n09 – 1678.8;
- Rilievo del 06-10-2016 n08 – 1627;
- Rilievo del 22-09-2016 n07 – 1589;
- Rilievo del 15-09-2016 n06 – 1580;
- Rilievo del 09-09-2016 n05 – 1575;
- Rilievo del 01-09-2016 n04 – 1567 no rilievo;
- Rilievo del 11-08-2016 n03 – 1561;
- Rilievo del 27-07-2016 n02 – 1526.7;
- Rilievo 21 luglio 2016 (distacco piedritto);
- Rilievo e foto 11 febbraio 2016;

5 CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO ESECUTIVO

5.1 Scopi dell'indagine integrativa

La documentazione relativa alle precedenti campagne di indagine (PD 2007 in particolare) ed alla corrente attività di scavo della galleria scolmatrice del torrente Fereggiano (rilievi geomeccanici del fronte, sondaggi geognostici in avanzamento) consente di ricostruire un quadro conoscitivo sufficientemente completo del contesto geologico/geomeccanico caratterizzante gran parte del tracciato dell'opera e, in particolare, la tratta di Scolmatore interessante l'area maggiormente urbanizzata (ovvero il settore compreso fra l'ospedale San Martino e lo sbocco a mare in corrispondenza di Corso Italia). La formazione caratterizzante la citata porzione di tracciato risulta essere il Flysch del M.te Antola.
L'approfondimento di indagine è stato principalmente orientato pertanto al contesto di monte dell'intervento, ovvero alla media valle del Bisagno, all'altezza delle previste opere di presa e sbarramento, nonché dell'area di cantiere principale ubicata, nell'ambito del recente studio di fattibilità, presso l'area ex canile municipale (Via Adamoli). Si è ritenuta altresì di primaria importanza la conduzione di indagini e prove nella formazione delle argilliti di Montoggio, indagata in misura minore nell'ambito della Campagna Geognostica di Progetto Definitivo e di rilevante interesse tecnico con riferimento alla modalità di scavo prevista nella corrente fase di Progettazione Esecutiva, ovvero al sistema meccanizzato con fresa di tipo aperto; in particolare l'approfondimento conoscitivo è mirato all'individuazione delle proprietà meccaniche dell'ammasso, alle profondità di interesse, sulla base delle quali approntare la progettazione della modalità di avanzamento della TBM e degli interventi di pre-consolidamento e/o sostegno dell'ammasso attuabili dalla macchina stessa.

5.2 Individuazione dei punti di indagine e descrizione generale delle attivita' condotte

5.2.1 Contesto area cantiere ex canile municipale

Non si dispone di alcuna documentazione pregressa essendo stata l'area ricompresa nell'intervento in disamina, a seguito dei recenti approfondimenti condotti assieme alla S.A.

L'area in oggetto ospiterà il cantiere principale per la realizzazione della galleria di servizio, del camerone di montaggio della TBM e la successiva conduzione dello scavo della galleria principale, con sistema meccanizzato, sino allo sbocco a mare.

E' prevista in questa sede l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo immediatamente a monte dell'attacco della galleria di servizio, finalizzato alla caratterizzazione delle coltri detritiche, all'intercettazione del contatto con il substrato roccioso ed alla qualificazione dell'ammasso medesimo. Il sondaggio sarà accompagnato da una coppia di stendimenti sismici a rifrazione, su di esso appoggiati, per mezzo dei quali ricostruire, in continuità, l'andamento del substrato, la potenza e lo stato di addensamento delle coltri.

Qui di seguito un breve cenno alle caratteristiche essenziali delle indagini dirette/indirette previste:

SEB1 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: A monte dell'opera di sostegno / paratia di attacco dello scavo galleria di servizio;
- Profondità: 30 [m];
- Prove SPT: n° 3;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 1;
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 1;
- Prova dilatometrica in foro: n° 1;
- Prova Pocket Penetrometer: n° 7.

SIS 01 – Stendimento sismico a rifrazione

- Ubicazione: longitudinale e coassiale ai primi metri di galleria di servizio, centrato sull'opera di sostegno;
- Lunghezza: 100 [m].

SIS 02 – Stendimento sismico a rifrazione

- Ubicazione: longitudinale rispetto all'opera di sostegno che, dall'imbocco della galleria di servizio, si estende in direzione SW, presidiando l'area di cantiere in progetto;
- Lunghezza: 150 [m].

SIS 03 – Stendimento sismico a riflessione

- ubicazione: longitudinale rispetto al tracciato della galleria scolmatrice, all'altezza del camerone di montaggio TBM;
- lunghezza: 350 [m].

SIS 04 – Stendimento sismico a riflessione

- ubicazione: trasversale rispetto al tracciato della galleria scolmatrice, all'altezza del camerone di montaggio TBM;
- lunghezza: 350 [m].

Scopo degli stendimenti a riflessione è l'indagine dell'ammasso presente in corrispondenza del previsto camerone di montaggio TBM; stante l'onerosità dell'opera (dimensioni trasversali della sezione) si è reso necessario un approfondimento conoscitivo, a mezzo indagine di tipo indiretto, che potesse consentire l'individuazione, localmente, di eventuali settori di ammasso con caratteristiche fisico-meccaniche più scadenti, inevitabilmente condizionanti la progettazione degli interventi di sostegno degli scavi e la fasistica costruttiva.

5.2.2 Contesto sponda sx idrografica Bisagno / Via Adamoli

Nell'ambito della Campagna Geognostica di PD sono stati effettuati, presso il settore in oggetto, i sondaggi geognostici S6D, S7D. L'integrazione prevista si pone l'obiettivo di caratterizzare i riporti antropici presenti in posto principalmente in termini di conducibilità idraulica e caratteristiche di deformabilità. Lo scavo della galleria scolmatrice sarà, infatti, realizzato con metodo tradizionale al di sotto di Via Adamoli, ricorrendo massicciamente ad interventi di preconsolidamento quali iniezioni cementizie e jet-grouting colonnare, sub-orizzontale. Da qui la necessità di condurre una puntuale caratterizzazione dei depositi antropici, effettuando prove di permeabilità tipo Lefranc in foro di sondaggio ed affiancando all'indagine diretta (carotaggio continuo) l'esecuzione di una prova cross-hole (necessaria perforazione a distruzione opportunamente condizionata) per disporre di un riscontro quanto più realistico circa la rigidezza (ovvero lo stato di addensamento) dei depositi medesimi. E' stata infine realizzata una specifica perforazione a distruzione di nucleo da allestire per l'installazione di piezometro possibilmente equipaggiato con dispositivo per la lettura automatizzata dei livelli.

Nel dettaglio le indagini si sono articolate come segue:

SEB2 – sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: Internamente all'area giardini piscine all'aperto Sciorba (nelle immediate vicinanze della recinzione su Via Adamoli);
- Profondità: 30 [m];
- Prove SPT: n° 5;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 2;
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 1;
- Prova dilatometrica in foro: n° 1;
- Condizionata per esecuzione prova Cross-hole.

SEB2 bis– Perforazione a distruzione di nucleo

- Ubicazione: internamente all'area giardini piscine all'aperto Sciorba (nelle immediate vicinanze della recinzione su Via Adamoli);
- Profondità: 16 [m];
- Equipaggiato con piezometro.

SEB2 ter– Perforazione a distruzione di nucleo

- Ubicazione: internamente all'area giardini piscine all'aperto Sciorba (nelle immediate vicinanze della recinzione su Via Adamoli);
- Profondità: 30 [m];
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 2;
- Condizionata per esecuzione prova Cross-hole.

Sono stati eseguiti altresi n° 2 stendimenti sismici a rifrazione (allineamenti C e D) posti lungo lo sviluppo dell'opera (tratta di galleria scolmatrice scavata con metodo tradizionale al di sotto di Via Adamoli) e parallelamente alla Via Adamoli (ciglio esterno della carreggiata direzione Molassana).

Gli stendimenti hanno consentito di determinare l'andamento del tetto del substrato roccioso nonché la variazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso e dei soprastanti orizzonti detritico-alluvionali.

5.2.3 Contesto alveo Bisagno

E' stata prevista l'esecuzione di verticali geognostiche finalizzate all'approfondimento conoscitivo dei materiali in posto; le indagini pregresse (con particolare rifermento a quelle di PD – 2007) sono state realizzate prevalentemente sull'area a tergo del muro spondale posto in sinistra idrografica (S6D, S7D), pertanto non si dispone di un riferimento diretto per quanto attiene ai depositi alluvionali in corrispondenza dell'alveo (a meno di sondaggi molto superficiali risalenti alle campagne indagini anteriori alla progettazione definitiva).

Sono state pertanto individuate due posizioni, interne all'alveo ed accessibili dalle rampe poste lungo la viabilità in sponda destra (Via Emilia), presso le quali sono state effettuate delle perforazioni a carotaggio continuo, con relativa conduzione di prove in foro e successive prove di laboratorio. In particolare i sondaggi sono ubicati all'altezza della traversa di sbarramento (per l'identificazione locale e la caratterizzazione del terreno di fondazione delle spalle) e all'altezza della briglia di trattenuta dei corpi galleggianti

Qui di seguito l'elenco delle verticali geognostiche con indicazione sintetica delle relative prove in situ:

SEB3 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: sponda dx, traversa di sbarramento;
- Profondità: 25 [m];

- Prove SPT: n° 6;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 2.

SEB4 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: sponda dx, briglia di trattenuta;
- Profondità: 15 [m];
- Prove SPT: n° 5;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 2.

E' stata compresa infine, nella campagna, l'esecuzione di num. 2 stendimenti sismici a rifrazione con andamento longitudinale e trasversale rispetto all'alveo (in corrispondenza della traversa):

stendimento A – Stendimento sismico a rifrazione

- Ubicazione: In alveo, longitudinale rispetto asse Bisagno lato sponda dx;
- Lunghezza: 200 [m].

stendimento B – Stendimento sismico a rifrazione

- Ubicazione: In alveo, trasversale rispetto asse Bisagno (altezza della traversa di sbarramento);
- Lunghezza: 200 [m].

Scopo degli stendimenti è la caratterizzazione dinamica dei depositi alluvionali in corrispondenza della futura traversa di sbarramento (ai fini della classificazione sismica dei terreni) nonché la determinazione della geometria del contatto sub-strato alluvioni.

5.2.4 Contesto quartiere Terpi / Rio Mermi

L'area in oggetto è stata investigata sia nel periodo antecedente la redazione del PD 2007 che in sede di preparazione del PD medesimo. La documentazione più completa attiene ad ogni modo a quest'ultima campagna indagini, in quanto a qualità e varietà delle prove condotte sia in situ che in laboratorio. L'integrazione di cui alla presente fase progettuale si è resa necessaria stante la delicatezza del contesto geomeccanico costituito dal passaggio entro le argilliti di Montoggio ed associato sistema di faglie, in relazione all'introduzione dello scavo meccanizzato (TBM) quale metodologia di scavo per la galleria scolmatrice.

L'approfondimento conoscitivo è stato mirato alla caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa ed all'accertamento della qualità geomeccanica dell'ammasso, alle profondità della galleria. Quanto sopra per consentire di sviluppare la progettazione di dettaglio della TBM e dei relativi dispositivi che ne consentono l'avanzamento (gripper, nel caso specifico di macchina di tipo aperto), nonché di investigare la risposta differita nel tempo della matrice rocciosa (prove di creep su campioni prelevati dal sondaggio).

E' stata quindi prevista la realizzazione di un sondaggio a carotaggio continuo, con giacitura verticale.

L'iniziale perforazione individuata con codice SEB 5 è vincolata nella sua ubicazione plano-altimetrica dalla scarsa disponibilità di aree più facilmente fruibili poste sulla verticale del tracciato, non ha intercettato la formazione delle argilliti. Essa è stata pertanto interrotta alla profondità di 25 m. Presso una seconda posizione, posta più a valle rispetto al tracciato dell'opera, ma ricadente con maggior certezza entro il settore occupato dalle argiliti, è stato perforato il sondaggio denominato SEB 6, spinto sino alla profondità di 60 m dal p.c.

Nell'ambito di tale perforazione sono state effettuate prove dilatometriche in foro, prove di permeabilità Lefranc, nonché prelevati campioni di materiale destinati all'esecuzione di prove di laboratorio

(compressione semplice, compressione triassiale, creep in cella triassiale, determinazione del peso di volume, analisi mineralogica in parete sottile).

Qui di seguito l'elenco delle verticali geognostiche con indicazione sintetica delle relative prove in situ:

SEB5 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: valle Rio Mermi
- Profondità: 25 [m];

SEB6 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: valle Rio Mermi
- Profondità: 60 [m];
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 3;
- Prove dilatometriche: n° 3.

5.2.5 *Prove di abrasivita'*

L'esecuzione dello scavo della galleria scolmatrice con metodo meccanizzato costituisce come noto un significativo elemento di variante rispetto all'assetto progettuale precedente caratterizzato dallo scavo da condursi, integralmente, con metodo tradizionale.

In ragione del contesto geomeccanico presente lungo il tracciato dell'opera, è stata inquadrata la soluzione progettuale che prevede l'utilizzo di una fresa da roccia di tipo aperto; riveste pertanto particolare importanza l'aspetto connesso alla determinazione dell'abrasività della matrice rocciosa, nelle sue molteplici varianti presenti, tramite la quale può essere inquadrato il tema connesso al consumo degli utensili di scavo, sia in termini qualitativi che quantitativi (tramite metodi previsionali di comune utilizzo).

