Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PROVVEDITORATO PER LE OPERE PUBBLICHE
PIEMONTE VALLE D'AOSTA LIGURIA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROGETTAZIONE DEFINITIVA
PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

GT-R01: RELAZIONE GEOTECNICA
Aggiornamento Dicembre 2015



Progettazione

D'APPOLONIA S.P.A.

BETA STUDIO S.R.L

MONTALDO ENGINEERING S.R.L

GEOTECHNICAL SERVICES S.R.L

STEGEO

Coordinatore della Progettazione
(Provveditorato per le OO.PP.)
Dr. Ing. Francesco Caldani

Responsabile del Procedimento
(Provveditorato per le OO.PP.)
Dr. Ing. Alessandro Pentimalli

INDICE

			Pagina
1	**INTRODUZIONE**		**1**
2	**RIFERIMENTI**		**2**
	2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
	2.2	RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	2
	2.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	2
	2.4	DOCUMENTI DI PROGETTO	3
3	**SCOPO DEL LAVORO**		**4**
4	**DESCRIZIONE DELL'OPERA**		**5**
5	**RICHIAMI SULL'INQUADRAMENTO GEOLOGICO**		**6**
	5.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
	5.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
		5.2.1 Formazione dei Calcari Marnosi del Monte Antola	7
		5.2.2 Depositi quaternari	7
		5.2.3 Depositi alluvionali	8
		5.2.4 Inquadramento locale	8
	5.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
	5.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
		5.4.1 Inquadramento generale	9
		5.4.2 Inquadramento locale	11
6	**INQUADRAMENTO GEOTECNICO DI PROGETTO**		**13**
	6.1	CAMPAGNE GEOTECNICHE ESEGUITE	13
		6.1.1 Progetto preliminare	13
		6.1.2 Progetto definitivo	13
		6.1.3 Indagini Specifiche eseguite dal Comune di Santa Margherita Ligure	13
	6.2	ASSETTO STRATIGRAFICO DI PROGETTO	14
		6.2.1 Calcari dell'Antola	14
		6.2.2 Depositi Detritico-Colluviali	17
		6.2.3 Depositi Alluvionali	17
		6.2.4 Coltre nell'area DGPV	18
	6.3	LIVELLO DI FALDA E REGIME DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI	19
7	**METODOLOGIA IMPIEGATA PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI STATO E DI RESISTENZA CARATTERIZZANTI IL MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO**		**20**
	7.1	RICERCA DEL VALORE CARATTERISTICO	20
	7.2	INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO E DI LABORATORIO	20
8	**INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO**		**23**
	8.1	PROVE SPT	23
		8.1.1 Profilo di NSPT	23
		8.1.2 Profilo dello stato di addensamento	24
		8.1.3 Profilo dell'angolo di taglio	25
		8.1.4 Profilo del modulo di Young	26

8.1.5 Profilo della velocità delle onde di taglio 27
8.2 PROVE CROSS HOLE 28
8.2.1 Profilo dei tempi di arrivo 29
8.2.2 Profilo delle velocità delle onde P ed S 30
8.2.3 Profilo di porosità 31
8.2.4 Profilo dell'indice dei vuoti 32
8.2.5 Profilo del peso specifico 33
9 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO 34
9.1 TERRENI GRANULARI 34
9.1.1 Cumulativo delle curve granulometriche 34
9.1.2 Granulometria rappresentativa sondaggio SA 35
9.1.3 Granulometria rappresentativa per Torrente Magistrato 35
9.1.4 Granulometria rappresentativa dei sondaggi sul Torrente San Siro 36
9.1.5 Distribuzione dei diametri rappresentativi 36
9.1.6 Diametri rappresentativi per il sondaggio SA 37
9.1.7 Diametri ricavati dai sondaggi sul Torrente Magistrato 37
9.1.8 Diametri rappresentativi del Torrente San Siro 38

APPENDICE A: STRATIGRAFIE SONDAGGI (2005)
APPENDICE B: RISULTATI PROVE DI LABORATORIO
APPENDICE C: CERTIFICATI GRANULOMETRICI DI LABORATORIO
APPENDICE D: RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

RELAZIONE GEOTECNICA
PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE) – AGGIORNAMENTO DICEMBRE 2015

1 INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica è finalizzata alla definizione delle caratteristiche geotecniche delle unità stratigrafiche che interessano i terreni costituenti il Volume Significativo dell'intervento di realizzazione della nuova galleria scolmatrice dei Torrenti San Siro e Magistrato nel Comune di Santa Margherita Ligure (GE).

Essa, quindi, definisce la sequenza stratigrafica di progetto, le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni costituenti il VS dell'intervento ed il regime delle pressioni interstiziali, in accordo con il par. 6.2.2 del D.M. 14/01/08.

Il presente documento, redatto da D'Appolonia S.p.A., costituisce l'aggiornamento del documento GT-R01, redatto nel 2005 dall'ATI D'Appolonia S.p.A. (mandataria) – Beta Studio S.r.l. – Stone S.p.A. – prof. Ing. M. Mancini (mandanti) nell'ambito dell'attività di progettazione definitiva, in conformità alla normativa tecnica entrata successivamente in vigore.

2 RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. 14 gennaio 2008, Nuova Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 02/02/2009;
- UNI EN 1990, Eurocodice 0: Criteri generali di progettazione strutturale, versione italiana del gennaio 2014;
- UNI EN 1997-1, Eurocodice 7: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole Generali, versione italiana del maggio 2009.

2.2 RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

- Associazione Geotecnica Italiana, 1977, Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- Associazione Geotecnica Italiana, 2005, Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche;

2.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- R. Frank et. Al., 2004, Designer's guide to EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical Design – General Rules;
- Associazione Geotecnica Italiana, 2005, Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche, Patron Editore;
- C.W.W. Ng and B. Menzines, 2007, Advanced Unsaturated Soil Mechanics and Engineering, Taylor & Francis;
- B. M. Das, 2008, Advanced Soil Mechanics, 3rd edition, Taylor & Francis;
- L. I. Gonzalez de Vallejo, 2005, Geoingegneria, Pearson Education Italia;
- Leonards, G. A., 1962, Foundation Engineeringm, Book C, Mc Graw Hill book company;
- Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011, CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11;
- Meletti C., Valensise G, 2004, Zonazione Sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo, Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza P.C.M. 20.03.2003 n. 3274), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia;
- D'Appolonia D. J., D'Appolonia E. D., and Brissette R. F., 1970, Closure: Settlement of Spread Footings on Sand, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 96, pp 754-762. Available from American Society of Civil Engineers, 345 East 47th Street, New York, NY10017;
- Watkins J. S., Walters L. A. & Godson R. H., 1972, Dependence of in-situ compressional wave velocity on porosity, Geophysics 37 ,pag. 29-35;

- S. S. Tezcan, A. Keceli and Z. Ozdemir, 2006, Allowable Bearing Capacity of Shallow Foundation Based on Shear Wave Velocity, Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 24, No. 1, 2006, pp. 203-218;
- Mayne P.W., 2001, Stress-strain-strength-flow parameters from seismic cone tests. Proceedings, Intl. Conf. on In-Situ Measurement of Soil Properties & Case Histories, Bali, Indonesia: 27-48;
- Mayne P.W., 2007, In-situ test calibrations for evaluating soil parameters. Characterization & Engineering Properties of Natural Soils, Vol. 3, Taylor & Francis Group, London: 1602-1652;
- Gardner G.H.F., and Harris M.H., 1968, Velocity and attenuation of elastic waves in sands: 9th Annual SPWLA Log Symposium, Transitions, M1–M19.

2.4 DOCUMENTI DI PROGETTO

- D'Appolonia 2005, Relazione Geotecnica
- Geotechnical Services, 2015, Relazione Geologica e Idrogeologica;
- Montaldo Engineering S.r.l., 2015, Relazione Geomeccanica;
- D'Appolonia, 2015, Relazione Sismica;
- Comune di Santa Margherita Ligure, 2015, Indagini Geognostiche specifiche per gli approfondimenti di studio nell'area DGPV.

3 SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo del presente lavoro consiste nella determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e di stato dei terreni costituenti il Volume Significativo dell'intervento (VS), necessarie per la corretta messa a punto del Modello Geotecnico del Sottosuolo (MGS).

In accordo con il par. 6.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008 il MGS individua lo schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni compresi nel VS.

Il VS rappresenta il volume di terreno che interagisce con l'opera in progetto influenzandola od essendone da essa influenzato.

4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il progetto, che riguarda la realizzazione di un canale scolmatore in galleria di lunghezza complessiva pari a 2390 metri, atto a raccogliere e convogliare una parte rilevante delle portate di piena dei torrenti S. Siro e Magistrato, ha lo scopo di affrontare e risolvere il problema della ridotta capacità idraulica dei corsi d'acqua che interessano il centro storico di Santa Margherita Ligure.

Le seguenti Figure 4-1 e 4-2 mostrano l'ubicazione dell'area ed il dettaglio della galleria scolmatrice.

