

Accordo con Regione Liguria, Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure
Occidentale e Comune di Genova del 14/10/2021

SVINCOLO DI PEGLI ADEGUAMENTO VIABILITA' DI COLLEGAMENTO CON S.S.1

PROGETTO DEFINITIVO

SVINCOLO PEGLI

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO Ing. Marco D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano N. A20155 Responsabile Geotecnica all'aperto	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Stefano Francia Ord. Ingg. Genova N. 5895	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Piero Bongio Ord. Ingg. Sondrio N. A538 T.A. - Geologia e Geotecnica
--	---	---

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	-
T0903	LL02	PD	DG	GTA	00000	00000	R	GTA	0001	00	SCALA -

	ENGINEER COORDINATOR: Ing. Stefano Francia Ord. Ingg. Genova N. 5895	SUPPORTO SPECIALISTICO: 	REVISIONE	
	REDATTO:	VERIFICATO:	n. 00	data FEBBRAIO 2023

VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Luciano Bertilone	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili <small>DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE E I SISTEMI INFORMATIVI</small>
---	--

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 NORMATIVE.....	4
2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.3 DOCUMENTI DI PROGETTO	4
3. SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	5
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3.1.1 <i>Serpentiniti di San Carlo di Cese</i>	5
3.1.2 <i>Calcescisti della Val Branega</i>	5
3.1.3 <i>Argille di Ortovero</i>	5
3.1.4 <i>Depositi alluvionali e di riporto antropico</i>	6
3.1.5 <i>Brecce tettoniche</i>	6
4. RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE	7
4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI	8
4.1.1 <i>Sondaggio SVP1</i>	8
4.1.2 <i>Sondaggio SVP2</i>	9
4.1.3 <i>Sondaggio SVP4</i>	10
4.1.4 <i>Sondaggio SVP5</i>	11
4.2 PROVE GEOTECNICHE IN SITU	12
4.2.1 <i>Prove SPT</i>	12
4.2.2 <i>Prova pressiométrica in foro di sondaggio</i>	14
4.2.3 <i>Prova di permeabilità Lefranc in foro di sondaggio</i>	14
4.2.4 <i>Valori di RQD dei calcescisti e del relativo cappellaccio di alterazione</i>	15
4.3 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	16
5. INQUADRAMENTO SISMICO	22
6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	27
7. MODELLO GEOTECNICO-GEOMECCANICO E CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	32
7.1 MODELLO GEOTECNICO-GEOMECCANICO E DEFINIZIONE DELLE UNITÀ.....	32
7.1.1 <i>Dati idrogeologici</i>	35
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA	36
8.1 UNITÀ GEOTECNICA R-COP	37
8.1.1 <i>Valori N_{spt}</i>	37
8.1.2 <i>Angolo d'attrito efficace</i>	37
8.1.3 <i>Modulo di deformazione</i>	39
8.1.4 <i>Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'</i>	40
8.2 UNITÀ GEOTECNICA DA.....	41
8.2.1 <i>Peso di Volume Naturale</i>	41
8.2.2 <i>Valori N_{spt}</i>	42
8.2.3 <i>Angolo d'attrito efficace</i>	43
8.2.4 <i>Modulo di deformazione</i>	44
8.2.5 <i>Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'</i>	46
8.2.6 <i>Prova di taglio diretto e residuo</i>	47
8.3 UNITÀ GEOTECNICA ORV	48
8.3.1 <i>Peso di Volume Naturale</i>	49
8.3.2 <i>Valori N_{spt}</i>	50
8.3.3 <i>Angolo d'attrito efficace</i>	51
8.3.4 <i>Modulo di deformazione</i>	52
8.3.5 <i>Coesione non drenata Cu</i>	53
8.3.6 <i>Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'</i>	55

8.3.7	Prova di taglio diretto e residuo.....	56
8.4	UNITÀ GEOTECNICA CAP	57
8.4.1	Geological Strength Index (GSI)	57
8.4.2	Resistenza alla compressione uniassiale.....	58
8.4.3	Modulo elastico roccia intatta (Ei).....	60
8.4.4	Peso di Volume Naturale.....	61
8.4.5	Elaborazione e analisi attraverso i criteri di classificazione Mohr-Coulomb e Hoek-Brown	61
8.4.6	Resistenza a trazione indiretta (Prova brasiliana)	62
8.4.7	Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'	62
8.5	UNITÀ GEOTECNICA BR-TET	64
8.5.1	Peso di Volume Naturale.....	64
8.5.2	Valori N _{spt}	65
8.5.3	Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'	65
8.5.4	Prova di taglio diretto e residuo.....	67
8.6	UNITÀ GEOTECNICA BR-SERP	69
8.6.1	Valori N _{spt}	69
8.6.2	Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'	69
8.7	UNITÀ CS	70
8.7.1	Geological Strength Index (GSI)	71
8.7.2	Resistenza alla compressione uniassiale.....	71
8.7.3	Modulo elastico roccia intatta (Ei).....	73
8.7.4	Peso di Volume Naturale.....	74
8.7.5	Elaborazione e analisi attraverso i criteri di classificazione Mohr-Coulomb e Hoek-Brown	75
8.7.6	Resistenza a trazione indiretta (Prova brasiliana)	75
9.	PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	77
9.1	UNITÀ GEOTECNICA R-COP	77
9.2	UNITÀ GEOTECNICA DA.....	78
9.3	UNITÀ GEOTECNICA ORV	79
9.4	UNITÀ GEOTECNICA CAP	80
9.5	UNITÀ GEOTECNICA BR-TET	80
9.6	UNITÀ GEOTECNICA BR-SERP	81
9.7	UNITÀ GEOTECNICA CS	81

1. INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica è redatta nell'ambito del Progetto definitivo di un nuovo collegamento diretto tra la rampa di accesso al casello autostradale di Pegli e la S.S. 1 Aurelia, nelle immediate vicinanze della sponda sinistra idrografica del torrente Varenna.

Tale collegamento sarà realizzato per mezzo di un primo tratto a cielo aperto e sviluppo elicoidale che permetterà di abbassare il piano stradale e sottopassare, per mezzo di una galleria artificiale, l'attuale linea ferroviaria Genova – Ventimiglia, passata la quale, con leggera curva destrorsa, il collegamento riguadagnerà la quota del piano campagna confluenndo nella S.S.1 Aurelia grazie ad una rotonda di nuova realizzazione



Figura 1-1 – Vista dell'area e dell'intervento di cui è prevista la realizzazione

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE

Il progetto sarà sviluppato in conformità alla vigente normativa:

- DM 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 17/01/2018 – Circolare 21 gennaio 2019 n°7;

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito i documenti utilizzati come riferimento per la redazione della presente relazione.

Documentazione tecnica relativa a sondaggi geognostici appartenenti alla banca dati Comunale

Provincia di Genova – Piano di Bacino Ambiti 12 e 13:

- 1.] Carta geolitologica
- 2.] Carta geomorfologica
- 3.] Carta della suscettività al dissesto
- 4.] Carta Idrogeologica

Provincia di Genova – Piano di Bacino Torrente Varenna:

- 1.] Carta geolitologica
- 2.] Carta geomorfologica
- 3.] Carta della suscettività al dissesto
- 4.] Carta idrogeologica

2.3 DOCUMENTI DI PROGETTO

Si riportano di seguito i documenti di progetto utilizzati come riferimento per la redazione della presente relazione.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| - T0903-LL02-PD-DG-GEO-00000-00000-R-GEO-0001-00 | Relazione Geologica; |
| - T0903-LL02-PD-DG-GEO-00000-00000-R-GEO-0002-00 | Indagini Bibliografiche; |
| - T0903-LL02-PD-DG-GEO-00000-00000-D-GEO-0005-00
indagini geognostiche; | Carta geologica con ubicazione delle |
| - T0903-LL02-PD-DG-GTA-00000-00000-D-GTA-0002-00 | Profilo Geotecnico. |

3. SINTESI DEL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il Modello Geologico di Riferimento, per l'opera in progetto, è stato presentato e descritto nella specifica relazione geologica a cui si rimanda per i dettagli.

Di seguito quindi, ne verranno sintetizzati solamente i tratti salienti, a scopo propedeutico e col fine di presentare lo studio geotecnico-geomeccanico descritto nel prosieguo della presente relazione. Pertanto, per maggiori dettagli del suddetto modello, si rimanda la lettura dell'elaborato appena citato.

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio della costa ligure all'interno del quale si inserisce l'opera in progetto, è caratterizzato da una notevole complessità dal punto di vista geologico-strutturale, anche perché posto in prossimità della zona di raccordo tra la catena alpina e quella appenninica. Ciò, nonostante in anni recenti, a livello scientifico, si tenda ormai a considerare un'evoluzione orogenica continua nello sviluppo delle due suddette catene.

Sta di fatto tuttavia, che l'asse vallivo del Polcevera divida due diversi gruppi di unità tettoniche tra le quali, solo quelle occidentali rappresentano scaglie di crosta oceanica e di mantello che hanno raggiunto, a seguito della collisione continentale tra la placca Europea e quella Apula e della successiva subduzione, condizioni metamorfiche di alta pressione e bassa temperatura.

Viceversa, le unità tettoniche flyschoidi del Cretaceo superiore, presenti ad est della valle del Polcevera, sono state coinvolte nell'orogenesi solamente a livelli crostali più elevati, avendo raggiunto al massimo un grado metamorfico basso o bassissimo.

Più in dettaglio, il settore di substrato roccioso interessato dalla realizzazione dell'opera in progetto, fa parte dell'unità tettono-metamorfica Palmaro - Caffarella costituita, in generale, da meta-ofioliti e dalle corrispondenti coperture meta-sedimentarie.

Le varie formazioni appartenenti all'unità tettono-metamorfica Palmaro Caffarella, interessate dalla realizzazione dell'opera in progetto, sono elencate e brevemente descritte nel seguito.

3.1.1 Serpentiniti di San Carlo di Cese

Le serpentiniti di San Carlo di Cese, nei dintorni dell'area oggetto di studio, raggiungono la base del versante ligure costiero, solamente, in corrispondenza della stretta vallecchia del rio Molinassi. Verso ovest, a ridosso del contatto con le unità più occidentali, affiorano diffusamente ad una distanza di almeno 1,5km dalla costa e, nelle immediate retrovie di Miltedo, in sinistra idrografica del torrente Varenna, affiorano a quota non inferiore a 50-70m all'interno della stretta incisione del rio Razzara sotto la Torre Pratolungo.

Sono rappresentate mediamente da serpentiniti a lizardite e crisotilo, parzialmente o del tutto sostituiti da antigorite, sebbene sia frequente la presenza di relitti mineralogici e/o tessiturali di lherzoliti (meta-peridotiti a olivina e due pirosseni).

Per questa formazione sono descritti inoltre affioramenti di meta-brecce formate da clasti più o meno arrotondati e eterometrici di serpentiniti, interpretate come meta-oficalciti, vale a dire prodotti metamorfici di originarie brecce di fondo oceanico. L'età presunta è compresa tra il Dogger e il Malm.

3.1.2 Calcescisti della Val Branega

I calcescisti affiorano, a differenza delle serpentiniti qui sopra descritte, in maniera abbastanza diffusa su tutto il settore del versante costiero tra Sestri Ponente e Voltri. Sono costituiti da alternanze di scisti quarzo-micacei più o meno calcariferi, calcescisti, micascisti e marmi cristallini o più o meno impuri. Le variazioni percentuali reciproche tra calcite, quarzo e minerali fillosilicatici (prevalentemente clorite), determinano la transizione tra calcescisti, micascisti sino end-members più o meno puri di marmi e quarziti: si tratta di un layering metamorfico che ha determinato alternanze tra i suddetti litotipi a scala millimetrica se non addirittura sub-millimetrica.

Sono descritte altresì, associate a livelli arricchiti in clorite, inclusioni grafitiche, legate a pseudomorfosi (in associazione con anche quarzo e calcite) su originali, granati, lawsoniti ed epidoti.

Dal punto di vista strutturale, sono presenti scistosità legate a diverse generazioni di fasi deformative, la loro età presunta dovrebbe essere compresa tra il Giurassico superiore e il Cretaceo Superiore.

3.1.3 Argille di Ortovero

Direttamente al di sopra delle unità tettoniche sin-orogeniche qui sopra descritte, nell'area in studio sono presenti le Argille plioceniche di Ortovero, rappresentate da alternanze stratificate di argille marnoso-sabbiose, marne, siltiti e arenarie fini, talora con elevata presenza di sostanza organica, di colore dal grigio-azzurro al giallastro. La base di questa formazione è segnata da un livello a breccie e conglomerati, testimone della trasgressione marina sul preesistente substrato roccioso, mentre, in corrispondenza dei livelli più superficiali, le suddette alternanze risultano alterate in limi sabbiosi con argilla di colore ocra e sottili livelli sabbiosi.

La carta geologica del PUC (Piano Urbanistico Comunale) di Genova, a differenza del nuovo foglio CARG n. 213-230 di Genova, segnala il (sub-)affioramento delle Argille plioceniche, in destra idrografica dello sbocco del torrente Varenna sulla piana costiera. Più in generale, i sedimenti di questa formazione affiorano all'interno di graben di estensione ridotta, delimitati da faglie sub-parallele alla linea di costa, pertanto, attualmente, i relativi areali d'affioramento appaiono alquanto localizzati e disposti lungo direttrici orientate circa ENE-WSW.

3.1.4 Depositi alluvionali e di riporto antropico

I depositi quaternari poggianti sulle argille plioceniche o, più frequentemente, direttamente sul substrato roccioso, sono rappresentati da depositi alluvionali, depositi eluvo-colluviali oppure da terreni di riporto antropico (identificabili questi ultimi da laterizi, frammenti lapidei e di conglomerato cementizio).

A causa del contesto fortemente urbanizzato della costa ligure ed, in particolare, del territorio comunale del capoluogo regionale, risulta estremamente complesso - se non impossibile nel dettaglio - porre limiti tra le suddette tipologie di terreni.

In generale, tuttavia, i depositi alluvionali mostrano granulometrie mediamente più fini rispetto ai riporti antropici: quest'ultimi infatti, presentano più frequentemente clasti e frammenti di roccia (oltre che di laterizi) prevalenti rispetto alla matrice fine, mentre nei depositi alluvionali la matrice fine limoso-argilloso risulta generalmente più abbondante, con pezzature maggiori che, normalmente, non superano quella delle ghiaie.

3.1.5 Breccie tettoniche

I sondaggi eseguiti nel corso dell'attuale fase di progettazione definitiva e, in particolare, i sondaggi SVP4 ed SVP5, hanno attraversato potenti orizzonti di terreni interpretati come breccie tettoniche. Tali breccie, prodottesi a scapito delle breccie serpentinitiche e dei calcescisti, sono verosimilmente legate ad una struttura fagliava che disloca e oblitera i rapporti tra le due suddette formazioni del substrato roccioso



Figura 3-1 – Schema tettonico del nuovo foglio CARG 213-230 Genova: (1) Depositi tardo-posto orogenici, (2) Unità tettonica Antola, (3) Unità tettonica Ronco, (4) Unità tettonica Montanesi, (5) Unità tettonica Mignanego, (6) Unità tettono-metamorfica Figogna, (7) Unità tettono-metamorfica Cravasco-Voltaggio, (8) Unità tettono-metamorfica Gazzo-

Isoverde, (9) Unità tettono-metamorfica Palmaro-Caffarella, (10) Unità tettono-metamorfica Voltri, (11) Unità tettono-metamorfica Angassino-Terma, (12) Unità tettono-metamorfica Arenzano

4. RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica non sono state eseguite indagini geognostiche specifiche, tutte le informazioni riguardanti il settore di sottosuolo interessato dall'opera in progetto, sono state ricavate dal Repertorio Cartografico del Geoportale Regione Liguria.

Per questo motivo, nel corso dell'attuale fase di progettazione definitiva, è stato indispensabile programmare una serie di indagini geotecniche in situ e di prove di laboratorio, al fine:

1. di fugare le significative incognite di carattere geologico-tecnico rimaste irrisolte nell'ambito delle conclusioni della progettazione preliminare,
2. d'approfondire più in generale le conoscenze relative all'assetto litostratigrafico dell'area
3. di caratterizzare, sotto il profilo geotecnico e geomeccanico, i terreni e le rocce interessate dal progetto in studio, con un dettaglio che sia proprio dell'attuale fase di progettazione.

La campagna indagini realizzata è stata quindi articolata secondo quanto di seguito riportato.

- Indagini in sito:
 - Esecuzione di n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, due nel settore Nord dell'opera in progetto (SVP1 e SVP2, rispettivamente di 30 e 40 m di profondità), due in quello Sud (SVP4 e SVP5, rispettivamente di 30 e 25 m di profondità);
 - Esecuzione di n. 26 prove SPT di cui, n. 6 durante la perforazione del sondaggio SVP1, n. 4 nell'SVP2, n. 8 nell'SVP4, n. 8 nell'SVP5;
 - n. 2 prove di permeabilità Lefranc, una ciascuna nei fori di sondaggio SVP4 e SVP5;
 - n. 1 prova pressiometrica nel foro di sondaggio SVP5
- Indagini di laboratorio su terreni:
 - n. 39 analisi granulometriche (inclusa l'analisi con aerometro della frazione fine) con attribuzione della denominazione UNI oltre alla classe di appartenenza in accordo alle classificazioni USCS e CNR-UNI;
 - n.39 determinazioni dei limiti di Atterberg;
 - n. 2 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata, con determinazione delle proprietà e caratteristiche fisiche quali contenuto d'acqua, peso di volume naturale, peso specifico dei grani etc.
 - n. 9 prove di taglio diretto e residuo, con determinazione delle proprietà e caratteristiche fisiche quali contenuto d'acqua, peso di volume naturale, peso specifico dei grani etc.
 - n. 2 prove di consolidazione edometrica, con determinazione delle proprietà e caratteristiche fisiche quali contenuto d'acqua, peso di volume naturale, peso specifico dei grani etc.
- Indagini di laboratorio su campioni in roccia:
 - n. 8 determinazioni del peso di volume e della velocità ultrasonica, incluso il calcolo del Modulo di Young, di quello di taglio, di quello volumetrico e del coefficiente di Poisson;
 - n. 8 prova a compressione uniassiale, incluso il calcolo del carico di rottura, del modulo tangente, di quello secante e del coefficiente di Poisson;
 - n. 90 prove a carico concentrato (Point Load Test), n.10 su ciascuno dei n. 9 campioni prelevati (n. 2 dal foro di sondaggio SVP1 e n. 7 dal foro di sondaggio SVP2);

Di seguito si elencano e descrivono i principali risultati ottenuti nelle diverse indagini eseguite, focalizzandosi principalmente sugli aspetti geotecnici e geomeccanici. Per maggiori dettagli, si rimanda il riferimento agli specifici risultati e ai certificati di prova, nel nonché alla relazione geologica, per una più completa analisi dei risultati dal punto di vista più strettamente geologico.

4.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Come anticipato nel precedente capitolo, a supporto dell'attuale fase di progettazione delle opere sono stati eseguiti n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

La perforazione del sondaggio SVP3 non è stata ancora completata, quando ciò avverrà, i relativi risultati verranno integrati in un successivo aggiornamento della presente relazione.

- Sondaggio SVP1, eseguito verticale nella via compresa tra i giardini Colandro e John Lennon, 5m circa a N del limite settentrionale del tracciato, e spinto sino alla profondità di 30m.
- Sondaggio SVP2, eseguito verticale all'interno dei giardini John Lennon, una decina di m a SE dei campi sportivi (all'interno dello sviluppo elicoidale del tracciato) e spinto sino alla profondità di 40m.
- Sondaggio SVP4, eseguito verticale una trentina di m a Sud dell'attuale linea ferroviaria (lungo l'ultimo tratto rettilineo del tracciato prima della rotonda di raccordo con la S.S.1 Aurelia) e spinto sino alla profondità di 30m.
- Sondaggio SVP5, eseguito verticale in corrispondenza della rotonda di raccordo con la S.S.1 Aurelia, 9 m circa a N dal punto centrale della rotonda stessa e spinto sino alla profondità di 25m.

4.1.1 Sondaggio SVP1

Il sondaggio SVP1 ha attraversato, sino a circa 3m di profondità, depositi eterogenei, mediamente grossolani, attribuiti a riporto antropico, successivamente, sino a 6,5 m di profondità, ha attraversato invece, depositi prevalentemente fini, abbondantemente limoso-argillosi, ma caratterizzati comunque da una frazione grossolona - soprattutto sabbiosa, subordinatamente ghiaiosa - non trascurabile.

Almeno ad una parte di questo secondo orizzonte di depositi, privi di chiari indizi di natura antropica, è stata attribuita una origine alluvionale. (si faccia riferimento, per maggiori dettagli, al capitolo relativo alla caratterizzazione geotecnica).

Tra 6,5 e 18m di profondità, il sondaggio SVP1 ha attraversato un orizzonte descritto nel relativo report stratigrafico come "calcescisti alterati" ed attribuito quindi al "cappellaccio" di alterazione superficiale del substrato roccioso: si segnala che i tre campioni prelevati in fase di esecuzione delle prove SPT, hanno restituito dei terreni sciolti, ricadenti nel gruppo A2-4, in accordo alla classificazione CNR-UNI.

Oltre la profondità i 18m e sino a fondo foro, il sondaggio ha attraversato calcescisti descritti come "friabili, più tenaci in profondità" e caratterizzati da una foliazione subverticale/subparallela all'asse delle carote oltre che da valori di RQD compresi tra 75 e 100%.

Tuttavia, tra 19,8 e 25,4m di profondità, i calcescisti sono risultati intensamente fratturati e permeati da abbondante argilla limosa nonché caratterizzati da valori di RQD scesi repentinamente tra 0 e 50.

In fase di caratterizzazione geotecnica, all'orizzonte del cappellaccio di alterazione lungo l'asse del sondaggio SVP1, è stato attribuito l'intero intervallo tra le profondità di 5 e 27m ca. a causa dei bassi valori di Modulo elastico ricavati dal campione prelevato a 26.2m di profondità.





Figura 4-1 – Foto delle carote estratte dal sondaggio SVP1, da sinistra a destra e dall'alto in basso, rispettivamente: all'interno dei depositi superficiali associati ai terreni di riporto, all'interno del "cappellaccio di alterazione", nei calcescisti intensamente fratturati ($0 < RQD < 50$) e permeati da abbondante frazione fine, argilloso-limosa ed, infine, in quelli sani, caratterizzati da buoni valori di RQD ($75 < RQD < 100$).

4.1.2 Sondaggio SVP2

Il sondaggio SVP2 ha attraversato una stratigrafia del sottosuolo molto simile a quella incontrata dall'SVP1.

Rispetto al sondaggio SVP1, i terreni eterogenei, prevalentemente grossolani, attribuiti a riporto di natura antropica, erano presenti, lungo l'asse dell'SVP2, solo sino a 2 metri di profondità. I successivi depositi fini sottostanti, sono risultati poi solo poco più abbondanti rispetto al sondaggio SVP1: sino a 3,5 m, la granulometria era al massimo sabbiosa, ma nei successivi 3m, anche in questo caso, la frazione ghiaiosa è apparsa non trascurabile. In questo caso, solo l'orizzonte presente tra 2 e 3,5m di profondità, è stato attribuito a depositi di natura alluvionale.

Successivamente, alla stessa profondità di 6,5 m del sondaggio SVP1, anche l'SVP2 ha incontrato il cappellaccio d'alterazione dei calcescisti, la potenza del quale tuttavia, è risultata decisamente meno importante, mantenendosi intorno a 3m e non superando i 9,5 m di profondità da bocca-foro (nell'interpretazione del profilo geologico-geotecnico, anche i terreni più grossolani presenti tra 3,5 e 6,5m di profondità sono stati interpretati come substrato roccioso estremamente alterato).

Da 9.5m di profondità e sino a fondo foro poi, il sondaggio SVP2 ha anch'esso attraversato calcescisti mediamente sani, descritti ancora come "friabili, più tenaci in profondità", caratterizzati qui addirittura, da valori di RQD quasi sempre compresi tra 90 e 100.

Gli orizzonti fratturati dei calcescisti, in corrispondenza dell'SVP2, appaiono decisamente più ridotti e caratterizzati da un grado di fratturazione mediamente meno intenso (con RQD che quasi mai raggiunge il valore di "0") oltre che da una presenza di argilla limosa a permeare le fratture, decisamente più trascurabile rispetto all'SVP1.



Figura 4-2 – Foto delle carote estratte dal sondaggio SVP2, da sinistra a destra e dall’alto in basso, rispettivamente: all’interno dei depositi superficiali associati ai terreni di riporto, all’interno del “cappellaccio di alterazione”, nei calcescisti sani, caratterizzati da ottimi valori di RQD (spesso compresi tra 90 e 100) e nei calcescisti maggiormente fratturati verso fondo foro (gli ultimi 2m, caratterizzati da un RQD non superiore al 10%).

4.1.3 Sondaggio SVP4

Il settore di sottosuolo indagato dai sondaggi SVP4 ed SVP5 è risultato alquanto più eterogeneo e complesso rispetto ai primi due sondaggi qui sopra descritti.

L’SVP4, in particolare, ha attraversato, sino a quasi 3 m di profondità, terreni di riporto grossolani caratterizzati ancora da un’abbondante matrice fine limoso argillosa, successivamente e sino a 5 m di profondità, sono stati incontrati invece, depositi abbondantemente sabbiosi caratterizzati da clasti eterometrici e poligenici arrotondati, più chiaramente interpretabili di origine alluvionale, rispetto ai corrispondenti orizzonti attraversati lungo i sondaggi SVP1 ed SVP2.

Al di sotto di questi terreni poi, è stato attraversato, tra 5 e 14m di profondità, un orizzonte di substrato roccioso fortemente fratturato, alterato e permeato da una più o meno abbondante frazione fine sabbioso-limoso-argillosa, interpretato come rappresentativo di brecce tettoniche, legate alla presenza di un’importante zona di faglia.

Litologie del tutto assimilabili, fortemente fratturate, alterate e permeate da una matrice abbondantemente fine limoso-argillosa, nonché caratterizzate da analoghe screziature dal grigio-verdastro al bruno-rossastro, sono state attraversate da 21.2 m sino a 24.6m di profondità: descritte, nel report stratigrafico, come una “breccia a clasti ofiolitici [...] a struttura lamellare” sono state anch’esse interpretate come brecce di natura tettonica.

Tra 15 e 21.2 m di profondità, il sondaggio ha viceversa attraversato prima, un metro di calcescisti sani (è stata estratta una carota quasi intera di circa 90 cm) e, successivamente, un orizzonte descritto come “grafite di colore grigio scuro [...] fortemente alterata e frammentata [con] livelli ed intercalazioni cm-dmetriche limoso, argillose, sabbiose”. Tale orizzonte è stato associato, come attribuzione litostratigrafica, al soprastante spezzone di carota relativamente integra ed, insieme, sono stati interpretati come una lente di calcescisti più o meno fortemente fratturati, tettonizzati ed alterati, inglobata all’interno delle brecce tettoniche.

Infine, tra 24.6m di profondità e sino a fondo foro, il sondaggio SVP4 ha attraversato un orizzonte descritto come un “deposito scistoso, talvolta scaglioso o con struttura lamellare” per il quale è ipotizzata, dubitativamente, l’attribuzione ad una “serpentinite alterata”.

Si segnala e sottolinea che tutti i n.13 campioni prelevati dal foro del sondaggio SVP4, sia indisturbati sia rimaneggiati, nonostante siano stati tutti attribuiti a substrato roccioso, per quanto intensamente fratturato ed alterato, inviati al laboratorio geotecnico, sono stati classificati e testati come terreni.



Figura 4-3 – Foto delle carote estratte dal sondaggio SVP4, da sinistra a destra e dall’alto in basso, rispettivamente: all’interno dei terreni di riporto e dei sottostanti depositi alluvionali, all’interno delle breccie tettoniche (compresa la carota quasi intera di un metro di calcescisti sani), all’interno della “grafite” grigio scura interpretata come calcescisti alterati e, di nuovo, nelle breccie tettoniche verso il fondo del sondaggio.

4.1.4 Sondaggio SVP5

La stratigrafia di sottosuolo attraversata dal sondaggio SVP5 è risultata ugualmente eterogenea ma, comunque, sensibilmente differente rispetto a quella attraversata dal sondaggio SVP4, appena descritta.

Il sondaggio SVP5 infatti, al di sotto di oltre 2 metri di terreni di riporto antropico e di quasi 2 metri di depositi interpretati nuovamente come di origine alluvionale, ha incontrato prima, un potente orizzonte di limi argillosi grigio azzurri e poi, sino a fondo foro, litologie estremamente fratturate, tettonizzate ed alterate, del tutto simili ad alcuni degli orizzonti attraversanti dal sondaggio SVP4 e, pertanto, interpretati anch’essi come breccie tettoniche.

Più in dettaglio, per quanto riguarda l’orizzonte superficiale di riporto antropico (escludendo il sottofondo stradale, costituito da “cemento disgregato” sino a -40cm), il report stratigrafico lo descrive caratterizzato da una matrice fine, limoso-argillosa, più abbondante rispetto al corrispondente strato attraversato dal sondaggio SVP4, tuttavia, dalle foto allegate al report, esso risulta comunque abbastanza grossolano.

Anche nel caso dei depositi alluvionali, il corrispondente orizzonte attraversato dall’SVP5 viene descritto mediamente più fine rispetto a quello attraversato dal sondaggio SVP4: ghiaia e clasti arrotondati sono presenti solo come intercalazioni e la matrice fine è descritta anche argillosa.

