0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	SPIGARELLI	GATTI	CASSANI
Revisione	**Data**	**Oggetto revisione**	**Redatto**	**Verificato**	**Approvato**

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



Progettista/Progettisti responsabili elaborato
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997



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 - SDB02 -RE01- 0

Oggetto della tavola

STUDI DI BASE

GEOTECNICA E GEOMECCANICA

Relazione di caratterizzazione geotecnica - geomeccanica

Scala: -

Data: NOVEMBRE 2017

Codice FILE: BIS2E-R-SDB02-RE01-0.DWG

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 INTRODUZIONE 4
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 5
2.1 Assetto geologico regionale 5
2.2 Assetto geologico locale 6
2.2.1 Le Argilliti di Montoggio 7
2.2.2 Il Flysch di Monte Antola 7
2.2.3 Le Argille di Ortovero 9
2.2.4 Depositi alluvionali 9
2.2.5 Coltri detritiche eluvio-colluviali 9
2.2.6 Depositi di spiaggia 9
2.2.7 Depositi antropici 9
2.3 Assetto geomorfologico 10
2.3.1 Assetto geomorfologico a livello regionale 10
2.3.2 Bacino del torrente Bisagno 11
3 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 14
3.1 Note Generali 14
3.2 Elaborazione prove di laboratorio 15
3.2.1 Note Introduttive 15
3.2.2 Parametri fisici 15
3.2.3 Parametri meccanici 16
3.2.4 Parametri Di Consolidazione 16
3.3 Elaborazione prove in situ 17
3.3.1 Note introduttive 17
3.3.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT) 18
3.3.3 Parametri meccanici 20
3.3.4 Prove di permeabilità Lefranc 22
3.3.5 Prove sismiche Cross-hole 22
4 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI 24
4.1 Note generali sulla procedura operativa per la caratterizzazione geomeccanica 24
4.2 Classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi 26
4.2.1 Note generali 26
4.2.2 Valutazione del parametro RMR'89 26
4.3 Criteri di rottura 29
4.4 Caratteristiche di deformabilità 33
4.4.1 Moduli iniziali 33
4.4.2 Moduli "operativi" 34
5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI 35
5.1 Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno 35
5.1.1 Sondaggi di Riferimento 35
5.1.2 Identificazione delle unità geotecniche 35
5.1.3 Identificazione dei parametri fisici 35
5.1.4 Identificazione dei parametri meccanici 42
5.1.4.1 Esito generale delle prove penetrometriche dinamiche SPT 42
5.1.4.2 Unità dei riporti antropici 44
5.1.4.3 Unità dei depositi alluvionali 48
5.1.4.4 Unità della coltre detritica 54

5.1.5 Caratterizzazione dinamica dei terreni e valutazioni sui parametri di rigidezza 56
5.1.6 Quadro di sintesi parametrizzazione geotecnica delle unità identificate 58
5.1.6.1 Unità geotecnica: riporto antropico (Via Adamoli) 58
5.1.6.2 Unità geotecnica: coltre detritica 58
5.1.6.3 Unità geotecnica: deposito alluvionale 58
5.2 Contesto Imbocco Finestra Sciorba 59
5.2.1 Sondaggi e prove di riferimento 59
5.2.2 Identificazione delle unità geotecniche 59
5.2.3 Identificazione dei parametri fisici 60
5.2.4 Identificazione dei parametri meccanici 61
5.2.4.1 Esito generale delle prove penetrometriche dinamiche SPT 61
5.2.4.2 Unità – riporto antropico 61
5.2.4.3 Unità – coltre a granulometria fine 62
5.2.4.4 Unità – coltre a granulometria grossolana 65
5.2.5 Caratterizzazione dinamica dei terreni e valutazione parametri di rigidezza 68
5.2.6 Quadro di sintesi parametrizzazione geotecnica delle unità identificate 69
5.2.6.1 Unità – riporto antropico 69
5.2.6.2 Unità – coltre a granulometria fine 69
5.2.6.3 Unità – coltre a granulometria grossolana 70
6 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI 71
6.1 Formazione del Flysch di Monte Antola (FMA) 71
6.1.1 Note introduttive 71
6.1.2 Sondaggi di riferimento 71
6.1.3 Classificazione geomeccanica dell'ammasso 72
6.1.4 Caratterizzazione della matrice rocciosa 78
6.1.4.1 Peso di volume naturale della matrice rocciosa 78
6.1.4.2 Resistenza a compressione mono-assiale della matrice rocciosa (da point load test) 79
6.1.4.3 Prove di laboratorio sui campioni di roccia (massa volumica, resistenza a compressione semplice e a trazione indiretta) 81
6.1.4.4 Prove di compressione triassiale e determinazione del parametro di Hoek mi 83
6.1.4.5 Deformabilità della matrice rocciosa (modulo elastico della matrice Ei) 84
6.1.5 Deformabilità dell'ammasso 87
6.1.6 Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica FMA 89
6.2 Formazione delle Argilliti di Montoggio 90
6.2.1 Note introduttive e sondaggi di riferimento 90
6.2.2 Classificazione geomeccanica dell'ammasso 90
6.2.3 Caratterizzazione della matrice rocciosa 91
6.2.3.1 Risultati prove di laboratorio 91
6.2.3.2 Peso di volume 95
6.2.3.3 Resistenza a compressione della matrice 96
6.2.3.4 Deformabilità della matrice rocciosa 100
6.2.4 Deformabilità dell'ammasso 101
6.2.1 Permeabilità dell'ammasso 105
6.2.2 Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica 105
7 PROVE DI FRESABILITA' 106
7.1 Introduzione 106
7.2 Indagini e prove pregresse 107
7.2.1 Progetto Definitivo Bisagno (2007) 107
7.2.2 Progetto Esecutivo Fereggiano (2016) 107
7.3 Prove Campagna Indagini integrativa (2017) 108
7.3.1 Prova di durezza Knopp 108
7.3.2 Prova cerchar (CAI Index) 108
7.3.3 Prova Sievers' j (S_J) 108

7.3.4 Test di abrasione (AV / AVS) 108
7.3.5 Prova di fragilità(S_{20}) 108
7.3.6 Punch penetration index test 109
7.4 Elaborazione dati e risultati 109

ALLEGATO 1 111
Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto generale 111
DATABASE MATRICE ROCCIOSA 111

ALLEGATO 2 129
Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto imbocco finestra Sciorba 129
Sondaggi di Riferimento 129
Classificazione geomeccanica dell'ammasso 129
Caratterizzazione della matrice rocciosa 130
Deformabilità dell'ammasso 144
Permeabilità dell'ammasso 150

ALLEGATO 3 151
Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto Via Adamoli 151
Sondaggi di Riferimento 151
Classificazione geomeccanica dell'ammasso 151
Caratterizzazione della matrice rocciosa 152
Deformabilità dell'ammasso 162

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra l'attività di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle unità interagenti con l'opera oggetto di progettazione, condotta elaborando la documentazione tecnica disponibile alla data di redazione del documento (esiti delle campagne geognostiche pregresse, riscontro diretto ottenuto dall'attività di scavo dello scolmatore del Rio Fereggiano, risultanze, in progess, della campagna geognostica integrativa in corso di ultimazione).

Sono dapprima esposti i criteri generali e le procedure operative seguite per l'implementazione della caratterizzazione geotecnica dei terreni e la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi posti lungo il tracciato dell'opera in sotterraneo e costituenti i terreni di sedime dei manufatti a cielo aperto.

A seguire è descritta dettagliatamente la serie di elaborazioni condotte per pervenire all'identificazione dei parametri fisico – meccanici di progetto, per ciascuna unità geotecnica-geomeccanica individuata.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 Assetto geologico regionale

Nel seguito si riporta un inquadramento geologico geomorfologico generale dell'area e quindi, nel dettaglio, la situazione geologico-morfologica locale.

Il settore interessato dalle opere a progetto è interamente compreso nel Foglio 213-230 Genova della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:50.000. Questo settore della Liguria è caratterizzato da un substrato costituito dai flysch Intrappenninici e dalla presenza, discontinua, di coperture, generalmente di ridotto spessore, rappresentate da depositi quaternari.

La storia geologica dell'area interessata dal tracciato può essere inserita nel contesto più generale della complessa storia evolutiva della Liguria. L'evento che maggiormente caratterizza il territorio in esame ha inizio con un movimento di divergenza dei blocchi cratonici di Europa ed Africa, che porta alla formazione dell'Oceano Ligure - Piemontese. Al termine della sua evoluzione, sviluppatasi nell'intero periodo Cretaceo, ha inizio l'Orogenesi Alpina durante la quale si verifica un riavvicinamento delle zolle continentali; queste collidono e si sovrappongono mentre una parte dei terreni generatisi durante la fase espansiva è subdotta.

La deposizione dell'Unità del Monte Antola (UMA), cui appartengono buona parte dei terreni rilevati nell'area in studio, avviene nel Cretaceo medio – superiore all'interno di una fossa circa subparallela al piano di subduzione ed in un bacino allungato in direzione circa E-W.

A seguire la deposizione (Fase 0, Marini 1981) inizia la prima fase di ripiegamento (fase alpina precoce) con carattere decisamente compressivo, vergenza verso S ed assi delle pieghe diretti verso E. Nel corso di questa fase vengono generati vasti piani di rottura (faglia inversa di Ellera – Magrania) ed accavallamenti di masse a diversa vergenza, le pieghe assumono scala chilometrica e l'UMA va in emersione. La fase tettonica successiva, concomitante con il parossimo principale alpino e responsabile dell'instaurarsi più ad oriente della zona a scaglie Sestri – Voltaggio, ha una direzione circa ortogonale alla prima e genera due famiglie di pieghe a scala chilometrica, accompagnate da pieghe minori cui corrispondono due sub-fasi con assi dapprima in direzione circa Est e poi Nord-Est. Ad esse è associata una scistosità di frattura molto evidente in particolare nelle argilliti, dove il clivaggio è la superficie più evidente in affioramento rispetto alla stratificazione.

Le linee di cerniera e le superfici assiali dei due sistemi di strutture sono, generalmente, perpendicolari tra loro, tranne che nelle zone dove la seconda fase riorienta gli elementi strutturali della prima fase. Uno schema tridimensionale dell'interferenza geometrica tra le due deformazioni plicative principali è rappresentato in Figura 7.1.

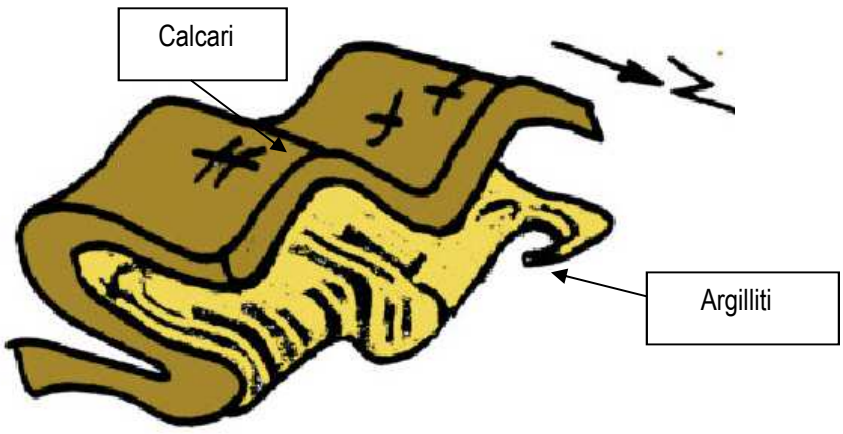


Figura 7.2 – Schema tridimensionale dell'interferenza geometrica tra le due deformazioni plicative principali relativa alla formazione del Flysch di M. Antola

Dall'analisi delle stereo proiezioni polari delle famiglie di discontinuità si osserva che, spesso, le giaciture dei due sistemi principali di fratture sono disperse in relazione alla sovraimposizione della Fase 2 sulla fase 1.

Le fasi plicative hanno comunque dato una risposta deformativa diversa in relazione ai materiali coinvolti; infatti gli orizzonti a comportamento duttile generano pieghe a diverso raggio mentre negli orizzonti rigidi possono crearsi diffuse fratturazioni secondo piani ortogonali alla stratificazione.

L'unità viene successivamente interessata da ulteriori fasi deformative in ambiente duttile e fragile. I piani di discontinuità sono in un primo momento paralleli alla costa (E-W) e successivamente normali alla stessa, contribuendo in tal modo ad impostare le direttrici dei principali corsi d'acqua.

La fase tettonica più recente ha generato due sistemi di faglie con direzione circa Est – Ovest che hanno interessato l'UMA lungo una striscia che corre tra la zona della Stazione di Porta Principe, a ponente, e il quartiere di Sturla a levante. Gli eventi dislocativi hanno abbassato una zolla del massiccio calcareo (struttura a graben). Nella fossa creatasi, delimitata da faglie e fianchi gradonati, si è inserito il mare che ne ha determinato il riempimento con sedimenti principalmente fini (argillo – limosi, Argille di Ortovero) in ragione della profondità di deposizione. Ai margini della fossa talvolta si riscontrano rifluimenti di natura argillosa che si sovrimpongono, generalmente per spessori modesti, al basamento calcareo.

Alla base della fossa si rileva la presenza di depositi grossolani che costituiscono il prodotto del progressivo disfacimento delle falesie calcaree che delimitavano la fossa stessa prima dell'inizio del colmamento. Ai margini della depressione si sono originate, nel corso dello "strappo" che ha portato all'approfondimento della fossa, fasce di cataclisiti e contesti dove la roccia ha subito processi di alterazione anche in profondità.

Nel quadro generale l'Appennino Settentrionale si colloca al raccordo con la catena alpina ed è tradizionalmente delimitato a NW dalla linea Sestri – Voltaggio e a Sud dalla linea Ancona – Anzio (Corsi, 2003). Le Unità che lo costituiscono sono riconducibili a quattro domini paleogeografici ben distinti: quello Ligure (oceanico e transizionale), Subligure, Toscano e Umbro – Marchigiano. Il dominio Ligure è suddivisibile in due sottodomini: Ligure Interno e Ligure Esterno.

2.2 Assetto geologico locale

L'area interessata dal tracciato dello scolmatore del Torrente Bisagno include la porzione inferiore e mediana della Val Bisagno, che scorre con direzione circa N-S, e parte dei bacini dei Rii Fereggiano, Rovare e Noce. Dal punto di vista geolitologico questo settore è caratterizzato dalla presenza delle tre seguenti Formazioni, distinte in ordine cronologico dalla più antica alla più recente:

- Argilliti di Montoggio – (Cenomaniano - Turoniano)
- Flysch di Monte Antola (Campaniano superiore, Maastrichtiano – Paleocene basale)
- Argille di Ortovero (Pliocene inferiore)

Le prime due Formazioni concorrono a formare l'Unità Tettonica di Monte Antola (UMA), che compete ad un'area di bacino di fondo oceanico sviluppatasi a partire dal Giurassico superiore fra i margini paleoeuropeo e adriatico, non interessata dal metamorfismo di alta pressione e colmata rapidamente nel corso delle fasi orogeniche iniziali dell'edificio strutturale nordappenninico.

L'UMA rappresenta una delle falde di impilamento tettonico a margine della linea Sestri-Voltaggio. Poggia tettonicamente sull'Unità del Flysch di Busalla e la base del sovrascorrimento è rappresentata dalle Argilliti di Montoggio che avrebbero funzionato da livello di scollamento e lubrificante tettonico.

Da segnalare la presenza, nella zona dell'ospedale di S. Martino, della formazione delle Argille di Ortovero, un deposito che rappresenta il colmamento di un basso strutturale (graben) del fondale marino pliocenico.

Nell'ambito dell'anfiteatro genovese il flysch di Monte Antola rappresenta la litologia arealmente predominante che determina la morfologia dei versanti. Le argilliti basali affiorano lungo i fianchi della media Val Bisagno, dove risultano più diffuse in sponda destra rispetto alla sinistra, mentre sono praticamente assenti nell'area cittadina se si eccettua una ristretta zona in Albaro. Le argille plioceniche, infine, sono presenti con buona continuità in una larga fascia che attraversa la città in direzione ponente –

levante.

Nel seguito si descrivono in dettaglio i depositi presenti lungo lo sviluppo delle opere, dal più antico al più recente ivi inclusi i termini di copertura

2.2.1 *Le Argilliti di Montoggio*

Le Argilliti di Montoggio sono argilliti manganesifere varicolori prevalentemente grigio scuro-nerastro, talvolta verde pallido o rosso-vinaccia, ad accentuata scistosità con sporadiche intercalazioni arenacee di spessore decimetrico. Sono depositi di ambiente emipelagico; poste alla base del Flysch di Monte Antola morfologicamente sono facilmente distinguibili per la brusca rottura di pendio che determinano. La struttura nel complesso si presenta fortemente scagliettata per effetto in special modo dell'intensa milonitizzazione alla quale il materiale è stato sottoposto; tali argilliti rappresentano infatti una superficie di scorrimento preferenziale per le principali dislocazioni tettoniche.

Il limite inferiore della formazione è rappresentato dal Flysch di Ronco e la natura del contatto, stratigrafico o tettonico, è ancora controversa. Lo spessore della formazione è normalmente modesto; nella zona di Montoggio è indicato in bibliografia, normalmente, nell'ordine di una trentina di metri. Valori localmente riscontrati e nell'ordine di 70 – 80 m sono imputabili a sovrapposizione tettonica.

Il grado di alterazione delle argilliti è sempre elevato; risultano fortemente aggredibili dagli agenti esogeni e, pertanto, scarsamente rappresentate in affioramento ammantate da una estesa copertura detritica. L'alterazione, causa l'elevato stato di fratturazione, può spingersi anche in profondità per effetto del regime di circolazione delle acque.

2.2.2 *Il Flysch di Monte Antola*

Il Flysch di M.te Antola, a Fucoidi ed Helmintoidi appartiene, nell'ambito del Dominio Piemontese Ligure, alle Liguridi Interne. E' costituito da una sequenza monotona di strati torbiditici accumulati in facies probabilmente distale lungo superfici di fondale inclinate ed instabili. La sequenza litologica tipo è costituita da alternanze eteropiche di calcari arenacei fini, calcari marnosi, marne calcaree, livelli di argilliti emipelagiche talora scistose e, più raramente, strati a base arenacea (Figura 7.2).

Lo spessore del Flysch di Monte Antola non dovrebbe superare, nel genovese, lo spessore di 200 m; nell'ambito della sua intera area di affioramento, fra il bordo padano dell'Appennino settentrionale ed il Mar Ligure, si ritiene che la sua potenza, causa accavallamenti tettonici, possa superare i 2000 m.

L'ordine di grandezza delle differenti litofacies in ambito cittadino vede una netta prevalenza della componente calcarea, calcareo marnosa o marnoso calcarea (70-80)%, limitati calcari arenacei (15%) ed argilliti complessivamente inferiori al 5% (Limoncelli e Marini, 1969 – Marini, 1981 e 2003).

I livelli calcarei e calcareo-marnosi si presentano in strati e banchi aventi spessori da sub-metrici a plurimetrici (spessore medio 1,0-1,50 m), generalmente compatti, da poco a mediamente fratturati esternamente alle zone di maggior disturbo tettonico. Gli interstrati argillitici hanno spessore decimetrico ed un elevato grado di alterazione. Lo spessore del Flysch non è conosciuto con precisione; causa accavallamenti tettonici si stima possa essere dell'ordine di 2.000 m o superiore. Stratigraficamente sia a grande che a piccola scala si hanno frequenti ed improvvise variazioni giaciturali per effetto sia di complessi fenomeni sinsedimentari (slumping) sia per le diverse deformazioni plicative subite dall'ammasso in fasi diverse.

E' stato accertato che il Flysch dell'Antola non è interessato da processi metamorfici oltre il campo della diagenesi.

La transizione alle sottostanti Argilliti di Montoggio è graduale e rappresentato da pochi metri di fitte intercalazioni di straterelli marnoso calcarei, argillitici ed arenacei.

Il Flysch di Monte Antola evidenzia una certa eterogeneità imputabile alla presenza di diverse litologie con comportamento ora rigido (calcari arenacei fini), ora mediamente rigido (calcari marnosi) ora duttile (marne ed argilliti), sia da una spiccata variabilità dello stato fessurativo della roccia.

Il grado di alterazione del materiale in banco dipende essenzialmente dalle condizioni di esposizione, dalla circolazione di acque di falda e dalla natura della facies interessate. Le bancate francamente calcaree sono, in genere, poco alterate già a livello di affioramento. Non è inconsueto riscontrare a modeste profondità livelli calcarei con roccia essenzialmente sana, anche se fratturata, avente resistenza medio –

elevata.

Differenti sono le caratteristiche medie dei livelli marnosi ed argillitici. I primi se superficiali o soggetti a circolazione di acqua di falda sono, in genere, molto alterati, suddivisi in scaglie oppure ad aspetto terroso e plastico pur con consistenza medio-alta. Se l'alterazione non ha ancora prodotto il disfacimento totale si può avere uno stato di conservazione intermedio con roccia tenera o debole.

Situazione analoga si riscontra nei livelli argillitici, quasi sempre scistosi, le cui caratteristiche di resistenza decadono rapidamente al crescere del grado di alterazione che può interessare livelli anche relativamente profondi (fino a molte decine di metri).

Le intercalazioni marnose e argillose alterate costituiscono, in caso di giacitura sfavorevole, i piani di debolezza preferenziali lungo i quali possono instaurarsi fenomeni di instabilità. Tale contesto, unitamente ad un certo grado di frammentazione della massa rocciosa imputabile a motivi tettonici, giustifica la presenza di accumuli di frana, localmente anche importanti e generalmente di antica data (paleofrane).

Il Flysch di Monte Antola, rappresentato da calcari non puri, sulla base degli elementi bibliografici acquisiti integrati dalle diverse evidenze in sito, non risulta soggetto a fenomeni carsici di rilievo. Alcuni autori addirittura dubitano che per l'Antola si possa parlare di vero e proprio carsismo il quale, comunque, assume un carattere blando e poco pervasivo. I dati disponibili, in particolare, sembrano escludere la presenza di una circolazione idrica a grande scala di tipo carsico.



Figura 7.2 – Sondaggio SEB2 – Area Sciorba – Opere di monte

2.2.3 *Le Argille di Ortovero*

Le Argille di Ortovero sono depositi marini costituiti prevalentemente da marne e marne argillose, di colore grigio o grigio azzurro quando non alterate, fortemente sovraconsolidate e molto consistenti o dure. Più raramente si registra la presenza di strati sottili di sabbie a grado di cementazione variabile. Alla base della Formazione sono presenti livelli ghiaiosi e conglomeratici. Le argille di Ortovero affiorano in lembi isolati lungo la costa ligure tra Albenga e il levante genovese, dove occupano una fascia, di larghezza variabile (massimo circa 1 km), disposta grosso modo est – ovest tra il centro città e Sturla.

Difficilmente riscontrabili in affioramento in quanto confinate in aree densamente urbanizzate, le argille hanno colmato una fossa tettonica neogenica per spessori molto variabili; si va dagli oltre 200 m riscontrati nel centro di Genova (Piazza Corvetto – Acquasola) a spessori di alcune decine di metri (o pochi metri) all'estremità della depressione.

2.2.4 *Depositi alluvionali*

I depositi alluvionali più significativi sono circoscritti al tratto mediano e terminale dell'asta del T. Bisagno, per una lunghezza di circa 10 km, larghezza compresa tra circa 200 m e 1.000 m e spessori compresi tra 10 e 50 m. In seno al materasso alluvionale, poggiante normalmente sui calcari dell'Antola, è possibile distinguere due settori differenti. Il primo, più esteso (circa 8 km) e settentrionale, è costituito da ghiaie, ghiaie limose e ghiaie sabbiose che raggiungono spessori massimi di 25-30 m; il secondo e terminale tratto, più prossimo alla foce e dove vengono raggiunti i massimi spessori, presenta all'interno delle ghiaie uno strato pressoché continuo di limi ed argille con spessori compresi tra 4 e 15 m.

2.2.5 *Coltri detritiche eluvio-colluviali*

Le coltri detritiche sono diffuse, in plaghe più o meno estese e distribuite "a macchia di leopardo", su tutto il territorio dell'anfiteatro genovese dove ricoprono il substrato calcareo marnoso. Nella maggior parte dei casi lo spessore delle coltri è limitato a pochi metri (1-5 m), più raramente si evince la presenza di coltri di spessore superiore a 5 m fino a 10-15 m. La natura delle coltri è essenzialmente eterogenea e ad ampio spettro granulometrico; esse sono infatti tipicamente costituite da un'abbondante scheletro grossolano di clasti calcarei immersi in una matrice fine dove prevale ora la frazione sabbiosa, ora quella limo-argillosa. I maggiori accumuli sono in genere associati alla presenza di corpi di paleofrana.

2.2.6 *Depositi di spiaggia*

I depositi di spiaggia bordano, localmente, il margine costiero per spessori di pochi metri. Sono in genere costituti da depositi ciottolosi se non oggetto di ripascimenti sabbiosi artificiali.

2.2.7 *Depositi antropici*

Depositi antropici di estensione limitata, costituiti da materiali sciolti ed eterogenei in origine e composizione, con morfologia spianata, sono presenti in particolare nell'area urbanizzata in relazione ad interventi di edilizia o industriale. Nelle aree indagate sono rappresentati da ghiaie argillose con sabbie, o ghiaie sabbiose con argilla, ed includono frammenti calcarei eterometrici a spigoli vivi, chiodi metallici, ferri di armatura, elementi in muratura e pezzi di calcestruzzo.

2.3 Assetto geomorfologico

2.3.1 Assetto geomorfologico a livello regionale

A grande scala il territorio genovese può essere descritto come una regione di colline e media montagna con limitate piane alluvionali normalmente poste lungo i principali corsi d'acqua. Elemento oro-idrografico essenziale è la presenza dello spartiacque Tirreno-Adriatico che decorre con andamento irregolare da SSW a NNE a breve distanza dalla costa. Le quote massime, disposte parallelamente alla costa stessa, non sempre coincidono con lo spartiacque. I due versanti del displuvio risultano fortemente asimmetrici: quello tirrenico è ripido con pendenza media anche superiore al 20%, quello padano degrada dolcemente verso la pianura con pendenze medie inferiori al 5%.

I corsi d'acqua del versante tirrenico scendono, di norma, ortogonalmente rispetto alla costa, mentre sul versante padano solo localmente si ha un'orientazione preferenziale con direzione SSE-NNW. I corsi d'acqua del versante tirrenico risultano molto più attivi rispetto a quelli padani ed hanno arretrato, per erosione regressiva, le loro testate spostando i relativi spartiacque verso nord e catturando in tal modo parte dei bacini settentrionali. Questo è avvenuto con maggiore frequenza in aree ove prevalgono, in affioramento, terreni maggiormente erodibili in corrispondenza dei quali gli spartiacque descrivono archi con concavità rivolta a sud. Contrariamente al settore padano i bacini del versante tirrenico hanno dimensioni modeste con valli spesso profondamente incise delimitate da versanti ripidi; la curva di fondo degli alvei ha pendenza elevata nei tratti montani (superiore al 15%) con salti ed anche rapide. I corsi d'acqua secondari sono spesso paralleli alla direzione degli strati e confluiscono nel corso principale ad angolo retto.

In un contesto generale che manifesta un'orografia dai tratti marcatamente giovanili, con pendenze medio elevate o elevate in relazione ai litotipi affioranti, numerose sono le frane antiche (paleofrane) o recenti, quiescenti o attive, cartografate.

Un cenno meritano anche i fenomeni di erosione accelerata che, in presenza di precipitazioni eccezionali e di un assorbimento d'acqua non sempre elevato in ragione dell'acclività dei versanti, interessano alcuni settori del versante ligure. Versanti ripidi e rocce molto fratturate, o alternate a materiali degradabili, permettono che un intenso ruscellamento asporti, nelle parti più elevate dei bacini, la coltre superficiale con evidente danno per la stabilità dei pendii. Dove l'acqua scorre incanalata l'erosione spesso opera lungo gli argini scalzandoli e provocando dissesti a catena.

Frequenti sono in Liguria i casi di torrenti, in particolare il Leiro, il Polcevera ed il Bisagno che, improvvisamente ingrossati dalle precipitazioni e carichi di materiale asportato a monte, hanno eroso argini, sfondato ponti ed invaso gli abitati a valle. Tale contesto risulta aggravato dal marcato grado di antropizzazione che, localmente, ha sottratto ampie superfici all'infiltrazione sotterranea, ha tombato i corsi d'acqua ed ha portato ad un deciso sviluppo dei siti edificati all'interno delle naturali fasce di espansione delle piene fluviali.

Nell'area dell'Appennino ligure un netto contrasto morfologico contraddistingue le masse prevalentemente argillose (Argille a Palombini, Formazioni di Mignanego, Montanesi, Ronco e Montoggio) dai sovrastanti Calcari di Antola, spesso in scarpata al contatto.

L'irregolarità dei caratteri fisiografici ora descritti deriva principalmente dalla complessità dell'assetto strutturale della regione, dalla varietà delle litologie e dalla successione degli eventi tettonici ed orogenici.

Gli aspetti morfologici del territorio sono generalmente in accordo con le condizioni climatiche attuali anche se, localmente, sono evidenti relitti di condizioni climatiche molto diverse (paleosuoli).

A livello generale la costa si presenta normalmente alta; modesti promontori rocciosi si protendono a mare alternandosi ad insenature falcate ed orlate da strette spiagge e pianure litorali per lo più a ciottoli o con sabbie grossolane. Numerose sono le testimonianze, a diverse altezze, di antiche linee di riva e spianate di abrasione marina; particolarmente note sono quelle di Coronata e Nervi.

2.3.2 *Bacino del torrente Bisagno*

Il bacino idrografico del torrente Bisagno ha dimensioni medio piccole (93 km^2) ed è delimitato a nord dallo spartiacque Bisagno-Scrivia, ad ovest dallo spartiacque Bisagno-Polcevera, ad est dallo spartiacque Bisagno-Lavagna, ed infine a sud dallo spartiacque Bisagno-Sturla-Nervi-Poggio-Sori. La maggior parte dell'area d'interesse progettuale è compresa nel settore orientale del bacino del Bisagno; solo il tratto terminale della galleria, fra il Forte di San Martino ed il mare, ricade esternamente a tale bacino. L'asta principale del corso d'acqua, lunga 25 Km, ha un andamento irregolare con brusche variazioni di direzione; è infatti disposta circa parallela alla costa nella parte superiore del bacino (NNE-SSW) e perpendicolare alla stessa (N-S) nella parte inferiore. Numerosi sono i salti di fondo che testimoniano variazioni del livello basale nonché fenomeni di cattura a carico di alcuni tributari. I diversi affluenti si immettono in alveo normalmente ad angolo retto.

L'assetto oroidrografico del bacino è fortemente condizionato da fattori geodinamici endogeni, la cui influenza appare evidente soprattutto in relazione ad una serie di indicatori geomorfologici che testimoniano la rilevante correlazione fra attività tettonica quaternaria ed evoluzione morfologica del bacino stesso. La presenza di superfici fossili, terrazzi morfologici, movimenti di massa e meandri testimonia come l'assetto attuale sia stato raggiunto attraverso fasi successive di erosione rapida avvenute in epoche relativamente recenti.

La diffusa presenza di materiali lapidei determina normalmente pendenze elevate; la pendenza media dei versanti è infatti del 31% con frequenti tratte anche superiori al 50%.

Nell'ambito dell'intero bacino il tessuto urbano occupa una superficie importante e valutata nell'ordine dell'11%.

Il Torrente Bisagno nel suo insieme disegna una valle con profilo ristretto ed incassato entro fianchi vallivi ove spesso affiora il substrato roccioso; tali fianchi risultano frequentemente asimmetrici causa una diversa giacitura degli strati. In tale contesto la piana alluvionale del corso d'acqua è di larghezza modesta, anche se tende ad allargarsi da monte verso valle; in molte tratte però la sua naturale larghezza è stata ridotta per interventi antropici che hanno portato all'edificazione di strade e fabbricati in aree un tempo di naturale espansione fluviale, aggravando in tal modo gli effetti delle periodiche alluvioni.

Caratteristica è la dimensione e la forma della fascia di transizione fra pianura e versante. Molto spesso in Liguria questa fascia è ampia e articolata a testimonianza di attività detritico colluviali di versante, mentre nel caso in studio l'attacco è spesso netto.

Altra caratteristica riguarda il rapporto planoaltimetrico fra alveo attuale e superficie della piana alluvionale. Si nota una generale uniformità sia del dislivello medio fra quota della piana e quota del greto, sia della morfologia della piana. Su quest'ultimo aspetto certamente è dominante l'azione dell'uomo il quale, sin da tempi remoti, ha rimodellato il terreno attenuando dislivelli, colmando tracce di vecchi alvei, spianando gibbosità ed accumuli sedimentari.

Il Torrente Bisagno scorre a cielo aperto per buona parte del suo percorso anche se, nella parte di attraversamento della città di Genova, la sua attuale configurazione geometrica, per effetto di importanti interventi antropici, risulta molto lontana da quella naturale. A partire dalla stazione di Brignole sino alla foce il corso d'acqua è tombato.

Le verifiche idrauliche allegate al Piano di Bacino individuano nel tratto terminale coperto, ed in quello scoperto sino alla confluenza con il Fereggiano, le principali criticità idrauliche. Il settore maggiormente critico è quello terminale, causa la grave insufficienza del tratto canalizzato la cui limitata officiosità comporta pericolosi fenomeni di rigurgito a monte amplificati dalla presenza dei manufatti interferenti con l'alveo. Emerge nel complesso una elevata suscettibilità al rischio di inondazione che comunque, come meglio illustrato in seguito, non interessa in alcun modo le aree di stretto interesse progettuale.

Nella parte montana del bacino lungo l'alveo del Torrente Bisagno affiora direttamente il substrato roccioso; procedendo verso valle questo si approfondisce e l'incisione viene colmata da una coltre alluvionale costituita da ghiaie e sabbie con anche limo ed argilla. L'estensione del materasso alluvionale copre una lunghezza di circa 10 Km ed una larghezza compresa fra 200 e 1.000 m; gli spessori sono molto variabili ed aumentano progressivamente verso la foce; nell'area in studio si va dai circa 20 m in corrispondenza dell'opera di presa ad oltre 40 m all'altezza di Piazza Giusti.

All'interno della coltre alluvionale è contenuta una importante falda idrica ampiamente utilizzata a scopo idropotabile ed industriale. L'alimentazione dell'acquifero è dovuta essenzialmente agli apporti diretti del Bisagno che pertanto ha caratteristiche "disperdenti"; da segnalare anche, seppur di incerta quantificazione, l'esistenza di un'alimentazione dovuta alle acque circolanti nell'ammasso roccioso calcareo fratturato.

La falda risulta libera lungo buona parte del percorso anche se, verso mare, la presenza di alcune intercalazioni argillose origina una seconda e più profonda falda in pressione. In corrispondenza della foce il saliente roccioso che costituisce il proseguimento sepolto della collina di Carignano, in corrispondenza di via Cecchi, confina la falda e protegge dall'intrusione del cuneo salino.

Localmente la presenza del fiume è segnalata, a quote maggiori rispetto a quella attuale, dalla presenza di superfici spianate di roccia prive però di depositi alluvionali.

Dal punto di vista litologico l'elemento predominante è dato dalla presenza di depositi calcareo marnosi riferibili al Flysch di Monte Antola; in subordine sono presenti, fra Molassana e Struppa, depositi riferibili alle Argilliti di Montoggio. La presenza dei calcari determina una buona energia di rilievo e un grado di acclività medio – elevato. Le principali variazioni di pendenza sono riconducibili ora a variazioni nell'assetto giaciturale degli strati (condizioni di reggipoggio determinano pendenze maggiori rispetto a quelle a franapoggio), ora ai cambi di litologia; caratteristico è proprio il "salto di pendenza" dei versanti nel punto di passaggio fra calcari ed argilliti.

Dall'esame della carta geologica è evidente come la predominanza di un tipo litologico, seppur diversificato al suo interno, contribuisca a determinare caratteri morfologici sostanzialmente omogenei. La presenza di una marcata tettonica, sia fragile - duttile che duttile, caratterizza morfologicamente l'area. Il secondo aspetto, quello fragile, ha comunque la maggiore influenza sul quadro geomorfologico generale. Infatti l'allineamento dei corsi d'acqua si dimostra coerente con le principali lineazioni tettoniche che rappresentano zone di debolezza lungo le quali le acque hanno potuto incidere il proprio corso. Nei calcari il reticolo idrografico è disposto secondo lineazioni strutturali e corre fra fianchi incassati e stretti; in presenza di materiali argillosi il reticolo si è sviluppato, in assenza di vie preferenziali, a raggiera, secondo le linee di massima pendenza.

Lungo i versanti sono cartografate diverse frane e nel solo bacino del Bisagno ne sono censite ben 300. Alcune di queste rappresentano gli accumuli di antichi dissesti (paleofrane) imputabili a periodi climatici molto diversi da quelli attuali, ad eventi neotettonici o ad una ripetuta attività sismica; sono generalmente stabilizzate anche se non mancano casi di locali e/o superficiali riattivazioni. Sono comunque cartografate numerose frane quiescenti e più raramente alcune frane attive.

In presenza di coltri a prevalente composizione coesiva sono rilevabili dissesti superficiali con dinamica di tipo soliflusso; si tratta in genere di movimenti lenti che interessano la coltre detritica pluvio – colluviale, antichi accumuli di frana o la porzione corticale delle Argilliti di Montoggio maggiormente alterate e poggianti su materiali litoidi. È importante osservare come in genere i diversi dissesti siano connessi alla combinazione di più meccanismi di movimento avvenuti, simultaneamente o in tempi successivi, nell'ambito del medesimo versante.

Nella parte medio - alta del bacino sono noti fenomeni di Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (D.G.P.V.), che rappresentano la risposta più evidente dell'evoluzione dei pendii rispetto ai processi di abbassamento rapido per erosione del fondovalle. Essi sono concentrati, generalmente, in zone caratterizzate da litologie a prevalente comportamento diversificato (es.: fragile per calcari sovrapposti a litologie con associato un comportamento duttile quali le argilliti). Tali fenomeni sono osservabili lungo la sponda sinistra del torrente Bisagno (monte Rosato, monte Trincea, monte Lungo, monte Masapello).

In un contesto che vede la prevalenza di materiali lapidei stratificati le cause generali predisponenti alla franosità sono rappresentate dalle giaciture degli strati a franapoggio inclinati meno o come il versante. Ad aggravare la situazione possono concorrere sistemi fessurativi continui ed invasivi che, unitamente alla presenza di interstrati argillitici e/o argillosi, isolano intere masse rocciose che divengono pertanto libere di scivolare lungo piani inclinati. Le frane così generate possono essere classificate come frane di scivolamento lungo una superficie planare preesistente. Le eccezionali precipitazioni, o anche il solo effetto antropico, possono essere fra le principali cause determinanti delle frane.

Fra le frane per cause antropiche si vuole ricordare quella avvenuta a Genova in corrispondenza della Collina degli Angeli il 12 marzo 1968, dove circa 12.000 m3 di roccia investirono un edificio di 7 piani causando la morte di 19 persone. La massa rocciosa era rappresentata dai calcari marnosi dell'Antola con interstrati argillosi, disposta a franapoggio con pendenza simile al versante, disturbata da precedenti lavori di cava.

Sempre nell'Antola possono aversi anche frane per ribaltamento o crollo in presenza di strati a franapoggio e/o versanti particolarmente ripidi.

Come conseguenza dei fenomeni descritti si osservano, lungo le fasce basali dei versanti, coltri detritiche terroso - lapidee con spessori di norma contenuti nei 3 m; il fenomeno interessa particolarmente la valle del Rio Fereggiano e quella del Rio Rovare.

La giovane età del paesaggio è tradita nel suo complesso, oltre che dai fenomeni franosi, anche da fenomeni di erosione regressiva particolarmente evidenti lungo le valli secondarie. Il profilo longitudinale dei torrenti in questo territorio non sembra aver raggiunto l'equilibrio e mostra un trend evolutivo che si manifesta anche attraverso un'intensa erosione al piede che può essere concausa di fenomeni d'instabilità. E' evidente, anche nei rii minori, un copioso alluvionamento con presenza di ghiaie ciottoli e blocchi di grandi dimensioni imputabile alla grande varietà di detriti di cui sono serbatoio le numerose frane o paleofrane.

Come conseguenza di tutto ciò durante le piene possono registrarsi eccezionali apporti di materiale con conseguente innalzamento dell'alveo; successivamente quando il regime viene normalizzato avviene una ripresa dell'erosione ed i corsi d'acqua reincidono le proprie alluvioni.

3 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

3.1 Note Generali

L'attività di caratterizzazione oggetto del presente documento è finalizzata alla definizione dei parametri geotecnici che competono alle differenti unità individuate nella successione stratigrafica restituita dal Profilo Geologico.

Si propone qui di seguito l'iter logico/operativo seguito nell'attività di caratterizzazione condotta:

1. *Identificazione delle unità omogenee da un punto di vista composizionale/litologico:* stante la ricostruzione della successione litostratigrafica emersa dal Profilo Geologico, sono state preliminarmente individuate le unità geotecniche discriminate in funzione della dimensione prevalente dei grani; si è proceduto pertanto a distinguere le unità prevalentemente ghiaiose/sabbiose dalle unità a carattere marcatamente coesivo.

   Sono state pertanto distinte le seguenti Unità Geotecniche:

   Contesto alveo Bisagno - compresi settori di sponda in sinistra e destra idrografica
   - Unità dei riporti antropici realizzati nel corso dell'urbanizzazione da inizio 900 ad oggi;
   - Unità delle coltri detritiche
   - Unità dei depositi alluvionali

   Contesto imbocco finestra di servizio (area ex canile municipale)
   - Unità dei riporti antropici
   - Unità della coltre eluvio-colluviale a composizione granulometrica fine (argillo-limosa)
   - Unità della coltre eluvio-colluviale a composizione granulometrica sabbio-limosa

2. *Elaborazione risultati prove in situ/in laboratorio/geofisiche afferenti alle singole unità:* l'intero campione risultati dalle prove di laboratorio e delle prove in situ è stato filtrato analizzando separatamente tutte le determinazioni provenienti dai campioni prelevati entro la medesima unità litologicamente omogena individuata (si veda punto precedente). Si è così finalizzata la caratterizzazione fisico-meccanica delle varie unità, individuando peraltro eventuali partizioni interne nell'ambito delle medesime, evidenziate da locali variazioni dei parametri geotecnici significativi.

3. *Caratterizzazione geotecnica delle singole unità:* sulla scorta delle elaborazioni condotte sui campioni dati afferenti alle specifiche unità litologicamente omogenee, si è definito il set di parametri geotecnici ad uso progettuale (parametri fisici, meccanici – resistenza e deformabilità), ovvero:
   - peso di volume naturale (γ);
   - coesione efficace (c')
   - angolo di attrito interno di picco (φ)
   - coesione non drenata (C_u)
   - parametri fisici per la definizione delle proprietà idromeccaniche dei terreni (conducibilità idrauliche, coefficienti di consolidazione primaria e secondaria, modulo e coefficienti di compressibilità edometrici)
   - modulo elastico a basse deformazioni (E_{din}) – sulla base della disponibilità di prove per la caratterizzazione dinamica dei terreni
   - moduli elastici operativi (E_{op}), desunti dai moduli elastici a piccole deformazioni e dalle risultanze dell'interpretazione delle prove in situ e in laboratorio.

3.2 Elaborazione prove di laboratorio

3.2.1 *Note Introduttive*

Sono descritte a seguire le procedure operative e le valutazioni progettuali seguite per la determinazione dei seguenti parametri fisico-meccanici dai risultati delle prove di laboratorio geotecnico:

Parametri fisici

- Analisi Granulometriche
- Peso di volume naturale (γ)
- Peso di volume secco (γd)
- Specific Gravity (Gs)
- Indice dei vuoti (e_o)
- Umidità naturale (W_N)
- Grado di Saturazione (Sr)
- Limiti di Consistenza

Parametri meccanici

- Coesione efficace (c')
- Angolo di attrito di picco (φ)
- Coesione non drenata (C_u)

3.2.2 *Parametri fisici*

Analisi granulometriche

Le curve granulometriche sono state implementate con sistema di classificazione M.I.T. basato sulla dimensione delle particelle, come da prospetto seguente:

SISTEMA	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
MIT	2	0.06	0.002	

Sono state inoltre calcolate le componenti granulometriche, espresse come percentuale rispetto al totale in peso del campione sottoposto a prova, esplicitando le seguenti frazioni limitate granulometricamente con sistema di classificazione MIT:

- Ciottoli;
- Ghiaia grossa;
- Ghiaia media;
- Ghiaia fine;
- Sabbia;
- Limo (analisi granulometrica per sedimentazione);
- Argille (analisi granulometrica per sedimentazione).

Umidità naturale e grado di saturazione

L'elaborazione del dato relativo al contenuto in acqua naturale per le differenti unità geotecniche e, successivamente il calcolo del grado di saturazione, è derivata dai dati misurati direttamente secondo procedura di prova ASTM D 2216

Limiti di consistenza

In relazione alla composizione granulometrica del campione prelevato in situ, sono stati elaborati i valori di Limite Liquido e Limite Plastico determinati in laboratorio rispettivamente secondo procedura multipoint-Method A e ASTM D 4318.

3.2.3 *Parametri meccanici*

Angolo di attrito di picco e coesione efficace

L'elaborazione dei parametri meccanici di resistenza in tensioni efficaci, ovvero angolo di attrito di picco e coesione efficace, è stata condotta sulla base dei risultati delle seguenti prove di laboratorio, condotte sia nell'ambito delle Campagne Indagini Pregresse che nell'ultima Campagna Indagini Integrativa:

- Prova di taglio diretto, Consolidata Drenata (C.D.), eseguita su tre provini (ASTM D3080)
- Prova triassiale consolidata isotropicamente, non drenata (C.I.U.), eseguita su 3 provini compresa saturazione degli stessi (ASTM D 4767).

In merito all'elaborazione delle prove di Taglio Diretto, i parametri resistenti in tensioni efficaci (φ e c') sono stati derivati secondo retta interpolante nel piano di Mohr (σ'- τ) i punti sperimentali di prova, rappresentativi delle condizioni di picco rilevate nella tripletta di provini sottoposti a prova. La retta interpolante è ottenuta secondo regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio.