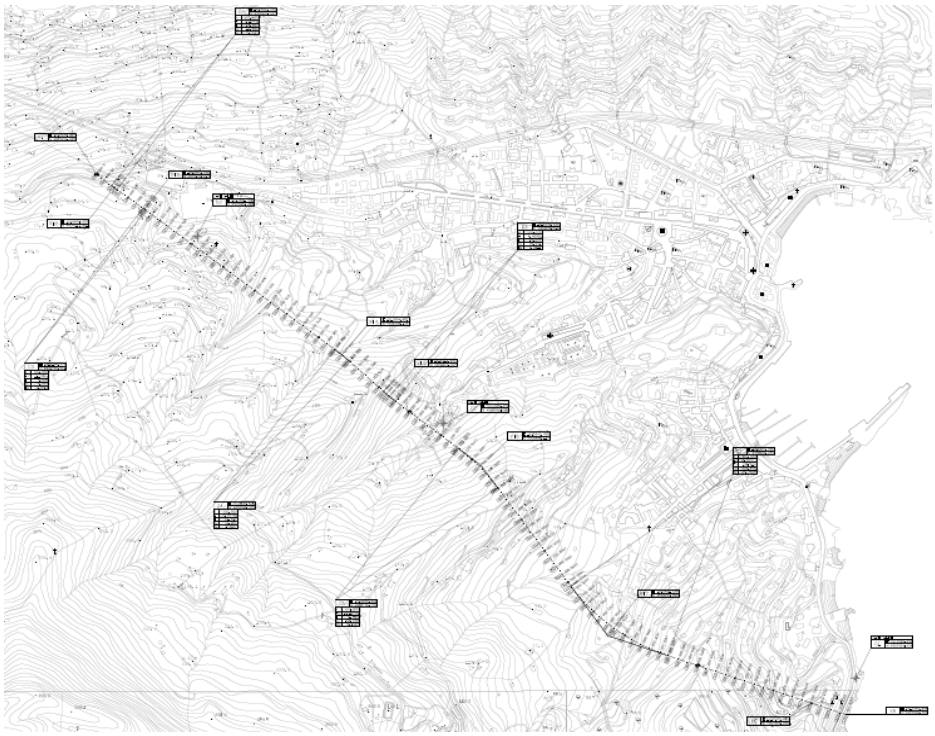


Figura 4.1: Inquadramento dell'area.

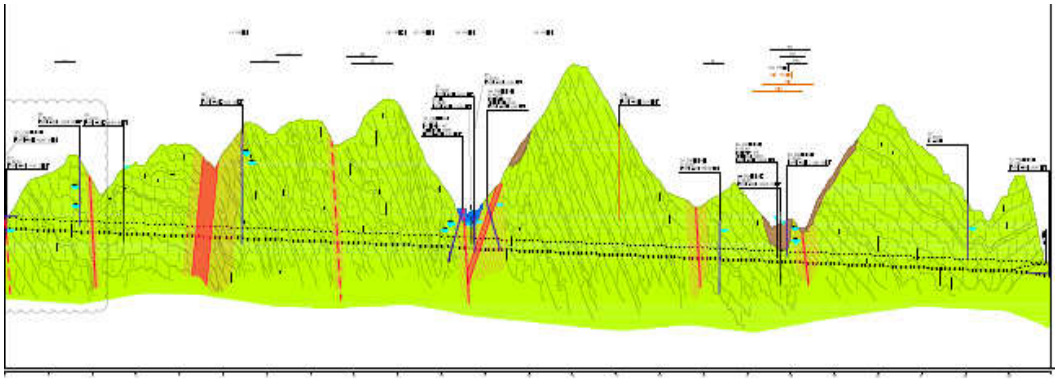


Figura 4.2: Profilo geomeccanico.

5 RICHIAMI SULL'INQUADRAMENTO GEOLOGICO

5.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è collocata nel Santa Margherita Ligure e, più precisamente, nello spazio compreso tra il Torrente San Siro (imbocco) e Punta Pedale (sbocco a mare).

La seguente Figura 5.1 mostra l'inquadramento geografico dell'area.



Figura 5.1: Inquadramento geografico dell'area.

Le coordinate geografiche del baricentro dell'area oggetto d'intervento sono le seguenti:

- Latitudine: 44°20'5"64 ° N;
- Longitudine: 09°12'43"20 ° E.

5.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'inquadramento geologico-strutturale dell'area interessata alla realizzazione della galleria idraulica scolmatrice indagata nel presente rapporto, deriva da rilievi di campagna, dall'analisi della documentazione della precedente fase progettuale (Studio GeoSARC), dalle indagini eseguite durante lo sviluppo del Progetto Definitivo (D'Appolonia, 2005) e dalle indagini specifiche eseguite in sede di studio della DGPV che insiste nell'area di imbocco del Torrente San Siro (Comune di Santa Margherita Ligure, 2015).

In generale è stato accertato che l'opera attraversa per intero il substrato roccioso costituito dalla Formazione dei Calcari Marnosi del Monte Antola, ad eccezione della zona di imbocco presso il Torrente San Siro dove attraversa, penetrandola, la copertura di una frana recentemente classificata come DGPV (Piano di Bacino ed

2014 e PUC ed. 2012); le indagini specifiche eseguite dal Comune di Santa Margherita Ligure nel 2015 hanno avuto lo scopo di meglio comprendere proprio l'area classificata come DGPV interferente con l'opera in oggetto.

5.2.1 Formazione dei Calcari Marnosi del Monte Antola

Questa Formazione è costituita da una alternanza ritmica di calcari marnosi, calcari arenacei e marne calcaree in strati e bancate di spessore normalmente pluridecimetrico, che possono arrivare localmente a spessori massimi di 10 – 12 metri. Sono presenti frequentemente calcilutiti in strati submetrici con giunti argillitici.

Si tratta di una formazione lapidea che, se nel complesso risulta omogenea, presenta le caratteristiche tipiche del flysch; sono pertanto presenti calcareniti micacee, generalmente a grana fine, passanti a calcisiltiti, alle quali si alternano marne calcaree, compatte in strati di spessore medio di 30 cm, con fratturazione scheggiosa o a blocchetti, e argille marnose.

La stratificazione, nella zona interessata dall'opera immerge generalmente verso sud – sud ovest con inclinazioni variabili da 25° a 75°. All'interno delle bancate calcaree il grado di fratturazione è medio, con giunti a spaziatura decimetrico – metrica e con frequenti vene di calcite spesso ortogonali alle superfici di fratturazione. Localmente nei calcari possono essere presenti fenomeni carsici in fase embrionale (Allasinaz et al., 1971; Cortesogno e Haccard, 1984).

Gli studi specifici eseguiti dal Comune di Santa Margherita Ligure hanno mostrato che l'area in prossimità dell'imbocco del Torrente San Siro è caratterizzata dalla presenza di una fascia ad elevato grado di fratturazione nei primi 12 – 15 m dal piano di campagna; le riprese con telecamera acustica BHTV nel foro SG2 hanno evidenziato anche la presenta di 3 set di discontinuità (S) e due set di fratture (K) poco spaziati (da 10 cm a 50 cm) caratterizzati dalle seguenti giaciture:

- S1, N219/29°;
- S2, N141/14;
- S3, N312/30°;
- K1, N189/20°;
- K2, 319/38°.

Caratteristica peculiare emersa dalle prove BHTV è che i sets individuati suddividono la colonna stratigrafica in tre "blocchi" distinti di spessori compresi tra 6 m e 10 m.

5.2.2 Depositi quaternari

I depositi detritico–colluviali sono sviluppati sia al di sopra dei calcari dell'Antola, sia, con più frequenza in settori esterni, alla base delle scarpate che costituiscono i contrafforti settentrionali della zona di affioramento del Conglomerato di Portofino. Si tratta di depositi a granulometria eterometrica, da medio fine a grossolana, con blocchi di dimensioni anche plurimetriche, in abbondante matrice sabbioso–limosa o

argillosa, generalmente derivante dal disfacimento superficiale dei calcari dell'Antola, più sviluppata in corrispondenza degli affioramenti di bancate marnose.

Come nel seguito riportato, nei sondaggi pregressi effettuati dallo Studio GeoSARC, ad eccezione del sondaggio S3 (che attraversa un deposito di frana dello spessore di circa 15 m), lo spessore medio dei depositi superficiali è pari a circa 2 m. Gli accumuli cartografati di maggiori dimensioni, con spessori superiori a 2 metri, corrispondono spesso ad accumuli gravitativi, specie al piede dei versanti impostati sui conglomerati di Portofino, dove sono alimentati dai crolli di grandi blocchi conglomeratici provenienti dalle scarpate interessate da un'elevata fratturazione.

Nella zona del Torrente Magistrato le coperture superficiali sono rappresentate da depositi colluviali, anche d'origine probabilmente gravitativa, e dalla fascia di alterazione superficiale del substrato, per spessori che possono raggiungere 5 – 10 metri.

5.2.3 Depositi alluvionali

I depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da materiali a granulometria sabbioso limosa, con orizzonti ghiaiosi o ciottolosi; localmente sono presenti frazioni fino a limoso-argillose.

Questi depositi formano il riempimento dei fondovalle dei principali impluvi che interessano l'area del progetto. Gli impluvi incrociati dal tracciato risultano, partendo da monte: Torrente San Siro, Fosso di Cassanello, Fosso di Costa Mezzana, Torrente Magistrato, Fosso Santa Barbara, Fosso sopra via Madonnetta. Gli elementi morfologici di maggiori dimensioni sono il Torrente San Siro e il Torrente Magistrato; in buona parte degli impluvi minori non risultano riconoscibili depositi di natura alluvionale.

L'origine dei depositi all'interno dei bacini è torrentizia. Nelle zone pianeggianti di raccordo con la costa del Mar Ligure (concentrico di Santa Margherita) è possibile la presenza di intercalazioni di depositi marini di spiaggia, interdigitati ai depositi alluvionali. Questa situazione risulta difficilmente osservabile a causa della tombinatura dei Torrenti San Siro e Magistrato nella tratta terminale nelle zone urbanizzate prima dello sbocco a mare.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali attuali nell'alveo dei principali corsi d'acqua, si osserva che le dimensioni dei depositi presenti non sono significative (meno di due metri di spessore) e, quindi, non sono stati rappresentati nella cartografia geologica. Nei rilievi di terreno è stato verificato che lungo l'alveo attivo dei corsi d'acqua affiora il substrato roccioso ad indicazione del fatto che questi impluvi sono prevalentemente in erosione.