La determinazione sperimentale dei parametri associati alla abrasività della matrice rocciosa ha richiesto la conduzione di una serie prove ingegneristicamente rappresentativa, ovvero sufficientemente numerosa. Si è proceduto pertanto al campionamento del materiale litoide dalle carote di sondaggio disponibili nell'ambito della presente campagna indagini (sondaggi SEB1, SEB 2), da destinarsi alla conduzione delle seguenti prove specialistiche:

- Indice di microdurezza cone indenter del NCB sulla media di 9 impronte
- Indice di abrasione CERCHAR (CAI) sulla media di 4 prove
- Prove di punzonamento PUNCH TEST con rappresentazione diagramma carico spostamento
- Prova di frammentazione NHT e indice di fragilità S20 su media di 3 provini
- Prova di perforabilità metodo Sievers'-J sulla media di 3 priovini
- Indice di microdurezza HK
- NTNU Abrasion Test (AV)-abrasione su utensili di scavo TBM tungsten/carbide
- NTNU Abrasion Test (AVS)-abrasione su dischi TBM in acciaio

6 ESITI CAMPAGNA INDAGINI DI PROGETTO ESECUTIVO

6.1 Contesto area cantiere ex canile municipale

6.1.1 Sondaggio geognostico SEB1

Il sondaggio geognostico SEB1, è stato effettuato nel contesto "Area cantiere ex canile municipale" in prossimità della zona di imbocco della galleria. La quota caposaldo del sondaggio è 50.56 qslm e si estende per 30 metri di profondità.

Si riporta, per comodità, l'elenco delle informazioni contenute nel paragrafo 5.2.1:

SEB1 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: A monte dell'opera di sostegno / paratia di attacco dello scavo galleria di servizio;
- Profondità: 30 [m];
- Prove SPT: n° 3;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 1;
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 1;
- Prova dilatometrica in foro: n° 1;
- Prova Pocket Penetrometer: n° 7.

Dal paragrafo appena citato, emergono anche le finalità di tale sondaggio. E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Profondità	Stratigrafia Sondaggio SEB1
[m]	[-]
0.5	Terreno riporto
1.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura
2.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura
3.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura
4.5	Argilla sabbiosa
5.5	Argilla sabbiosa
6.5	Livello ghiaioso
7.5	Cappellaccio di alterazione
8.5	Substrato
9.5	Substrato
10.5	Substrato
11.5	Substrato
12.5	Substrato
13.5	Substrato
14.5	Substrato
15.5	Substrato
16.5	Substrato
17.5	Substrato

18.5	Substrato
19.5	Substrato
20.5	Substrato
21.5	Substrato
22.5	Substrato
23.5	Substrato
24.5	Substrato
25.5	Substrato
26.5	Substrato
27.5	Substrato
28.5	Substrato
29.5	Substrato

Tabella 5 – Stratigrafia del sondaggio SEB1

Per quanto riguarda le prove SPT, si riporta l'elenco dell'esito di tali prove:

- Prova 1: Quota prova 3,5 m N1:4; N2:5; N3:7. Nspt:12;
- Prova 2: Quota prova 5 m. N1:6; N2:6; N3:8. Nspt:14;
- Prova 3: Quota prova 6.5 m N1:8; N2: 12; N3:19 Nspt:31.

Dal confronto delle profondità delle prove con la stratigrafia, possiamo osservare che le prove 1 e 2 ricadono nello strato argilloso e in particolare la Prova 1 nello strato argilloso limoso e la prova 2 nello strato argilloso sabbioso. Per quanto riguarda la Prova 3, questa è riferita al livello ghiaioso in matrice argillosa - sabbiosa.

Per quanto riguarda la prova di permeabilità Lefranc, si riporta un elenco delle informazioni generali riportate nel certificato della prova:

- Quota base camera: 6 [m];
- Quota base tetto: 5.5 [m];
- Diametro camera: 127 [mm];
- Profondità: 6 [m];
- Livello innalzato: 6.8 [m];
- Geometria camera: Fondo cilindrico in terreno uniforme.

Dal confronto con la stratigrafia, si può osservare, l'unità geologica indagata da questa prova. Di seguito si riportano, in forma tabellare e in forma grafica, i risultati.

Tempo (min)	Assorbimento parziale (l)	Assorbimento totale (l)	Portata parziale (l/sec)	K (m/sec)	K (cm/sec)
0	0,00				
1	3,50	3,50	0,06	4,51E-06	4,51E-04
2	3,00	6,50	0,05	3,86E-06	3,86E-04
3	2,80	9,30	0,05	3,61E-06	3,61E-04
4	2,50	11,80	0,04	3,22E-06	3,22E-04
5	2,30	14,10	0,04	2,96E-06	2,96E-04
10	11,10	25,20	0,04	2,86E-06	2,86E-04
15	10,90	36,10	0,04	2,81E-06	2,81E-04
20	10,80	46,90	0,04	2,78E-06	2,78E-04
25	10,70	57,60	0,04	2,76E-06	2,76E-04
30	10,50	68,10	0,04	2,70E-06	2,70E-04
40	20,50	88,60	0,03	2,64E-06	2,64E-04
50	20,20	108,80	0,03	2,60E-06	2,60E-04
60	20,10	128,90	0,03	2,59E-06	2,59E-04

Tabella 6 – Rapporto prova Lefranc a carico costante sondaggio SEB1

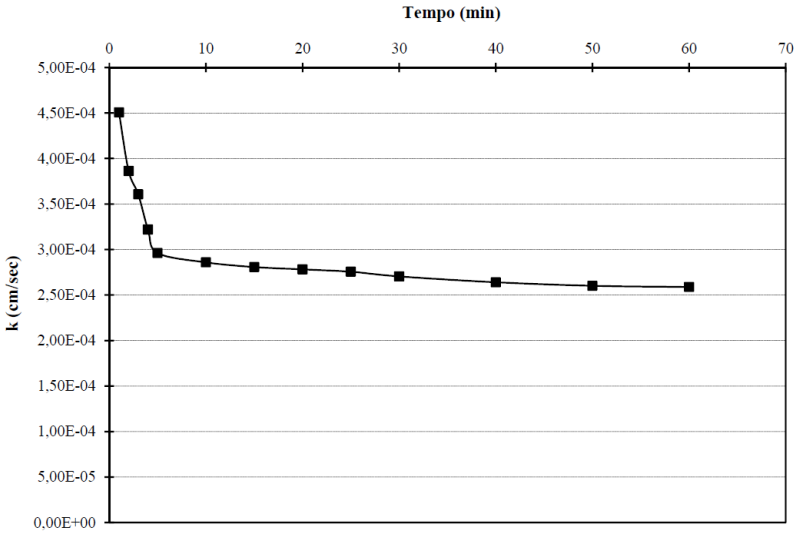


Figura 6-1 – Grafico rapporto prova Lefranc a carico costante sondaggio SEB1

Per quanto riguarda la prova di permeabilità Lugeon, Si riporta lo stesso schema di esposizione riportato per la prova Lefranc:

- Quota base camera: 18.4 [m];
- Quota base tetto: 14.5 [m];
- Diametro: 101 [mm];
- Rivestimento: 127 [mm]
- Falda: 9.7 [m];
- H nanometro: 1 [m];
- Lung. Packer: 1 [m].

Si riportano di seguito, in forma tabellare e in forma grafica i risultati della prova in questione.

ASSORBIMENTO (l)										
t	I 31.01	Portata parziale	II 51.16	Portata parziale	III 71.03	Portata parziale	IV 51.03	Portata parziale	V 31.00	Portata parziale
0	614.0		654.0		810.0		1172.0		1355.4	
2	620.0	3.0	680.0	13.0	887.0	38.5	1210.5	19.3	1364.0	4.3
4	626.1	3.1	706.0	13.0	962.0	37.5	1248.1	18.8	1371.6	3.8
6	631.9	2.9	731.7	12.9	1037.0	37.5	1285.5	18.7	1379.1	3.8
8	637.6	2.9	757.2	12.8	1108.0	35.5	1322.8	18.7	1386.4	3.7
10	643.3	2.9	782.7	12.8	1178.0	35.0	1360.1	18.7	1393.6	3.6

Assorbimento totale (l)	29.30	128.70	368.00	188.10	38.20
Portata totale (l/min)	2.93	12.87	36.80	18.81	3.82
Assor. unitario (l/min/m)	0.75	3.30	9.44	4.82	0.98

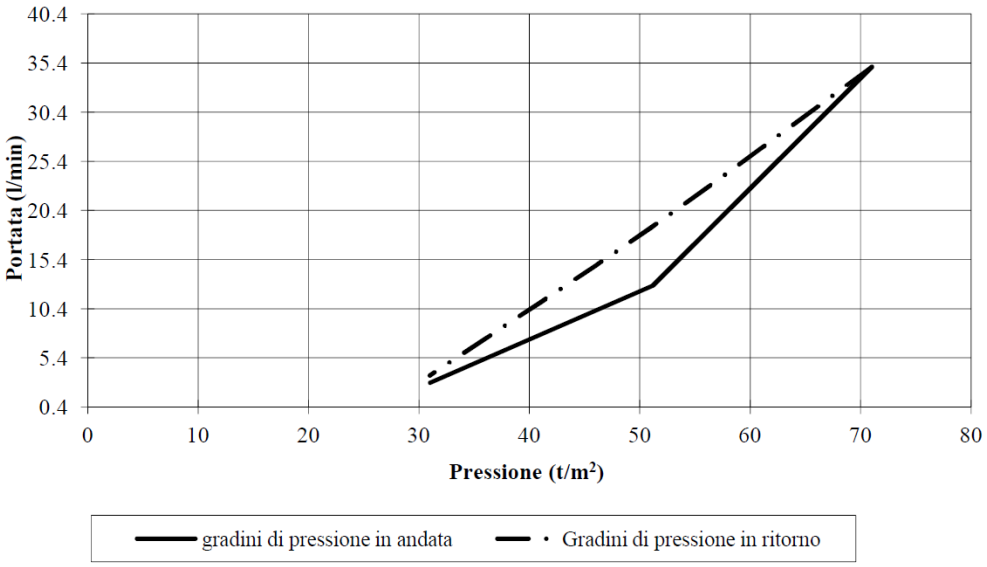


Figura 6-2 – Risultati assorbimento prova Lugeon a carico costante sondaggio SEB1

Per quanto riguarda il calcolo delle unità Lugeon:

CALCOLO UNITA' LUGEON						
Sigla gradino		Risultati prova		Parametri idrogeologici per singolo gradino		
		Pres. (t/m²)	Portata (l/min)	U.L. per gradino	K m/sec *1	K cm/sec *1
Gradino I	1	31.01	2.85	2.40E+00	2.72E-07	2.72E-05
Gradino II	2	51.16	12.75	6.51E+00	7.37E-07	7.37E-05
Gradino III	3	71.03	35.00	1.29E+01	1.46E-06	1.46E-04
Gradino IV	4	51.03	18.65	9.55E+00	1.08E-06	1.08E-04
Gradino V	5	31.00	3.60	3.03E+00	3.43E-07	3.43E-05
*1 Coefficiente di permeabilità ricavato con A.G.I. 1977						

Tabella 7 – Risultati, in termini di unità Lugeon, della prova Lugeon a carico costante sondaggio SEB1

Di seguito si riporta in grafico relativo alle unità Lugeon in funzione dei gradini di pressione.

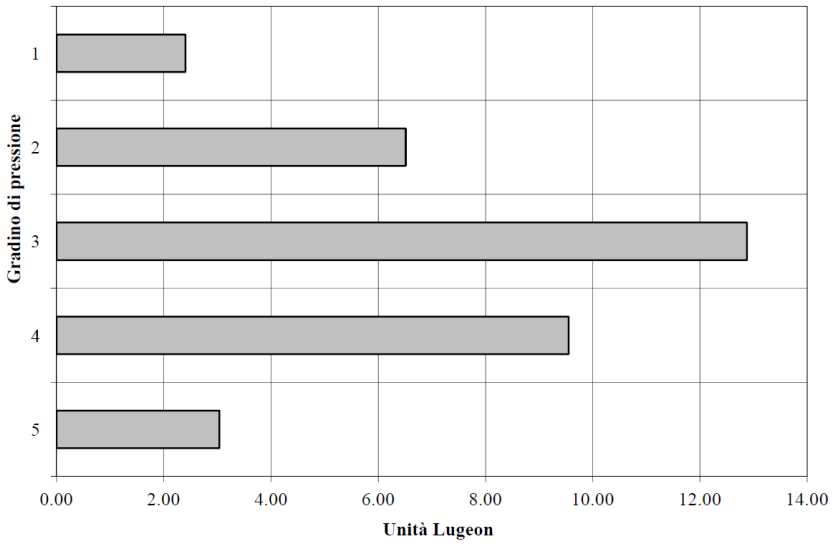


Figura 6-3 – Grafico risultati prova Lugeon a carico costante sondaggio SEB1

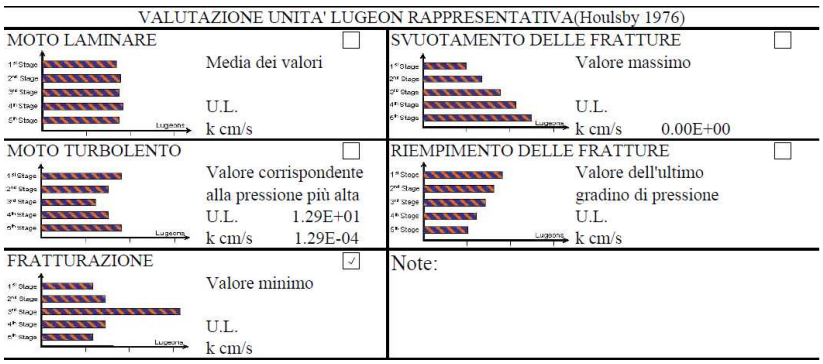


Figura 6-4 – Valutazione unità Lugeon rappresentativa (Houlsby 1976)

Per quanto riguarda la prova dilatometrica in foro, si riportano le seguenti informazioni:

- Quota del centro prova: 10 [m];
- Litologia: Calcare con passaggi Marnosi;
- Diametro foro: 101 [mm];
- Acqua nel foro da p.c.: 8.5 [m]
- Rivestimento: 8.2 [m].