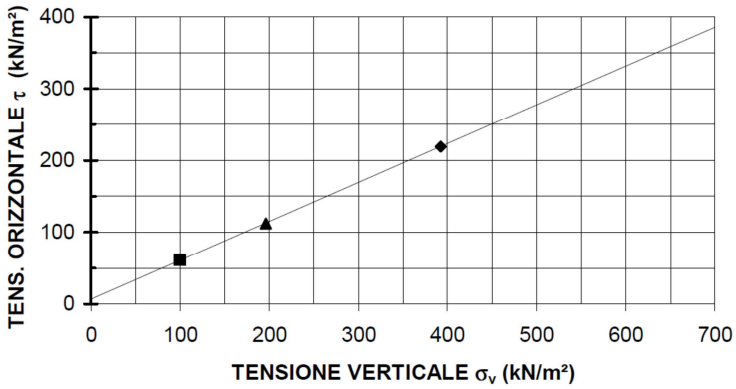


Figura 3-1 – Prova TD - Retta interpolante nel piano di Mohr (σ'- tau) i punti sperimentali

Coesione non drenata

I valori di coesione non drenata sono stati derivati a seguito interpretazione del set di prove triassiali non consolidate, non drenate (U.U.). Il valore della coesione non drenata è stato ricavato dall'intercetta sull'asse ordinate della retta limite interpolante i punti estremi degli stress paths associati ai tre differenti provini sottoposti a prova, tracciati nel piano tensione principale media (p) – tensione tangenziale massima (q). La retta di riferimento per la determinazione è ottenuta secondo regressione lineare operata sulle tensioni massime determinate in laboratorio.

3.2.4 *Parametri Di Consolidazione*

Modulo edometrico

L'elaborazione del modulo edometrico è derivata dalle determinazioni dei coefficienti di compressibilità edometrica m_v (m^2/MN. Il parametro di compressibilità (inverso del modulo edometrico) è fornito in relazione al livello tensionale imposto entro la cella edometrica nel corso della prova . Ai fini delle elaborazioni progettuali, si è considerato il valore del parametro Mv associato all'intervallo di carico in corrispondenza del quale sono stati determinati i parametri di consolidazione di cui ai paragrafi seguenti.

Tensione di Preconsolidazione e parametri di compressibilità edometrica

La determinazione della tensione di preconsolidazione e, a seguire, dei parametri di compressibilità edometrica è stata condotta elaborando le curve di compressione edometrica nel piano e-σv), secondo la nota Costruzione di Casagrande.

Coefficienti di consolidaizone primaria e secondaria:

Le prove edometriche condotte hanno restituito la curva cedimenti-tempo, dalla quale tramite metodo del logaritmo del Tempo o Casagrande (1936) sono stati determinati i valori dei coefficienti di consolidazione primaria e secondaria.

3.3 Elaborazione prove in situ

3.3.1 Note introduttive

Sono descritte a seguire le procedure operative e le valutazioni progettuali nell'ambito dell'elaborazione delle prove geotecniche in situ. A corredo delle prove di seguito elencate sono altresì indicati i parametri fisico-meccanici derivati dall'elaborazione delle medesime.

Prove Penetrometriche Dinamiche in foro di Sondaggio (SPT)

Parametri fisici

- Peso di volume naturale (γ)
- Densità Relativa (Dr)

Parametri meccanici

- Angolo di attrito di picco (φ);
- Modulo Elastico di Young
- Modulo Edometrico

Prove di permeabilità Lefranc

- Conducibilità Idraulica

Prove Sismiche Cross Hole

- Modulo Elastico a piccole deformazioni (E_{din})

Nei paragrafi che seguono è data indicazione in merito all'attività di interpretazione dei risultati delle prove geotecniche in situ, con particolare riferimento alle correlazioni empiriche sviluppate per l'ottenimento dei parametri geotecnici dalle prove penetrometriche SPT.

3.3.2 *Prove penetrometriche dinamiche (SPT)*

Peso di volume naturale (γ)

Si adottano le correlazioni di natura empirica fra il valore N_{SPT} e il peso di volume naturale dei terreni, come da diagramma di seguito riportato:

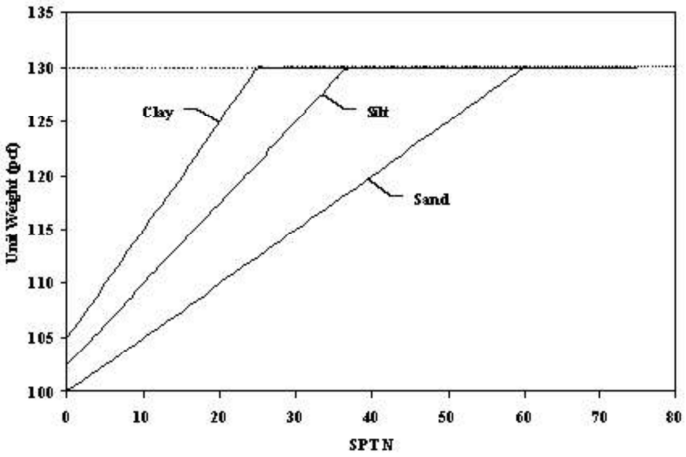


Figura 3-2 – Diagramma di correlazione Nspt – peso di volume unitario per litotipi argillosi, limosi e sabbiosi

Densità Relativa (Dr)

La determinazione del parametro Dr è effettuata sulla base del valore Nspt misurato nel corso delle prove penetrometriche adottando le correlazioni di natura empirica disponibili in letteratura.

Nell'ambito della presente attività di caratterizzazione, anche alla luce della riscontrata eterogeneità nella composizione granulometrica delle unità a frazione più grossolana, si è presupposta la corrispondenza fra i valori N_{SPT} derivate da prove con campionatore a punta chiusa e campionatore standard a punta aperta, attingendo pertanto al set di correlazioni empiriche sviluppate per quest'ultima metodologia esecutiva.

L'interpretazione dei valori Nspt al fine di ricostruire la distribuzione del parametro Dr con la profondità è stata condotta scegliendo le formulazioni qui di seguito esposte, in relazione all'affidabilità delle correlazioni medesime ed all'analogia fra contesto litologico di implementazione ed unità geotecnica di applicazione. Per ogni correlazione citata è fornita la relazione empirica Nspt – Dr, corredata da eventuali note di commento.

Cubrinowski e Ishihara (1999)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie e ghiaie limose

$$D_r = \left\{ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0.23 + \frac{0.06}{D_{50}}\right)^{1.7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{V0}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{k_{0,NC}}{k_{0,OC}}\right)^{1/2} \right\}^{1/2} \cdot 100[\%]$$

essendo:

- D_r [%] = densità relativa
- $(N_{SPT})_{78\%}$ [/] = numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica
- D_{50} [mm] = diametro delle particelle corrispondente al passante 50%
- σ'_{V0} [kPa] = pressione verticale efficace geostatica
- $k_{0,NC}$ [/} = coefficiente di spinta a riposo del terreno normal-consolidato
- $k_{0,OC}$ [/] = coefficiente di spinta a riposo del terreno sovra-consolidato

Si osserva che:

- L'espressione sopra indicata è applicabile al caso di energia trasferita alle aste pari al 78%, mentre in Italia normalmente l'energia trasferita alle aste è inferiore al 78% e pari mediamente al 60%; nell'applicazione della formula, il valore N_{SPT} misurato, assunto pari a $(N_{SPT})_{60\%}$, deve pertanto essere corretto in base alla seguente relazione:

$$(N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT})_{60\%} \cdot \frac{60}{78}$$

- In presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi (D_{50} >1mm) al valore $(N_{SPT})_{60\%}$ non è stata apportata alcuna correzione, per tenere conto della presenza di particelle di ghiaia (si veda ad esempio Clayton (1995), Skempton (1986), Tokimatsu & Yoshimi (1983))

- In caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione è stata effettuata facendo riferimento ad un valore N_{SPT} calcolato come segue:

- $N_{SPT} = 100$ se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel primo tratto di 15cm o nel secondo tratto di 15cm

- $N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{a} \cdot 15 \leq 100$ se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel terzo tratto di 15cm essendo a l'affondamento misurato (in cm) per un numero di colpi pari a 50 e N_2 il numero di colpi misurato per l'affondamento del secondo tratto di 15cm. l'interpretazione delle prove è stata effettuata nell'ipotesi di terreni normal-consolidati.

<u>Skempton (1986)</u>

Litologia di applicazione preferenziale: limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

$$D_r = \left(\frac{(N'_{SPT})_{60}}{60} \right)^{1/2} \cdot 100[\%]$$

essendo:

$$(N'_{SPT})_{60\%} = C_N \cdot (N_{SPT})_{60\%} \ [/]$$

numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica, modificato per tenere conto del livello tensionale verticale efficace geostatico agente

$$(N_{SPT})_{60\%} \ [/]$$

numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{1/2} \ [/]$$

fattore da applicarsi al numero di colpi/30cm per tenere conto del livello tensionale verticale efficace geostatico agente, σ'_{v0} (Liao & Whitman, 1986)

Si rileva che:

L' interpretazione delle prove è stata effettuata nell'ipotesi di N_{SPT} misurato = $(N_{SPT})_{60\%}$

Bazaraa (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$D_r = \left[\frac{N_{SPT}}{20\cdot(1+2\sigma'_v)}\right]^{1/2} \quad \text{per } \sigma_{vo}' < 70 \text{ KPa}$$

$$D_r = \left[\frac{N_{SPT}}{20\cdot(3.25+0.5\sigma'_v)}\right]^{1/2} \quad \text{per } \sigma_{vo}' > 70 \text{ KPa}$$

Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

$$\ln(D_r) = 0.478 \cdot \ln(N_{SPT}) - 0.262 \cdot \ln(\sigma'_{v0}) + 2.84$$

nelle quali:

- N_{SPT} [/] = numero di colpi/30cm misurato
- σ'_{V0} [kPa] = pressione verticale efficace geostatica
-

3.3.3 *Parametri meccanici*

Angolo di attrito di picco (φ)

Schmertmann 1977

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

- φ= 28 + 0.14 Dr per sabbia fine uniforme
- φ= 31.5 + 0.115 Dr per sabbia media uniforme – Sabbia fine ben gradata
- φ= 34.5 + 0.10 Dr per sabbia grossa uniforme – Sabbia media ben gradata
- φ= 38 + 0.08 Dr per ghiaietto uniforme – Sabbie e ghiaie poco limose

Shioi-Fukuni 1982 (Japanese National Railway)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose

$$\varphi' = 0.3N_{SPT} + 27$$

Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per profondità di prova > 8 m. sopra falda e > 15 m. per terreni in falda) σ > 15 t/mq

$$\varphi' = (15\ N_{SPT})^{0.5} + 15$$

Owasaki & Iwasaki (1959)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie - sabbie medie e grossolane, ghiaiose (condizioni ottimali per profondità > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) s >15 t/mq

$$\varphi' = (20\ N_{SPT})^{0.5} + 15$$

nelle quali:

N_{SPT} [/] = numero di colpi/30cm misurato

Bolton (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie, previa selezione del valore appropriato per angolo di attrito in condizioni residue (φ'_{cv})

$$\varphi'-\varphi'_{cv}=mDI \qquad (<12°)$$

essendo:

- m = 3 (condizioni assialsimmetriche) oppure m = 5 (condizioni di deformazione piana)
- DI = $D_r(10-\ln p'_f)-1$, dove p'_f è la pressione efficace media a rottura, da esprimersi in kPa

Modulo Elastico di Young (E_y)

D'Appolonia (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_y = 0.756 \cdot N_{SPT} + 18.75 \ \text{[MPa]}$$

Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_Y = C_1 + C_2 \cdot N_{SPT} \pm S.E.$$

dove C_1 e C_2 dipendono dal tipo di terreno e S.E. è la deviazione standard:

- C_1 = 52, C_2 = 3.3, S.E. = 19.3 per sabbia fine
- C_1 = 39, C_2 = 4.5, S.E. = 36.4 per sabbia media
- C_1 = 24, C_2 = 5.3, S.E. = 21.1 per sabbia limosa
- C_1 = 12, C_2 = 5.8, S.E. = 9.0 per limo siltoso e sabbia limosa
- C_1 = 43, C_2 = 11.8, S.E. = 42.3 per sabbia ghiaiosa
- C_1 = 38, C_2 = 10.5, S.E. = 93.2 per sabbia e ghiaia

ed essendo:

N_{SPT} [/] = numero di colpi/30cm misurato

Modulo Edometrico (E_d)

Begemann (1974)

Litologia di applicazione preferenziale: limo con sabbia, sabbia e ghiaia

$$E_d = 40 + 12 \cdot \left[(N_{SPT})_{60} - 6 \right] \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Schmertmann (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_d = 15 \cdot (N_{SPT})_{60} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Wrench & Nowataki (1985)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_d = 2.22 \cdot (N_{SPT})_{60} \cdot 0.888 \text{ [MPa]}$$

nelle quali:

$(N_{SPT})_{60\%}$ [/] = numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica

3.3.4 *Prove di permeabilità Lefranc*

Sono stati elaborati i risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc condotte nei fori di sondaggio, nell'ambito delle Campagne di Indagini Geognostiche pregresse ed integrativa.

Nel corso della prova è misurata la conducibilità idraulica orizzontale del terreno ed è basata sulla filtrazione dell'acqua attraverso un predeterminato tratto di perforazione associata alla misurazione dell'assorbimento della stessa da parte del terreno.

La prova è stata generalmente condotta a carico idraulico variabile (CV) in presenza di terreni a modesta permeabilità ed a carico idraulico costante (CC) in suoli a permeabilità elevata.

3.3.5 *Prove sismiche Cross-hole*

I risultati ottenuti dalle prove sismiche Cross Hole sono stati analizzati al fine di determinare i parametri di rigidezza di uso progettuale. Si riporta nel seguito l'iter procedurale seguito per la definizione dei Moduli Elastici Operativi:

Ricostruzione del profilo del Modulo di Taglio Go associato alle piccole deformazioni, noto, per ogni verticale d'indagine il profilo delle Velocità delle Onde di Taglio Vs (m/s), secondo la seguente relazione analitica:

Go = yt/9.81 (Vs)^2 kPa

Con yt peso di volume naturale del terreno e Vs velocità delle onde di taglio in m/s

Ricostruzione del profilo del Modulo di Elastico di Young Eo associato alle piccole deformazioni, noto, per ogni verticale d'indagine il profilo del modulo di taglio Go, secondo la seguente relazione analitica:

$$Eo = Go * 2 (1+v)$$

Con v= rapporto di Poisson del terreno. Si evidenzia che i valori del modulo elastico di Young così determinati sono stati validati tramite confronto con quelli calcolati secondo la relazione diretta Eo – Vp onde elastiche di compressione (esposta nel seguito), limitatamente alle unità o ai livelli stratigrafici posti sopra il livello di falda, stante l'effetto disturbo arrecato dalla falda medesimo sulla misurazione dei tempi di arrivo delle onde di volume Vp.

Determinazione, nell'ambito di ogni Unità Geotecnica del range di variazione del Modulo Elastico a piccole deformazioni e successiva definizione dei range di Moduli Elastici Operativi, da utilizzarsi in relazione ai livelli deformativi mobilitati entro i terreni, secondo il seguente criterio:

- Calcolo di opere di sostegno flessibili: si adotta un valore del modulo operativo Eop compreso fra 1/3 e 1/5 del Modulo Elastico a piccole deformazioni Eo. Tali valori di modulo sono associabili, nelle sabbie, a deformazioni nell'ordine dei 5E-3 (secondo leggi di degrado del modulo di taglio proposte in Lo Presti – 1989).

- Calcolo di cedimenti di fondazioni dirette: si adotta un valore del modulo operativo Eop pari a 1/5 del Modulo Elastico a piccole deformazioni Eo. Tali valori di modulo sono associabili, nelle sabbie, a cedimenti del piano di posa delle fondazioni nell'ordine di 0.01 volte la dimensione minore della fondazione stessa.

- Calcolo di cedimenti dei rilevati: si adotta un valore del modulo operativo Eop1 compreso pari a 1/10 del Modulo Elastico a piccole deformazioni Eo.

4 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

4.1 Note generali sulla procedura operativa per la caratterizzazione geomeccanica

Preliminarmente all'attività di analisi ed elaborazione dei risultati emersi dalle campagne indagini, si è proceduto all'individuazione, nell'ambito delle unità geologiche, delle formazioni aventi simili caratteristiche geomeccaniche. E' stata quindi condotta, per ogni gruppo geomeccanico cosi individuato, l'attività di studio di cui si propone qui di seguito lo schema logico/operativo.

1. **Fase**: qualificazione geo-meccanica dell'unità geologica. Laddove richiesto, ovvero per formazioni caratterizzate dall'alternanza sufficientemente regolare di litologie ben differenziate, si è proceduto all'attribuzione dell'appropriata tipologia composizionale/strutturale secondo il quadro di Classificazione Geomeccanica di Marinos-Hoek per ammassi rocciosi eterogenei – Flysch (2000), sulla base dei rapporti relativi fra le due litologie distinte costituenti l'ammasso stesso.

2. **Fase**: analisi completa del campione di risultati raccolti nell'ambito delle campagne di indagini geognostiche eseguite, con particolare attenzione alle seguenti proprietà della matrice rocciosa riferita alla singola o molteplici componenti litologiche costituenti le singole formazioni analizzate:

   - **Caratteristiche fisiche** (peso di volume naturale/secco, coefficiente di Poisson);
   - **Caratteristiche di resistenza** (compressione mono-assiale da prove di carico non confinato ed elaborazione dei Point Load Strenght Tests, trazione indiretta, parametro di resistenza *mi* di Hoek-Brown);
     Ai fini dell'interpretazione dei risultati dei Point Load Strenght Tests, in assenza di informazioni specifiche per le formazioni rocciose in disamina, è suggerita l'adozione di fattori k50 variabili con la resistenza della matrice rocciosa. L'intero campione di dati Point Load Strenght Index è stato dunque analizzato con riferimento a fattori di correlazione k_{50}, al variare del dato I_{50} trattato, d'accordo con le indicazioni di letteratura (Palmstrom – 1994).

σ_c (MPa)	$I_{s\,50}$ (MPa)	k_{50}
25*) - 50	1.8 - 3.5	14
50 - 100	3.5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

Tabella 1 – Valori k50 suggeriti, al variare della resistenza a compressione (Palmstrom – 1994)

   - **Caratteristiche di deformabilità** (moduli elastici da prove in laboratorio di compressione mono-assiale a controllo di deformazione, moduli elastici da prove dilatometriche in foro di sondaggio, moduli elastici ottenuti secondo la correlazione empirica di Deere-Palmstrom-Sigh – Ei = MR*UCS).

3. **Fase:** Definizione delle caratteristiche fisiche, di resistenza e deformabilità delle litologie costituenti le formazioni.

   - Peso di volume naturale/secco;
   - Modulo Elastico della matrice rocciosa intatta;
   - Coefficiente di Poisson;
   - Resistenza a compressione mono-assiale (UCS);
   - Resistenza a trazione indiretta;
   - Parametro di resistenza mi di Hoek-Brown.

   Per ammassi rocciosi costituiti da un Flyschoidi, secondo l'approccio indicato da Marinos-Hoek (2000), si è adottata nello specifico la formulazione della media-ponderata, selezionando i pesi relativi da attribuire alle due componenti litologiche, con la quale sono stati desunti i parametri fisico-meccanici sopra riportati.

   La definizione del Modulo Elastico della matrice rocciosa intatta è discesa dall'analisi comparata delle seguenti determinazioni analitiche/sperimentali:

   - Modulo elastico tangente ottenuti dalle prove in laboratorio di compressione mono-assiale a controllo di deformazione
   - Modulo elastico da prove dilatometriche in foro di sondaggio,
   - Modulo elastico ottenuto secondo la correlazione empirica di Deere-Palmstrom-Sigh – Ei = MR*UCS)

4. **Fase**: Classificazione dell'ammasso roccioso, tramite attribuzione del parametro GSI. In particolare per ammassi rocciosi Flyschoidi la definizione del GSI è stata effettuata secondo l'approccio indicato da Marinos-Hoek (2000). Il valore di GSI è stato altresì derivato dal BRMR di Bieniawski ottenuto dall'esame degli eventuali Rilievi Geostrutturali condotti sulle formazioni in disamina.

5. **Fase:** Determinazione dei moduli elastici d'ammasso, tramite la relazione di Hoek - Diederichs, 2006,.

4.2 Classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

4.2.1 *Note generali*

La caratterizzazione geotecnica delle formazioni rocciose verrà fatta con riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

In particolare:

1 Il parametro **RMR** "Rock Mass Rating" sarà stimato sulla base di quanto descritto nel seguito; il parametro **GSI** (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjoberg, 1997):

$$GSI = RMR_{'89} - 5$$

2 L'inviluppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002).

3 Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel paragrafo

4.2.2 *Valutazione del parametro RMR'89*

Per ogni litotipo il parametro RMR'89 viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (I1)

Resistenza alla compressione semplice σ_c (MPa)	I1
> 250	15
100÷250	12
50÷100	7
25÷50	4
5÷25	2
1÷5	1
< 1	0

- Qualità della roccia RQD (I2)

RQD (%)	I2
90÷100	20
75÷90	17
50÷75	13
25÷50	8
< 25	3

- Spaziatura delle discontinuità (I3)

S	I3
> 2 m	20
0.6 m÷2 m	15
200 mm÷600 mm	10
60 mm÷200 mm	8
< 60 mm	4

- Lunghezza delle discontinuità (I4)

L	I4
< 1 m	6
1 m÷3 m	4
3 m÷10 m	2
10 m÷20 m	1
> 20 m	0

- Apertura delle discontinuità (I5)

H	I5
0 mm	6
> 0.1 mm	5
0.1 mm÷1 mm	4
1 mm÷5 mm	1
> 5 mm	0

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza (I6)

Descrizione	I6
Molto rugose	6
Rugose	5
Poco rugose	3
Ondulate	1
Lisce	0

- Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (I7)

Descrizione – spessore	I7
Assente	6
Compatto – < 5 mm	4
Compatto – > 5 mm	2
Tenero – < 5 mm	2
Tenero – > 5 mm	0

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di alterazione (I8)

Descrizione	I8
Non alterate	6
Poco alterate	4
Alterate	2
Molto alterate	2
Decomposte	0

Tendenzialmente nella valutazione di RMR'89:

- Non si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.
- L'indice legato alla presenza dell'acqua verrà assunto pari a quello associabili a condizioni "dry". Gli effetti della presenza dell'acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

4.3 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjoberg, 1997), Hoek et al. (2002) l'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}}$$

D = 0 per "undisturbed rock masses"

D = 0.3 per "disturbed rock masses" – situazione associata alla condizione residua dell'ammasso.

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

GSI = RMR'89 –5

RMR'89 = vedi il paragrafo 4.2.2

mi = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ1' = tensione principale efficace maggiore

σ3' = tensione principale efficace minore

σc = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Nell'applicazione del criterio di rottura sopra riportato valgono le seguenti precisazioni:

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente m_i verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con GSI = 100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato ad una serie di valori di letteratura come riferimento.

2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dal valori di GSI, implica che, per m_i = 10, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a ≅ $1/m_i$.

3. *In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità*, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di $RMR_{'89}$ verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da

Hoek et al. (1998) e da Marinos & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi .Alla resistenza alla compressione semplice σ_c ed al coefficiente m_i della roccia intatta verranno inoltre assegnati valori "pesati" .

4. I criteri di rottura espressi in termini di tensioni efficaci principali σ_1' e σ_3' possono essere trasformati in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n'. A tale proposito valgono le seguenti equazioni:

$$\frac{\delta\sigma'_1}{\delta\sigma'_3} = 1 + a \cdot m_b \cdot \left(\frac{m_b \cdot \sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^{a-1}$$

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cdot \frac{\frac{\delta\sigma'_1}{\delta\sigma'_3} - 1}{\frac{\delta\sigma'_1}{\delta\sigma'_3} + 1}$$

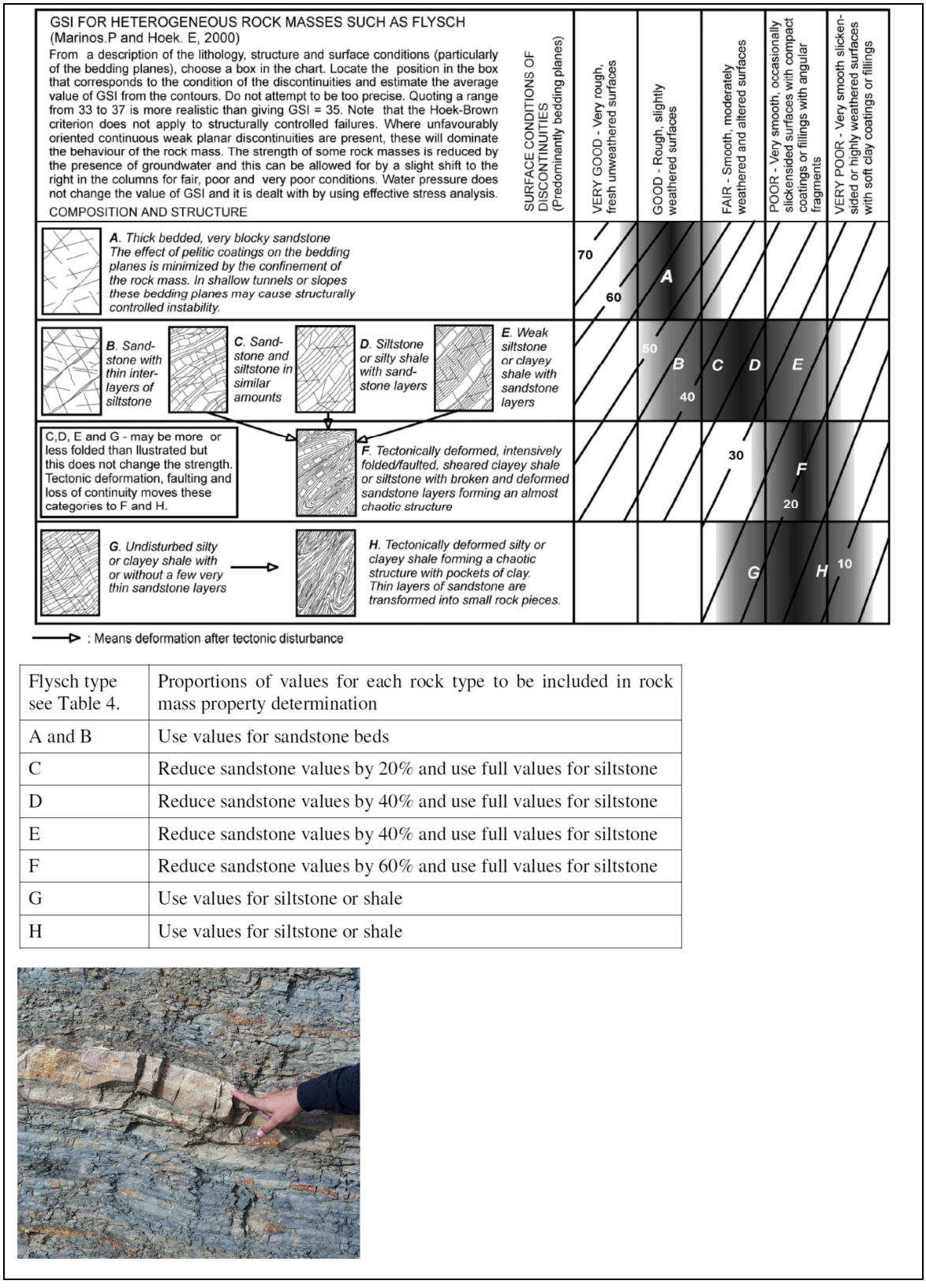
$$\tau = \left(\sigma'_1 - \sigma'_3\right) \cdot \frac{\sqrt{\frac{\delta\sigma'_1}{\delta\sigma'_3}}}{\frac{\delta\sigma'_1}{\delta\sigma'_3} + 1}$$

5. L'inviluppo di rottura in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σn' verrà interrotto per valori di σn' negativi (trazione) inferiori a 0 kPa; in corrispondenza di valori di σn' negativi (trazione) le resistenze al taglio saranno assunte pari a 0 kPa ("tension cut off").

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone to values used for fine grained sediments.
* *These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tabella 2 – Valori di riferimento della costante mi della roccia intatta in base al tipo di roccia (i valori indicati tra parentesi sono stimati) (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)



Flysch type see Table 4.	Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination
A and B	Use values for sandstone beds
C	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
D	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
E	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
F	Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone
G	Use values for siltstone or shale
H	Use values for siltstone or shale

Tabella 3 – Prospetto per la Classificazione Geomeccanica (GSI) degli ammassi rocciosi eterogene i (Flysch) secondo Marinos-Hoek (2000).

Tipo di ammasso	Criterio di valutazione di σ_c e di m_i
A e B	Valori relativi al litotipo più competente
C	Valori del litotipo più competente ridotti del 20% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
D e E	Valori del litotipo più competente ridotti del 40% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
F	Valori del litotipo più competente ridotti del 60% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
G	Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti
H	Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti

Tabella 4 – Ammassi rocciosi eterogenei – Criteri di valutazione di σc e di mi (Hoek et al.,1998; Marinos & Hoek, 2000)

4.4 Caratteristiche di deformabilità

4.4.1 Moduli iniziali

I moduli iniziali di taglio (Go1) e di Young (Eo1) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie po', possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio Vs utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{o1} = \frac{\gamma_t}{9{,}81} \cdot (V_s)^2 \quad \text{(kPa)}$$

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad \text{(kPa)}$$

essendo:
γt = peso di volume naturale del terreno in kN/m3
ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20
Vs = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec.

La velocità di propagazione delle onde di taglio Vs può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche down hole.

I moduli iniziali di taglio (Go) e di Young (Eo) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci medie generiche p', possono essere ricavati dalle seguenti espressioni:

$$G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p'_o} \right)^{0.3} \quad \text{(kPa)}$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad \text{(kPa)}$$

4.4.2 *Moduli "operativi"*

I moduli di Young "operativi" E_{op} dell'ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, possono essere stimati sulla base delle seguente espressioni (Hoek et Diederichs, 2006) in MPa:

$$E_{op} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{D}{2}\right) \Big/ 1 + e^{(75+25D-GSI)/11}$$

con D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

Oppure

$$E_{op} = E_i \cdot \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}}\right)$$

dove Ei è il modulo di deformazione della roccia intatta pari al prodotto tra il valore di MR e la resistenza a compressione monoassiale.In presenza di formazioni flyshoidi (Marinos & Hoek - 2000) il modulo elastico della roccia intatta verrà determinando pesando i singoli moduli elastici della matrice rocciosa afferenti alle due componenti litologiche dell'ammasso, uitlizzando i "pesi" consigliati dagli autori.

Per quanto riguarda i parametri operativi ricavabili dalle onde sismiche, in base a quanto indicato nel grafico sotto riportato, considerando una deformazione g_s =1% tipico per le gallerie, si ottiene un fattore riduttivo compreso tra 1/10-1/5.

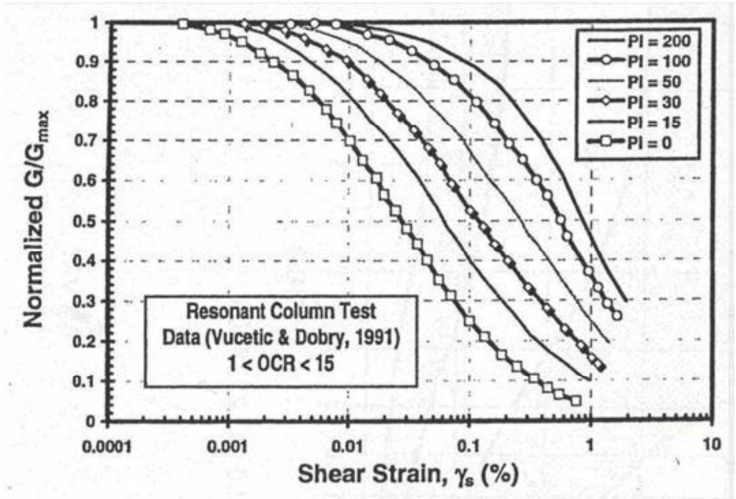


Figura 4-1 – Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry,1991

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

5.1 Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno

5.1.1 *Sondaggi di Riferimento*

Per il contesto di Via Adamoli, i sondaggi di riferimento sono i seguenti:

- SEB2 (PE 2017)
- SEB2ter (PE 2017)
- SEB3 (PE 2017)
- SEB4 (PE 2017)
- S6D (PD 2007)
- S7D (PD 2007)

5.1.2 *Identificazione delle unità geotecniche*

Dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi di cui al paragrafo precedente, sono state individuate le seguenti unità geologiche:

- Terreno di riporto (elementi antropici, sabbie e limo);
- Coltre Detritica (limo argilloso - sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei);
- Deposito Alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei);
- (Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso) Analizzato al successivo capitolo 6.
- (Substrato roccioso) Analizzato al successivo capitolo 6.

5.1.3 *Identificazione dei parametri fisici*

L'attribuzione delle proprietà fisiche ai terreni in oggetto è discesa dalla conduzione delle prove di laboratorio quali analisi granulometrica completa per vagliatura e sedimentazione, determinazione dei limiti di consistenza, determinazione del peso di volume. Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove effettuate relative ai sondaggi poc'anzi citati relativi al PE 2017.

Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità	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	
SEB2	**CR4**	6.00-6.50	6.25	D	F	AR	GR	LIMITI	PV	
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		

Tabella 5 – Prove di laboratorio effettuate sui sondaggi SEB12 e SEB12ter – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

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				

Tabella 6 – Prove di laboratorio effettuate sui sondaggi SEB3 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

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	

Tabella 7 – Prove di laboratorio effettuate sui sondaggi SEB4 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

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 8 – Legenda prove di laboratorio – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Di seguito si propone la tabella di sintesi dell'esito delle prove condotte.

Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità media	Classificazione USCS	Peso di volume naturale		Limiti di Atterberg		Composizione granulometrica			
					γ_n	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
n°	n°	m	m		kN/m³	%	%	%	%	%	%	%
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
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
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 9 – Prove e analisi su terreni sondaggi SEB2 e SEB2ter – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

Sondaggio	Campione	Profondità	Profondità media	Classificazione USCS	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Composizione granulometrica				Limiti di Atterberg			ED	TG	
														Compressibilità edometrica	Angolo di resistenza al taglio	Coesione drenata
					W	g_n	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	LL	LP	IP		f	c'
n°	n°	m			%	kN/m³	%	%	%	%	%	%	%		°	kPa
SEB3	CI1	13.60-14.20	13.9	CL	22.18	19.68	4.88	8.93	31.25	54.94	40.2	22.2	18.0	*	23.6	16.5
SEB3	CR1	2.00-2.50	2.25	GC			49.63	29.81	11.38	9.18	26.2	17.4	8.9			
SEB3	CR2	4.30-4.70	4.5	GM-GC			64.16	19.99	8.73	7.12	20.7	15.0	5.8			
SEB3	CR3	5.40-6.00	5.7	GC			58.06	27.32	7.61	7.01	27.2	17.5	9.7			
SEB3	CR4	9.40-9.80	9.6	GC			65.03	24.23	5.18	5.56	27.3	17.3	10.0			
SEB3	CR5	11.50-11.80	11.65	GC			44.170177	32.98	12.65	10.20	25.7	18.0	7.7			
SEB4	CR1	1.00-1.60	1.3	GC			62.02	22.64	7.64	7.70	28.7	20.1	8.6			
SEB4	CR2	3.50-4.00	3.75	GC			62.08	23.96	6.17	7.79	27.7	19.7	7.9			
SEB4	CR3	5.40-6.00	5.7	GC			53.83	29.62	9.45	7.10	25.9	18.2	7.8			
SEB4	CR4	9.40-9.80	9.6	GC			69.25	17.52	7.98	5.25	24.4	17.4	7.1			
SEB4	CR5	12.15-12.70	12.425	GC			63.54	21.68	6.97	7.81	27.8	18.4	9.5			
SEB4	CR6	14.50-15.00	14.75	GC			69.45	19.58	3.97	7.00	38.8	21.6	17.2			

Tabella 10 – Prove e analisi su terreni sondaggi SEB 3 e SEB4 – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

Alle pagine che seguono si propongono in forma grafica gli esiti delle prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione fisica dei terreni. In particolare sono fornite le curve granulometriche e le determinazione dei limiti di consistenza (liquido e plastico) e relativo Indice Plastico, riferite ai singoli campioni prelevati nei fori di sondaggio SEB2, SEBter, SEB3 e SEB4. Questi ultimi due effettuati in alveo Bisagno.

Per quanto riguarda i sondaggi SEB2 e SEB2ter:

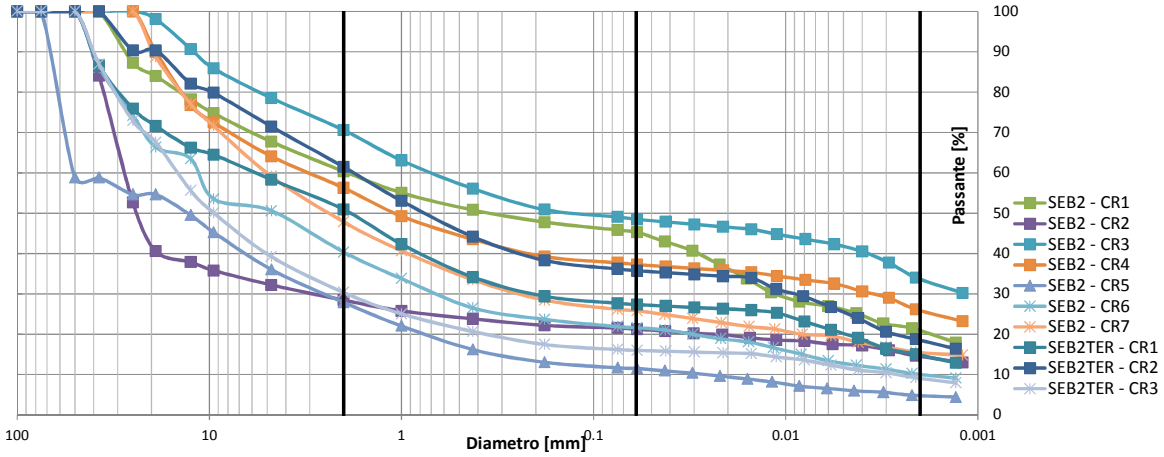


Figura 5-1 – Curve granulometriche sondaggio SEB2 e SEB2ter– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno" – tutti i campioni prelevati

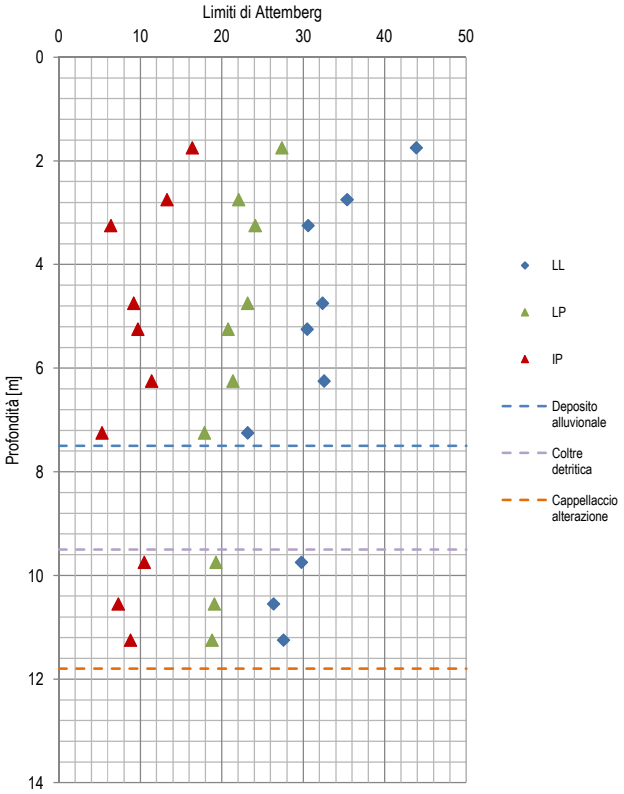


Figura 5-2 – Valori in forma grafica dei limiti di Atterberg SEB2 e SEB2ter – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Le risultanze delle analisi granulometriche ottenute dai recenti sondaggi geognostici sono state integrate con l'esito delle analisi omologhe condotte nell'ambito della Campagna Indagine di PD. Ai grafici che seguono sono proposte separatamente le curve granulometriche relative ai provini prelevati nello strato di riporto antropico e nella coltre detritica.

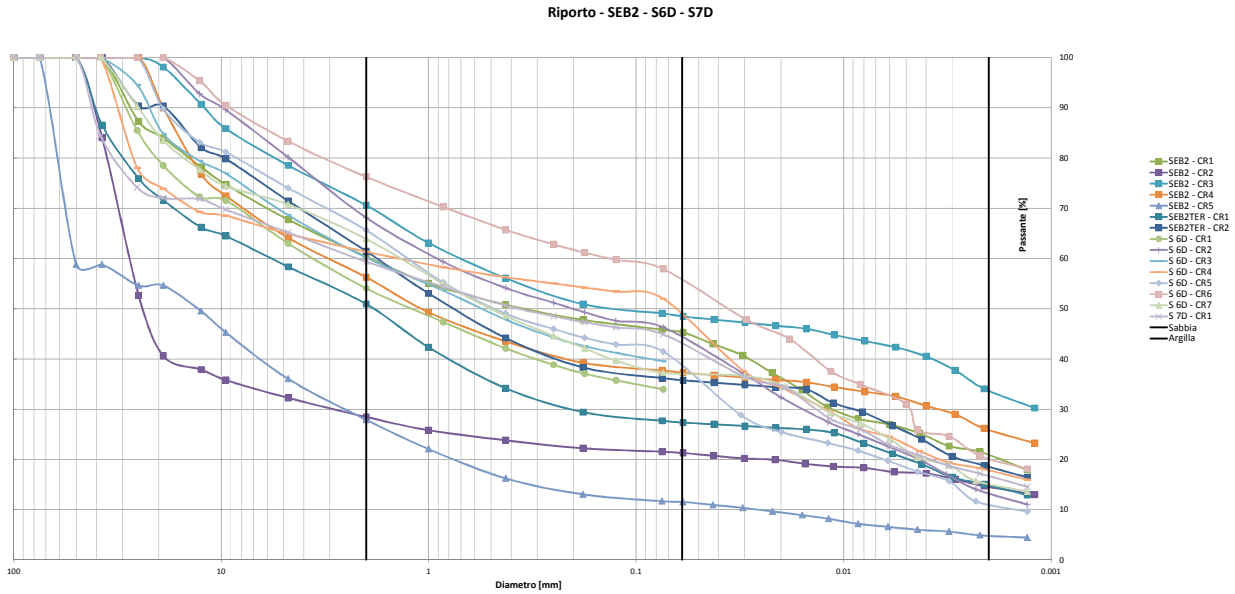


Figura 5-3 – Valori in forma grafica delle risultanze delle analisi granulometriche "Riporto" dei sondaggi SEB2, SEB2ter, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

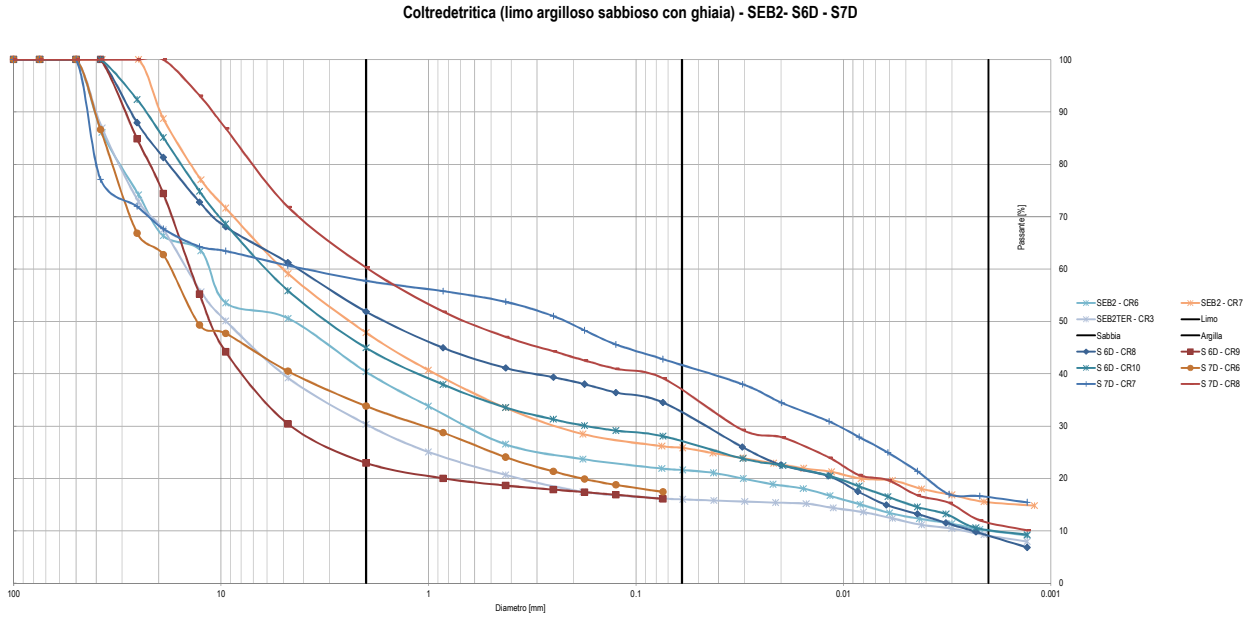


Figura 5-4 – Valori in forma grafica delle risultanze delle analisi granulometriche "Coltre detritica (limo argilloso e sabbioso con ghiaia)" dei sondaggi SEB2, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Si osserva come le curve si collochino mediamente entro fusi granulometrici ben definiti, evidenza di una discreta omogeneità composizionale delle unità geotecniche individuate. I campioni prelevati nel riporto mostrano, nella media, una buona equivalenza tra frazione grossolana (ghiaiosa al 35% ca, con presenza della frazione sabbiosa in misura minore, pari al 25) e componente fine (frazione limosa e argillosa pari al 40%). L'indice plastico oscilla mediamente fra 10% e 13%.