5.2.4 Inquadramento locale

A livello locale il territorio è caratterizzato dai depositi di seguito descritti (dal più recente al più antico).

- Depositi alluvionali attuali: risalenti all'Olocene, affiorano lungo il corso del Fiume Sinni e dei principali corsi d'acqua; essi sono costituiti da ghiaie e ciottoli

eterometrici, di natura calcarea, con itercalazioni sabbiose ed argillose. Il loro spessore è di qualche metro;

- Depositi alluvionali recenti: risalenti anch'essi all'Olocene, ma più antichi dei precedenti, si trovano in affioramento solamente nella Piana del Fiume Sinni. Lo spessore che li caratterizza è compreso tra 60 m e 70 m e sono costituiti da sabbie, sabbie argillose e ghiaie;
- Depositi terrazzati: risalenti al Pleistocene sono costituiti da ghiaie calcaree e calcareo-marnose a matrice limoso-sabbiosa affioranti in prossimità del sito in oggetto; essi sono organizzati in diversi ordini di terrazzamento, dipendenti dalle varie Fasi Evolutive della Fossa Bradanica. Il loro spessore è compreso tra 5 m e 10 m;
- Argille grigie: risalenti al Pliocene, sono costituite da limi ed argille plastiche, di origine marina (ma, in alcune aree anche lagunare), di potenza anche notevole (diverse centinaia di metri).

5.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area in oggetto è ubicata su una superficie subpianeggiante sede di un terrazzamento marino a lieve inclinazione verso mare ed una quota media di circa + 40 m s.l.m.

5.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

5.4.1 Inquadramento generale

La morfologia e le tipologie dei depositi superficiali presenti variano radicalmente lungo il tracciato.

L'inquadramento geomorfologico fornito nella presente relazione deriva da rilievi di campagna e dall'analisi della documentazione della precedente fase progettuale (Progetto Preliminare) e della revisione critica di lavori bibliografici. In particolare, per quanto riguarda l'analisi geomorfologica si è fatto riferimento all'archivio cartografico dei Piani di Bacino della Provincia di Genova – Ambito 15. Particolare attenzione è stata posta all'individuazione delle forme legate a dissesti di versante che possono interferire con l'opera in sotterraneo.

Sono stati evidenziati i principali processi responsabili delle situazioni di dissesto riscontrate nell'ambito del territorio esaminato, con particolare riferimento per quelli che possono indurre situazioni di pericolosità geologica.

I depositi di frana vengono distinti in base alla dinamica geomorfologica riconoscendo lo stato di attività. Vengono distinte frane attive e frane quiescenti ma non viene considerata in questa distinzione il tipo di cinematica coinvolto. Le frane attive sono caratterizzate da particolari evidenze morfologiche che indicano uno stato di movimento recente; le frane quiescenti invece sono quelle caratterizzate un ritorno naturale alle condizioni di equilibrio. Le prime sono caratterizzate da elementi morfologici ben visibili e netti, che testimoniano la presenza di movimento recente; le seconde sono riconoscibili per la presenza di elementi morfologici generalmente

rimodellati, che spesso non permettono la precisa individuazione del corpo di frana, e che testimoniano l'assenza di significativi movimenti recenti.

Nei tratti interessati dal tracciato dell'opera in sotterraneo, l'estensione dei depositi è stata indagata nel corso delle campagne geognostiche effettuate per il Progetto Definitivo e per il Progetto Preliminare sia con metodi indiretti (indagini geofisiche sismiche ed elettriche) sia diretti costituiti da sondaggi. Le indagini sono finalizzate a definire l'estensione geometrica di questi depositi e a caratterizzare la loro composizione litologica. Dal punto di vista litologico i depositi di frana sono costituiti prevalentemente da una matrice sabbioso limosa con elementi lapidei di pezzatura da centimetrica a decimetrica, prevalentemente monogenetici, provenienti dal sottostante Calcare di Monte Antola. Per le frane maggiori, individuate nella cartografia bibliografica, è stato riportato sulla carta il perimetro dell'area del movimento. Le frane non cartografabili sono state invece rappresentate con simbologia puntuale, coincidente con la zona d'innesco. Inoltre sono state indicate in carta alcune scarpate non riconducibili a fenomeni franosi in senso stretto ma attualmente sede di singoli distacchi non cartografabili, rappresentate come cigli di arretramento morfologico.

L'unico deposito attribuibile ad una frana quiescente che presenta delle interferenze con il tracciato è quello compreso tra le progressive 1+735 e 1+800 presso la Comunale della Madonnetta, analizzate nell'ambito del Progetto Preliminare.

I depositi in base al sondaggio S3, realizzato con un fuoriasse di 11 m, presentano uno spessore di circa 15 m. Il setto di roccia che separa i depositi di frana dallo scavo in calotta in questa posizione risulta pari a circa 2-3 m ed è costituito da un ammasso fortemente fratturato ed alterato con RQD tra 0 e 20%. La galleria attraversa un ammasso con RQD tra 20 e 50% con un intervallo di marne di circa 60 cm.

La geometria del corpo di frana viene definita con discreta precisione dalle indagini geofisiche effettuate nel 2003 (tre tomografie elettriche e 4 linee sismiche a rifrazione, le indagini di tipo sismico a rifrazione forniscono una definizione del contrasto di impedenza tra depositi e substrato mentre le linee geoelettriche presentano).

Nella campagna geognostica integrativa, realizzata come ausilio alla progettazione definitiva, di cui questa relazione fa parte, questa situazione viene indagata con un sondaggio (SB) inclinato di 30° e monitorata nel settore di monte con un inclinometro posizionato nel sondaggio SA ("Planimetria ubicazione indagini geognostiche"). Il sondaggio SB effettuato con un inclinazione di circa 30° rispetto all'orizzontale presenta testa foro nella zona di piede dei depositi di frana indica una chiusura dei depositi e la presenza di un setto in roccia con caratteristiche discrete.

Il sondaggio SA indaga una porzione di ammasso esterno alla galleria, la sua stratigrafia conferma quella descritta dal sondaggio S3. Il sondaggio SA è ubicato ad una quota di circa 5 m superiore a quella del sondaggio S3 e mostra uno spessore di depositi pari a 13,5 m, in questo caso il setto di roccia che separa i depositi dallo scavo in calotta è superiore a 5 m. Il sondaggio SA è stato attrezzato con

inclinometro e lo strumento si presta in questo caso ad un monitoraggio nello stadio attuale e in corso d'opera.

La geometria del corpo di frana quiescente riesce ad essere meglio inquadrata in base a questi due sondaggi, che definiscono il corpo a Ovest e a Est del tracciato. Il sondaggio SA indica una risalita del contatto depositi substrato spostandosi verso Ovest (zona di monte del corpo di frana). Mentre il sondaggio SB va ad indagare la zona centrale del corpo di frana in posizione prossima al piede e mostra un decremento dello spessore dei depositi. In base a questa ricostruzione il sondaggio S3 indaga la zona più depressa del contatto depositi roccia. In via cautelativa nella ricostruzione del profilo geomeccanico si è preferito estendere questa quota del contatto roccia depositi a buona parte dell'area in frana quiescente.

I depositi di frana quiescenti sono costituiti da limi argillosi talora limoso sabbiosi, di colore grigio scuro con clasti centimetrici di calcare prevalentemente angolosi.

I depositi limoso argillosi risultano sempre interessati dalla presenza della falda a circa 3-4 m da piano campagna.

Dal punto di vista morfologico l'area presenta una evidenza abbastanza debole della presenza di depositi di frana, non si osservano lesioni superficiali ne indizi di uno stato di attività. I muri a secco lateralmente presentano una inflessione verso l'esterno ma non presentano lesioni. Sono invece presenti fratture di piccola entità lateralmente nella scalinata in calcestruzzo.

5.4.2 Inquadramento locale

Dal punto di vista idrogeologico l'area di studio può essere suddivisa, in base al tipo ed al grado di permeabilità delle rocce affioranti nell'area d'interesse del progetto del canale scolmatore, in due complessi idrogeologici aventi classi di permeabilità differenti; fa eccezione la zona di imbocco, sulla quale insiste l'area classificata come DGPV che presenta caratteristiche differenti.

L'attribuzione del grado di permeabilità ad ognuno dei complessi idrogeologici individuati è stata eseguita sulla base dei dati e disponibili in letteratura.

Tabella 5-1: Quadro Sinottico dei Complessi Idrogeologici.

Complessi Idrogeologici	Unità Geologiche	Tipo di Permeabilità	Grado di Permeabilità
Detriti di frana	Depositi	Per porosità	da alto-molto alto ($k>10^{-4}$ m/s) a medio-alto (10^{-6} m/s$<k<10^{-4}$ m/s)
Detrito di falda, depositi colluviali, depositi alluvionali antichi e recenti.	Depositi Quaternari	Per porosità	da alto-molto alto ($k>10^{-4}$ m/s) a medio-alto (10^{-6} m/s$<k<10^{-4}$ m/s)
Calcari dell'Antola	Unità del Monte Antola	Per fratturazione e locale debole carsismo.	da basso-medio (10^{-8} m/s$<k<10^{-6}$ m/s) a molto basso-basso ($k<10^{-8}$ m/s) con locali incrementi fino a medio-alto (10^{-6} m/s$<k<10^{-4}$ m/s)

Le caratteristiche del complesso idrogeologico direttamente attraversato dalla galleria sono strettamente legate all'assetto litostratigrafico e strutturale della formazione dei Calcari dell'Antola ad eccezione della zona di imbocco che risulta governata in prevalenza dalla permeabilità della coltre in frana.