Per quanto riguarda i risultati relativi alla prova “Pocket Penetrometer”:

- Prova n° 1: 3 [kg/cm^2];
- Prova n° 2: 3.5 [kg/cm^2];
- Prova n° 3: 3 [kg/cm^2];
- Prova n° 4: 3.5 [kg/cm^2];
- Prova n° 5: 4.5 [kg/cm^2];
- Prova n° 6: 0.5 [kg/cm^2];
- Prova n° 7: 0.7 [kg/cm^2].

6.1.2 *Stendimenti sismici a rifrazione SIS01*

Per quanto riguarda lo stendimento sismico a rifrazione SIS01, si riporta la tabella riassuntiva contenente le informazioni di rilievo eseguite:

TIPO DI INDAGINE	LINEA	LUNGHEZZA (m)	CANALI	INTERDISTANZA (m)	DATA
RIFRAZIONE	SIS01	115	24	5	16/10/2017

Tabella 8 – Informazioni generali stendimento sismico SIS01

Questo tipo di indagine a rifrazione, è una delle tecniche geofisiche più comunemente utilizzate in ambito ingegneristico che indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Le onde che si propagano nello stesso mezzo del fronte d'onda sono riflesse, mentre quelle che si propagano nel mezzo sottostante sono rifratte.

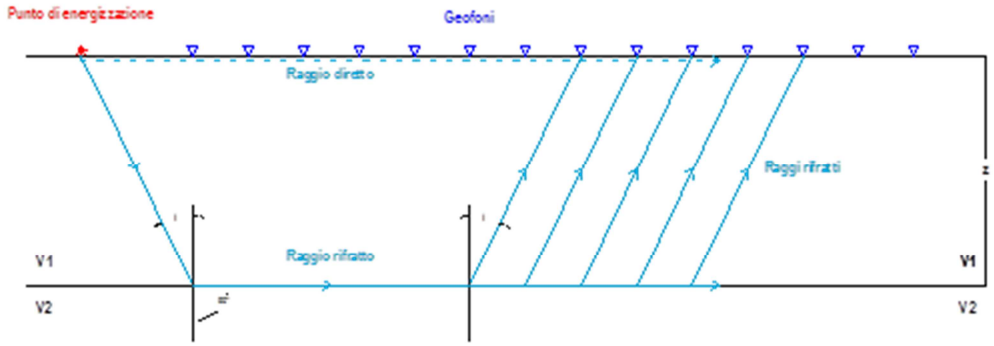


Figura 6-5 – Schema generale Indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità). Le linee di sismica a rifrazione sono state analizzate tramite elaborazione tomografica.

I risultati di tale indagine sono riportati di seguito.

Per quanto riguarda i risultati in termini di velocità delle onde di compressione:

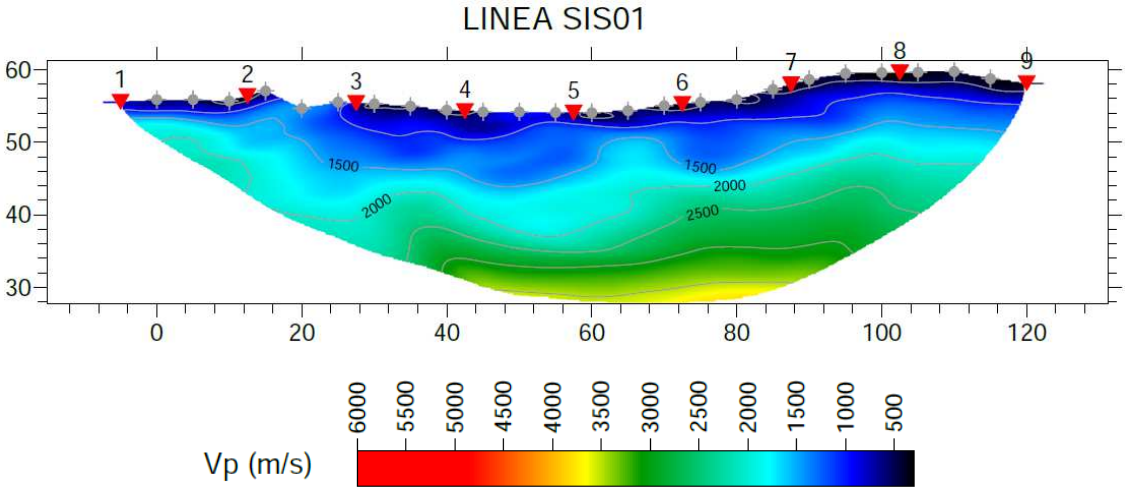


Figura 6-6 – Elaborazione tomografica relativa alle Vp stendimento sismico SIS01

Per quanto riguarda i risultati in termini di Velocità delle onde di taglio:

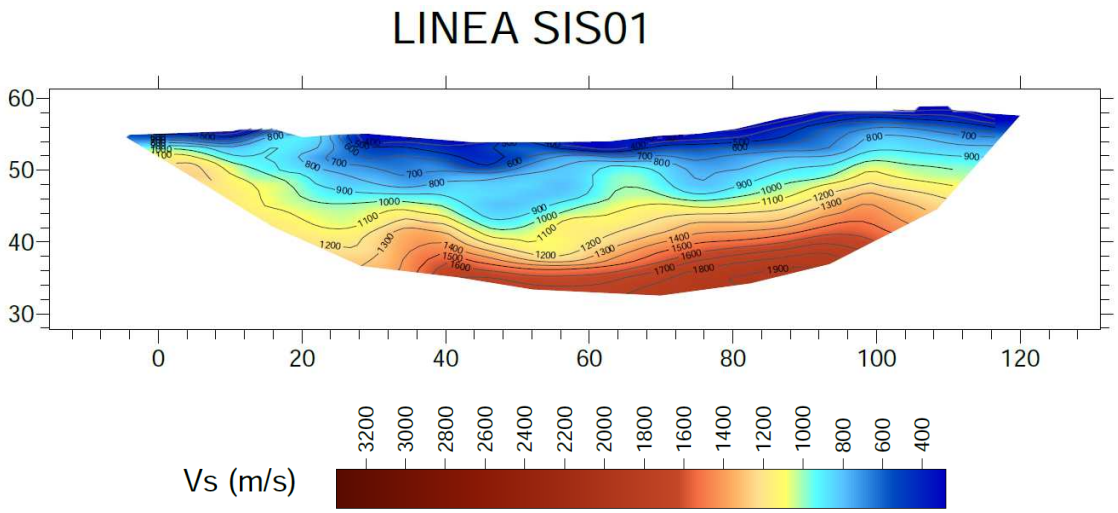


Figura 6-7 – Elaborazione tomografica relativa alle Vs stendimento sismico SIS01

6.1.3 Stendimenti sismici a riflessione SIS02

Per quanto riguarda lo stendimento sismico a rifrazione SIS02, si riporta la tabella riassuntiva contenente le informazioni di rilievo eseguite:

TIPO DI INDAGINE	LINEA	LUNGHEZZA (m)	CANALI	INTERDISTANZA (m)	DATA
SIS02	175	36	5	*16/10/2017*	SIS02

Tabella 9 – Informazioni generali stendimento sismico SIS02

Come per quanto riportato in merito allo stendimento sismico SIS01, anche per il SIS02, si riportano le seguenti informaizoni generali. Questo tipo di indagine a rifrazione, è una delle tecniche geofisiche più comunemente utilizzate in ambito ingegneristico che indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Le onde che si propagano nello stesso mezzo del fronte d'onda sono riflesse, mentre quelle che si propagano nel mezzo sottostante sono rifratte.

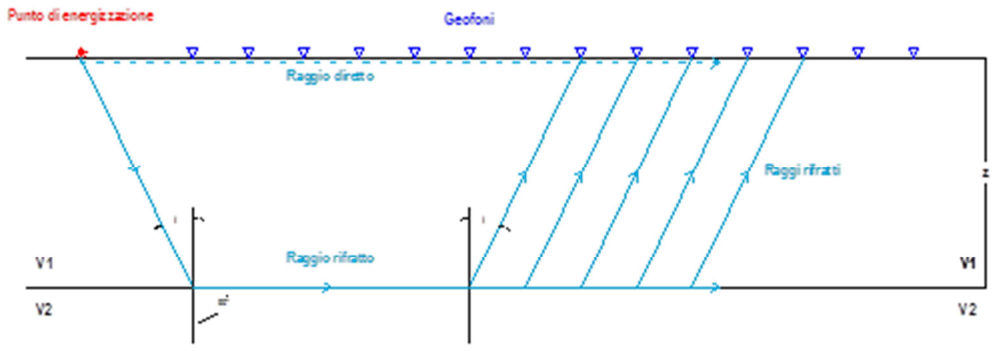


Figura 6-8 – Schema generale Indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità). Le linee di sismica a rifrazione sono state analizzate tramite elaborazione tomografica.

I risultati di tale indagine sono riportati di seguito.

Per quanto riguarda i risultati in termini di velocità delle onde di compressione:

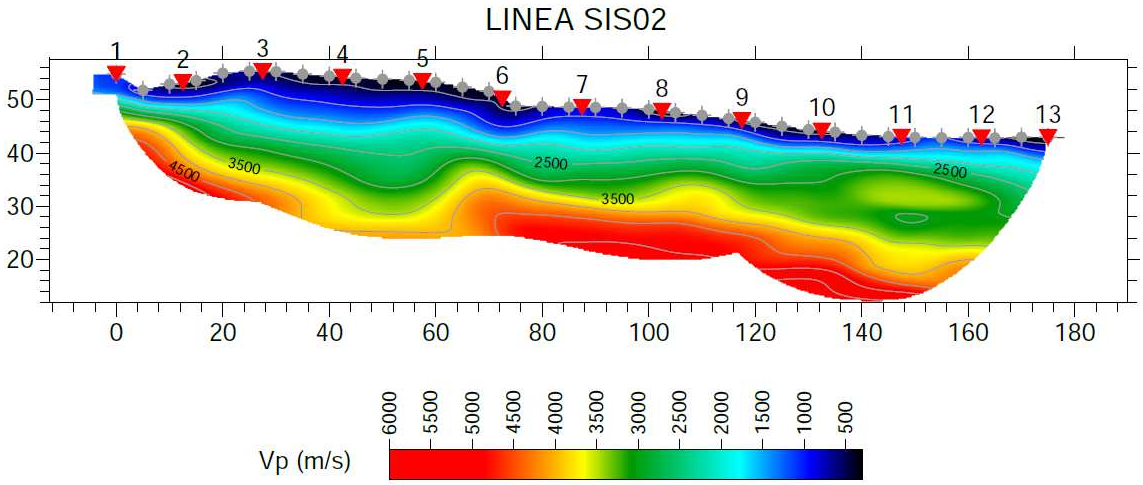


Figura 6-9 – Elaborazione tomografica relativa alle Vp stendimento sismico SIS02

Per quanto riguarda i risultati in termini di Velocità delle onde di taglio:

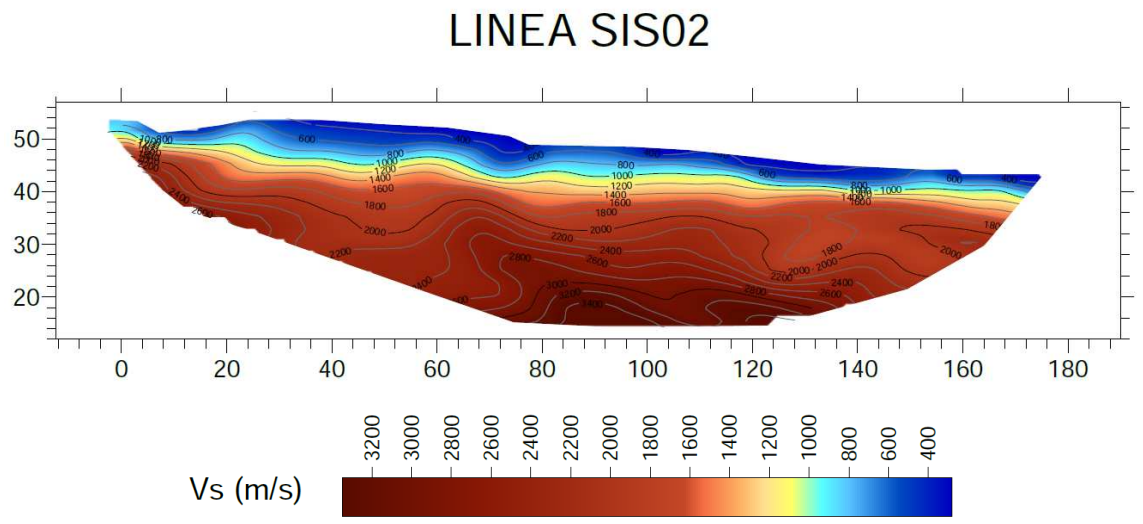


Figura 6-10 – Elaborazione tomografica relativa alle Vs stendimento sismico SIS02