La sottostante coltre detritica si caratterizza per una composizione prevalente ghiaiosa (60% - valore medio riferito al fuso); la frazione sabbiosa e fine si attestano, rispettivamente al 10% (valore medio riferito al fuso) ed al 30% (valore medio riferito al fuso). L'indice plastico oscilla mediamente fra 5% e 9%.

Per quanto riguarda gli esiti delle medesime prove di laboratorio (curve granulometriche, determinazione dei limiti di consistenza (liquido e plastico) e relativo Indice Plastico) finalizzate alla caratterizzazione fisica dei terreni riferite ai sondaggi SEB3 e SEB4, è importante sottolineare che queste sono interamente riferite all'unità geologica "Deposito Alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)" eccetto un campione prelevato alla profondità di 13.6 – 14.2 metri, riferito all'unità geologica "Coltre detritica" . Alle pagine che seguono si riportano, in forma grafica, gli esiti di tali prove appena citate.

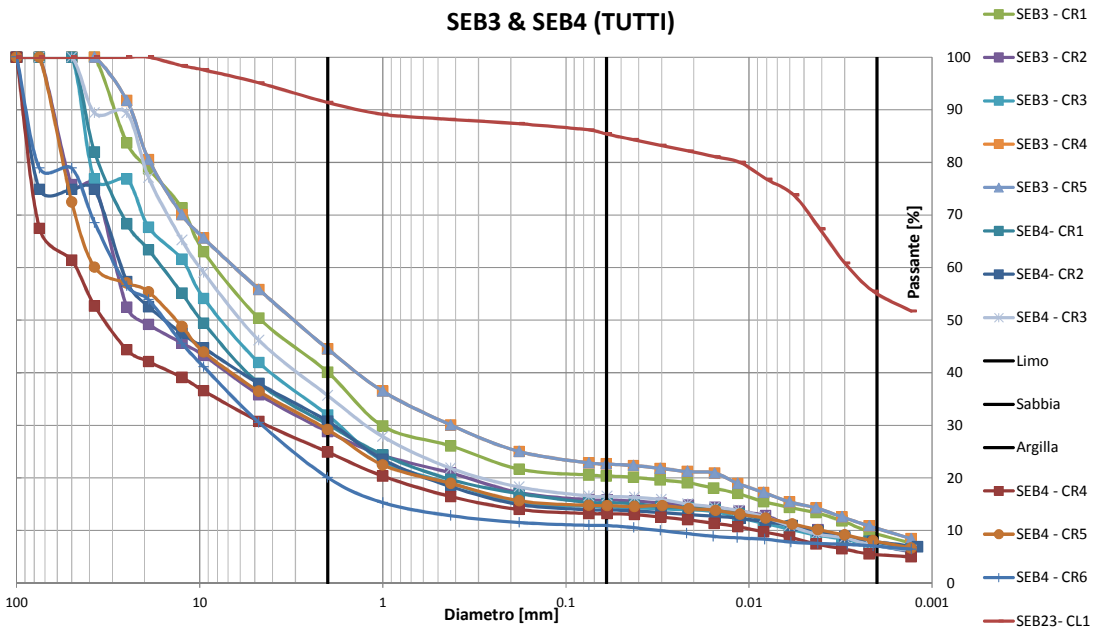


Figura 5-5 – Curve granulometriche sondaggio SEB2 e SEB2ter– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno" – tutti i campioni prelevati

Si osserva come le curve individuino chiaramente un fuso granulometrico compatto, restituendo pertanto una buona omogeneità composizionale dell'unità geotecnica individuata. Il provino SEB3 – CL1, come già accennato, appartiene ad un'unità geologica differente (Coltre detritica). I campioni prelevati mostrano una chiara prevalenza della frazione grossolana (55% ca). La frazione sabbiosa, compare in misura minore (25% ca). L'indice plastico oscilla mediamente tra 5 e 9%.

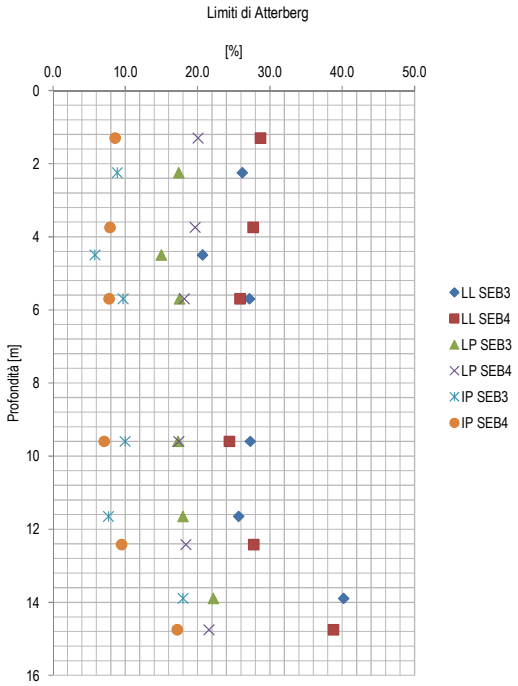


Figura 5-6 – Valori in forma grafica dei limiti di Atterberg SEB3 e SEB4 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

All'interno dei fori di sondaggio SEB 2, SEB2ter, SEB3 e SEB4, sono state condotte prove di permeabilità tipo Lefranc a carico costante per la determinazione della conducibilità idraulica del mezzo. I risultati sono riepilogati alla tabella che segue.

Sondaggio	n° prova	Profondità	Profondità base	Unità geologica corrispondente	K	K (media)
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[m/s]	[m/s]
SEB2	1	6 - 6.5	6.5	Terreno di riporto (elementi antropici, sabbie e limo)	1.03E-04	1.39E-04
SEB2	2	9 - 9.5	9.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	7.41E-05	
SEB2ter	1	3 – 3.5	3.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	1.1E-04	
SEB2ter	2	11 – 11.5	11.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	7.3E-05	
SEB3	1	4 – 4.5	4.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	2.1E-04	
SEB3	2	8 – 8.5	8.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	1.76E-04	
SEB4	1	7 – 7.5	7.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	2.38E-04	
SEB4	2	13 – 13.5	13.5	Deposito alluvionale (ghiaie con limo e trovanti calcarei)	1.29E-04	

Tabella 11 – Prove Lefranc effettuate all'interno dei fori di sondaggio SEB2 e SEB2ter – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

5.1.4 *Identificazione dei parametri meccanici*

5.1.4.1 Esito generale delle prove penetrometriche dinamiche SPT

Per quanto riguarda le prove SPT, sono a disposizione, in relazione al sondaggio SEB2 del PE 2017, le seguenti 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 sondaggio SEB3:

- Prova 1: Quota prova 3 m N1:28; N2:50; N3:Rif. Nspt: 100
- 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

Dal sondaggio SEB4:

- 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

Dal sondaggio S6D relativo al PD 2007, invece, sono a disposizione le seguenti prove:

- Prova 1: Quota prova 3 m N1:8; N2:8; N3:10. Nspt:18
- Prova 2: Quota prova 4.5 m N1:4; N2:7; N3:6. Nspt:12
- Prova 3: Quota prova 6 m N1:5; N2:11; N3:7. Nspt:18
- Prova 4: Quota prova 7.5 m N1:7; N2:4; N3:13. Nspt:17
- Prova 5: Quota prova 9 m N1:6; N2:7; N3:3. Nspt:10
- Prova 6: Quota prova 10.5 m N1:11; N2:13; N3:12. Nspt:25
- Prova 7: Quota prova 12 m N1:9; N2:12; N3:14. Nspt:26

Dal sondaggio S7D sempre relativo al PD 2007:

- Prova 1 Quota prova 6 m N1:4; N2:7; N3:7. Nspt:14
- Prova 1 Quota prova 9 m Rif (6 cm) Nspt:100

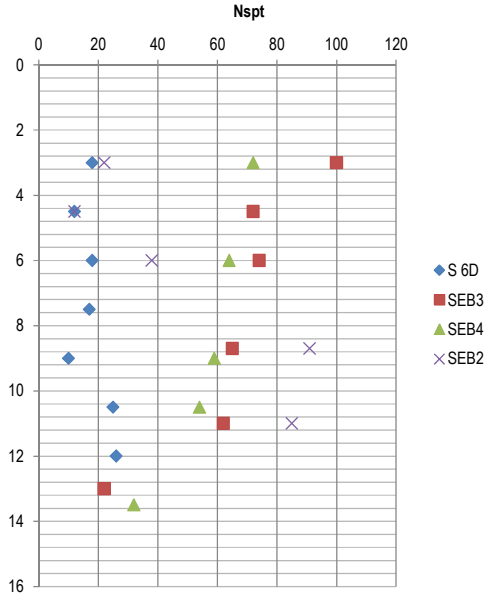


Figura 5-7 –Risultati delle prove SPT in funzione della profondità– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Considerando la profondità di esecuzione delle prove in funzione della successione restituita dalle scheda stratifrafica di sondaggio, è possibile osservare come le prove 1, 2 e 3, relative al sondaggio SEB2, ricadono nello strato "Riporto" identificato nel precedente paragrafo.

Le prove 4 e 5 dell'SEB2, invece, sono state condotte entro un livello prevalentemente ghiaioso in matrice sabbiosa addensato. Questo strato, come possibile osservare dal profilo geologico relativo all'opera di presa e dalle fotografie delle carote relative al sondaggio SEB3, è relativo allo strato "Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)". Tale unità geologica sarà tuttavia caratterizzata principalmente sulla base delle informazioni relative alle prove SPT effettuate sui sondaggi SEB3 e SEB4, ubicati in alveo. E' possibile constatare come i valori Nspt delle prove 4 e 5 del sondaggio SEB2 siano del tutto comparabaili a quelli ottenuti dalle prove condotte nei sondaggi SEB3 e SEB4, entro il medesimo orizzonte litologico.

Per quanto riguarda le due prove SPT effettuate alle profondità più alte sui sondaggi SEB3 (13 metri) e SEB4 (13.5 metri), dal confronto con la stratigrafia riportata nella sezione geologia dell'opera di presa e con le fotografie dei sondaggi, emerge che quest'ultime, ricadono nell'unità geologica corrispondente alla coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia).

5.1.4.2 Unità dei riporti antropici

L'interpretazione delle prove SPT è stata effettuata implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3, al fine di individuare i seguenti parametri meccanici:

- Dr(%): Densità relativa
- φ'(°): Angolo di resistenza al taglio
- Ey: Modulo di Young

Alle pagine che seguono sono proposti i grafici con rappresentazione della distribuzione dei suddetti parametri, con la profondità, per l'unità geotecnica in disamina.

Nella tabella sottostante sono raccolti gli esiti delle prove SPT condotte nell'unità in oggetto.

Sondaggio	Profondità	DESRIZIONE	Profondità falda	γ	N_SPT
[-]	[m]	[-]	[m]	[kN/m3]	[-]
SEB2	3.5	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	7.5	18-20	22
SEB2	4.5	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	7.5	18-20	12
SEB2	6	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	7.5	18-20	38
S6D	3	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	12.7	18-20	18
S6D	4.5	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	12.7	18-20	12
S6D	6	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	12.7	18-20	18
S6D	7.5	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	12.7	18-20	17
S6D	9	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	12.7	18-20	10
S7D	6	Riporto (elementi antropici sabbia e limo)	9	18-20	14

Tabella 12 – Dati di Input strato di Riporto sondaggi SEB2, S6D e S7D– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Dr			
Litologia di applicazione preferenziale			
Sabbie e ghiaie limose	limi e sabbie sabbie da fine a grossolane	Tutte le tipologie	Sabbie fini e ghiaiose ghiaie: Dr sovrastimato limi: Dr sottostimato
Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	**Bazaraa ('67)**	Schultze & Mezembach ('61)
[-]	[-]	[-]	[-]
0.54	0.65	0.56	0.86
0.36	0.45	0.38	0.58
0.60	0.77	0.65	0.93
0.55	0.61	0.59	0.88
0.40	0.48	0.42	0.65
0.46	0.57	0.47	0.73
0.42	0.54	0.45	0.67
0.31	0.40	0.34	0.50
0.44	0.52	0.47	0.71

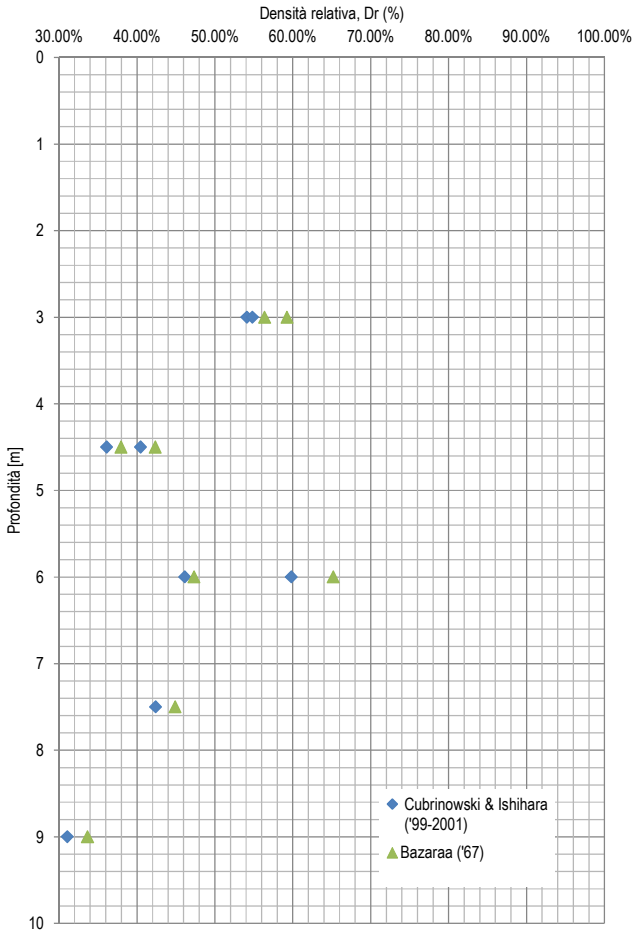


Tabella 13 – Tabella e grafico relativi alla distribuzione del valore di Densita relativa Dr(%) per lo strato "Riporto" dai sondaggi SEB2, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno" In grassetto le interpolazioni graficizzate.

Per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio ϕ(°), si riporta la tabella dei valori secondo l'interpretazione di Bolton (1986) e Schmertmann (1977). Il valore di angolo di resistenza al taglio residuo ϕ'cv, necessario all'interpretazione secondo Bolton (1986), è stato ricavato dalle prove di taglio anulare condotte in laboratorio (si veda seguente tabella); per le elaborazioni in oggetto si è assunto in particolare il valore dell'angolo ϕ'cv (°): 25.5°

Sondaggio	Campione	Profondità	Angolo di resistenza al taglio residua	Coesione drenata residua
			ϕ	c'
n°	n°	m	°	kPa
SEB2	CR3	4.50-5.00	25,5"	0"
SEB2	CR4	6.00-6.50	26,1"	0"

Tabella 14 – Dati di Input strato di Riporto sondaggi SEB2, S6D e S7D– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Ai fini della derivazione dell'angolo di attrito di picco secondo la formulazione di Schmertmann (1977) si è assunto un valore dell'angolo di attrito a volume costante pari a 28°.

Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)	Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)S	Bazaraa ('67)S	Schultze & Mezembach ('61)S
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
31.3	33.5	31.8	37.7	35.6	37.1	35.9	40
27.7	29.6	28.1	32.1	33.1	34.4	33.3	36.1
32.5	35.9	33.6	39.1	36.4	38.8	37.1	41
31.5	32.8	32.4	38.1	35.7	36.6	36.3	40.3
28.6	30.2	29	33.5	33.7	34.8	33.9	37.1
29.7	31.9	30	35.2	34.5	36	34.6	38.2
29	31.3	29.5	34	33.9	35.5	34.3	37.4
26.7	28.5	27.2	30.5	32.3	33.6	32.7	35
29.4	31	29.9	34.7	34.2	35.3	34.5	37.9

Tabella 15 – Valori tabellati del parametro ϕ(°) per lo strato "Riporto" dai sondaggi SEB2, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

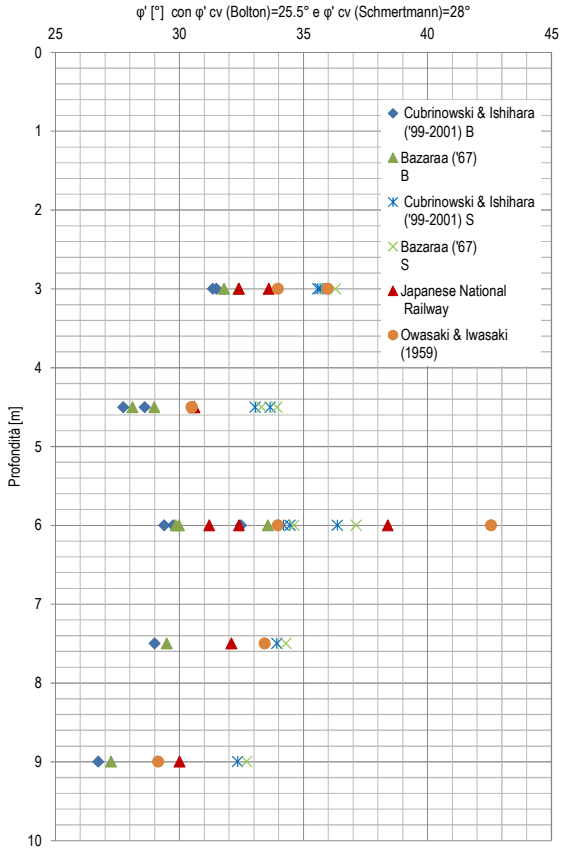


Figura 5-8 – Valori graficizzati del parametro ϕ(°) per lo strato "Riporto" dai sondaggi SEB2, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

D'Appolonia (1970)	Begemann ('74)	Schmertmann ('70)	Wrench & Nowataki ('85)
[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
35.4	44.0	24.5	32.2
27.8	35.1	13.4	17.6
47.5	58.2	42.3	55.6
32.4	40.4	20.1	26.4
27.8	35.1	13.4	17.6
32.4	40.4	20.1	26.4
31.6	39.5	18.9	24.9
26.3	33.3	11.1	14.6
29.3	36.8	15.6	20.5

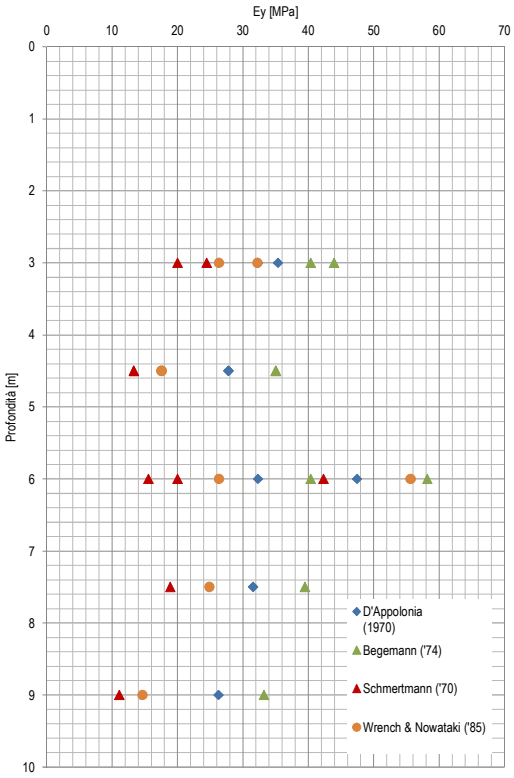


Tabella 16 – Tabella e grafico relativi alla distribuzione del valore Ey per lo strato "Riporto" dai sondaggi SEB2, S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Si riporta nel seguito un prospetto di riepilogo dei parametri geotecnici individuati progettualmente per l'unità in disamina.

Intervallo Profondità										
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
0.4	7.5	3.95	CR1; CR2; CR3 CR4; CR5 (SEB2)	Terreno di riporto (elementi antropici Sabbia e limo)	18 - 20	30 -32	26	0-5	-	15 - 40

Tabella 17 – Tabella parametrizzazione di sintesi Unità geologica "Riporto" dai sondaggi SEB2 e S6D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

5.1.4.3 Unità dei depositi alluvionali

L'interpretazione delle prove SPT è stata effettuata implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3, al fine di individuare i seguenti parametri meccanici:

- Dr(%): Densità relativa
- φ'(°): Angolo di resistenza al taglio
- Ey: Modulo di Young

Alle pagine che seguono sono proposti i grafici con rappresentazione della distribuzione dei suddetti parametri, con la profondità, per l'unità geotecnica in disamina.

Nella tabella sottostante sono raccolti gli esiti delle prove SPT condotte nell'unità in oggetto.

Sondaggio	Profondità	DESRIZIONE	Profondità falda	γ	N_SPT
[-]	[m]	[-]	[m]	[kN/m3]	[-]
SEB2	8	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	7.5	18-20	91
SEB2	10	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	7.5	18-20	85
SEB3	3	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	-
SEB3	4.5	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	72
SEB3	6	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	74
SEB3	8.7	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	65
SEB3	11	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	62
SEB4	3	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	72
SEB4	6	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	64
SEB4	9	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	59
SEB4	10.5	Alluvione (ghiaia con limo e trovanti calcarei)	2	18-20	54

Tabella 18 – Dati di Input strato di Ghiaia alluvionale sondaggi SEB2– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

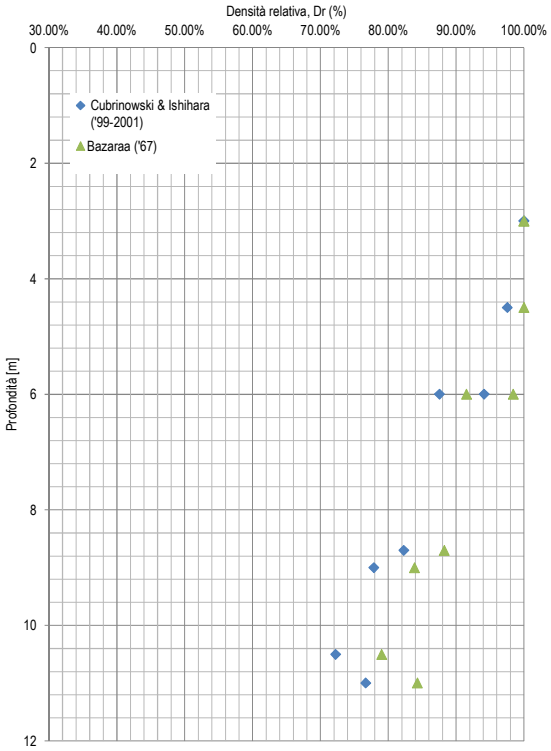


Figura 5-9 – Distribuzione del valore di Densita relativa Dr(%) per lo strato “Alluvione (Ghiaia con limo)” dal sondaggio SEB3 e SEB4 – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

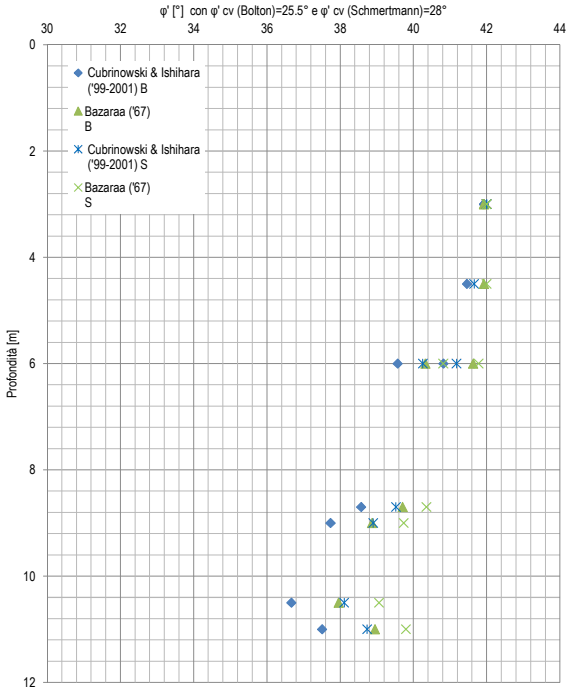


Figura 5-10 – Valori del parametro ϕ(°) per lo strato “Alluvione (Ghiaia con limo)” relativo ai sondaggi SEB3 e SEB4 – “Contesto Via Adamoli” dove con “B” è indicata l’elaborazione secondo Bolton (1986) e con “S” quella secondo Schmertmann (1977). – Si è assunto un valore di φ’cv (°) pari a 28 per l’implementazione delle correlazioni di Bolton(1986) e Schmermann(1977).

Si osserva come l'angolo attrito di picco sia mediamente compreso tra i 37 e 40°. Valori superiori sono riferibili alle minori profondità; in questa sede, stante la conduzione non ultimata delle prove di laboratorio alla data di redazione del presente documento (con particolare riferimento alle analisi granulometriche), si è cautelativamente assunto un unico valore dell'angolo di attrito per l'intero spesso dell'unità dei depositi alluvionali, attribuendo i maggiori valori dell'indice SPT, a debole profondità, alla locale presenza di materiale a pezzatura più grossolana, probabilmente inficiante l'esito delle prove medesime. Ulteriori affinamenti potranno essere condotti una volta disponibile il set completo dei risultati delle prove di laboratorio.

Per quanto riguarda il Parametro deformativo "Ey" dell'ammasso, si riportano i risultati sia in forma grafica, che in forma tabellare. Si noti come quanto appena detto riguardo il parametro ϕ(°), emerge anche per l'analisi del parametro Ey.

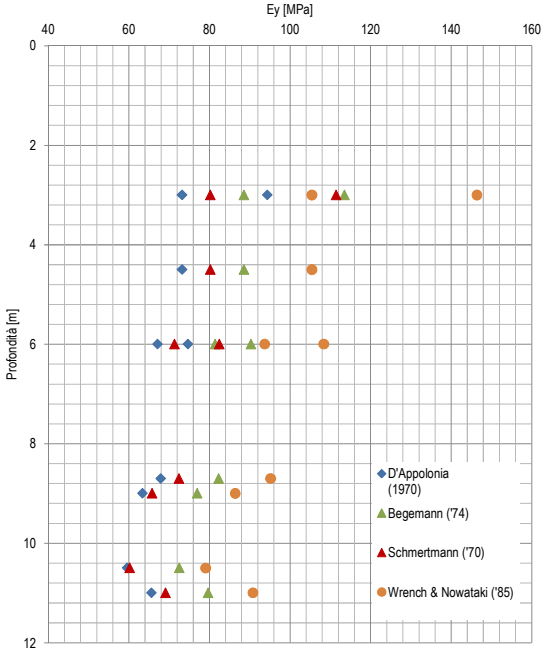


Figura 5-11 – Grafico relativo alla distribuzione del valore Ey per lo strato "Alluvione (Ghiaia con limo)" relativo ai sondaggi SEB3 e SEB4 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Profondità	D'Appolonia (1970)	Schultze & Mezembach ('61)	Begemann ('74)	Schmertmann ('70)	Wrench & Nowataki ('85)
[m]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
3	94.4	59.2	113.5	111.4	146.4
4.5	73.2	44.7	88.5	80.2	105.4
6	74.7	45.7	90.3	82.5	108.4
8.7	67.9	41.1	82.3	72.4	95.2
11	65.6	39.5	79.6	69.1	90.8
3	73.2	44.7	88.5	80.2	105.4
6	67.1	40.5	81.4	71.3	93.7
9	63.4	38.0	77.0	65.7	86.4
10.5	59.6	35.4	72.5	60.2	79.1

Tabella 19 – Tabella relativi alla distribuzione del valore Ey per lo strato "Alluvione (Ghiaia con limo)" relativo ai sondaggi SEB3 e SEB4 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Si riporta nel seguito un prospetto di riepilogo dei parametri geotecnici individuati progettualmente per l'unità in disamina.

Intervallo Profondità									
da	a	media	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
0	13	6.5	(alluvionale) Ghiaia con limo	18 - 20	38	35 - 36	0-5	-	50 - 60

Tabella 20 – Tabella parametrizzazione di sintesi per lo strato "(Alluvionale) ghiaia con limo" relativamente ai sondaggio SEB3 3 SEB4– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Si propone a seguire, sempre con riferimento all'unità dei depositi alluvionali, l'interpretazione delle prove SPT condotte presso il foro di sondaggio SEB2 (alle profondità di 8 e 10 m ca da p.c.). Sulla base della ricostruzione geologica, i depositi alluvionali si estendono, infatti, sino alla verticale del sondaggio sopra menzionato. L'interpretazione è stata condotta separatamente per verificare la sussistenza di eventuali difformità locali dei depositi nel settore spondale rispetto al sedimento posto in corrispondenza dell'alveo medesimo. A seguire i grafici dei parametri meccanici desunti dalle prove SPT implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3.

Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	**Bazaraa ('67)**	Schultze & Mezembach ('61)
[-]	[-]	[-]	[-]
0.87	1.00	0.97	1.00
0.81	1.00	0.92	1.00

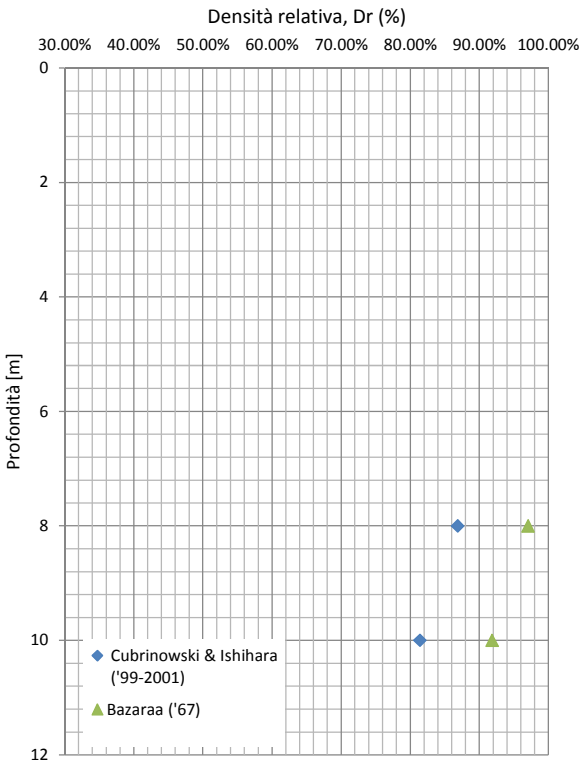


Tabella 21 – Tabella e grafico relativi alla distribuzione del valore Dr(%) per lo strato "Ghiaia alluvionale" relative al sondaggio SEB2 (profondità 8 e 10 metri) – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno", in grassetto i parametri graficizzati.

Cubrinowski & Ishihara ('99-2001) B	Skempton ('86) B	Bazaraa ('67) B	Schultze & Mezembach ('61) B	Cubrinowski & Ishihara ('99-2001) S	Skempton ('86) S	Bazaraa ('67) S	Schultze & Mezembach ('61) S
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
37.9	40.5	39.9	40.5	37.9	39.5	39	39.5
36.8	40.5	38.9	40.5	37.3	39.5	38.5	39.5

Tabella 22 –Tabella e grafico relativi alla distribuzione del valore ϕ(°), per lo strato "(Alluvionale) ghiaia con limo" " relative al sondaggio SEB2 (profondità 8 e 10 metri) – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

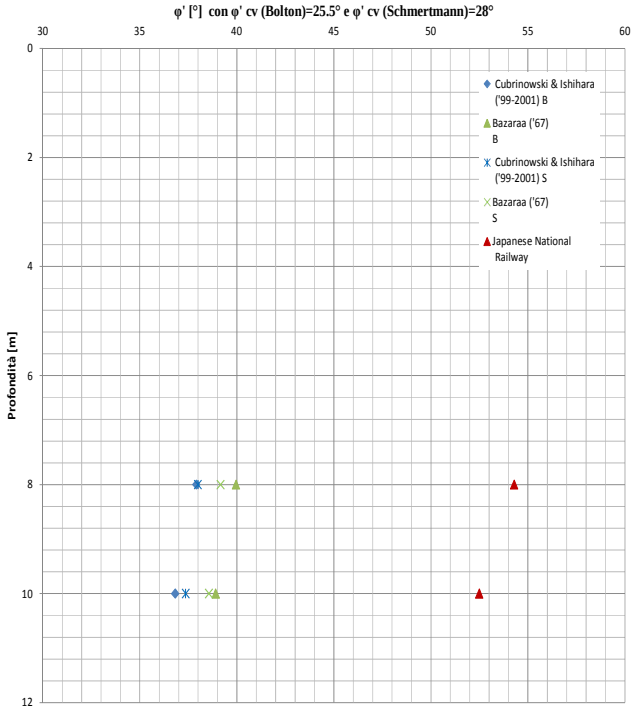


Figura 5-12 – Figura relativa al parametro ϕ(°) per lo strato "(Alluvionale) ghiaia con limo" " relative al sondaggio SEB2 (profondità 8 e 10 metri) – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

D'Appolonia (1970)	Begemann ('74)	Schmertmann ('70)	Wrench & Nowataki ('85)
[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
87.5	105.4	101.4	133.2
83.01	100.1	94.7	124.4

Tabella 23 –Tabella relativa alla distribuzione del valore E_y per lo strato "(Alluvionale) ghiaia con limo" – relative al sondaggio SEB2 (profondità 8 e 10 metri) "Contesto Via Adamoli ed alveo Biagno"

A corredo dei risultati esposti è possibile affermare che i valori desunti dall'analisi delle prove relative al sondaggio SEB2, restituiscono un deposito alluvionale caratterizzato da qualità meccanica sostanzialmente analoga al deposito intercettato dai sondaggi SEB3 e SEB4, in corrispondenza dell'alveo Bisagno.

5.1.4.4 Unità della coltre detritica

L'interpretazione delle prove SPT è stata effettuata implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3, al fine di individuare i seguenti parametri meccanici:

- Dr(%): Densità relativa
- φ'(°): Angolo di resistenza al taglio
- Ey: Modulo di Young

Alle pagine che seguono sono proposti i grafici con rappresentazione della distribuzione dei suddetti parametri, con la profondità, per l'unità geotecnica in disamina.

Nella tabella sottostante sono raccolti gli esiti delle prove SPT condotte nell'unità in oggetto.

Sondaggio	Profondità	DESRIZIONE	Profondità falda	γ	N_SPT
[-]	[m]	[-]	[m]	[kN/m3]	[-]
S6D	10.5	Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia)	12.7	18-20	25
S6D	12	Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia)	12.7	18-20	26
S7D	9	Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia)	9	18-20	Rif.
SEB3	13	Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia)	2	18-20	22
SEB4	13.5	Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia)	2	18-20	32

Tabella 24 – Dati di Input strato di Coltre detriticalimoso argillosa sondaggi S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

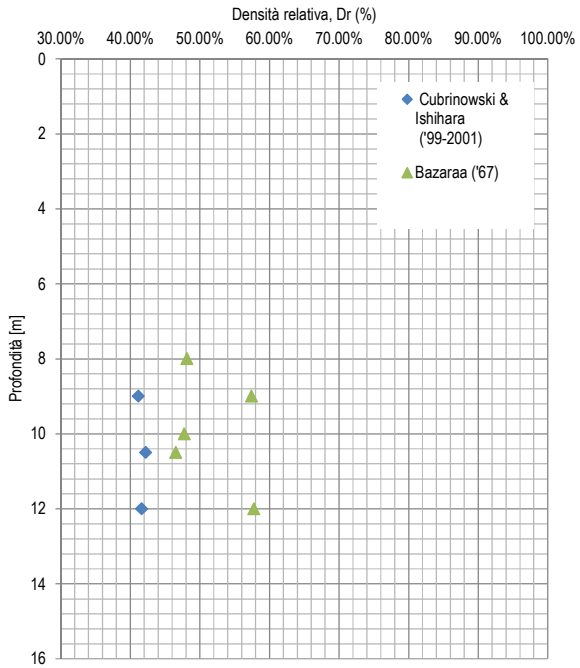


Figura 5-13 – Distribuzione del valore Dr(%) per lo strato "Coltre detritica (limo argilloso sabbioso con ghiaia)" relative al sondaggio SEB3, SEB4,S7De S6D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

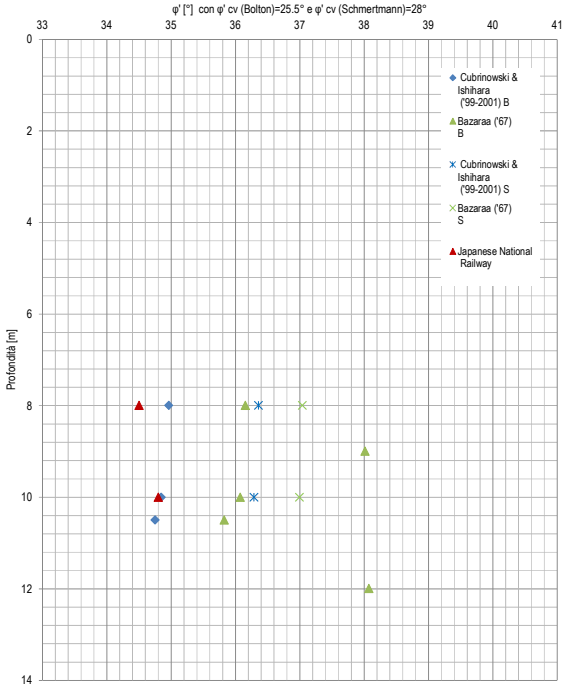


Figura 5-14 –Figura relativa al parametro ϕ(°) per lo strato "Coltre limoso-argillosa" relative al sondaggio SEB3, SEB4,S7De S6D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno" - grafico contenente i valori ricavati con l'interpretazione di Schmertmann (1977) e Bolton (1986) (φ'cv(°)=31,5° per entrambe le interpretazioni).

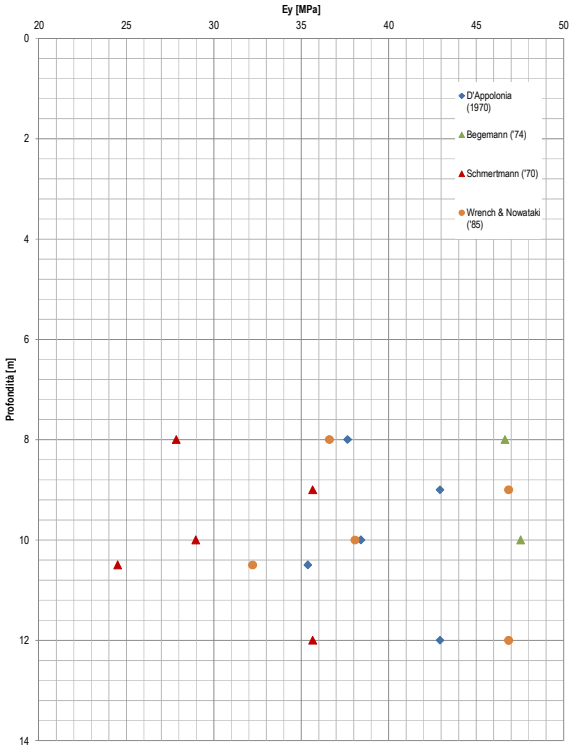


Figura 5-15 – Figura relativa al parametro E_y per lo strato "Coltre limoso-argillosa" relative al sondaggio SEB3, SEB4,S7De S6D – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Si riporta nel seguito un prospetto di riepilogo dei parametri geotecnici individuati progettualmente per l'unità in disamina.

Intervallo Profondità										
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
9.5	12	10.75	CR6- CR7 (SEB2)	Coltre detritica (Limo argilloso Sabbioso con ghiaia)	18 - 20	35-36	31-32	10	-	50 - 80

Tabella 25 – Tabella parametrizzazione di sintesi per lo strato "Coltre alluvionale" – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

5.1.5 *Caratterizzazione dinamica dei terreni e valutazioni sui parametri di rigidezza*

La determinazione dei parametri di rigidezza ottenuta per via interpretiva delle prove penetrometriche dinamiche ha trovato conferma nell'elaborazione dei risulati della prova Cross Hole condotta presso i fori di sondaggio SEB2 e SEB2ter.

profondità [m]	Vs [m/s]	γ [kN/m3]	ν prova	ν hp	E_0/10 [MPa]	E_0/10 ni 0.3 [MPa]	Descrizione stratigrafica [-]	Profondità [m]
1	126	20	0.47	0.3	9.5	8.4	Riporto	0.4
2	122	20	0.47	0.3	8.9	7.9	Riporto	
3	125	20	0.47	0.3	9.4	8.3	Riporto	
4	124	20	0.47	0.3	9.2	8.2	Riporto	
5	161	20	0.47	0.3	15.5	13.7	Riporto	
6	199	20	0.47	0.3	23.7	21.0	Riporto	
7	239	20	0.47	0.3	34.2	30.3	ghiaia alluvionale	-7.5
8	280	20	0.46	0.3	46.7	41.6	ghiaia alluvionale	
9	313	20	0.47	0.3	58.7	51.9	coltre limo argilloso sabbioso con ghiaia	

Tabella 26 – Valori parametro deformativo derivante dall'interpretazione della prova C-H – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

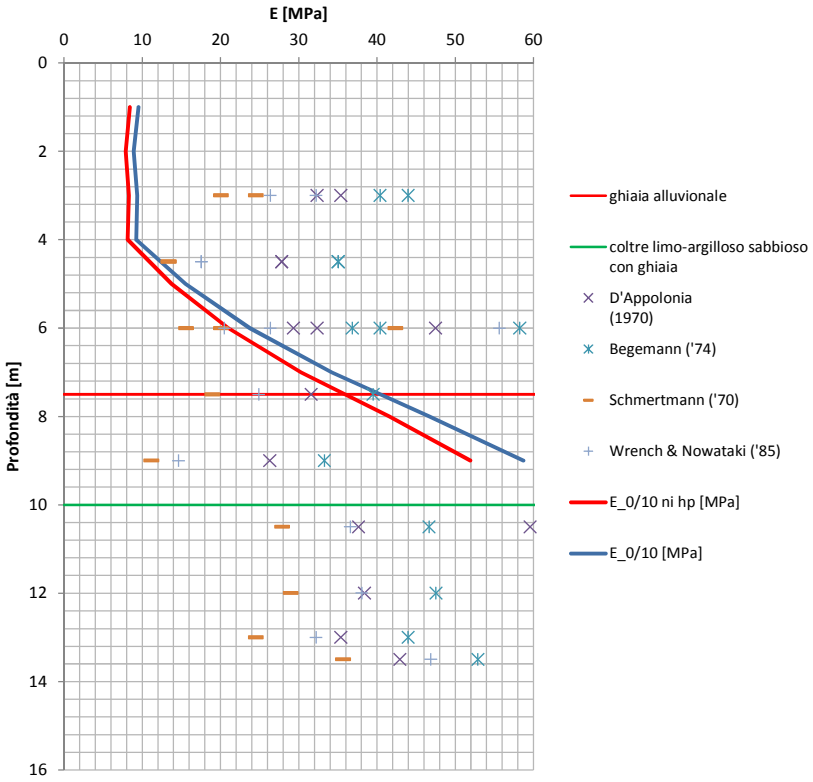


Figura 5-16 – Valori in forma grafica del parametro deformativo derivante dall'interpretazione della prova C-H relativamente al sondaggio SEB2– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

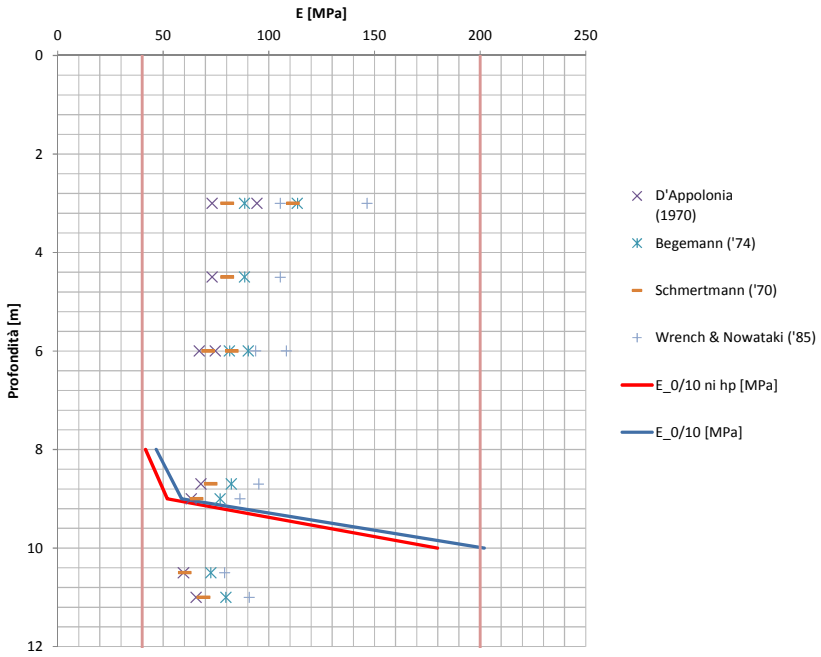


Figura 5-17 – Parametro deformativo derivante dall'interpretazione della prova C-H relativo alla finestra "Alluvione (ghiaia con limo)" sovrapposto ai valori del sondaggio SEB3 e SEB4– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

5.1.6 Quadro di sintesi parametrizzazione geotecnica delle unità identificate

5.1.6.1 Unità geotecnica: riporto antropico (Via Adamoli)

	Intervallo Profondità										
	da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
Sondaggio	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
SEB2	0.4	7.5	3.95	CR1; CR2; CR3 CR4; CR5	Terreno di riporto	18 - 20	30 -32	26	0-5	-	15 - 40
SEB 3 SEB4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 27 – Tabella parametrizzazione di sintesi Unità geologica “Terreno di riporto (elementi antropici sabbia e limo)” – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

5.1.6.2 Unità geotecnica: coltre detritica

	Intervallo Profondità										
	da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
Sondaggio	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
SEB2	9.5	12	10.75	CR6- CR7	Coltre Detritica	18 - 20	35-36	31-32	10	-	50 - 80
SEB 3 SEB4	13	14.5	13.75	-	Coltre Detritica	18 - 20	35-36	31-32	10	-	50 - 80

Tabella 28 – Tabella parametrizzazione di sintesi per lo strato “Coltre detritica (limo argilloso-sabbioso con ghiaia e trovanti calcarei)” – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

5.1.6.3 Unità geotecnica: deposito alluvionale

	Intervallo Profondità										
	da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
Sondaggio	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
SEB2	7.5	9.5	8.5	-	(Alluvionale) Ghiaia con limo	18 - 20	38	35 - 36	0 - 5	-	50 - 60
SEB 3 SEB4	0	13	6.5	-	(Alluvionale) Ghiaia con limo	18 - 20	38	35 - 36	0 - 5	-	50 - 60

Tabella 29 – Tabella parametrizzazione di sintesi per lo strato “Alluvionale (ghiaia con limo e trovanti calcarei)” – “Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno”

Ad utilizzo progettuale si è assunto per tutte le unità in disamina, un valore del coefficiente di Poisson pari a v = 0.3

5.2 Contesto Imbocco Finestra Sciorba

5.2.1 *Sondaggi e prove di riferimento*

Presso l'area in oggetto è stato effettuato il sondaggio SEB1 del PE 2017 (e sondaggio di appoggio SEB1 bis, spinto a modeste profondità e finalizzato al semplice prelievo di campioni indisturbati entro le coltri). L'elaborazione di cui al presente paragrafo muove quindi dall'esito delle prove in situ e di laboratorio sui campioni prelevati dal foro di indagine sopra citato, essendo altresì supportata dalle risultanze degli stendimenti sismici a rifrazione SIS01 e SIS 02, nonché dalla documentazione progettuale relativa ai lavori di consolidamento delle fondazioni esistenti dell'edificio scolastico "Scuole Vespertine di salita Montesignano" presso la località Terpi, resa disponibile dagli Uffici Comunali di competenza, con particolare riferimento alla Relazione Geologico-tecnica.