Con riferimento ai Calcari dell'Antola, la permeabilità è legata alla presenza di bancate calcaree fratturate e con discontinuità debolmente carsificate, che possono essere sede di circolazione idrica anche di una certa entità ma risulta ridotta dalla presenza degli interstrati marnosi, la cui diffusione determina una compartimentazione della circolazione e un generale decremento del grado di permeabilità equivalente.

Lungo tutto il tracciato della galleria, interessato dall'attraversamento dei Calcari dell'Antola, è stata rilevata la presenza di un acquifero. La presenza della falda è confermata da tutti i sondaggi sia dalle fasi di perforazione che dalle successive misure piezometriche.

Oltre alla circolazione idrica all'interno dell'ammasso roccioso, è più frequente la localizzazione di acquiferi al contatto tra i depositi superficiali con il substrato roccioso.

I depositi superficiali sono permeabili per porosità, con grado di permeabilità medio alto e possono essere sede di una falda.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO DI PROGETTO

L'inquadramento geotecnico di progetto è basato sui dati di riferimento indicati al paragrafo 5.2; nel seguito saranno descritte nel dettaglio le caratteristiche di progetto dei litotipi costituenti il Volume Significativo dell'intervento, desunte dall'interpretazione dei dati di riferimento.

6.1 CAMPAGNE GEOTECNICHE ESEGUITE

6.1.1 Progetto preliminare

Si fa riferimento ai seguenti sondaggi e prove in sito (GeoSARC):

- Sondaggi S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11;
- Prove di monitoraggio inclinometrico;
- Prove monitoraggio freatimetrico.

6.1.2 Progetto definitivo

Si fa riferimento ai seguenti sondaggi e prove in sito (D'Appolonia 2005), per i quali si rimanda alla documentazione riportata nelle Appendici A, B, C, D:

- Sondaggi SA, SB, SC, SCbis, SD;
- Prove di permeabilità;
- Prove SPT;
- Prove dilatometriche.
- Prove di laboratorio.

6.1.3 Indagini Specifiche eseguite dal Comune di Santa Margherita Ligure

Si fa riferimento ai seguenti sondaggi e prove in sito (Comune di Santa Margherita Ligure 2015):

- Sondaggi SG1 ed SG2;
- Prove MASW, HVSR e BHTV.

La seguente Figura 6.1 mostra l'ubicazione planimetrica di tutti i sondaggi eseguiti rispetto alle future strutture caratterizzanti la Galleria Scolmatrice.

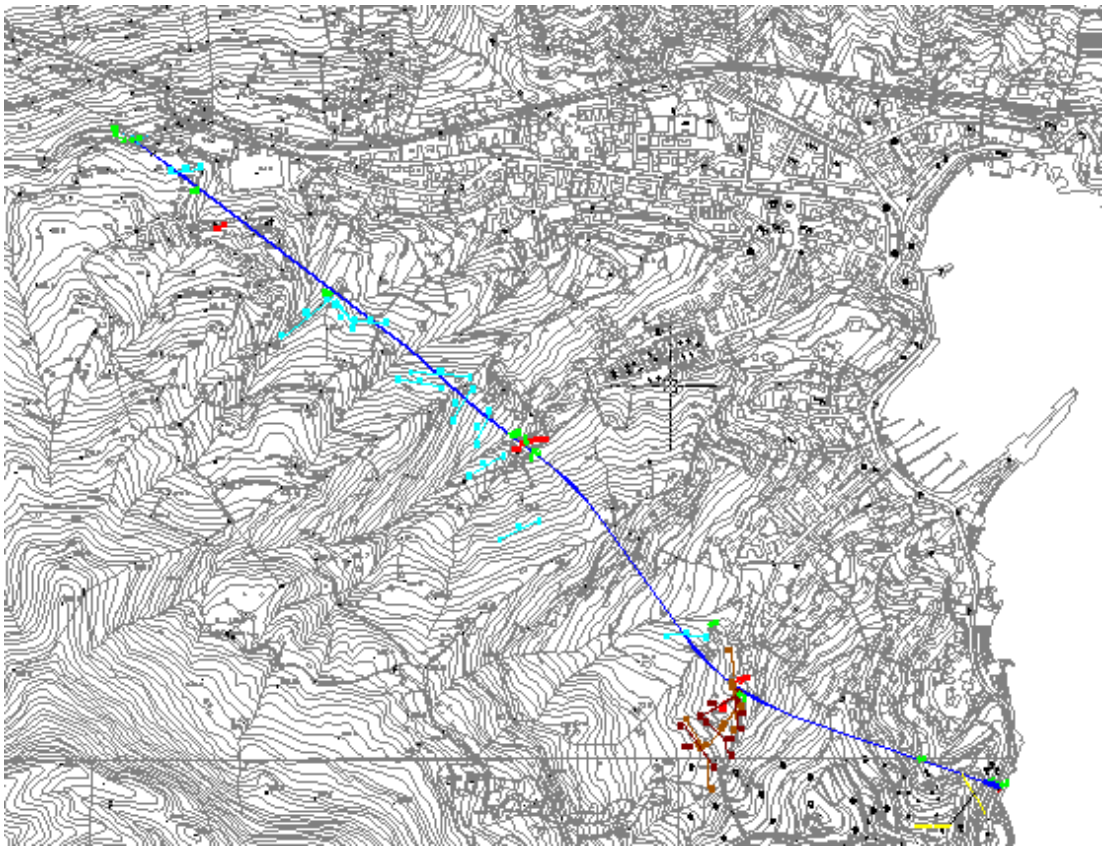


Figura 6.1. Ubicazione dei sondaggi svolti

Laddove possibile, tutti i sondaggi hanno previsto il recupero di campioni indisturbati che sono stati sottoposti a prove di laboratorio finalizzate alla determinazione delle proprietà indice, di stato e di resistenza dei terreni costituenti il Volume Significativo dell'intervento.

6.2 ASSETTO STRATIGRAFICO DI PROGETTO

L'analisi dei logs stratigrafici mostra un assetto stratigrafico caratterizzato dalla presenza di quattro formazioni significative di seguito descritte.

6.2.1 Calcari dell'Antola

Si tratta di un calcare marnoso, marna calcarea, calcareniti con occasionali livelli di argilliti e argilliti marnose con valori di fatturazione molto variabili; l'ammasso roccioso è caratterizzato dalla presenza di zone di intensa fatturazione dovuta a disturbi di tipo tettonico mentre risulta più compatto in presenza di grosse bancate di spessore plurimetrico.

Si possono distinguere i seguenti litotipi:

- calcare marnoso;
- marna calcarea;

le argilliti, che costituiscono occasionali livelli (di spessore decimetrico) all'interno dell'ammasso roccioso.

Sulla base dei rilievi geostrutturali condotti in sito, dei risultati delle prove di laboratorio e dei dati di sondaggio è stato possibile classificare l'ammasso roccioso dei Calcari Marnosi del Monte Antola secondo tre gruppi a cui corrispondono differenti qualità geomeccaniche.

Questi gruppi, definiti come Gruppo1, Gruppo 2, Gruppo 3 si riferiscono a condizioni di roccia da buona, discreta, scadente e molto scadente (completamente destrutturata).

Fa eccezione la zona di imbocco che, sulla base degli studi effettuati dal Comune di Santa Margherita Ligure, è stata trattata separatamente anche in relazione allo sviluppo complessivo della galleria scolmatrice.

In particolare, i dati ottenuti dalle indagini hanno permesso di classificare gli ammassi rocciosi secondo le seguenti metodologie:

- Bieniawski (RMR-System, 1989);
- GSI (Hoek, Kaiser & Bawden, 1995)
- Q index (Barton, 1974).

La Tabella 6-1 riporta la classificazione dell'Ammasso Roccioso di riferimento, valida per tutto lo sviluppo della galleria ad eccezione dei primi 150 m sui quali insiste la DGPV la cui classificazione è riportata nella successiva Tabella 6-2 estratta dalla relazione di studio dell'area DGPV fornita.

Tabella 6-1: Classificazione dei Calcari del Monte Antola per la galleria.

NOME FORMAZIONE	RMR min	RMR max	GSI min	GSI max	Q min	Q max
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 1	51	70	51	65	1,70	35,00
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 2	38	58	38	53	0,50	3,30
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 3	25	42	20	37	0,08	0,90

La classificazione sopra riportata si riferisce alla formazione dei Calcari del Monte Antola, intesa come ammasso roccioso, per quanto attiene la progettazione delle opere dello scolmatore nel loro complesso. Ai fini del presente documento, relativo alle opere fuori terra, si considerano rappresentative le caratteristiche del Gruppo 3.

Tabella 6-2: Classificazione dei Calcari Marnosi dell'Antola nell'area DGPV.

NOME FORMAZIONE	RMR min	RMR max	GSI min	GSI max	Q min	Q max
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 4	15	25	10	20	0,018	0,08

6.2.1.1.1 *Peso di Volume*

In base ai risultati delle prove di laboratorio e con riferimento ai valori tipici riportati nella bibliografia specializzata, per i Calcari dell'Antola sono stati adottati i valori di peso di volume, γ, riportati nella tabella seguente.

Tabella 6-3: Pesi di volume dei Calcari Marnosi dell'Antola.