6.1.4 *Prove di Laboratorio*

Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove di laboratorio effettuate relative al sondaggio SEB1 (anche il sondaggio SEB1bis)

Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità	Prove effettuate					
n°	n°	m	m						
SEB1	**CR1**	3.40-3.70	3.55	F	AR	PV	W	LIMITI	TGR
SEB1	**CR2**	5.50-5.80	5.65	AR	PV	W	LIMITI	TGR	UU
SEB1Bis	**IND1**	4.00-4.60	4.3	F	AR	PV	W	LIMITI	CIU
SEB1Bis	**IND2**	5.80-6.40	6.1	F	AR	PV	W	LIMITI	

Legenda analisi e prove terreni

D	Descrizione campione	ED	Prova edometrica a gradini di carico
F	Foto del campione	TG	Prova di taglio diretto
GR	Analisi granulometrica con setacci	TGR	Prova di taglio diretto e residuo
AR	Analisi granulometrica per sedimentazione	ELL	Prova di compressione ELL
PV	Determinazione del peso di volume	UU	Prova triassiale UU
W	Determinazione contenuto d'acqua naturale	CU	Prova triassiale CU
PS	Determinazione del peso specifico dei grani	CD	Prova triassiale CD
LC	Determinazione dei limiti di consistenza		Prova di rigonfiamento ISS ISP HA
LR	Determinazione del limite di ritiro	PRS	Prova di compattazione Proctor standard
SO	Contenuto di sostanza organica	PRM	Prova di compattazione Proctor modificato
SF	Contenuto di solfati	CBR	Prova CBR
CA	Contenuto in carbonati	K	Prova di permeabilità

Tabella 10 – Prove effettuate sui sondaggi SEB1 e SEB1bis – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva contenente le analisi di laboratorio effettuate per i provini prelevati nel contesto in oggetto.

PROVE E ANALISI SUTERRENI													TX - UU	TG		TG residuo		TX - CU	
Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica				Prova di compressione triassiale	Angolo di resistenza al taglio	Coesione drenata	Angolo di resistenza al taglio residua	Coesione drenata residua	Angolo di resistenza al taglio	Coesione drenata
				W	g_n	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	(s1 - s3)/2	f	c'	f	c'	f	c'
n°	n°	m		%	kN/m^3	%	%	%	%	%	%	%	kPa	°	kPa	°	kPa	°	kPa
SEB1	CR1	3.55	CL	18.78	19.30	41.1	21.7	19.3	9.54	15.49	27.86	47.11		25.4	11.1	22.70	0"		
SEB1	CR2	5.65	CL	19.30	19.58	40.8	24.4	16.4	4.81	16.72	31.18	47.29	132.23	26.2	8.4	23.3	0		
SEB1Bis	IND1	4.3	CL	20.05	18.62	39.1	23.5	15.7	1.45	4.57	41.13	52.84						25.5	12.6
SEB1Bis	IND2	6.1	CL	21.30	20.45	38.8	22.4	16.4	2.25	11.82	33.13	52.80							

Tabella 11 – Prove e analisi su terreni – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

6.2 Contesto sponda sx idrografica Bisagno / Via Adamoli

6.2.1 Sondaggio geognostico SEB2

Il sondaggio geognostico SEB2, è stato effettuato nel contesto "Sponda sx idrografica Bisagno/Via Adamoli" in prossimità dell'opera di presa del torrente Bisagno. La quota caposaldo del sondaggio è 40.39 qslm e si estende, come il sondaggio SEB1, per 30 metri di profondità.

Si riporta, per comodità, l'elenco delle informazioni contenute nel paragrafo 5.2.2:

SEB2 – sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: Internamente all'area giardini piscine all'aperto Sciorba (nelle immediate vicinanze della recinzione su Via Adamoli);
- Profondità: 30 [m];
- Prove SPT: n° 5;
- Prove di permeabilità Lefranc: n° 2;
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 1;
- Prova dilatometrica in foro: n° 1;
- Condizionata per esecuzione prova Cross-hole.

Dal paragrafo appena citato, emergono anche le finalità di tale sondaggio. E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Descrizione [-]	Profodnità [m]
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-1.5
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-2.5
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-3.5
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-4.5
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-5.5
Terreno di riporto (elementi antropici, sabbia e limo)	-6.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-7.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-8.5
Coltre detritica (limo argilloso- sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-9.5
Coltre detritica (limo argilloso- sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-10.5
Cappellaccio alterazione	-11.5
Cappellaccio alterazione	-12.5
Substrato FLysch M. Antola	-13.5
Substrato FLysch M. Antola	-14.5
Substrato FLysch M. Antola	-15.5
Substrato FLysch M. Antola	-16.5
Substrato FLysch M. Antola	-17.5

Substrato FLysch M. Antola	-18.5
Substrato FLysch M. Antola	-19.5
Substrato FLysch M. Antola	-20.5
Substrato FLysch M. Antola	-21.5
Substrato FLysch M. Antola	-22.5
Substrato FLysch M. Antola	-23.5
Substrato FLysch M. Antola	-24.5
Substrato FLysch M. Antola	-25.5
Substrato FLysch M. Antola	-26.5
Substrato FLysch M. Antola	-27.5
Substrato FLysch M. Antola	-28.5
Substrato FLysch M. Antola	-29.5

Tabella 12 – Stratigrafia del sondaggio SEB2

Per quanto riguarda le prove SPT, si riporta l'elenco dell'esito di tali prove:

- Prova 1: Quota prova 3 m N1:7; N2:12; N3:10. Nspt:22
- Prova 2: Quota prova 4.5 m. N1:5; N2:7; N3:5. Nspt:12
- Prova 3: Quota prova 6 m N1:6; N2: 7; N3:31 Nspt:38
- Prova 4: Quota prova 8 m N1:28; N2: 41; N3:50 Nspt:91
- Prova 5: Quota prova 10 m N1:23; N2: 37; N3:48 Nspt:85

Dal confronto delle profondità con la stratigrafia, possiamo osservare che le prove 1, 2 e 3, relative al sondaggio SEB2, ricadono nello strato "Riporto" identificato nel precedente paragrafo.

Per quanto riguarda la prova di permeabilità Lefranc, si riporta un elenco delle informazioni generali riportate nel certificato della prova. Per quanto riguarda la prova Lefranc numero 1:

- Quota base camera: 6.5 metri;
- Quota base tetto: 6 metri
- Diametro camera: 127 millimetri
- Profondità: 6.5 metri;
- Livello innalzato: 7.3 metri;
- Geometria camera: Fondo cilindrico in terreno uniforme.

Dal confronto con la stratigrafia, si può osservare, la/le geologiche indagate da questa prova.

Di seguito si riportano, in forma tabellare e in forma grafica, i risultati emersi da questa prova.

Tempo (min)	Assorbimento parziale (l)	Assorbimento totale (l)	Portata parziale (l/sec)	K (m/sec)	K (cm/sec)
0	0,00				
1	90,00	90,00	1,50	1,08E-04	1,08E-02
2	88,00	178,00	1,47	1,06E-04	1,06E-02
3	87,00	265,00	1,45	1,04E-04	1,04E-02
4	87,00	352,00	1,45	1,04E-04	1,04E-02
5	86,00	438,00	1,43	1,03E-04	1,03E-02
10	427,00	865,00	1,42	1,02E-04	1,02E-02
15	426,00	1291,00	1,42	1,02E-04	1,02E-02
20	425,00	1716,00	1,42	1,02E-04	1,02E-02
25	423,00	2139,00	1,41	1,01E-04	1,01E-02
30	422,00	2561,00	1,41	1,01E-04	1,01E-02
40	841,00	3402,00	1,40	1,01E-04	1,01E-02
50	840,00	4242,00	1,40	1,01E-04	1,01E-02
60	840,00	5082,00	1,40	1,01E-04	1,01E-02

Tabella 13 – Rapporto prova Lefranc numero 1 a carico costante sondaggio SEB2

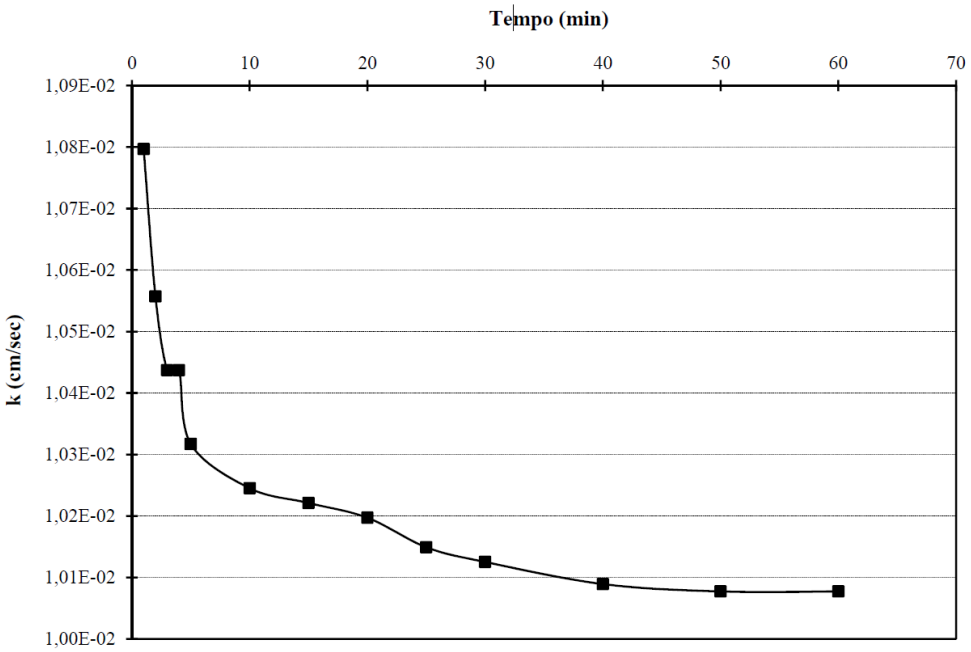


Figura 6-11 – Grafico rapporto prova Lefranc numero 1 a carico costante sondaggio SEB2

Per quanto riguarda la prova Lefranc numero 2:

Si riportano di seguito, in forma tabellare e in forma grafica i risultati della prova in questione.

- Quota base camera: 9.5 metri;
- Quota base tetto: 9 metri
- Diametro camera: 127 millimetri
- Profondità: 7.5 metri;
- Livello innalzato: 8.3 metri;
- Geometria camera: Fondo cilindrico in terreno uniforme.

Tempo (min)	Assorbimento parziale (l)	Assorbimento totale (l)	Portata parziale (l/sec)	K (m/sec)	K (cm/sec)
0	0,00				
1	77,00	77,00	1,28	8,12E-05	8,12E-03
2	75,00	152,00	1,25	7,91E-05	7,91E-03
3	72,00	224,00	1,20	7,60E-05	7,60E-03
4	71,00	295,00	1,18	7,49E-05	7,49E-03
5	70,00	365,00	1,17	7,39E-05	7,39E-03
10	345,00	710,00	1,15	7,28E-05	7,28E-03
15	344,00	1054,00	1,15	7,26E-05	7,26E-03
20	343,00	1397,00	1,14	7,24E-05	7,24E-03
25	343,00	1740,00	1,14	7,24E-05	7,24E-03
30	342,00	2082,00	1,14	7,22E-05	7,22E-03
40	683,00	2765,00	1,14	7,21E-05	7,21E-03
50	682,00	3447,00	1,14	7,20E-05	7,20E-03
60	682,00	4129,00	1,14	7,20E-05	7,20E-03

Tabella 14 – Rapporto prova Lefranc numero 2 a carico costante sondaggio SEB2

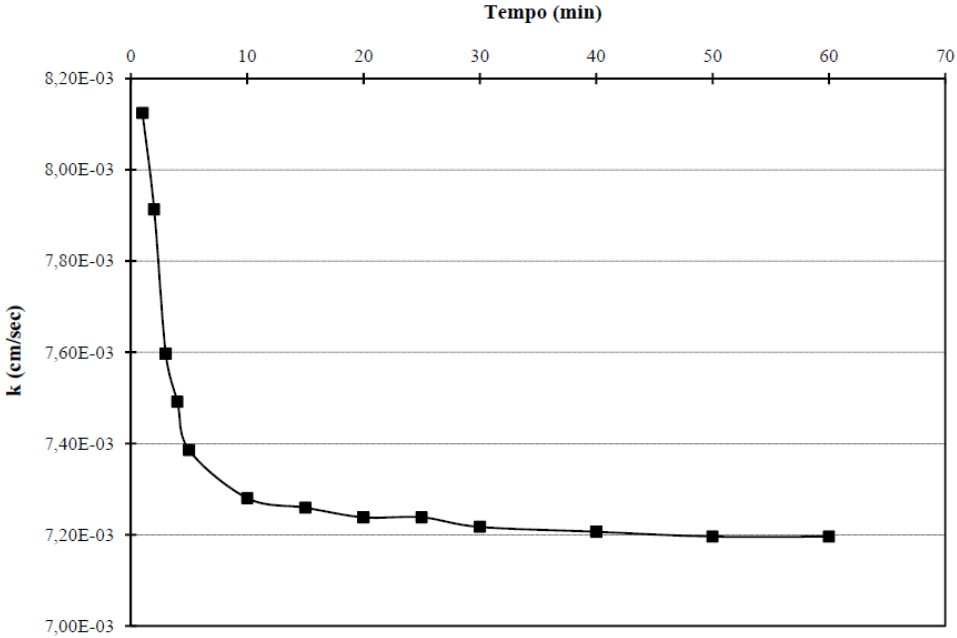


Figura 6-12 – Grafico rapporto prova Lefranc numero 2 a carico costante sondaggio SEB2

Per quanto riguarda la prova Dilatometrica in foro, si riportano le seguenti informazioni:

- Quota del centro prova: 23.5 [m];
- Litologia: Calcare con passaggi Marnosi;
- Diametro foro: 101 [mm];
- Acqua nel foro da p.c.: 0 [m]
- Rivestimento: 9 [m].