5.2.2 *Identificazione delle unità geotecniche*

Alla tabella che segue è fornita la successione stratigrafica evidenziata dal sondaggio SEB1. Per completezza di trattazione è associata alla stratigrafia desunta dalla documentazione progettuale relativa agli interventi di consolidamento fondazionale dell'edificio scolastico di Via Terpi.

Profondità	Stratigrafia Sondaggio SEB1	Stratigrafia secondo relazione lavori scuola
[m]	[-]	[-]
0.5	Terreno riporto	Terreno riporto
1.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura	Argilla ghiaiosa frammista a riporti
2.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura	Argilla ghiaiosa frammista a riporti
3.5	Argilla limosa con inclusi di piccola pezzatura	Argilla ghiaiosa frammista a riporti
4.5	Argilla sabbiosa	argilla ghiaiosa
5.5	Argilla sabbiosa	argilla ghiaiosa
6.5	Livello ghiaioso	Cappellaccio di alterazione
7.5	Livello ghiaioso	

Tabella 30 – Unità geologiche emerse dal SEB1 (colonna sinistra) e Profilo geologico sondaggio Scuola (colonna destra) – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Si sono individuate pertanto i seguenti orizzonti assimilabili ad altrettante unità geotecniche:

- Riporto antropico
- Coltre a granulometria fine: argilla debolmente limosa con inclusi di piccola pezzatura
- Coltre a granulometria fine: Argilla sabbiosa mediamente addensata
- Coltre a granulometria grossolana: Livello ghiaioso in matrice argilloso-sabbiosa

- (Cappellaccio di alterazione del substrato roccioso) si vedano le elaborazioni contenute al successivo capitolo 6
- (Substrato roccioso) – si vedano le elaborazioni contenute al successivo capitolo 6

5.2.3 *Identificazione dei parametri fisici*

L'attribuzione delle proprietà fisiche ai terreni in oggetto è discesa dalla conduzione delle prove di laboratorio quali analisi granulometrica completa per vagliatura e sedimentazione, determinazione dei limiti di consistenza, determinazione del peso di volume. Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove effettuate relative ai sondaggi poc'anzi citati relativi al PE 2017.

Si riporta, di seguito, una tabella contenente le prove di laboratorio effettuate relative ai sondaggi poc'anzi citati.

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 31 – 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/m³	%	%	%	%	%	%	%	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 32 – Prove e analisi su terreni – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

All'interno del foro di sondaggio SEB 1, è stata condotta una prova di permeabilità tipo Lefranc per la determinazione della conducibilità idraulica del mezzo. I risultati sono riepilogati alla tabella che segue.

Sondaggio	n° prova	Profondità	Profondità media	Unità geologica corrispondente	K
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[m/s]
SEB1	1	6 - 6.5	6.25	Coltre a granulometria fine	3.07E-06

Tabella 33 – Prove Lefranc effettuate all'interno del foto di sondaggio SEB2 – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

5.2.4 *Identificazione dei parametri meccanici*

5.2.4.1 *Esito generale delle prove penetrometriche dinamiche SPT*

L'elaborazione delle prove in sito riguarda principalmente l'analisi dei datai emersi dalle prove SPT e dalla linea sismica a rifrazione. Per quanto riguarda le prove SPT, sono a disposizione le seguenti prove:

- Prova 1: Quota prova 3,5 m N1:4; N2:5; N3:7. Nspt:12 N60_corr:10
- Prova 2: Quota prova 5 m. N1:6; N2:6; N3:8. Nspt:14 N60_corr:12
- Prova 3: Quota prova 6.5 m N1:8; N2: 12; N3:19 Nspt:31 N60_corr:29

Dal confronto delle profondità di prova 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.

Si riporta la tabella di riepilogo:

Sondaggio	Profondità	DESRIZIONE	Profondità falda	γ	N_SPT
[-]	[m]	[-]	[m]	[kN/m3]	[-]
SEB1	3.5	Argilla limosa	10.5	18-20	12
SEB1	5	Argilla con sabbia	10.5	18-20	14

Tabella 34 – Dati di Input "Strato argilloso" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.4.2 *Unità – riporto antropico*

Non disponendo di prove SPT sullo strato di riporto antropico, la definizione dei parametri meccanici per lo stesso è stata basata su valutazioni ingegneristiche di impronta conservativa, considerando la locale

morfologia delle scarpate. L'esito di tale attività è contenuto nella tabella di sintesi proposta al paragrafo 5.2.6.

5.2.4.3 Unità – coltre a granulometria fine

L'interpretazione delle prove SPT è stata effettuata implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3, al fine di individuare i seguenti parametri meccanici:

- Dr(%): Densità relativa
- φ'(°): Angolo di resistenza al taglio
- Ey: Modulo di Young

Alle pagine che seguono sono proposti i grafici con rappresentazione della distribuzione dei suddetti parametri, con la profondità, per l'unità geotecnica in disamina.

							Dr (%)			
							Litologia di applicazione preferenziale			
							Sabbie e ghiaie limose	limi e sabbie sabbie da fine a grossolane	Tutte le tipologie	Sabbie fini e ghiaiose ghiaie: Dr sovrastimato limi: Dr sottostimato
N_SPT 60	N_SPT 78	σ_v0	u	σ'_v0	CN (Skempton 1986)	N'spt(60) (Skempton 1986)	Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)
[-]	[-]	[kN/m2 /(kPa)]	[m]	[kN/m2 /(kPa)]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
10	7.7	63	0	63	1.1	11.4	60.2	43.6	37.4	58.1
12	9.2	90	0	90	1.0	12.4	60.3	45.5	38.0	57.7

Tabella 35 – Interpretazione valore Densita relativa Dr(%) da dati SPT "Strato argilloso (Argilla limosa e Argilla con sabbia) – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

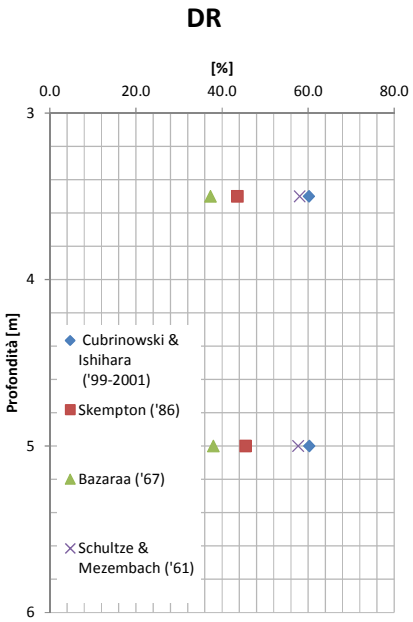


Figura 5-18 – Densità relativa Dr(%) "Strato argilloso" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio, sono state valutate le seguenti interpretazioni:

- Schmertmann (1977);
- Bolton (1986);
- Shoi Fukui – Owasaki & Iwasaki

Si specifica come l'angolo di resistenza al taglio residuo (23°) sia stato assunto progettualmente sulla base di quanto ricavato dalle prove di laboratorio.

Riporto				media
Schmertmann (1977) ϕ=28+0.14DR				
Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)	
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
36.43	34.10	33.23	36.13	34.97
36.44	34.37	33.32	36.08	35.05

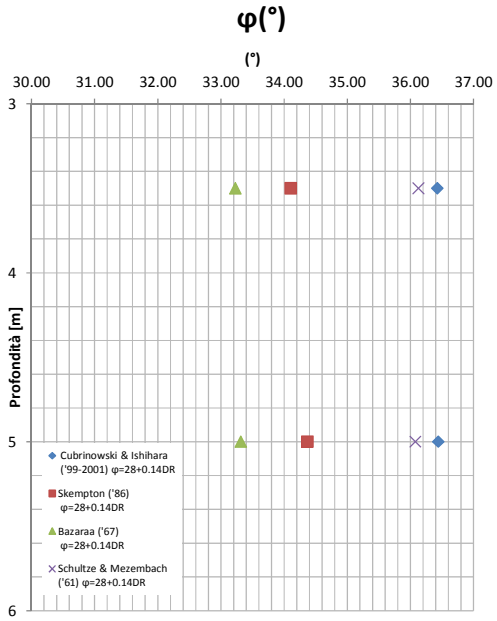


Tabella 36 – Interpretazione Angolo di resistenza al taglio (ϕ=28+0.14DR) dove DR derivato dalla tabella precedenti "Strato argilloso" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Riporto				
Bolton (1986) ϕ'_cv=23				media
Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)	
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
30.1	26.7	25.5	29.6	27.98
30.1	27.1	27.6	29.6	28.60

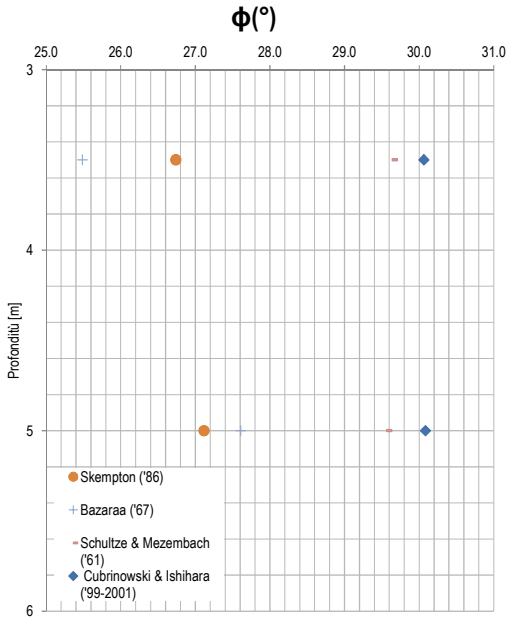


Tabella 37 – Interpretazione da Bolton (1986) dell'angolo di resistenza al taglio (con ϕ'=23 e DR derivato dalla tabella precedente) "Strato argilloso" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

		Shioi-Fukui (1982)			
Profondità	N_SPT 60	Japanese National Railway	Road Bridge Specification	Japanese National Railway	Owasaki & Iwasaki (1959)
[m]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]
3.5	10	30.0	27.2	30.0	29.1
5	12	30.6	28.4	30.6	30.5

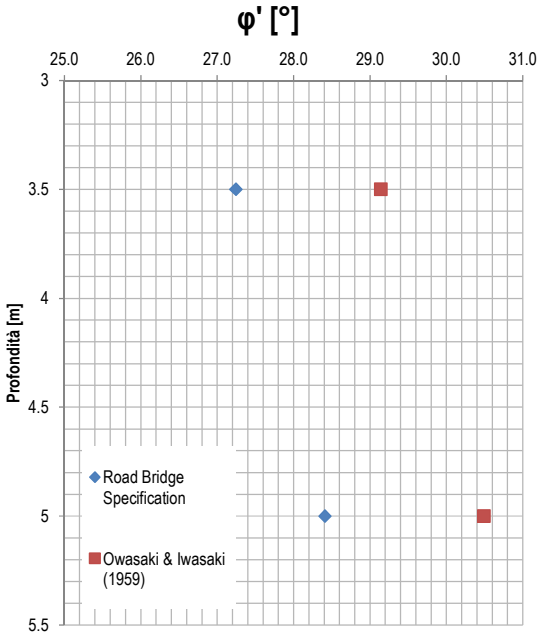


Tabella 38 – Interpretazione, da Shioi-Fukui (1982) e Owasaki & Iwasaki, dell'angolo di resistenza al taglio "Strato argilloso"– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

La coesione non drenata è stata valutata sulla scorta dei risultati derivanti dall'interpretazione delle SPT e della speditiva condotta con "pocket penetrometer" sulle carote di sondaggio.

cu					
Terzaghi & peck	Sanglerat Argille media plasticità	Sanglerat Argille limose	Sanglerat Argille limo-sabbiose	Shoi-Fukui Argille media plasticità	Shoi-Fukui Argille alta plasticità
[Kpa]	[Kpa]	[Kpa]	[Kpa]	[Kpa]	[Kpa]
67	125	100	67	25	50
80.4	150	120	80.4	30	60

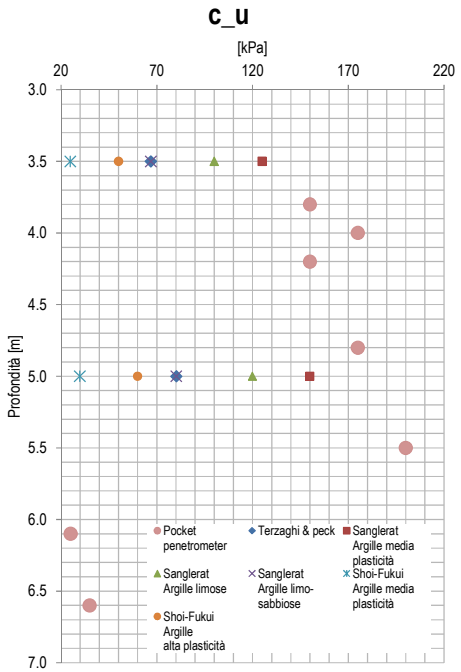


Tabella 39 – Interpretazione, da Shioi-Fukui (1982) e Owasaki & Iwasaki, dell'angolo di resistenza al taglio "Strato argilloso" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Per quanto riguarda i parametri deformativi si consideri quanto contenuto alla tabella seguente

Modulo Elastico di Young (Ey)				
Direttamente da N_SPT		Indirettamente tramite v e Ed		
D'Appolonia (1970)	Schultze & Mezembach ('61)	Begemann ('74)	Schmertmann ('70)	Wrench & Nowataki ('85)
[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
26.3	12.6	33.3	11.1	14.6
27.8	13.7	35.1	13.4	17.6

Tabella 40 – Modulo Elastico di Young (Ey) da prove SPT "Strato argilloso"– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.4.4 Unità – coltre a granulometria grossolana

L'interpretazione delle prove SPT è stata effettuata implementando le correlazioni esplicitate al precedente capitolo 3, al fine di individuare i seguenti parametri meccanici:

- Dr(%): Densità relativa
- φ'(°): Angolo di resistenza al taglio
- Ey: Modulo di Young

Alle pagine che seguono sono proposti i grafici con rappresentazione della distribuzione dei suddetti parametri, con la profondità, per l'unità geotecnica in disamina.

Nella tabella sottostante sono raccolti gli esiti delle prove SPT condotte nell'unità in oggetto.

Sondaggio	Profondità	DESRIZIONE	Profondità falda	γ	N_SPT
[-]	[m]	[-]	[m]	[kN/m3]	[-]
SEB1	6.5	Detrito in matrice fina	10.5	18	29

Tabella 41 – Dati di Input strato "Detrito in matrice fina (Livello prevalentemente ghiaioso in matrice argilloso-sabbiosa)"– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

							Dr (%)			
							Litologia di applicazione preferenziale			
							Sabbie e ghiaie limose	limi e sabbie sabbie da fine a grossolane	Tutte le tipologie	Sabbie fini e ghiaiose ghiaie: Dr sovrastimato limi: Dr sottostimato
N_SPT 60	N_SPT 78	σ_v0	u	σ'_v0	CN (Skempton 1986)	N'spt(60) (Skempton 1986)	Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)
[-]	[-]	[kN/m2 /(kPa)]	[m]	[kN/m2 /(kPa)]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
29	22.3	117	0	117	0.9	27.4	52.6	67.6	57.2	82.1

Livello detritico

Schmertmann (1977) ϕ=28+0.14DR				media
Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)	
[°]	[°]	[°]	[°]	
35.36	37.47	36.00	39.50	37

Livello detritico				
Bolton (1986) ϕ'_cv=28				media
Cubrinowski & Ishihara ('99-2001)	Skempton ('86)	Bazaraa ('67)	Schultze & Mezembach ('61)	
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
34	37	34	39	36.00

Tabella 42 – (In alto) Dati di Input livello detrito; (In mezzo) Interpretazione valore Densita relativa Dr(%) livello da dati SPT sondaggio SEB1; (In basso) Interpretazione angolo di resistenza al taglio (Shmertmann (1977) "Detrito in matrice fina" – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

		Shioi-Fukuni (1982)			
Profondità	N_SPT 60	Japanese National Railway	Road Bridge Specification	Japanese National Railway	Owasaki & Iwasaki (1959)
[m]	[-]	[°]	[°]	[°]	[°]
6.5	29	35.7	35.9	35.7	39.1

Tabella 43 – Modulo Elastico di Young (Ey) da prove SPT "Detrito in matrice fina"– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Modulo Elastico di Young (Ey)		
Direttamente da N_SPT	Indirettamente tramite v e Ed	
Litologia preferenziale: tutte le tipologie	Litologia preferenziale:	media

D'Appolonia (1970)	Schultze & Mezembach ('61)	Begemann ('74)	Schmertmann ('70)	Wrench & Nowataki ('85)	
[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
40.7	22.5	50.2	32.3	42.5	37.6

Tabella 44 – Modulo Elastico di Young (Ey) da prove SPT "Detrito in matrice fina"– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.5 *Caratterizzazione dinamica dei terreni e valutazione parametri di rigidezza*

Ci si è avvalsi dei risultati della sismica a rifrazione effettuata lungo due traverse SIS01 e SIS02 per valutare il valore appropriato del modulo Ey delle unità in disamina. Sono state sovrapposte le informazioni derivanti dal sondaggio SEB1 sulla traversa SIS02 (più vicina al sondaggio stesso e dunque più rappresentativa) e sono state ricavate le informazioni relative alle velocità delle onde di taglio Vs [m/s] alle profondità individuate sul profilo sismografico dal sondaggio SEB1. Dalle velocita Vs è stato ricavato il valore del modulo deformativo relativo a quella profondità e sovrapposto con quello ricavato con le interpretazioni di cui prima, alle medesime profondità.

profondità [m]	Vs [m/s]	γ [kN/m³]	γDRY [kN/m³]	G_0 [MPa]	v	E_0 [MPa]	E [MPa]
1.7	350	19	18	237	0.3	617	61.7
5	400	19	18	310	0.3	806	80.6

Tabella 45 – Parametro deformativo strato argilla ricavato da interpretazione velocità onde ti taglio (Vs) – "Contesto finestra imbocco Sciorba" – unità dei riporti antropici (profondità di riferimento 1.70 m) e delle coltri a granulometria fine.

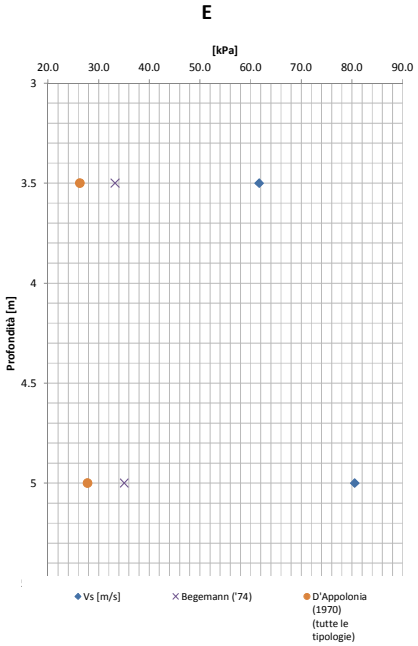


Figura 5-19 – Valori dei moduli deformativi per lo strato argilloso limoso e argilloso sabbioso– "Contesto finestra imbocco Sciorba" - unità delle coltri a granulometria fine.

Per quanto riguarda l'unità identificata come coltre a granulometria grossolana:

profondità [m]	Vs [m/s]	γ [kN/m³]	γDRY [kN/m³]	G_0 [MPa]	v	E_0 [MPa]	E [MPa]
6.5	350	19	18	237	0.3	617	61.7

Tabella 46 – Parametro deformativo strato detritico ricavato da interpretazione velocità onde ti taglio (Vs) – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

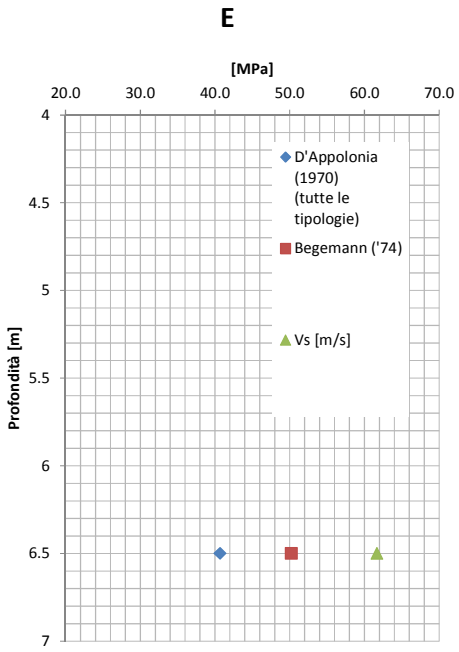


Figura 5-20 – Valori dei moduli deformativi per il livello detritico – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.6 *Quadro di sintesi parametrizzazione geotecnica delle unità identificate*

5.2.6.1 *Unità – riporto antropico*

Intervallo Profondità										
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
2.3	4	3.15	-	Terreno di riporto	18-19	27	-	0	-	20-40

Tabella 47 – Parametri livello argilla limosa e livello argilla sabbiosa – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.6.2 *Unità – coltre a granulometria fine*

Intervallo Profondità										
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]

2.3	4	3.15	CR1	Argilla debolmente limosa contenente inclusi di piccola pezzatura	19-20	25 - 27	22 - 23	11.1	100 - 120	40-60
4	6	5	CR2	Argilla sabbiosa (sabbia fine) moderatamente addensata	19-20	26 - 28	23 - 24	8.4	80 - 90	40-60

Tabella 48 – Parametri livello argilla limosa e livello argilla sabbiosa – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

5.2.6.3 Unità – coltre a granulometria grossolana

Intervallo Profondità										
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	φ	φ_res	c'	cu	E
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
4	6	5	-	Livello prevalentemente ghiaioso in matrice argilloso - sabbiosa. Addensato.	19-20	35	-	0	20 - 30	40

Tabella 49 – Parametri livello argilla limosa e livello detrito – "Contesto finestra imbocco Sciorba

6 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

6.1 Formazione del Flysch di Monte Antola (FMA)

6.1.1 Note introduttive

La caratterizzazione della formazione del Flysch del Monte Antola, con particolare riferimento all'ammasso entro il quale si sviluppa lo scavo delle opere in sotterraneo (galleria di servizio, camerone di montaggio TBM e galleria scolmatrice) è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito della Campagna propedeutica alla progettazione definitiva (2007), non essendo state eseguite ulteriori indagini lungo il tracciato dell'opera, investiganti la formazione in disamina. Si precisa, in particolare, come siano stati effettuati sondaggi geognostici presso le aree di Via Adamoli, alveo Bisagno ed ex canile Municipale (ovvero laddove sono previsti i più significativi interventi all'aperto del progetto), i quali hanno comunque intercettato, alle maggiori profondità di perforazione, il sub-strato del Flysch del Monte Antola (compreso cappellaccio di alterazione del medesimo). Le risultanze delle prove in situ ed in laboratorio, condotte contestualmente alla realizzazione dei sondaggi suddetti, sono state elaborate separatamente in ragione del carattere locale dell'informazione da essi restituita, tenuto conto le maggiori profondità caratterizzanti l'ammasso incontrato dalla galleria scolmatrice (si è considerata in particolare la superficialità delle porzioni di substrato e cappellaccio investigate con i sondaggi realizzati presso i citati contesti di intervento). L'esito di suddette elaborazioni e l'elaborazione che ne discesa sono esposti negli Allegati al presente documento.

6.1.2 Sondaggi di riferimento

I sondaggi disponibili nel settore di interesse sono stati condotti in seno alla Campagna Indagini del PD 2007 e sono i seguenti:

- S 1D
- S 2D
- S 3D
- S 4D
- S 5D

Il sondaggio S 4D, è stato eseguito in corrispondenza dell'incisione del Rio Fereggiano. La perforazione in esame, al di sotto di una copertura di materiale di riporto di circa 5 metri, segnala la presenza del FMA sino a fondo foro.

In corrispondenza del Rio Rovare, è ubicato il sondaggio S 3D. Sono qui evidenti locali livelli di breccia di spessore decimetrico ed uno potente circa 5 metri fra 35 e 40 metri dal p.c.

Il tratto successivo vede il superamento di una modesta dorsale che segnala anche l'inizio della tratta maggiormente urbanizzata del tracciato ed al margine della quale si trova l'Ospedale di San Martino con i sondaggi S 2D ed S 5D.

Il sondaggio S 1D, è stato eseguito all'interno del perimetro del Forte S. Giuliano e la perforazione si sviluppa interamente nel FMA con locali livelli di breccia di spessore decimetrico.

Sono in corso di completamento le prove di laboratorio sui campioni litoidi prelevati dai sondaggi realizzati nell'ambito della Campagna indagini integrative di PE; analogamente è in corso di ultimazione la restituzione delle prove condotte in foro di sondaggio. La presente relazione sarà pertanto oggetto di integrazione non appena disponibile la suddetta documentazione di indagine ed interesserà nello specifico i contesti locali dell'imbocco della finestra di accesso, il settore in sponda sinistra idrografica presso il sotto-attraversamento di via Adamoli, l'alveo Bisagno (opera di presa e canale sfioratore).

6.1.3 *Classificazione geomeccanica dell'ammasso*

Sulla scorta dei rilievi geomeccanici condotte sulle carote di sondaggio, delle prove di laboratorio, nonché alla luce delle condizioni idrologiche attese lungo l'opera in oggetto, si è provveduto a classificare l'ammasso roccioso in corrispondenza dei settori interessati dalle operazioni di carotaggio (campagna di PD); il quadro emerso da suddetta attività è stato contestualizzato nel più ampio ambito costituito dall'intero sviluppo dell'opera in sotterraneo, considerando le informazioni contenute nel profilo geologico di PE, le risultanze dei rilievi geo-strutturali di superficie. In particolare si è fatto riferimento al sistema RMR (Rock Mass Rating).

A ciascun parametro viene assegnato un punteggio la cui somma definisce l'indice di RMR, che permette di suddividere gli ammassi in 5 classi qualitative nell'ambito di un range di variabilità di 20 punti cadauna. Per quantificare le caratteristiche meccaniche di un ammasso roccioso è stato proposto da Hoek (1994), Hoek, Kaiser and Bawden (1995), Hoek and Brown (1997) e Hoek, Marinos e Benissi (1998) il concetto di GSI. L'indice GSI, definito da un numero puro variabile da 0 a 100, fornisce una valutazione della resistenza di un ammasso roccioso in funzione dei gradi di libertà dei singoli blocchi costituenti delimitati da discontinuità (stratigrafiche o tettoniche), nonché dalla possibilità di questi di ruotare o scivolare. Questo dipende, chiaramente, dal numero, posizione, forma, rugosità e riempimento delle stesse discontinuità. In breve il GSI stima la riduzione della resistenza al passaggio da roccia intatta ad ammasso roccioso.

Operativamente, ogni metro di sondaggio, è stato oggetto di analisi specifica per la determinazione degli indici utili alla determinazione dell'RMR e, tramite correlazione diretta, dell'indice GSI. E' stata altresì condotta una puntuale attività di identificazione della litologia prevalente caratterizzante ogni metro di sondaggio (basata sulle informazioni contenute nelle schede stratigrafiche di sondaggio), pervenendo all'inquadramento di 6 facies distinte dell'unità formazionale del Flysch del Monte Antola, cosi articolato:

- Calcare marnoso (CM)
- Marne calcaree (MC)
- Calcare marnoso brecciato (CM,b)
- Argilliti (AG)
- Argilliti brecciate (AG,b)
- Alternanze di questi gruppi precedenti (ALT)

L'analisi aggregata dei rilievi geomeccanici delle carote di cui ai sondaggi di riferimento dislocati lungo la tratta, condotta secondo la procedura sopra riferita, ha consentito di poter stimare una probabile distribuzione delle facies litologiche lungo il tracciato:

PERCENTUALI FACIES LITOLOGICHE [%]			
CM	MC	CM,b	ALT
56	17	9	10

Tabella 50 – Facies litologiche riferite alla formazione del Flysch di Monte Antola – "Contesto Generale"

L'elaborazione condotta limitatamente ai sondaggi sopra descritti ha restituito una buona prevalenza della facies identificata come Calcare marnoso. Il grado di fratturazione caratterizzante l'ammasso è risultato essere mediamente basso, con incremento sensibile in corrispondenza delle zone di disturbo tettonico e che in generale questa alternanza è tipica del Flysch Di Monte Antola (FMA). Il grado di fessurazione di questa formazione è medio basso, tuttavia, aumenta sensibilmente in prossimità delle zone di disturbo

tettonico (con relativa concentrazione della Facies riferita al Calcare marnoso brecciato). La facies argillitica (alternanze) è stata intercettata quasi esclusivamente con il sondaggio S 8D. Alcune eccezioni riguardano rare lenti argillitiche aventi potenze superiori ad un metro (solitamente infatti il Flysch risulta caratterizzato da lenti decimetriche di argilite) distribuite all'interno del restante ammasso ed individuate dagli altri sondaggi.

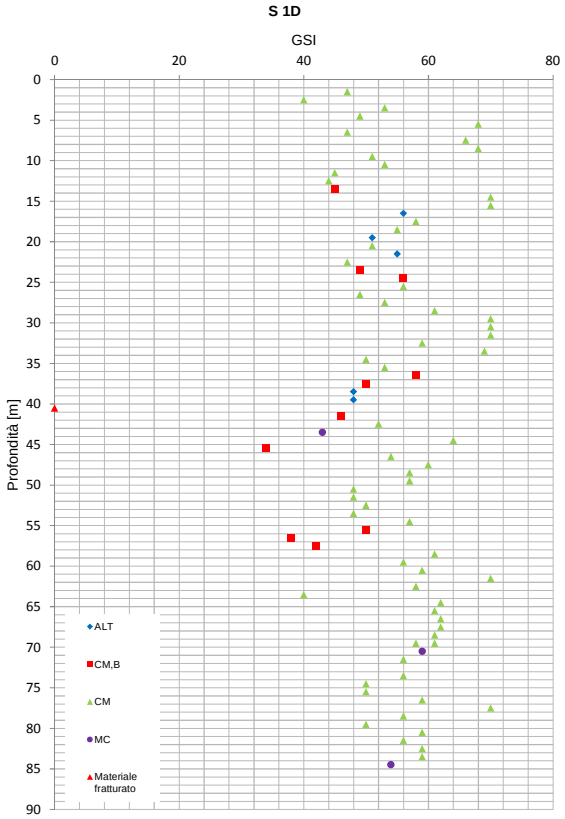


Figura 6-1 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti al sondaggio S 1D"

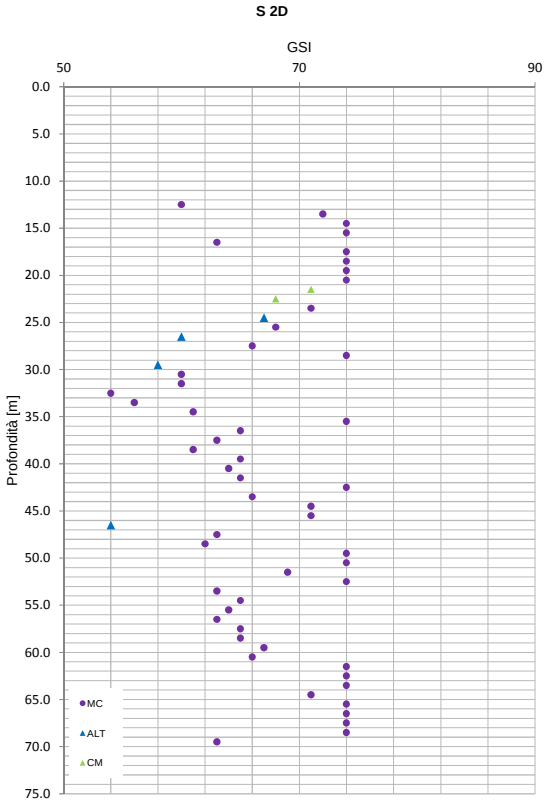


Figura 6-2 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti al sondaggio S 2D"

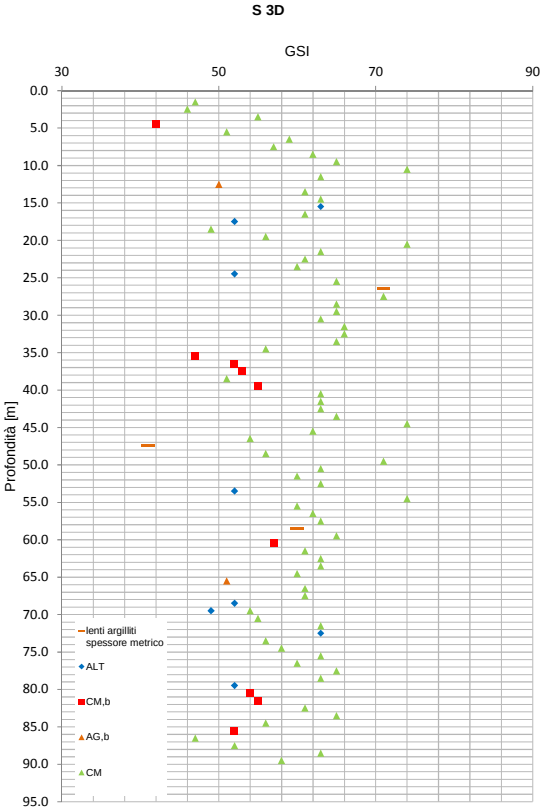


Figura 6-3 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti al sondaggio S 3D"

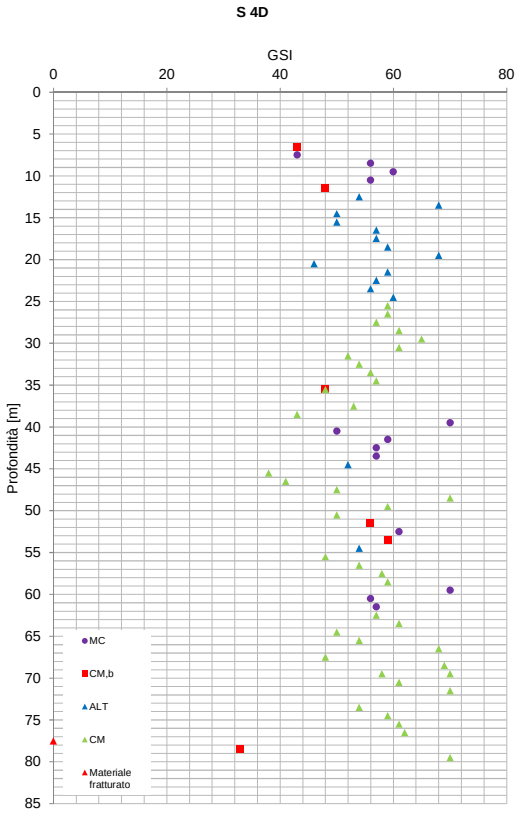


Figura 6-4 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti al sondaggio S 4D

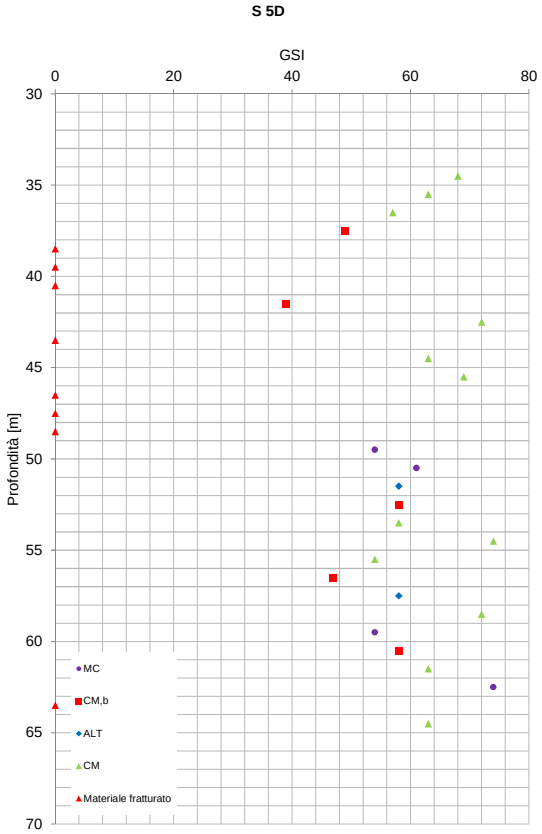


Figura 6-5 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti al sondaggio S 5D

Si riportano a seguire le distribuzioni degli indici GSI relativi alle singole facies litologiche individuate, aggregando le determinazioni riferite ai differenti sondaggi geognostici oggetto di analisi:

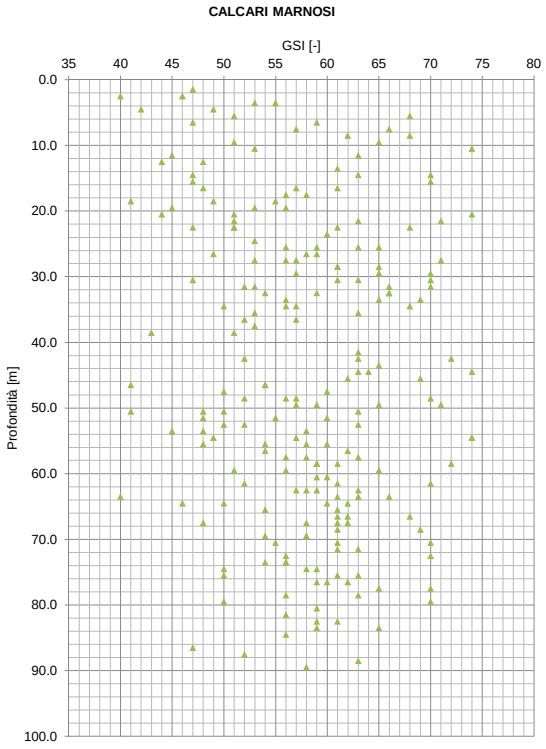


Figura 6-6 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti alla Facies “Calcari Marnosi”

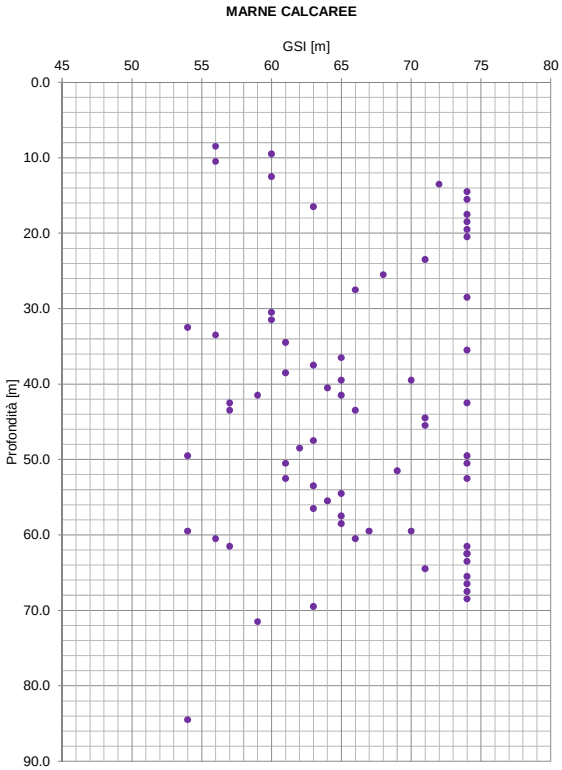


Figura 6-7 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti alla Facies “Marne calcaree”

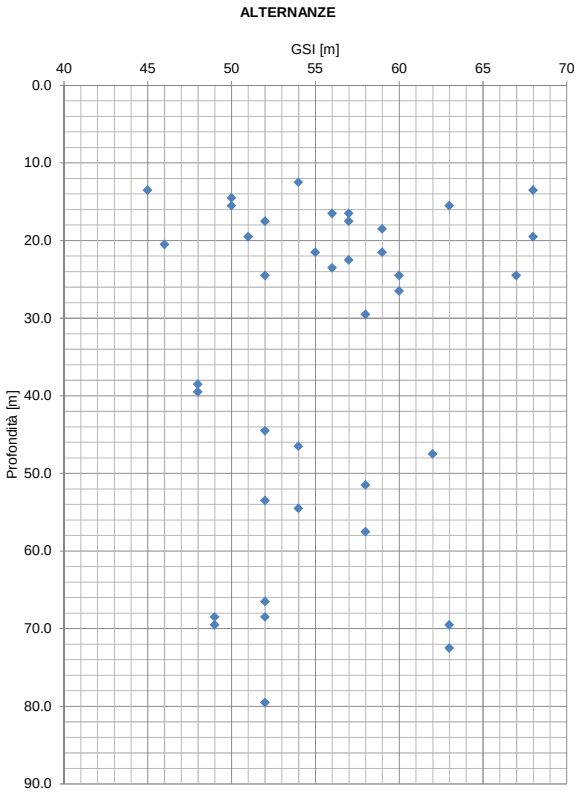


Figura 6-8 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti alla Facies “Alternanze”

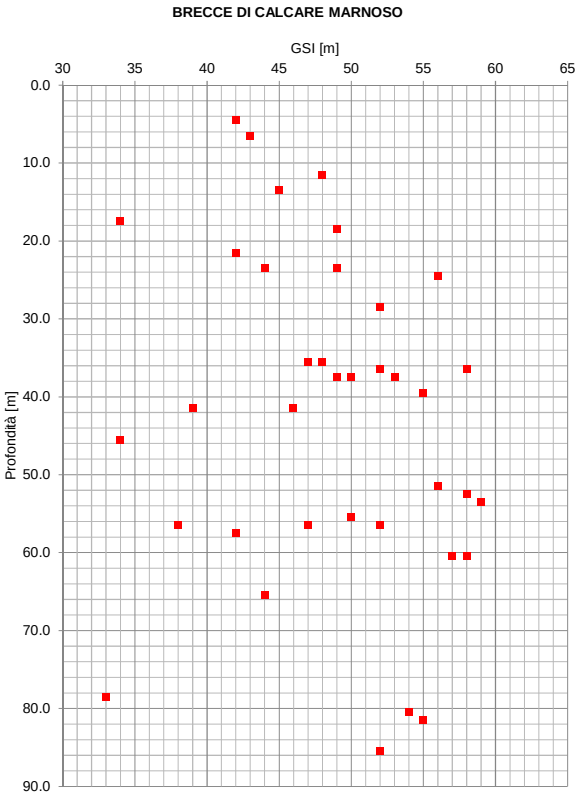


Figura 6-9 – Valori del GSI, in funzione della profondità, riferiti alla Facies “Brecce di calcare marnoso” – “Contesto Generale”

Nel prospetto di riepilogo che segue sono forniti i parametri significativi delle distribuzioni dell'indice GSI elaborate in senso statistico.

	GSI					
	MC	CM	CM,b	AG	AG,b	ALT
Media (valori di progetto)	65	60	50			55
Dev. St (valori di progetto)	1.67	1.67	1.67			1.67

Tabella 51 – Facies litologiche riferite alla formazione del Flysch di Monte Antola – "Contesto Generale"

Si osserva in questa sede come – mediamente – l'indice GSI attribuito alle facies sopra individuate si collochi su intervalli di variabilità superiori rispetto alla corrispondente caratterizzazione condotta in sede di progettazione definitiva (2007). Tale condizione discende dalla logica interpretativa adottata per la classificazione geomeccanica dell'ammasso elaborata sulla scorta dei log geomeccanici di sondaggio: nello specifico, nell'ambito della fase di progettazione attuale, non si sono considerati i giunti di origine meccanici ai fini del calcolo dell'indice RQD, diversamente da quanto attuato in sede di redazione del PD.

Laddove è stato possibile disporre del confronto diretto con rilievi geomeccanici condotti alla scala del fronte entro la galleria scolmatrice del torrente Fereggiano (in corso di esecuzione), è stata riscontrata una buona rispondenza degli indici GSI determinati a mezzo analisi da carota di sondaggio agli indici GSI rilevati al fronte (nei medesimi contesti risultava dunque essere eccessivamente penalizzante la classificazione geomeccanica operata secondo la logica procedurale assunta in sede di progettazione definitiva).. Di seguito si riporta un confronto relativo ai valori di GSI ricavati con i valori del GSI frutto dei rilievi del fronte effettuati nel medesimo contesto di esecuzione dei sondaggi. Si rileva una buona rispondenza, nei limiti di accettazione di una naturale variabilità delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso.

	GSI		
	S 1D	S 5D	S 2D
PE 2017	58	48	67
DA RILIEVO FRONTE FEREGGIANO	50	36	60 (CENTRO) 40 (CALOTTA)

Tabella 52 – Confronto tra il GSI ricavato dai Rilievi del fronte del Fereggiano, e il GSI ricavato dall'analisi appena esposta – "Contesto Generale"

6.1.4 Caratterizzazione della matrice rocciosa

E' stata condotta una analisi statistica dei dati disponibili relativamente alle determinazione del peso di volume della matrice rocciosa, delle prove di compressione mono-assiali e della resistenze a compressione sotto carico puntuale (point load test). Le elaborazioni sono argomentate qui di seguito.