NOME FORMAZIONE	γ (kN/m^3)
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 1	26
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 2	25
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 3	25

Tabella 6-4: Pesi di volume dei Calcari Marnosi dell'Antola nell'area DGPV.

NOME FORMAZIONE	γ (kN/m^3)
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 4	24

6.2.1.1.2 *Parametri Geomeccanici di Progetto*

Con riferimento a ciascuno dei metodi di classificazione è stato possibile correlare i dati dei quattro gruppi di ammasso roccioso definiti in precedenza, con i parametri di resistenza, sia in termini di resistenza di picco (C_p e φ_p) che in termini di resistenza residua C_r e φ_r adottando un legame costitutivo di tipo elastoplastico con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb.

I valori del modulo elastico, E, e del coefficiente di poisson, ν, sono stati determinati sia con riferimento alle note correlazioni di Letteratura, sia con riferimento ai risultati delle prove in sito e di laboratorio.

Per la progettazione delle opere fuori terra si considerano in via cautelativa applicabili i parametri del Gruppo 3 per condizioni residue C'r e φ'r.

Tabella 6-5: Parametri di progetto dei Calcari Marnosi dell'Antola.

NOME FORMAZIONE	C_p (MPa)	φ_p (°)	C_r (MPa)	φ_r (°)	E (MPa)	ν
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 1	1,200	37	0,700	27	9000	0,25
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 2	0,500	33	0,300	25	4000	0,30
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 3	0,250	30	0,150	22	1400	0,30

Tabella 6-6: Parametri di progetto dei Calcari Marnosi dell'Antola nell'area DGPV.

NOME FORMAZIONE	C_p (MPa)	φ_p (°)	C_r (MPa)	φ_r (°)	E (MPa)	ν
Calcari dell'Antola (An) - gruppo 4	0,700	22	0,400	15	500	0,38

6.2.2 Depositi Detritico-Colluviali

Come descritto in precedenza, si tratta di depositi a granulometria eterometrica, da medio fine a grossolana, con blocchi di dimensioni anche plurimetriche, in abbondante matrice sabbioso–limosa o argillosa, generalmente derivante dal disfacimento superficiale dei calcari dell'Antola.

In generale, lo spessore di questi depositi è dell'ordine di 2 m. Occasionalmente, si osservano accumuli di spessore maggiore, dovuti a fenomeni gravitativi, come è il caso, ad esempio, dell'accumulo individuato nel fondovalle del Torrente Magistrato, a monte dell'opera in progetto.

6.2.2.1.1 *Peso di Volume*

In base ai risultati delle prove di laboratorio e con riferimento ai valori tipici riportati nella bibliografia specializzata, per i materiali di natura detritico-colluviale è stato adottato un peso di volume di 19 kN/m^3.

6.2.2.1.2 *Parametri Geomeccanici di Progetto*

Ai fini delle analisi e verifiche di progetto i materiali appartenenti ai depositi detritico-colluviali possono essere considerati come terreni granulari. La loro caratterizzazione è stata basata sulle indicazioni fornite in bibliografia (EPRI, 1990), con riferimento alle descrizioni ed ai risultati delle analisi granulometriche.

La loro resistenza è stata quindi espressa in termini efficaci.

Tabella 6-7: Parametri di progetto dei depositi Detrico-Colluviali.

c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)	ν
0	30	30	0,30

6.2.3 Depositi Alluvionali

Come indicato al Capitolo 5, i depositi alluvionali sono costituiti prevalentemente da materiali a granulometria sabbioso limosa, con orizzonti ghiaiosi o ciottolosi; localmente sono presenti frazioni fino a limoso-argillose. Questi depositi formano il riempimento dei fondovalle dei principali impluvi che interessano l'area del progetto.

Le dimensioni dei depositi presenti sono modeste (in genere dell'ordine di due metri di spessore), dal momento che gli impluvi sono prevalentemente in erosione, come testimoniato dagli affioramenti del substrato roccioso lungo i corsi d'acqua.

6.2.3.1.1 *Peso di Volume*

In base ai risultati delle prove di laboratorio e con riferimento ai valori tipici riportati nella bibliografia specializzata, per i materiali di natura alluvionale è stato adottato un peso di volume di 20 kN/m^3.

6.2.3.1.2 *Parametri Geomeccanici di Progetto*

Ai fini delle analisi e verifiche di progetto i materiali appartenenti ai depositi alluvionali possono essere considerati come terreni granulari. La loro caratterizzazione è stata basata sulle indicazioni fornite in bibliografia (EPRI, 1990), con riferimento ai risultati delle analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati in alveo.

La loro resistenza è stata quindi espressa in termini efficaci.

Tabella 6-8: Parametri di progetto dei depositi Detrico-Colluviali.

c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)	ν
0	32	50	0,30

6.2.4 Coltre nell'area DGPV

Come si è potuto verificare dai dati forniti dal Comune di Santa Margherita, la coltre in frana rappresenta una porzione ben circostanziata e delimitata dell'intero sviluppo della galleria; essa è caratterizzata da granulometria eterometrica, da medio fine a grossolana, con blocchi di dimensioni anche plurimetriche, in abbondante matrice sabbioso–limosa o argillosa, generalmente derivante dal disfacimento superficiale dei calcari dell'Antola per effetto delle deformazioni gravitative.

In generale, lo spessore di questi depositi è dell'ordine di 4-5 m.

6.2.4.1.1 *Peso di Volume*

Per questi materiali i dati forniti permettono di adottare un peso di volume di 20 kN/m^3.

6.2.4.1.2 *Parametri Geomeccanici di Progetto*

Ai fini delle analisi e verifiche di progetto i dati forniti permettono di adottare i parametri di seguito indicati.

La loro resistenza è stata quindi espressa in termini efficaci.

Tabella 6-9: Parametri di progetto dei depositi Detrico-Colluviali.

c' (kPa)	φ' (°)	E (MPa)	ν
0	22	20	0,38

6.3 LIVELLO DI FALDA E REGIME DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI

Lungo tutto il tracciato della galleria, interessato dall'attraversamento dei Calcari dell'Antola, è stata rilevata la presenza di un acquifero libero. La presenza della falda è confermata da tutti i sondaggi eseguiti nelle varie fasi di sviluppo del progetto e di adeguamento.

Le portate misurate nell'indagine sui punti d'acqua superficiali giustificano più la presenza di acquiferi di dimensioni limitate piuttosto che di un unico acquifero esteso a tutto il versante. I dati, nelle zone caratterizzate da maggiore copertura, risultano troppo sparsi per effettuare una ricostruzione continua della superficie di falda e del relativo battente sullo scavo, da un esame dei profili geologici, idrogeologici e geomeccanici si può prevedere di non superare i 50 m di battente idraulico (corrispondenti a 5 bar di pressione idrostatica lungo lo scavo).

La posizione della falda viene ricostruita nella "Sezione Idrogeologica" con un tratto continuo negli intervalli dove viene correlata tra due o più sondaggi e un tratto discontinuo in corrispondenza dei punti in cui viene ricostruita in assenza di dati diretti.

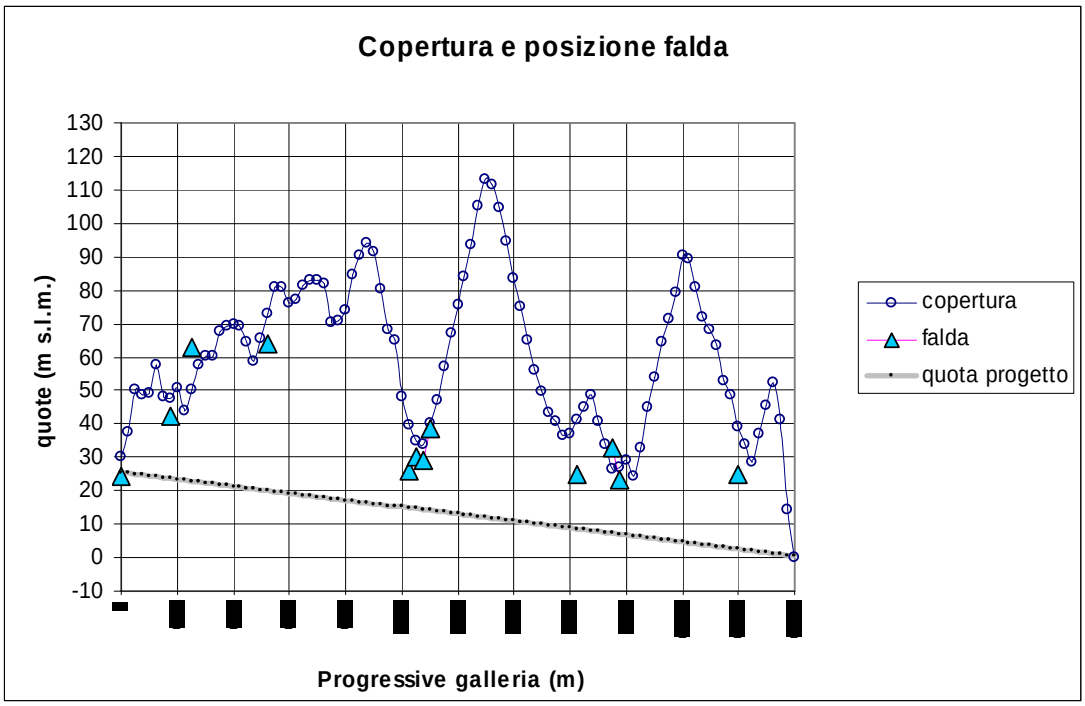


Figura 6.2 Copertura e posizione della falda

- Imbocco: 22 m. (s.l.m.);
- Tracciato: m (s.l.m.);
- Opera Torrente Magistrato: 30 m (s.l.m.);
- Tracciato fino a sbocco a mare: 22 m (s.l.m.).