6.2.2 *Prova cross-hole in perforazioni SEB2*

Come riportato nella relazione nella relazione relativa alle indagini sismiche, l'indagine in tomografia cross-hole permette di superare le limitazioni poste dalle indagini da superficie relativamente alle zone di inversione di velocità e alla scarsa densità della matrice di dato acquisito a profondità significative.

L'indagine in tomografia cross-hole viene eseguita attraverso le seguenti fasi:

- In un foro viene posizionata la sorgente di energia;
- Nel foro adiacente vengono posizionati gli idrofoni con interdistanza fissa (geofoni che non hanno bisogno di contatto fisico con il mezzo circostante ma necessitano presenza di acqua nel foro);
- Esecuzione dell'energizzazione e registrazione dell'arrivo degli impulsi;
- Spostamento verso l'alto della sorgente di energia.

La sezione tra i due fori interessati dall'indagine viene attraversata da una notevole quantità di impulsi sismici, creando le condizioni migliori per una ricostruzione agli elementi finiti delle velocità dei singoli pixel.
Di seguito è riportato uno schema esemplificativo della geometria di acquisizione e dei raggi sismici che attraversano i materiali:

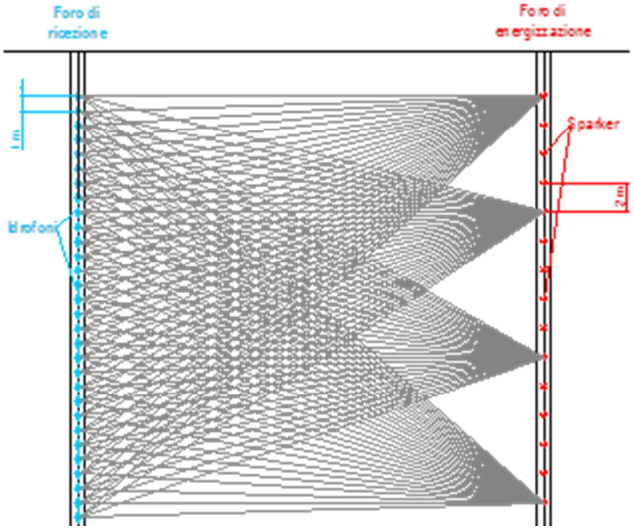


Figura 6-13 – Schema generale Indagine sismica Cross-hole

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva per l'indagine Cross-hole eseguita per il sondaggio SEB2 in esame

TIPO DI INDAGINE	LINEA	LUNGHEZZA (m)	CANALI	INTERDISTANZA (m)	DATA
Cross-hole Vp	SEB2bis-SEB2	30	24	5	25/10/2017
Cross-hole Vp/Vs	SEB2bis-SEB2	30	24	5	25/10/2017
LUNGHEZZA TOT (m)	**60**				

Tabella 15 – Informazioni generali prova cross-hole per il sondaggio SIS02

Il rilievo cross-hole permette la determinazione dei tempi di arrivo dell'impulso delle onde di taglio S.

- Posizionamento e bloccaggio del ricevitore (in foro) a fondo foro;
- Posizionamento e bloccaggio dello sparker (in foro) a fondo foro;
- Generazione dell'impulso da foro controllato da sistema di trigger;
- Ripetizione delle medesime operazioni in risalita per ogni mezzo metro di profondità.

Dai tempi di arrivo è possibile calcolare, nota la distanza in superficie dei fori, la velocità dell'impulso S. Successivamente, dal parametro Vs ipotizzando la densità del mezzo attraversato (γ) è possibile definire i seguenti parametri:

- v: coefficiente di Poisson
- G: modulo di deformazione a taglio
- E: modulo di Young

Di seguito è riportato lo schema esemplificativo della geometria di acquisizione.

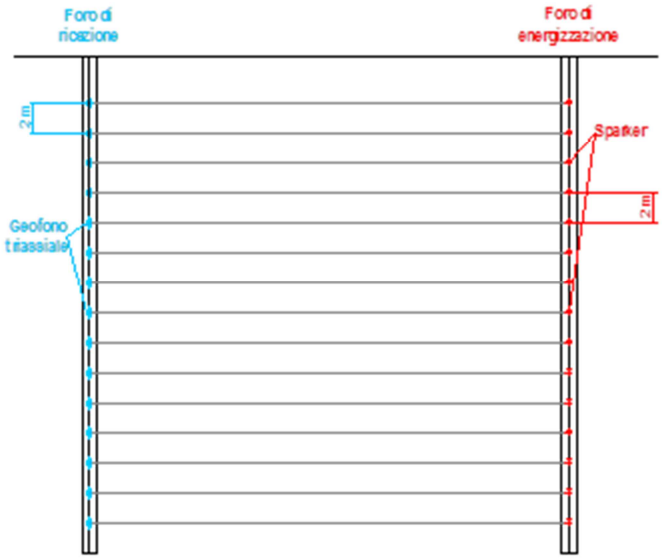


Figura 6-14 – Schema esemplificativo della geometria di acquisizione prova Cross-hole

Cross hole Vp:

Per la tomografia cross-hole Vp sono state impiegate n. 2 catene idrofoniche con interdistanza dei 24 sensori pari a 1 m e frequenza di 10 Hz. Gli idrofoni sono trasduttori piezoelettrici che generano una tensione proporzionale alla variazione istantanea della pressione dell'acqua in funzione del segnale sismico. L'accoppiamento del sensore al mezzo circostante è dato dall'acqua con la quale viene riempito il foro di sondaggio che pertanto deve essere realizzato a tenuta, opportunamente cementato e dotato di tappo di fondo.

Cross hole Vp/Vs:

Per la misura del parametro Vs è stato utilizzato un doppio geofono triassiale da foro con interdistanza 2m (modello DDS della Geotomographie) con frequenza pari a 10 Hz dotato di unità di controllo e sistema di ancoraggio pneumatico alle pareti del foro. I geofoni sono sensori di tipo elettromagnetico che generano una tensione proporzionale alla velocità della perturbazione sismica.

Il sistema è costituito da 2 geofoni triassiali (assi x-y-z) con interdistanza pari a 2m.

I cavi utilizzati per l'acquisizione del dato sismico sono cavi con guaina in polipropilene schermati con connettori tipo militare Cannon.

I risultati derivanti da questa indagine sono di seguito riportati, sia in forma tabellata che grafica:

Depth	Dp	Ds	Tp	Ts	Vp	Vs	Vp/Vs	γ	v	Edin	Gdin
-1.0	5.00	5.00	0.0094	0.0397	532	126	4.22	18.0	0.47	86	29
-2.0	5.00	5.00	0.0095	0.0411	526	122	4.33	18.0	0.47	80	27
-3.0	5.00	5.00	0.0095	0.0400	528	125	4.23	18.0	0.47	84	29
-4.0	5.00	5.00	0.0095	0.0402	529	124	4.25	18.0	0.47	83	28
-5.0	5.00	5.00	0.0094	0.0388	534	129	4.14	18.0	0.47	90	31
-6.0	5.00	5.00	0.0073	0.0310	685	161	4.25	18.0	0.47	140	48
-7.0	5.00	5.00	0.0062	0.0252	806	199	4.06	18.0	0.47	213	72
-8.0	5.00	5.00	0.0051	0.0209	980	239	4.10	18.0	0.47	308	105
-9.0	5.00	5.00	0.0046	0.0179	1087	280	3.88	18.0	0.46	421	144
-10.0	5.00	5.00	0.0039	0.0160	1282	313	4.10	18.0	0.47	527	179
-11.0	5.00	5.00	0.0025	0.0096	2000	521	3.84	18.0	0.46	1457	498
-12.0	5.00	5.00	0.0018	0.0064	2793	778	3.59	18.0	0.46	3240	1111
-13.0	5.00	5.00	0.0015	0.0049	3333	1020	3.27	18.0	0.45	5534	1911
-14.0	5.00	5.00	0.0014	0.0035	3571	1429	2.50	21.0	0.40	12274	4369
-15.0	5.00	5.00	0.0014	0.0034	3571	1471	2.43	21.0	0.40	12943	4629
-16.0	5.00	5.00	0.0015	0.0034	3448	1471	2.34	21.0	0.39	12859	4629
-17.0	5.00	5.00	0.0015	0.0036	3333	1375	2.43	21.0	0.40	11305	4045
-18.0	5.00	5.00	0.0015	0.0036	3333	1389	2.40	21.0	0.39	11521	4129
-19.0	5.00	5.00	0.0015	0.0033	3355	1504	2.23	21.0	0.37	13305	4841
-20.0	5.00	5.00	0.0014	0.0034	3554	1461	2.43	21.0	0.40	12773	4567
-21.0	5.00	5.00	0.0014	0.0034	3568	1476	2.42	21.0	0.40	13033	4666
-22.0	5.00	5.00	0.0014	0.0032	3608	1569	2.30	21.0	0.38	14576	5268
-23.0	5.00	5.00	0.0013	0.0030	3775	1650	2.29	21.0	0.38	16111	5830
-24.0	5.00	5.00	0.0012	0.0028	4014	1765	2.28	21.0	0.38	18401	6666
-25.0	5.00	5.00	0.0012	0.0028	4282	1806	2.37	21.0	0.39	19437	6983
-26.0	5.00	5.00	0.0011	0.0025	4433	1970	2.25	21.0	0.38	22885	8310
-27.0	5.00	5.00	0.0011	0.0026	4446	1950	2.28	21.0	0.38	22487	8142
-28.0	5.00	5.00	0.0011	0.0025	4537	2039	2.23	21.0	0.37	24452	8902
-29.0	5.00	5.00	0.0011	0.0024	4729	2050	2.31	21.0	0.38	24898	8993
-30.0	5.00	5.00	0.0010	0.0023	4781	2173	2.20	21.0	0.37	27702	10112
maximum			0.0095	0.0411	4781	2173	4.33		0.47	27702	10112
minimum			0.0010	0.0023	526	122	2.20		0.37	80	27
average			0.0034	0.0128	2732	1089	3.06		0.42	10107	3643
st. deviation			0.0032	0.0144	1537	738	0.87		0.04	9165	3328

PARAMETER		DEFINITION	UNIT OF MEASUREMENT
Depth		depth from land surface	*m*
D		distance between source and receiver	*m*
Tp		P waves arrival time	*s*
Ts		S waves arrival time	*s*
Vp		P waves interval velocity	*m/s*
Vs		S waves interval velocity	*m/s*
Vp/Vs		P velocity and S velocity ratio	
γ		density	kN/m^3
v		Poisson's ratio	
Edin		Dynamic elastic modulus	*MPa*
Gdin		Dynamic shear modulus	*MPa*

Tabella 16 – Rapporto prova cross-hole per il sondaggio SIS02

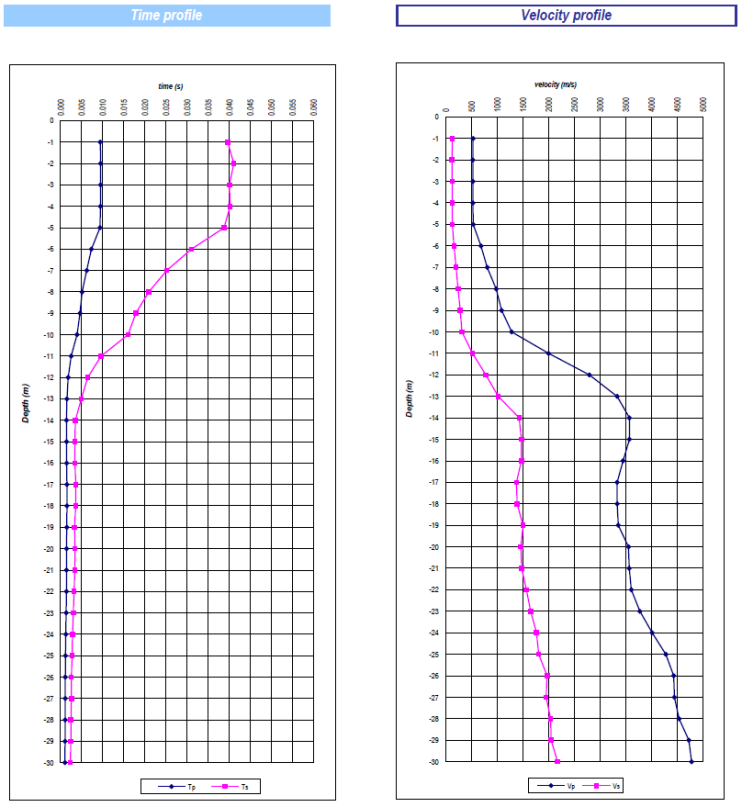


Figura 6-15 – Profili dei tempo e delle velocià delle onde di compressione e di taglio relative alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