I limi argillosi grigio-azzurri, molto omogenei (anche a seguito dei risultati delle analisi granulometriche) e descritti da molto consistenti a duri, sono stati interpretati come appartenenti alla Formazione delle Argille di Ortovero.

Infine, in merito ai terreni breccioidi attraversati dal sondaggio SVP5, questi sono risultati leggermente più omogenei rispetto a quelli presenti in asse all’SVP4 (probabilmente anche a causa della minore profondità d’indagine). Nonostante ciò, il report stratigrafico ha comunque distinto 3 differenti orizzonti, suddivisione operata prevalentemente in base alla dimensione dei clasti ed alla presenza di alcuni orizzonti caratterizzati dalla quasi assenza di matrice fine.

Il report stratigrafico, in effetti, forse per analogia con quanto emerso dalla perforazione del sondaggio SVP4 alle medesime profondità, aveva tenuto distinto un primo metro, tra 14 e 15 m di profondità, attribuito a calcescisti alterati: pur non escludendo a priori tale interpretazione, mancano tuttavia, in questo caso, chiare differenze cromatiche e tessiture che permettano di attribuire tale orizzonte, con buon grado di certezza, ad una lente più o meno preservata di calcescisti all’interno delle breccie tettoniche. Pertanto, l’interpretazione finale elaborata, ha permesso di attribuire a queste ultime, l’interno settore di substrato attraversato dal sondaggio SVP5, al di sotto delle Argille di Ortovero, sino a fondo foro.



Figura 4-4 – Foto delle carote estratte dal sondaggio SVP5, da sinistra a destra e dall'alto in basso, rispettivamente: all'interno dei terreni di riporto e dei sottostanti depositi alluvionali, all'interno delle Argille di Ortovero e nelle brecce tettoniche caratterizzate da gradi diversi di alterazione (diverse sfumature dal grigio-verdastro al bruno-rossastro e da percentuali variabile di matrice fine).

4.2 PROVE GEOTECNICHE IN SITU

Di seguito, vengono descritte tutte le prove geotecniche in situ realizzate nel corso dell'attuale fase di progettazione definitiva e vengono altresì presentati i grafici dei relativi risultati complessivi. Nel successivo capitolo invece, descrittivo della caratterizzazione geotecnica elaborata, verranno presentati i grafici degli stessi risultati, suddivisi per ciascuna unità geotecnica.

4.2.1 Prove SPT

Durante l'esecuzione dei n.4 sondaggi descritti al capitolo precedente, al fine di ottenere parametri geotecnici utili alla progettazione per gli orizzonti grossolani attraversati, sono state eseguite una serie di prove SPT (Standard Penetration Test), con frequenza minima pari a 1.5 m, a partire da p.c. e sino al raggiungimento del substrato roccioso (in effetti, alcune prove sono state eseguite anche all'interno del substrato roccioso, quando questo si mostrava estremamente disgregato ed alterato e maggiormente assimilabile a dei terreni, si veda ad esempio, in seguito, la caratterizzazione geotecnica del cappellaccio di alterazione dei calcescisti, nonché delle brecce tettoniche e serpentinitiche).

Di seguito, si riporta la tabella riassuntiva dei valori di N_{spt} ottenuti dalle prove eseguite nonché il grafico generale della loro distribuzione in funzione della profondità cui le stesse sono state realizzate

Inoltre, assieme alle prove eseguite durante la perforazione dei n.4 sondaggi realizzati nel corso dell'attuale fase di progettazione definitiva, sono stati graficati ed analizzati anche i risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione di alcuni sondaggi i cui dati sono stati recuperati dal Repertorio Cartografico del Geoportale Regione Liguria. In particolare, sono stati reperiti i risultati delle prove SPT per i sondaggi "2055_1", "2055_2" e "2055_3" (rispettivamente S1 S2 ed S3 di Radaelli & Castellotti, datati 03/1975).

I valori delle prove SPT, eseguite nel cappellaccio di alterazione dei calcescisti, non sono stati considerati poiché i materiali attribuiti a questa Unità geotecnica sono stati caratterizzati come rocce tenere.

Tabella 4-1 - Valori di Nspt, ottenuti dalle prove eseguite durante la perforazione dei nuovi sondaggi di PD, nonché di quelle eseguite durante la perforazione dei sondaggi "2055_1", "2055_2" e "2055_3" i cui report sono presenti nel Repertorio Cartografico del Geoportale Regione Liguria

Sondaggio	Profondità	Nspt
SVP1	1,5	10
	3	16
SVP2	1,5	19
SVP4	3	6
	4,5	31
	7,5	100
	9	100
	10,5	100
	12	100
	13,5	100
SVP5	21	100
	1,5	21
	3	16
	6	49
	9	76
	10,5	61
	15	100
	21	100
24	100	
2055_1	2,9	33
2055_2	1,5	41
	3	37
2055_3	2	11
	3,6	26

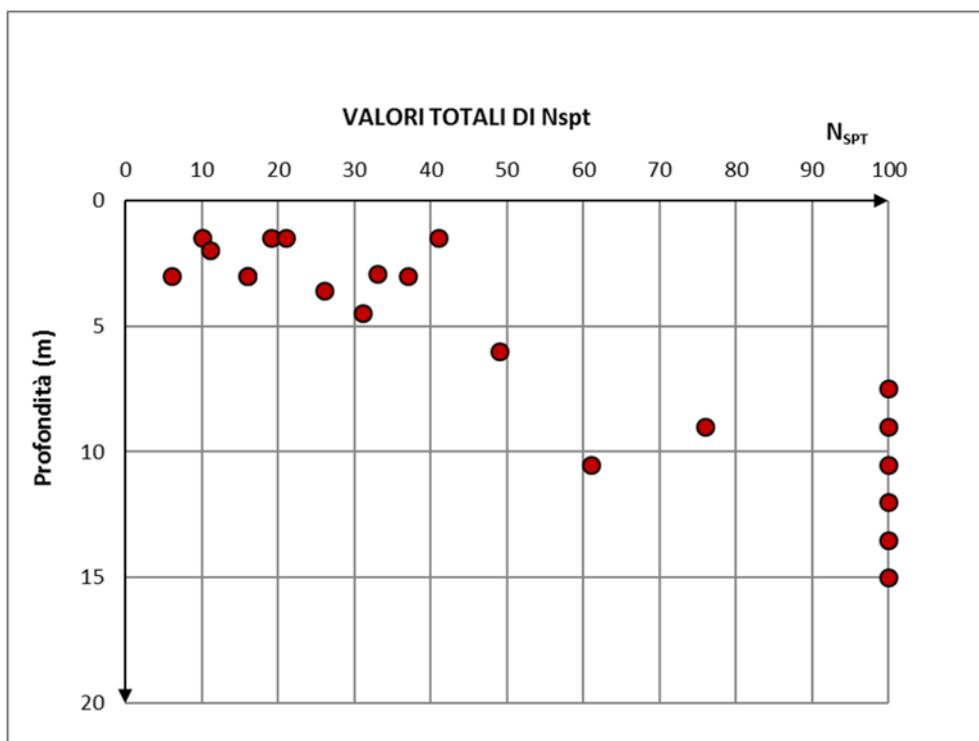


Figura 4-5 – Andamento dei valori di Nspt (n. totale prove eseguite), in funzione della profondità (i valori uguali a 100 rappresentano quelli che hanno raggiunto il cosiddetto ‘rifiuto’)

4.2.2 Prova pressiométrica in foro di sondaggio

All'interno del foro di sondaggio SVP4, in corrispondenza delle Argille di Ortovero, è stata eseguita una prova pressiométrica i cui risultati sono riassunti nella seguente tabella 42. Per maggiori dettagli riguardo alla prova eseguita, si faccia riferimento al certificato allegato al report stratigrafico del sondaggio SVP4, per l'interpretazione dei risultati si faccia riferimento invece al successivo capitolo relativo alla caratterizzazione geotecnica.

Tabella 4-2 - Risultati della prova pressiométrica eseguita in corrispondenza della Argille di Ortovero

Descrizione	Ep [MPa]	E [MPa]	cu [kPa]
Argille di Ortovero	26.48	52.95	242

4.2.3 Prova di permeabilità Lefranc in foro di sondaggio

All'interno dei due fori di sondaggio SVP4 ed SVP5, sono state eseguite due prove di permeabilità di tipo Lefranc.

Le due prove sono state eseguite, rispettivamente, tra le profondità di 27 e 28.5m nel foro del sondaggio SVP4 (in corrispondenza quindi delle breccie serpentinitiche) e tra le profondità di 15 e 16.5m nel foro del sondaggio SVP5 (in corrispondenza quindi delle breccie tettoniche). I valori di permeabilità ottenuti sono riassunti nella seguente tabella. Per maggiori dettagli riguardo alle prove eseguite, si faccia riferimento ai rispettivi certificati allegati ai corrispondenti report stratigrafici, per l'interpretazione dei risultati si faccia riferimento invece al successivo capitolo relativo alla caratterizzazione geotecnica.

Tabella 4-3 - Valori di permeabilità ottenuti dalle due prove di tipo Lefranc eseguite

Sondaggio	Unità geotecnica	Profondità	Permeabilità
SVP4	Brecce Serpentiniche	27-28.5	4.5x10 ⁻⁶
SVP5	Brecce Tettoniche	15-16.5	4x10 ⁻⁶

4.2.4 Valori di RQD dei calcescisti e del relativo cappellaccio di alterazione

Come meglio descritto nel successivo capitolo relativo alle prove di laboratorio eseguite e, soprattutto in quello della caratterizzazione geotecnica, gli unici litotipi che, dall'analisi dei campioni prelevati, sono risultati del tutto assimilabili a rocce, sono quelli appartenenti all'Unità geotecnica dei calcescisti sani o poco fratturati.

I materiali appartenenti all'unità geotecnica del cappellaccio d'alterazione dei calcescisti, in gran parte risultati e testati come terre in sede di laboratorio geotecnico – come d'altra parte, tutti campioni appartenenti alle brecce tettoniche ed alle brecce serpentinitiche, - sono stati in ultima analisi trattati come rocce molto tenere (si veda il prossimo cap. 5.4 per maggiori dettagli).

Purtroppo però, nessun affioramento di calcescisti è presente nell'immediato intorno dell'area interessata dalle opere in progetto, così da permettere una loro precisa caratterizzazione geomeccanica: gli unici dati a disposizione derivano dall'analisi degli spezzoni di carota estratti dai sondaggi SVP1 ed SVP2 (primi fra tutti, la misura dei valori di RQD) e dalle prove di laboratorio eseguite sui corrispondenti campioni prelevati in foro.

I risultati delle prove di laboratorio saranno discussi nel successivo cap. 3.3, viceversa, la successiva tabella riportata qui di seguito, sintetizza i valori di RQD caratteristici per le porzioni di calcescisti sani o poco fratturati terebrati e per il relativo cappellaccio di alterazione. Nel capitolo di caratterizzazione geomeccanica e geotecnica, si cercherà di valutare i corrispondenti valori di GSI.

Tabella 4-4 - Valori di RQD misurati per i calcescisti lungo le carote estratte dai sondaggi SVP1 ed SVP2

Sondaggio	Unità geotecnica	Profondità	RQD
SVP1	CAP	0-18	0
		18-19.8	100
		19.8-21	0
		21-23	50
		23-24	20
		24-25.4	0
		25.4-27	52
	CS	27-30	90
SVP2	CAP	6.5-9.5	0
	CS	9.5-12.5	100
		12.5-13.3	28
		13.3-15	100
		15-16	45
		16-18	90
		18-19	50
		19-21.5	84
		21.5-26.5	100
		26.5-27	0
		27-40	100

4.3 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Insieme alle indagini e prove in sito, per meglio caratterizzare i materiali presenti nel sottosuolo dell'area interessata dalle opere in progetto, sono state eseguite una serie significativa di prove geotecniche di laboratorio sui campioni, indisturbati e rimaneggiati, di terreni e rocce, prelevati dai fori di sondaggio realizzati. La seguente tabella riassume tutte le prove eseguite campione per campione.

Tabella 4-5 - Tabella riassuntiva delle prove geotecniche di laboratorio eseguite.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Unità geotecnica	Tipo di prove eseguita
SVP1	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR2-SPT2	3.00-3.45	R-COP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI1	4.50-4.90	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. fisiche e Prova di compressione triassiale non cons. non dren.
	CR3-SPT3	6.00-6.45	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR4-SPT4	7.50-7.70	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR5-SPT5	9.00-9.30	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR6-SPT6	10.50-10.80	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	LAP1	18.50-18.70	CAP	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP2	26.20-27.00	CAP	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
SVP2	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI1	3.00-3.50	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. fisiche e Prova di taglio diretto e residuo.
	CR2-SPT2	4.50-4.95	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR3-SPT3	6.00-6.50	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR4-SPT4	7.50-8.00	CAP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	LAP1	10.10-10.60	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP2	14.00-14.70	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP3	19.00-19.80	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)

	LAP4	23.00-24.00	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP5	27.40-28.00	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP6	30.00-30.80	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
	LAP7	35.00-36.00	CS	Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliiana)
SVP4	CR1-SPT1	3.00-3.45	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR2-SPT2	4.50-4.95	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI1	6.00-6.40	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. fisiche
	CR3-SPT3	7.50-7.95	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	RIM1	8.50-9.00	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prova di taglio diretto e residuo.
	CR4-SPT4	9.00-9.25	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR5-SPT5	10.50-10.70	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR6-SPT6	12.00-12.15	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	RIM2	12.40-12.70	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prova di taglio diretto e residuo.
	CR7-SPT7	13.50-13.72	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI2	18.00-18.30	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. fisiche e Prova di taglio diretto e residuo.
	RIM3	19.60-20.00	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prova di taglio diretto e residuo.
	CR8-SPT8	21.00-21.20	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	RIM4	21.20-21.60	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
RIM5	25.50-25.90	BR-SERP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI	
SVP5	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR2-SPT2	3.00-3.45	DA	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI1	4.50-4.80	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. Fisiche, Prova di consolidazione edometrica e Prova di taglio diretto e residuo

	CR3-SPT3	6.00-6.45	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI2	7.50-7.80	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prop. fisiche e Prova di taglio diretto e residuo.
	CR4-SPT4	9.00-9.45	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR5-SPT5	10.50-10.95	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CI3	12.00-12.50	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI Prop. Fisiche, Prova di compressione triassiale non cons. non dren. e Prova di consolidazione edometrica
	RIM1	13.00-13.50	ORV	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prova di taglio diretto e residuo
	CR6-SPT6	15.00-15.40	BR-TET	Analisi granulometriche, Limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	CR7	18.80-19.00	BR-TET	Analisi granulometriche, limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI
	RIM2-SPT8	24.00-24.25	BR-TET	Analisi granulometriche, limiti di Atterberg e Class. USCS e CNR-UNI, Prova di taglio diretto e residuo

Qui di seguito, nelle figure 4.6 e 4.7, si riportano il grafico generale dei fusi granulometrici di tutte le analisi eseguite e la carta di Plasticità di Casagrande con su riportata la distribuzione di tutti i valori dei limiti di liquidità e indici di plasticità ottenuti.

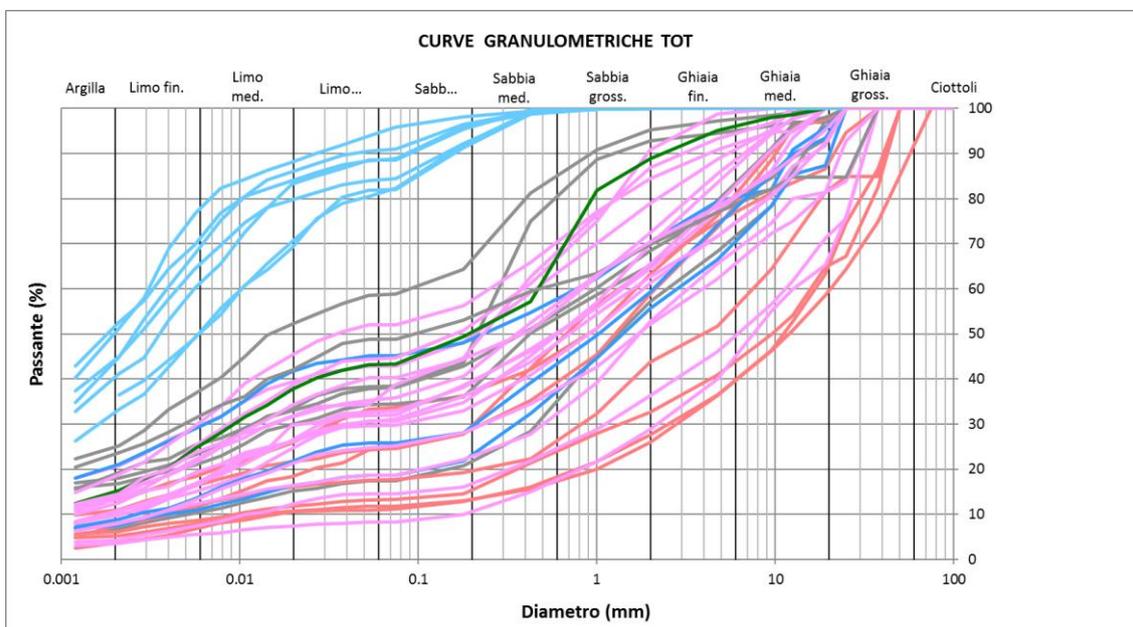


Figura 4-6 – Fusi granulometrici di tutte le n.39 analisi eseguite sugli altrettanti campioni testati

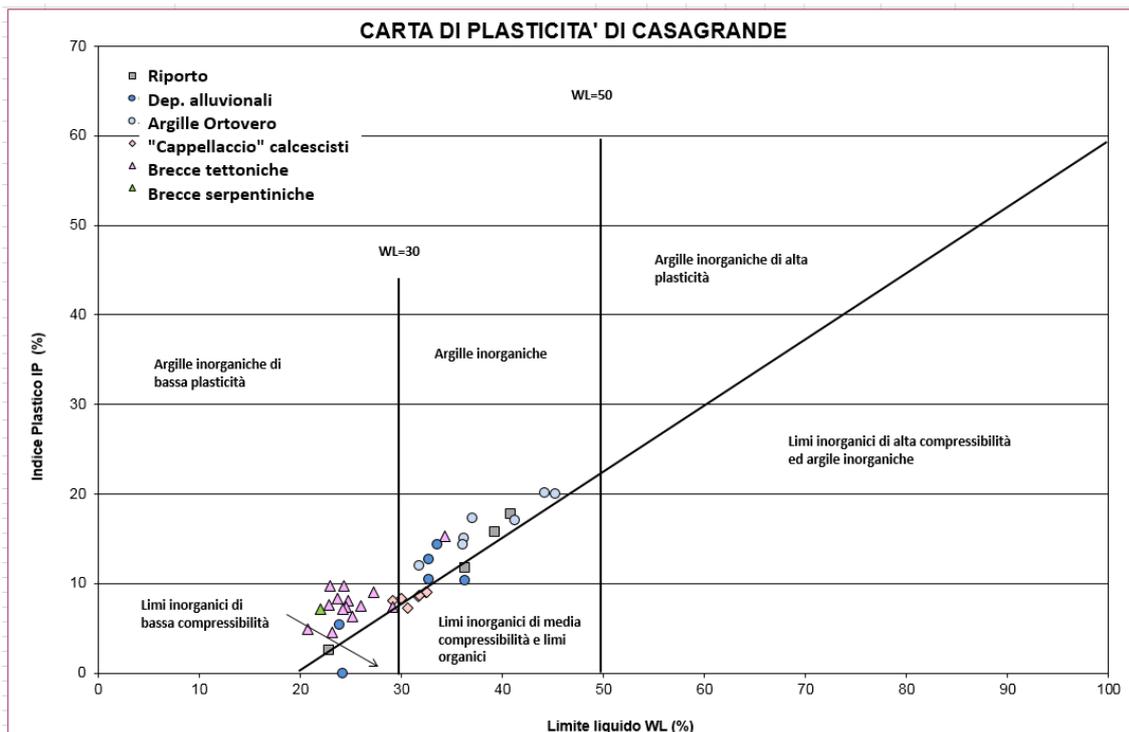


Figura 4-7 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati, i valori del limite liquido e dell’Indice di plasticità, per i n.39 campioni appartenenti all’Unità geotecnica R-COP

Inoltre, l’analisi dei fusi granulometrici sopra riportati, ha permesso di classificare i corrispondenti terreni secondo le nomenclature delle classificazioni dell’USCS e del CNR UNI.

I codici delle varie classi determinate sono riportati nella seguente tabella.

Per maggiori dettagli riguardo ai risultati delle analisi granulometriche eseguite da campioni prelevati dai fori dei sondaggi SVP1, SVP2, SVP4 e SVP5, si faccia riferimento ai corrispondenti certificati e risultati delle indagini.

Tabella 4-6 - Valori di RQD misurati per i calcescisti lungo le carote estratte dai sondaggi SVP1 ed SVP2

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Unità geotecnica	Classificazione USCS	Classificazione CNR-UNI
SVP1	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	SM	A1-b
	CR2-SPT2	3.00-3.45	R-COP	SM-SC	A6
	CI1	4.50-4.90	DA	SC	A6
	CR3-SPT3	6.00-6.45	CAP	SM-SC	A2-4
	CR4-SPT4	7.50-7.70	CAP	SC	A2-4
	CR5-SPT5	9.00-9.30	CAP	SC	A2-4
SVP2	CR6-SPT6	10.50-10.80	CAP	GW-GM-GC	A2-4
	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	CL	A7-6
	CI1	3.00-3.50	DA	SC	A2-6
	CR2-SPT2	4.50-4.95	CAP	GM-GC	A2-4
	CR3-SPT3	6.00-6.50	CAP	GM-GC	A2-4
SVP4	CR4-SPT4	7.50-8.00	CAP	GM-GC	A2-4
	CR1-SPT1	3.00-3.45	DA	SC	A6
	CR2-SPT2	4.50-4.95	DA	SM-SC	A1-b
	CI1	6.00-6.40	DA	GW-GM	A1-a
	CR3-SPT3	7.50-7.95	BR-TET	SM-SC	A1-b

	RIM1	8.50-9.00	BR-TET	SM-SC	A4
	CR4-SPT4	9.00-9.25	BR-TET	SC	A2-4
	CR5-SPT5	10.50-10.70	BR-TET	GC	A2-4
	CR6-SPT6	12.00-12.15	BR-TET	SC	A2-4
	RIM2	12.40-12.70	BR-TET	SM-SC	A2-4
	CR7-SPT7	13.50-13.72	BR-TET	SC	A2-4
	CI2	18.00-18.30	BR-TET	SC	A4
	RIM3	19.60-20.00	BR-TET	CL	A4
	CR8-SPT8	21.00-21.20	BR-TET	SC	A2-4
	RIM4	21.20-21.60	BR-TET	SC	A4
	RIM5	25.50-25.90	BR-SERP	SC	A4
SVP5	CR1-SPT1	1.50-1.95	R-COP	SC	A6
	CR2-SPT2	3.00-3.45	DA	SM	A2-6
	CI1	4.50-4.80	ORV	CL	A7-6
	CR3-SPT3	6.00-6.45	ORV	CL	A6
	CI2	7.50-7.80	ORV	CL	A7-6
	CR4-SPT4	9.00-9.45	ORV	CL	A6
	CR5-SPT5	10.50-10.95	ORV	CL	A6
	CI3	12.00-12.50	ORV	CL	A7-6
	RIM1	13.00-13.50	ORV	CL	A7-6
	CR6-SPT6	15.00-15.40	BR-TET	SC	A2-4
	CR7	18.80-19.00	BR-TET	GC	A2-4
	RIM2-SPT8	24.00-24.25	BR-TET	SC	A6

Infine, nei due grafici delle fig 3.8 e 4.9, si riportano, rispettivamente per i valori dell'angolo di attrito efficace e quelli della coesione drenata, i risultati di tutte le prove di taglio diretto e residuo, eseguite. Si tratta di un campione appartenente all'unità dei depositi alluvionali (DA), di n.3 campioni appartenenti all'unità delle Argille di Ortovero (ORV) e di n. 5 campioni appartenenti all'unità delle brecce tettoniche (BR-TET).

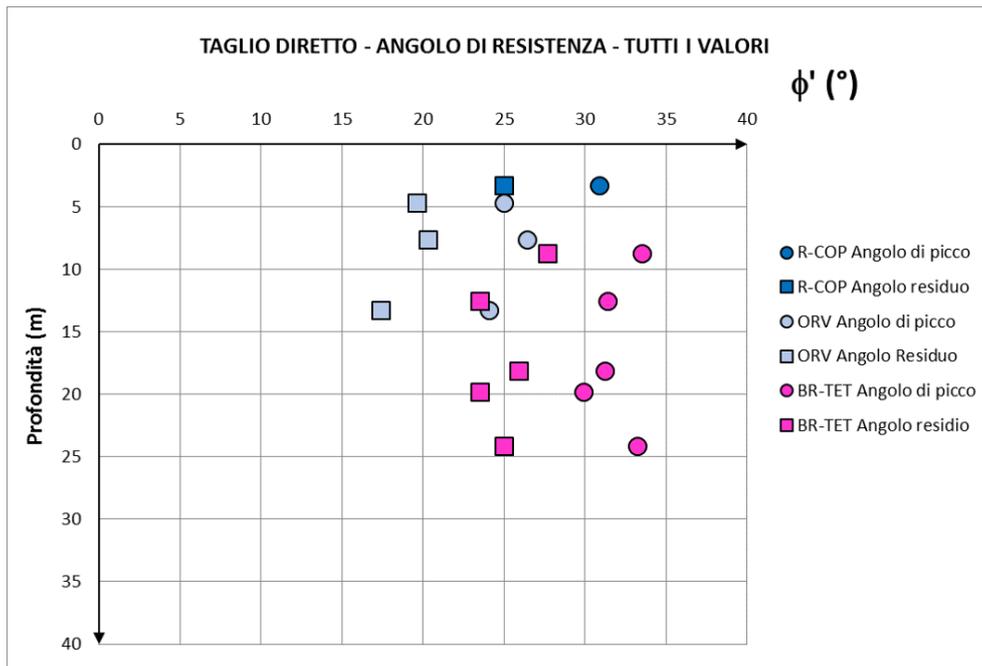


Figura 4-8 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori di angolo di attrito efficace ricavati dalle prove di taglio diretto e residuo

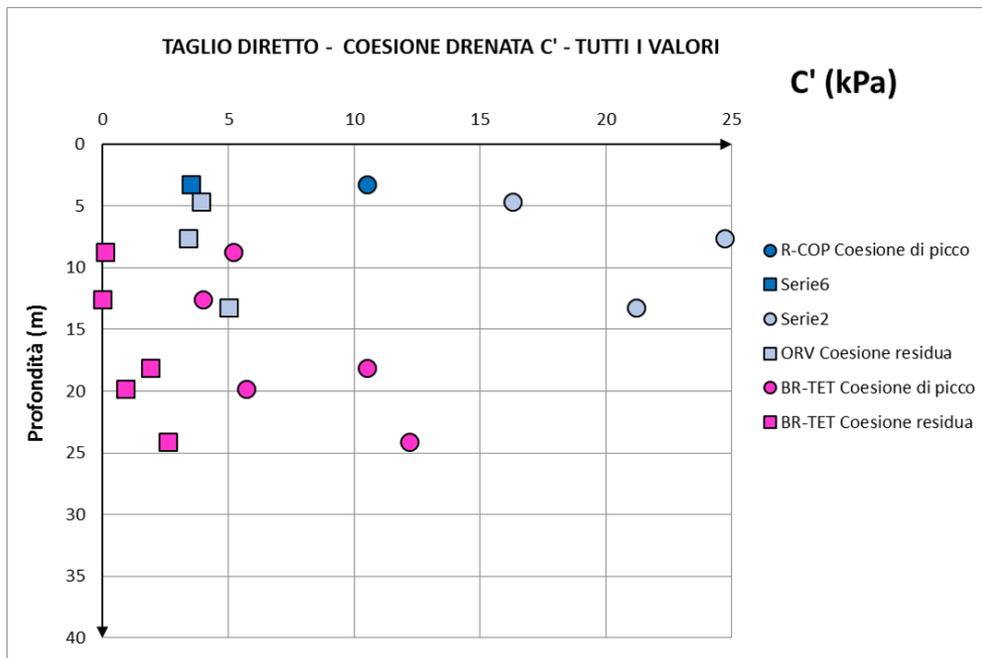


Figura 4-9 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori di coesione drenata, ricavati dalle prove di taglio diretto e residuo

5. INQUADRAMENTO SISMICO

AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

In accordo alle NTC2018, l'azione sismica da considerare nelle verifiche dei diversi stati limite di progetto è definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale (a_g);
- ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione $S_e(T)$ "ancorato" al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite di interesse per la verifica, la forma spettrale è definita attraverso i valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La Vita Nominale di progetto di un'opera (V_N), intesa come il numero di anni in cui la stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così stabilita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per costruzioni temporanee e provvisorie;
- $V_N \geq 50$ anni, per costruzioni con livelli di prestazioni ordinari;
- $V_N \geq 100$ anni per costruzioni con livelli di prestazioni elevati.