7 METODOLOGIA IMPIEGATA PER LA DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI STATO E DI RESISTENZA CARATTERIZZANTI IL MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

In questo capitolo è presentata la metodologia adottata per la ricerca dei valori caratteristici delle principali proprietà caratterizzanti i vari livelli stratigrafici riscontrati; sono altresì presentate le correlazioni adottate per la determinazione dei parametri di stato, resistenza e deformabilità dei terreni.

Le correlazioni di riferimento riportate nel successivo paragrafo 7.2 mentre i risultati sono riportati graficamente nel successivo capitolo 8.

7.1 RICERCA DEL VALORE CARATTERISTICO

In accordo con le indicazioni di Frank et. Al. (2004) la determinazione dei valori caratteristici ha previsto l'impiego della seguente relazione:

$$x_k = x_m \pm k_n \cdot \frac{\sigma}{\bar{x}} \qquad (1)$$

dove:

- x_k rappresenta il valore caratteristico della grandezza;
- x_m rappresenta il valore medio della distribuzione;
- k_n rappresenta il coefficiente di Student al percentile considerato (95°) dipendente dal numero delle osservazioni effettuate e dal valore oggetto di ricerca (medio caratteristico, alto locale o basso locale);
- σ rappresenta la deviazione standard.

Poiché si ricercano valori di proprietà riferite a resistenze, il segno da impiegarsi all'interno della (1) sarà il segno "-".

Il valore così determinato è da intendersi come medio caratteristico, ossia rappresentativo del comportamento nel caso in cui lo stato limite considerato (o meglio, gli stati limite considerati) coinvolga (coinvolgano) un ampio volume di terreno.

Tale accezione si adatta molto bene all'opera oggetto della presente relazione.

La metodologia riportata nella (1) è stata applicata non solo ai valori indice (SPT), ma anche alle proprietà derivate dai valori indice non processati.

7.2 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO E DI LABORATORIO

La ricerca dei parametri di stato, resistenza e deformabilità è stata condotta sulla base delle informazioni derivate dalle prove in sito impiegando le correlazioni empiriche di Letteratura elencate nel seguito:

- Densità relativa: Correlazione di Skempton (1986)

$$D_R = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{60}} \quad (2)$$

dove $(N_1)_{60}$ rappresenta il valore dell'indice SPT normalizzato.

- Angolo di taglio: Correlazione di Schmertmann (1978)

$$\varphi = 28 + 0{,}14 D_R \quad (3)$$

dove D_R rappresenta il valore della Densità Relativa.

- Modulo di Young: Correlazione di D'Appolonia et. Al. (1970)

$$E = (42 + 1{,}055 N_{SPT}) \cdot (1 - \nu^2) \quad (4)$$

dove N_{SPT} rappresenta il valore dell'indice SPT e ν rappresenta il coefficiente di Poisson del terreno.

Essa è relativa a sabbie e ghiaie da mediamente addensate a dense, oppure a sabbie e ghiaie.

- Velocità delle onde di taglio Correlazione di Otha e Goto (1978)

$$v_S = 54{,}33 N_{SPT}^{0{,}173} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{z}{0{,}303}\right)^{0{,}193} \quad (5)$$

dove:

- N_{SPT} rappresenta il valore dell'indice SPT alla profondità z;
- α e β rappresentano, rispettivamente, il fattore di età (posto pari a 1,000 per depositi olocenici) ed il fattore geologico (posto pari a 1,086 per le sabbie)
- z rappresenta la profondità espressa in metri.

- Peso specifico naturale Correlazioni di Mayne (2001 e 2007)

$$\gamma = 8{,}32 \cdot \log(v_S) - 1{,}61 \cdot \log(z) \quad (6)$$

$$\gamma = 4{,}17 \cdot \ln(v_{S1}) - 4{,}03 \quad (7)$$

dove:

- v_S rappresenta il valore della velocità delle onde s misurata tramite prove geofisiche alla profondità z;
- v_{S1} rappresenta il valore della velocità delle onde s, misurata tramite prove geofisiche, normalizzata rispetto allo stato tensionale tramite la relazione $v_{S1} = \frac{v_S}{\left(\frac{\sigma'_{vo}}{\sigma_{atm}}\right)^{0{,}25}}$;

- σ'_{vo} rappresenta la tensione litostatica verticale efficace calcolata alla profondità z;
- σ_{atm} rappresenta pressione atmosferica, pari a 100 kPa;
- z rappresenta la profondità espressa in metri.

- Peso specifico naturale Correlazione di Tezcan et. Al. (2006)

$$\gamma = \gamma_o + 0{,}002 \cdot v_P \quad (8)$$

dove:

- v_p rappresenta il valore della velocità delle onde p misurata tramite prove geofisiche alla profondità z;
- γ_0 rappresenta un peso specifico di riferimento posto pari a 17 kN/m^3 per sabbie e ghiaie da mediamente addensate ad addensate.

- Porosità Correlazione di Watkins et. Al. (1972)

$$n = -0{,}175 \cdot \ln(v_P) + 1{,}56 \quad (9)$$

dove:

- v_p rappresenta il valore della velocità delle onde p misurata tramite prove geofisiche alla profondità z.

- Coefficiente di permeabilità Correlazione di Hazen (1911)

$$k = c \cdot \mathrm{d}_{10}^2 \quad (10)$$

- dove c è il coefficiente riferito alla natura del terreno, posto pari a 0,015 per le sabbie.

Nel capitolo seguente sono riportati i diagrammi con la rappresentazione grafica delle anlisi effettuate.

8 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITO

8.1 PROVE SPT

8.1.1 Profilo di NSPT

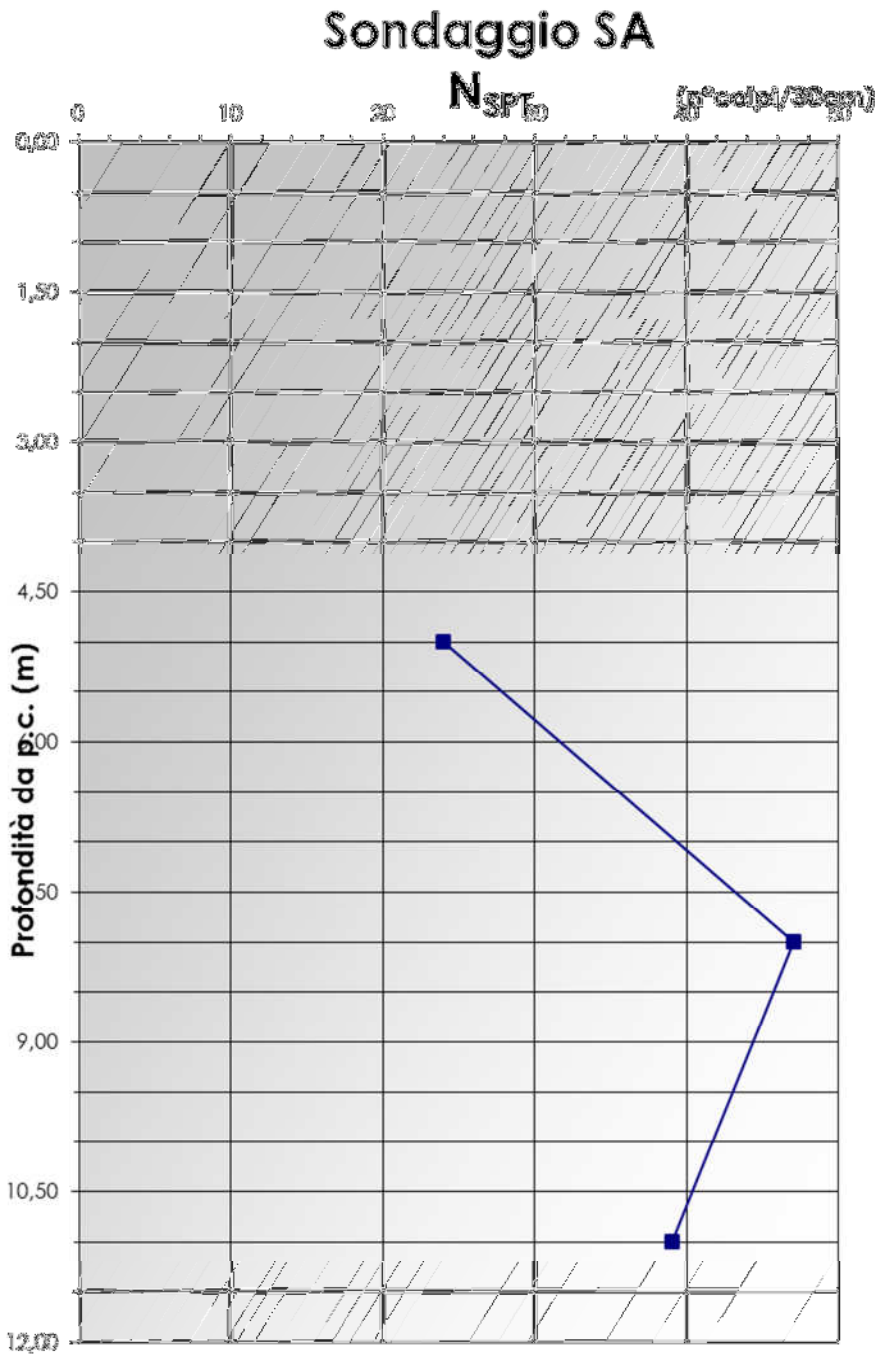


Figura 8.1: Profilo di SPT.