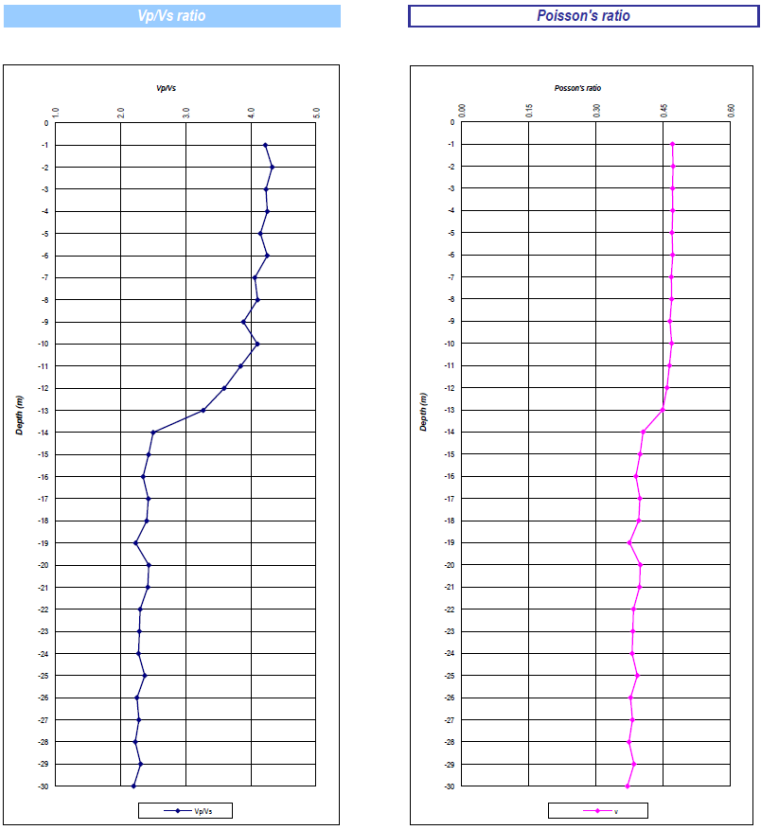


Figura 6-16 – Profili Vp/Vse e Coefficiente di Poisson relativi alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

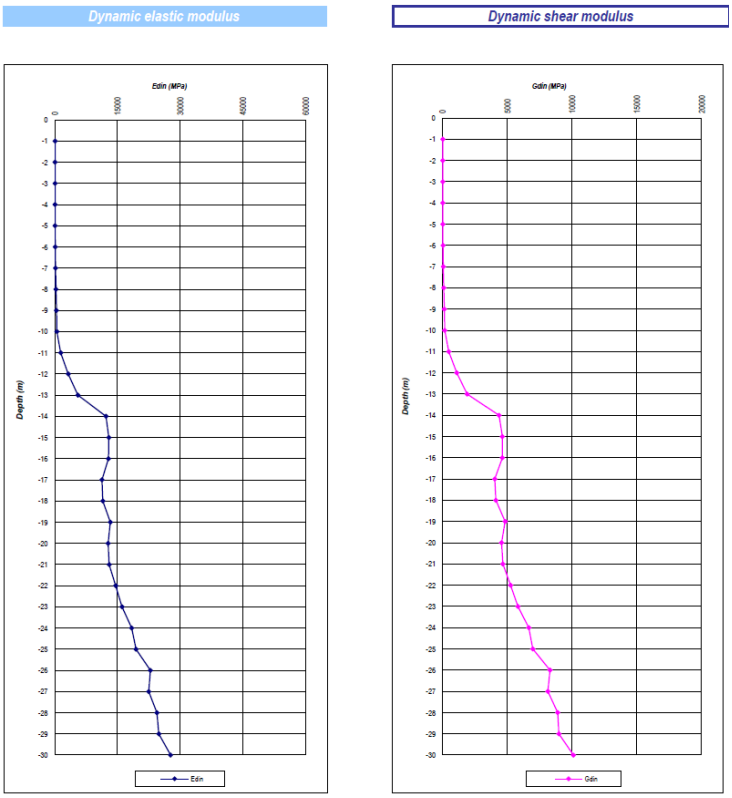


Figura 6-17 – Profili Modulo elastico dinamico e modulo di taglio dinamico relativi alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

Per quanto riguarda i risultati in forma grafica:

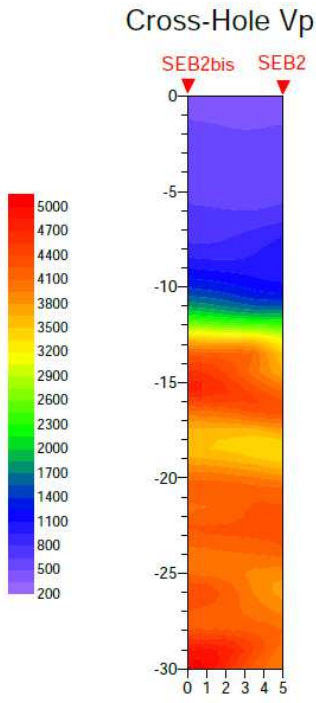


Figura 6-18 – Andamento Velocità onde di compressione relativo alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

6.2.3 *Stendimenti sismici a rifrazione Linea C e Linea D*

Per quanto riguarda gli stendimenti sismici a rifrazione Linea C e Linea D, si riporta la tabella riassuntiva contenente le informazioni di rilievo eseguite:

TIPO DI INDAGINE	LINEA	LUNGHEZZA (m)	CANALI	INTERDISTANZA (m)	DATA
RIFRAZIONE	LINEA C	115	24	5	*02-03/11/2017*
RIFRAZIONE	LINEA D	115	24	5	*02-03/11/2017*

Tabella 17 – Informazioni generali stendimenti sismici Linea C e Linea D

Questo tipo di indagine a rifrazione, è una delle tecniche geofisiche più comunemente utilizzate in ambito ingegneristico che indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Le onde che si propagano nello stesso mezzo del fronte d'onda sono riflesse, mentre quelle che si propagano nel mezzo sottostante sono rifratte.

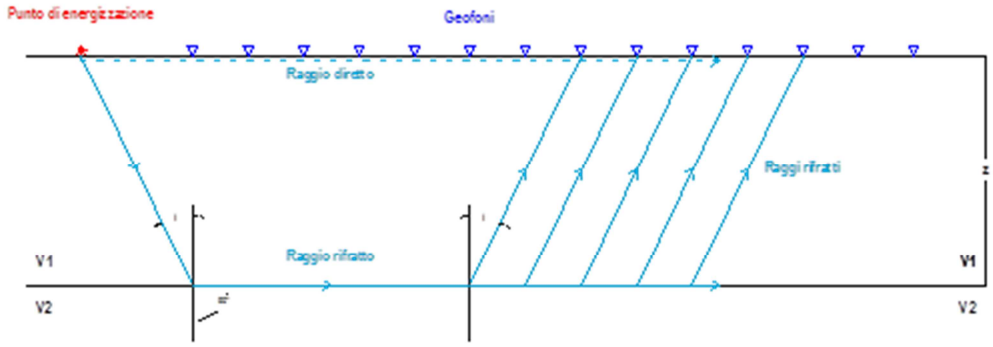


Figura 6-19 – Schema generale Indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità). Le linee di sismica a rifrazione sono state analizzate tramite elaborazione tomografica.

I risultati di tale indagine sono riportati di seguito.

Per quanto riguarda i risultati in termini di velocità delle onde di compressione:

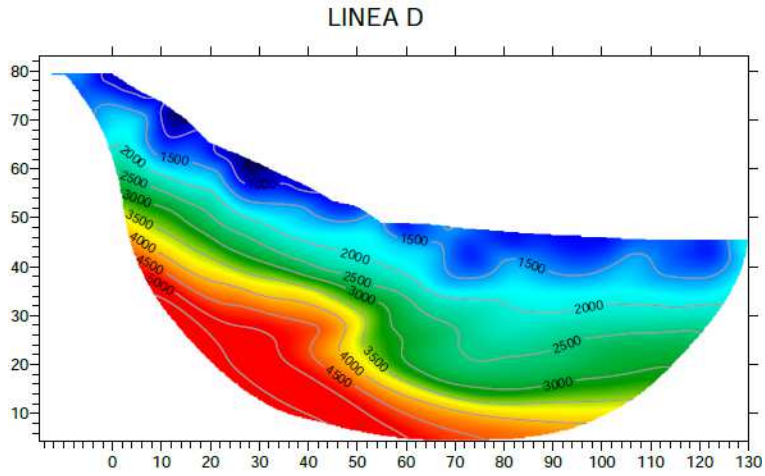


Figura 6-20 – Elaborazione tomografica relativa alle Vp stendimento sismico Linea D

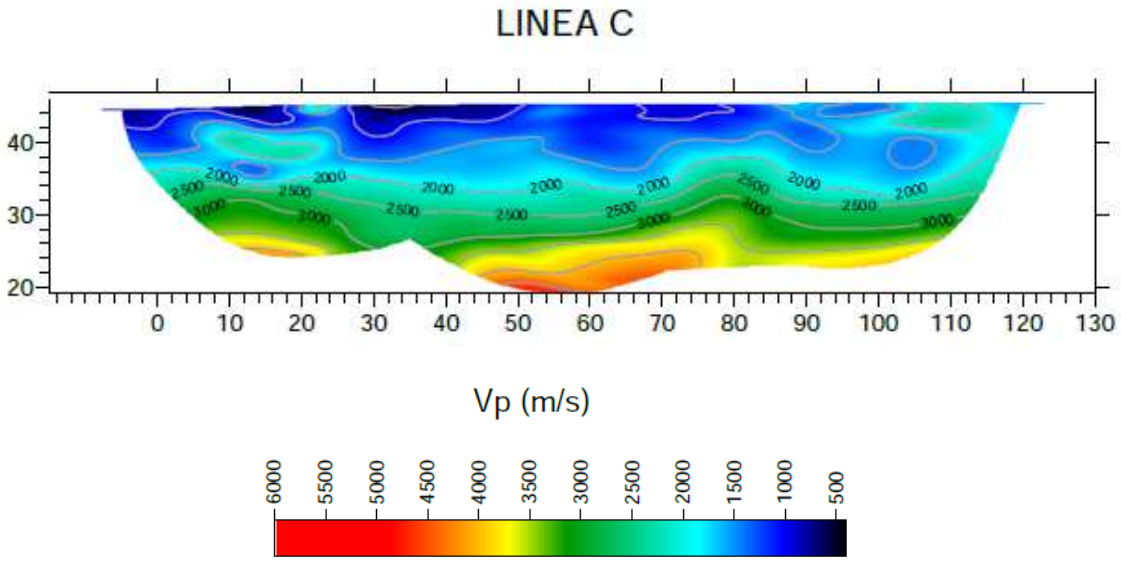


Figura 6-21 – Elaborazione tomografica relativa alle Vp stendimento sismico Linea C e Linea D

Per quanto riguarda i risultati in termini di Velocità delle onde di taglio:

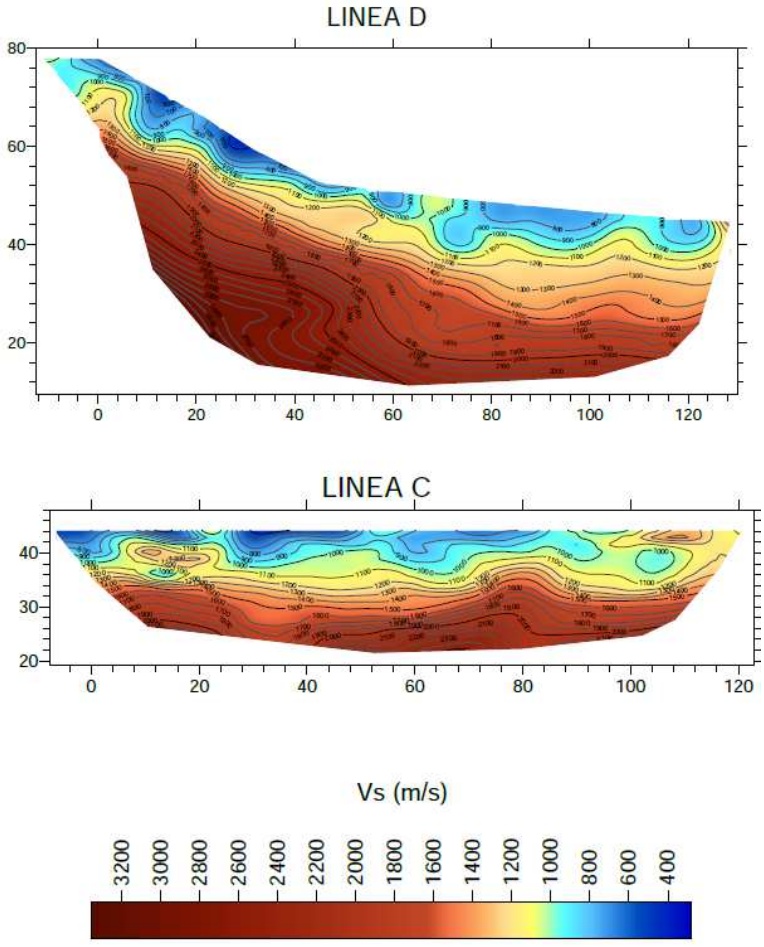


Figura 6-22 – Elaborazione tomografica relativa alle Vs degli stendimenti sismici Linea C e Linea D

6.2.4 *Prove di Laboratorio*

Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove effettuate relative al sondaggio SEB2 poc'anzi citati (anche riguardanti il sondaggio SEB2ter).

Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità media	Prove effettuate						
n°	n°	m	m							
SEB2	**CR1**	1.50-2.00	1.75	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2	**CR2**	2.50-3.00	2.75	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2	**CR3**	4.50-5.00	4.75	D	F	AR	GR	LIMITI	PV	(TGR) TAGLIO ANULA
SEB2	**CR4**	6.00-6.50	6.25	D	F	AR	GR	LIMITI	PV	(TGR) TAGLIO ANULA
SEB2	**CR5**	7.00-7.50	7.25	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2	**CR6**	9.50-10.00	9.75	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2	**CR7**	10.40-10.70	10.55	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2Ter	**CR1**	3,00-3,50	3.25	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2Ter	**CR2**	5,00-5,50	5.25	D	F	AR	GR	LIMITI		
SEB2Ter	**CR3**	11,00-11,50	11.25	D	F	AR	GR	LIMITI		

Legenda analisi e prove terreni

D	Descrizione campione	ED	Prova edometrica a gradini di carico
F	Foto del campione	TG	Prova di taglio diretto
GR	Analisi granulometrica con setacci	TGR	Prova di taglio diretto e residuo
AR	Analisi granulometrica per sedimentazione	ELL	Prova di compressione ELL
PV	Determinazione del peso di volume	UU	Prova triassiale UU
W	Determinazione contenuto d'acqua naturale	CU	Prova triassiale CU
PS	Determinazione del peso specifico dei grani	CD	Prova triassiale CD
LC	Determinazione dei limiti di consistenza		Prova di rigonfiamento ISS ISP HA
LR	Determinazione del limite di ritiro	PRS	Prova di compattazione Proctor standard
SO	Contenuto di sostanza organica	PRM	Prova di compattazione Proctor modificato
SF	Contenuto di solfati	CBR	Prova CBR
CA	Contenuto in carbonati	K	Prova di permeabilità

Tabella 18 – Prove effettuate sui sondaggi SEB2 e SEB2bis

Con la relativa tabella riassuntiva

													TG residuo	
Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità media	Classificazione USCS	Peso di volume naturale		Limiti di Atterberg		Composizione granulometrica				Angolo di resistenza a l taglio residua	Coesione drenata residua
					γ_n	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	ϕ	c'
n°	n°	m	m		kN/m³	%	%	%	%	%	%	%	°	kPa
SEB2	CR1	1.50-2.00	1.75	GM		43.9	27.4	16.4	32.27	21.9	25.05	20.78		
SEB2	CR2	2.50-3.00	2.75	GC		35.4	22.1	13.3	67.77	10.71	6.99	14.53		
SEB2	CR3	4.50-5.00	4.75	SC	19.66	32.4	23.2	9.2	21.47	29.47	15.29	33.77	25,5"	0"
SEB2	CR4	6.00-6.50	6.25	GC	20.75	32.6	21.4	11.4	35.92	26.38	11.75	25.95	26,1"	0"
SEB2	CR5	7.00-7.50	7.25	GM-GC		23.2	17.9	5.3	64.00	24.34	6.88	4.78		
SEB2	CR6	9.50-10.00	9.75	GC		29.8	19.3	10.5	49.42	28.7	11.85	10.03		

SEB2	CR7	10.40-10.70	10.55	GC		26.4	19.1	7.3	40.90	32.94	10.72	15.44		
SEB2Ter	CR1	3,00-3,50	3.25	GM		30.6	24.1	6.4	41.66	30.67	12.96	14.71		
SEB2Ter	CR2	5,00-5,50	5.25	SC		30.5	20.8	9.7	28.55	35.27	17.81	18.37		
SEB2Ter	CR3	11,00-11,50	11.25	GC		27.6	18.8	8.8	60.80	23.02	7.16	9.02		

Tabella 19 – Prove e analisi su terreni sondaggi SEB2 e SEB2ter

6.3 Contesto alveo Bisagno

6.3.1 Sondaggio geognostico SEB3

Il sondaggio geognostico SEB3, è stato effettuato nel contesto "Alveo Bisagno" in prossimità dell'opera di presa del torrente Bisagno. il sondaggio SEB3 è stato perforato sino a 25 metri di profondità.

SEB3 – sondaggio a carotaggio continuo

- ubicazione: sponda dx, traversa di sbarramento;
- profondità: 25 m
- prove SPT: num. 6
- prove di permeabilità Lefranc: num.3

E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Descrizione [-]	Profodnità [m]
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-1.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-2.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-3.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-4.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-5.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-6.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-7.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-8.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-9.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-10.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-11.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-12.5
Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-13.5
Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-14.5
Substrato FLysch M. Antola	-15.5
Substrato FLysch M. Antola	-16.5
Substrato FLysch M. Antola	-17.5
Substrato FLysch M. Antola	-18.5
Substrato FLysch M. Antola	-19.5
Substrato FLysch M. Antola	-20.5
Substrato FLysch M. Antola	-21.5
Substrato FLysch M. Antola	-22.5
Substrato FLysch M. Antola	-23.5
Substrato FLysch M. Antola	-24.5

Tabella 20 – Stratigrafia del sondaggio SEB3

Per quanto riguarda le prove SPT, si riporta l'elenco dell'esito di tali prove:

- Prova 1: Quota prova 3 m N1:28; N2:50; N3:Rif. Nspt: -
- Prova 2: Quota prova 4.5 m. N1:26; N2:33; N3:39; Nspt:72
- Prova 3: Quota prova 6 m N1:24; N2:38; N3:36; Nspt:74
- Prova 4: Quota prova 8.7 m N1:19; N2:29; N3:36; Nspt:65
- Prova 5: Quota prova 11 m N1:21; N2:23; N3:39; Nspt:62
- Prova 6: Quota prova 13 m N1:19; N2:12; N3:10; Nspt:22

Per quanto riguarda la prova SPT effettuate alla profondità più alte sul sondaggio SEB3 (13 metri), dal confronto con la stratigrafia riportata nella sezione geologia dell'opera di presa e con le fotografie del sondaggio, emerge che quest'ultima, ricade nell'unità geologica corrispondente alla coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia).

6.3.1.1 Prove di Laboratorio sondaggio SEB3

Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove di Laboratorio effettuate, relative al sondaggio SEB3.

Sondaggio	**Campione**	**Profondità**	**Profondità media**	Classificazione USCS	Prove effettuate						
n°	n°	m	m	-							
SEB3	**CI1**	13.60-14.20	13.9	CL	D	AR	LIMITI	PV	W	ED	TG
SEB3	**CR1**	2.00-2.50	2.25	GC	D	AR	LIMITI				
SEB3	**CR2**	4.30-4.70	4.5	GM-GC	D	AR	LIMITI				
SEB3	**CR3**	5.40-6.00	5.8	GC	D	AR	LIMITI				
SEB3	**CR4**	9.40-9.80	9.6	GC	D	AR	LIMITI				
SEB3	**CR5**	11.50-11.80	11.65	GC	D	AR	LIMITI				

Legenda analisi e prove terreni

D	Descrizione campione	ED	Prova edometrica a gradini di carico
F	Foto del campione	TG	Prova di taglio diretto
GR	Analisi granulometrica con setacci	TGR	Prova di taglio diretto e residuo
AR	Analisi granulometrica per sedimentazione	ELL	Prova di compressione ELL
PV	Determinazione del peso di volume	UU	Prova triassiale UU
W	Determinazione contenuto d'acqua naturale	CU	Prova triassiale CU
PS	Determinazione del peso specifico dei grani	CD	Prova triassiale CD
LC	Determinazione dei limiti di consistenza		Prova di rigonfiamento ISS ISP HA
LR	Determinazione del limite di ritiro	PRS	Prova di compattazione Proctor standard
SO	Contenuto di sostanza organica	PRM	Prova di compattazione Proctor modificato
SF	Contenuto di solfati	CBR	Prova CBR
CA	Contenuto in carbonati	K	Prova di permeabilità

Tabella 21 – Prove di laboratorio - Sondaggio SEB3

6.3.2 *Sondaggio geognostico SEB4*

Il sondaggio geognostico SEB4, è stato effettuato nel contesto "Sponda sx idrografica Bisagno/Via Adamoli" in prossimità dell'opera di presa del torrente Bisagno. La quota caposaldo del sondaggio è 40.39 qslm e si estende, come il sondaggio SEB4, per 15 metri di profondità

SEB4 – sondaggio a carotaggio continuo

- ubicazione: sponda dx, briglia di trattenuta;
- profondità: 15 m
- prove SPT: num. 5
- prove di permeabilità Lefranc: num.2

E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Descrizione [-]	Profodnità [m]
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-1.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-2.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-3.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-4.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-5.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-6.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-7.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-8.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-9.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-10.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-11.5
Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	-12.5
Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-13.5
Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)	-14.5

Tabella 22 – Stratigrafia del sondaggio SEB4

Per quanto riguarda le prove SPT, si riporta l'elenco dell'esito di tali prove:

- Prova 1: Quota prova 3 m N1:16; N2:28; N3:44. Nspt:72
- Prova 2: Quota prova 6 m. N1:14; N2:25; N3:39; Nspt:64
- Prova 3: Quota prova 9 m N1:18; N2:22; N3:37; Nspt:59
- Prova 4: Quota prova 10.5 m N1:32; N2:30; N3:24; Nspt:54
- Prova 5: Quota prova 13.5 m N1:15; N2:17; N3:15; Nspt:32

Per quanto riguarda la prova SPT effettuate alla profondità più alte sul sondaggio SEB4(13.5 metri), dal confronto con la stratigrafia riportata nella sezione geologia dell'opera di presa e con le fotografie del sondaggio, emerge che quest'ultima, ricade nell'unità geologica corrispondente alla coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia).

6.3.2.1 Prove di Laboratorio sondaggio SEB4

Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove di Laboratorio effettuate, relative al sondaggio SEB3.

Sondaggio	**Campione**	**Profondità**	**Profondità media**	Classificazione USCS	Prove effettuate			
n°	n°	m	m	-				
SEB4	**CR1**	1.00-1.60	1.3	GC	D	AR	LIMITI	TG
SEB4	**CR2**	3.50-4.00	3.75	GC	D	AR	LIMITI	
SEB4	**CR3**	5.40-6.00	5.8	GC	D	AR	LIMITI	
SEB4	**CR4**	9.40-9.80	9.65	GC	D	AR	LIMITI	
SEB4	**CR5**	12.15-12.70	12.425	GC	D	AR	LIMITI	
SEB4	**CR6**	14.50-15.00	14.75	GC	D	AR	LIMITI	

Legenda analisi e prove terreni

D	Descrizione campione	ED	Prova edometrica a gradini di carico
F	Foto del campione	TG	Prova di taglio diretto
GR	Analisi granulometrica con setacci	TGR	Prova di taglio diretto e residuo
AR	Analisi granulometrica per sedimentazione	ELL	Prova di compressione ELL
PV	Determinazione del peso di volume	UU	Prova triassiale UU
W	Determinazione contenuto d'acqua naturale	CU	Prova triassiale CU
PS	Determinazione del peso specifico dei grani	CD	Prova triassiale CD
LC	Determinazione dei limiti di consistenza		Prova di rigonfiamento ISS ISP HA
LR	Determinazione del limite di ritiro	PRS	Prova di compattazione Proctor standard
SO	Contenuto di sostanza organica	PRM	Prova di compattazione Proctor modificato
SF	Contenuto di solfati	CBR	Prova CBR
CA	Contenuto in carbonati	K	Prova di permeabilità

Tabella 23 – Prove di laboratorio - sondaggio SEB4

6.3.3 *Stendimenti sismici a rifrazione Linea A e Linea B*

Per quanto riguarda gli stendimenti sismici a rifrazione Linea C e Linea D, si riporta la tabella riassuntiva contenente le informazioni di rilievo eseguite:

TIPO DI INDAGINE	LINEA	LUNGHEZZA (m)	CANALI	INTERDISTANZA (m)	DATA
RIFRAZIONE	LINEA A	115	24	5	*19/10/2017*
RIFRAZIONE	LINEA B	115	24	5	*19/10/2017*

Tabella 24 – Informazioni generali stendimenti sismici Linea C e Linea D

Questo tipo di indagine a rifrazione, è una delle tecniche geofisiche più comunemente utilizzate in ambito ingegneristico che indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Le onde che si propagano nello stesso mezzo del fronte d'onda sono riflesse, mentre quelle che si propagano nel mezzo sottostante sono rifratte.