Le verifiche sismiche di opere con $V_N \leq 10$ anni o di opere in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto prevede che la condizione provvisoria permanga per meno di 2 anni.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, per tutte le opere interferenti con la sede stradale in caso di collasso in questa sede si assumerà:

$V_N = 50$ anni.

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le Norme Tecniche distinguono le costruzioni in classi d'uso, legate ad esigenze di operatività nelle fasi immediatamente successive ad un evento sismico.

Le classi d'uso, caratterizzate mediante il coefficiente d'uso (C_U), sono così definite:

- Classe I ($C_U=0.7$): costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;
- Classe II ($C_U=1.0$): [...] Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. [...];
- Classe III ($C_U = 1.5$): [...] Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza [...].
- Classe IV ($C_U = 2.0$): [...] Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico [...].

Per il nodo di Funo è attribuita la Classe IV (**$C_U=2.0$**).

L'azione sismica da considerare nelle verifiche è fissata in relazione ad un periodo di riferimento V_R che, per ciascun tipo di opera, si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Alla luce di quanto sopra esposto, il periodo di riferimento V_R rispetto al quale calcolare l'azione sismica di progetto è, per tutte le opere:

$$V_R = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni.}$$

STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite relativi all'opera in progetto ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di verificarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in condizioni sismiche (par. 3.2.1 delle Norme Tecniche) sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU), che comprendono:
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana (SLV), definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC), definito come lo stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE), che comprendono:
 - Stato Limite di immediata Operatività (SLO), relativo alla condizione che, per effetto del terremoto, la costruzione nel suo complesso (elementi strutturali, non strutturali e apparecchiature rilevanti) non subisca danni e interruzioni d'uso significative;
 - Stato Limite di Danno (SLD), relativo alla condizione che, per effetto del terremoto, la costruzione nel suo complesso (elementi strutturali, non strutturali e apparecchiature rilevanti) subisca danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

La norma vigente assegna al progettista il compito di stabilire il livello di prestazione della struttura da verificare per ogni stato limite considerato. Le probabilità di superamento cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati sono (cfr Tab 3.2.I Norme Tecniche):

Tabella 5-1: NTC-2018, probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R per differenti stati limite

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel tempo V_R	
Esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione: $T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR})$

Per le opere in progetto ($V_R = 100$ anni), il tempo di ritorno dell'azione sismica si ricava dalla tabella seguente.

Tabella 5-2: NTC-2018, Tempo di ritorno T_R per differenti stati limite

Stato Limite		P_{VR} %	T_R anni
SLE	SLO	81%	60
	SLD	63%	101
SLU	SLV	10%	949
	SLC	5%	1950

VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per un dato sito, le Norme definiscono la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) mediante la formula:

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

essendo H lo spessore complessivo del deposito sopra al substrato, h_i =spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso e $V_{S,i}$ =velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato.

Per i siti nei quali la profondità del substrato è maggiore di 30 m (condizione sempre riscontrata lungo il tracciato), si pone $H=30$ m e nella formula si considereranno gli strati fino a 30 m. La velocità equivalente viene indicata come $V_{S,30}$.

In accordo alle NTC2018, l'effetto della risposta sismica locale sulla pericolosità di base si valuta mediante il coefficiente di sito (S), funzione sia della categoria di sottosuolo sopra determinata (S_s) sia dell'andamento piano altimetrico della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T.$$

Il coefficiente S_s per ciascuna categoria di sottosuolo si ricava dalle espressioni fornite in Tabella 3.2.IV al par. 3.2.3 delle Norme Tecniche (tabella seguente).

Tabella 5-3: Tab. 3.2.IV delle Norme Tecniche (espressioni di SS e di CC)

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Per quanto riguarda l'eventuale amplificazione topografica, al coefficiente S_T possono essere assegnati i valori seguenti in funzione della categoria topografica corrispondente (Tabella 5-4 seguente).

Tabella 5-4: Tab. 3.2.III delle Norme Tecniche (categorie topografiche)

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

I valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto

$$a_{max} = S a_g$$

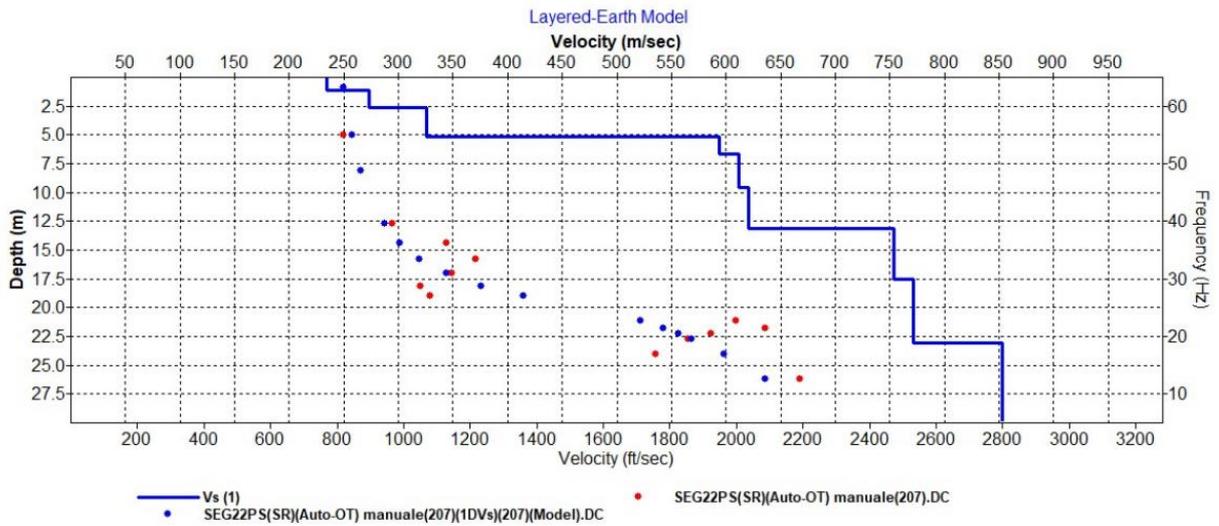
Considerato che il tracciato insiste su terreni sostanzialmente pianeggianti (cat. T1), si assume $S_T = 1$.

Per la definizione della categoria di sottosuolo si è fatto riferimento alle seguenti prove:

- Misura Vs tramite MASW-SV4 (campagna 2022).

La velocità equivalente misurata è pari a $V_{seq}=574$ m/s a cui corrisponde una categoria di suolo pari a B.

A10 SVINCOLO PEGLI (GE)



$V_{s,eq} = 574 \text{ m/s}$

Categoria di sottosuolo : B

Figura 5-1

6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

In accordo alle NTC2018 (7.11.3.4.2), la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Con riferimento al sito di Pegli, con riferimento ai punti (1) e (2) sopra elencati, la verifica di liquefazione NON può essere omessa in quanto l'accelerazione attesa al piano campagna è maggiore di 0.1g e la profondità media della falda è minore di 15 m.

Con riferimento ai criteri di cui al punto (3) e (4) di cui sopra, per i record di SPT > 30 (punto 3) è consentito omettere la verifica di liquefazione altrimenti, nel caso la condizione di cui al punto (3) non fosse verificata, è possibile omettere la verifica qualora la distribuzione granulometrica fosse esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1 (a e b) di cui alle NTC2018 (punto 4).

Nelle tabelle seguenti, in accordo ai criteri di cui sopra, per ogni sondaggio e per ogni SPT, sono riportati i giudizi sintetici circa la possibilità di omettere la verifica di liquefazione con indicazione del criterio di riferimento.

In ogni caso, la verifica di liquefazione può essere omessa in accordo alle NTC2018.

LIQUEFAZIONE PEGLI - SVP1							
Cod. prova	z prova	SPT	Sotto falda	Liquefacibilità	Punto (3) N ₁₆₀ >30	Punto (4) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a e b)	Verifica Liquefazione può essere omessa in accordo al punto
	m	-	-		-		
CR1-SPT1	1.50-1.95	10					
CR2-SPT2	3.00-3.45	16					
CR3-SPT3	6.00-6.45	22	x	Si	No	Si	(4)
CR4-SPT4	7.50-7.70	R	x	Si	Si	-	(3)
CR5-SPT5	9.00-9.30	R	x	Si	Si	-	(3)
CR6-SPT6	10.50-10.80	R	x	Si	Si	-	(3)

Livello falda 6.3m da piano campagna

LIQUEFAZIONE PEGLI - SVP4							
Cod. prova	z prova	SPT	Sotto falda	Liquefacibilità	Punto (4) N ₁₆₀ >30	Punto (5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a e b)	Verifica Liquefazione può essere omessa in accordo al punto
	m	-					
CR1-SPT1	3.00-3.45	6	x	Si	No	Si	(4)
CR2-SPT2	4.50-4.95	31	x	Si	Si	-	(3)
CR3-SPT3	7.50-7.95	R	x	Si	Si	-	(3)
CR4-SPT4	9.00-9.25	R	x	Si	Si	-	(3)
CR5-SPT5	10.50-10.70	R	x	Si	Si	-	(3)
CR6-SPT6	12.00-12.15	R	x	Si	Si	-	(3)
CR7-SPT7	13.50-13.72	R	x	Si	Si	-	(3)

Livello falda 3.35m da piano campagna

LIQUEFAZIONE PEGLI - SVP2							
Cod. prova	z prova	Sotto falda		Liquefacibilità	Punto (4) N ₁₆₀ >30	Punto (5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a e b)	Verifica Liquefazione può essere omessa in accordo al punto
	m	-					
CR1-SPT1	1.50-1.95	19					
CR2-SPT2	4.50-4.95	39	x	Si	Si	-	(3)
CR3-SPT3	6.00-6.50	R	x	Si	Si	-	(3)
CR4-SPT4	7.50-8.00	R	x	Si	Si	-	(3)

Livello falda 4m da piano campagna

LIQUEFAZIONE PEGLI - SVP5							
Cod. prova	z prova	Sotto falda		Liquefacibilità	Punto (4) N ₁₆₀ >30	Punto (5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a e b)	Verifica Liquefazione può essere omessa in accordo al punto
	m	-					
CR1-SPT1	1.50-1.95	21	x	Si	No	Si	(4)
CR2-SPT2	3.00-3.45	16	x	Si	No	Si	(4)
CR3-SPT3	6.00-6.45	49	x	Si	Si	-	(3)
CR4-SPT4	9.00-9.45	76	x	Si	Si	-	(3)
CR5-SPT5	10.50-10.95	61	x	Si	Si	-	(3)

Livello falda 1.5m da piano campagna

Figura 6-1

ANALISI GRANULOMETRICA

Certificato n° 3821

Committente: TECNE S.p.A. Cantiere: Autostrada A10 - Genova- Ventimiglia Località: Svincolo Genova Pegli Verbale: 130 Data verbale: 23/09/2022 Note:	Sondaggio: SVP5 Campione: CR2 (SPT2) Profondità: 3.00- 3.45 m Data esecuzione: 14-17/10/2022 Specifica di prova: ASTM D421-07/D422-07 Rep: 21/007
---	--

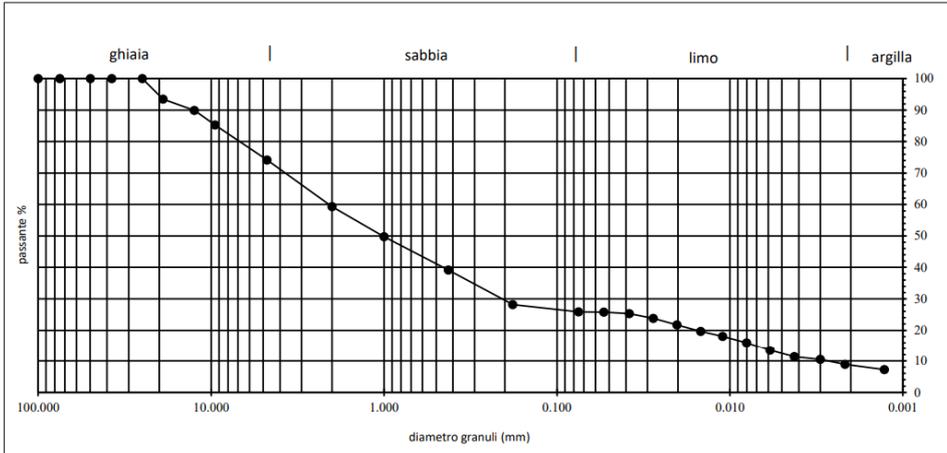


Figura 6-2

ANALISI GRANULOMETRICA

Certificato n° 3695

Committente: TECNE S.p.A. Cantiere: Autostrada A10 - Genova- Ventimiglia Località: Svincolo Genova Pegli Verbale: 130 Data verbale: 23/09/2022 Note:	Sondaggio: SVP4 Campione: CR1 (SPT1) Profondità: 3.00- 3.45 m Data esecuzione: 03-05/10/2022 Specifica di prova: ASTM D421-07/D422-07 Rep: 21/007
---	--

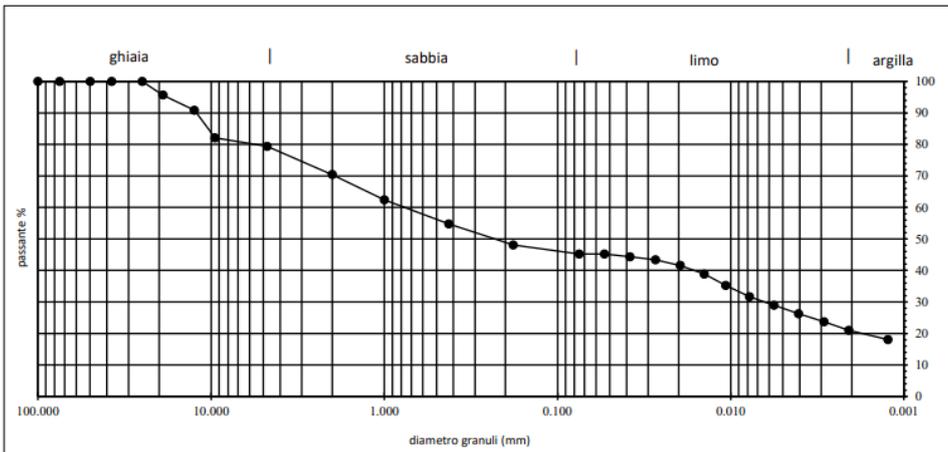


Figura 6-3

ANALISI GRANULOMETRICA

Certificato n° 3902

Committente: TECNE S.p.A. Cantiere: Autostrada A10 - Genova- Ventimiglia Località: Svincolo Genova Pegli Verbale: 130 Data verbale: 23/09/2022 Note:	Sondaggio: SVP1 Campione: CR3 (SPT3) Profondità: 6.00- 6.45 m Data esecuzione: 25-27/10/2022 Specifica di prova: ASTM D421-07/D422-07 Rep: 21/007
---	--

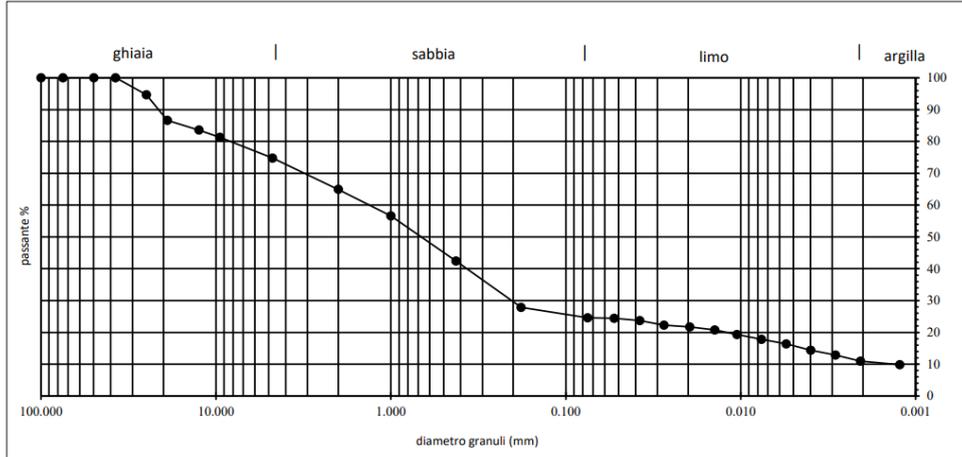


Figura 6-4

ANALISI GRANULOMETRICA

Certificato n° 3896

Committente: TECNE S.p.A. Cantiere: Autostrada A10 - Genova- Ventimiglia Località: Svincolo Genova Pegli Verbale: 130 Data verbale: 23/09/2022 Note:	Sondaggio: SVP1 Campione: CR1 (SPT1) Profondità: 1.50- 1.95 m Data esecuzione: 25-27/10/2022 Specifica di prova: ASTM D421-07/D422-07 Rep: 21/007
---	--

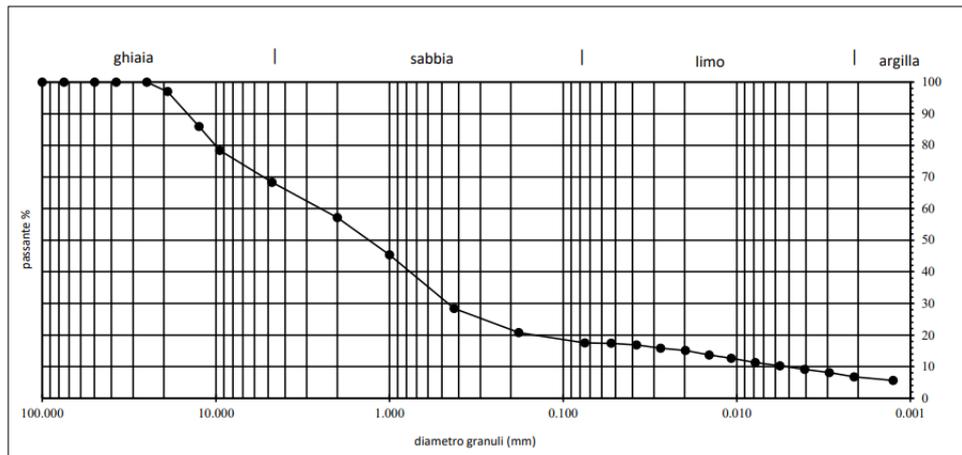


Figura 6-5

ANALISI GRANULOMETRICA

2022-09-23

Certificato n° 3818

Committente: TECNE S.p.A. Cantiere: Autostrada A10 - Genova- Ventimiglia Località: Svincolo Genova Pegli Verbale: 130 Data verbale: 23/09/2022 Note:	Sondaggio: SVP5 Campione: CR1 (SPT1) Profondità: 1.50- 1.95 m Data esecuzione: 14-17/10/2022 Specifica di prova: ASTM D421-07/D422-07 Rep: 21/007
---	--

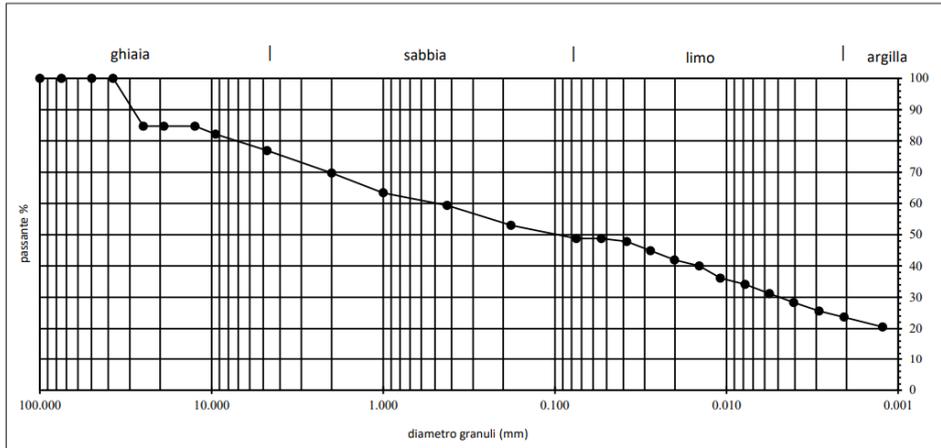


Figura 6-6

7. MODELLO GEOTECNICO-GEOMECCANICO E CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

In base alle analisi ed alle valutazioni riportate nella Relazione Geologica di progetto ed ai dati geotecnici e geomeccanici acquisiti grazie alle indagini geognostiche descritte nel precedente Capitolo 3, è stato possibile elaborare il Modello Geotecnico-Geomeccanico di Riferimento, descritto qui di seguito.

7.1 MODELLO GEOTECNICO-GEOMECCANICO E DEFINIZIONE DELLE UNITÀ

L'esame critico dei risultati della campagna geognostica eseguita, ha permesso d'individuare una serie di unità geotecniche e geomeccaniche, alle quali sono stati attribuiti i campioni ed i provini testati.

Le unità geotecniche e geomeccaniche individuate ricalcano quasi esattamente le suddivisioni lito-stratigrafiche presentate e descritte nella Relazione Geologica di progetto (e, riproposte per comodità di lettura al cap. 2.1 della presente relazione). Le uniche differenze riguardano l'assegnazione di un'unità geotecnica a sé stante per il cosiddetto "cappellaccio" di alterazione superficiale dei calcescisti così come per le 'brecce tettoniche'.

Di seguito pertanto, si fornisce l'elenco ed una breve descrizione sintetica delle unità geotecniche-geomeccaniche individuate, all'interno delle quali sono stati raggruppati i terreni e gli ammassi rocciosi presenti nel sottosuolo dell'area in cui è prevista la realizzazione delle opere in progetto.

Una più dettagliata descrizione delle singole unità geotecniche corredata dei valori dei parametri ricavati dalla campagna indagini realizzata, verrà fornita al successivo cap. 5 di caratterizzazione geotecnica-geomeccanica.

- **Unità R-COP:** rappresentata dai terreni incoerenti sabbioso-ghiaiosi, più o meno limoso-argillosi con, talora, clasti poligenici frammisti a frammenti di laterizi ed apparati radicali di piante, almeno in parte, di natura antropica.
Tale unità è superficialmente ubiquitaria in tutta l'area di progetto, ma con spessori molto variabili compresi, tra 9m nel settore Nord dell'opera con sviluppo elicoidale sino a meno di un metro a Sud dell'attuale linea ferroviaria tra i sondaggi pregressi, 2452_B3 e 2452_B4.
All'interno di questa unità, ai riporti di natura antropica, sono stati associati generici depositi di copertura superficiale (ad esempio depositi eluvio-colluviali) che non presentavano chiari indizi rivelatori della natura alluvionale.
- **Unità DA:** rappresentata da depositi alluvionali, costituiti da limi più o meno sabbioso-argillosi oppure, più raramente, da intercalazioni ghiaiose ed a clasti arrotondati poligenici ed eterometrici.
Tale unità è stata riconosciuta e distinta con maggiore certezza, nel settore dell'area di progetto a Sud dell'attuale linea ferroviaria, dove presenta spessori contenuti, generalmente compresi tra 2 e 5 m ma, soprattutto, dove i report stratigrafici dei sondaggi SVP4 e SVP5 hanno descritto più chiaramente la presenza di clasti/(ciottoli) arrotondati.
- **Unità ORV:** rappresentata dalla Formazione delle Argille di Ortovero, costituita da limi argillosi di colore grigio-azzurro, abbastanza omogenei, umidi e plastici e generalmente consistenti. In corrispondenza del sondaggio SVP5, presentano uno spessore di 9m (mentre, i sondaggi del febbraio-marzo 1999, realizzati nelle immediate vicinanze e le cui stratigrafie sono presenti del Repertorio Cartografico della Regione Liguria, sembrano aver riscontrato, per le Argille, uno spessore non superiore a 4-6m).
- **Unità CAP:** rappresentata dal cosiddetto "cappellaccio" di alterazione superficiale dei calcescisti. In corrispondenza di questo orizzonte superficiale, i calcescisti risultano fortemente fratturati ed alterati con fratture riempite da più o meno abbondante matrice fine limoso-argilloso-sabbiosa: nonostante la maggior parte dei relativi campioni estratti dalle carote dei sondaggi, siano risultati assimilabili a delle terre, sono stati caratterizzati come rocce tenere. Anche questa unità presenta spessori molto variabili da meno di un metro (per es. lungo il sondaggio 2378_6 del Repertorio Cartografico della Regione Liguria) a valori di oltre 20m per il recente sondaggio SVP1 (in corrispondenza del sondaggio SVP1 in particolare, è probabile che la significativa potenza dello spessore di alterazione superficiale dei calcescisti sia stata influenzata dalla presenza di orizzonti maggiormente fratturati che hanno favorito una maggior circolazione idrica con conseguente accelerazione ed approfondimento dei processi di alterazione, tuttavia per esempio, tra 18 e 20m di profondità, una lente preservata di calcescisti più sani ha mostrato un RQD di quasi 100).
- **Unità BR-TET:** rappresentata da brecce dall'aspetto abbastanza caotico, "a granulometria ghiaiosa" ed a clasti, generalmente ofiolitici, sub-angolari e eterometrici, di dimensioni variabili tra 4-5 e 8-10cm. In genere molto alterate (con screziature dal grigio-verde al bruno-beige-rossastro), sono spesso

caratterizzate da un'abbondante matrice limoso-argilloso- sabbiosa al punto che, i relativi campioni estratti dalle carote dei sondaggi, sono risultati tutti assimilabili a delle terre.

In corrispondenza del sondaggio SVP4, tali breccie presentano lo spessore massimo di ca. 20m, se si esclude la lente di calcescisti +/- alterati e grafitici di circa 7m di spessore presente tra 14 e 21.2 m di profondità.

In base al modello geologico di riferimento, l'occorrenza di tali breccie tettoniche sarebbe presumibilmente legata alla presenza di una zona di faglia, con giacitura a medio-basso angolo ed immersione mediamente verso S, che dislocerebbe i contatti ed oblitererebbe i rapporti geometrico-strutturali, tra calcescisti e breccie serpentinitiche, in questo settore di sottosuolo ancora parzialmente interessato dalle opere in progetto.

- **Unità BR-SERP:** attraversata e indagata, probabilmente, solo dal sondaggio SVP4, spinto sino a 30m di profondità da piano campagna, è rappresentata da un "deposito scistoso" dall'aspetto leggermente meno caotico e meno alterato rispetto alle breccie tettoniche precedentemente descritte. A tessitura "scagliosa" e di colore più omogeneo grigio-verdastro, le corrispondenti litologie risultano comunque anch'esse "permeate" da una più o meno abbondante matrice limoso-argilloso-sabbiosa al punto che, anche l'unico campione estratto dal corrispondente orizzonte delle carote del sondaggio SVP4, è risultato assimilabile ad una terra.
- **Unità CS:** rappresentata da calcescisti sani o poco fratturati, è l'unica, anche tra le altre unità appartenenti al substrato roccioso, per la quale, le corrispondenti litologie sono risultate appartenenti, a delle rocce, anche dal punto di vista geotecnico-geomeccanico. Tali rocce, al di sotto di un cappellaccio di alterazione di spessore più o meno significativo (unità CAP), sono apparse spesso, pur interessate da una foliazione molto pervasiva subverticale (sub-parallela agli assi delle carote), sane o molto poco fratturate, caratterizzate per ampi tratti da RQD 100%. Nonostante ciò, hanno mostrato caratteristiche di rocce tenere: nei report stratigrafici dei sondaggi SVP1 ed SVP2 sono state descritte come "friabili, più tenaci con la profondità" ed i valori di resistenza a compressione (σ_c) ricavati dalle prove di laboratorio sono risultati alquanto contenuti.

Di seguito si riporta uno stralcio del profilo geomeccanico elaborato a partire da quello geologico di progetto, nel quale sono state distinte le diverse unità geotecniche-geomeccaniche sopra descritte.