8.1.2 Profilo dello stato di addensamento

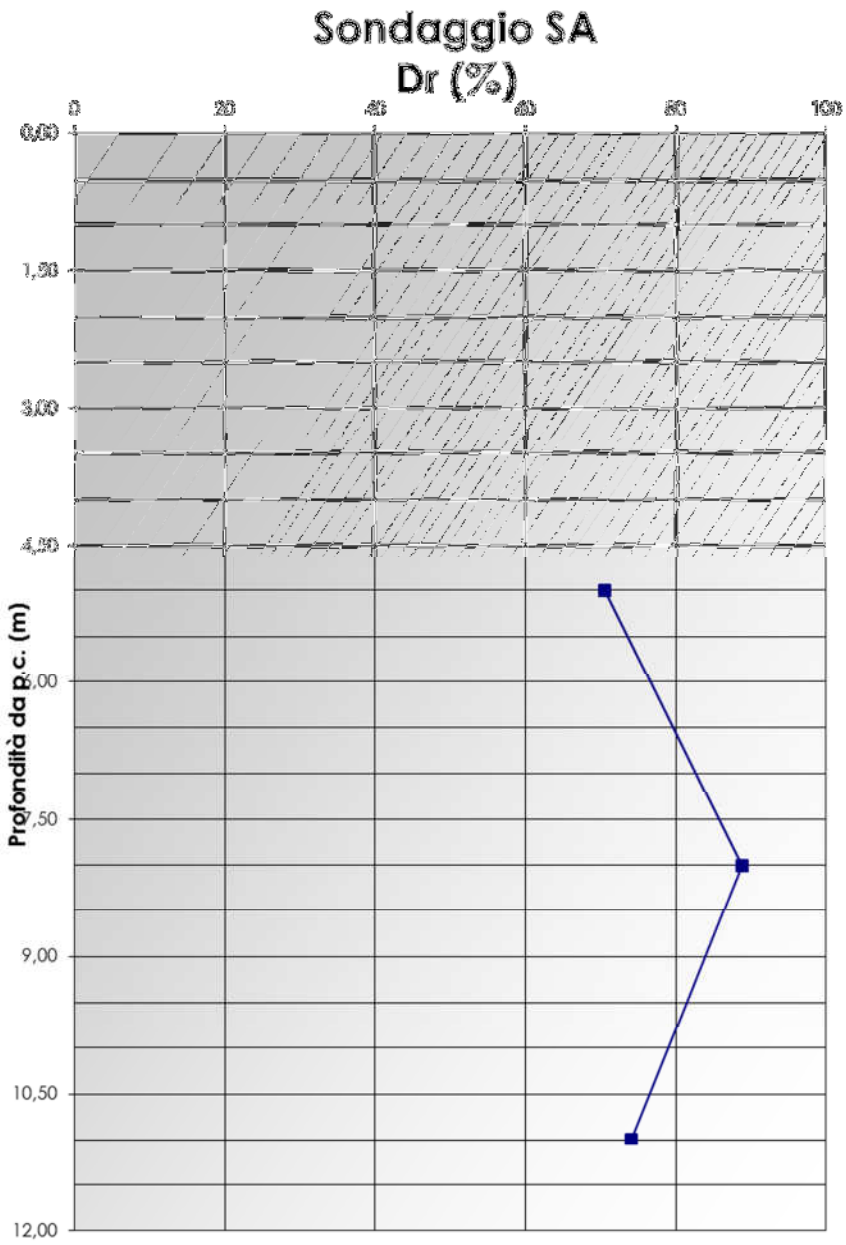


Figura 8.2: Profilo dello stato di addensamento.

8.1.3 Profilo dell'angolo di taglio

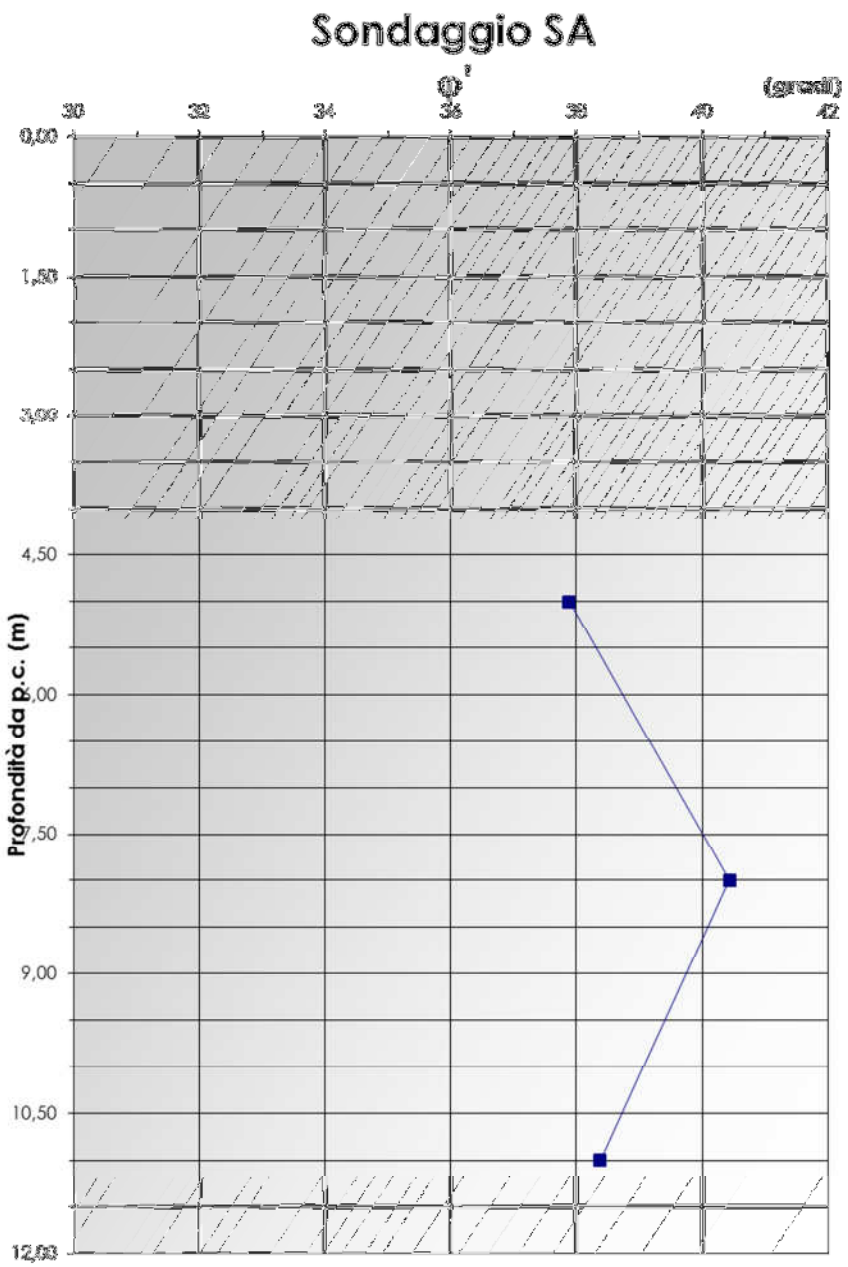


Figura 8.3: Profilo dell'angolo di taglio.

8.1.4 Profilo del modulo di Young

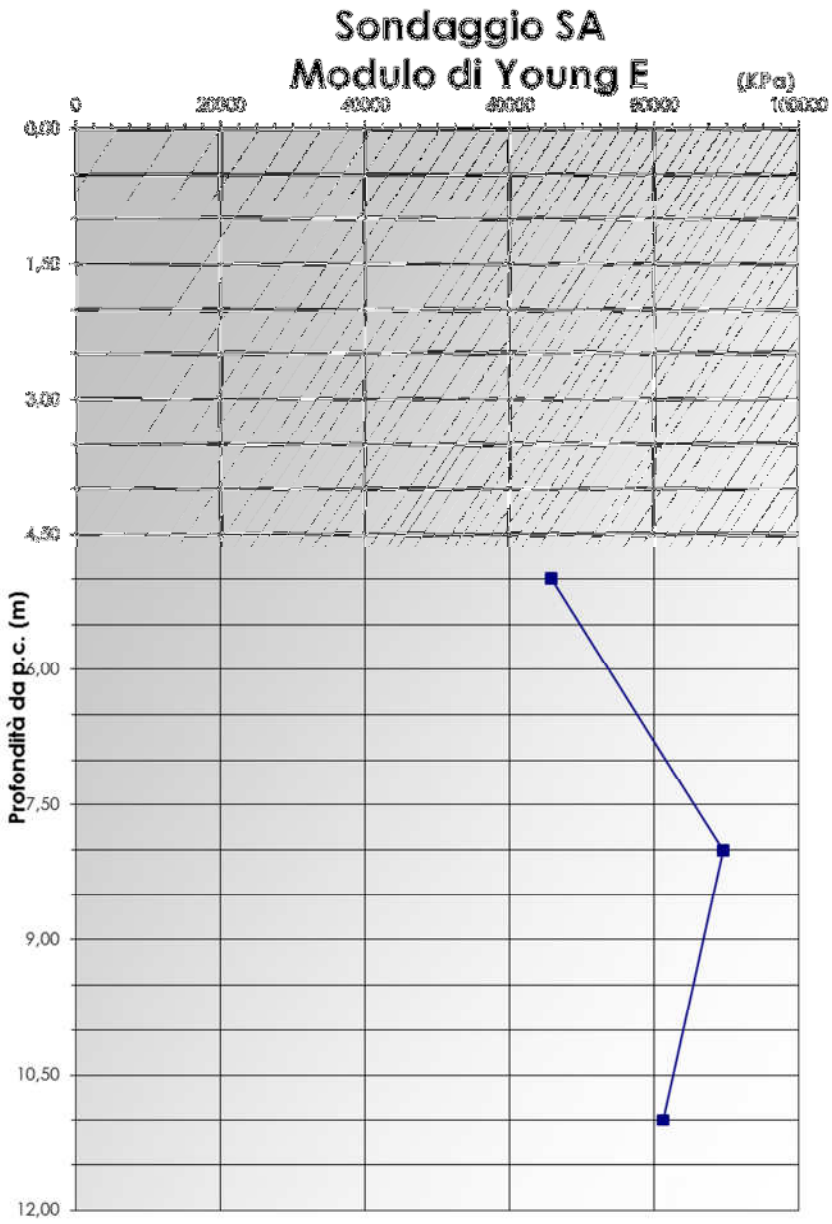


Figura 8.4: Profilo del modulo di Young.