6.1.4.1 Peso di volume naturale della matrice rocciosa

Si propongono, di seguito, i valori ricavati dalla raccolta dei dati relativi parametri essenziali della forma tabellare, al fine di favorirne l'interpretazione.

	[kN/m3]
Formazione	FMA
Valore max	27.0
Valore min	24.4
Valor medio	26.1
sqm	0.12
sqm/med	0.01

puntuali di peso di volume naturale al PD 2007. A corredo del grafico, i distribuzioni normali sono riportati in

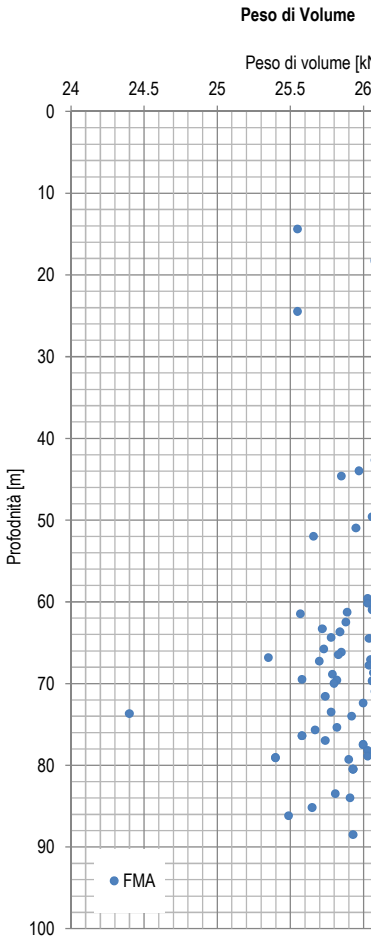


Figura 6-10 – Valori del peso di volume per la formazione dell'FMA, ricavati dall'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007 – "Contesto Generale"

Dall'osservazione della distribuzione dei valori di peso naturale con la profondità, non appare evidente una correlazione con quest'ultima. La distribuzione dei valori per la formazione relativa al Flysch di Monte Antola è generalmente uniforme e concentrata attorno al valore medio di 26 [kN/m3].

6.1.4.2 Resistenza a compressione mono-assiale della matrice rocciosa (da point load test)

In letteratura vi è ampio riscontro (Hoek-Brown, 1980) circa l'interpretazione delle prove di Point Load Test per una ragionevole stima del valore di UCS. E' tuttavia data indicazione (Greminger, 1982; Seshangiri Rao, 1987) della notevole dispersione del fattore di correlazione K50 fra la resistenza a compressione mono-assiale e il valore di Is (Point Load Strenght Index) associato a campioni di 50 mm di spessore, in presenza di una struttura della matrice rocciosa chiaramente anistropa. Ai fini dell'interpretazione dei Point Load Strenght Index, si evidenzia dunque quest'ultimo aspetto quale elemento di criticità nel caso delle facies potenzialmente caratterizzate da matrice rocciosa con struttura foliata.

In relazione alla notevole numerosità del campione di I50 rispetto alle prove di compressione mono-assiale, si è pertanto verificata con attenzione la calibratura del fattore di correlazione k50 (con UCS =

K50*Is50), alla luce dei dati sperimentali disponibili e della letteratura tecnica (Palmström A.: RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes, 1994). Durante l'esecuzione dei sondaggi, sono stati prelevati campioni riferibili sia alla formazione FMA che AM. Su questi campioni sono state effettuate prove Point Load test, adottando la correlazione di cui alla seguente tabella:

σ_c (MPa)	$I_{s\,50}$ (MPa)	k_{50}
25*) - 50	1.8 - 3.5	14
50 - 100	3.5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

Tabella 53 – calibratura del fattore di correlazione k50 – "Contesto Generale"

SI riporta, di seguito, la relativa distribuzione sia in forma tabellare che in forma grafica (pagina seguente).

Formazione	FMA
Valore max	198.8
Valore min	1.1
Valor medio	49.1
sqm	34.0
sqm/med	0.7

Tabella 54 – σc ricavato da interpretazione prove IPL – "Contesto generale"

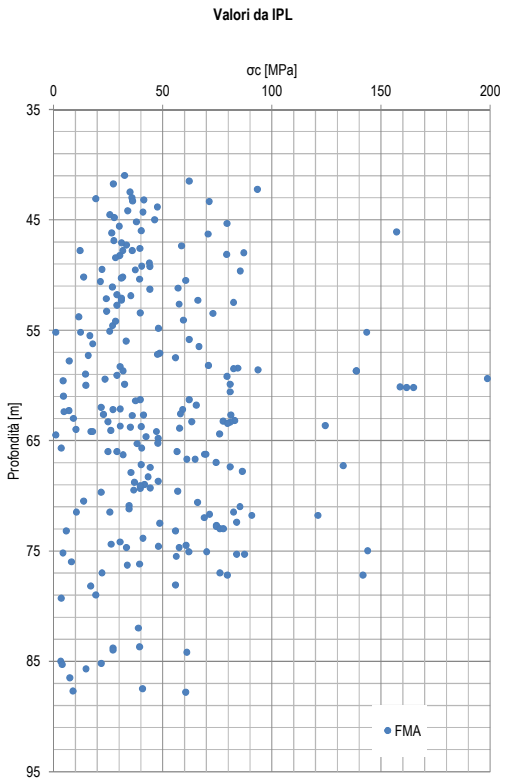


Figura 6-11 – Valori di σc da prova "Point load test" per la formazione dell'FMA, ricavati dall'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007– "Contesto generale"

Di seguito, si riportano anche i parametri statistici relativi ai campioni in affioramento su cui è stato effettuato il point load test. Trattasi di prove effettuate su spezzoni lapidei prelevati in corrispondenza dei rilievi geo-strutturali.

	Valore σc
Formazione	FMA
Numerosità	69
Valore max	172.0
Valore min	11.2
Valore medio	67.9
sqm	42.7
sqm/med	0.6

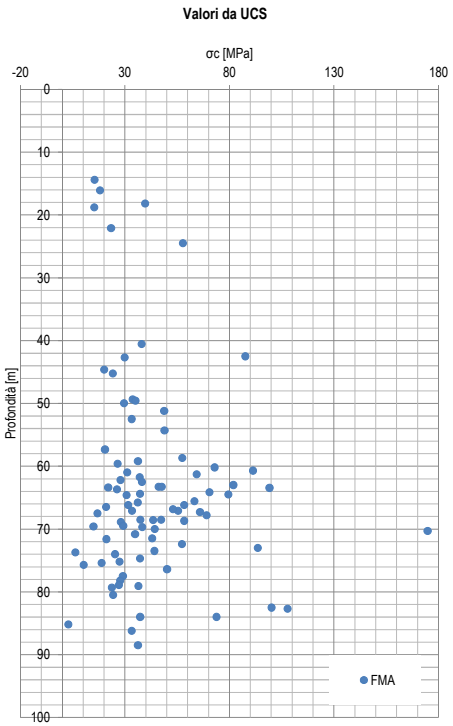
Tabella 55 – σc ricavato da interpretazione prove IPL riferite a campioni da affioramento – "Contesto generale"

6.1.4.3 *Prove di laboratorio sui campioni di roccia (massa volumica, resistenza a compressione semplice e a trazione indiretta)*

Si dispone dei risultati delle seguenti prove:

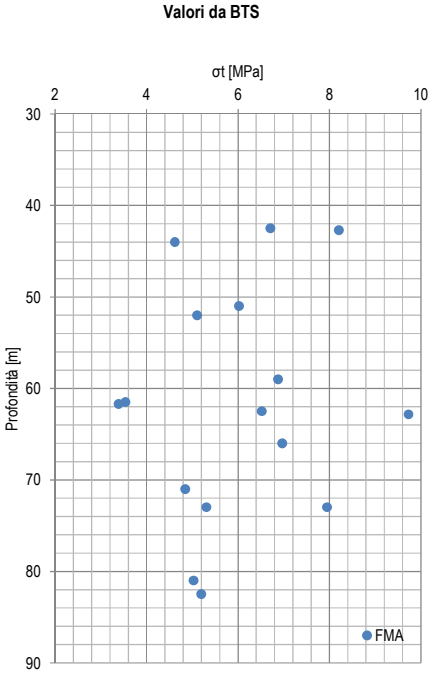
- Massa volumetrica (i cui dati sono riportati nel paragrafo riguardante le caratteristiche fisiche);
- Prove di compressione semplice (UCS) per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità;
- Prove di trazione indiretta "brasiliana" per la determinazione della resistenza a trazione del materiale;

Di seguito sono riportate le tabelle contenenti i parametri statistici riferiti a queste prove eseguite.



Formazione	FMA
Valore max	174.9
Valore min	3.0
Valor medio	43.5
sqm	26.8
sqm/med	0.62

Figura 6-12 – Valori di σc da prova "Unconfined compressive strenght" per la formazione dell'FMA , ricavati dall'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007 – "Contesto generale"



	Valore σt
Formazione	FMA
Valore max	9.7
Valore min	3.4
Valor medio	6.0
sqm	1.7
sqm/med	0.29

Figura 6-13 – Valori di σ_t da prova “Brazilian test” per la formazione dell’FMA, ricavati dall’analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007– “Contesto generale”

6.1.4.4 Prove di compressione triassiale e determinazione del parametro di Hoek mi

	SFORZI	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3	PROVINO 4	PROVINO 5	PROVINO 6	PROVINO 7	
S 1D 61,5	σ_c	-3.54	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso compatto
	σ_u	0	88.2	90.5	93.2	100.4	113.5	131.2	
S 1D 70.3	σ_c	-4.85	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso compatto
	σ_u	0	180.2	181.6	186.4	193.7	215.8	231.5	
S 1D 82.5	σ_c	-5.2	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	93.1	94.6	96.8	102.4	112.4	122.3	
S 2D 42.5	σ_c	-4.62	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	86.16	87.5	89.3	94.6	101.9	111.5	
S 2D 50	σ_c	-6.02	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	84.2	85.4	87.1	89.1	93.6	101.4	
S 2D 62.5	σ_c	-6.52	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	78.4	79.3	82.3	86.7	97.3	104.5	
S 3D 42.5	σ_c	-3.39	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	68.5	69.2	72.4	77.3	84.6	93.4	
S 3D 50	σ_c	-5.31	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	90.7	92.3	94.8	96.5	102.3	116.4	
S 3D 62.5	σ_c	-5.03	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	74.06	75.22	80.14	84.33	89.88	101.37	
S 4D 42.5	σ_c	-6.88	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso con vene calcitiche
	σ_u	0	55.3	56.8	59.1	65.3	79.5	90.5	
S 4D 50	σ_c	-6.97	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso con vene calcitiche
	σ_u	0	59.4	61.4	62.1	70.3	81.8	92.3	
S 4D 62.5	σ_c	-7.95	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso con vene calcitiche
	σ_u	0	80.8	81.7	85.4	89.7	95.1	113.2	
S 5D 42.5	σ_c	-6.71	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	96.3	99.2	101.3	105.7	110.4	115.3	
S 8D 60.1	σ_c	-9.7	0	0.2	0.5	1	3	5	Calcare Marnoso
	σ_u	0	117.2	119.3	121.5	124.6	127.5	132.4.	

Tabella 56 – Valori di σc (confinamento) e σu (rottura), ricavati dalle prove triassiali per la formazione dell'FMA, ricavati dall'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007– "Contesto generale"

Si precisa come i valori di resistenza ottenuti da prove triassiali, riconducibili ad una roccia intatta, possono essere ipotizzati come limite superiore del range di valori riconducibili alla resistenza dell'ammasso (FMA).

Attraverso le coppie di valori σu (σ1) e σc (σ3) sono stati ricavati i parametri dell'ammasso roccioso (σci: unconfined compressive strenght of intact rock ed mi: Intact rock parameter). Si è, prestata particolare attenzione alla descrizione riportata relativa al campione analizzato e alla distinzione pocanzi riportata. In questo modo, è stato possibile confrontare il parametro "mi" risultante da tale interpolazione, con quello da letteratura.

Calcare Marnoso Compatto			
Distribuzione comprensiva di valori da prove BTS e UCS		Senza BTS e UCS	
m_i	σ_ci	m_i	σ_ci
26.1	126.7	26.5	127.4

Calcare Marnoso			
Distribuzione comprensiva di valori da prove BTS e UCS		Senza BTS e UCS	
m_i	σ_ci	m_i	σ_ci
10.8	57.3	13.1	79.2

Calcare Marnoso con vene calcitiche			
Distribuzione comprensiva di valori da prove BTS e UCS		Senza BTS e UCS	
m_i	σ_ci	m_i	σ_ci
7.8	56.6	10.2	72.4

Tabella 57 – Valori di σ_{ci} e mi , ricavati dalla interpolazione dei risultati eseguita dal programma RocLab – "Contesto generale"

6.1.4.5 Deformabilità della matrice rocciosa (modulo elastico della matrice Ei)

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità della matrice, sono state reinterpretate le prove UCS con controllo di deformazione secondo il seguente schema logico.

SI riporta, a titolo esplicativo, la procedura completa relativa alla prova di compressione sempice con controllo di deformazione eseguita sul provino prelevato dal sondaggio S 1D alla profondità di 60,7 metri.

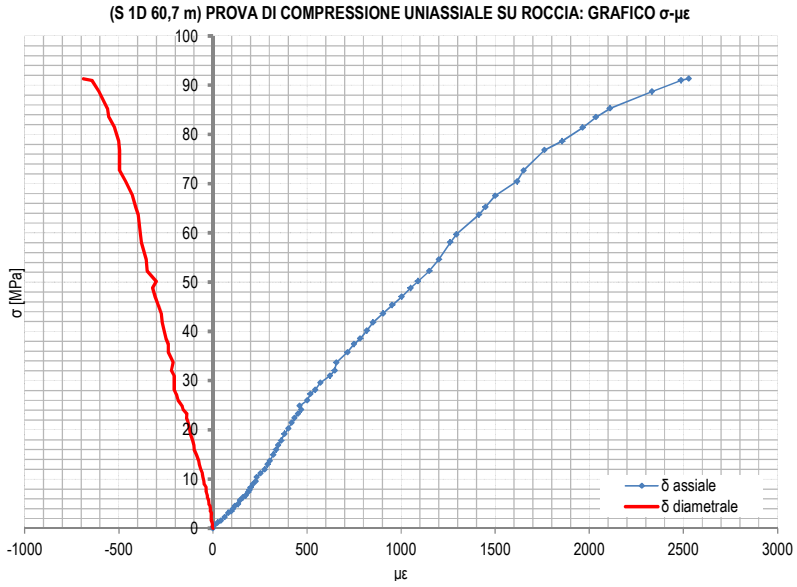


Figura 6-14 – Grafico prova UCS con controllo di deformazione provino "S1D 60,7 [m]" – "Contesto generale"

Dal grafico precedente, sono stati estrapolati i valori relativi ai moduli di deformabilità e ai coefficienti di Poisson. Nella tabella seguente sono riportate in forma tabellare le informazioni estrapolate.

				6 punti		4 punti		2 punti			
Young secante	Young secante L.t*	Young medio	Young medio L.t.	Young tangente	Young tangente L.t.	Young tangente	Young tangente L.t.	Young tangente	Young tangente L.t.	v	v da L.t.
Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	Gpa	-	-

Tabella 58 – Infomazioni aggiuntive ricavate da UCS con controllo di deformazione provino "S1D 60,7 [m]" *Per L.t. si intende una linea di tendenza lineare Tabella

Il significato dei punti utilizzati (6, 4 e 2) per ricavare i valori dei moduli di Young tangenti risiede nella determinazione della tangente alla curva analizzata. Con sei punti si intende che quest'ultima, è stata ridotta ad un intorno del punto "$0.5 \cdot \sigma_{ultima}$" ampio, appunto, sei punti di lettura della coppia di valori sforzi - deformazioni. Per 4 e 2 punti vale il medesimo ragionamento.

Si riportano di seguito i grafici utilizzati per ricavare le informazione contenute nella tabella precedentemente esposta.

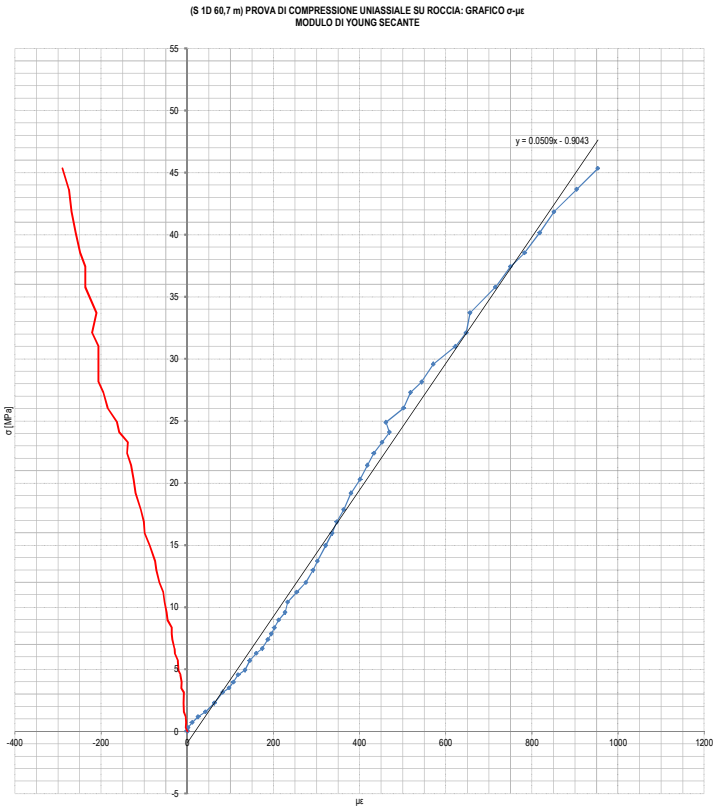


Figura 6-15 – Definizione grafica Modulo di Young secante da UCS controllo di deformazione provino "S1D 60,7 [m]" – "Contesto generale"

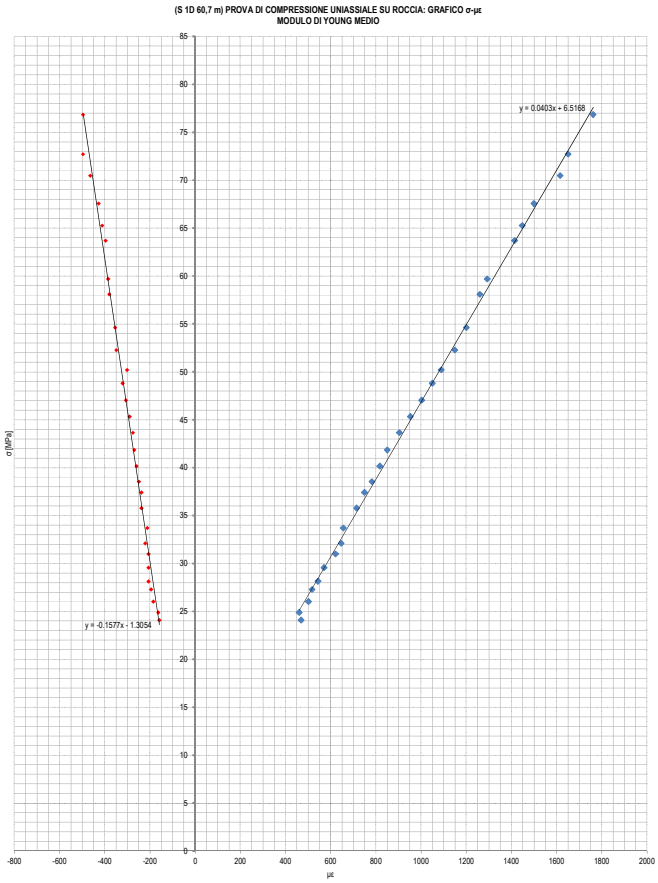


Figura 6-16 – Definizione grafica Modulo di Young medio da UCS con controllo di deformazione provino “S1D 60,7 [m]” – “Contesto generale”

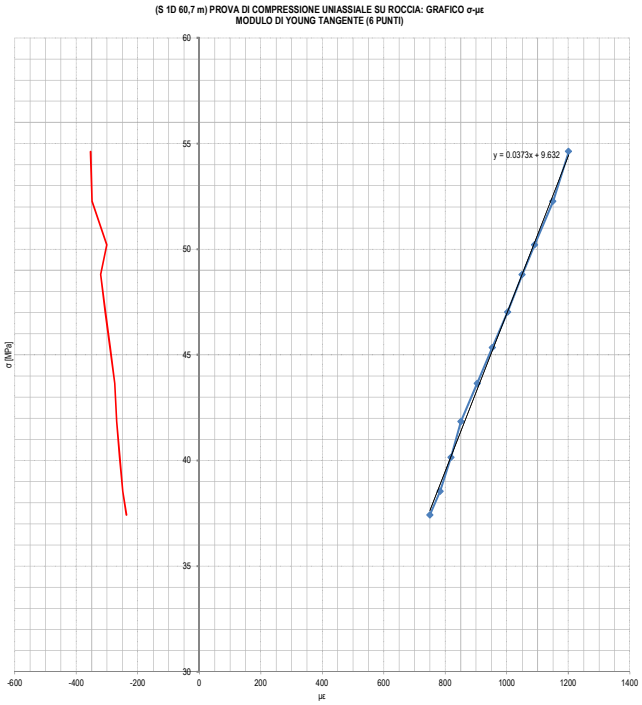


Figura 6-17 – Definizione grafica Modulo di Young tangente (6 punti) da UCS con controllo di deformazione provino “S1D 60,7 [m]” – “Contesto generale”

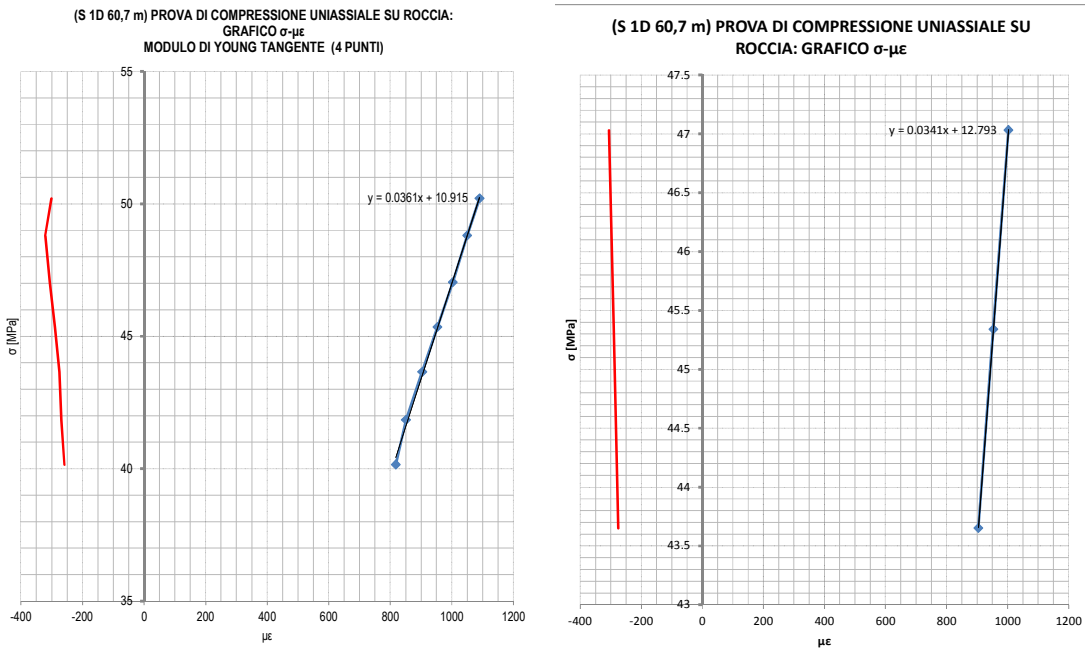


Figura 6-18 – Definizione grafica Modulo di Young tangente (4 e 2 punti) da UCS con controllo di deformazione provino "S1D 60,7 [m]" – "Contesto generale"

Si propone a questo punto una caratterizzazione di sintesi relativa alla facies CM appartenente alla formazione FMA.

		σ_c						GSI					
	mi	Range totale	Range ristretto	media totale	media ristretto	sqm totale	sqm ristretto	Range totale	Range ristretto	media totale	media ristretto	sqm totale	sqm ristretto
Facies	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
CM	12	20-90	20-70	55	45	11.67	8.34	40-75	55-65	57.5	60	5.84	1.67

Tabella 59 – Quadro di sintesi facies CM – "Contesto generale"

6.1.5 *Deformabilità dell'ammasso*

Per la stima del parametro deformativo riferito all'ammasso, è stato necessario definire il parametro MR di Deere. Questo è stato ricavato sulla base dei range indicati in letteratura, essendo supportata la scelta dalla disponibilità di valori sperimentali ottenuti, per via indiretta, noti i valori della resistenza a compressione della matrice ed il valore del modulo elastico Ei (quest'ultimo ricavato dalla valutazione dei moduli esposti precedentemente ricavati dalle prove UCS con controllo di deformazione). Si riporta di seguito la tabella conten ente quanto appena esposto.

	Descrizione	Profondità	UCS	E_tg	MR_calcolato	MR_letteratura	
	-	[m]	[Mpa]	[Gpa]	[-]	min [-]	max [-]
S 7D	CM	18.8	15.4	6	390	400	600
S 6D	CM	24.5	57.8	14	242	400	600
S 5D	CM	42.5	88.3	33	374	400	600

S 2D	CM	42.7	29.99	15	500	400	600
S 2D	MC	50	59.56	16	269	400	600
S 4D	CM	59.2	36.29	17	468	400	600
S 1D	CM	60.7	91.31	39	427	400	600
S 2D	CM	62.5	38.14	23	603	400	600
S 3D	CM	63.3	47.9	32	668	400	600
S 4D	CM	66.2	33.4	22	659	400	600

Tabella 60 – Stima del parametro "Modulus ratio(MR)" per formazione FMA – "Contesto generale"

In base alla media dell'MR calcolato, e in base alle descrizioni dei provini, è stato scelto un valore per l'MR pari a 400.

Definito l'MR ed avendo definito in precedenza il GSI delle relative Facies, è stato possibile ricavare i valori relativi al parametro deformativo dell'ammasso secondo la nota relazione di Hoek Diederichs (si rimanda per approfondimenti al Capitolo 4).

A titolo di confronto si propone il seguente grafico nel quale sono state rappresentate le distribuzioni con la profondità dei parametri di rigidezza derivati dalle prove dilatometriche in foro (Modulo di deformazione da prove dilatometriche in foro di sondaggio & Modulo di scarico (unloading) e del Modulo elastico tangente calcolato da prove di compressione monoassiale a controllo di deformazione, inquadrati entro rette limite corrispondenti al modulo d'ammasso calcolato secondo Hoek Diederichs per coppie significative di valori della resistenza UCS e dell'indice GSI.

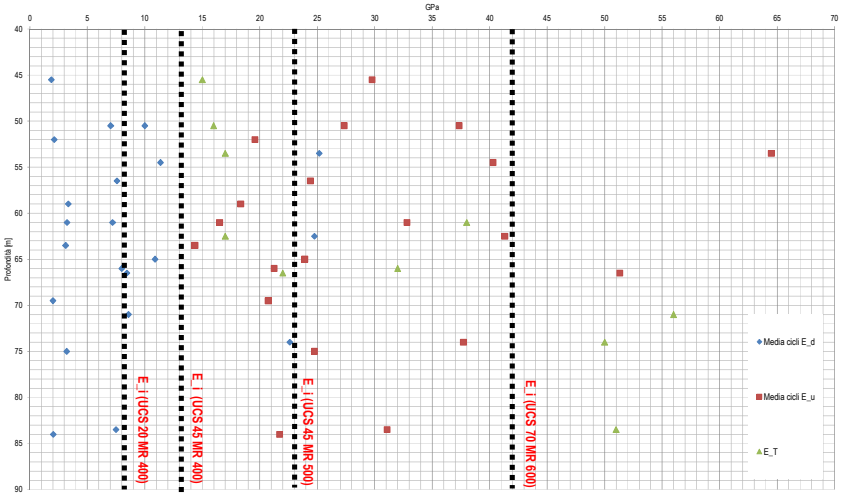


Figura 6-61 – Parametri di deformabilità dell'ammasso e della matrice rocciosa – grafico comparativo (Prova UCS a controllo deformazione, prova dilatometrica in foro, determinazione secondo Hoek Diederichs)

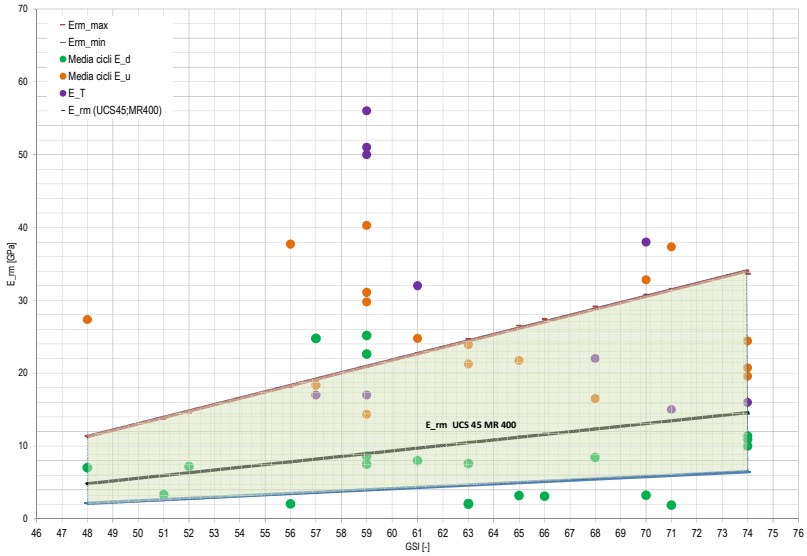


Figura 6-62 — Parametri di deformabilità dell'ammasso e della matrice rocciosa – grafico comparativo (Prova UCS a controllo deformazione, prova dilatometrica in foro, determinazione secondo Hoek Diederichs con variabilità in funzione dell'indice GSI)

6.1.6 *Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica FMA*

Si propongono a seguire i prospetti di sintesi della carratterizzazione geomeccanica della formazione del Flysch del Monte Antola.

		σ_c						GSI					
	mi	Range totale	Range ristretto	media totale	media ristretto	sqm totale	sqm ristretto	Range totale	Range ristretto	media totale	media ristretto	sqm totale	sqm ristretto
Facies	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
CM	12	20-90	20-70	55	45	11.67	8.34	40-75	55-65	57.5	60	5.84	1.67
MC	12	20-90	20-70	55	45	11.67	8.34	55-75	60-70	65		3.34	1.67
ALT													
CM,b	12	10 - 30		20		3.34	3.34	35-60	45-55	47.5	50	4.167	1.67

	E							
		Range totale			Range ristretto			
	MR	min	m	max	min	m	max	v
Facies	[-]	[Gpa]	[Gpa]	[Gpa]	[Gpa]	[Gpa]	[Gpa]	[-]
CM	400	1	8	29	2	9	18	0.25 - 0.3
MC	400	3	11	29	2	11	21	0.25 - 0.3
ALT								
CM,b	400	0	2	6	1	2	5	0.25 - 0.3

Tabella 63 – Quadro di sintesi della caratterizzazione geomeccanica preliminare dell'ammasso FMA– "Contesto generale"

6.2 Formazione delle Argilliti di Montoggio

6.2.1 *Note introduttive e sondaggi di riferimento*

La caratterizzazione geomeccanica delle argilliti di Montoggio, è effettuata sulla scorta dei dati derivanti dal sondaggi SEB6 relativo alla Campagna Indagini Integrativa di PE, e dal sondaggio S8D relativo alla Campagna Indagini PD 2007. La stratigrafia di tali sondaggi è perfettamente compatibile con l'attraversamento di una zona di forte disturbo tettonico e mostra la presenza di materiali sensibilmente fratturati, spesso brecciati. Talvolta le argilliti appaiono compatte, talvolta hanno struttura scagliettata, oppure scarsamente consistente e ridotta a limo ed argilla.

6.2.2 *Classificazione geomeccanica dell'ammasso*

L'elaborazione è stata condotta secondo la procedura operativa esplicata al precedente capitolo 4, declinata secondo quanto descritto al precedente paragrafo 6.1.2.2. per la classificazione geomeccanica del Flysch del Monte Antola sulla base dei log geomeccanici relativi alle carote di sondaggio. In base a tali procedure, sono state ricavate le informazioni relative al GSI relative alla formazione AM individuando all'interno di tale formazione, tramite il confronto con le stratigrafie dei relativi sondaggi, le lenti di argilliti brecciate.

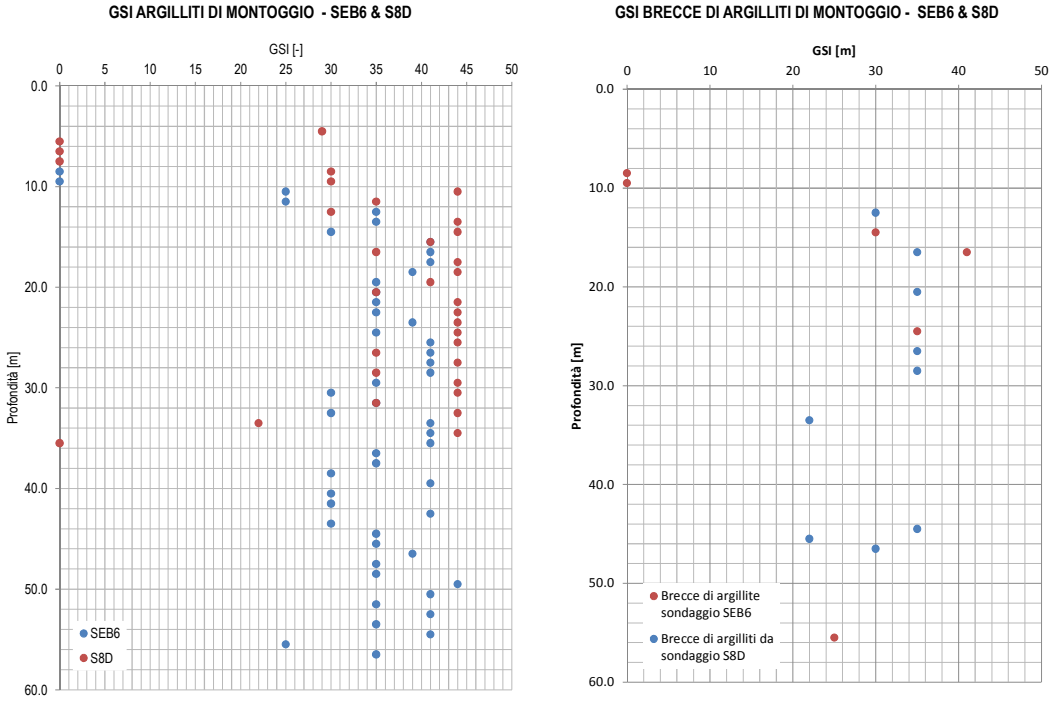


Figura 6-19 – Classificazione GSI argilliti e brecce di argilliti di Montoggio sulla base dei sondaggi S8D e SEB8 – "Formazione AM"

Si riportano i principali parametri statistici relativi al GSI.

	GSI da S8D		GSI da SEB6	
	AG	AG,b	AG	AG,b
	[-]	[-]	[-]	[-]
Media	36	31	35	22

Tabella 64 – Parametri statistici GSI – "Formazione AM"

6.2.3 *Caratterizzazione della matrice rocciosa*

6.2.3.1 *Risultati prove di laboratorio*

Nelle pagine seguenti, si riportano delle tabelle contenenti i risultati disponibili relativi alle prove di laboratorio condotte.

Sondaggio					Peso di volume, contenuto d'acqua											
SEB6	Informazioni generali				Peso di volume naturale					Peso di volume secco						
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	altezza	massa	volume	densità	Peso di volume	diametro	altezza	massa	volume	densità	Peso di volume	Contenuto d'acqua
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[gr]	[m3]	[gr/cm3]	[kN/m3]	[mm]	[mm]	[gr]	[m3]	[gr/cm3]	[kN/m3]	[%]
CR1	12	12.3	12.15	78.5	42.3	526.69	0.000205	2.57	25.23	78.5	42.3	519.13	0.000205	2.54	24.87	1.46
CR3	13.7	14	13.85	78.5	40.3	524.41	0.000195	2.69	26.37	78.5	40.3	516.11	0.000195	2.65	25.95	1.61
CR6	16.8	17	16.9	78.5	154.6	2010.6	0.000748	2.69	26.35	78.5	156.6	1990.1	0.000748	2.66	26.08	1.03
CR7	17.1	17.5	17.3	78.5	161.6	2100.1	0.000788	2.69	26.33	78.5	161.6	2071.21	0.000782	2.65	25.97	1.39
CR8	18.5	18.7	18.6	78.5	41.9	528.1	0.000203	2.6	25.54	78.5	41.9	523.16	0.000203	2.5	25.3	0.94
CR9	19.2	19.6	19.4	78.5	41.9	528.1	0.000203	2.6	25.54	78.5	41.9	523.16	0.000203	2.5	25.3	0.94
CR11	22.3	22.5	22.4	77.8	40.5	507.64	0.000193	2.64	25.86	77.8	40.5	503.82	0.000193	2.62	25.66	0.76
CR13	23.7	24	23.85	78	38.5	476.21	0.000184	2.59	25.38	78	38.5	470.95	0.000184	2.56	25.1	1.12
CR16	25.3	25.6	25.45	78	160.7	2083.77	0.000768	2.71	26.61	78	160.7	2030.19	0.000768	2.64	25.93	2.64
CR17	26.5	26.7	26.6	77.4	39.7	503.17	0.000187	2.69	26.42	77.4	39.7	498.73	0.000187	2.67	26.18	0.89
CR21	29	29.5	29.25	77.7	40.5	507.64	0.000192	2.64	25.92	777.7	40.5	501.82	0.000192	2.61	25.63	1.16

Tabella 65 – Peso di volume (Naturale e Secco) e contenuto d'acqua (Sondaggio SEB6) – "Formazione AM"

Sondaggio								Velocità ultrasonica										
SEB6	Prova di compressione monoassiale							V_p			V_s							
Campione	Diametro	Altezza	Superficie	tensione di rottura σ1	Modulo tangente 50%	Modulo secante 50%	v	Distanza	tempo	Velocità	Distanza	tempo	Velocità	E_0	E_0/10	Modulo di taglio	v	Modulo volumetrico
[-]	[mm]	[mm]	[cm2]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[mm]	[µsec]	[m/sec]	[mm]	[µsec]	[m/sec]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]
CR6	78.5	154.6	48.52	7.18	1885	2970	0.28	154.6	45.7	3383	154.6	85.6	1806	22801	2280.1	8765	0.3	19065
CR7	78.5	161.6	48.52	4.5	1996	4552	0.12	161.6	46.5	3475	161.6	83.6	1933	25605	2560.5	10033	0.28	19.052
	78.5	159.5		3.51														
CR16	78	160.7	48.52	16.85	4359	6301	0.18	160.7	45.6	3524	160.7	90.7	17772	22674	2267.4	8519	0.33	22344

Tabella 66 – Prova di compressione monoassiale e Velocità ultrasoniche (Sondaggio SEB6) – “Formazione AM”

Sondaggio									
SEB6	Prova di resistenza a trazione indiretta								
Campione	Campione	Profondità	Diametro	Altezza	P	σt	Valor medio tensione trazione	Dev.st.	Varianza
[-]	[-]	[m]	[mm]	[mm]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]
CR1	CR1-A	12.15	78.5	42.3	4.5	0.86	0.985		
	CR1-B	12.15	78.5	38.7	5.3	1.11			
CR3		13.75	78.5	40.3	3.5	0.7	0.7		
CR9	CR9	19.4	78.5	41.9	2	0.39	0.39		
CR16	CR16	25.45	76.9	40	5	1.03	1.03		
CR17	CR17	26.6	77.4	39.7	7.9	1.64	1.64		
CR21	CR21	29.25	77.7	40.5	10.5	2.12	2.12		

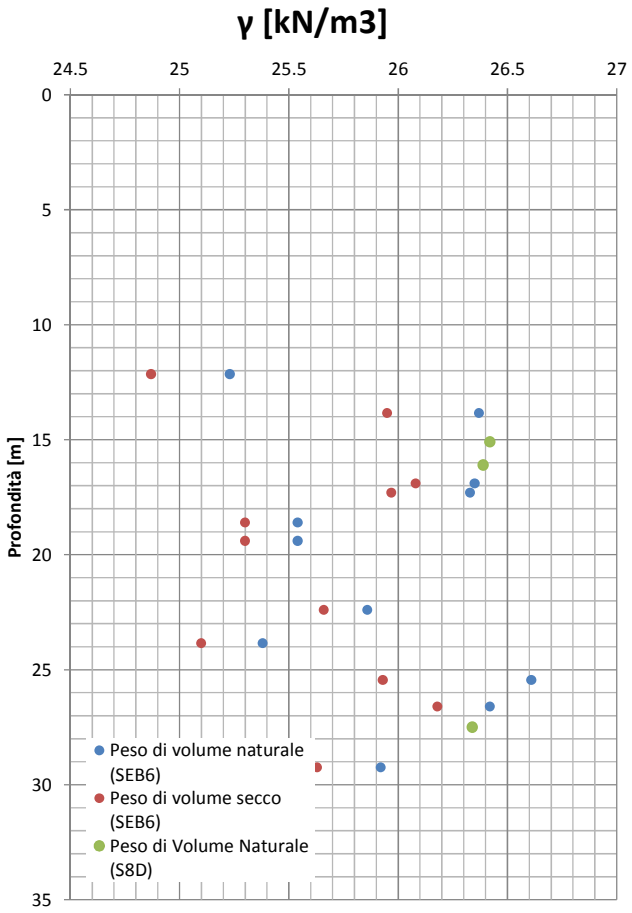
Tabella 67 – Prova triassiale e Prova di resistenza a trazione indiretta (Sondaggio SEB6) – “Formazione AM”

sondaggio	Profondità	Descrizione campione	Peso di Volume	UCS	Is(50)	k_50	σc	σt (1.25*Is(50))
[-]	m		[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]	[Mpa]
S 8D	10.5	integro			0.49	14	6.86	-0.6125
S 8D	13	Livelletto brecciato			0.04	14	0.56	-0.05
S 8D	13.2	integro			0.69	14	9.66	-0.8625
S 8D	13.8	integro			0.78	14	10.92	-0.975
S 8D	15.1	integro	26.42	15.4				
S 8D	16.1	integro	26.39	32.73				
S 8D	18.6	Livelletto brecciato			0.12	14	1.68	-0.15
S 8D	18.7	Livelletto brecciato			0.07	14	0.98	-0.0875
S 8D	19	integro			0.78	14	10.92	-0.975
S 8D	19.4	integro			2.72	14		-3.4
S 8D	19.6	integro			6.21	20		-7.7625
S 8D	20.5	integro			2.28	14		-2.85
S 8D	22.3	integro			0.41	14	5.74	-0.5125
S 8D	22.6	integro			0.1	14	1.4	-0.125
S 8D	23.1	brecciato			0.06	14	0.84	-0.075
S 8D	23.4	integro			0.38	14	5.32	-0.475
S 8D	24.5	Livelletto brecciato			0.06	14	0.84	-0.075
S 8D	27.5	integro	26.34	19.27				
S 8D	29.55	integro			0.12	14	1.68	-0.15
S 8D	42.5	brecciato			0.02	14	0.28	-0.025
S 8D	47	brecciato			0.05	14	0.7	-0.0625
S 8D	47.1	brecciato			0.02	14	0.28	-0.025
S 8D	64.5	integro			0.5	14	7	-0.625

Tabella 68 – Dati disponibili (Sondaggio S8D)

6.2.3.2 *Peso di volume*

I valori puntuali di peso di volume naturale, sono riportati nelle tabelle di cui prima. A corredo del grafico, di seguito riportato, sono esplicitati, in forma tabellare, i parametri essenziali delle distribuzioni, al fine di favorirne l'interpretazione.



	Peso di Volume
	[kN/m3]
Formazione	**AM**
Valore max	26.4
Valore min	25.38
Valor medio	25.9
sqm	0.01
sqm/med	0.002

Figura 6-20 – Valori del peso di volume per la formazione dell'AM, dall'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007 – "Formazione AM"

6.2.3.3 Resistenza a compressione della matrice

Tramite le stesse considerazioni esposte per la caratterizzazione della matrice rocciosa in riferimento alla formazione FMA, si riportano i valori estrapolati dalle prove UCS ed IPL relative alla formazione AM.

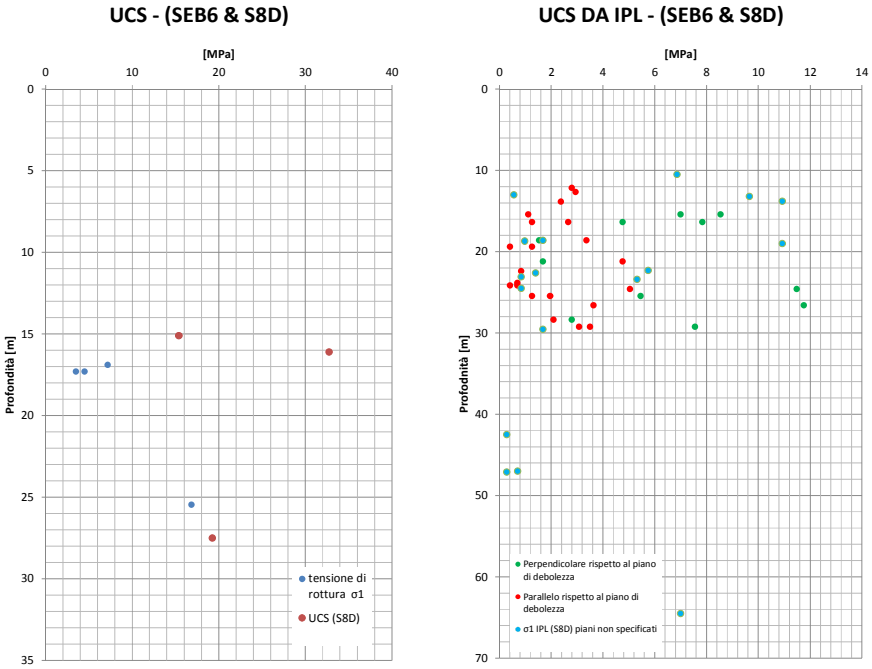


Figura 6-21 – Valori di UCS da prova "IPL e Prova di compressione monoassiale"– "Formazione AM"

Di seguito è riportato un grafico contenente le informazioni relative alla resistenza a compressione della matrice.