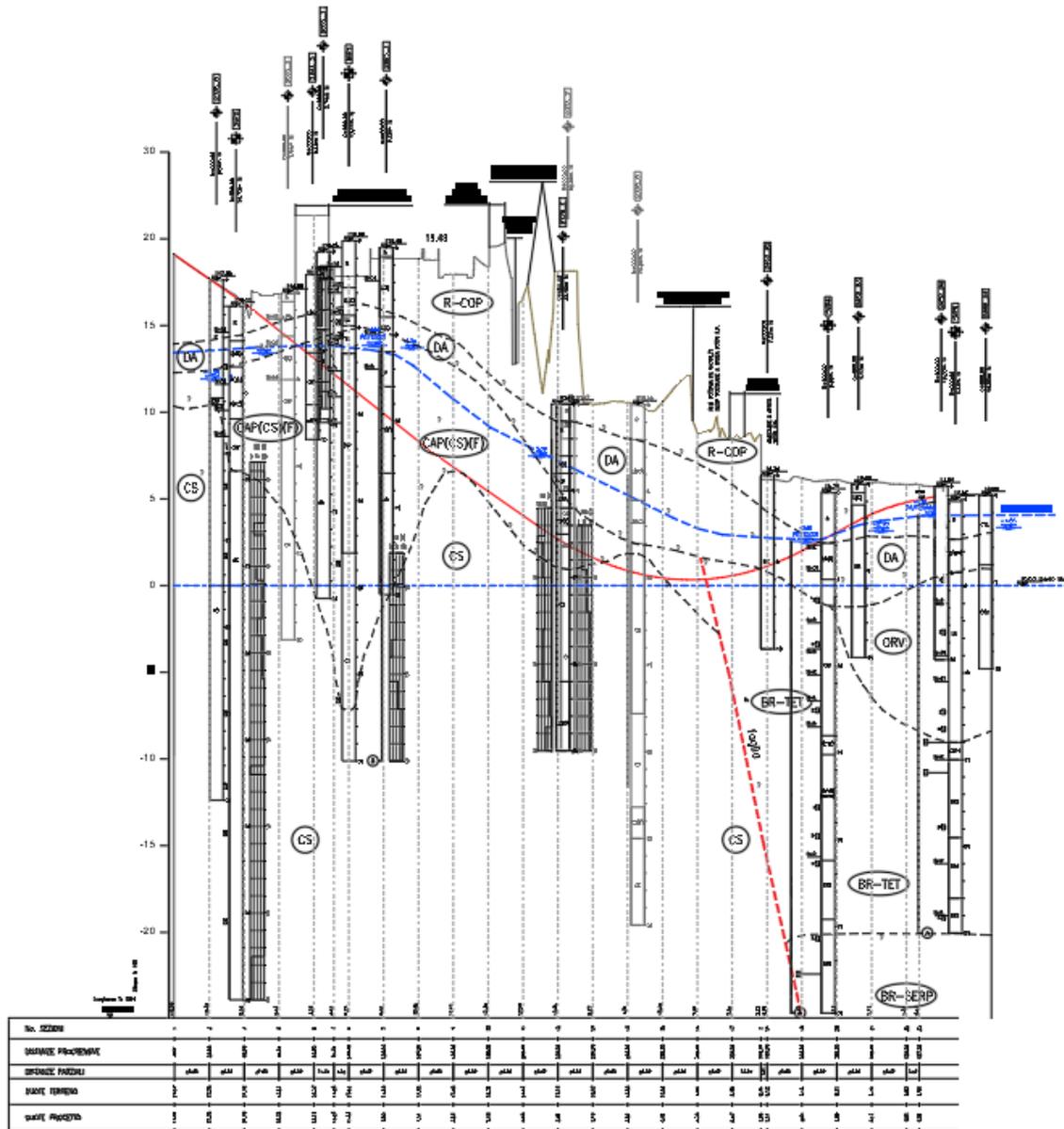


Figura 7-1 – Stralcio del profilo geomeccanico elaborato.

7.1.1 Dati idrogeologici

Dal punto di vista idrogeologico, gli unici dati a disposizione sono, da un lato, quelli relativi alla permeabilità dei terreni derivanti dalle due Prove Lefranc eseguite (rispettivamente all'interno dei fori SVP4 ed SVP5, nonché, per le Argille di Ortovero, due ulteriori valori ricavati dalle prove edometriche) e, dall'altro lato, quelli relativi alla soggiacenza della falda misurata nei fori dei sondaggi attrezzati con piezometri.

I valori di permeabilità sono riassunti nella seguente tabella, quelli di soggiacenza della falda, disponibili alla data di emissione della presente relazione.

Tabella 7-1 - Valori di permeabilità disponibili per il sottosuolo dell'area interessata dal progetto

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	Terreno/Unità geotcnica	Permeabilità (m/s)
SVP4	Lefranc	27.00-28.50	Brecce Serpentinittiche	4.5×10^{-6}
SVP5	Edometrica	4.50-4.80	Argille di Ortovero	$1-1.8 \times 10^{-10}$
	Edometrica	12.00-12.50	Argille di Ortovero	$5.6-9.4 \times 10^{-11}$
	Lefranc	15.00-16.50	Brecce tettoniche	4×10^{-6}

Tabella 7-2 - Valori di soggiacenza della falda freatica

Sondaggio	Quota	Soggiacenza	Quota falda (m)	Data
SVP1	19.88	6.22	13.66	7/10/2022
		6.3	13.58	18/10/2022
		6.03	13.85	01/12/2022
SVP2	16.11	4.2	11.91	28/09/2022
SVP4	5.33	2.82	2.51	22/09/2022 (sondaggio non ancora completato)
		3.35	1.98	18/10/2022
		2.8	2.53	01/12/2022
SVP5	4.96	2.12	2.84	30/09/2022
		0.9	4.06	01/12/2022

Dati i valori di permeabilità disponibili e sintetizzati in tabella, da medi per le brecce tettoniche e serpentinitiche a molto bassi per le Argille di Ortovero, si può ragionevolmente ipotizzare quanto di seguito:

- Poiché le brecce, sia quelle tettoniche, sia quelle serpentinitiche, rappresentano porzioni di substrato roccioso generalmente molto fratturato ed alterato, il "cappellaccio" di alterazione dei calcescisti dovrebbe essere caratterizzato da valori confrontabili, mentre, i calcescisti sani e poco fratturati, dovrebbero presentare valori più bassi più simili a quelli delle Argille (pur trattandosi di permeabilità secondaria e non primaria, per porosità, come per le Argille);
- Pur non avendo dati relativi a disposizione, i terreni superficiali, sia quelli alluvionali o eluvio-colluviali, sia quelli di natura antropica, dovrebbero presentare permeabilità molto variabile, in funzione della percentuale di frazione fine che li caratterizza, in ogni caso, è possibile ipotizzare un ordine di grandezza non inferiore a 10^{-5} m/s, vale a dire generalmente superiore rispetto a quella che caratterizza il substrato roccioso alterato.

Inoltre, come si può dedurre dai dati di soggiacenza, l'area interessata dallo svincolo in progetto, è caratterizzata da una falda freatica che, raccordandosi con la quota di base rappresentata dal livello del mare, risulta alquanto superficiale.

Le linee di deflusso di tale falda dovrebbero essere dirette circa sub-perpendicolarmente alla linea di costa, se non in caso di significativa ricarica da parte del torrente Varenna che potrebbe indurle, con ogni probabilità, a disporsi leggermente più verso SE.

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

Nelle pagine che seguono sono descritte le analisi e le elaborazioni eseguite per caratterizzare dal punto di vista geomeccanico e geotecnico gli ammassi rocciosi e i terreni che interesseranno le opere dello svincolo in progetto.

Di seguito si presentano quindi, suddivisi per ciascuna delle unità geotecniche presentate e descritte nel precedente capitolo relativo al modello geotecnico di riferimento, i risultati delle prove in sito e di laboratorio realizzate.

In particolare, grazie alle analisi granulometriche ed alla determinazione dei limiti di Atterberg, i vari campioni sono stati classificati secondo le nomenclature dell'USCS e CNR-UNI e plottati sulla Carta di Plasticità di Casagrande.

Inoltre, per i depositi e terreni grossolani attraversati dai sondaggi, in base ai risultati delle prove SPT ed utilizzando una serie di correlazioni presenti nella letteratura di settore, è stato possibile stimare i valori della resistenza al taglio (Angolo d'attrito efficace) ed il Modulo di deformazione.

Per le brecce tettoniche tuttavia, non è stato possibile condurre tale analisi poiché lo strumento ha sempre raggiunto il cosiddetto "rifiuto" alla penetrazione della "punta aperta" nei corrispondenti terreni (tale "rifiuto" corrisponde al raggiungimento di 50/100 colpi, per 15/30 cm di avanzamento di un campionatore standardizzato – la "punta aperta", appunto - che penetra nel terreno sotto la spinta dei colpi di un maglio del peso di 63,5 kg in caduta libera da un'altezza di 76 cm).

Per le Argille di Ortovero, viceversa, vista la granulometria fine che le caratterizza, tale analisi non è stata condotta, avendo a disposizione i risultati più attendibili derivanti delle prove di taglio diretto realizzate in laboratorio sui campioni indisturbati.

Neanche per l'unità appartenete al cappellaccio di alterazione tale analisi è stata condotta, poiché i corrispondenti materiali sono stati trattati come rocce tenere.

Le correlazioni utilizzate per stimare i valori dell'angolo d'attrito efficace per i terreni a granulometria maggiore (frazione ghiaiosa e sabbiosa) sono state:

- Schmertmann, 1977 (utilizzata per sabbie e ghiaie poco limose)
- De Mello (utilizzata per sabbie in generale)
- Malcev, 1964 (utilizzata per sabbie in generale)
- Owasaki&Iwasaki (utilizzata per sabbie da medie a grossolane fino a ghiaiose)
- Shioi-Fukuni, 1982 (Japanese National Railway) (utilizzata per sabbie medie fino a ghiaiose)
- Japanese Railway Stand. Buildings (utilizzata per sabbie da medie a grossolane fino a ghiaiose)
- Japanese Railway Stand. Buildings (con Dr e CN di Skempton, utilizzata per sabbie da medie a grossolane fino a ghiaiose)

Per la stima dei valori del Modulo di deformazione, sempre per i terreni a granulometria maggiore (frazione ghiaiosa e sabbiosa), le correlazioni utilizzate in questo caso, sono state:

- D'Apollonia et al. 1970 (in Denver 1984, utilizzata per sabbie e ghiaie)
- Bowles, 1997 (utilizzata sabbie ghiaiose)
- Denver 1982 (utilizzata per sabbie e ghiaie)

Viceversa, le correlazioni utilizzate per la stima dei valori del modulo di deformazione per i terreni a granulometria più fine (sostanzialmente, le argille di Ortovero, per le quali in effetti, come già anticipato, si avevano a disposizione anche i risultati della prova pressiométrica, si veda il paragrafo 3.2.2) sono state:

- Schultze e Menzenbach, in Bowles 1995 (utilizzata per sabbie e sabbie limose)
- Bowles, 1995 (utilizzata per sabbie argillose)
- Bowles, 1997 (utilizzata per limi, limi argillosi o limi sabbiosi)

Sulla base ancora dei valori di N_{spt} ottenuti, utilizzando un'ulteriore serie di correlazioni note in letteratura, è stato possibile stimare, per le Argille di Ortovero, anche i valori della coesione non drenata.

Le correlazioni utilizzate sono state:

- av-Fac Design Manual, 1982 (Cestari, pag. 238) $N_{spt}=0,268c_u$
- Bowles 1997

- Terzaghi-Peck, 1948

8.1 UNITÀ GEOTECNICA R-COP

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, tutti i valori dei principali parametri geotecnici, ricavati per l'unità geotecnica R-COP (depositi superficiali generici e di natura antropica), dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite.

8.1.1 Valori N_{spt}

Il grafico seguente mostra l'andamento dei valori ottenuti per le prove SPT in funzione della profondità: tutti i valori di N_{spt} registrati, sono risultati compresi tra 10 e 41.

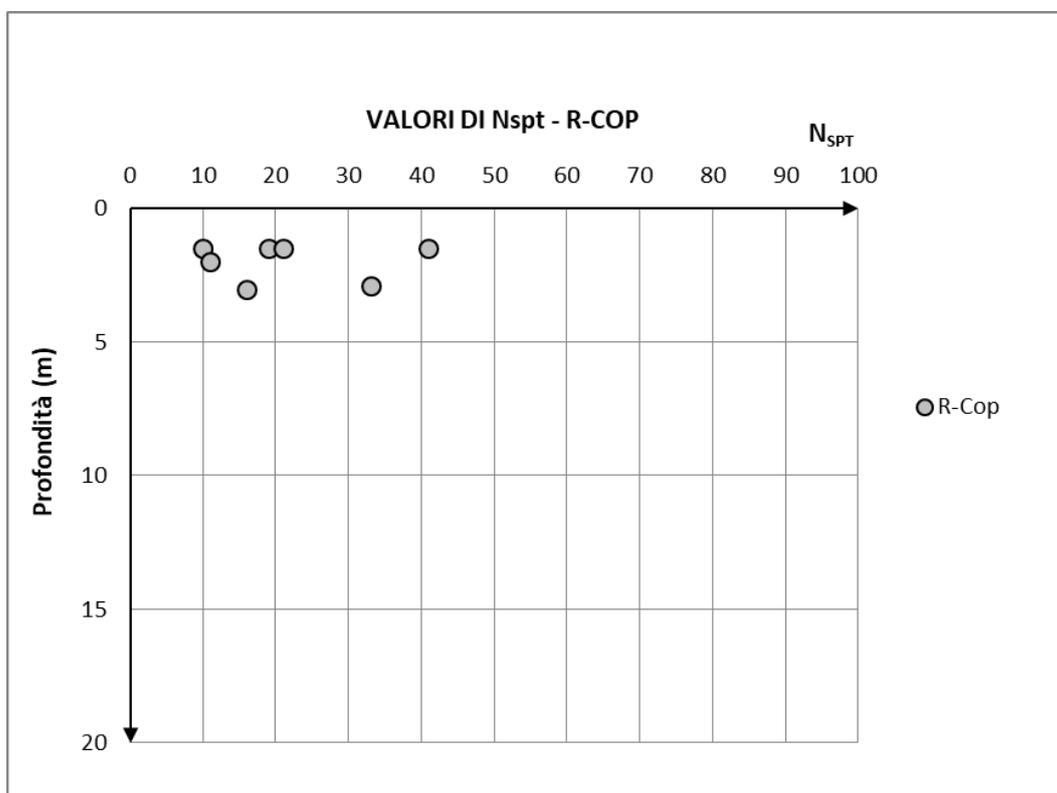


Figura 8-1 – Andamento dei valori di N_{spt}, per l'unità geotecnica R-COP, in funzione della profondità.

8.1.2 Angolo d'attrito efficace

Partendo dai succitati valori di N_{spt}, in base alle correlazioni elencate nell'introduzione di questo cap. 8, sono stati ricavati i valori dell'angolo d'attrito efficace.

Il grafico seguente mostra l'andamento dell'angolo d'attrito efficace in funzione della profondità: tutti i valori ricavati, rientrano in un range compreso tra i valori di 25.8 e 46.5° (escludendo il valore, isolato e più elevato di 54.7°).

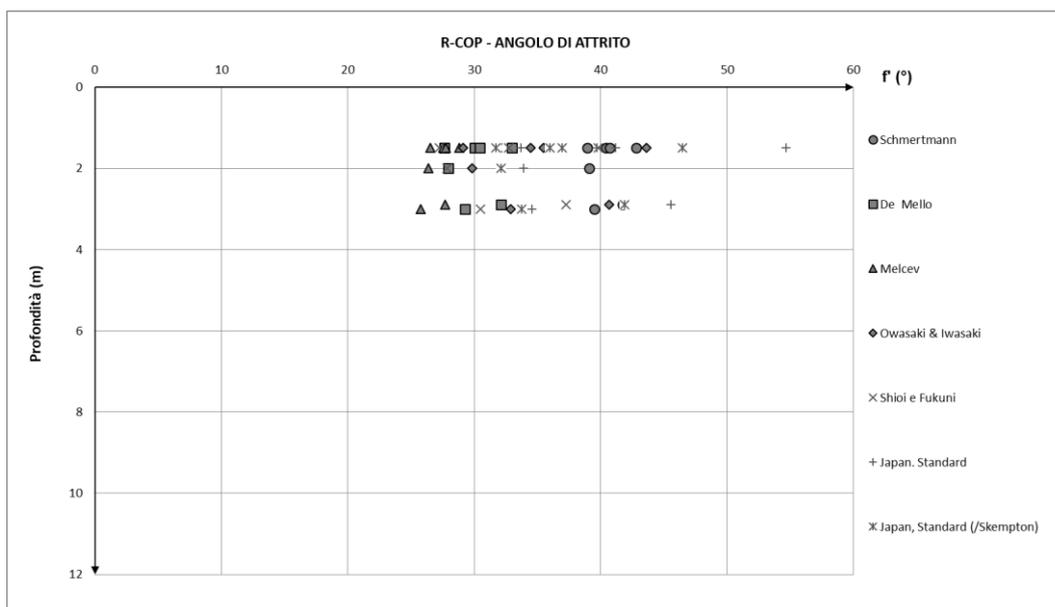


Figura 8-2 – Andamento dei valori dell'angolo di attrito, per l'unità geotecnica R-COP, in funzione della profondità.

Per ciascun approccio di calcolo (Schmertmann, De Mello, etc.), sono stati individuati i valori minimi, medi, massimi, deviazione standard e quinto percentile.

Nella seguente tabella vengono riportate i valori medi per ciascun item (minimum, average e Maximum value, ad esempio il valore medio dei minimi di tutte le correlazioni è pari a 30,6).

I valori ottenuti sono compatibili con i valori tipici del materiale oggetto di questo paragrafo alla luce delle sue caratteristiche geotecniche (granulometrie, etc.). Nel calcolo è stato assunto il valore medio opportunamente approssimato ($\phi=35^\circ$).

Tabella 8-1 - Valori minimo, medio, massimo, deviazione standard e quinto percentile ottenuti per la stima del Modulo di Deformazione operativo dell'unità geotecnica R-COP

PROVE SPT - ANGOLO DI ATTRITO	
R-COP	
	[°]
Minimum mean value	30,6
Average mean value	34,7
Maximum mean value	41,3
Dev. St.	3,9
5 Percentile	26,8

8.1.3 Modulo di deformazione

Partendo sempre dai valori di N_{spt} , in base alle ulteriori correlazioni elencate nell'introduzione di questo cap. 6, sono stati ricavati i valori del modulo di deformazione.

Il grafico seguente mostra l'andamento del modulo di deformazione in funzione della profondità: tutti i valori ricavati, rientrano in un range compreso tra i valori di 26.3 e 86MPa, se si esclude il valore più isolato di 124.6MPa.

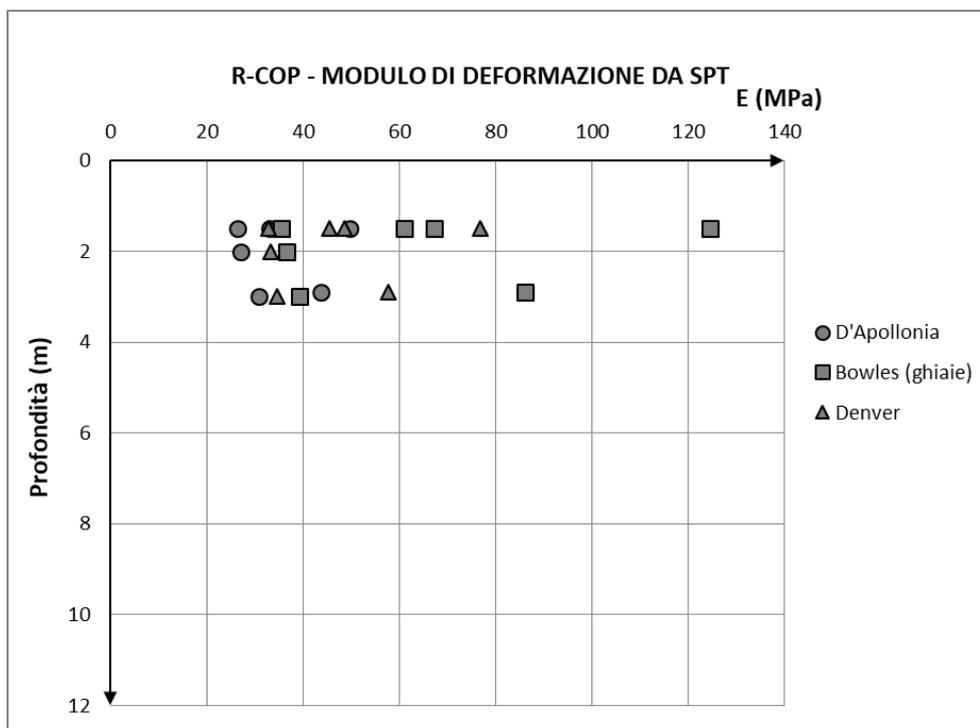


Figura 8-3 – Andamento dei valori del modulo di deformazione ricavati da prove SPT, per l'unità geotecnica R-COP, in funzione della profondità.

Per ciascun approccio di calcolo (D'Appollonia, Bowles, etc.), sono stati individuati i valori minimi, medi, massimi, deviazione standard e quinto percentile.

Nella seguente tabella vengono riportate i valori medi per ciascun item (minum, average e Maximum value, ad esempio il valore medio dei minimi di tutte le correlazioni è pari a 31,6).

I valori ottenuti sono compatibili con i valori tipici del materiale oggetto di questo paragrafo alla luce delle sue caratteristiche geotecniche (granulometrie, etc.). Nel calcolo è stato assunto un valore cautelativo per tenere conto dell'elevata disomogeneità dell'unità geotecnica ($E=10-20$ MPa).

Tabella 8-2 - Valori minimo, medio, massimo, deviazione standard e quinto percentile ottenuti per la stima del modulo di deformazione dell'unità geotecnica R-COP

PROVE SPT - MODULO DI DEFORMAZIONE	
R-COP	
	[MPa]
Minimum mean value	31,6
Average mean value	48,8
Maximum mean value	83,7
Dev. St.	19,1
5 Percentile	27,1

8.1.4 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'

Le analisi granulometriche eseguite sui n.4 campioni appartenenti all'unità geotecnica R-COP, hanno restituito i fusi granulometrici rappresentati nel grafico seguente.

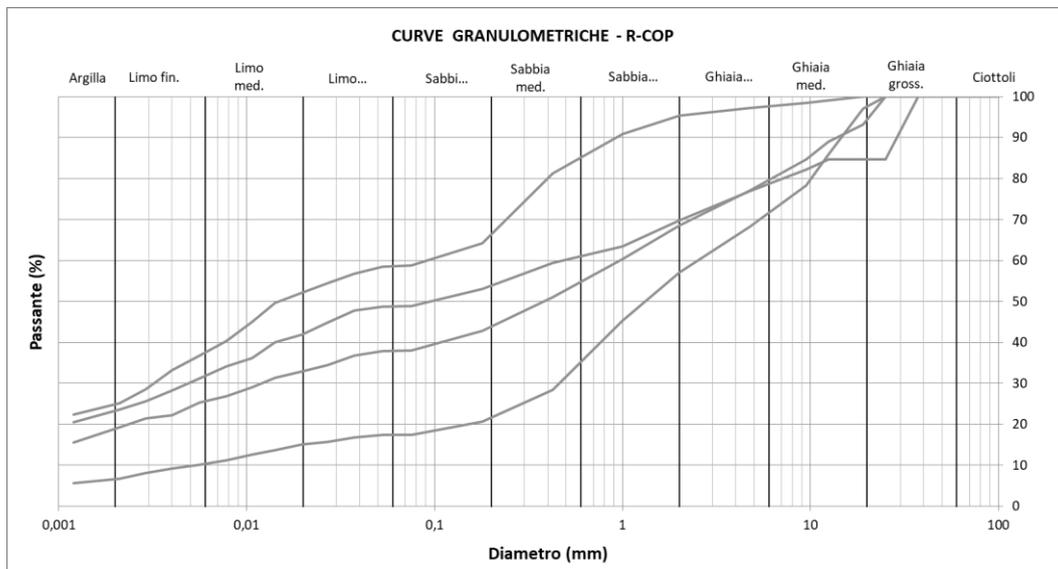


Figura 8-4 – Fusi granulometrici dei n.4 campioni appartenenti all'Unità geotecnica R-COP.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze delle analisi eseguite, sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle.

Tabella 8-3 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS
SVP1	CR1-SPT1	1.50-1.95	SM (Sabbie limose)
	CR2-SPT2	3.00-3.45	SM-SC (Sabbie limose - Sabbie argillose)
SVP2	CR1-SPT1	1.50-1.95	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
SVP5	CR1-SPT1	1.50-1.95	SC (Sabbie argillose)

Tabella 8-4 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione CNR-UNI
SVP1	CR1-SPT1	1.50-1.95	A1-b (Ghiaia, ghiaia sabbiosa, sabbia grossa;
	CR2-SPT2	3.00-3.45	A6 (Argille poco compressibili)
SVP2	CR1-SPT1	1.50-1.95	A7-6 (Argille fortemente compressibili fortemente)
SVP5	CR1-SPT1	1.50-1.95	A6 (Argille poco compressibili)

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, i fusi granulometrici dei n.4 campioni appartenenti all'unità geotecnica R-COP, si collocano quasi tutti, secondo quanto riportato nella seguente fig. 8.5, all'interno del campo delle "Argille organiche di media plasticità", al limite con quello dei "Limi inorganici di media compressibilità e limi organici", soltanto un campione rientra nel campo delle "Argille inorganiche di bassa plasticità" al limite con quello dei "Limi inorganici di bassa compressibilità".

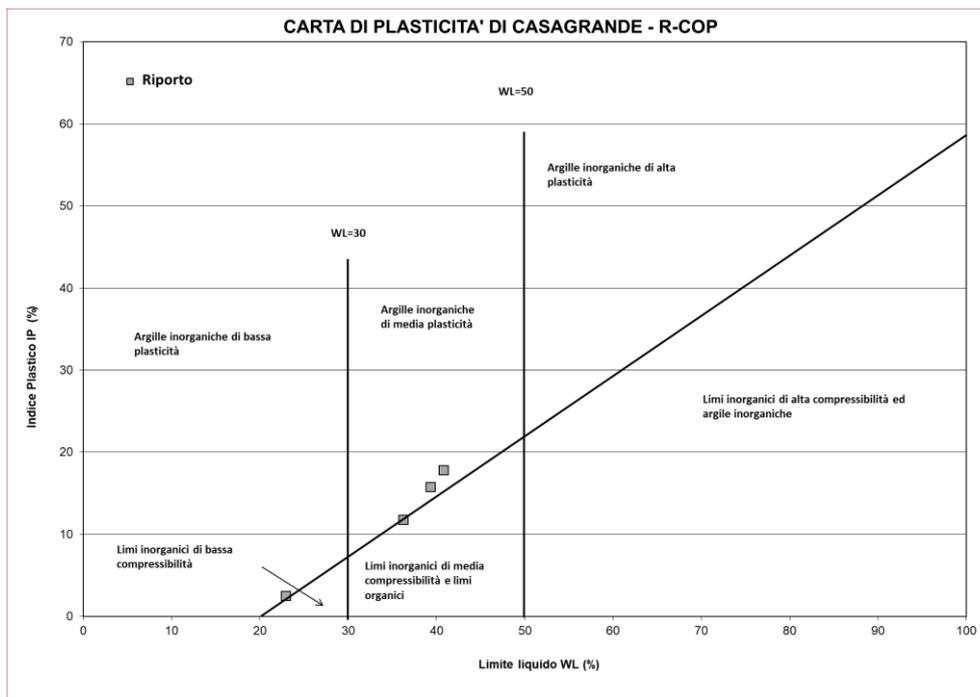


Figura 8-5 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati i valori del limite liquido e dell'Indice di plasticità per i n.4 campioni appartenenti all'Unità geotecnica R-COP.

Oltre a quanto sin qui dettagliato, per l'unità geotecnica R-COP, sono stati assegnati, in base a dati di bibliografia, esperienza su terreni simili o precedente caratterizzazione PFTE, i seguenti ulteriori parametri

- peso di volume naturale (γ) = 18-19 kN/m³
- coesione efficace (c') = 0 kPa

8.2 UNITÀ GEOTECNICA DA

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, tutti i valori dei principali parametri geotecnici, ricavati, per l'unità geotecnica DA (depositi alluvionali), dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite.

8.2.1 Peso di Volume Naturale

Il grafico seguente mostra l'andamento del Peso di Volume Naturale, in funzione della profondità, per i campioni appartenenti all'unità geotecnica DA: i due valori, ricavati dalle prove di laboratorio eseguite, corrispondono a 18.25 e 20.01 kN/m³.

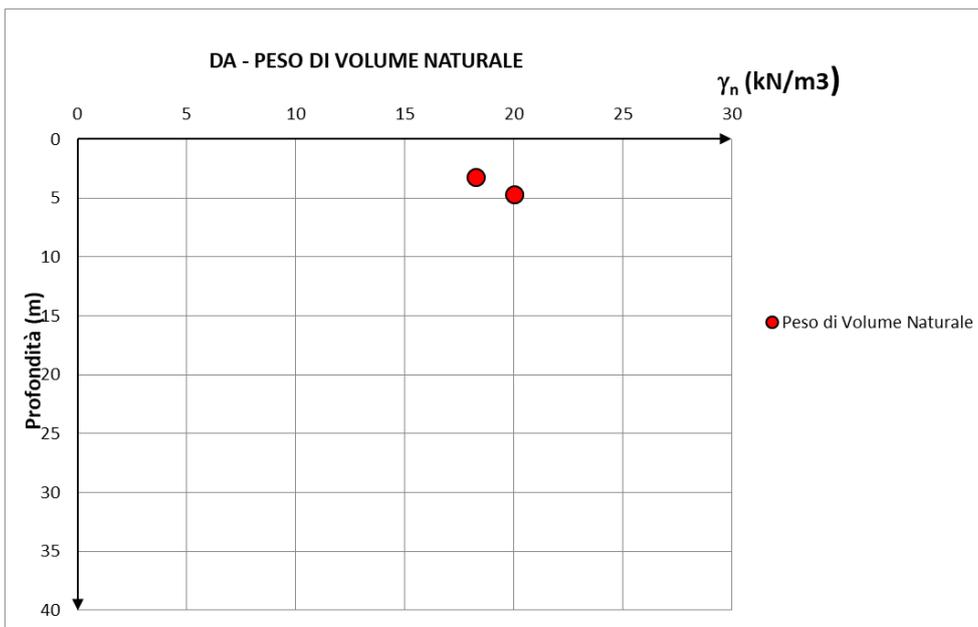


Figura 8-6 – Andamento dei valori del Peso di Volume Naturale, per l'unità geotecnica DA, in funzione della profondità.

8.2.2 Valori N_{spt}

Il grafico seguente mostra l'andamento dei valori ottenuti per le prove SPT in funzione della profondità: i n.5 valori di N_{spt} determinati, sono compresi tra 6 e 37.