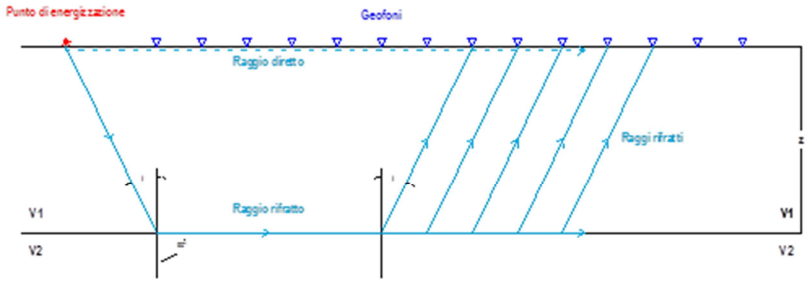


Figura 6-23 – Schema generale Indagine sismica a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità). Le linee di sismica a rifrazione sono state analizzate tramite elaborazione tomografica. I risultati di tale indagine sono riportati di seguito.

Per quanto riguarda i risultati in termini di velocità delle onde di compressione.

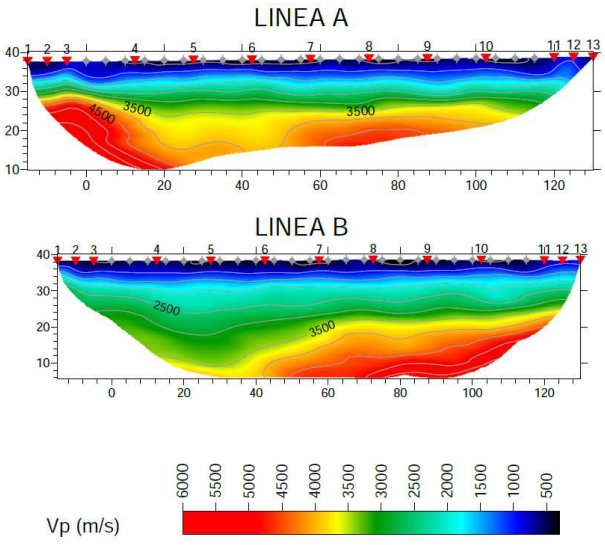


Figura 6-24 – Elaborazione tomografica relativa alle Vp stendimento sismico Linea A e Linea B

Per quanto riguarda i risultati in termini di Velocità delle onde di taglio:

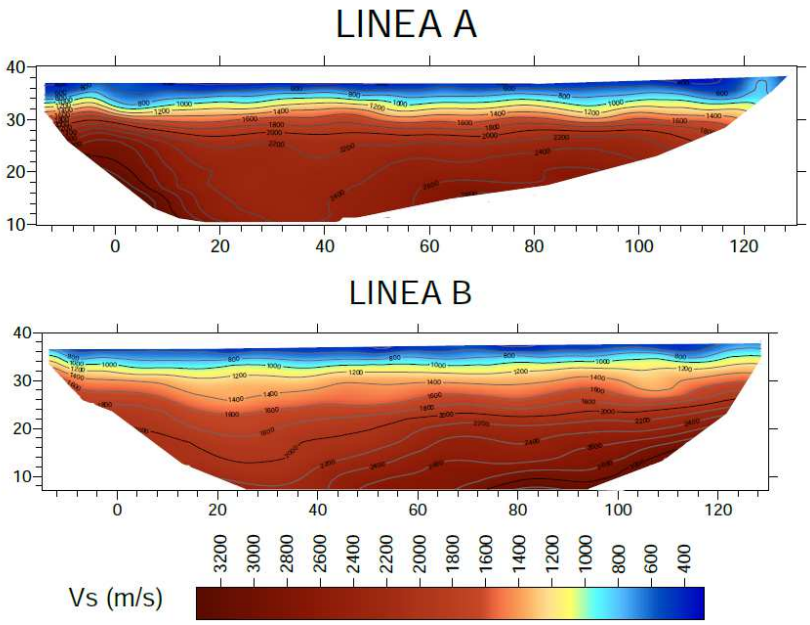


Figura 6-25 – Elaborazione tomografica relativa alle Vs degli stendimenti sismici Linea A e Linea B

6.4 Contesto quartiere Terpi / Rio Mermi

Come accennato nel paragrafo 5.2.4, la perforazione individuata con codice SEB 5 non ha intercettato la formazione delle argilliti. Essa è stata pertanto interrotta alla profondità di 25 m. Presso una seconda posizione, è stato perforato il sondaggio denominato SEB 6, spinto sino alla profondità di 60 m dal p.c.

6.4.1 Sondaggio geognostico SEB5

SEB5 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: valle Rio Mermi;
- Profondità: 25 [m].

Dal paragrafo appena citato, emergono anche le finalità di tale sondaggio. E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Profondità	**Stratigrafia sondaggio SEB5**
[m]	**[-]**
0.5 - 6.5	Terreno riporto prevalentemente ghiaoso con ghiaia di media pezzatura in matrice limoso-argillosa
6.5 - 11	Alternanze di livelli ghiaioso-sabbiosi con ghiaia di media pezzatura a livelli calcarei
11 - 15	Substrato roccioso costituito da calcari marnosi con discontinuità ravvicinate
15 - 25	Substrato roccioso costituito da calcari marnosi

Tabella 25 – Stratigrafia del sondaggio SEB5

Nell'ambito di tale perforazione, non è stata effettuata alcuna prova.

6.4.2 *Sondaggio geognostico SEB6*

SEB6 – Sondaggio a carotaggio continuo

- Ubicazione: valle Rio Mermi
- Profondità: 60 [m];
- Prove di permeabilità Lugeon: n° 3;
- Prove dilatometriche: n° 3.

Dal paragrafo appena citato, emergono anche le finalità di tale sondaggio. E' utile a questo punto, riportare la stratigrafia, relativa al sondaggio stesso. Tale stratigrafia, mostra le unità geologiche individuate.

Profondità	**Stratigrafia sondaggio SEB6**
[m]	**[-]**
0.5 - 7.5	Terreno di riporto eterogeneo costituito da materiale grossolano e da argilla limosa con inclusi ghiaiosi
7.5 - 10.4	Cappellaccio di alterazione del substrato argillitico, comporta da frammenti litoidi in matrice limoso-argilllosa
10.4 - 10.7	Substrato roccioso composto da argilliti
10.7 - 60	Alternanze di livelli argillitici frantumati e alterati

Tabella 26 – Stratigrafia del sondaggio SEB6

Per quanto riguarda le prove di permeabilità Lugeon:

Prova numero 1:

- Quota base camera: 30 [m];
- Quota base tetto: 25 [m];
- Diametro: 101 [mm];
- Rivestimento: 127 [mm]
- Falda: 7.5 [m];
- H nanometro: 1 [m];
- Lung. Packer: 1 [m].

Si riportano di seguito, in forma tabellare e in forma grafica i risultati della prova in questione.

ASSORBIMENTO (l)										
t	I 28.84	Portata parziale	II 49.14	Portata parziale	III 69.41	Portata parziale	IV 49.13	Portata parziale	V 28.83	Portata parziale
0	321.0		345.0		393.0		459.0		498.0	
2	323.1	1.1	351.2	3.1	405.1	6.1	466.2	3.6	500.7	1.4
4	325.1	1.0	357.4	3.1	417.2	6.1	473.5	3.7	503.5	1.4
6	327.2	1.1	363.6	3.1	429.5	6.2	480.7	3.6	506.2	1.4
8	329.2	1.0	369.9	3.2	441.5	6.0	487.8	3.6	508.9	1.4
10	331.3	1.1	376.1	3.1	453.6	6.1	494.9	3.6	511.6	1.4

Assorbimento totale (l)	10.30	31.10	60.60	35.90	13.60
Portata totale (l/min)	1.03	3.11	6.06	3.59	1.36
Assor. unitario (l/min/m)	0.21	0.62	1.21	0.72	0.27

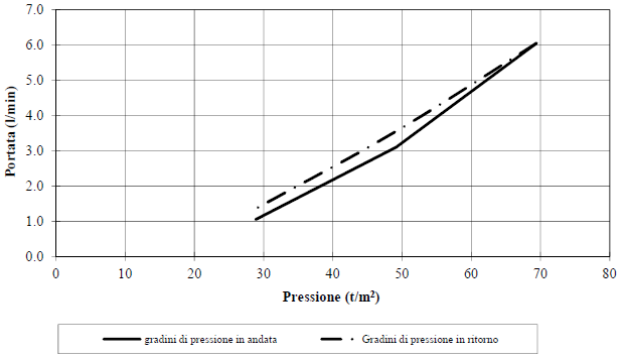


Figura 6-26 – Risultati assorbimento prova Lugeon a carico costante sondaggio SEB6

Per quanto riguarda il calcolo delle unità Lugeon:

CALCOLO UNITA' LUGEON

Sigla gradino		Risultati prova		Parametri idrogeologici per singolo gradino		
		Pres. (t/m²)	Portata (l/min)	U.L. per gradino	K m/sec *1	K cm/sec *1
Gradino I	1	28.84	1.05	7.42E-01	8.88E-08	8.88E-06
Gradino II	2	49.14	3.10	1.29E+00	1.54E-07	1.54E-05
Gradino III	3	69.41	6.05	1.78E+00	2.13E-07	2.13E-05
Gradino IV	4	49.13	3.55	1.47E+00	1.76E-07	1.76E-05
Gradino V	5	28.83	1.35	9.54E-01	1.14E-07	1.14E-05

*1 Coefficiente di permeabilità ricavato con A.G.I. 1977

Figura 6-27 – Risultati, in termini di unità Lugeon, della prova Lugeon (n° 1) a carico costante sondaggio SEB6

Prova numero 2:

- Quota base camera: 40 [m];
- Quota base tetto: 35 [m];
- Diametro: 101 [mm];
- Rivestimento: 127 [mm]
- Falda: 7.5 [m];
- H nanometro: 1 [m];
- Lung. Packer: 1 [m].

CALCOLO UNITA' LUGEON

Sigla gradino		Risultati prova		Parametri idrogeologici per singolo gradino		
		Pres. (t/m²)	Portata (l/min)	U.L. per gradino	K m/sec *1	K cm/sec *1
Gradino I	1	28.86	0.40	2.82E-01	3.38E-08	3.38E-06
Gradino II	2	49.20	1.15	4.76E-01	5.70E-08	5.70E-06
Gradino III	3	69.53	2.25	6.60E-01	7.89E-08	7.89E-06
Gradino IV	4	49.20	1.30	5.39E-01	6.44E-08	6.44E-06
Gradino V	5	28.85	0.55	3.88E-01	4.65E-08	4.65E-06

*1 Coefficiente di permeabilità ricavato con A.G.I. 1977

Figura 6-28 – Risultati, in termini di unità Lugeon, della prova Lugeon (n° 2) a carico costante sondaggio SEB6

Prova numero 3:

- Quota base camera: 58 [m];
- Quota base tetto: 53 [m];
- Diametro: 101 [mm];
- Rivestimento: 127 [mm]

- Falda: 7.5 [m];
- H nanometro: 1 [m];
- Lung. Packer: 1 [m].

CALCOLO UNITA' LUGEON

Sigla gradino		Risultati prova		Parametri idrogeologici per singolo gradino		
		Pres. (t/m^2)	Portata (l/min)	U.L. per gradino	K m/sec *1	K cm/sec *1
Gradino I	1	28.83	0.70	4.95E-01	5.92E-08	5.92E-06
Gradino II	2	49.14	1.75	7.26E-01	8.68E-08	8.68E-06
Gradino III	3	69.41	3.20	9.40E-01	1.12E-07	1.12E-05
Gradino IV	4	49.12	2.00	8.30E-01	9.93E-08	9.93E-06
Gradino V	5	28.82	0.90	6.37E-01	7.62E-08	7.62E-06

*1 Coefficiente di permeabilità ricavato con A.G.I. 1977

Figura 6-29 – Risultati, in termini di unità Lugeon, della prova Lugeon (n° 2) a carico costante sondaggio SEB6

Per quanto riguarda la prova dilatometrica in foro, si riportano le seguenti informazioni:

Prova numero 1:

- Quota del centro prova: 42.55 [m];
- Litologia: Argillite;
- Diametro foro: 101 [mm];
- Acqua nel foro da p.c.: 2.4 [m]
- Rivestimento: 10.5 [m].

Prova numero 2:

- Quota del centro prova: 33.3 [m];
- Litologia: Argillite;
- Diametro foro: 101 [mm];
- Acqua nel foro da p.c.: 2.4 [m]
- Rivestimento: 10.5 [m].

Prova numero 3:

- Quota del centro prova: 53.5 [m];
- Litologia: Argillite;
- Diametro foro: 101 [mm];
- Acqua nel foro da p.c.: 2.8 [m]
- Rivestimento: 10.5 [m].