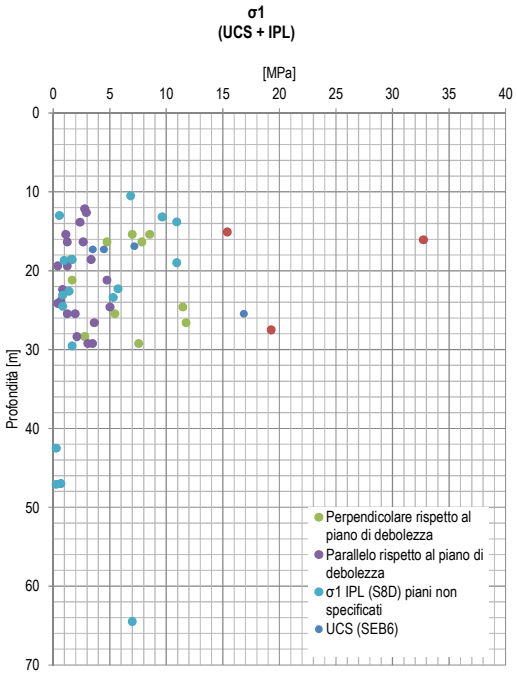


Figura 6-22 – Valori di resistenza a compressione della matrice disponibili– "Formazione AM"

Si riportano i principali parametri statistici relativi alla resistenza a compressione della matrice

Valori da IPL		Valori da Prova compressione monoassiale		Valori UCS + IPL	
	Valore UCS		Valore UCS		Valore UCS
Valor medio	3.6	Valor medio	14.2	Valor medio	4.8
sqm	3.27	sqm	10.28	sqm	5.6
sqm/med	0.9	sqm/med	0.72	sqm/med	1.17

Tabella 69 – UCS da prove ci compressione monoassiale e prove di compressione a carico concentrato per i sondaggi SEB6 e S8D – "Formazione AM"

Su alcuni dei campion prelevati dal sondaggio SEB6, sono state anche effettuate prove di resistenza a trazione indiretta di cui di seguito si riportano i valori in forma grafica.

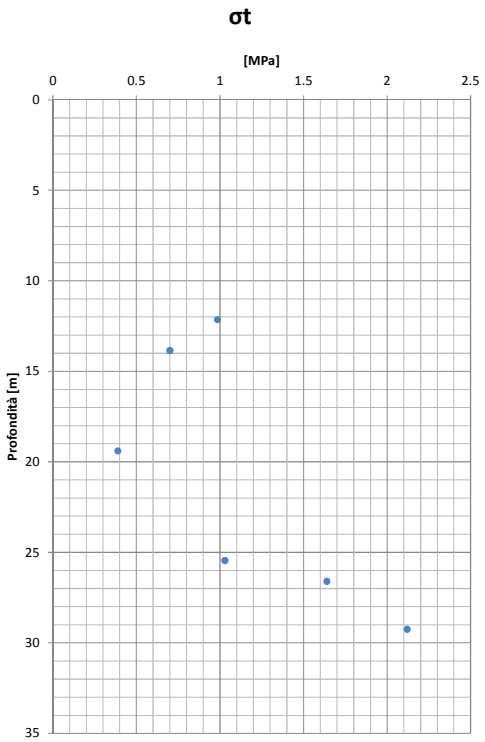


Figura 6-23 – Valori di σ_t da prova di resistenza a trazione indiretta (BTS) – "Formazione AM"

Come già accennato, i valori più elevati sono imputabili a campioni prelevati in corrispondenza di intercalazioni calcaree, mentre i valori più bassi, anche da un confronto con le fotografie delle carote stesse, sono imputabili a campioni prelevati in corrispondenza di zone altamente brecciate.

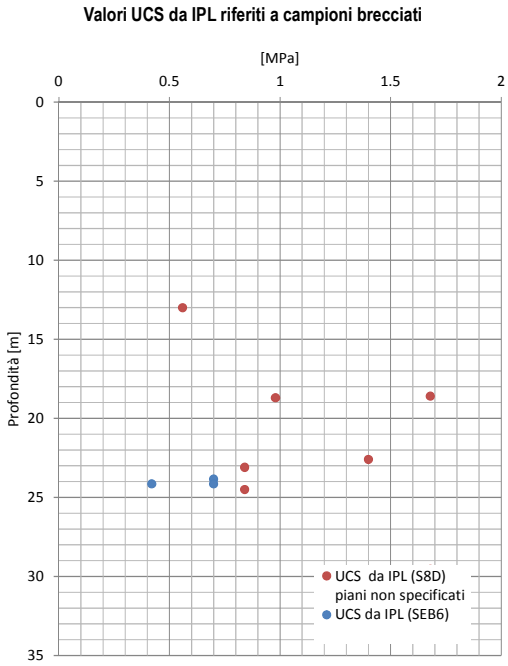


Figura 6-24 – Rappresentazione grafica livelli brecciati formazione AM – "Formazione AM"

La serie dati relativa alla resistenza a compressione della matrice è inquadrabile secondo una distribuzione statistica di tipo "β". Trattasi di una distribuzione di probabilità continua definita da due parametri α e β, con valore medio non equidistante da i valori massimo e minimo. I parametri relativi a questa distribuzione sono riportati nella tabella seguente e seguentemente sono riportati anche in forma grafica mediante una rappresentazione con istogrammi.

Beta distribution per σc			fR	α1	1.5
				α2	3
media	0.333	6.00			
				a	1	5.00
varianza	0.040	0.61		b	16	10.00
dev. St	0.201	3.02			

Tabella 70 – Dati per definizione β distribution per definizione parametro resistenza a compressione – "Formazione AM"

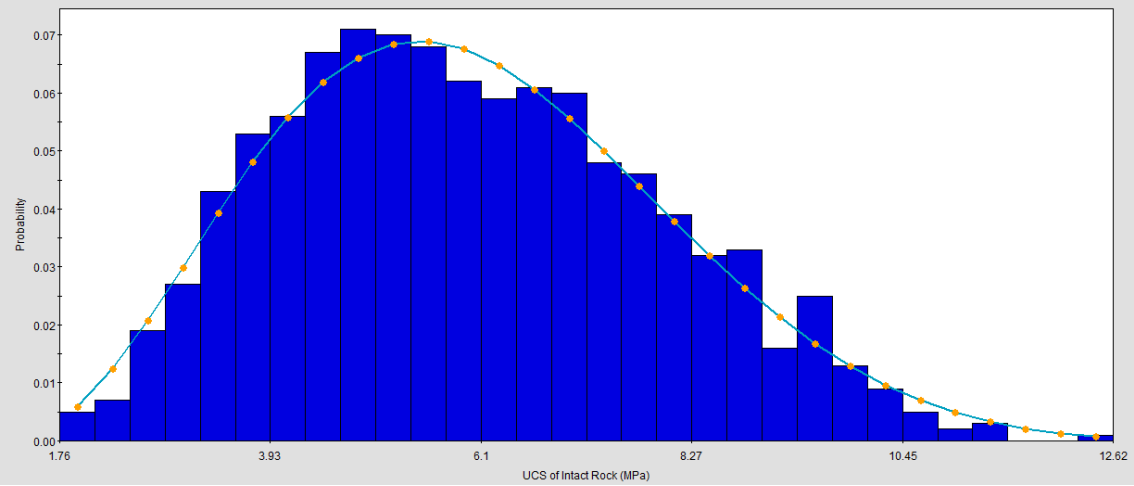


Figura 6-25 – Distribuzione grafica β distribution per definizione valore σc – "Formazione AM"

Si precisa come la distribuzione appena descritta sia riferita ai soli dati relativi alle argilliti "omogenee e compatte".
La caratterizzazione della formazione delle argilliti di montoggio è stata condotta secondo il quadro di Classificazione Geomeccanica di Marinos-Hoek per ammassi rocciosi eterogenei – Flysch (2000), sulla base dei rapporti relativi fra le due litologie distinte costituenti l'ammasso stesso, ovvero la facies prettamente argillitica e la facies riconducibile alle "livelli brecciati". Coerentemente la resistenza a compressione dell'ammasso è stata derivata come media ponderata delle resistenze di queste due facies, opportunamente pesate sulla base della loro incidenza sulla formazione. In particolare si è scelto di valutare l'incidenza di tali lenti (in termini percentuali) a livello del fronte di scavo. Tali livelli hanno spessore medio di 30 cm ed spaziatura media introno al metro e mezzo.

Sezione galleria	**Somma aree Livelli brecciati**	**Percentuale livelli brecciati scala galleria**
[m2]	[m2]	[%}
93.3	20.0	≅ 20%

Tabella 71 – Incidenza lenti brecciate a livello del frontre – "Formazione AM"

Si riportano, in forma tabellare le calcolazioni dalle quali scaturisce la media ponderata dei parametri di resistenza a compressione dell'ammasso.

	Matrice brecciata		Matrice argillitica	
	20%		80%	
σc	Potenza		Potenza	
	Media	Dev. St	Media	Dev. St
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
	1	-	6	-
mi	Breccias		Schists	
	Media	Dev. St	Media	Dev. St
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
	20	2	6	2

	[Mpa]	[%]
σc (AG,b)	1	20
σc (AG)	6	80
σc (FLYSCH AG)	5	100
σc (FLYSCH AG da Progetto)	5	-

Tabella 72 – Definizione valori σc di progetto– "Formazione AM"

6.2.3.4 *Deformabilità della matrice rocciosa*

Sono state analizzate le informazioni relative alla deformabilità della matrice rocciosa, sia per la facies omogenea che per quella brecciata. Questi dati, sono stati poi ponderati assumendo l'incidenza della parte brecciata su quella integra pari al 20%; il valore dell'Intact modulus (E_i) dell'ammasso flyschoide, è stato ponderato in base a queste considerazioni (80% compatto e 20% brecciato).

	Range basso	
	[Mpa]	[%]
Ei (AG,b)	290	20
Ei (AG)	1200	80
Ei (FLYSCH AG)	1018.0	100
Ei (FLYSCH AG)	[Gpa]	
	1018.0	

Tabella 73 – Definizione valore "Intact modulus (E_i)" attribuito alle facies – "Formazione AM"

Dalle prove di compressione monoassiale con controllo di deformazione e misurazione delle velocità di compressione, sono state ricavate informazioni circa i parametri di deformabilità a livello della matrice.

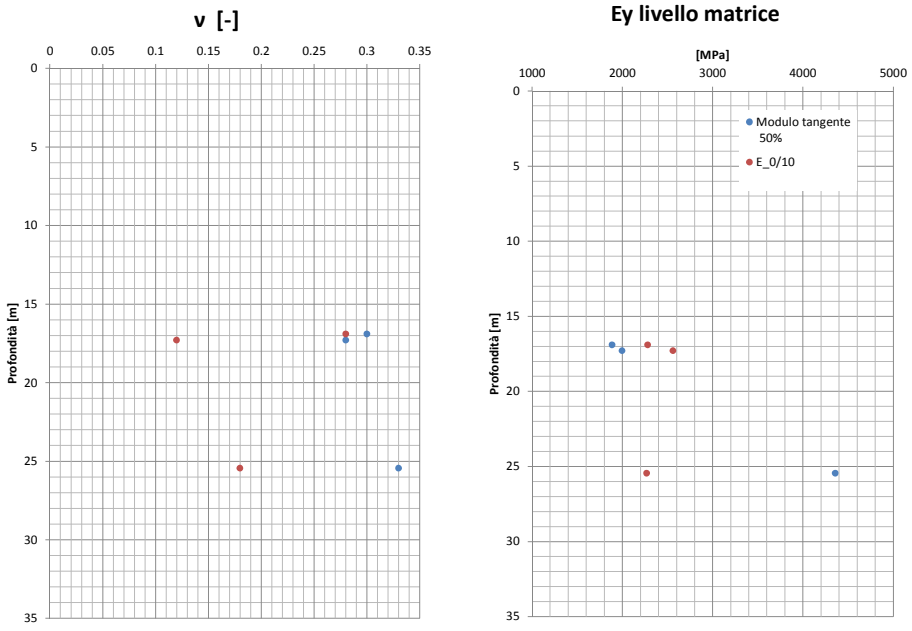


Figura 6-26 – Modulo di Poisson (a destra) e andamento Moduli deformativi – "Formazione AM"

6.2.4 *Deformabilità dell'ammasso*

Il parametro deformativo relativo all'ammasso E_{rm} è stato derivato tramite la nota relazione di Diederichs, come meglio illustrato al precedente capitolo 4.

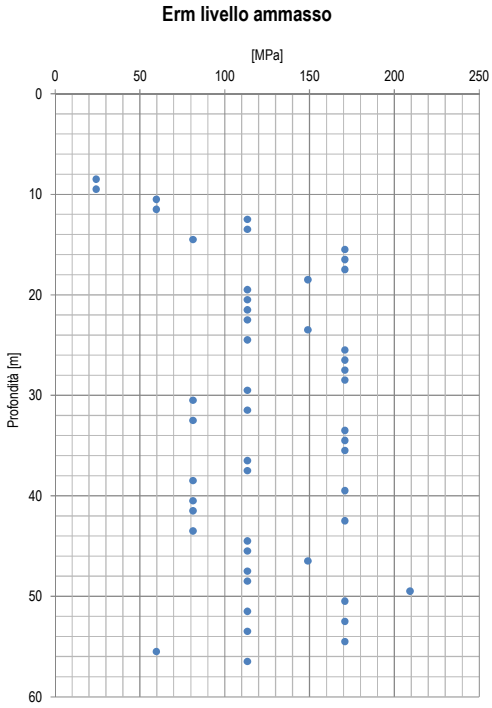


Figura 6-27 – Andamento Modulo deformabilità ammasso (E_{rm})in funzione della profondità – "Formazione AM"

All'interno del foro del sondaggio SEB6, sono state anche eseguite tre prove dilatometriche i cui risultati sono di seguito riportati. Tali risultati sono stati analizzati con logica comparativa rispetto alle determinazioni per via analitica del modulo d'ammasso.

Moduli Dilatometrici E_{FDT}						
Ciclo	Intervallo di pressioni		Trasduttore diametrale n°1 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 2 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 3 (MPa)	Valore medio (MPa)
N°	Mpa		Primo carico			
1	0,50	1,40	876	468	385	510
2	1,42	3,02	1794	1684	759	1215
3	2,99	5,80	864	1018	565	767
			Carico			
2	0,63	3,02	1925	1550	869	1296
3	0,63	5,80	1289	1415	767	1077
			Ricarico			
2	0,63	1,42	2258	1335	1231	1497
3	0,63	2,99	3093	2635	1330	2062
			Scarico 30-70 %			
1	0,83	1,24	1893	1491	1641	1659
2	1,04	2,64	3257	3257	2023	2706
3	1,03	5,04	2691	3345	2408	2763

Figura 6-28 – Valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 1 – "Formazione AM"

Moduli Dilatometrici E_{FDT}						
Ciclo	Intervallo di pressioni		Trasduttore diametrale n°1 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 2 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 3 (MPa)	Valore medio (MPa)
N°	Mpa		Primo carico			
1	0,58	1,36	586	485	455	503
2	1,36	2,97	882	837	750	819
3	2,95	5,76	912	991	817	901
			Carico			
2	0,57	2,97	901	817	773	827
3	0,59	5,76	1121	1175	1018	1101
			Ricarico			
2	0,57	1,36	943	779	823	843
3	0,59	2,95	1536	1506	1436	1492
			Scarico 30-70 %			
1	0,76	1,16	1797	1303	1241	1408
2	0,98	2,55	2575	2710	2145	2452
3	0,97	4,95	2482	2519	2296	2428

Figura 6-29 – Valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 2 – "Formazione AM"

Moduli Dilatometrici E_{FDT}						
Ciclo	Intervallo di pressioni		Trasduttore diametrale n°1 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 2 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 3 (MPa)	Valore medio (MPa)
N°	Mpa		Primo carico			
1	0,62	1,41	640	589	545	589
2	1,44	2,99	1104	1019	1009	1043
3	2,99	6,20	1525	1503	1346	1453
			Carico			
2	0,61	2,99	1202	1139	1106	1148
3	0,60	6,20	1851	1791	1679	1771
			Ricarico			
2	0,61	1,44	1439	1459	1348	1414
3	0,60	2,99	2601	2417	2516	2509
			Scarico 30-70 %			
1	0,79	1,19	2233	1771	2054	2001
2	1,00	2,60	3543	3067	3262	3279
3	1,41	5,39	3769	3609	3372	3576

Figura 6-30 – Valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 3 – "Formazione AM"

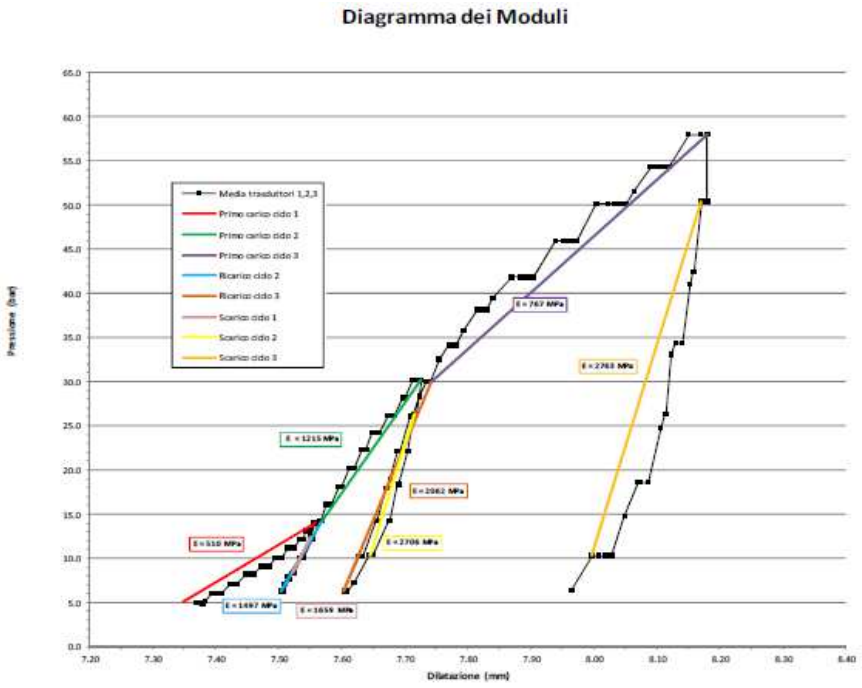


Figura 6-31 – Grafico valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 1 – "Formazione AM"

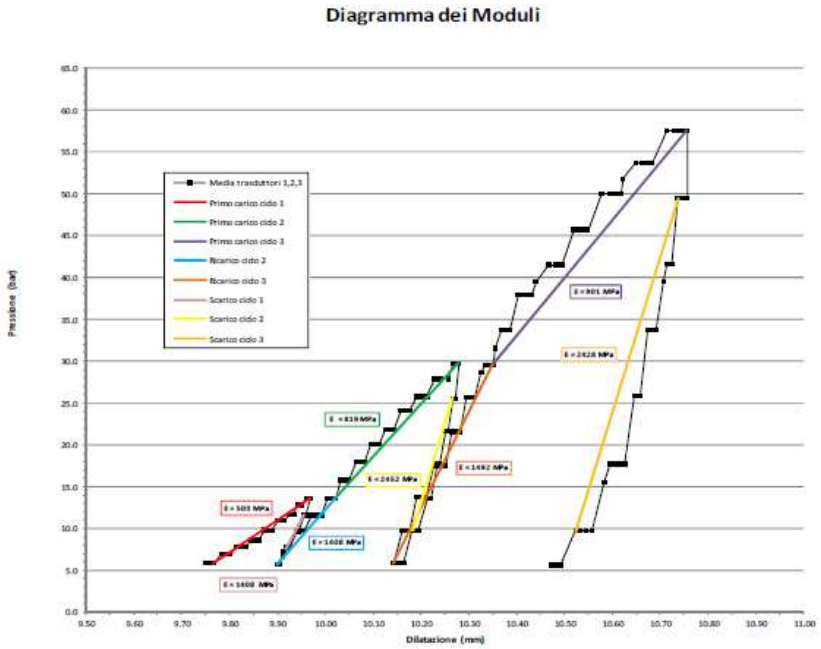


Figura 6-32 – Grafico valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 2 – "Formazione AM"

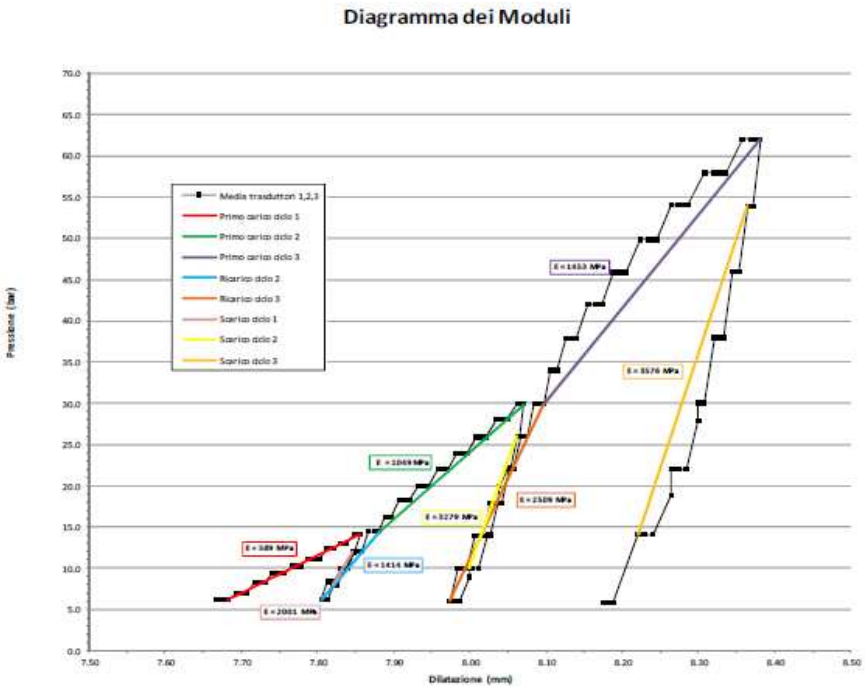


Figura 6-33 – Grafico valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} Prova 3 – "Formazione AM"

L'esito di tali prove, è raccolto nelle pagine seguenti in forma grafica.

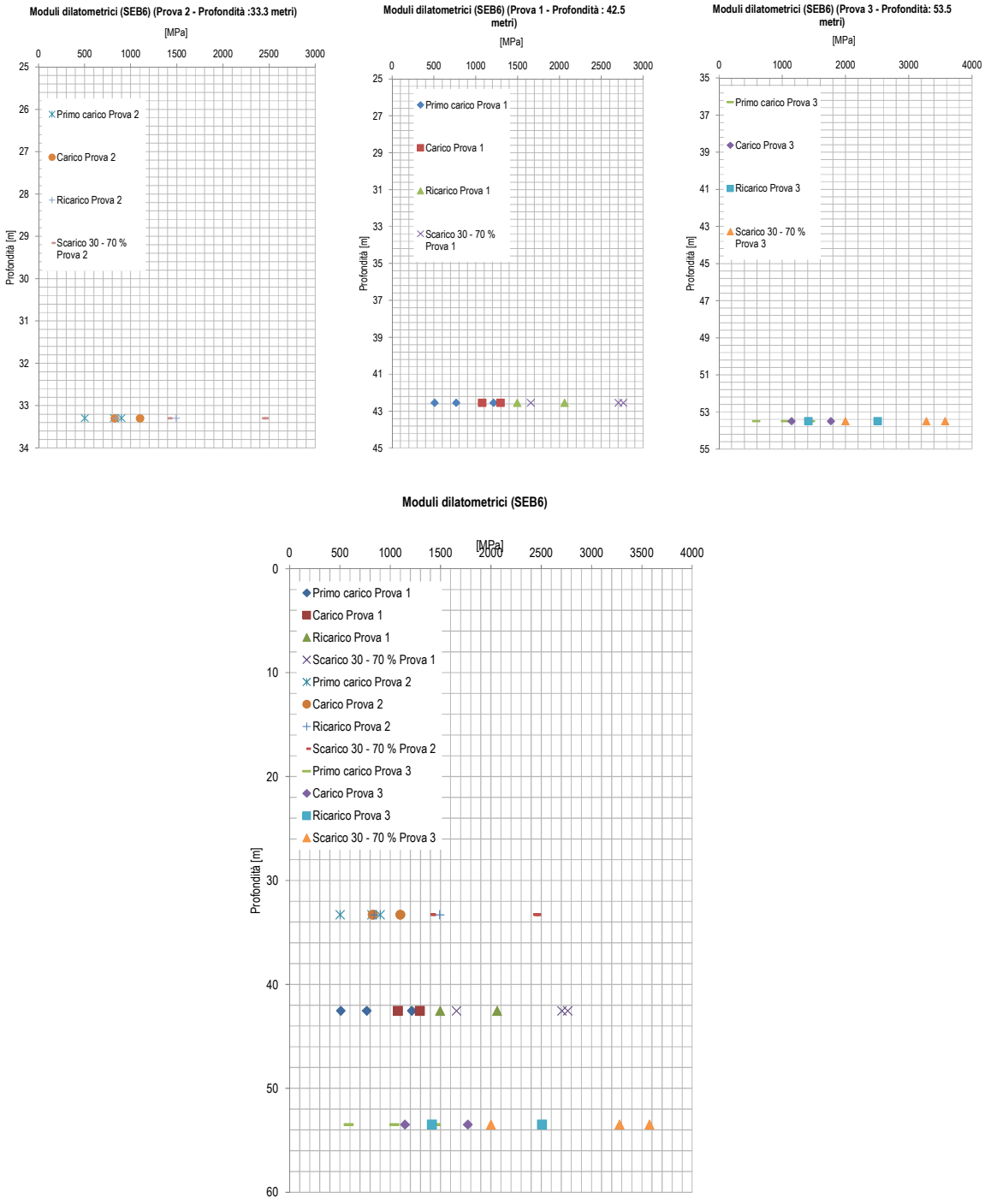


Figura 6-34 – Grafico valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} in funzione della profondità – "Formazione AM"

6.2.1 *Permeabilità dell'ammasso*

All'interno del foro di sondaggio SEB6, sono state condotte tre prove di permeabilità Lugeon per la determinazione della conducibilità idraulica del mezzo. I risultati sono riepilogati alla tabella che segue.

Sondaggio	n° prova	Profondità	Profondità base	Unità geologica corrispondente	K (media 5 gradini)	K (media)
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[m/s]	[m/s]
SEB6	1	25 - 30	30	Argilliti	1.49E-07	9.54E-08
SEB6	2	35 – 40	40	Argilliti	5.06E-08	
SEB6	3	53 – 58	58	Argilliti	8.67E-08	

Tabella 74 – Rapporto prova di permeabilità Lugeon (Sondaggio SEB2)

6.2.2 *Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica*

Si propone di seguito una tabella di sintesi contenente i valori medi relativi alla formazione AM.

γ	v	σ_c	GSI	MR	E_{rm}	mi
[kN/m^3]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]	[-]
24 – 25	0.25 – 0.30	4 – 20 (5)	35 – 45 (40)	200	160 – 300	8.5

Tabella 75 – Quadro di sintesi della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso AM – "Formazione AM"

γ	v	σ_c	GSI	MR	E_{rm}	mi
[kN/m^3]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]	[-]
24	0.35	4 – 20 (5)	20 – 25	200	60 – 80	8.5

Tabella 76 – Quadro di sintesi della caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso AM – "Faglia Formazione AM"

7 PROVE DI FRESABILITA'

7.1 Introduzione

La fresabilità di una roccia indica la tendenza del materiale a consumare gli utensili di una macchina di scavo come una TBM; essa dipende dalla durezza della roccia, dalla composizione mineralogica e dall'orientazione delle discontinuità dell'ammasso. In base alla disponibilità e alla numerosità dei dati a disposizione, nel presente documento la stima della fresabilità è condotta tramite la determinazione dell'indice DRI (Drilling Rate Index), dell'indice CLI (Cutter Life Index), e dell'Indice CAI (Cerchar Abrasivity Index).

L'indice DRI può essere descritto come il valore di resistenza alla frantumazione S_{20}, corretto tramite il Sievers' J-value (S_J) per tenere in conto della durezza superficiale della roccia.

L'indice CLI è stimato sulla base del valore di S_J e dell'indice AVS (Abrasion Value Steel). CLI fornisce una stima del consumo dei cutter durante l'avanzamento della TBM, espressa in ore di scavo per cutter.

L'indice CAI si ottiene dalla prova Cerchar, che permette di valutare l'abrasività della rocce misurando l'usura della punta di un cono in acciaio fatta sfregare contro la superficie di un provino appositamente formato. Il valore dell'indice CAI è calcolato tramite la media dell'usura espressa in mm su 5 diverse determinazioni condotte sullo stesso provino.

Viene di seguito riportata la tabella della classificazione dell'indice CAI.

Category	CAI
not very abrasive	0.3 ÷0.5
slightly abrasive	0.5 ÷1.0
midly abrasive	1.0 ÷ 2.0
very abrasive	2.0 ÷ 4.0
extremely abrasive	4.0 ÷ 6.0

Tabella 77 – Descrizione qualitativa indice CAI

Al fine di stimare questi parametri sono state condotte le seguenti prove meccaniche di fresabilità su campioni prelevati entro il Flysch del Monte Antola.

- determinazioni della microdurezza di Knoop (n. 4);

- determinazioni dell'indice di abrasività Cerchar (n. 4);

- determinazioni dell'indice tramite Sievers' J Value (S_J), tramite Sievers Test (n. 1);

- determinazioni dell'indice di abrasività AV/AVS (n.1).

- determinazione della resistenza alla frantumazione S_{20}, tramite Brittleness Test (n. 1);

- determinazioni della resistenza alla penetrazione tramite Punch Penetration Test (n. 4);

Le prove sono state eseguite nel Novembre 2017 ad opera del LABORATORIO Rocce e Ricerca TONON(LRRT),s.r.l. e ad integrazione di prove pregresse realizzate in relazione al progetto definitivo dello scolmatore Bisagno (2007) e del progetto esecutivo dello scolmatore Fereggiano (2016).

7.2 Indagini e prove pregresse

7.2.1 *Progetto Definitivo Bisagno (2007)*

Durante questa fase progettuale sono state effettuate delle analisi petrografiche, chimiche e difrattometriche. Viene riportata la relazione fornita dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Trieste.

I campioni di calcare marnoso sono stati analizzati mediante diffrattometria di polveri, per determinare le fasi mineralogiche presenti, e tramite fluorescenza ai raggi X.

Una parte dei campioni è stata macinata finemente, in modo da avere la granulometria necessaria per l'analisi diffrattometrica e chimica.

Lo studio degli spettri (in allegato), ha messo in evidenza la presenza delle seguenti fasi mineralogiche: calcite (picco di riferimento a 29.4° di 2q) e quarzo (2q 26.7°). Possono essere presenti in certi campioni feldspati (2q 28°), argille di tipo illite/muscovite (2q 9°), caolinite (2q 12.4°) e clorite (2q 6.4°).

Il confronto tra la percentuale in peso della silice misurata in fluorescenza e il contenuto di quarzo calcolato tramite diffrattometria, tenuto conto degli errori insiti nelle due metodiche analitiche, porta alla conclusione che la quantità di silice libera (quarzo, tridimite, calcedonio, selce, ecc.) presente nei campioni è sempre in quantità comprese tra il 20 ed il 25%, eccetto nei campioni S3D e S8D dove è prossima o superiore al 30%.

7.2.2 *Progetto Esecutivo Fereggiano (2016)*

Nell'ambito delle attività di scavo della galleria scolmatrice del rio Fereggiano sono state realizzate prove Cerchar su diversi provini i cui risultati vengono riportati nel seguito.

SONDAGGIO	PROFONDITA'[m]	CAI	CLASSE DI ABRASIVITA'
S8	69	0.81	leggermente abrasivo
S8	72	0.69	leggermente abrasivo
S8	78	0.06	non abrasivo
S10	2.5	0.25	non abrasivo
S10	14	0.69	leggermente abrasivo
S10	36	1.5	da mediamente abrasivo ad abrasivo
S10	37	0.25	non abrasivo

Tabella 78 – Classe di abrasività Sondaggi S8 e S10

I test effettuati restituiscono una matrice rocciosa caratterizzata da un potenziale abrasivo medio-basso.

7.3 Prove Campagna Indagini integrativa (2017)

Per il progetto esecutivo dello scolmatore Bisagno sono state commissionate ulteriori prove di fresabilità i cui risultati vengono riportati nel seguito:

I provini sono tutti ricavati dalle carote dei sondaggi SEB1 o SEB 2.

7.3.1 *Prova di durezza Knopp*

Sono stati effettuati quattro prove di durezza Knopp i cui risultati vengono riportati nel seguito:

Sondaggio	Profondità	Note	Durezza Knoop
SEB1	18-19	Matrice calcaree marnoso	314
SEB1	26.4-26.7	Rappresentativo vene quarzose	745
SEB2	26.3-26.7	Matrice calcaree marnoso/con vene	829
SEB2	29.5-30	Rappresentativo vene quarzose	218

Tabella 79 – Classe di abrasività Sondaggi S8 e S10

7.3.2 *Prova cerchar (CAI Index)*

Sono stati effettuati quattro prove di abrasività i cui risultati vengono riportati nel seguito.

SONDAGGIO	PROFONDITA'[m]	CAI	CLASSE DI ABRASIVITA'
SEB1	18-19	3.01	molto abrasivo
SEB1	26.4-26.7	3.04	molto abrasivo
SEB2	29.5-30	2.75	molto abrasivo
SEB2	29.5-30	2.56	molto abrasivo

Tabella 80 – Classe di abrasività Sondaggi S8 e S10

7.3.3 *Prova Sievers' j (S_J)*

Dalla prova Sievers'j effettuata su un provino estratto nel sondaggio SEB2 alla profondità di 23.5-23.7m si è ricavato un indice Sievers'j(S_J) pari a 58.

7.3.4 *Test di abrasione (AV / AVS)*

Dalla Prova di Abrasione sull'Acciaio effettuata su un provino estratto nel sondaggio SEB2 alla profondità di 21-22m si è ricavato un indice AVS pari a 28.

Dalla stessa prova effettuata sul carburo di tungsteno si è ottenuto un indice AV pari a 6.5.

7.3.5 *Prova di fragilità(S_{20})*

Dalla prova di fragilità effettuata su un provino estratto nel sondaggio SEB2 alla profondità di 21-22m si è ricavato un indice di fragilità(S_{20}) pari a 53.15.

7.3.6 *Punch penetration index test*

Vengono di seguito riportati i risultati ottenuti dal punch test.

SONDAGGIO	PROFONDITA'[m]	40 DEGREE STANDARD INDEX	PEAK SLOPE INDEX
SEB1	18-19	176	142
SEB1	26.4-26.7	175	130
SEB2	26.3-26.7	175	173
SEB2	2.5	175	168

Tabella 81 – Classe di abrasività Sondaggi S8 e S10

7.4 Elaborazione dati e risultati

La correlazione tra DRI, S_{20} e S_J è fornita dall'equazione seguente:

se $S_J \leq 50$, $$DRI = (0.13 \cdot S_j + 2.33) + S_{20}$$

se $S_J \geq 50$, $$DRI = [5.84 \cdot \ln(S_j) - 14] + S_{20}$$

A partire dai risultati ottenuti dal Sivers'j test e dal test di fragilità è stato possibile stimare un drilling rate index pari a 62.35.

Viene di seguito riportata la tabella della classificazione dell' indice DRI.

Category	DRI
extremely low	< 25
very low	26 ÷ 32
low	33 ÷ 42
medium	43 ÷ 57
high	58 ÷ 69
very high	70 ÷ 82
extremely high	≥ 83

Tabella 82 – Descrizione qualitativa indice DRI

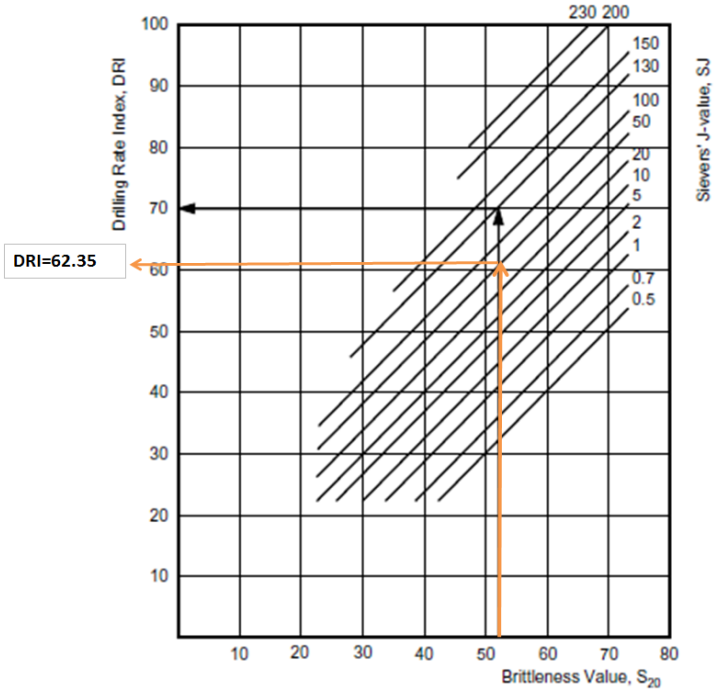


Figura 7-1 – Determinazione grafica di DRI partendo da S_J e S_{20}

Per quanto riguarda l'indice CLI, esso è stimato sulla base del valore di S_J e dell'indice AVS. La correlazione tra CLI, AVS e S_J espressa dall'equazione seguente, fornisce un valore di CLI pari a 17.71.

$$CLI = 13.84 \cdot \left(\frac{S_J}{AVS} \right)^{0.3847}$$

Viene di seguito riportata la tabella della classificazione dell'indice CLI.

Category	CLI
extremely low	< 5
very low	5.0 ÷ 5.9
low	6.0 ÷ 7.9
medium	8.0 ÷ 14.9
high	15.0 ÷ 34.0
very high	35.0 ÷ 74.0
extremely high	≥ 75

Tabella 83 – Descrizione qualitativa indice CLI

ALLEGATO 1

Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto generale

DATABASE MATRICE ROCCIOSA

Le tabelle riportano i valori utilizzati per la caratterizzazione della matrice dell'ammasso FMA (prove di laboratorio campagna indagini progetto definitivo 2007).

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 1D	59.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.03	26.55					
S 1D	60.7	Calcare Marnoso compatto	FMA	26.26	91.31		0.27	0.3	50	58.8
S 1D	61.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.57		3.54				
S 1D	66.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.83	20.92					
S 1D	67.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.08	16.92					
S 1D	68.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.43	37.4					
S 1D	69.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.06	38.31					
S 1D	70.3	Calcare Marnoso compatto	FMA	26.33	174.86		0.30	0.27	65	64
S 1D	71	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.08		4.85				
S 1D	71.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.23	43.06					
S 1D	73.7	Calcare Marnoso con evidenti vene calcitiche	FMA	24.4	6.3					
S 1D	75.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.1	27.45					
S 1D	76.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.58	50.17					
S 1D	77.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26	29.06					
S 1D	79.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.4	36.47					
S 1D	80.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.93	24.36					
S 1D	82.5	Calcar Marnoso compatto	FMA	26.12	100.17	5.2	0.24	0.24	55	54.2
S 1D	82.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.47	107.83					
S 1D	84	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.11	73.84					

				IPL		
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Is(50)	k_50	σc
[-]	m	[-]	[-]	Mpa	[-]	Mpa
S 1D	47.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.58	14	36.12
S 1D	49.55	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.68	14	37.52
S 1D	50.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.99	14	13.86
S 1D	50.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.27	14	31.78
S 1D	51.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.57	16	57.12
S 1D	51.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.08	14	29.12
S 1D	52.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.22	14	31.08
S 1D	52.75	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.08	14	29.12
S 1D	53.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.84	14	39.76
S 1D	54.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.94	14	27.16
S 1D	55.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.89	14	12.46
S 1D	56.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.29	14	18.06
S 1D	57.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.14	14	15.96
S 1D	58.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.18	14	30.52
S 1D	58.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.28	16	84.48
S 1D	58.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.28	14	31.92
S 1D	59.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.69	14	23.66
S 1D	60	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.06	14	14.84
S 1D	60.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	8.09	20	161.8
S 1D	61.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.84	14	39.76
S 1D	62.15	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.19	14	30.66
S 1D	63.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.79	14	25.06
S 1D	64.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.88	14	26.32
S 1D	64.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.37	14	47.18

S 1D	64.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.43	14	48.02
S 1D	65.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.42	14	47.88
S 1D	65.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.89	14	40.46
S 1D	66	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.08	14	29.12
S 1D	66.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.33	16	69.28
S 1D	66.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.28	14	31.92
S 1D	66.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.06	16	64.96
S 1D	67.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.17	14	44.38
S 1D	67.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.54	14	35.56
S 1D	68.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.1	14	43.4
S 1D	68.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.43	14	48.02
S 1D	69.35	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.84	14	39.76
S 1D	69.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.56	16	56.96
S 1D	71.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	5.16	16	82.56
S 1D	71.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.68	16	90.88
S 1D	82	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.78	14	38.92

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 2D	40.55	Calcare Marnoso	FMA	26.29	38.07					
S 2D	42.7	Calcare Marnoso	FMA	26.08	29.91		0.22	0.28	15	15.89
S 2D	44	Calcare Marnoso	FMA	25.97		4.62				
S 2D	44.64	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.85	20.09					
S 2D	45.25	Calcare Marnoso	FMA	26.23	24.17					
S 2D	49.35	Calcare Marnoso	FMA	26.2	33.74					
S 2D	49.6	Calcare Marnoso	FMA	26.06	35.03					
S 2D	50	Calcare Marnoso	FMA	26.55	29.56		0.36	0.35	17	18.56
S 2D	51	Calcare Marnoso	FMA	25.95		6.02				
S 2D	51.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.61	48.78					
S 2D	52.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.43	33.28					
S 2D	54.3	Calcare Marnoso	FMA	26.32	48.95					
S 2D	57.33	Calcare Marnoso	FMA	26.44	20.47					
S 2D	61.75	Calcare Marnoso	FMA	26.12	37.16					
S 2D	62.5	Calcare Marnoso	FMA	25.88	38.14	6.52	0.3	0.25	23	22.76
S 2D	63.4	Calcare Marnoso	FMA	26.24	22.03					
S 2D	65.58	Calcare Marnoso	FMA	26.4	63.25					
S 2D	67.1	Calcare Marnoso	FMA	26.65	33.43					
S 2D	68.6	Calcare Marnoso	FMA	26.66	43.56					

				IPL		
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Is(50)	k_50	σc
[-]	m	[-]	[-]	Mpa		
S 2D	41.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.89	16	62.24
S 2D	42.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.84	16	93.44
S 2D	43	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.57	14	35.98
S 2D	43.35	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.46	16	71.36
S 2D	43.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.4	14	47.6
S 2D	44.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.93	14	41.02
S 2D	44.55	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.85	14	25.9
S 2D	45.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.16	14	30.24
S 2D	46.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.91	14	26.74
S 2D	47.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.39	14	33.46
S 2D	47.38	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.67	16	58.72
S 2D	48.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.17	14	30.38
S 2D	49.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.89	14	40.46
S 2D	49.23	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.16	14	44.24
S 2D	49.65	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.35	16	85.6
S 2D	50.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.79	16	60.64
S 2D	50.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.82	14	39.48
S 2D	51.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.16	14	44.24
S 2D	51.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.53	14	35.42
S 2D	52.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.22	14	31.08
S 2D	52.65	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.6	16	57.6
S 2D	53.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.57	16	73.12
S 2D	54.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.72	16	59.52
S 2D	54.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.44	14	48.16

S 2D	55.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.89	16	62.24
S 2D	56	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.38	14	33.32
S 2D	57.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.5	16	56
S 2D	57.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.52	14	7.28
S 2D	59.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.32	14	4.48
S 2D	59.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.33	14	32.62
S 2D	61.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.89	16	62.24
S 2D	61.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.69	14	37.66
S 2D	61.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.09	16	65.44
S 2D	62.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.95	14	27.3
S 2D	63.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.96	16	63.36
S 2D	63.65	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	6.23	20	124.6
S 2D	68.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.65	14	37.1
S 2D	69.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.63	14	36.82

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 3D	61	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.06	31.13					
S 3D	61.7	Calcare Marnoso	FMA	26.97	-	3.39				
S 3D	63.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.72	46.09					
S 3D	63.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.2	47.58		0.35	0.29	33.4	23.67
S 3D	64.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.04	79.5					
S 3D	65.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.73	36.15					
S 3D	67.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.05	55.51					
S 3D	69.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.82	15.01					
S 3D	71.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.74	21.16					
S 3D	73	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.74	-	5.31				
S 3D	74	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.92	25.24					
S 3D	75.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.82	18.85					
S 3D	78.2	Calcare Marnoso	FMA	26.03	27.73					
S 3D	81	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.79	-	5.03				
S 3D	84	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.91	37.32					
S 3D	85.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.65	2.99					
S 3D	86.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.49	33.28					
S 3D	88.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.93	36.26					

				IPL		
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Is(50)	k_50	σc
[-]	m	[-]	[-]	[Mpa]		
S 3D	41	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.33	14	32.62
S 3D	41.75	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.96	14	27.44
S 3D	42.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.51	14	35.14
S 3D	43.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.59	14	36.26
S 3D	44.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.43	14	34.02
S 3D	44.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.99	14	27.86
S 3D	45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.31	14	46.34
S 3D	45.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.72	14	38.08
S 3D	48	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.45	16	87.2
S 3D	48.15	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.96	16	79.36
S 3D	50.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.22	14	31.08
S 3D	61	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	0.33	14	4.62
S 3D	62	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.56	14	21.84
S 3D	62.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.7	16	59.2
S 3D	62.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.51	14	7.14
S 3D	62.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.35	14	4.9
S 3D	62.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.64	16	58.24
S 3D	62.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.08	16	81.28
S 3D	63	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.66	14	9.24
S 3D	63.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.19	16	83.04
S 3D	64	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.74	14	10.36
S 3D	64.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.23	14	17.22
S 3D	64.65	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.03	14	42.42
S 3D	64.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	0.08	14	1.12