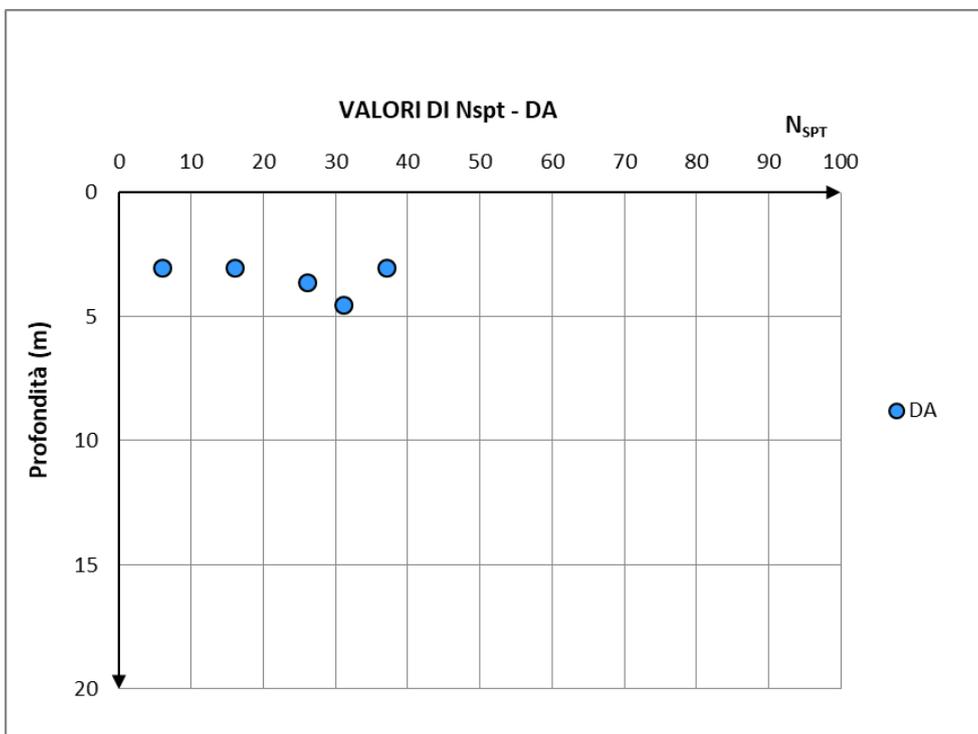


Figura 8-7 – Andamento dei valori di N_{spt}, per l'unità geotecnica DA, in funzione della profondità.

8.2.3 Angolo d'attrito efficace

Partendo dai succitati valori di N_{spt} , in base alle correlazioni elencate sopra, sono stati ricavati i valori dell'angolo d'attrito efficace.

Il grafico seguente mostra l'andamento dell'angolo d'attrito efficace in funzione della profondità: tutti i valori ricavati, rientrano in un range compreso tra i valori di 24.5 e 47.2°.

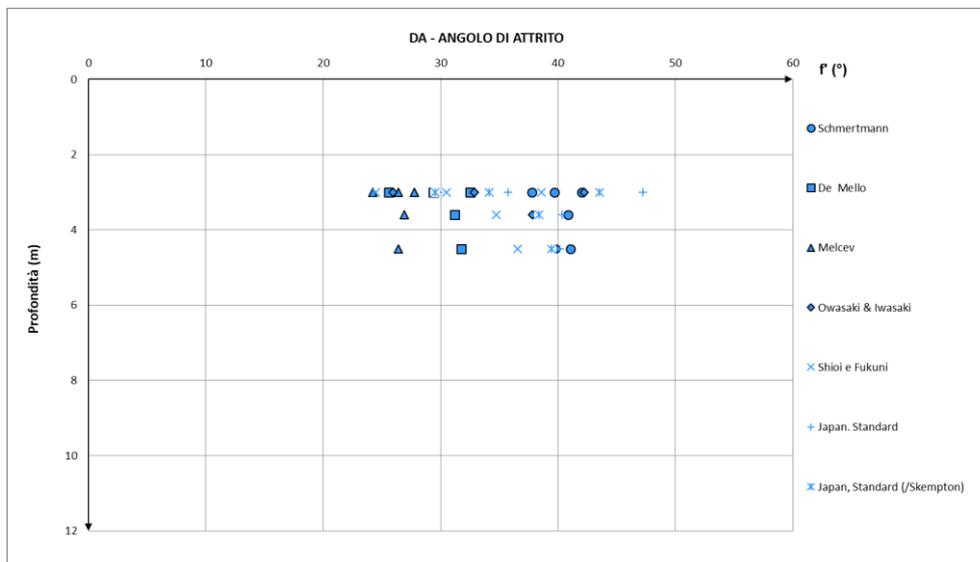


Figura 8-8 – Andamento dei valori dell'angolo di attrito, per l'unità geotecnica DA, in funzione della profondità.

Per ciascun approccio di calcolo (Schemrtmann, De Mello, etc.), sono stati individuati i valori minimi, medi, massimi, deviazione standard e quinto percentile.

Nella seguente tabella vengono riportate i valori medi per ciascun item (minum, average e Maximum value, ad esempio il valore medio dei minimi di tutte le correlazioni è pari a 28,2).

Tabella 8-5 - Valori minimo, medio, massimo, deviazione standard e quinto percentile ottenuti per la stima dell'angolo d'attrito efficace dell'unità geotecnica DA

PROVE SPT - ANGOLO DI ATTRITO	
DA	
	[°]
Minimum mean value	28,2
Average mean value	34,4
Maximum mean value	39,1
Dev. St.	4,2
5 Percentile	25,3

Si segnala che, per i depositi alluvionali, è disponibile una prova di taglio diretto su campione indisturbato (sondaggio SV2, campione CI1, profondità 3m da pc) che ha dato i seguenti risultati per i parametri di resistenza: $\phi=25$, $c=3$ kPa. Tali valori sono stati assunti cautelativamente nel calcolo.

8.2.4 Modulo di deformazione

Partendo sempre dai valori di N_{spt} , in base alle ulteriori correlazioni elencate sopra, sono stati ricavati i valori del modulo di deformazione.

Il grafico seguente mostra l'andamento del modulo di deformazione in funzione della profondità: tutti i valori ricavati, rientrano in un range compreso tra i valori di 19.3 e 63.9MPa, se si esclude il valore più isolato di 93MPa.

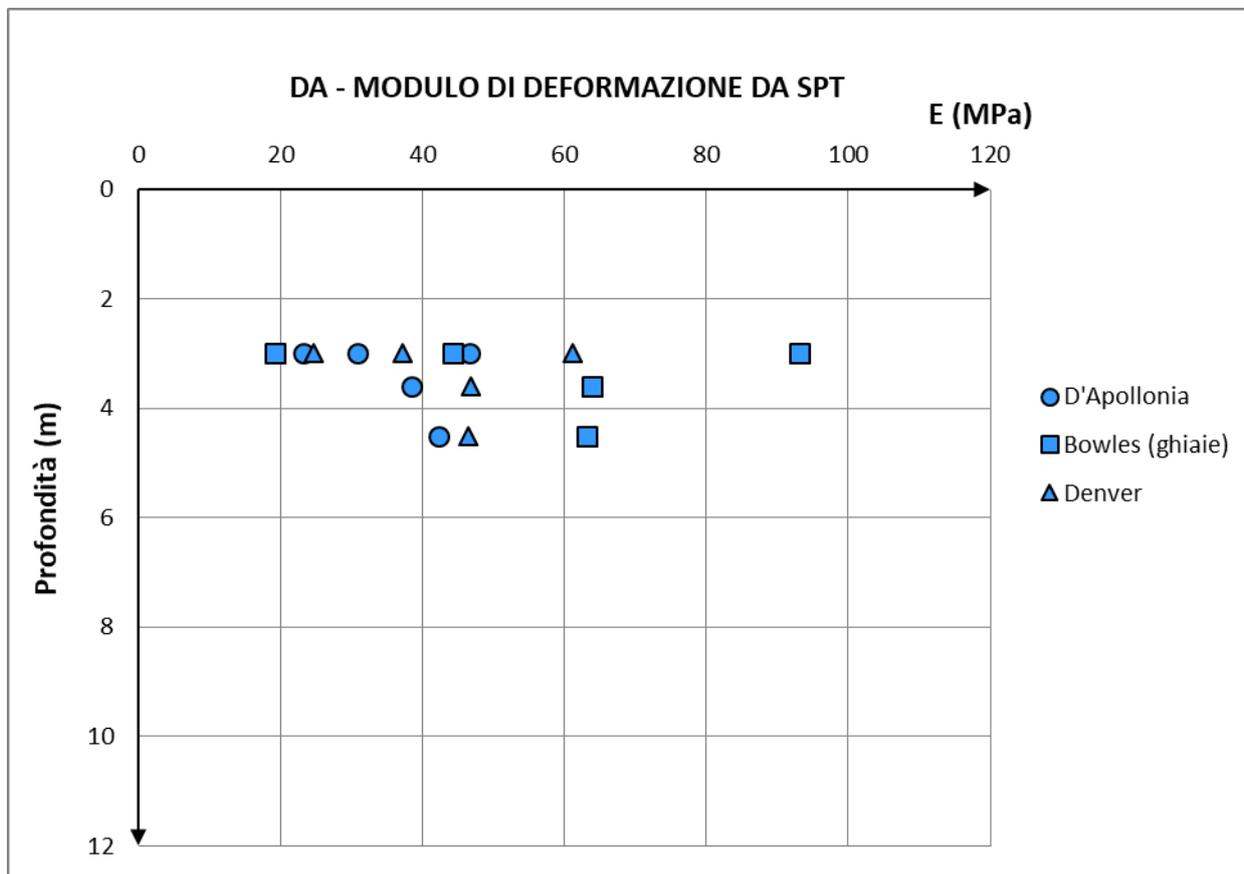


Figura 8-9 – Andamento dei valori del modulo di deformazione ricavati da prove SPT, per l'unità geotecnica DA, in funzione della profondità.

Per ciascun approccio di calcolo (D'Appolonia, Bowles, etc.), sono stati individuati i valori minimi, medi, massimi, deviazione standard e quinto percentile.

Nella seguente tabella vengono riportate i valori medi per ciascun item (minum, average e Maximum value, ad esempio il valore medio dei minimi di tutte le correlazioni è pari a 22,4).

I valori ottenuti sono compatibili con i valori tipici del materiale oggetto di questo paragrafo in accordo alle sue caratteristiche geotecniche (granulometrie, etc.).

Nel calcolo è stato assunto un valore per tenere conto dell'elevata variabilità dell'unità (E=20-45 M Pa).

Tabella 8-6 - Valori minimo, medio, massimo, deviazione standard e quinto percentile ottenuti per la stima del modulo di deformazione dell'unità geotecnica DA

PROVE SPT - MODULO DI DEFORMAZIONE	
DA	
	[MPa]
Minimum mean value	22,4
Average mean value	45,4
Maximum mean value	67,0
Dev. St.	16,7
5 Percentile	22,1

8.2.5 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITÀ

Le analisi granulometriche eseguite sui n.6 campioni appartenenti all'unità geotecnica DA, hanno restituito i fusi granulometrici rappresentati nel grafico seguente.

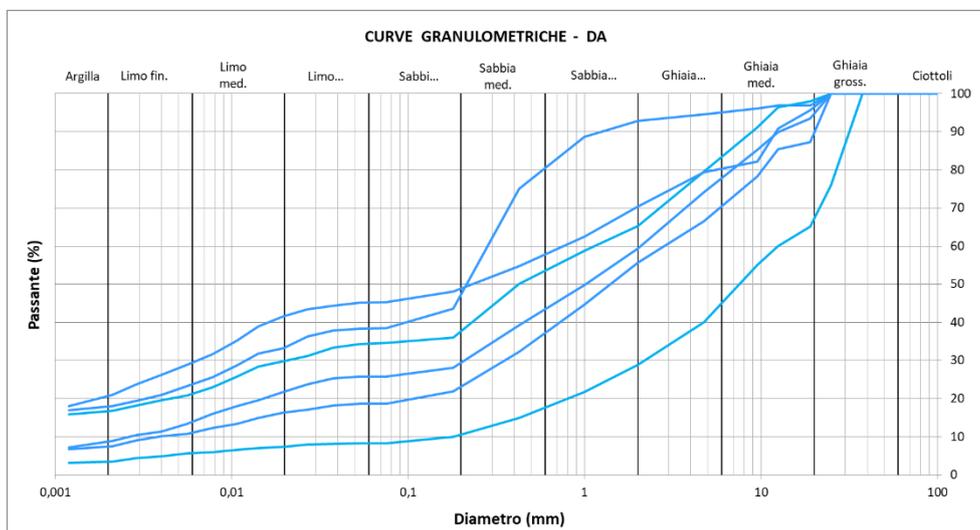


Figura 8-10 – Andamento dei valori del modulo di deformazione ricavati da prove SPT, per l'unità geotecnica DA, in funzione della profondità.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze delle analisi eseguite, sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle.

Tabella 8-7 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità(m)	Classificazione USCS
SVP1	CI1	4.50-4.90	SC (Sabbie argillose)
SVP2	CI1	4.50-4.90	SC (Sabbie argillose)
SVP4	CR1-SPT1	3.00-3.45	SC (Sabbie argillose)
	CR2-SPT2	4.50-4.95	SM-SC (SabGhiaia limosa ben assortibile limose -
	CI1	6.00-6.40	GW-GM (Ghiaia limosa ben assortita)
SVP5	CR2-SPT2	3.00-3.45	SM (Sabbie limose)

Tabella 8-8 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità(m)	Classificazione CNR-UNI
SVP1	CI1	4.50-4.90	A6 (Argille poco compressibili)
SVP2	CI1	4.50-4.90	A2-6 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \leq 40%,
SVP4	CR1-SPT1	3.00-3.45	A6 (Argille poco compressibili)
	CR2-SPT2	4.50-4.95	A1-b (Ghiaia, ghiaia sabbiosa, sabbia grossa;
	CI1	6.00-6.40	A1-a (Ghiaia, ghiaia sabbiosa, sabbia grossa;
SVP5	CR2-SPT2	3.00-3.45	A2-6 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \leq 40%,

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, i fusi granulometrici dei n.3 campioni appartenenti all'unità geotecnica DA, si collocano prevalentemente, secondo quanto riportato nella seguente figura,

all'interno del campo delle "Argille organiche di media plasticità", al limite con quello dei "Limi inorganici di media compressibilità e limi organici", soltanto due campioni rientrano rispettivamente, uno nel campo delle "Argille inorganiche di bassa plasticità" l'altro in quello dei "Limi inorganici di bassa compressibilità".

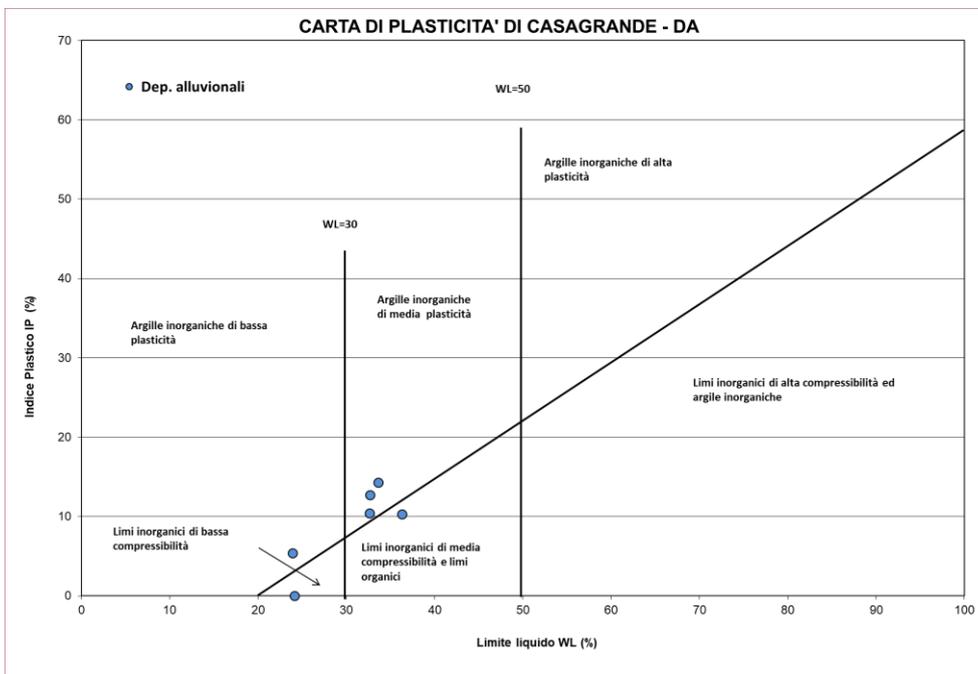


Figura 8-11 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati i valori del limite liquido e dell'Indice di plasticità per i n.6 campioni appartenenti all'Unità geotecnica DA.

8.2.6 Prova di taglio diretto e residuo

Infine, per quanto riguarda l'unità geotecnica DA, nei due grafici seguenti, si riportano, rispettivamente per l'angolo di attrito efficace e la coesione drenata, i valori ricavati dalla prova di taglio diretto e residuo eseguita (valore di picco dell'angolo di attrito 30.9°, valore di picco della coesione 10.5 kPa).

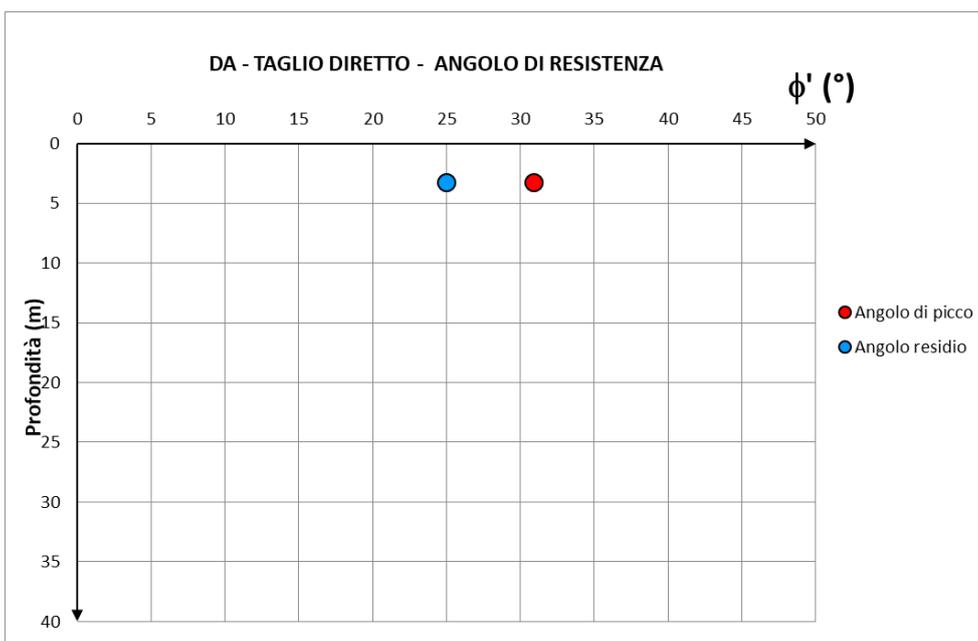


Figura 8-12 – Valori di angolo di attrito efficace, di picco e residuo, ricavati dalla prova di taglio eseguita sul campione appartenente all'Unità geotecnica DA.

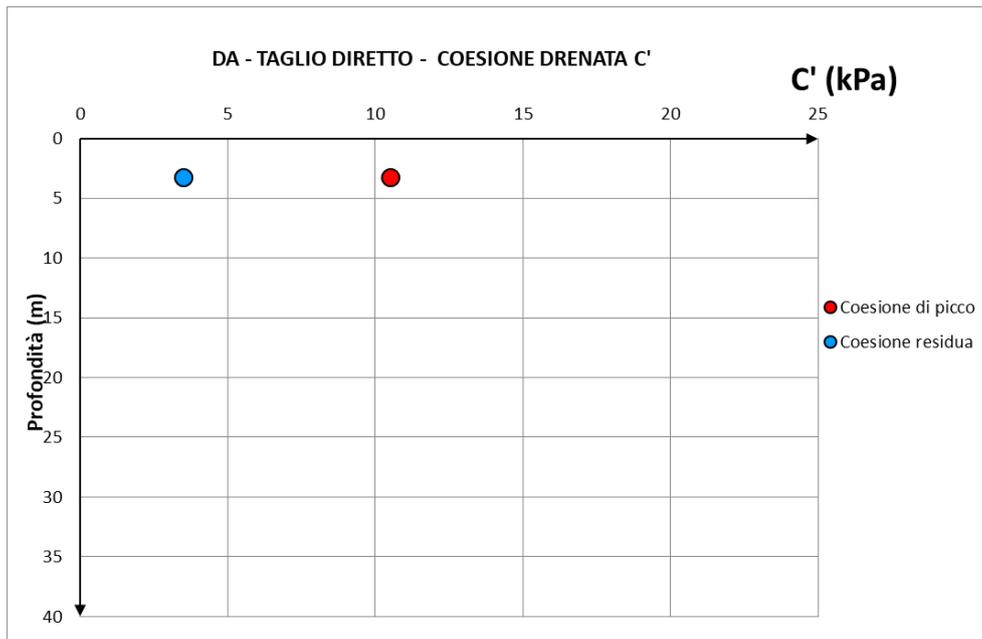


Figura 8-13 – Valori di coesione drenata, di picco e residua, ricavati dalla prova di taglio eseguita sul campione appartenente all'Unità geotecnica DA.

8.3 UNITÀ GEOTECNICA ORV

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, tutti i valori dei principali parametri geotecnici, ricavati per l'unità geotecnica ORV (Argille Plioceniche di Ortovero), dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite.

8.3.1 Peso di Volume Naturale

Il grafico seguente mostra l'andamento del Peso di Volume Naturale, in funzione della profondità, per i campioni appartenenti all'unità geotecnica ORV: i tre valori ricavati dalle prove di laboratorio eseguite sono compresi tra 18.96 e 20.06 kN/m³.

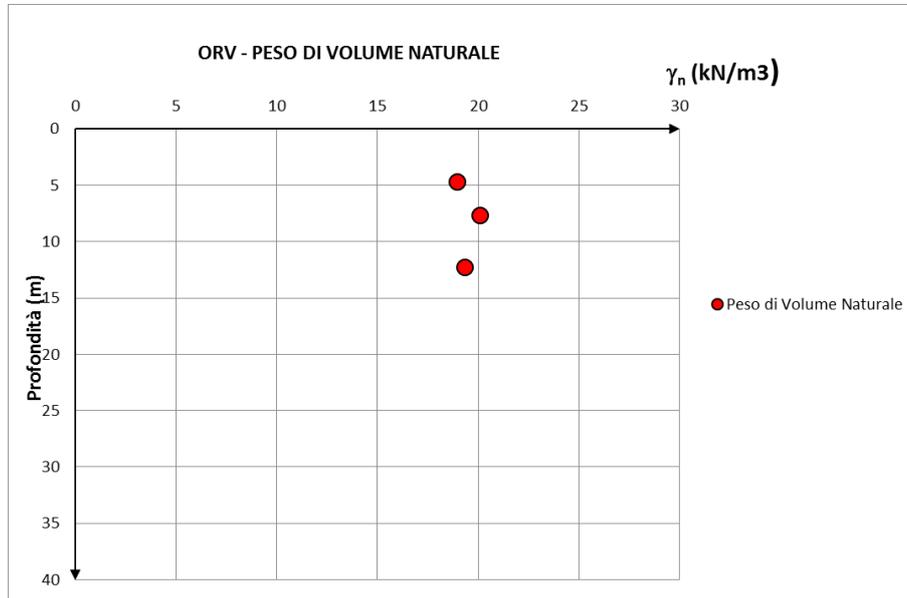


Figura 8-14 – Andamento dei valori del Peso di Volume Naturale, per l'unità geotecnica ORV, in funzione della profondità.

8.3.2 Valori N_{spt}

Il grafico seguente mostra l'andamento dei valori ottenuti per le prove SPT in funzione della profondità: i n.3 valori di N_{spt} determinati, sono compresi tra 49 e 76.

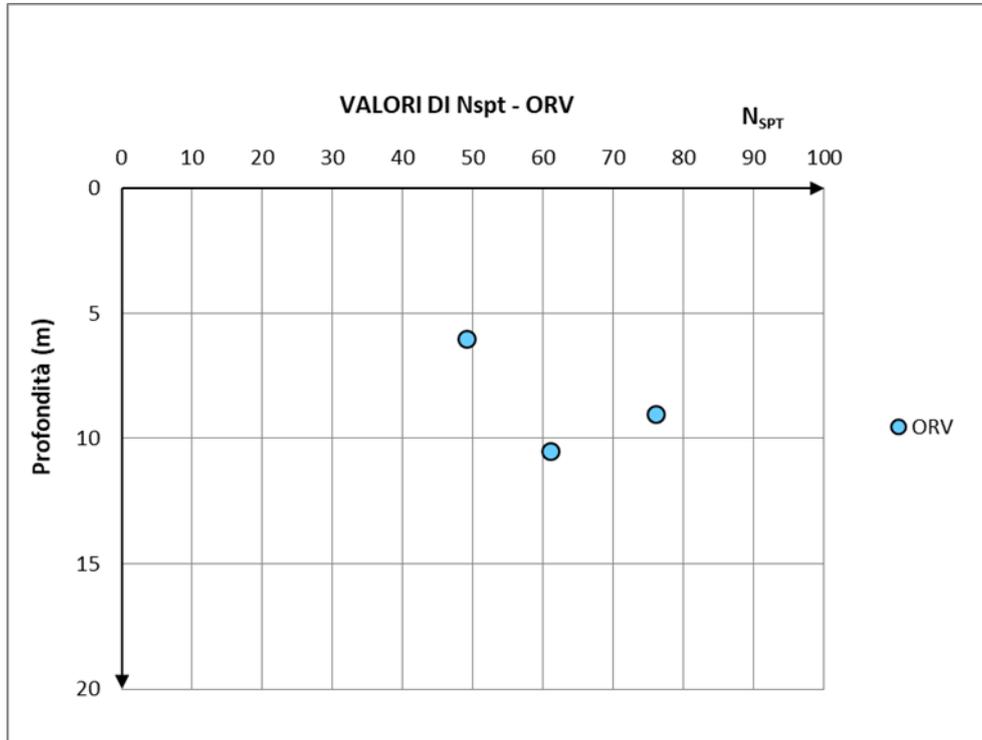


Figura 8-15 – Andamento dei valori del Peso di Volume Naturale, per l'unità geotecnica ORV, in funzione della profondità.

8.3.3 Angolo d'attrito efficace

Per quanto riguarda le Argille di Ortovero, a causa della loro granulometria fine ed omogenea, non sono stati ricavati i valori dell'angolo d'attrito efficace a partire dai valori di N_{spt} , tuttavia, sono stati comunque ricavati i valori del modulo di deformazione, utilizzando le corrispondenti correlazioni elencate sopra.

8.3.4 Modulo di deformazione

Per le Argille di Ortovero il modulo elastico operativo è ottenuto considerando le correlazioni elastiche che permettono di stimare il modulo elastico e di taglio dal valore di velocità delle onde di taglio a sua volta stimata tramite la correlazione di Ohta e Goto.

I moduli iniziali di taglio (G_{01}) e di Young (E_{01}) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{01} = \gamma / 9.81 (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_{01} = G_{01} \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec .

Il modulo di deformazione operativo E_{op} è assunto pari a $E_{op} = (1/5) E_{01}$, correlazione tipica per il modulo elastico da implementare nel calcolo delle paratie.

La velocità delle onde di taglio da prove SPT può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) (vedi anche Baldi et al., 1989); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/s})$$

essendo:

$C = 67,3$

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (per le argille di ortovero (Pliocene) - $f_A = 1.3$)

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (per i coesivi $f_G = 1$)

Per le prove SPT nel foro di sondaggio SV5 risultano valori di Modulo operativo compresi nel range [57-78 MPa], ai fini dei calcoli delle paratie, si è assunto cautelativamente $E = 50$ MPa.

Qualora negli sviluppi futuri del progetto si svilupperanno analisi specifiche per la stima dei cedimenti, specifiche considerazioni sono attese circa i parametri di deformabilità che tengano conto dei fenomeni di consolidazione degli strati coesivi.

Profondità (m da p.c.)	Terreno (Tipo)	SPT (Colpi/30cm)	f_A (-)	f_G (-)	V_{s_A} (m/s)	G_{0_A} (MPa)	E_{0_A} (MPa)	E_{OPER} (MPa)
6	C	49	1.3	1	243	114	286	57
9	C	76	1.3	1	284	156	391	78
10.5	C	61	1.3	1	282	154	385	77

8.3.5 Coesione non drenata Cu

Solamente per le Argille di Ortovero, grazie alla granulometria fine che le caratterizza, sulla base dei valori N_{spt}, sono stati stimati i valori di coesione non drenata Cu.

Il grafico seguente mostra l'andamento della coesione non drenata Cu in funzione della profondità: tutti i valori ricavati, rientrano in un range compreso tra i valori di 182.8 456 k Pa e 456 k Pa.

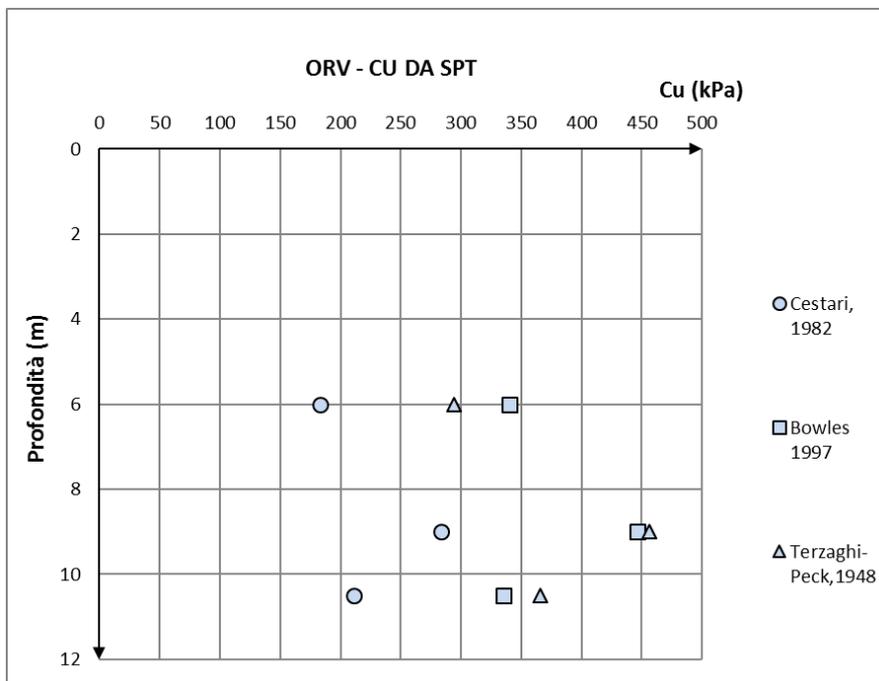


Figura 8-16 – Andamento dei valori della coesione non drenata Cu ricavati da prove SPT, per l'unità geotecnica ORV, in funzione della profondità.

Per ciascun approccio di calcolo (Cestari, Bowles, etc.), sono stati individuati i valori minimi, medi, massimi, deviazione standard e quinto percentile.

Nella seguente tabella vengono riportate i valori medi per ciascun item (minum, average e Maximum value, ad esempio il valore medio dei minimi di tutte le correlazioni è pari a 270,6).

I valori ottenuti sono compatibili con i valori tipici del materiale oggetto di questo paragrafo in accordo alle sue caratteristiche geotecniche (granulometrie, etc.).

Nella caratterizzazione dell'unità adottata, che non rientra nei calcoli, è stato assunto un valore cautelativo opportunamente approssimati ($C_u=250-300$).

Si segnala la presenza di una prova triassiale UU su campione indisturbato (Sondaggio SV5 – campione C13, profondità 12 m da pc) con valore di CU stimata pari a $C_U=314$ kPa.

Tabella 8-9 - Valori minimo, medio, massimo, deviazione standard e quinto percentile ottenuti per la stima della Coesione non drenata dell'unità geotecnica ORV

PROVE SPT – COESIONE NON DRENATA	
ORV	
	[kPa]
Minimum mean value	270.6
Average mean value	323.9
Maximum mean value	395.2
Dev. St.	65.3
5 Percentile	194.1

8.3.6 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITÀ

Le analisi granulometriche eseguite sui n.7 campioni appartenenti all'unità geotecnica ORV, hanno restituito i fusi granulometrici rappresentati nel grafico seguente.

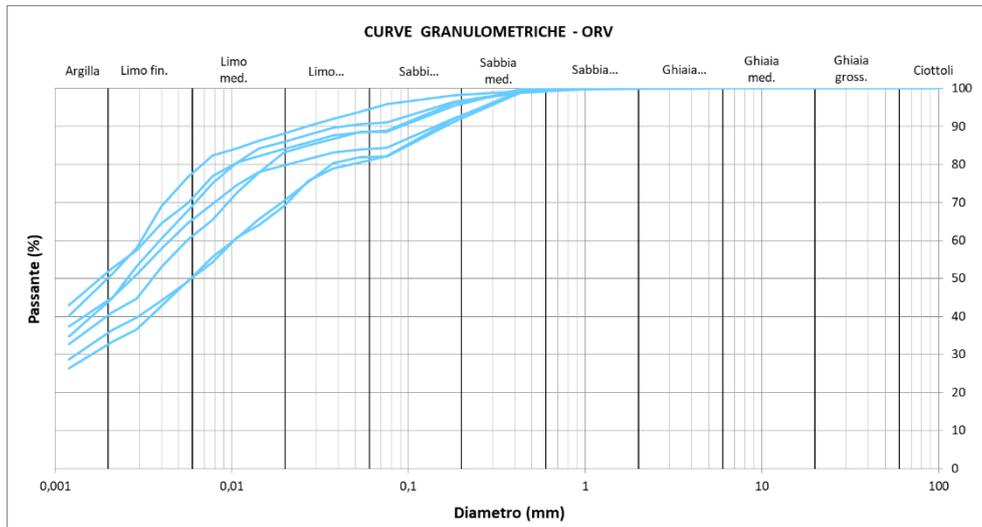


Figura 8-17 – Andamento dei valori della coesione non drenata C_u ricavati da prove SPT, per l'unità geotecnica ORV, in funzione della profondità.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze delle analisi eseguite, sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle.

Tabella 8-10 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS
SVP5	CI1	4.50-4.80	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CR3-SPT3	6.00-6.45	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CI2	7.50-7.80	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CR4-SPT4	9.00-9.45	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CR5-SPT5	10.50-10.95	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CI3	12.00-12.50	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	RIM1	13.00-13.50	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)

Tabella 8-11 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione CNR-UNI
SVP5	CI1	4.50-4.80	A7-6 (Argille fortemente compressibili fortemente)
	CR3-SPT3	6.00-6.45	A6 (Argille poco compressibili)
	CI2	7.50-7.80	A7-6 (Argille fortemente compressibili fortemente)
	CR4-SPT4	9.00-9.45	A6 (Argille poco compressibili)
	CR5-SPT5	10.50-10.95	A6 (Argille poco compressibili)
	CI3	12.00-12.50	A7-6 (Argille fortemente compressibili fortemente)
	RIM1	13.00-13.50	A7-6 (Argille fortemente compressibili fortemente)

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, i fusi granulometrici dei n.7 campioni appartenenti all'unità geotecnica ORV, si collocano tutti, secondo quanto riportato nella seguente figura, all'interno del campo delle "Argille organiche di media plasticità", al limite con quello dei "Limi inorganici di media compressibilità e limi organici",

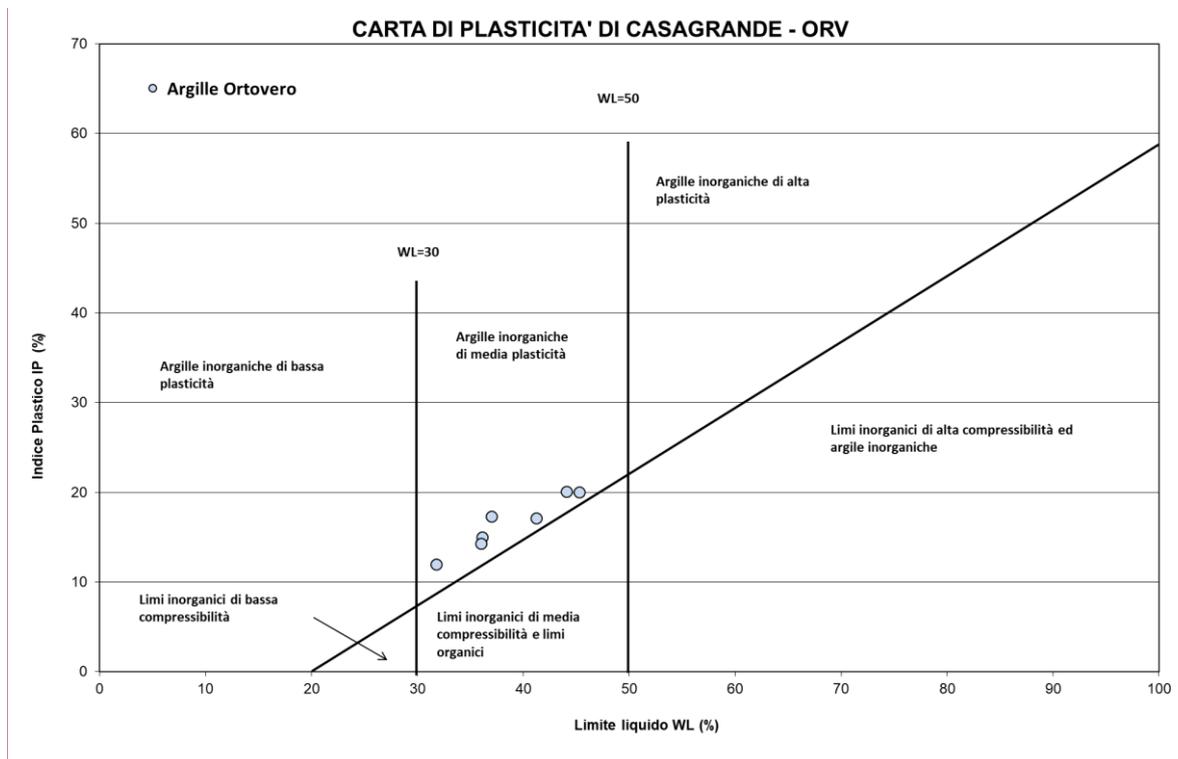


Figura 8-18 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati i valori del limite liquido e dell'Indice di plasticità per i n.7 campioni appartenenti all'Unità geotecnica ORV.

8.3.7 Prova di taglio diretto e residuo

Infine, per quanto riguarda l'unità geotecnica ORV, nei due grafici seguenti, si riportano, rispettivamente per l'angolo di attrito efficace e la coesione drenata, i valori ricavati dalle prove di taglio diretto e residuo eseguite (i valori di picco dell'angolo di attrito sono compresi tra 24.1 e 26.4°, i valori di picco della coesione sono compresi invece tra 16.3 e 24.7 kPa).

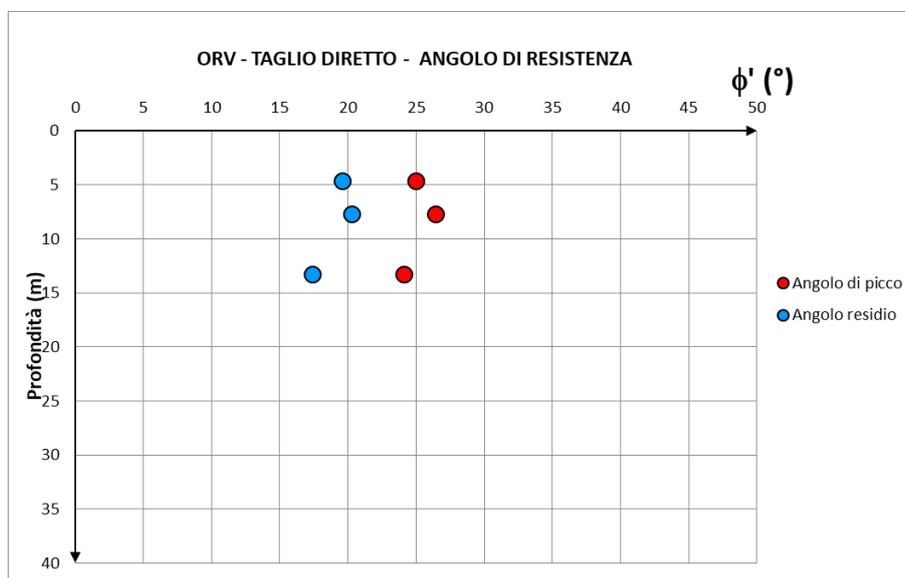


Figura 8-19 – Valori di angolo di attrito efficace, di picco e residuo, ricavati dalle prove di taglio eseguite sui campioni appartenenti all'Unità geotecnica ORV.

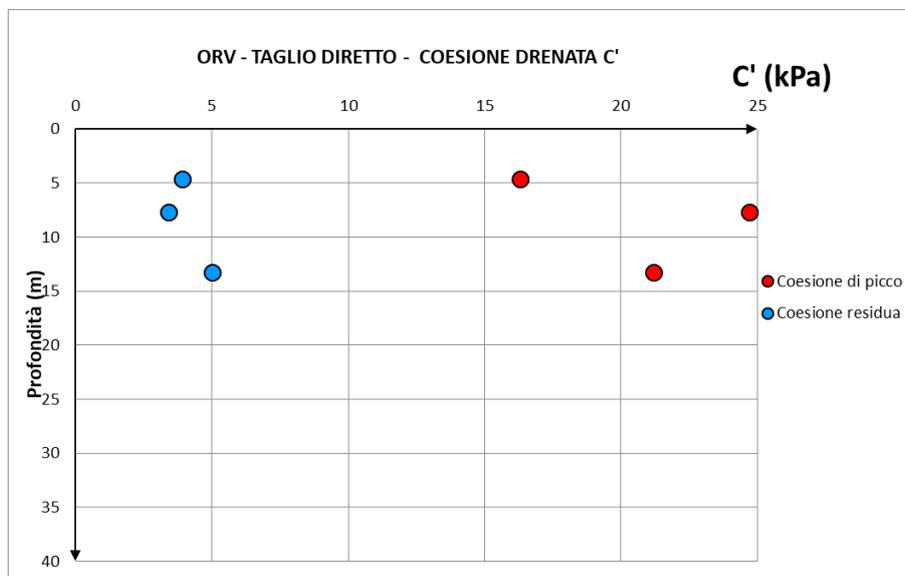


Figura 8-20 – Valori di coesione drenata, di picco e residua, ricavati dalle prove di taglio eseguite sui campioni appartenenti all'Unità geotecnica ORV.

8.4 UNITÀ GEOTECNICA CAP

Come già anticipato al capitolo relativo alle prove geotecniche, i materiali appartenenti all'unità geotecnica del cappellaccio d'alterazione dei calcescisti, in gran parte risultati e testati come terre in sede di laboratorio geotecnico, sono stati in ultima analisi trattati come rocce molto tenere, caratterizzate da parametri estremamente scadenti.

Tuttavia, per completezza di analisi, al fondo di questo capitolo, si riportano comunque i risultati delle analisi granulometriche eseguite, con relative classificazioni e grafici dei fusi granulometrici e dei limiti di Atterberg (carta di Casagrande).

I dati geomeccanici per l'unità "CAP" derivano invece dai valori di RQD misurati per le carote estratte dai sondaggi SVP1 e SVP2, dalle brevi descrizioni litologico-strutturali riportate nei relativi report stratigrafici, nonché dai risultati delle prove di laboratorio eseguite (Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniaassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliana) sugli unici due campioni testati come rocce.

Sulla base di tali dati, si è cercato quindi di stimare, per i calcescisti sani o poco fratturati, un range di valori caratteristici dell'indice GSI (Geological Strength Index, in accordo alla classificazione di Marinis del 2007) cosicché, con la scorta dell'indice GSI e dei parametri della roccia intatta forniti dalle prove di laboratorio, utilizzando i criteri di rottura di Mohr-Coulomb (1988) e Hoek-Brown, sono stati stimati i parametri di resistenza (c e ϕ) e il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso (E_{rm}).

8.4.1 Geological Strength Index (GSI)

Come testé anticipato e presentato nella seguente figura, considerando le descrizioni litologico-strutturali riportate nei report stratigrafici dei sondaggi SVP1 e SVP2 ed i valori di RQD misurati per le carote estratte, nonché sulla base dell'esperienza degli scriventi in terreni simili, si è tentativamente assegnato, sul diagramma classificatorio di Marinis (2007), un range di valori di GSI intorno al valore medio di 20.

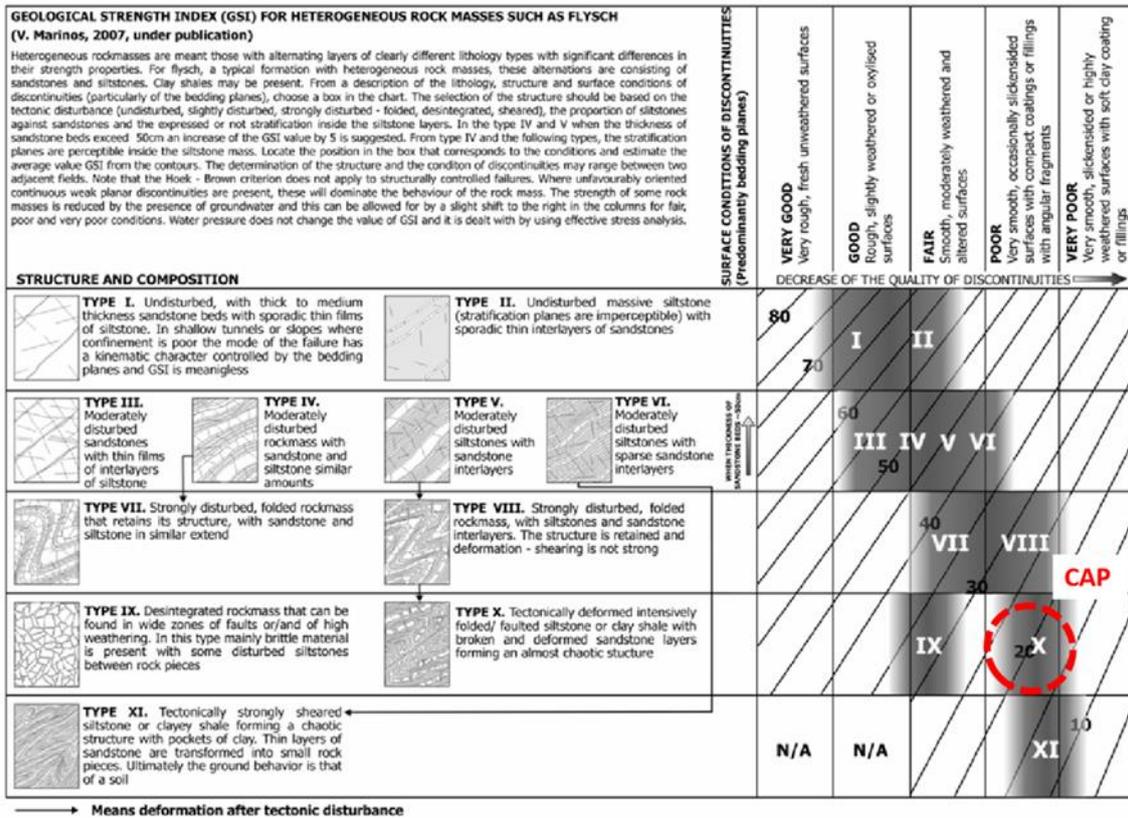


Figura 8-21 – Determinazione del GSI per l'unità geotecnica CAP relativa al "cappellaccio" di alterazione dei calcescisti.

8.4.2 Resistenza alla compressione uniassiale

Relativamente ai valori di resistenza a compressione della roccia intatta, nell'ambito della campagna indagine dell'attuale fase progettuale, è stata eseguita una sola prova a Compressione Uniassiale e 20 prove a Carico Concentrato o Point Load Test.

Nei grafici delle seguenti figure, sono graficati rispettivamente i valori della σ_c , ricavata dalle prove di Compressione Uniassiali e l'indice Is_{50} e, nuovamente la σ_c , ricavati dalle prove di Point Load.

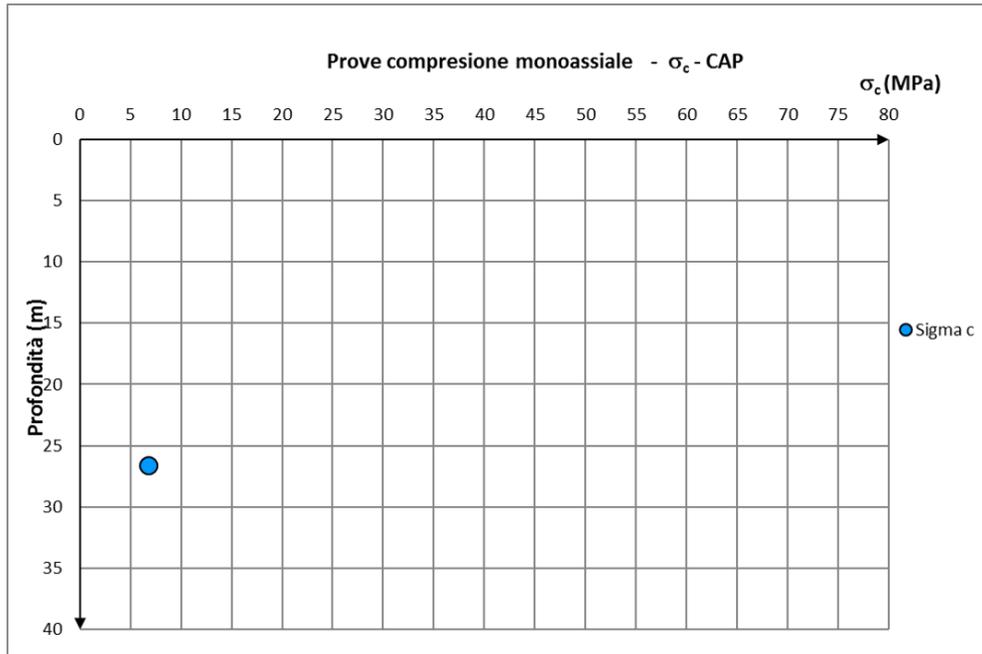


Figura 8-22 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori della σ_c ricavati per i campioni di CAP testati con le prove di Compressione Uniassiale.

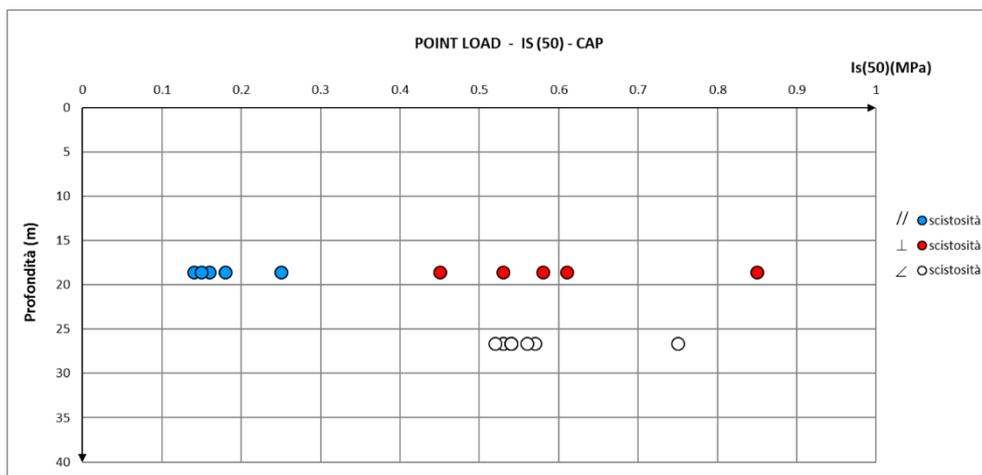


Figura 8-23 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori dell'indice Is50 ricavati per i campioni di CAP testati con le prove a Carico Concentrato (Point Load Test).

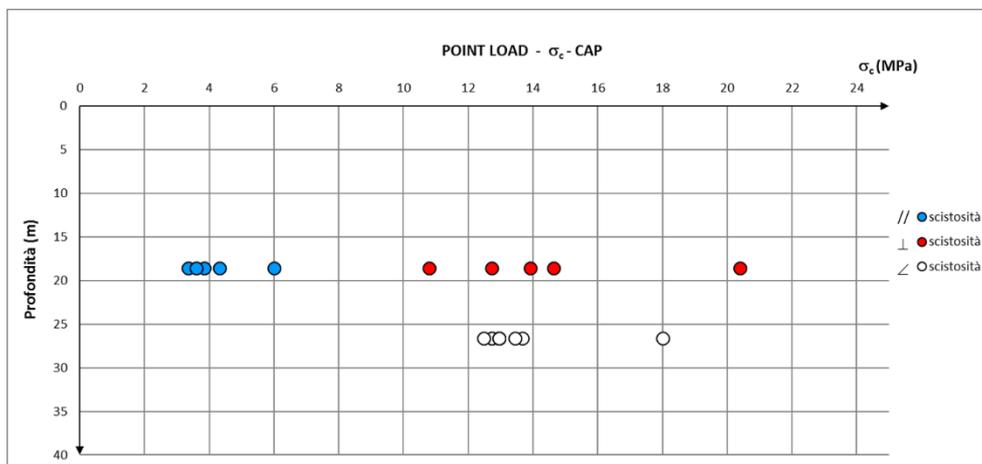


Figura 8-24 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori della σ_c ricavati per i campioni di CAP testati con le prove a Carico Concentrato (Point Load Test).

L'unico valore di resistenza σ_{ci} , ottenuto per l'unità geotecnica-geomeccanica CAP dalle prove di compressione mono-assiale, risulta di poco inferiore a 7 MPa. Per quanto riguarda invece i valori ottenuti con le prove di Point Load, il range è compreso tra poco più di 3.36 e 20.4MPa.

8.4.3 Modulo elastico roccia intatta (Ei)

Per quanto riguarda il modulo elastico della roccia intatta, gli unici due dati ricavati dalle prove di Compressione Uniassiale (con registrazione delle deformazioni che hanno permesso di definire i singoli valori dei moduli tangenti e secanti) e dalle prove di determinazione della velocità ultrasonica sono, rispettivamente di poco meno di 9 e di oltre 42 GPa (fig. 6.26).

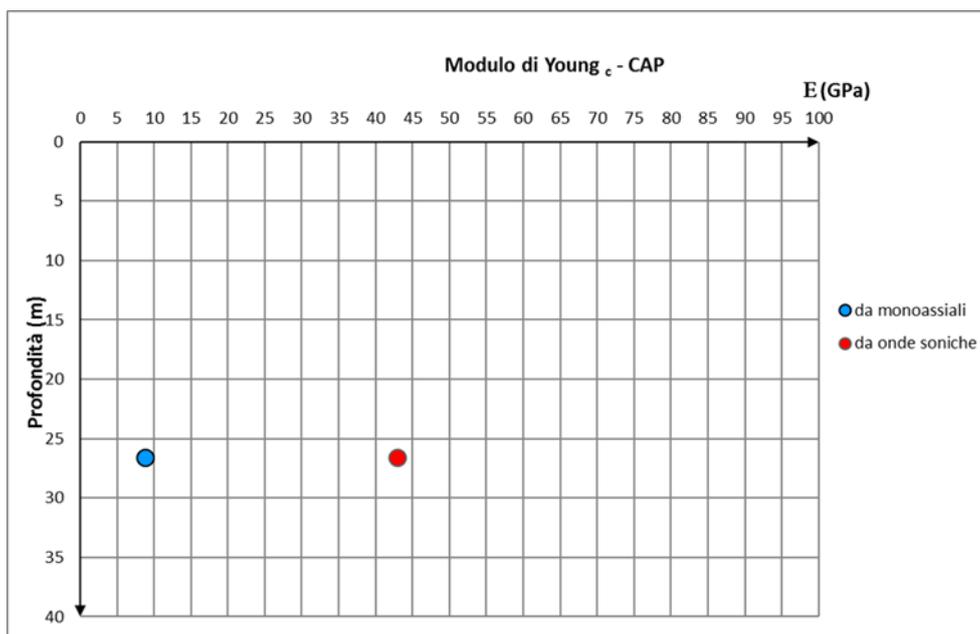


Figura 8-25 – Andamento, in funzione della profondità, dei due valori del Modulo elastico della roccia intatta, ricavati dalle prove di Compressione Uniassiale e dalle prove di determinazione della velocità ultrasonica.

8.4.4 Peso di Volume Naturale

Unitamente alla determinazione delle velocità ultrasoniche è stato determinato anche il Peso di Volume Naturale. Il grafico seguente mostra l'andamento del Peso di Volume Naturale, in funzione della profondità, per il campione litoide appartenenti all'unità geotecnica CAP: il valore ottenuto è risultato pari a 26.97 kN/m³.

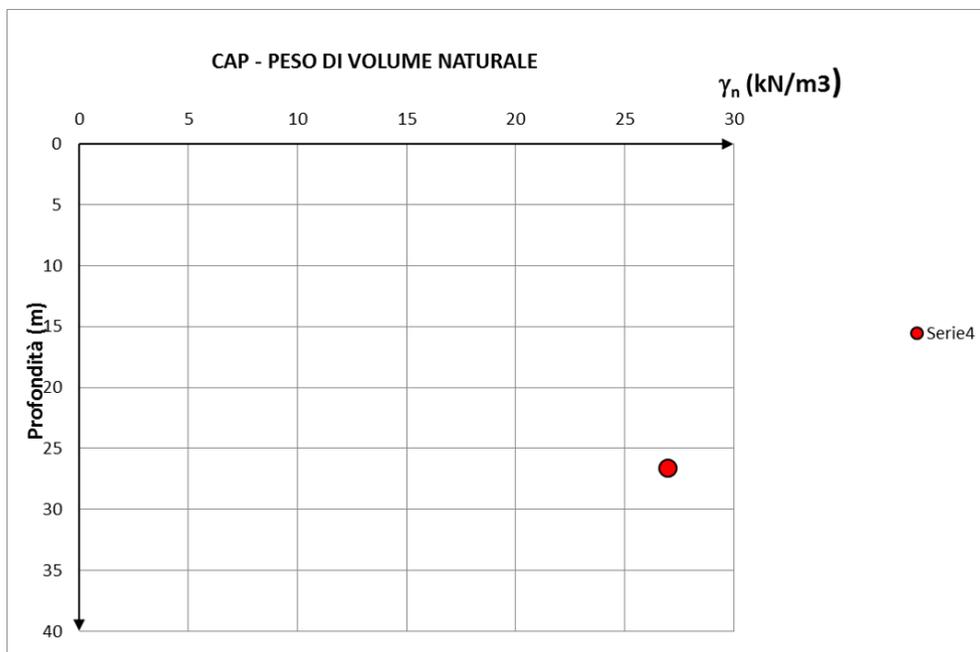


Figura 8-26 – Valori del Peso di Volume Naturale, ottenuto per il campione litoide relativo all'unità geotecnica CAP, graficato in funzione della profondità.