S 3D	69.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.56	14	21.84
S 3D	71.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.85	14	25.9
S 3D	71.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.47	16	71.52
S 3D	71.8	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	6.06	20	121.2
S 3D	72.4	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.25	16	84
S 3D	72.5	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.48	14	48.72
S 3D	72.7	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.67	16	74.72
S 3D	72.8	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.67	16	74.72
S 3D	73	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.77	16	76.32
S 3D	73.2	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.5	16	56
S 3D	73.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.93	14	41.02
S 3D	74.2	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.18	14	30.52
S 3D	74.7	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.6	16	57.6
S 3D	75	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	7.2	20	144
S 3D	75.1	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.39	16	70.24
S 3D	75.2	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.31	14	4.34
S 3D	75.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	5.25	16	84
S 3D	75.5	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.52	16	56.32
S 3D	76	CM con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.59	14	8.26
S 3D	76.2	Calcare Marnoso	FMA	2.82	14	39.48
S 3D	77	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.77	16	76.32
S 3D	77.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.98	16	79.68
S 3D	78.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	3.5	16	56
S 3D	78.2	Calcare Marnoso	FMA	1.22	14	17.08
S 3D	83.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.82	14	39.48
S 3D	83.8	Calcare Marnoso con evidenti vene calcitiche	FMA	1.95	14	27.3
S 3D	84	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.95	14	27.3
S 3D	84.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.82	16	61.12
S 3D	85	Calcare Marnoso con evidenti vene calcitiche	FMA	0.24	14	3.36
S 3D	85.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.57	14	21.98
S 3D	85.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.29	14	4.06
S 3D	85.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	1.07	14	14.98
S 3D	86.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.54	14	7.56
S 3D	87.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.92	14	40.88

S 3D	87.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.64	14	8.96
S 3D	87.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	3.79	16	60.64

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 4D	59	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.49		6.88				
S 4D	59.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.39	36.29		0.312	0.2	17.7	13.93
S 4D	62.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.09	27.88					
S 4D	63.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.84	26.24					
S 4D	64.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.78	37.22					
S 4D	64.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.38	30.86					
S 4D	66	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.44		6.97				
S 4D	66.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.45	31.54		0.205	0.25	22	21.82
S 4D	68.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.23	47.36					
S 4D	68.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.79	28					
S 4D	69.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.58	29.25					
S 4D	70	Calcare Marnoso con estese vene calcitiche	FMA	25.8	44.23					
S 4D	70.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.4	34.87					
S 4D	72.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26	57.31					
S 4D	73	Calcare Marnoso con estese vene calcitiche	FMA	26.28	93.62	7.95	0.186	0.23	60.6	54.9
S 4D	73.5	Calcare Marnoso con estese vene calcitiche	FMA	25.78	44.19					
S 4D	74.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.21	37.22					
S 4D	75.7	Calcare Marnoso con estese vene calcitiche	FMA	25.67	10.25					
S 4D	78.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.03	27.17					
S 4D	79.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	25.9	23.73					

				IPL		
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Is(50)	k_50	σc
[-]	m	[-]	[-]	Mpa		
S 4D	43.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.39	14	19.46
S 4D	43.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.96	14	41.44
S 4D	45.35	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.97	16	79.52
S 4D	46.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.43	16	70.88
S 4D	47.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.23	14	31.22
S 4D	47.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.27	14	31.78
S 4D	48.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.03	14	28.42
S 4D	48.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.14	14	43.96

S 4D	50.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.54	14	21.56
S 4D	51.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.93	14	27.02
S 4D	52.15	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.73	14	24.22
S 4D	54.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.03	14	28.42
S 4D	55.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	7.18	20	143.6
S 4D	56.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.17	16	66.72
S 4D	57.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.48	14	48.72
S 4D	58.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.44	16	71.04
S 4D	59.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	9.94	20	198.8
S 4D	63.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.19	14	30.66
S 4D	63.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.52	14	35.28
S 4D	66	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	3.54	16	56.64
S 4D	70.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.99	14	13.86
S 4D	70.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.13	16	66.08
S 4D	70.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.48	14	34.72
S 4D	71	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.34	16	85.44
S 4D	71.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.48	14	34.72
S 4D	71.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.75	14	10.5
S 4D	72	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.32	16	69.12
S 4D	73	Calcare Marnoso con estese vene calcitiche	FMA	4.87	16	77.92
S 4D	73.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.42	14	5.88
S 4D	74.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.89	14	26.46
S 4D	74.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.8	16	60.8
S 4D	74.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.44	14	48.16
S 4D	74.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.39	14	33.46
S 4D	75.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.88	16	62.08
S 4D	75.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.47	16	87.52

S 4D	76.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.42	14	33.88
S 4D	77	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.59	14	22.26
S 4D	77.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	7.09	20	141.8
S 4D	79	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.39	14	19.46
S 4D	79.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	0.26	14	3.64

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 5D	42.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.27	87.62	6.71	0.27	0.26	33.7	31.37

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 6D	18.2	Calcare Marnoso	FMA	26.08	39.62					
S 6D	22.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21	23.39					
S 6D	24.5	Calcare Marnoso	FMA	25.55	57.8		0.268	0.18	13.4	12.65

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 7D	14.4	Calcare Marnoso	FMA	25.55	15.5					
S 7D	16.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21	18.13					
S 7D	18.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.55	15.38		0.33	0.28	6	6.51

					UCS	BTS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	σt	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 8D	42.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.6		8.21				
S 8D	52	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.66		5.11				
S 8D	58.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.11	57.48					
S 8D	60.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.03	73					
S 8D	61.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.89	64.34					
S 8D	62.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.24		9.73				
S 8D	63	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.25	81.92					
S 8D	63.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.38	99.19					
S 8D	64.15	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.19	70.45					
S 8D	66.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.85	58.43					
S 8D	66.85	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.35	53.01					
S 8D	67.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	25.7	65.98					
S 8D	67.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.04	69.08					
S 8D	68.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	26.07	58.44					

				IPL		
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Is(50)	k_50	σc
[-]	m	[-]	FMA	Mpa		
S 8D	46	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.88	14	40.32
S 8D	46.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	7.86	20	157.2
S 8D	46.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.98	14	27.72
S 8D	47.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.83	14	39.62
S 8D	47.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.87	14	12.18
S 8D	49.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.59	14	22.26
S 8D	52.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	4.14	16	66.24
S 8D	52.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.16	16	82.56
S 8D	53.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.74	14	24.36
S 8D	53.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.83	14	11.62
S 8D	55.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.84	14	25.76
S 8D	55.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.08	14	1.12
S 8D	55.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.19	14	16.66
S 8D	57.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.41	14	47.74
S 8D	58.5	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.16	16	82.56
S 8D	58.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.86	16	93.76
S 8D	58.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	6.94	20	138.8
S 8D	58.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	6.94	20	138.8
S 8D	59	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	1.05	14	14.7
S 8D	59.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.08	14	29.12
S 8D	59.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.97	16	79.52
S 8D	59.9	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.06	16	80.96
S 8D	60.15	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	7.94	20	158.8
S 8D	60.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	8.25	20	165
S 8D	60.6	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	5.06	16	80.96

S 8D	62.65	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	1.64	14	22.96
S 8D	62.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.95	14	41.3
S 8D	62.75	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.58	14	36.12
S 8D	63.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	4.86	16	77.76
S 8D	63.35	Calcare Marnoso	FMA	5.06	16	80.96
S 8D	63.45	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.99	16	79.84
S 8D	63.75	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.88	14	40.32
S 8D	63.9	Calcare Marnoso	FMA	3.61	16	57.76
S 8D	64.2	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.29	14	18.06
S 8D	64.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	4.76	16	76.16
S 8D	65.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	2.74	14	38.36
S 8D	65.7	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	0.26	14	3.64
S 8D	66	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	1.79	14	25.06
S 8D	66.25	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.37	16	69.92
S 8D	66.7	Calcare Marnoso	FMA	3.82	16	61.12
S 8D	67	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	4.66	16	74.56
S 8D	67.2	Calcare Marnoso	FMA	2.87	14	40.18
S 8D	67.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	6.64	20	132.8
S 8D	67.4	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	5.06	16	80.96
S 8D	67.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	5.41	16	86.56
S 8D	69	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.98	14	41.72
S 8D	69.1	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	2.84	14	39.76
S 8D	69.3	Calcare Marnoso con vene calcitiche e livelli argillitici	FMA	3.17	14	44.38

ALLEGATO 2

Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto imbocco finestra Sciorba

Sondaggi di Riferimento

Per la caratterizzazione del contesto in esame, è stato analizzato il Sondaggio SEB1 del PE 2017 relativo al Progetto esecutivo del secondo lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in Comune di Genova. I risultati di tale sondaggio, sono stati poi integrati con quanto emerso dalla relazione in merito a "Lavori urgenti non programmabili di manutenzione straordinaria e/o adeguamento alle Normative del Patrimonio comunale – Scuole Vespertie di Salita Montesignano" redatta dal Dott. Geol. Francesco Faccini. Questa relazione, indaga i terreni su cui poggia la Scuola che sono proprio i terreni relativi al contesto imbocco finestra Sciorba oggetto di questa.

Classificazione geomeccanica dell'ammasso

Dall'analisi dell'RQD(%) associato alle carote e sulla base della qualità geomeccanica dell'ammasso restituita dai sondaggi, è stato ricavato il valore del GSI in funzione della profondità, relativo al sondaggio SEB1.

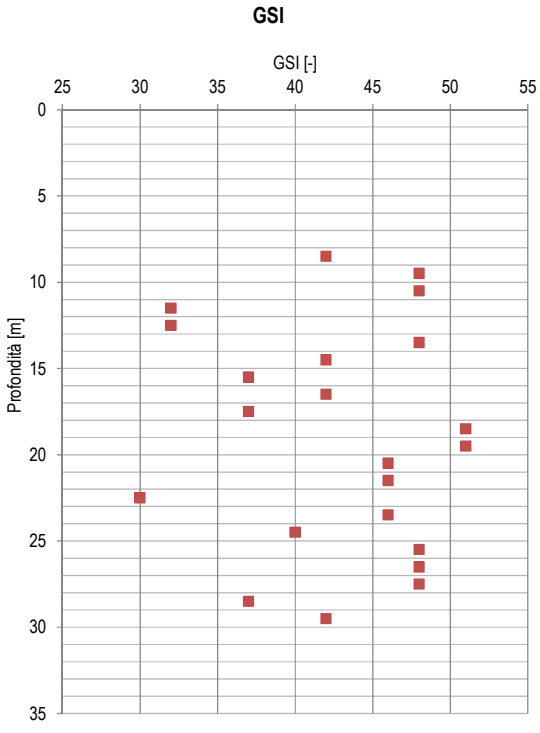


Figura -1 – Valori del GSI in funzione della profondità – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Si riportano i parametri statistici relativi al parametro in questione:

- Media GSI: 42
- Dev. St.: 2.2

Caratterizzazione della matrice rocciosa

Dal sondaggio SEB1, sono stati prelevati 6 campioni di roccia:

- CR3
- CR9
- CR4
- CR5
- CR6
- CR7
- CR8

Si riportano di seguito le foto di tali campioni con le relative descrizioni.



Figura-2 – Fotografia Cassetta 2 (SEB1) con, indicato, campione CR3 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

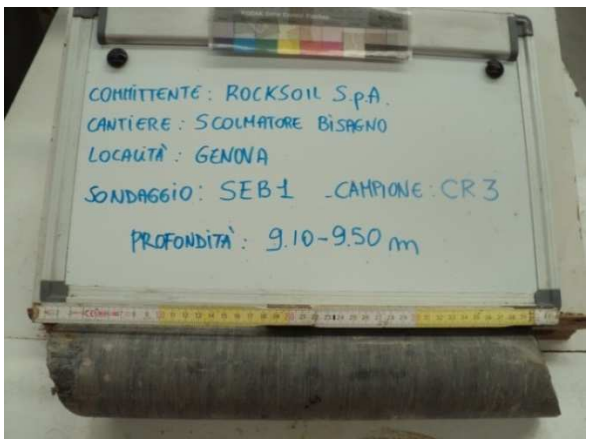


Figura-3 – Fotografia campione CR3 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Descrizione del campione CR3:

- *"Campione di lunghezza 38 cm. Calcare marnoso omogeneo e compatto caratterizzato da sottili laminazioni sedimentarie serrate e sigillate da calcite".*

Per quanto riguarda i campioni CR9 e CR4:



Figura-4 – Fotografia Cassetta 3 (SEB1) con, indicati, campioni CR9 e CR4 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"



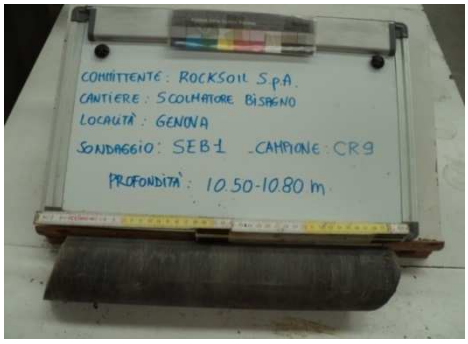


Figura-5 – Fotografia campioni CR9 e CR4 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Descrizione del campione CR9:

- *"Campione di lunghezza 32 cm. Calcare marnoso fratturato e ad aspetto brecciato per la presenza di numerose fratture parzialmente serrate, con superfici rivestite da patine di calcite e materiale a grana fine".*

Descrizione del campione CR4:

- *"Campione di lunghezza 33 cm. Calcare marnoso omogeneo e compatto caratterizzato da sottili vene sigillate da calcite e da una frattura sub-orizzontale parzialmente serrata".*

Per quanto riguarda i campioni CR5 e CR6:



Figura Fotografia Cassetta 4 (SEB1) con, indicati, campioni CR5 e CR6 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

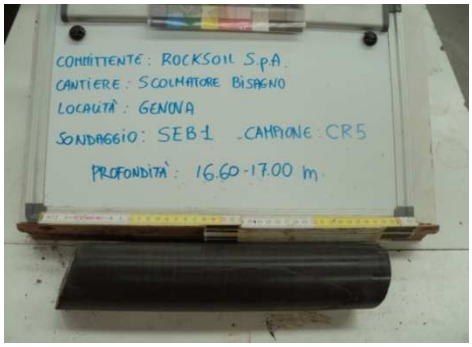




Figura 6 – Fotografia CR5 e CR6 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Descrizione del campione CR5:

- *"Campione di lunghezza 38 cm. Marna calcarea omogenea e compatta caratterizzata da laminazioni sedimentarie inclinate di circa 60°".*

Descrizione del campione CR6:

- *"Campione di lunghezza 63 cm. Calcare marnoso omogeneo e compatto caratterizzato da sottili vene sigillate da calcite e una vena a calcite inclinata di circa 10°".*

Per quanto riguarda il campione CR7:



Figura -7 – Fotografia Cassetta 4(SEB1) con, indicato, campione CR7 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"



Figura 0-8 – Fotografia campione CR7 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Descrizione del campione CR7:

- *"Campione di lunghezza 24 cm. Calcare marnoso fratturato e ad aspetto brecciato per la presenza di numerose fratture parzialmente serrate, con superfici rivestite da patine di materiale a grana fine".*

Per quanto riguarda il campione CR8:



Figura-9 – Fotografia Cassetta 4(SEB1) con, indicato, campione CR8 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

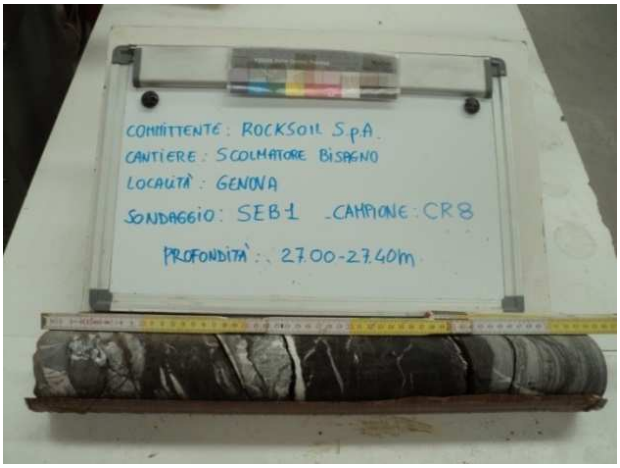


Figura-10 – Fotografia campione CR8 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Descrizione del campione CR8:

- *"Campione di lunghezza 54 cm. Campione eterogeneo e mediamente alterato, costituito, nella porzione di alto e mediana, dall'alternanza di calcare marnoso e marna, destrutturati e fratturati, e da siltite calcarea a laminazione convoluta nella porzione di basso. Il campione è interessato da vene sigillate da calcite e da un sistema di discontinuità inclinate di circa 55° con superfici lucide, alterate e talvolta rivestite da materiale di frizione a grana fine".*

Su questi campioni, appena descritti, sono state effettuate le seguenti analisi:

- Determinazione Peso di volume, Contenuto d'acqua e Velocità ultrasonica;
- Prova di compressione monoassiale (UCS);
- Prova di compressione a carico concentrato (PLT);
- Prova di compressione triassiale;
- Prova di resistenza a trazione indiretta (BTS).

I risultati di queste prove sono riportati nelle tabelle seguenti.

Sondaggio					Peso di volume, contenuto d'acqua											
SEB1	Informazioni generali				Peso di volume naturale						Peso di volume secco					
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	altezza	massa	volume	densità	Peso di volume	diametro	altezza	massa	volume	densità	Peso di volume	Contenuto d'acqua
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[gr]	[m3]	[gr/cm3]	[kN/m3]	[mm]	[mm]	[gr]	[m3]	[gr/cm3]	[kN/m3]	[%]
CR3	9.1	9.5	9.3	41	87.6	310.1	0.00016	2.68	26.29	41	87.6	309.12	0.000116	2.67	26.21	0.32
CR4	14.5	14.7	14.6	78	164.1	2074.3	0.000784	2.65	25.94	78	164.1	2050.3	0.000784	2.61	25.64	1.17
CR5	16.6	17	16.8	41	87.4	310.56	0.000115	2.69	26.39	41	87.4	308.48	0.000115	2.67	26.22	0.67
CR6	19.3	19.9	19.6	78.2	163.9	2106	0.000787	2.68	26.24	78.2	163.9	2095.23	0.000787	2.66	26.1	0.51
CR7	23.3	23.5	23.4	78.2	164.7	2100.6	0.000791	2.66	26.04	78.2	164.7	2078.3	0.000791	2.63	25.76	1.07
CR8	27	27.4	27.2													
CR9	10.5	10.7	10.6	78.1	162.2	2066.6	0.000777	2.66	26.08	78.2	162.2	2051.2	0.000779	2.63	25.82	0.75

Tabella 11 –Peso di volume e contenuto d'acqua su campioni rocciosi – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Sondaggio											
SEB1	Informazioni generali				Prova di compressione monoassiale						
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	Diametro	Altezza	Superficie	Carico di rottura σ1	Modulo tangente 50%	Modulo secante 50%	v
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm2]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
CR3	9.1	9.5	9.3	41							
CR4	14.5	14.7	14.6	78	78	164.1	48.52	11.37	13523	12104	0.27
CR5	16.6	17	16.8	41							
CR6	19.3	19.9	19.6	78.2	78.2	163.9	48.52	94.14	27341	29900	0.31
CR7	23.3	23.5	23.4	78.2	78.2	164.7	48.52	16.4	16338	14145	0.2
CR8	27	27.4	27.2								
CR9	10.5	10.7	10.6	78.1	78.1	162.2	48.52	55.11	20326	22191	0.15

Tabella 12 –Prova di compressione monoassiale (UCS) su campioni rocciosi – “Contesto finestra imbocco Sciorba”

Sondaggio					Velocità ultrasonica										
SEB1	Informazioni generali				V_p			V_s							
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	Distanza	tempo	Velocità	Distanza	tempo	Velocità	E_0	E_0/10	Modulo di taglio	v	Modulo volumetrico
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[µsec]	[m/sec]	[mm]	[µsec]	[m/sec]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]
CR3	9.1	9.5	9.3	41											
CR4	14.5	14.7	14.6	78											
CR5	16.6	17	16.8	41											
CR6	19.3	19.9	19.6	78.2	163.9	35	4683	163.9	58.8	2787	50953	5095.3	20786	0.23	30952
CR7	23.3	23.5	23.4	78.2	164.7	50.8	3242	164.7	77.2	2133	27029	2702.9	12086	0.12	11798
CR8	27	27.4	27.2												
CR9	10.5	10.7	10.6	78.1	162.2	38.3	4235	16.2	61.2	2650	44018	4401.8	18682	0.18	22791

Tabella 13 – Velocità ultrasonica su campioni rocciosi – “Contesto finestra imbocco Sciorba”

Sondaggio									
SEB1	Informazioni generali				Prova di compressione triassiale				
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	Diametro	Altezza	σ3	P	σ1
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[kN]	[MPa]
CR3	9.1	9.5	9.3	41	41	87.6	1	152.7	115.66
					41	87.2	2	174.3	132.02
					41	87.4	2.5	189.08	143.21
CR4	14.5	14.7	14.6	78					
CR5	16.6	17	16.8	41	41	87.4	1	183.3	138.84
					41	88.7	2	158.8	120.28
					41	86.8	4	174.3	132.02
CR6	19.3	19.9	19.6	78.2					
CR7	23.3	23.5	23.4	78.2					
CR8	27	27.4	27.2						
CR9	10.5	10.7	10.6	78.1	41	83	0.5	128.2	97.1
					41	82.5	1	129.1	97.78
					41	82.2	1.3	133.5	101.12

Tabella -14 – Prova di compressione triassiale – “Contesto finestra imbocco Sciorba”

Sondaggio													
SEB1	Informazioni generali				Prova di resistenza a trazione indiretta								
Campione	Intervallo Z		Z	diametro	Campione	Profondità	Diametro	Altezza	P	σt	Valor medio	Dev.st.	Varianza
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[-]	[m]	[mm]	[mm]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]
CR3	9.1	9.5	9.3	41									
CR4	14.5	14.7	14.6	78									
CR5	16.6	17	16.8	41									
CR6	19.3	19.9	19.6	78.2	CR6-A	19.6	78.2	38.8	50	10.49	11.08	0.83	0.35
					CR6-B	19.6	78.2	37.4	53.6	11.67			
CR7	23.3	23.5	23.4	78.2									
CR8	27	27.4	27.2										
CR9	10.5	10.7	10.6	78.1									

Tabella 0-15 – Prova di resistenza a trazione indiretta (BTS) – “Contesto finestra imbocco Sciorba”

Point Load test	Sondaggio	Campioni	Profondità media	N° prova	Distanza tra i punzoni	Diametro equivalente	Carico misurato	Is	Is (50)	k_50	σc	Media σc	sqm σc
	[-]	[-]	[m]	[-]	[mm]	[mm]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
PERPENDICOLARE RISPETTO AL PIANO DI DEBOLEZZA	SEB1	CR3	9.3	1	44	66,1	14,0	3.2	3.63	16	58.08	48	25
	SEB1	CR5	16.8	2	60	77,2	18,0	3.02	3.67	16	58.72		
	SEB1	CR6	19.6	3	45	66,9	17,5	3.92	4.46	16	71.36		
	SEB1	CR7	23.4	4	40	63,0	16,0	4.03	4.47	16	71.52		
	SEB1	CR8	27.2	5	43	65,3	19,0	4.45	5.02	16	80.32		
	SEB1	CR8	27.2	6	39	62,2	13,0	3.36	3.7	16	59.2		
	SEB1	CR8	27.2	7	45	66,9	9,0	2.01	2.3	14	32.2		
	SEB1	CR8	27.2	8	51	71,2	5,0	0.99	1.16	14	16.24		
	SEB1	CR8	27.2	9	56	74,6	6,5	1.17	1.4	14	19.6		
	SEB1	CR8	27.2	10	42	64,6	4,5	1.08	1.21	14	16.94		
	[-]	[-]		[-]	[mm]	[mm]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]		
PARALLELO RISPETTO AL PIANO DI DEBOLEZZA	SEB1	CR3	9.3	1	78	78	6	0.99	1.2	14	16.8	10	11
	SEB1	CR5	16.8	2	78	78	13	2.14	2.61	14	36.54		
	SEB1	CR6	19.6	3	78	78	5.5	0.9	1.1	14	15.4		
	SEB1	CR7	23.4	4	78	78	5	0.82	1	14	14		
	SEB1	CR8	27.2	5	78	78	1.5	0.25	0.3	14	4.2		
	SEB1	CR8	27.2	6	78	78	2	0.33	0.4	14	5.6		
	SEB1	CR8	27.2	7	78	78	0.5	0.08	0.1	14	1.4		
	SEB1	CR8	27.2	8	78	78	0.6	0.1	0.12	14	1.68		
	SEB1	CR8	27.2	9	78	78	0.4	0.07	0.08	14	1.12		
	SEB1	CR8	27.2	10	78	78	0.8	0.13	0.16	14	2.24		

Tabella -16 – Prova di compressione a carico concentrato (IPL) – “Contesto finestra imbocco Sciorba”

Si riportano, le informazioni contenute nelle tabelle appena riportate, in forma grafica.

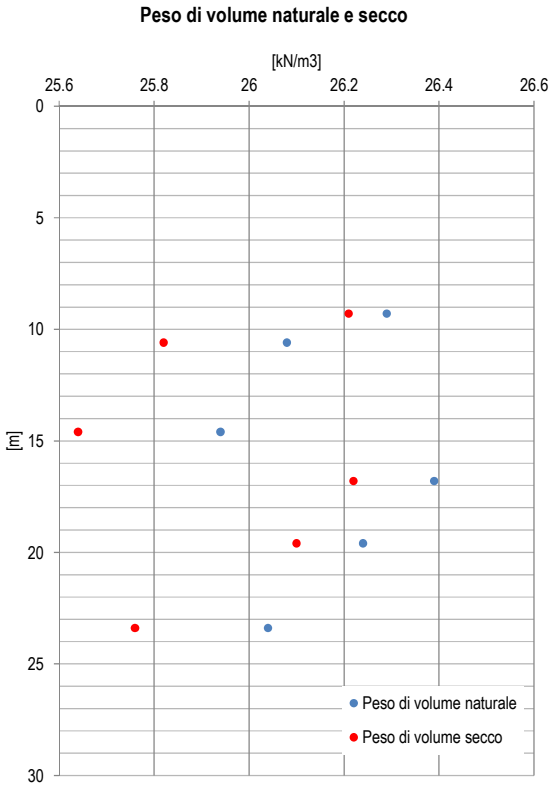


Figura -17 – Peso di Volume naturale e secco – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

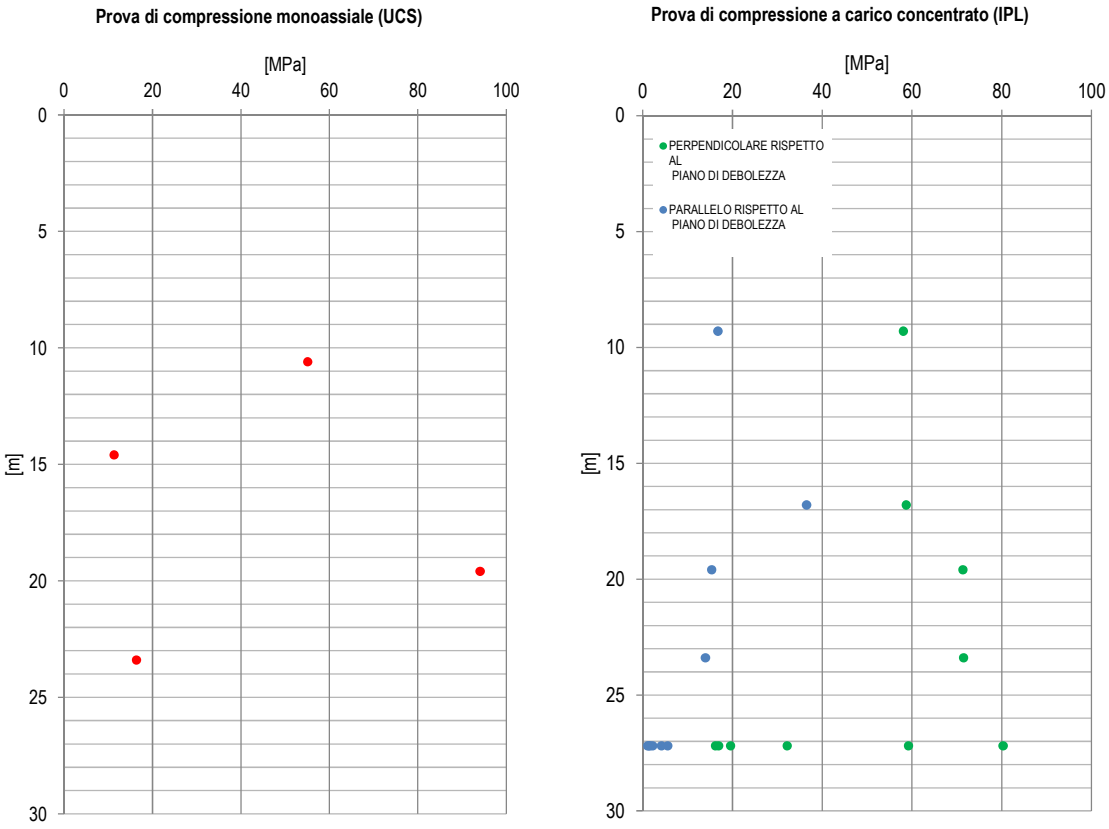
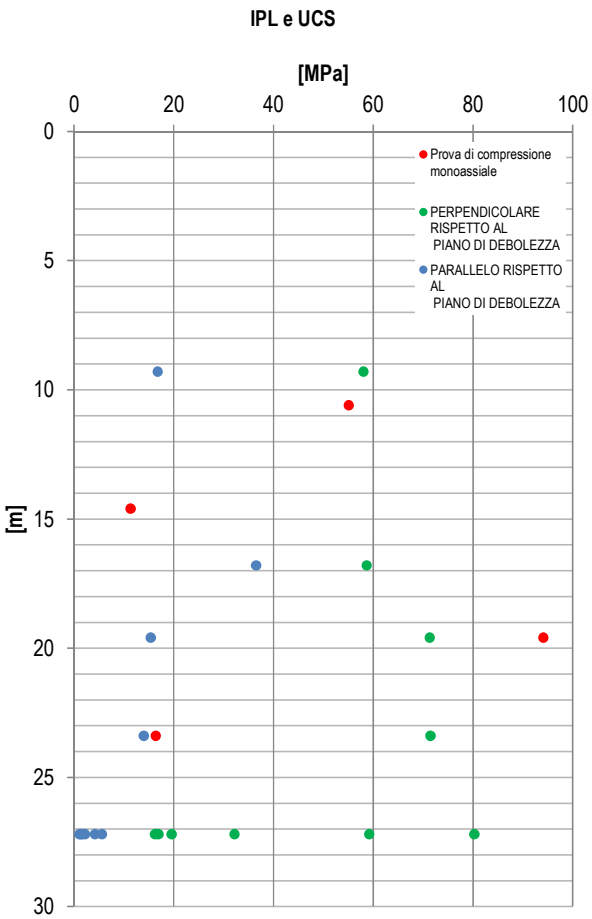


Figura 18 – Prova UCS e Prova IPL – "Contesto finestra imbocco Sciorba"



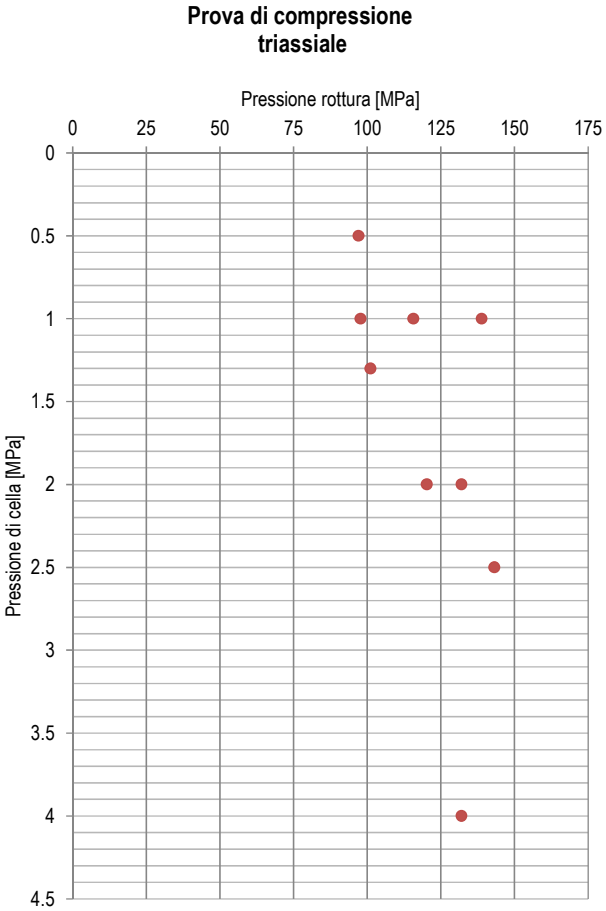


Tabella -19 – Prova UCS, Prova IPL e Prova Triassiale – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

il valore medio dello stesso parametro (σ_{ci}), è stato ricavato dall'interpretazione delle prove IPL ed UCS precedentemente riportate sia in forma grafica che in forma tabellare. Il valore medio, risulta pari a 30 [MPa],

	σ_c			GSI		
Formazione	Range [Mpa]	media [Mpa]	sqm [Mpa]	Range [Mpa]	media [Mpa]	sqm [Mpa]
Cappellaccio						
Substrato	15 – 35	30	2.64	30 – 50	40	1.87

Tabella 20 – Quadro sintesi Caratterizzazione matrice rocciosa – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Deformabilità dell'ammasso

Avendo già valutato il Modulus Ratio (MR) relativo alla formazione in questione (FMA), durante l'analisi dei sondaggi pregressi del PD 2007, è possibile procedere con la valutazione del parametro deformativo relativo a questo contesto ("Imbocco finestra Sciorba"). Associando il valore del GSI ad una data profondità con il valore σ_c alla stessa profondità, è possibile risalire al valore di E_{rm} modulo deformativo dell'ammasso.

Profondità	σ litostatica	Sondaggio	Litologia	MR	GSI	UCS	E_i	Erm
[m]	[Mpa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Mpa]	[Gpa]	[Gpa]
8.5	0.221	SEB1	Calcari marnosi	400	42	30	12	2196
9.5	0.247	SEB1	Calcari marnosi	400	48	30	12	3257
10.5	0.273	SEB1	Calcari marnosi	400	48	30	12	3257
11.5	0.299	SEB1	Calcari marnosi	400	32	15	6	556
12.5	0.325	SEB1	Calcari marnosi	400	32	15	6	556
13.5	0.351	SEB1	Calcari marnosi	400	48	35	14	3800
14.5	0.377	SEB1	Calcari marnosi	400	42	35	14	2561
15.5	0.403	SEB1	Calcari marnosi	400	37	20	8	1040
16.5	0.429	SEB1	Calcari marnosi	400	42	20	8	1464
17.5	0.455	SEB1	Calcari marnosi	400	37	20	8	1040
18.5	0.481	SEB1	Calcari marnosi	400	51	40	16	5218
19.5	0.507	SEB1	Calcari marnosi	400	51	35	14	4566
20.5	0.533	SEB1	Calcari marnosi	400	46	35	14	3343
21.5	0.559	SEB1	Calcari marnosi	400	46	35	14	3343
22.5	0.585	SEB1	Calcari marnosi	400	30	20	8	651
23.5	0.611	SEB1	Calcari marnosi	400	46	35	14	3343
24.5	0.637	SEB1	Calcari marnosi	400	40	35	14	2235
25.5	0.663	SEB1	Calcari marnosi	400	48	35	14	3800
26.5	0.689	SEB1	Calcari marnosi	400	48	35	14	3800
27.5	0.715	SEB1	Calcari marnosi	400	48	35	14	3800
28.5	0.741	SEB1	Calcari marnosi	400	37	35	14	1820
29.5	0.767	SEB1	Calcari marnosi	400	42	35	14	2561

Tabella 21 – Caratterizzazione del parametro E_{rm} – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

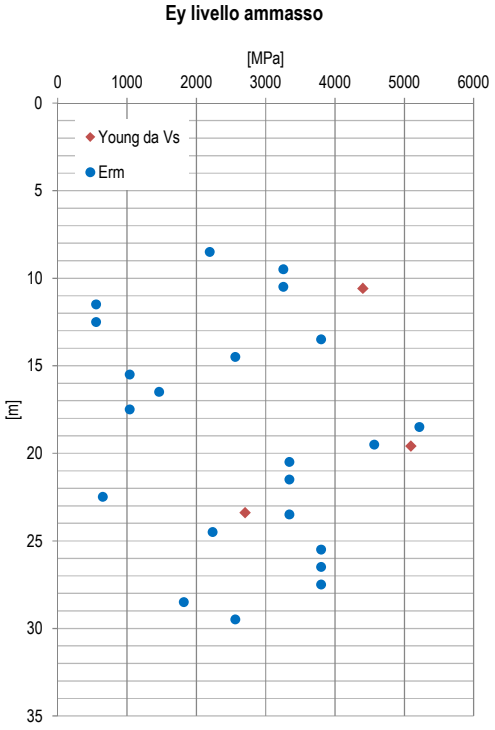


Figura -22 – Confronto parametri di deformabilità (da Vs ed E_{rm}) – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Si riportano di seguito, la planimetria contenente l'ubicazione delle traverse sismiche ed il sondaggio SEB1 e, di seguito, la sezione con il sondaggio sovrapposto.

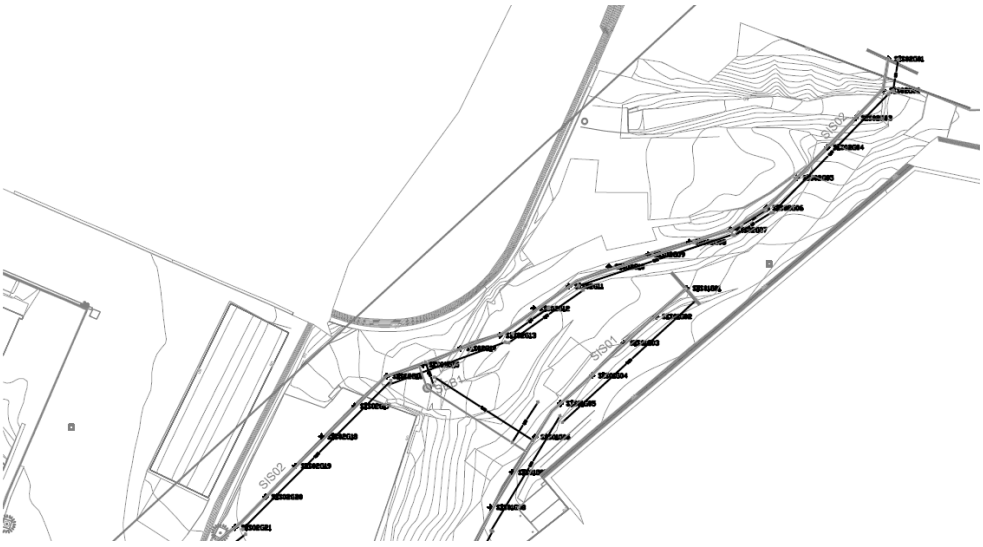


Figura 23 – Planimetria Sondaggio SEB1 e traverse sismice SIS01 e SIS02 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

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

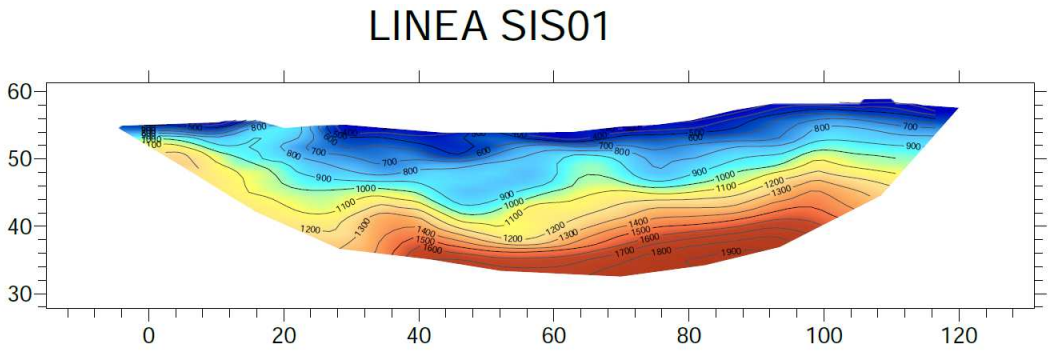


Figura -24 –Elaborazione tomografica prova sismica a rifrazione linea SIS01 – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

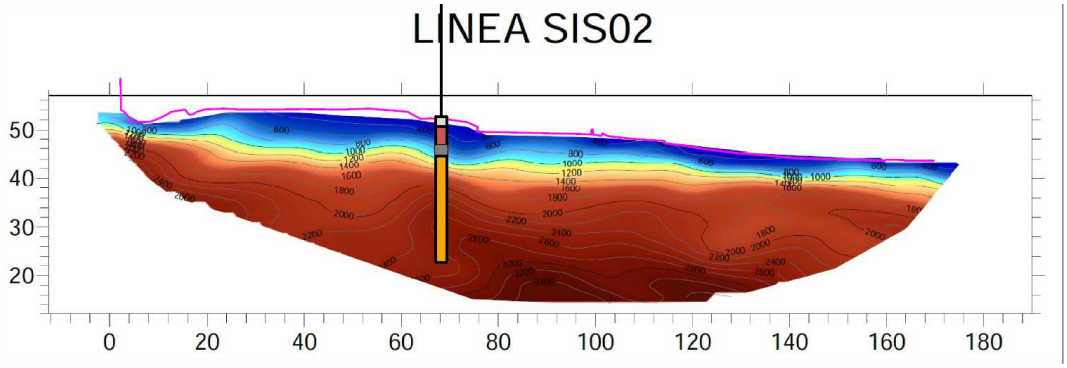


Figura -25 – Sovrapposizione sondaggio SEB1 ai risultati della prova sismica a rifrazione linea SIS02– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

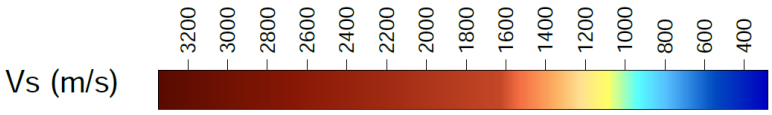


Figura -26 – Elaborazione tomografica relativa alle Vs stendimento sismico SIS01

Si è scelto di sovrapporre i dati relativi al sondaggio sulla traversa SIS01 perché più vicina e dunque più rappresentativa. Si riporta di seguito la tabella contenente l'interpretazione della prova a rifrazione in esame.

profondità [m]	Vs [m/s]	γ [kN/m³]	G_0 [MPa]	v	E_0 [MPa]	**E [MPa]**	E/5 [MPa]	E/3 [MPa]	E/2 [MPa]
8.5	800	26	1696	0.25	4241	**424**	848	1414	2120
9.5	900	26	2147	0.25	5367	**537**	1073	1789	2683
10.5	1000	26	2650	0.25	6626	**663**	1325	2209	3313
11.5	1200	26	3817	0.25	9541	**954**	1908	3180	4771
12.5	1300	26	4479	0.25	11198	**1120**	2240	3733	5599
13.5	1800	26	8587	0.25	21468	**2147**	4294	7156	10734
14.5	1800	26	8587	0.25	21468	**2147**	4294	7156	10734
15.5	2000	26	10601	0.25	26504	**2650**	5301	8835	13252
16.5	2200	26	12828	0.25	32069	**3207**	6414	10690	16035
17.5	2400	26	15266	0.25	38165	**3817**	7633	12722	19083
18.5	2400	26	15266	0.25	38165	**3817**	7633	12722	19083
19.5	2500	26	16565	0.25	41412	**4141**	8282	13804	20706
20.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
21.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
22.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
23.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
24.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
25.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
26.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
27.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
28.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396
29.5	2600	26	17916	0.25	44791	**4479**	8958	14930	22396

Tabella 0-27 – Interpretazione prova a rifrazione – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

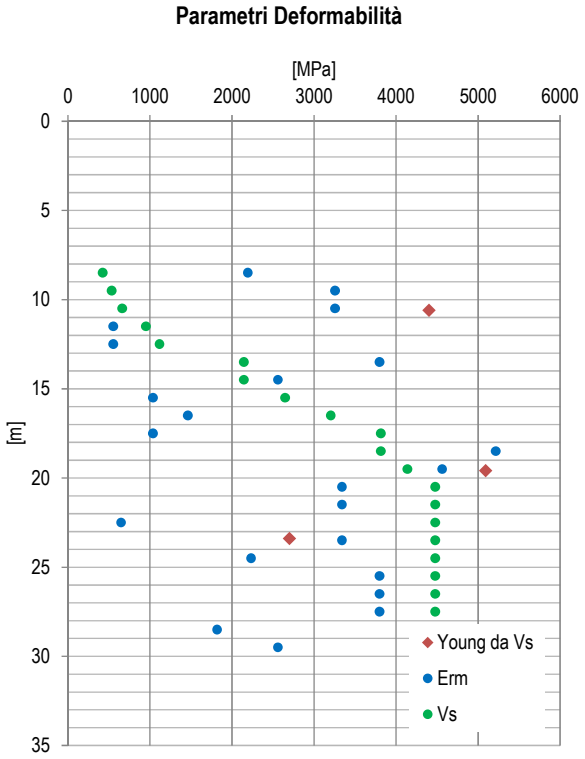


Figura -28 – Confronto Modulo deformativo d'ammasso ricavato dall'interpretazione della prova sismica a rifrazione, con la formula di Diederichs– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Sono disponibili, inoltre, le informazioni derivanti dalla prova dilatometrica di cui di seguito si riportano i risultati.