8.4.5 Elaborazione e analisi attraverso i criteri di classificazione Mohr-Coulomb e Hoek-Brown

Come anticipato, partendo dai parametri di resistenza della roccia intatta (σ_{ci}), indice GSI e Modulo della roccia intatta (E_i), ed assegnando un valore del parametro "mi" pari a 10, utilizzando la classificazione di Hoek-Brown e il criterio di rottura Mohr-Coulomb è stato possibile per l'unità geotecnica/geomeccanica CS, stimare i relativi parametri di resistenza (c e ϕ) e il modulo di deformabilità dell'ammasso (E_{rm}).

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni eseguite:

Tabella 8-12 - Determinazione dei parametri di resistenza (c e ϕ) e del modulo di deformabilità dell'ammasso (E_m) per l'unità CAP, utilizzando la classificazione di Hoek-Brown e il criterio di rottura Mohr-Coulomb

Sigma c	7	MPa
GSI	20	
mi	10	
Ei	11000	MPa
D	0.7	

Sigma 3 [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E op [MPa]
30	7	38	292
50	10	34	292
100	16	29	292
200	25	24	292
250	29	22	292
500	45	18	292

8.4.6 Resistenza a trazione indiretta (Prova brasiliana)

Solo per uno dei due campioni litoidi dell'Unità CAP prelevati dalle carote estratte dai fori dei sondaggi SVP1, è stata possibile testare anche la resistenza a trazione indiretta, per mezzo dell'esecuzione della cosiddetta prova Brasiliana. Il valore ottenuto, pari a 0.6 MPa, è rappresentato nel grafico seguente.

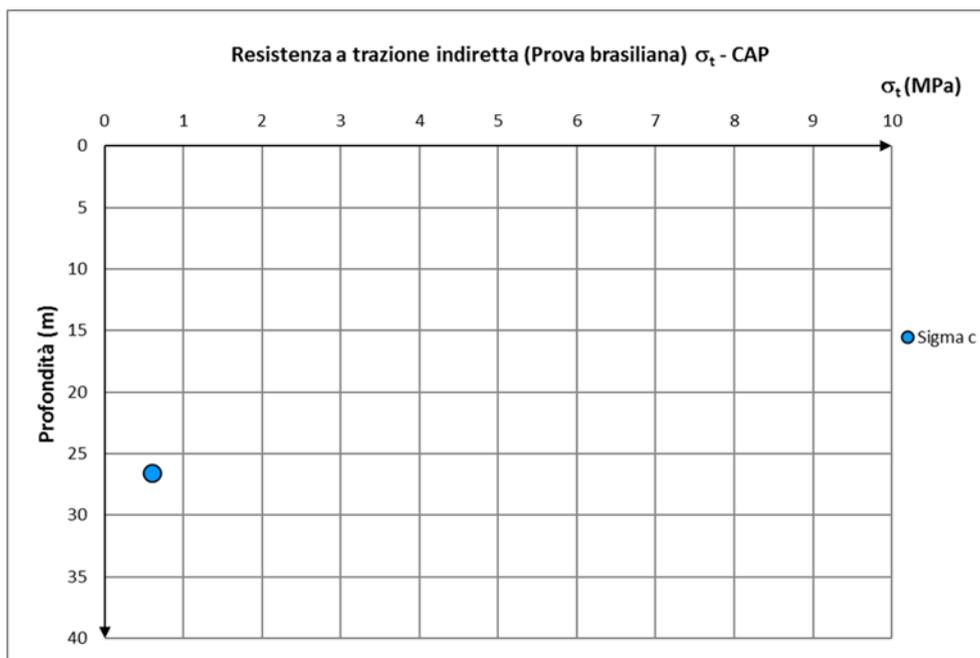


Figura 8-27 – Rappresentazione, in funzione della profondità, del valore di resistenza a trazione indiretta per l'unità CAP, ottenuto grazie all'esecuzione della prova Brasiliana.

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, gli ulteriori parametri geotecnici per l'unità geotecnica CAP ("cappellaccio" di alterazione superficiale dei calcescisti), ricavati dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni risultati assimilabili a terre più che a rocce.

8.4.7 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'

Le analisi granulometriche eseguite sui n.7 campioni appartenenti all'unità geotecnica CAP, hanno restituito i fusi granulometrici rappresentati nel grafico seguente.

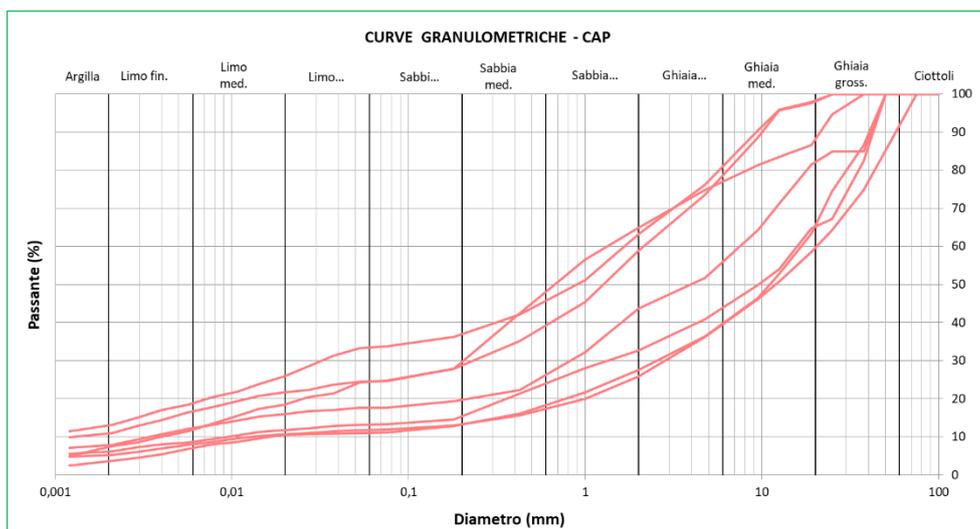


Figura 8-28 – Fusi granulometrici dei n.7 campioni appartenenti all'Unità geotecnica CAP.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze delle analisi eseguite, sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle 6.14 e 6.15.

Tabella 8-13 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS
SVP1	CR3-SPT3	6.00-6.45	SM-SC
	CR4-SPT4	7.50-7.70	SC (Sabbie argillose)
	CR5-SPT5	9.00-9.30	SC (Sabbie argillose)
	CR6-SPT6	10.50-10.80	GW-GM-GC (Ghiaie limose – argillose ben
SVP2	CR2-SPT2	4.50-4.95	GM-GC (Ghiaie limose - Ghiaie argillose)
	CR3-SPT3	6.00-6.50	GM-GC (Ghiaie limose - Ghiaie argillose)
	CR4-SPT4	7.50-8.00	GM-GC (Ghiaie limose - Ghiaie argillose)

Tabella 8-14 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione CNR-UNI
SVP1	CR3-SPT3	6.00-6.45	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR4-SPT4	7.50-7.70	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR5-SPT5	9.00-9.30	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR6-SPT6	10.50-10.80	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
SVP2	CR2-SPT2	4.50-4.95	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR3-SPT3	6.00-6.50	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR4-SPT4	7.50-8.00	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, i fusi granulometrici dei n.7 campioni appartenenti all'unità geotecnica CAP, si dispongono, secondo quanto riportato nella seguente fig. 6.30, tutti molto ravvicinati, in prossimità del limite tra i campi delle "Argille organiche di media plasticità", con i "Limi inorganici di media compressibilità e limi organici" e le "Argille inorganiche di bassa plasticità".

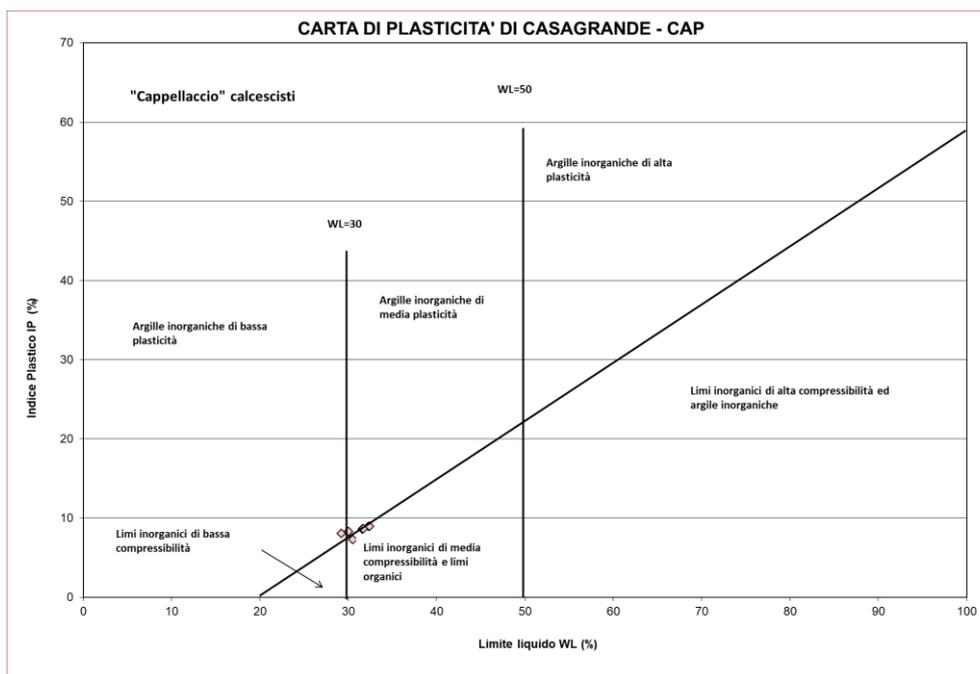


Figura 8-29 – Fusi granulometrici dei n.7 campioni appartenenti all'Unità geotecnica CAP.

8.5 UNITÀ GEOTECNICA BR-TET

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, tutti i valori dei principali parametri geotecnici, ricavati per l'unità geotecnica BR-Tet (Brecce tettoniche), dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite.

8.5.1 Peso di Volume Naturale

Il grafico seguente mostra il valore del Peso di Volume Naturale, graficato in funzione della profondità, per l'unico campione indisturbato, appartenente all'unità geotecnica BR-Tet, per il quale è stata eseguita tale determinazione in laboratorio: il valore è risultato pari a 22.64 kN/m³.

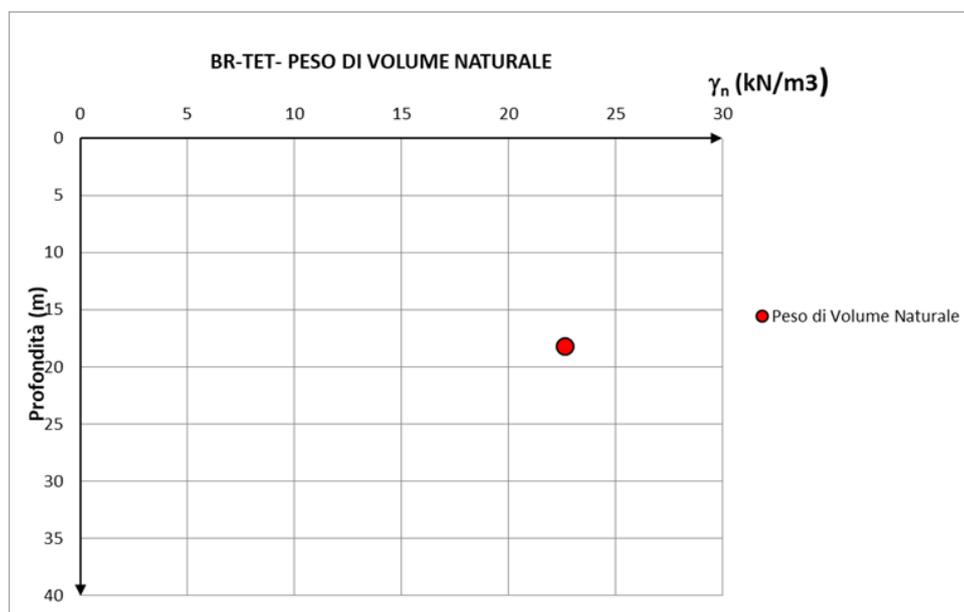


Figura 8-30 – Valore del Peso di Volume Naturale, per l'unico campione indisturbato dell'unità geotecnica BR-Tet, graficato in funzione della profondità.

8.5.2 Valori N_{spt}

Il grafico seguente mostra l'andamento dei valori ottenuti per le prove SPT in funzione della profondità: Per tutte le prove eseguite in corrispondenza dell'unità geotecnica BR-TET lo strumento utilizzato ha raggiunto il cosiddetto "rifiuto".

Per questo motivo, non è stato possibile ricavare i parametri di resistenza al taglio e del modulo di deformazione dalle prove SPT.

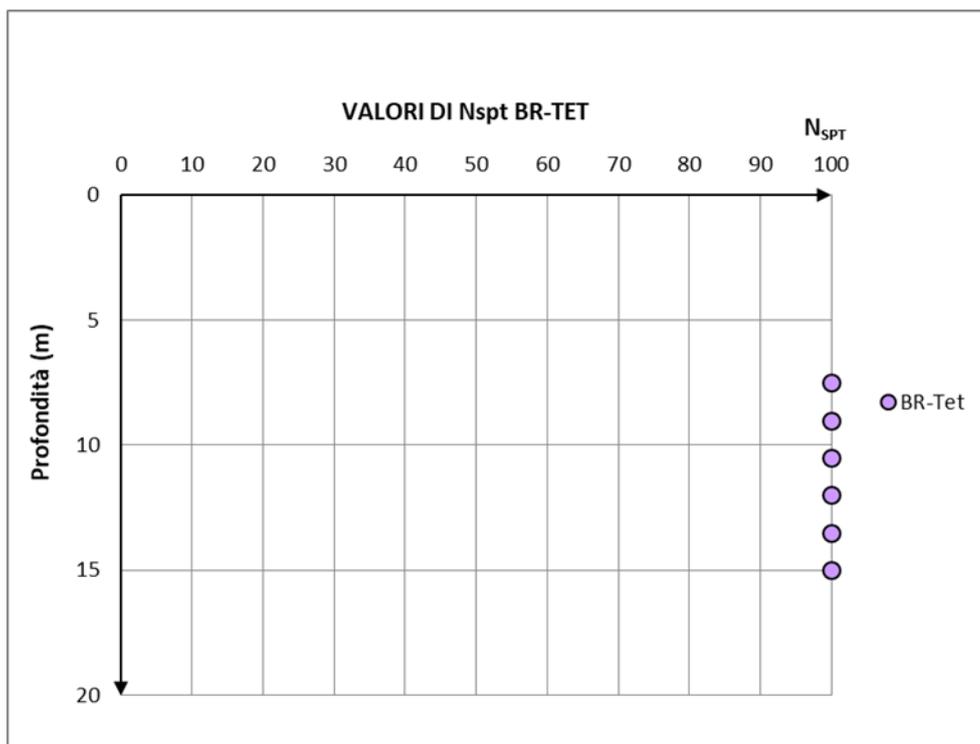


Figura 8-31 – Andamento dei valori di N_{spt}, per l'unità geotecnica BR-Tet, in funzione della profondità (i valori uguali a 100 rappresentano quelli che hanno raggiunto il cosiddetto 'rifiuto').

8.5.3 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITA'

Le analisi granulometriche eseguite sui n.14 campioni appartenenti all'unità geotecnica BR-Tet, hanno restituito i fusi granulometrici rappresentati nel grafico seguente.

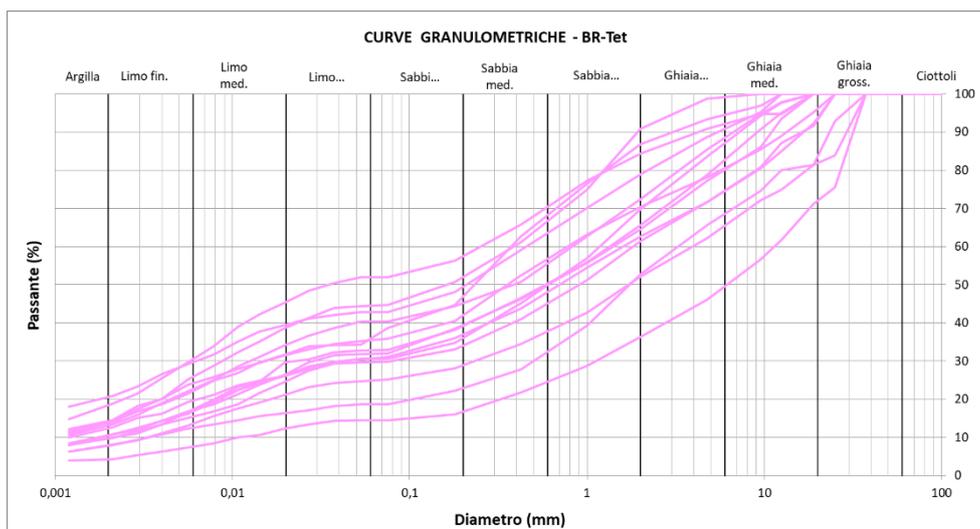


Figura 8-32 – Fusi granulometrici dei n.14 campioni appartenenti all'Unità geotecnica BR-Tet.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze delle analisi eseguite, sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle.

Tabella 8-15 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS
SVP4	CR3-SPT3	7.50-7.95	SM-SC (Sabbie limose - Sabbie argillose)
	RIM1	8.50-9.00	SM-SC (Sabbie limose - Sabbie argillose)
	CR4-SPT4	9.00-9.25	SC (Sabbie argillose)
	CR5-SPT5	10.50-10.70	GC (Ghiaie argillose – Miscela di ghiaia, sabbia ed
	CR6-SPT6	12.00-12.15	SC (Sabbie argillose)
	RIM2	12.40-12.70	SM-SC (Sabbie limose - Sabbie argillose)
	CR7-SPT7	13.50-13.72	SC (Sabbie argillose)
	CI2	18.00-18.30	SC (Sabbie argillose)
	RIM3	19.60-20.00	CL (Argille inorganiche a bassa plasticità)
	CR8-SPT8	21.00-21.20	SC (Sabbie argillose)
SVP5	RIM4	21.20-21.60	SC (Sabbie argillose)
	CR6-SPT6	15.00-15.40	SC (Sabbie argillose)
	CR7	18.80-19.00	GC (Ghiaie argillose – Miscela di ghiaia, sabbia ed
	RIM2-SPT8	24.00-24.25	SC (Sabbie argillose)

Tabella 8-16 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione CNR-UNI
SVP4	CR3-SPT3	7.50-7.95	A1-b (Ghiaia, ghiaia sabbiosa, sabbia grossa;
	RIM1	8.50-9.00	A4 (Limi poco compressibili)
	CR4-SPT4	9.00-9.25	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \leq 40%,
	CR5-SPT5	10.50-10.70	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \leq 40%,
	CR6-SPT6	12.00-12.15	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \leq 40%,

	RIM2	12.40-12.70	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR7-SPT7	13.50-13.72	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CI2	18.00-18.30	A4 (Limi poco compressibili)
	RIM3	19.60-20.00	A4 (Limi poco compressibili)
	CR8-SPT8	21.00-21.20	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	RIM4	21.20-21.60	A4 (Limi poco compressibili)
SVP5	CR6-SPT6	15.00-15.40	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	CR7	18.80-19.00	A2-4 (Ghiaia e sabbia limosa o argillosa; LL \square 40%,
	RIM2-SPT8	24.00-24.25	A6 (Argille poco compressibili)

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, i fusi granulometrici dei n.14 campioni appartenenti all'unità geotecnica BR-Tet, si collocano, secondo quanto riportato nella seguente figura, quasi tutti all'interno del campo delle "Argille inorganiche di bassa plasticità" al limite con quello dei "Limi inorganici di bassa compressibilità", soltanto un campione rientra nel campo delle "Argille organiche di media plasticità".

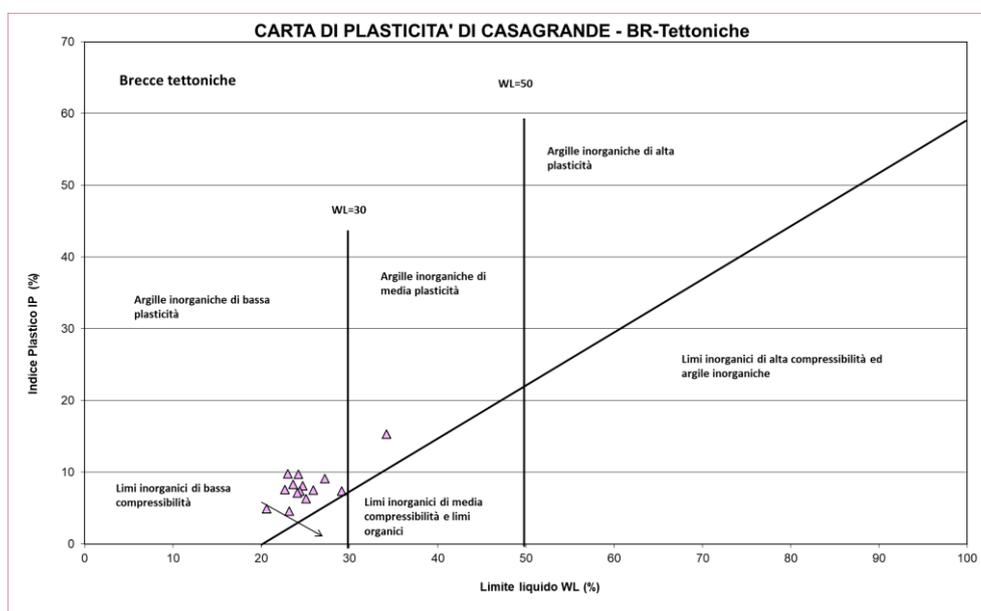


Figura 8-33 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati i valori del limite liquido e dell'Indice di plasticità per i n.14 campioni appartenenti all'Unità geotecnica BR-Tet.

8.5.4 Prova di taglio diretto e residuo

Infine, per quanto riguarda l'unità geotecnica BR-Tet, nei due grafici delle fig 6.35 e 6.36, si riportano, rispettivamente per l'angolo di attrito efficace e la coesione drenata, i valori ricavati dalle prove di taglio diretto e residuo eseguite (i valori di picco dell'angolo di attrito sono compresi tra 29.9 e 33.5°, i valori di picco della coesione sono compresi invece tra 4 e 12.2 kPa).

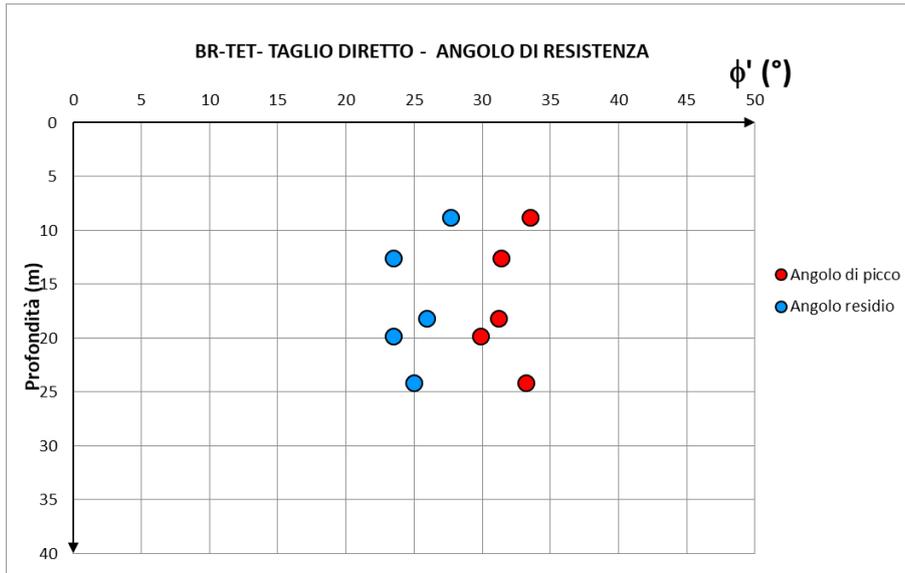


Figura 8-34 – Valori di angolo di attrito efficace, di picco e residuo, ricavati dalle prove di taglio eseguite sui campioni appartenenti all’Unità geotecnica BR-Tet.

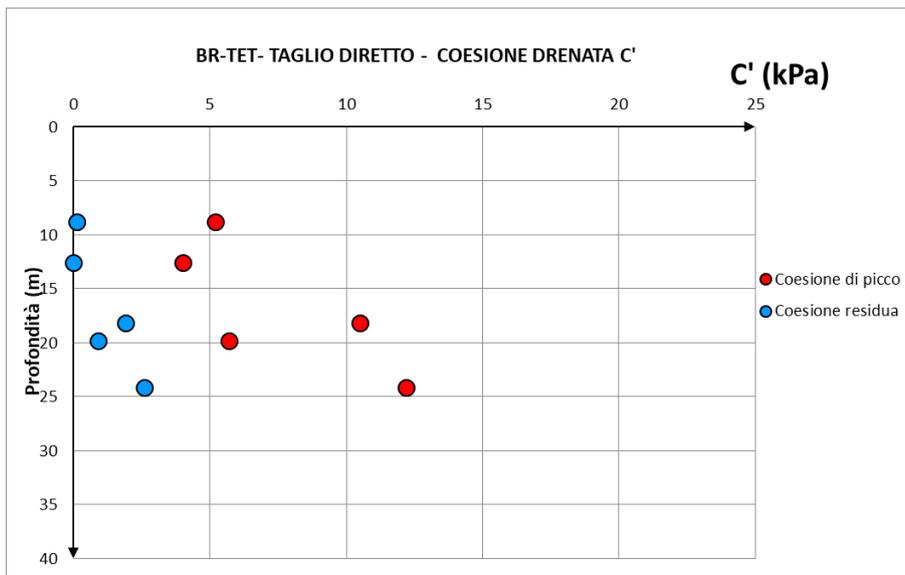


Figura 8-35 – Valori di coesione drenata, di picco e residua, ricavati dalle prove di taglio eseguite sui campioni appartenenti all’Unità geotecnica BR-Tet.

8.6 UNITÀ GEOTECNICA BR-SERP

Di seguito, si riportano e riassumono, graficati, tutti i valori dei principali parametri geotecnici, ricavati per l'unità geotecnica BR-Serp, dalle indagini in situ e dalle prove di laboratorio eseguite.

8.6.1 Valori N_{spt}

Purtroppo, non sono state eseguite prove SPT nei terreni appartenenti all'unità geotecnica BR-Serp, pertanto, non è stato possibile ricavare i parametri di resistenza al taglio e del modulo di deformazione dalle prove SPT.

8.6.2 Analisi granulometriche, Classificazioni USCS e CNR UNI e CARTA DI PLASTICITÀ

L'unica analisi granulometrica eseguita sul campione appartenente all'unità geotecnica BR-Serp, ha restituito il fuso granulometrico rappresentato nel grafico seguente.

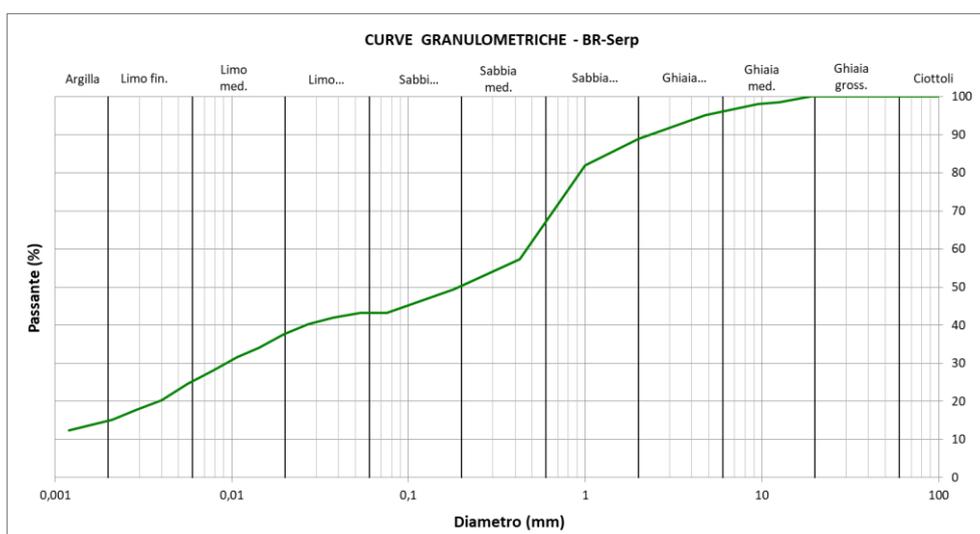


Figura 8-36 – Fuso granulometrico del campione appartenente all'Unità geotecnica BR-Serp.

Dal punto di vista delle classificazioni USCS e CNR-UNI, le risultanze dell'analisi eseguita sono sintetizzate rispettivamente nelle seguenti tabelle.

Tabella 8-17 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione USCS

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione USCS
SVP4	RIM5	25.50-25.90	SC (Sabbie argillose)

Tabella 8-18 - Definizione dei campioni dell'unità geotecnica R-COP in accordo alla Classificazione CNR-UNI

Sondaggio	Campione	Profondità	Classificazione CNR-UNI
SVP4	RIM5	25.50-25.90	A4 (Limi poco compressibili)

Con riferimento invece alla carta di Plasticità di Casagrande, il fuso granulometrico del campione appartenente all'unità geotecnica BR-Serp, si colloca, secondo quanto riportato nella seguente fig. 6.38 nel campo delle "Argille inorganiche di bassa plasticità" non lontano da quello dei "Limi inorganici di bassa compressibilità".

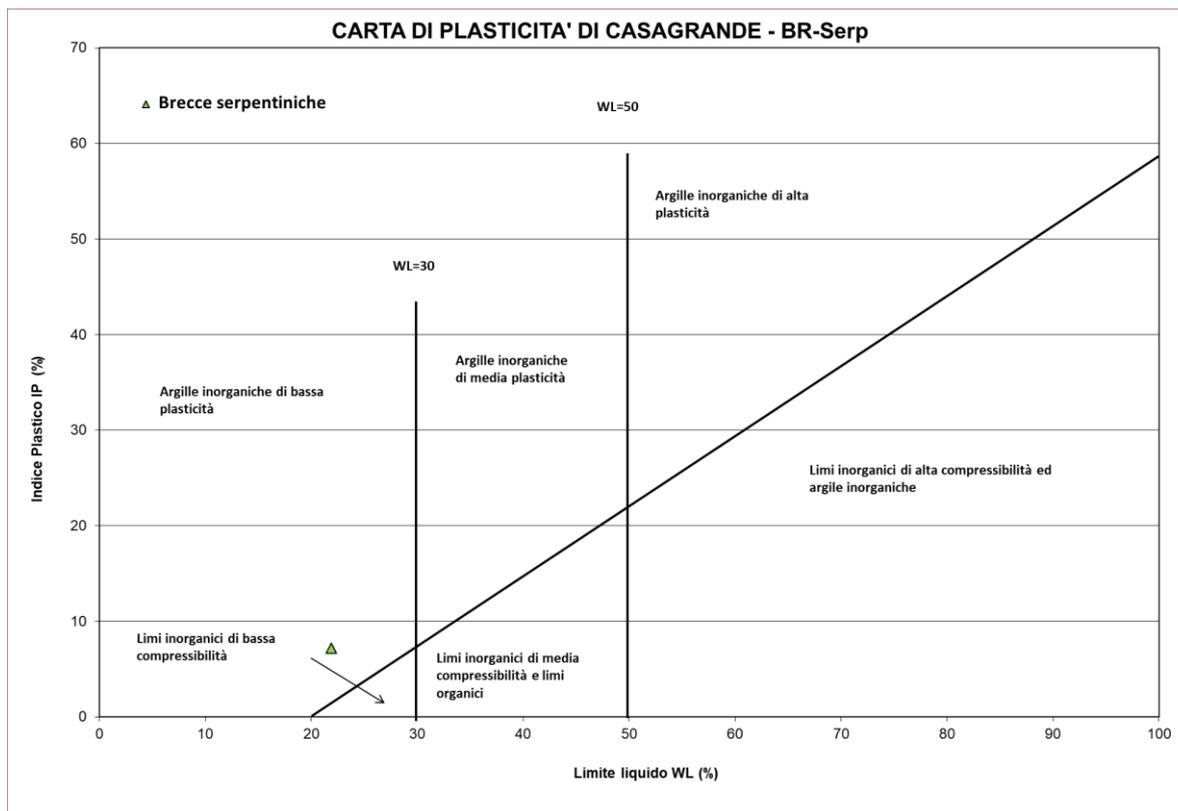


Figura 8-37 – Carta di Plasticità di Casagrande con su graficati i valori del limite liquido e dell'Indice di plasticità per il campione appartenenti all'Unità geotecnica BR-Serp.

Oltre a quanto sin qui dettagliato, per l'unità geotecnica BR-Serp, sono stati assegnati, in base a dati di bibliografia, esperienza su terreni simili o precedente caratterizzazione PFTE, i seguenti ulteriori parametri

- peso di volume naturale (γ) = 22-23 kN/m³
- coesione efficace (c') = 25 kPa

8.7 UNITÀ CS

Come già anticipato al precedente Capitolo 4, l'unità geotecnica dei calcescisti sani o poco fratturati (CS) è l'unica per la quale il laboratorio geotecnico ha classificato del tutto i corrispondenti materiali come rocce e non come terreni.

Tuttavia, non essendo presenti affioramenti di calcescisti nelle immediate vicinanze dell'area di progetto, gli unici dati geomeccanici a disposizione derivano dai valori di RQD misurati per le carote estratte dai sondaggi SVP1 e SVP2, dalle brevi descrizioni litologico-strutturali riportate nei relativi report stratigrafici, nonché dai risultati delle prove di laboratorio eseguite (Determinazione velocità onde soniche, Prova a compressione uniassiale, Point Load Test, Prova a trazione indiretta (brasiliana).

Sulla base di tali dati, si è cercato quindi di stimare, per i calcescisti sani o poco fratturati, un range di valori caratteristici dell'indice GSI (Geological Strength Index, in accordo alla classificazione di Marinov del 2007) cosicché, con la scorta dell'indice GSI e dei parametri della roccia intatta forniti dalle prove di laboratorio, utilizzando i criteri di rottura di Mohr-Coulomb (1988) e Hoek-Brown, sono stati stimati i parametri di resistenza (c e ϕ) e il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso (Erm).

8.7.1 Geological Strength Index (GSI)

Come testé anticipato e presentato nella seguente fig 6.39, considerando le descrizioni litologico-strutturali riportate nei report stratigrafici dei sondaggi SVP1 e SVP2 ed i valori di RQD misurati per le carote estratte, nonché sulla base dell'esperienza degli scriventi in terreni simili, si è tentativamente assegnato, sul diagramma classificatorio di Marinós (2007), un range di valori di GSI compreso tra 30 e 40.

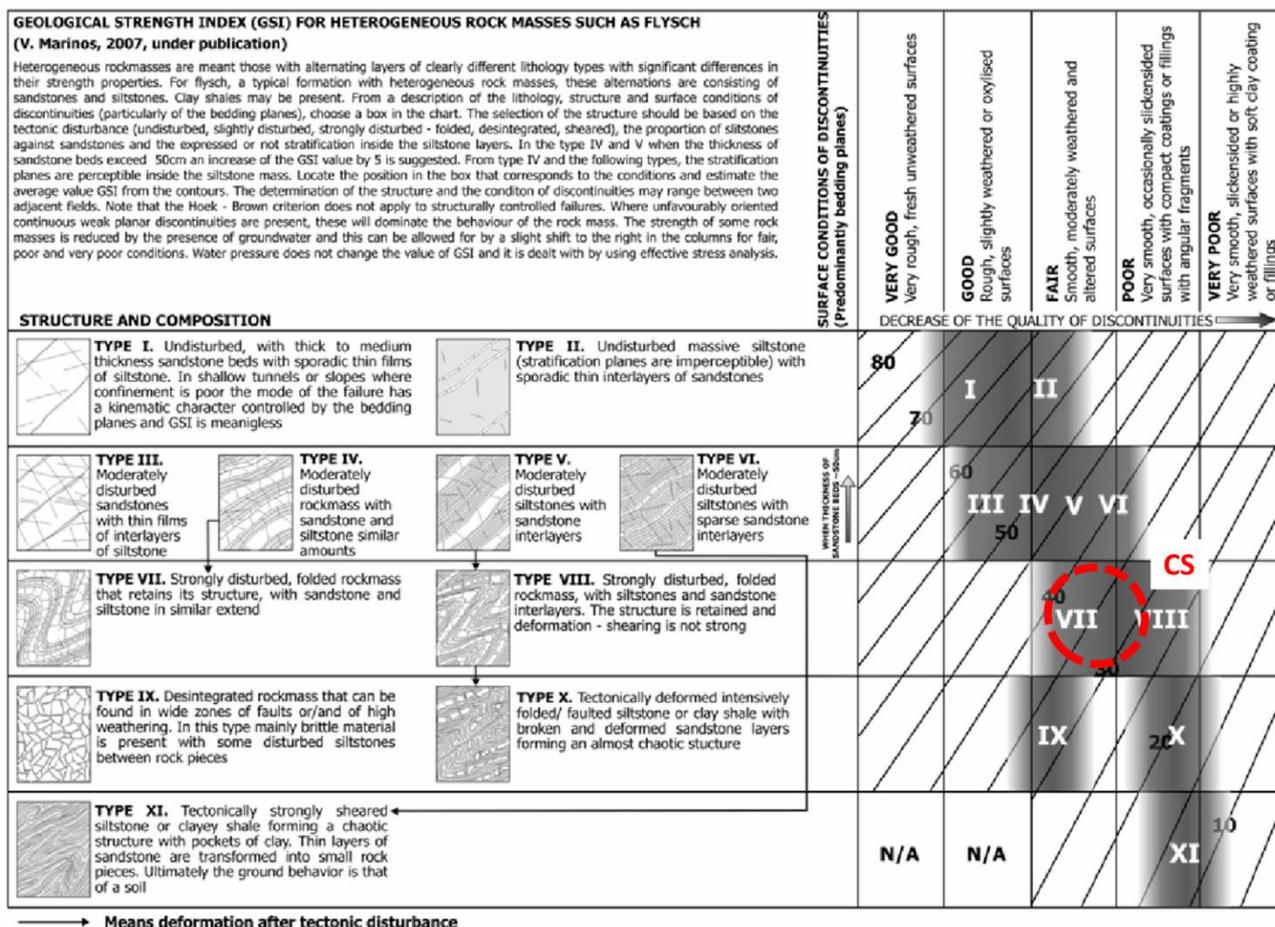


Figura 8-38 – Determinazione del GSI per l'unità geotecnica CS dei calcescisti sani o poco fratturati.

Come si può facilmente notare osservando le foto delle carote di calcescisti estratte dai fori dei sondaggi SVP1 ed SVP2, recante non pochi intervalli caratterizzati da valori di RQD di 90-100%, la valutazione fatta del range di valori dell'indice GSI può essere considerata una stima fatta con un ampio margine di sicurezza.

8.7.2 Resistenza alla compressione uniassiale

Relativamente ai valori di resistenza a compressione della roccia intatta, nell'ambito della campagna indagine dell'attuale fase progettuale, sono state eseguite n. 8 prove a Compressione Uniassiale e, addirittura, n. 90 prove a Carico Concentrato o Point Load Test.

Nei grafici delle seguenti figure 6.40, 6.41 e 6.42, sono graficati rispettivamente i valori della σ_c , ricavata dalle prove di Compressione Uniassiali e l'indice $Is50$ e, nuovamente la σ_c , ricavati dalle prove di Point Load.

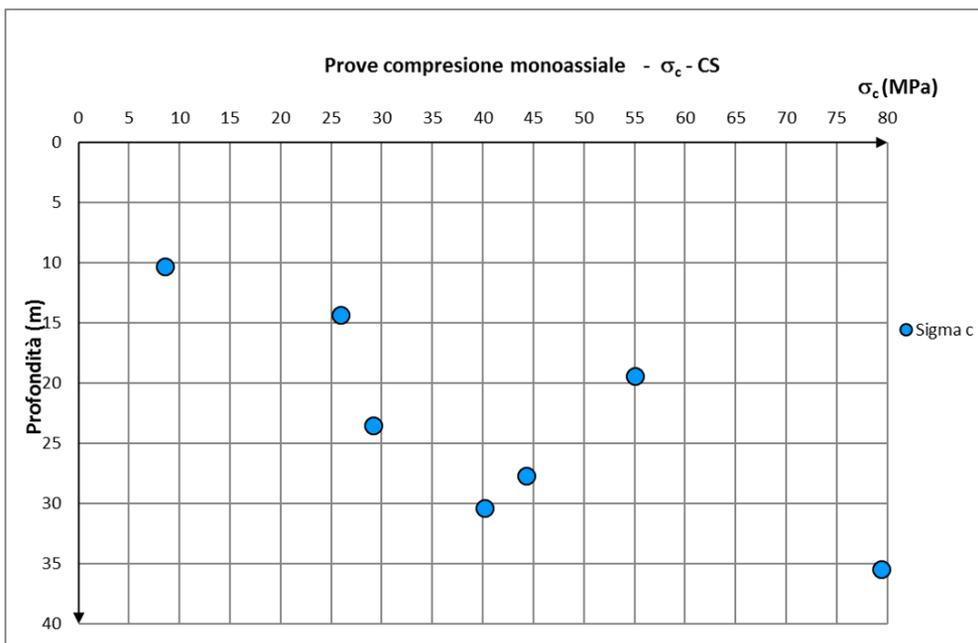


Figura 8-39 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori della σ_c ricavati per i campioni di calcescisti testati con le prove di Compressione Uniassiale.

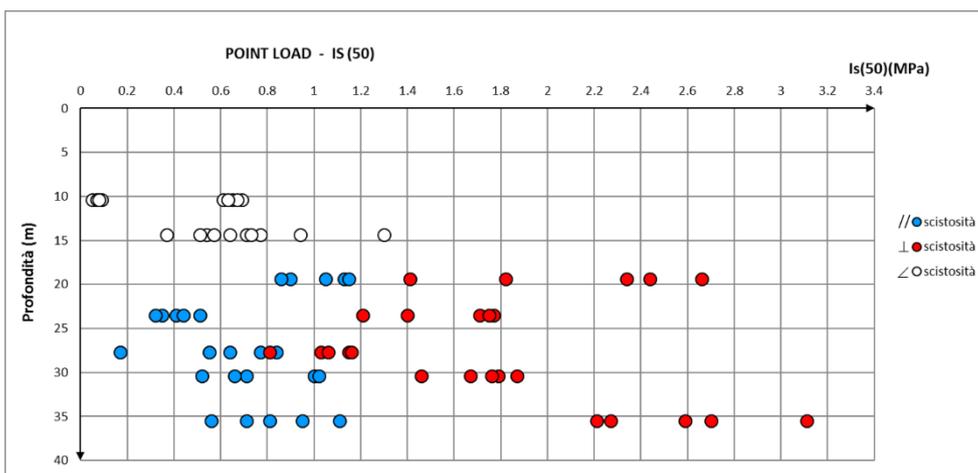


Figura 8-40 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori dell'indice Is50 ricavati per i campioni di calcescisti testati con le prove a Carico Concentrato (Point Load Test).

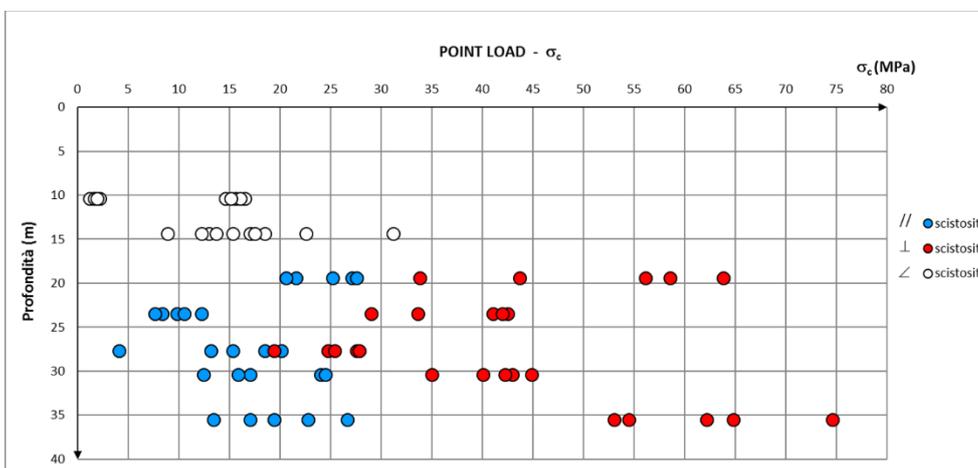


Figura 8-41 Andamento, in funzione della profondità, dei valori dell'indice Is50 ricavati per i campioni di calcescisti testati con le prove a Carico Concentrato (Point Load Test).

I valori di resistenza σ_{ci} , ottenuti per l'unità geotecnica-geomeccanica CS, rientrano in un range compreso tra ca. 8.5 e quasi 80 MPa, per quanto riguarda quelli ottenuti dalle prove di compressione mono-assiale. Per quanto riguarda invece, il range di valori ottenuti con le prove di Point Load, il range è ugualmente ampio ma leggermente spostato verso valori più bassi: risulta compreso infatti tra poco più di 1 e quasi 75MPa.

8.7.3 Modulo elastico roccia intatta (Ei)

Per quanto riguarda il modulo elastico della roccia intatta, tale parametro, nell'ambito delle prove di laboratorio eseguite nel corso dell'attuale fase di progettazione, è stato ricavato sia dalle prove di Compressione Uniassiale (con registrazione delle deformazioni che hanno permesso di definire i singoli valori dei moduli tangenti e secanti) sia dalle prove di determinazione della velocità ultrasonica.

I relativi risultati sono presentati nel grafico seguente: il modulo appare compreso in un range tra ca. 13.5 e poco più di 95MPa.

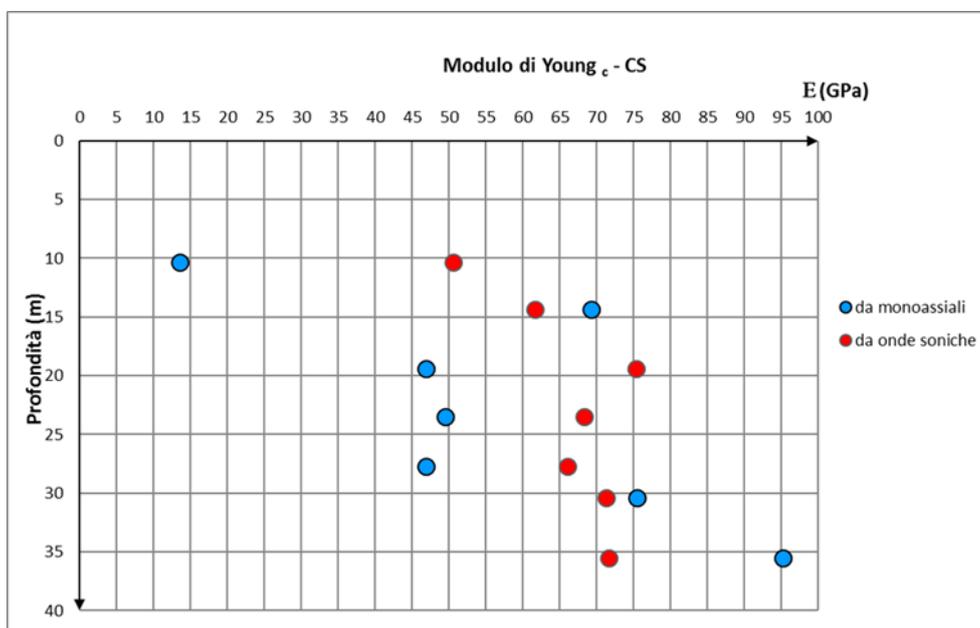


Figura 8-42 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori del Modulo elastico della roccia intatta, ricavati dalle prove di Compressione Uniassiale e dalle prove di determinazione della velocità ultrasonica.

8.7.4 Peso di Volume Naturale

Unitamente alla determinazione delle velocità ultrasoniche è stato determinato anche il Peso di Volume Naturale. Il grafico seguente mostra l'andamento del Peso di Volume Naturale, in funzione della profondità, per i campioni appartenenti all'unità geotecnica CS: Il valore ottenuto sono risultati molto omogenei compresi tra 26.42 e 27.52 kN/m³.

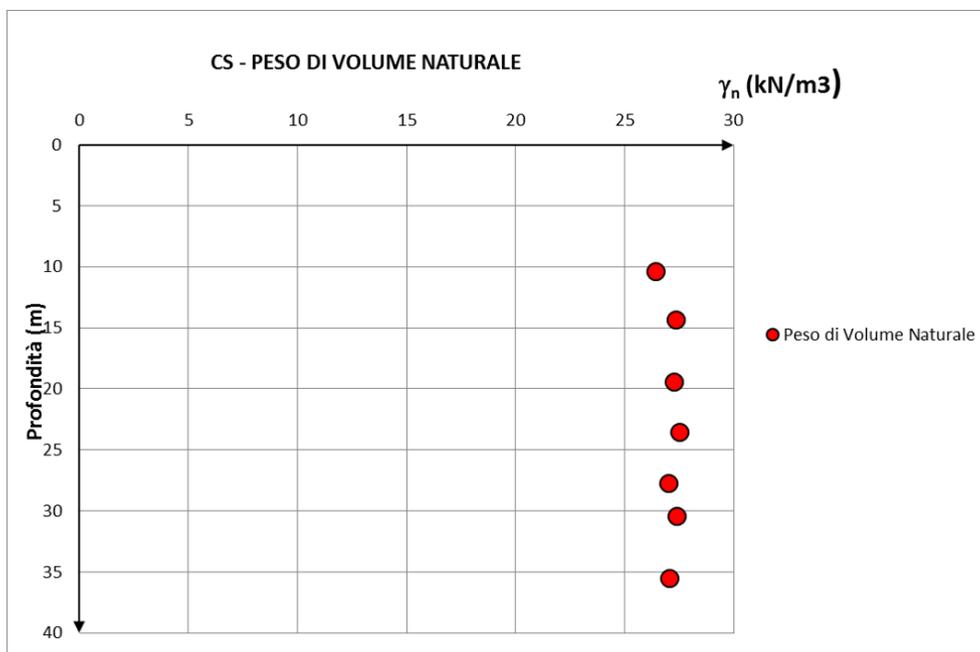


Figura 8-43 – Valori del Peso di Volume Naturale, ottenuto per il campione litoide relativo all'unità geotecnica CAP, graficato in funzione della profondità.

8.7.5 Elaborazione e analisi attraverso i criteri di classificazione Mohr-Coulomb e Hoek-Brown

Come anticipato, partendo dai parametri di resistenza della roccia intatta (σ_{ci}), indice GSI e Modulo della roccia intatta (E_i), ed assegnando un valore del parametro “mi” pari a 10, utilizzando la classificazione di Hoek-Brown e il criterio di rottura Mohr-Coulomb è stato possibile per l’unità geotecnica/geomeccanica CS, stimare i relativi parametri di resistenza (c e ϕ) e il modulo di deformabilità dell’ammasso (E_m).

Di seguito, in tabella, si riportano i risultati delle elaborazioni eseguite:

Tabella 8-19 - Determinazione dei parametri di resistenza (c e ϕ) e del modulo di deformabilità dell’ammasso (E_m) per l’unità CAP, utilizzando la classificazione di Hoek-Brown e il criterio di rottura Mohr-Coulomb

Sigma c	20	MPa
GSI	35	
mi	10	
Ei	40000	MPa
D	0.7	

Sigma 3 [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E op [MPa]
30	24	55	1792
50	29	52	1792
100	41	47	1792
200	61	41	1792
250	70	39	1792
500	110	34	1792

8.7.6 Resistenza a trazione indiretta (Prova brasiliana)

Infine, per campioni di calcescisti prelevati dalle carote estratte dai fori dei sondaggi SVP1 ed SVP2, è stata testata anche la resistenza a trazione indiretta, per mezzo dell’esecuzione della cosiddetta prova Brasiliana. I risultati ottenuti sono presentati col grafico seguente.

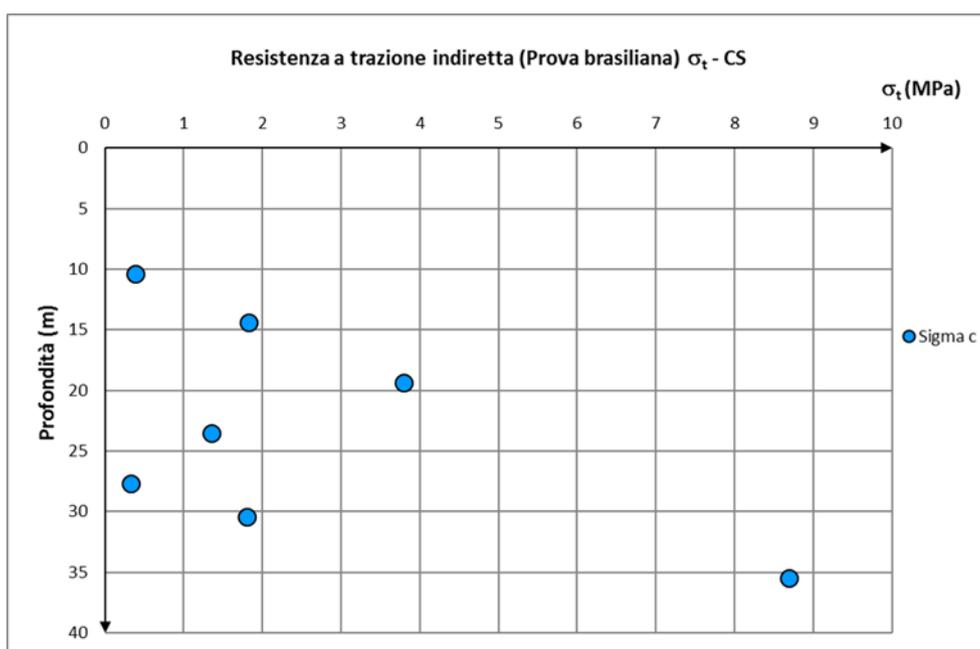


Figura 8-44 – Andamento, in funzione della profondità, dei valori di resistenza a trazione indiretta, ottenuti grazie all’esecuzione della prova Brasiliana..

I risultati ottenuti grazie alla prova Brasiliana, per la resistenza a trazione σ_t , rientrano in un range compreso tra 0.33 e 8.69 MPa

9. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

In base a quanto descritto nel capitolo precedente, si riporta di seguito, per ciascuna unità geotecnica e geomeccanica individuata, una tabella riassuntiva recante i principali parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati.

9.1 UNITÀ GEOTECNICA R-COP

Tabella 9-1 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "R-COP"

γ [kN/m ³]	18-19
Dr [%]	
ϕ '[°]	35
c' [kPa]	0
Cu [kPa]	-
OCR [-]	
E0 [MPa]	
G0 [MPa]	
Eop [MPa]	10-20
Eop_superficiali[MPa]	
Eop_opere	
Vs [m/s]	
ν	0.25
k [m/s]	
Nspt (colpi/30cm)	

9.2 UNITÀ GEOTECNICA DA

Tabella 9-2 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "DA"

γ [kN/m ³]	18-20
Dr [%]	
ϕ '[°]	25
c' [kPa]	3
Cu [kPa]	-
OCR [-]	
E0 [MPa]	
G0 [MPa]	
Eop [MPa]	20-45
Eop_superficiali[MPa]	
Eop_opere	
Vs [m/s]	
ν	0.25
k [m/s]	
Nspt (colpi/30cm)	

9.3 UNITÀ GEOTECNICA ORV

Tabella 9-3 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "ORV"

γ [kN/m ³]	19-20
Dr [%]	
ϕ' [°]	24-26
c' [kPa]	15-25
Cu [kPa]	250-300
OCR [-]	
E0 [MPa]	
G0 [MPa]	
Eop [MPa]	50*
Eop_superficiali[MPa]	
Eop_opere	
Vs [m/s]	
ν	0.4
k [m/s]	
Nspt (colpi/30cm)	

(*) Modulo operativo per il calcolo delle paratie

9.4 UNITÀ GEOTECNICA CAP

Tabella 9-4 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "CAP"

γ [kN/m ³]	18
Dr [%]	
ϕ' [°]	Si veda tabella capitolo dedicato
c' [kPa]	Si veda tabella capitolo dedicato
Cu [kPa]	-
OCR [-]	
E0 [MPa]	
G0 [MPa]	
Eop [MPa]	Si veda tabella capitolo dedicato
Eop_superficiali[MPa]	
Eop_opere	
Vs [m/s]	
ν	0.3
k [m/s]	
Nspt (colpi/30cm)	

9.5 UNITÀ GEOTECNICA BR-TET

Tabella 9-5 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "BR-TET"

γ [kN/m ³]	22-23
Dr [%]	
ϕ' [°]	30-33
c' [kPa]	4-12
Cu [kPa]	-
OCR [-]	
E0 [MPa]	
G0 [MPa]	
Eop [MPa]	50-100
Eop_superficiali[MPa]	
Eop_opere	
Vs [m/s]	
ν	-
k [m/s]	
Nspt (colpi/30cm)	

9.6 UNITÀ GEOTECNICA BR-SERP

Per l'unità geotecnica BR-Serp, poiché i corrispondenti terreni non saranno interessati dalle opere in progetto, non è stata fornita una parametrizzazione.

9.7 UNITÀ GEOTECNICA CS

Tabella 9-6 - Parametri geotecnici e geomeccanici di progetto assegnati all'unità geotecnica "CS"

	ROCCIA INTATTA	ROCCIA FRATTURATA
γ (kN/m ³)	27.0	27.0
GSI	40	30
σ_c (MPa)	20	
mi (-)	10	10
D (Disturbo)	0	0.7
E (campione di roccia)	11	
Φ ammasso (°)		Si veda tabella capitolo dedicato
C ammasso (kPa)		Si veda tabella capitolo dedicato
Eop (MPa)		2285
ν	0.5	0.1
σ_t (GPa)		2.5