Moduli Dilatometrici E_{FDT}						
Ciclo	Intervallo di pressioni		Trasduttore diametrale n°1 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 2 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 3 (MPa)	Valore medio (MPa)
N°	Mpa		Primo carico			
1	0,45	2,04	14389	12591	9157	11622
2	2,02	4,44	12265	14601	11356	12601
3	4,44	8,48	13125	11633	13834	12797
			Carico			
2	0,42	4,44	13766	12127	12423	12733
3	0,43	8,48	17000	14166	16190	15692
			Ricarico			
2	0,42	2,02	16894	9653	14480	12940
3	0,43	4,44	24196	18147	19543	20324
			Scarico 30-70 %			
1	0,83	1,64	25659	20527	25659	23686
2	1,22	3,62	33791	25343	27647	28511
3	2,04	6,84	30412	28964	35779	31461

Figura 0-29 – Valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

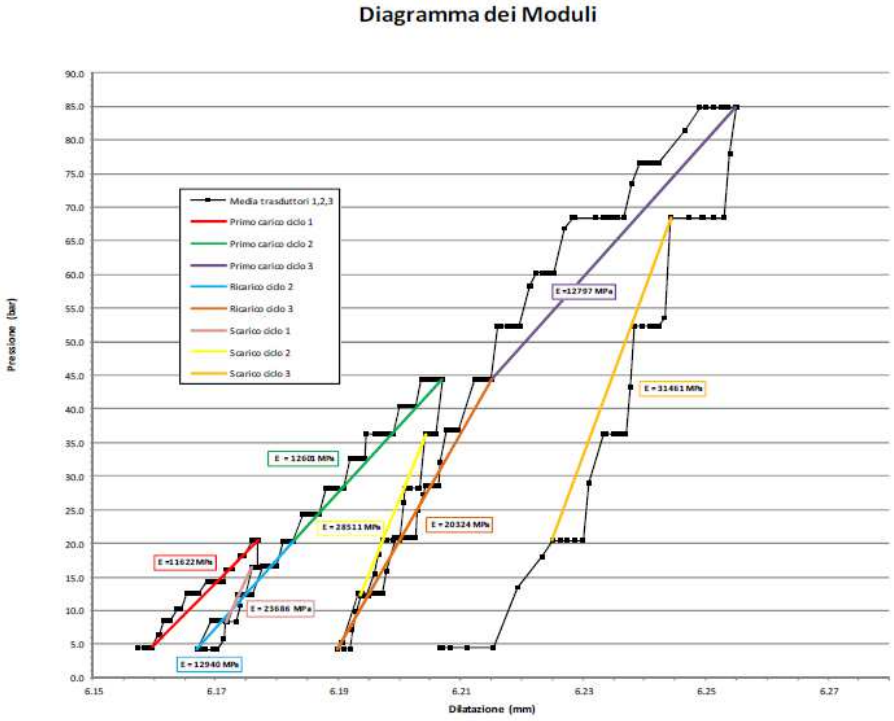


Figura 0-30 – Grafico Dei moduli dilatometrici E_{FDT} – "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Di seguito il grafico relativo ai moduli Dilatometrici in funzione della profondità.

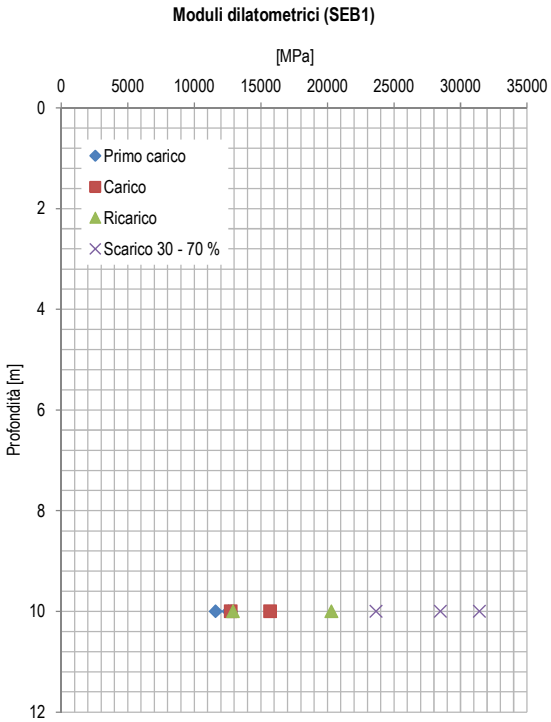


Figura 0-31 – Grafico Dei moduli dilatometrici E_{FDT} in funzione della profondità– "Contesto finestra imbocco Sciorba"

Intervallo Profondità					Parametri di progetto						
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	mi	UCS	GSI	MR	E	v
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[-]	[Mpa]	[-]	[-]	[Mpa]	[-]
7.5	8.5	8	-	Cappellaccio di alterazione roccioso attribuibile a Calcari marnosi molto fratturati	25	12	10	25	400	250	0.25
8.5	Fondo foro	-	CR3 ;CR9 CR4 ;CR6; CR7; CR8	Formazione FMA	26	12	30	40	400	1500	0.25

Tabella 32 – Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica – "Contesto finestra imbocco Sciorba.

Permeabilità dell'ammasso

All'interno del foro di sondaggio SEB1, è stata condotta una prova di permeabilità Lugeon per la determinazione della conducibilità idraulica del mezzo. I risultati sono riepilogati alla tabella che segue.

Sondaggio	n° prova	Profondità	Profondità base	Unità geologica corrispondente	K (media 5 gradini)
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[m/s]
SEB1	1	14.5 – 18.4	18.4	Substrato	7.784E-07

Tabella 84 – Rapporto prova di permeabilità Lugeon (Sondaggio SEB1)

ALLEGATO 3

Caratterizzazione Flysch Monte Antola (FMA) – contesto Via Adamoli

Sondaggi di Riferimento

Le informazioni raccolte per effettuare la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi sono riferite ai seguenti sondaggi

- SEB2 relativo al PE 2017 relativo al Progetto esecutivo del secondo lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in comune di Genova;
- SEB2bis relativo al PE 2017 relativo al Progetto esecutivo del secondo lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in comune di Genova;
- S6D relativo al PD 2007.
- S7D relativo al PD 2007

Classificazione geomeccanica dell'ammasso

Dall'analisi dell'RQD(%) associato alle carote e sulla base della qualità geomeccanica dell'ammasso restituita dai sondaggi, è stato ricavato il valore del GSI in funzione della profondità.

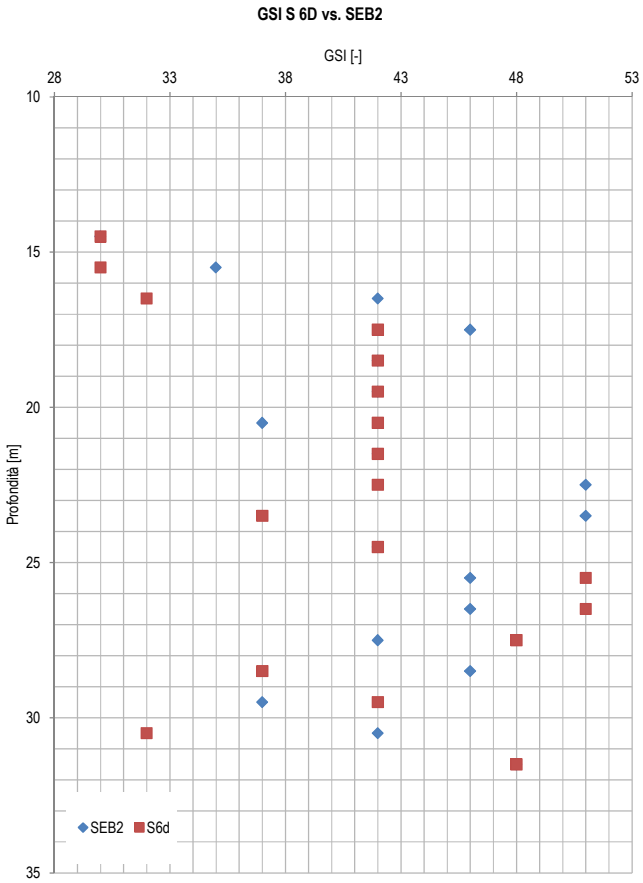


Figura-1 – Valori del GSI sondaggi SEB2 e S6D in funzione della profondità – "Contesto Via Adamoli"

Caratterizzazione della matrice rocciosa

Dal sondaggio SEB2, sono stati prelevati 4 campioni di roccia:

- CR8
- CR9
- CR10
- CR11

Si riportano di seguito, le foto di tali campioni con le relative descrizioni.



Figura -2 – Fotografia Cassetta 5 (SEB2) con, indicato, campione CR8 – "Contesto Via Adamoli"

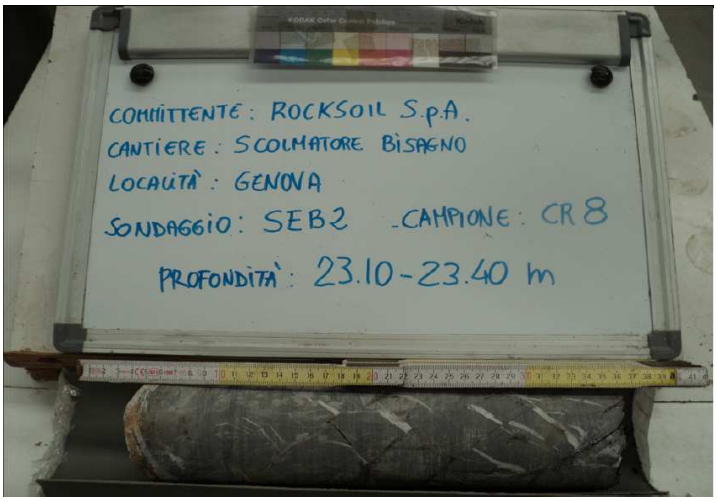


Figura 0-3 – Fotografia campione CR8 – "Contesto Via Adamoli"

Descrizione del campione CR8:

- *"Calcare marnoso fratturato a causa di sistemi di discontinuità parzialmente serrati inclinati di circa 35°, con superfici lucide, mediamente alterate e rivestite da patine mineralogiche a calcite e da materiale argilloso in scaglie".*

Per quanto riguarda i campioni CR9 CR10:



Figura-4 – Fotografia Cassetta 6 (SEB2) con, indicati, campioni CR9 e CR10 – "Contesto Via Adamoli"



Figura -5 – Campione CR9 Sondaggio SEB2 – "Contesto Via Adamoli"



Figura -6 – Campione CR10 Sondaggio SEB2 – "Contesto Via Adamoli"

Descrizione del campione CR9:

- "*Campione suddiviso in tre spezzoni, eterogeneo, destrutturato e fratturato, costituito nella porzione di alto da marna argillosa, nella porzione mediana da siltite calcarea a laminazione convolluta e da calcare marnoso nella porzione di basso. Il campione è interessato da svariate vene sigillate da calcite e da un sistema di discontinuità inclinate di circa 65° con superfici lucide, mediamente alterate e rivestite da patine mineralogiche a calcite e da materiale argilloso in scaglie".*

Descrizione del campione CR10:

- *"Marna calcarea destrutturata e fratturata a causa di una discontinuità sub orizzontale e di un sistema di discontinuità parzialmente serrate, talvolta beanti, inclinate di circa 45°, con superfici lucide, mediamente alterate e rivestite da patine mineralogiche a calcite e da materiale argilloso in scaglie. Campione caratterizzato da vene sigillate da calcite inclinate di circa 45°".*

Sui campioni appena descritti relativi al sondaggio SEB2 del PE 2017, è stata effettuata la seguente analisi:

- Prova di compressione a carico concentrato (IPL).

Dal sondaggio S6D, sono stati prelevati i seguenti campioni:

- Campione 18.2 – 18.4 metri
- Campione 22.1 – 22.3 metri
- Campione 24.5 – 24.8 metri



Figura -7 – Fotografia Cassetta 4 (S6D) con, indicato, campione "18.2 – 18.42" – "Contesto Via Adamoli"

Descrizione del campione "18.2 – 18.4 metri":

- "*Calcare marnoso. Colore grigio".*

Per quanto riguarda i campioni "22.1 – 22.3 metri" e "24.5 – 24.8 metri":



Figura -8 – Fotografia Cassetta 5 (S6D) con, indicato, campione "22.1 – 22.3" e "24.5 – 24.8" – "Contesto Via Adamoli"

Descrizione del campione "22.1 – 22.3 metri":

- "*Calcare marnoso. Colore grigio".*

Descrizione del campione "24.5 e 24.8 metri":

- *"Calcare marnoso"*

Dal sondaggio S7D, sono stati prelevati i seguenti campioni:

- Campione 14.4 – 14.7 metri
- Campione 16.1 – 16.3 metri
- Campione 18.8 – 19 metri



Figura 0-9 – Fotografia Cassetta 3 (S7D) con, indicato, campione “14.4 – 14.7” – “Contesto Via Adamoli”

Descrizione del campione “14.4 – 14.7 metri”:

- *“Calcare marnoso. Colore grigio”*

Per quanto riguarda i campioni “16.1 – 16.3 metri” e “18.8 - 19 metri”:



Figura-10 – Fotografia Cassetta 4 (S7D) con, indicato, campione “16.1 – 16.3” e “18.8 - 19” – “Contesto Via Adamoli”

Descrizione del campione “16.1 – 16.3 metri”:

- “*Calcare marnoso con vene calcitiche. Colore grigio”*

Descrizione del campione "18.8 - 19 metri":

- *Calcare marnoso con venature calcitiche"*

Sui campioni appena descritti, relativi ai sondaggi S6D e S7D del PD 2007, sono state effettuate le seguenti analisi:

- Determinazione Peso di volume
- Prova di compressione monoassiale (UCS) con controllo di deformazione.

Per l'analisi del peso di volume è necessario basarsi solamente sulle informazioni relative ai sondaggi S6D e S7D del PD 2007 riportate nelle tabelle seguenti.

sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]
S 6D	18.2	Calcare Marnoso	FMA	26.08
S 6D	22.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21
S 6D	24.5	Calcare Marnoso	FMA	25.55

sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]
S 7D	14.4	Calcare Marnoso	FMA	25.55
S 7D	16.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21
S 7D	18.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.55

Tabella 11 – Peso di volume da sondaggi S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli"

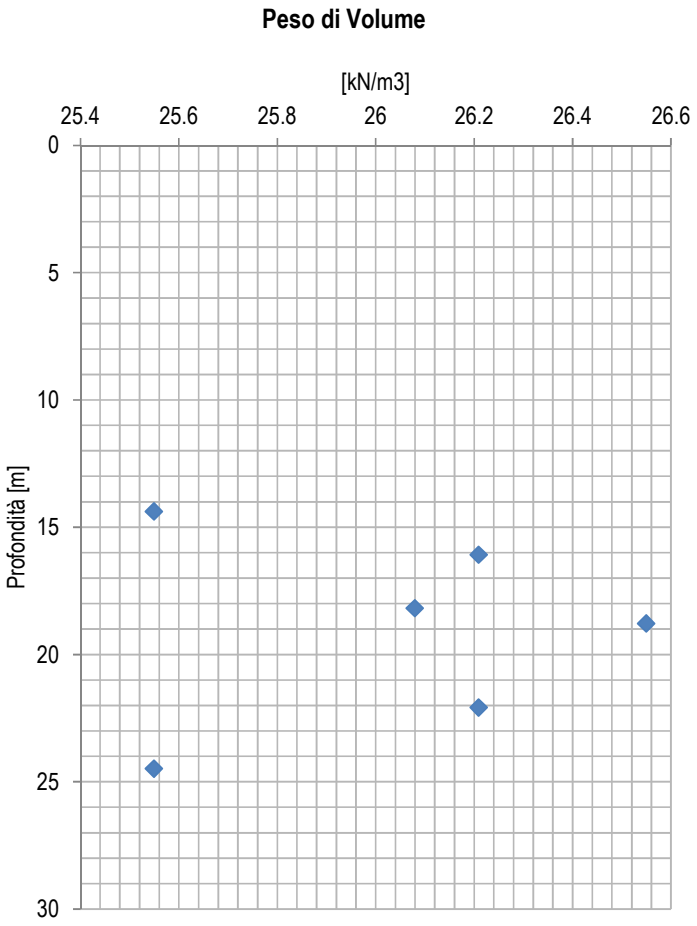


Figura -12 – Grafico di volume da sondaggi S6D e S7D – "Contesto Via Adamoli"

Per quanto riguarda le informazioni relative al sondaggio SEB2, queste, come prima accennato, si limitano alle risultanze relative alla prova di POINT LOAD TEST, i cui dati sono riportati nella tabella seguente.

Sondaggio	**SEB2**													
	Point Load test	Sondaggio	Campioni	Profondità media	N° prova	Distanza tra i punzoni	Diametro equivalente	Carico misurato	Is	Is (50)	k_50	σc	Media σc	sqm σc
		[-]	[-]	[m]	[-]	[mm]	[mm]	[kN]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
PERPENDICOLARE RISPETTO AL PIANO DI DEBOLEZZA	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	1	64	79.7	8.5	1.34	1.65	14	23.1	**28**	**16**
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	2	47	68.3	3.5	0.75	0.86	14	12.04		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	3	44	66.1	13	2.97	3.37	14	47.18		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	4	38	61.4	9.5	2.52	2.76	14	38.64		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	5	51	71.2	10	1.97	2.31	14	32.34		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	8	43	65.3	7	1.64	1.85	14	25.9		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	9	53	72.6	2.6	0.49	0.58	14	8.12		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	10	45	66.9	6.5	1.45	1.66	14	23.24		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	1	54	73.2	3.5	0.65	0.77	14	10.78		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	2	43	56.3	5	1.17	1.32	14	18.48		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	3	47	68.3	3.4	0.73	0.84	14	11.76		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	4	53	77.6	10.5	1.99	2.36	14	33.04		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	5	50	70.5	13	2.62	3.06	14	42.84		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	6	42	64.6	15	3.6	4.04	16	64.64		
PARALLELO RISPETTO AL PIANO DI DEBOLEZZA	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	6	48	69	0.6	0.13	0.15	14	2.1	**15**	**10**
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	7	40	63	4.8	1.21	1.34	14	18.76		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	1	78	78	10	1.64	2.01	14	28.14		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	2	78	78	6	0.99	1.2	14	16.8		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	3	78	78	7.5	1.23	1.51	14	21.14		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	4	78	78	5	0.82	1	14	14		
	SEB2	CR8	23.1 - 23.4	23.25	5	78	78	8.5	1.4	1.71	14	23.94		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	6	78	78	0.8	0.13	0.16	14	2.24		

	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	7	78	78	7	1.15	1.41	14	19.74		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	8	78	78	1.4	0.23	0.28	14	3.92		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	9	78	78	2.5	0.41	0.5	14	7		
	SEB2	CR9	25.7 - 26	25.85	10	78	78	0.6	0.1	0.12	14	1.68		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	1	78	78	2.4	0.39	0.48	14	6.72		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	2	78	78	4.5	0.74	0.9	14	12.6		
	SEB2	CR10	28.1 - 28.3	28.2	3	78	78	3.4	0.56	0.68	14	9.52		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	4	78	78	10	1.64	2.01	14	28.14		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	5	78	78	9	1.48	1.81	14	25.34		
	SEB2	CR11	29 - 29.5	29.25	6	78	78	12	1.97	2.41	14	33.74		

Tabella-13 – Prova di compressione a carico concentrato (IPL) – "Contesto Via Adamoli"

Per quanto riguarda le prove effettuate sui sondaggi S6D e S7D, si riportano le seguenti tabelle, dove sono contenute anche le interpretazioni riferite ai moduli Ey a livello della matrice.

					UCS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 6D	18.2	Calcare Marnoso	FMA	26.08	39.62				
S 6D	22.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21	23.39				
S 6D	24.5	Calcare Marnoso	FMA	25.55	57.8	0.268	0.18	13.4	12.65

					UCS				
sondaggio	Profondità	Note	FORMAZIONE	Peso di Volume	σc	v(50%) PE 2017	v(50%) PD2007	E(50%) 2017	E(50%) PD2007
[-]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[Mpa]	[-]	[-]	[Gpa]	[Gpa]
S 7D	14.4	Calcare Marnoso	FMA	25.55	15.5				
S 7D	16.1	Calcare Marnoso	FMA	26.21	18.13				
S 7D	18.8	Calcare Marnoso con vene calcitiche	FMA	26.55	15.38	0.33	0.28	6	6.51

Tabella 0-14 – Prova di compressione monoassiale con controllo di deformazione (UCS) – "Contesto Via Adamoli"

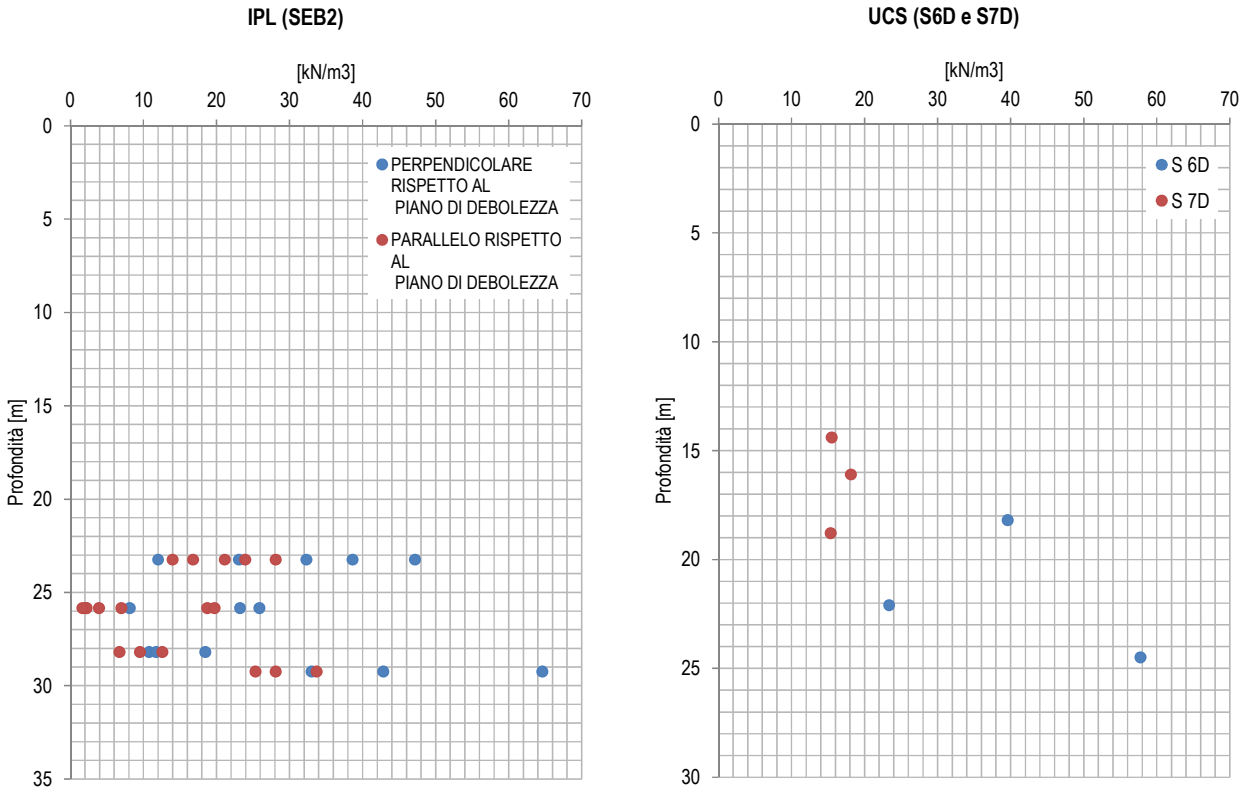


Figura -15 – Prova UCS (Sondaggi S6D e S7D) e Prova IPL (Sondaggio SEB2) – "Contesto Via Adamoli"

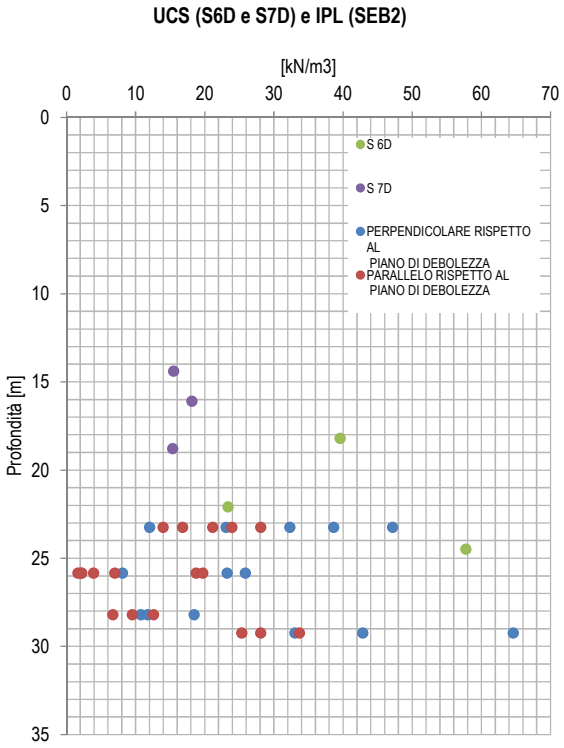


Figura -16 – Confronto Prova UCS (Sondaggi S6D e S7D) e Prova IPL (Sondaggio SEB2) – "Contesto Via Adamoli"

il valore medio del parametro (σ_{ci}), è stato ricavato dall'interpretazione delle prove IPL ed UCS precedentemente riportate sia in forma grafica che in forma tabellare. Il valore medio, risulta pari a 20 [MPa].

	σ_c			GSI		
Formazione	Range	media	sqm	Range	media	sqm
	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]
Cappellaccio						
Substrato	15 – 25	20	2.64	30 – 50	40	1.87

Tabella 17 – Quadro sintesi Caratterizzazione matrice rocciosa – "Contesto Via Adamoli"

Deformabilità dell'ammasso

Associando il valore del GSI ad una data profondità con il valore σ_c alla stessa profondità, è possibile risalire al valore di E_{rm} modulo deformativo dell'ammasso.

Substrato							
Profondità	Sondaggio	Formazione	MR	GSI	UCS	E_i	Erm
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Mpa]	[Gpa]	[Gpa]
11.5	SEB2	FMA	400	30	10	4	326
12.5	SEB2	FMA	400	35	10	4	454
13.5	SEB2	FMA	400	42	20	8	1464
14.5	SEB2	FMA	400	46	20	8	1910
15.5	SEB2	FMA	400	42	20	8	1464
16.5	SEB2	FMA	400	42	20	8	1464
17.5	SEB2	FMA	400	37	20	8	1040
18.5	SEB2	FMA	400	42	20	8	1464
19.5	SEB2	FMA	400	51	20	8	2609
20.5	SEB2	FMA	400	51	20	8	2609
21.5	SEB2	FMA	400	42	20	8	1464
22.5	SEB2	FMA	400	46	20	8	1910
23.5	SEB2	FMA	400	46	25	10	2388
24.5	SEB2	FMA	400	42	25	10	1830
25.5	SEB2	FMA	400	46	25	10	2388
26.5	SEB2	FMA	400	37	25	10	1300
27.5	SEB2	FMA	400	42	25	10	1830
28.5	SEB2	FMA	400	48	25	10	2714

Tabella 18 – Caratterizzazione del parametro E_{rm} – "Contesto Via Adamoli"

In tale contesto, è stata effettuata un'indagine sismica: la prova Cross-hole.

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.

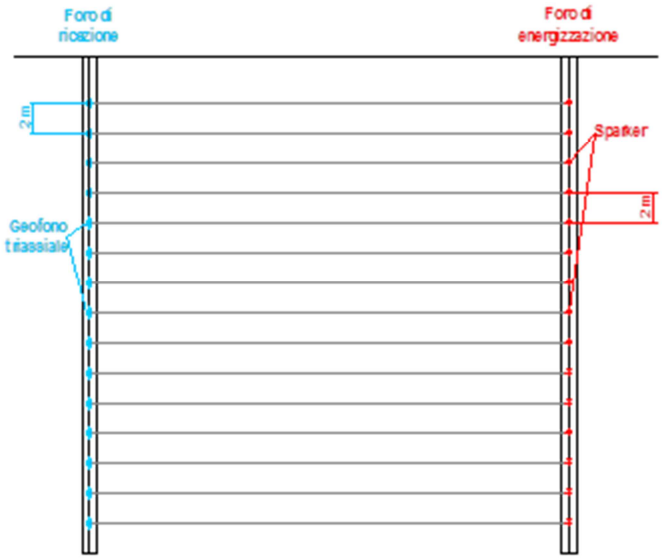


Figura -19 – Schema esemplificativo della geometria di acquisizione prova Cross-hole

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-20 – Rapporto prova cross-hole per il sondaggio SIS02

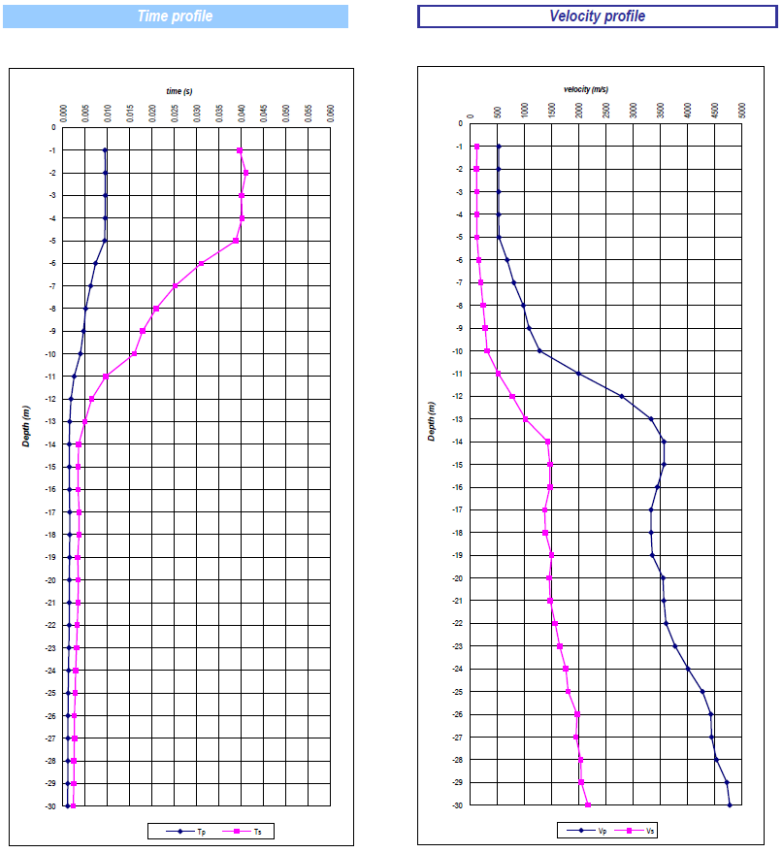


Figura 21 – Profili dei tempo e delle velocià delle onde di compressione e di taglio relative alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

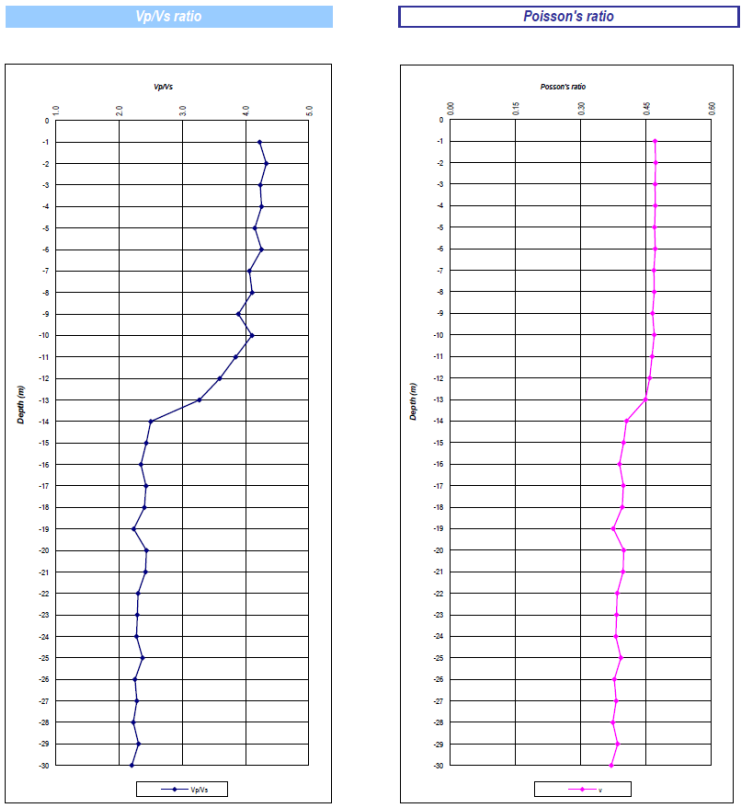


Figura -22 – Profili Vp/Vse e Coefficiente di Poisson relativi alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

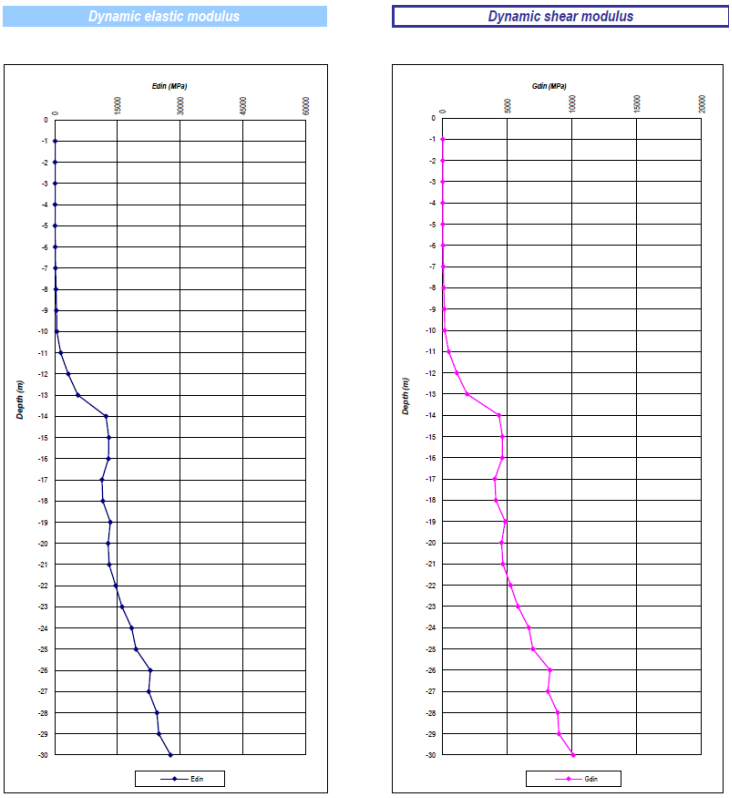


Figura 23 – Profili Modulo elastico dinamico e modulo di taglio dinamico relativi alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

Per quanto riguarda i risultati in forma grafica:

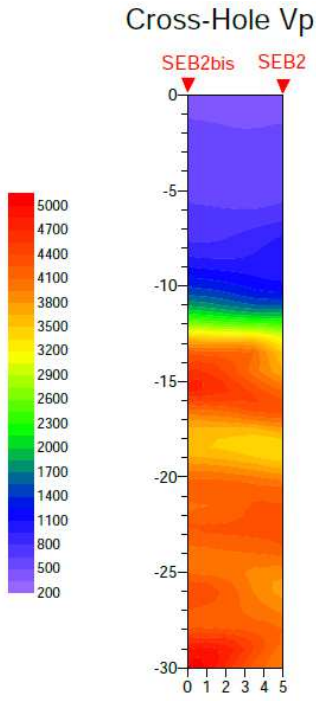


Figura-24 – Andamento Velocità onde di compressione relativo alla Prova Cross-hole del sondaggio SEB2

I risultati derivanti da questa prova, sono riportati nella tabella seguente:

profondità [m]	Vs [m/s]	γ [kN/m3]	v	v hp	E0 [MPa]	E0 v 0.3 [MPa]	Edin [Mpa]	E_0/10 [MPa]	E_0/10 ni hp [MPa]	Descrizione [-]	Profodnità [m]
11	778	25	0.46	0.25	4504	3856	3240	450	386	Cappellaccio	-11.5
12	1020	25	0.45	0.25	7689	6628	5534	769	663	Cappellaccio	-12.5
13	1429	26	0.4	0.25	15154	13530	12274	1515	1353	Cappellaccio	-13.5
14	1471	26	0.4	0.25	16058	14337	12943	1606	1434	Cappellaccio	-14.5
15	1471	26	0.39	0.25	15943	14337	12859	1594	1434	Substrato	-15.5
16	1375	26	0.4	0.25	14030	12527	11305	1403	1253	Substrato	-16.5
17	1389	26	0.39	0.25	14215	12783	11521	1422	1278	Substrato	-17.5
18	1504	26	0.37	0.25	16427	14988	13305	1643	1499	Substrato	-18.5
19	1461	26	0.4	0.25	15840	14143	12773	1584	1414	Substrato	-19.5
20	1476	26	0.4	0.25	16167	14435	13033	1617	1444	Substrato	-20.5
21	1569	26	0.38	0.25	18008	16311	14576	1801	1631	Substrato	-21.5
22	1650	26	0.38	0.25	19915	18039	16111	1992	1804	Substrato	-22.5
23	1765	26	0.38	0.25	22788	20641	18401	2279	2064	Substrato	-23.5
24	1806	26	0.39	0.25	24032	21611	19437	2403	2161	Substrato	-24.5
25	1970	26	0.38	0.25	28389	25714	22885	2839	2571	Substrato	-25.5
26	1950	26	0.38	0.25	27815	25195	22487	2782	2519	Substrato	-26.5
27	2039	26	0.37	0.25	30192	27547	24452	3019	2755	Substrato	-27.5
28	2050	26	0.38	0.25	30741	27845	24898	3074	2785	Substrato	-28.5
29	2173	26	0.37	0.25	34291	31287	27702	3429	3129	Substrato	-29.5

Tabella 25 – Interpretazione prova Cross-hole – “Contesto Via Adamoli”

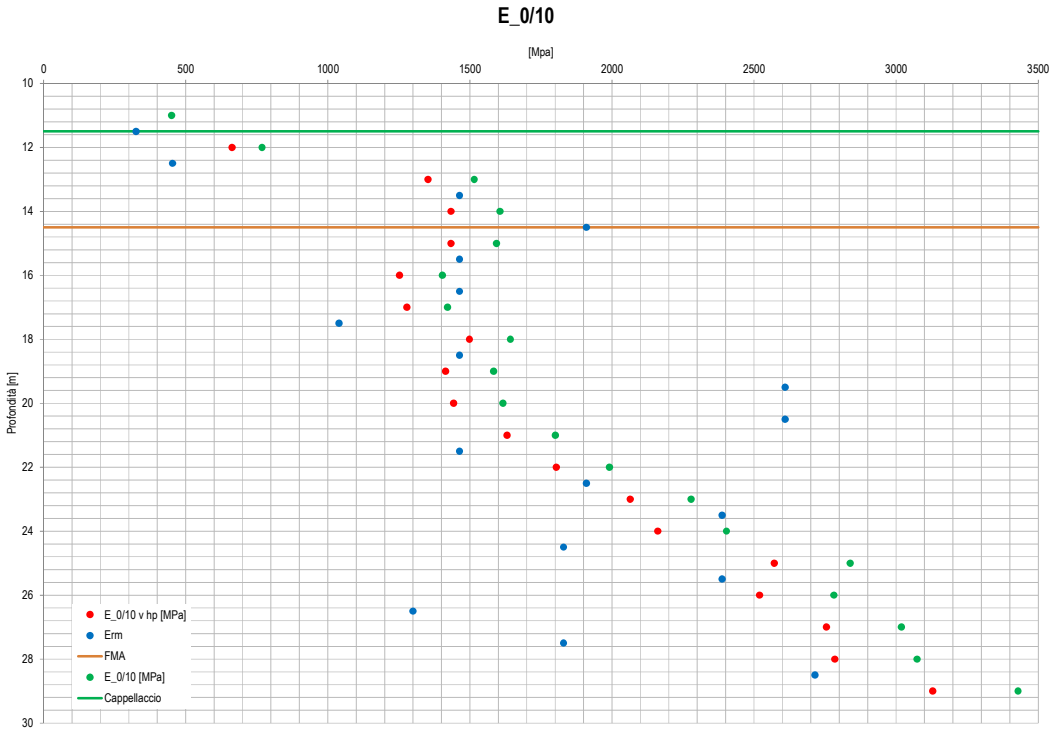


Figura 0-26 – Andamento E_{rm} dell'ammasso confrontato con E_y ricavato dalla prova Cross-hole – Contesto Via Adamoli

Sono disponibili, inoltre, i risultati relativi alla prova dilatometrica eseguita nel foro del sondaggio SEB2 alla profondità di 23.5 metri (quota del centro prova).

Moduli Dilatometrici E_{FDT}						
Ciclo	Intervallo di pressioni		Trasduttore diametrale n°1 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 2 (MPa)	Trasduttore diametrale n° 3 (MPa)	Valore medio (MPa)
N°	Mpa		Primo carico			
1	0,62	2,23	10306	7634	6649	7927
2	2,22	4,62	8779	9037	8779	8863
3	4,63	8,63	11380	10669	10242	10744
			Carico			
2	0,61	4,62	9686	8556	9334	9167
3	0,60	8,63	13014	12239	12239	12487
			Ricarico			
2	0,61	2,22	11451	7928	10306	9662
3	0,60	4,63	15176	14333	15176	14884
			Scarico 30-70 %			
1	1,05	1,81	16218	13901	16218	15364
2	1,42	3,81	30603	23541	23541	25502
3	2,22	7,02	26722	23639	23639	24585

Figura 0-27 – Valori dei moduli dilatometrici E_{FDT} – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

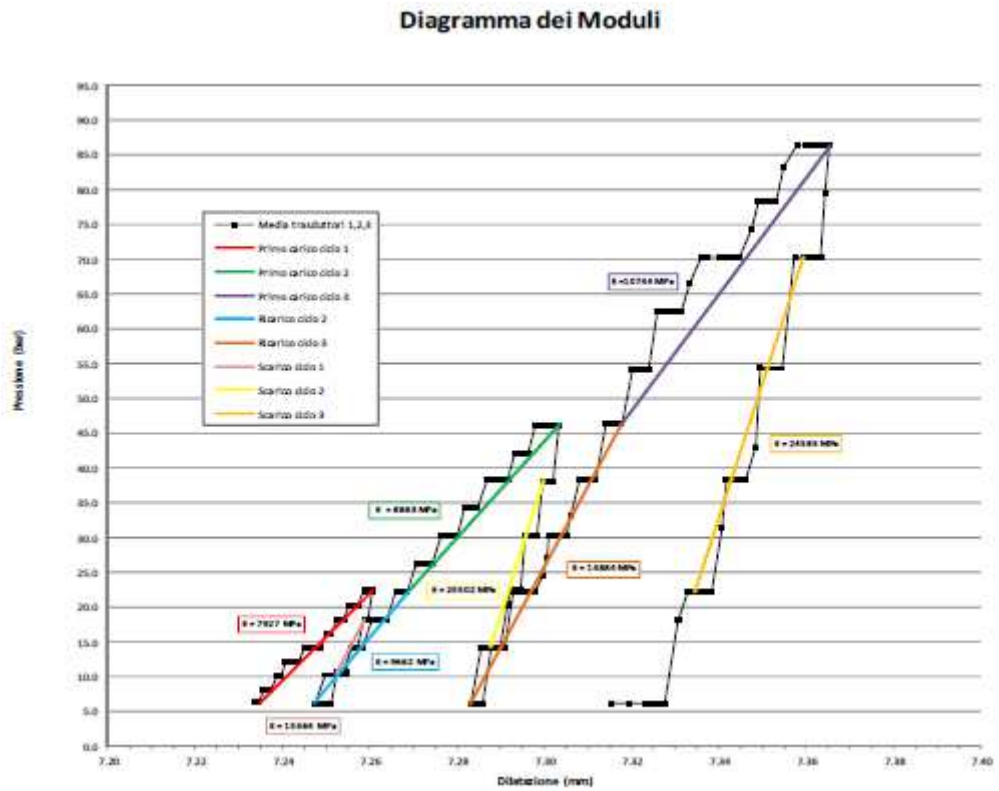


Figura 0-28 – Grafico Dei moduli dilatometrici E_{FDT} – "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Di seguito, il grafico relativo ai moduli Dilatometrici in funzione della profondità.

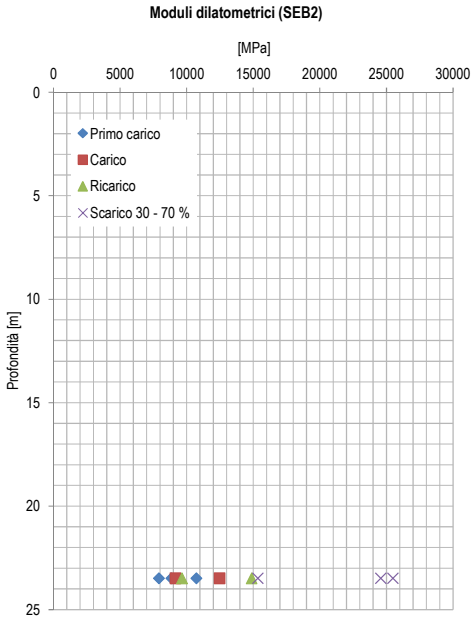


Figura 0-29 – Grafico Dei moduli dilatometrici E_{FDT} in funzione della profondità– "Contesto Via Adamoli ed alveo Bisagno"

Intervallo Profondità					Parametri di progetto						
da	a	media	Campione corrispondente	Descrizione stratigrafica	γ	mi	UCS	GSI	MR	E	v
[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m3]	[-]	[Mpa]	[-]	[-]	[Mpa]	[-]
11.5	14.5	13	-	Cappellaccio di alterazione roccioso attribuibile a Calcari marnosi molto fratturati	25	12	20	30	400	200-400	0.25
14.5	Fondo foro	-	CR8, CR9, CR10, CR11	Formazione FMA	26	12	30	40	400	1200	0.25

Tabella 30 – Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica – "Contesto Via Adamoli"