8.1.5 Profilo della velocità delle onde di taglio

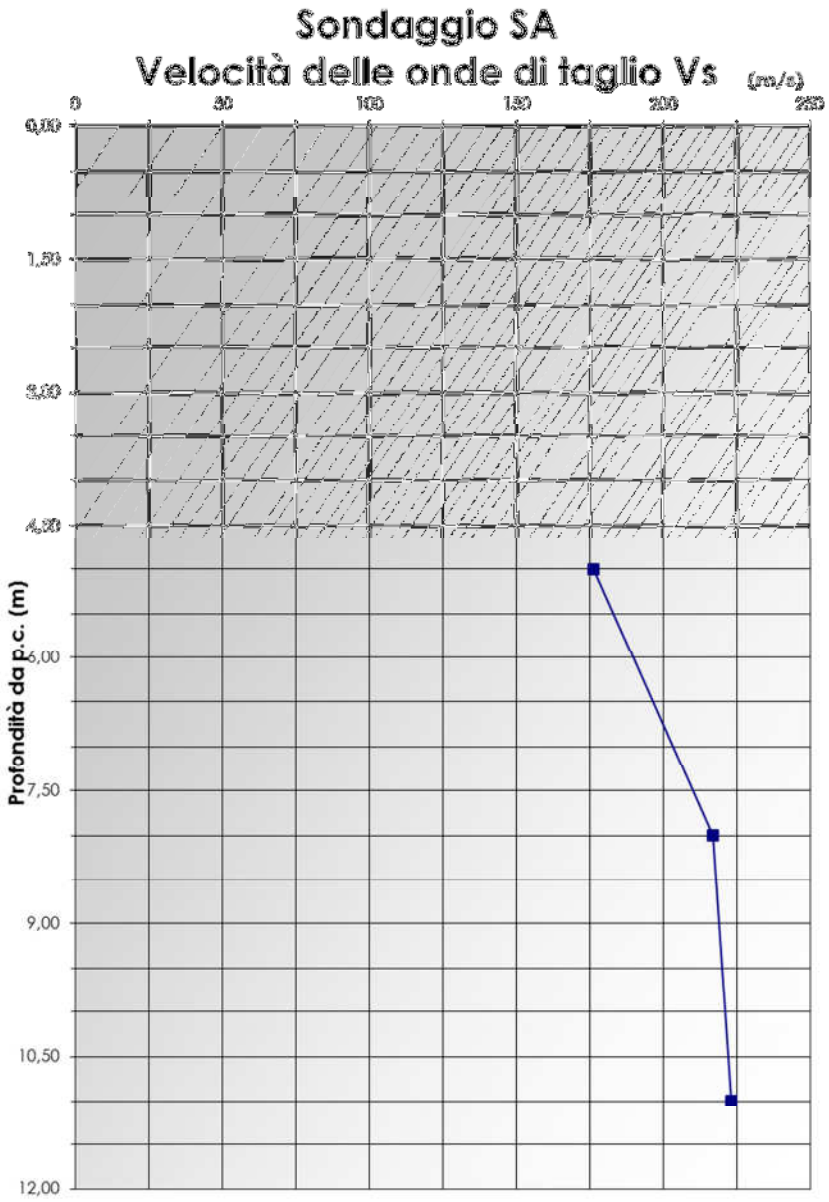


Figura 8.5: Profilo della velocità delle onde di taglio.

8.2 PROVE CROSS HOLE

Le misure sismiche effettuate con il metodo cross hole, eseguite nel sondaggio SC, hanno permesso di definire il sottosuolo in termini di densità e di velocità delle onde sismiche volumetriche (P ed S) nonché estrapolare alcuni parametri di stato per le varie unità stratigrafiche.

Il metodo cross hole consente di ricavare le proprietà meccaniche dinamiche dei terreni in situ, offrendo risultati accurati ed affidabili. I tempi di percorso tra lo shot point ed il geofono stesso sono derivati dai sismogrammi registrati e, una volta corretti inserendo la distanza orizzontale tra posizione della massa battente e posizione del foro, possono essere riportati in un diagramma profondità-tempo corretto utile per la definizione dell'assetto stratigrafico.

E' stata effettuata una prova di questo tipo per la valutazione dell'ammasso roccioso nei pressi della presa del Fosso del Magistrato, più precisamente nel sondaggio SC, eseguito contemporaneamente ad un'altra perforazione a distruzione (SCbis) necessaria per l'esecuzione della prova.

Le misure effettuate riportano solo la velocità delle onde S, mentre la velocità delle onde P è stata ricavata da correlazioni presenti in letteratura.

8.2.1 Profilo dei tempi di arrivo

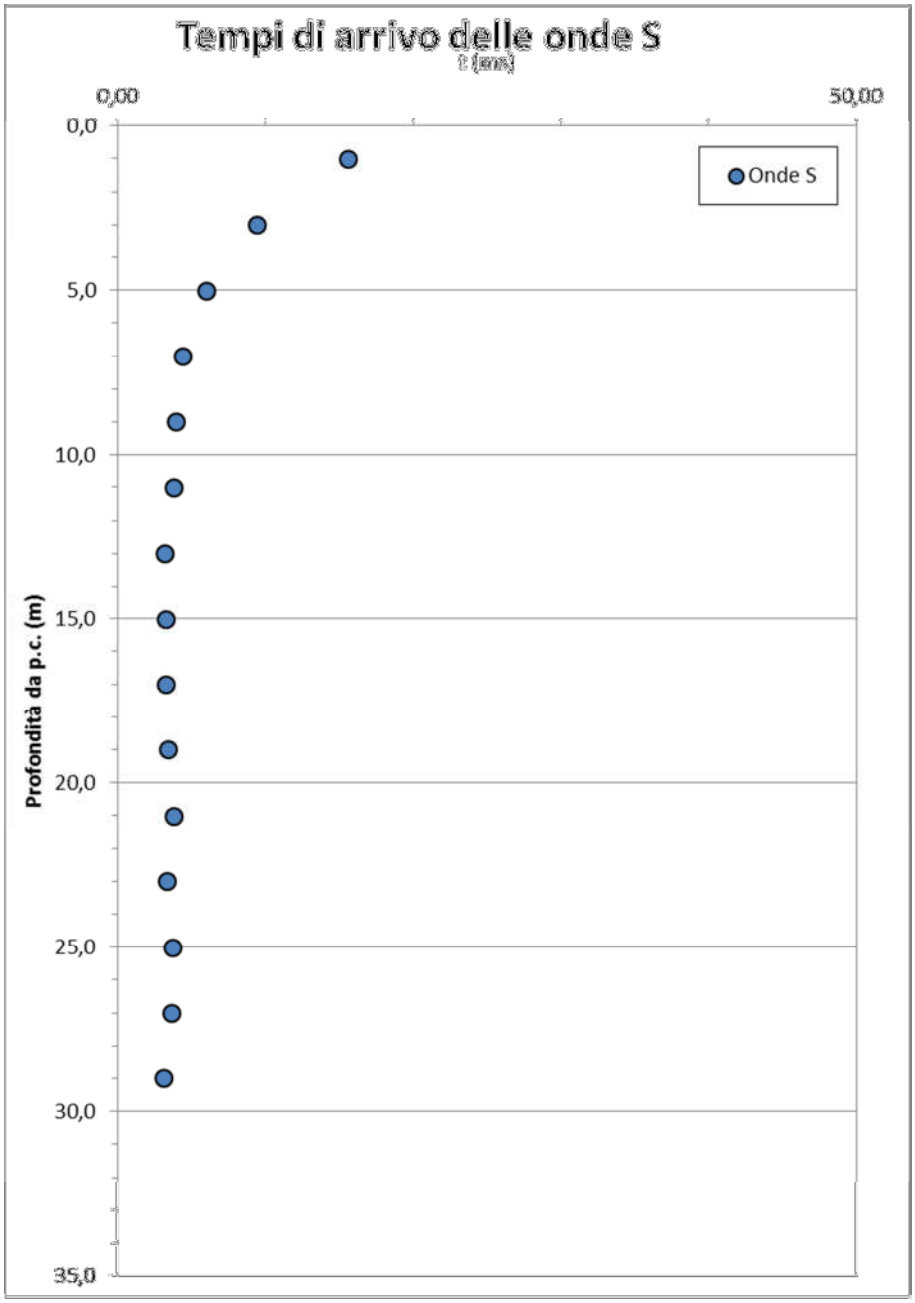


Figura 8.6: Tempi di arrivo delle onde S.

8.2.2 Profilo delle velocità delle onde P ed S

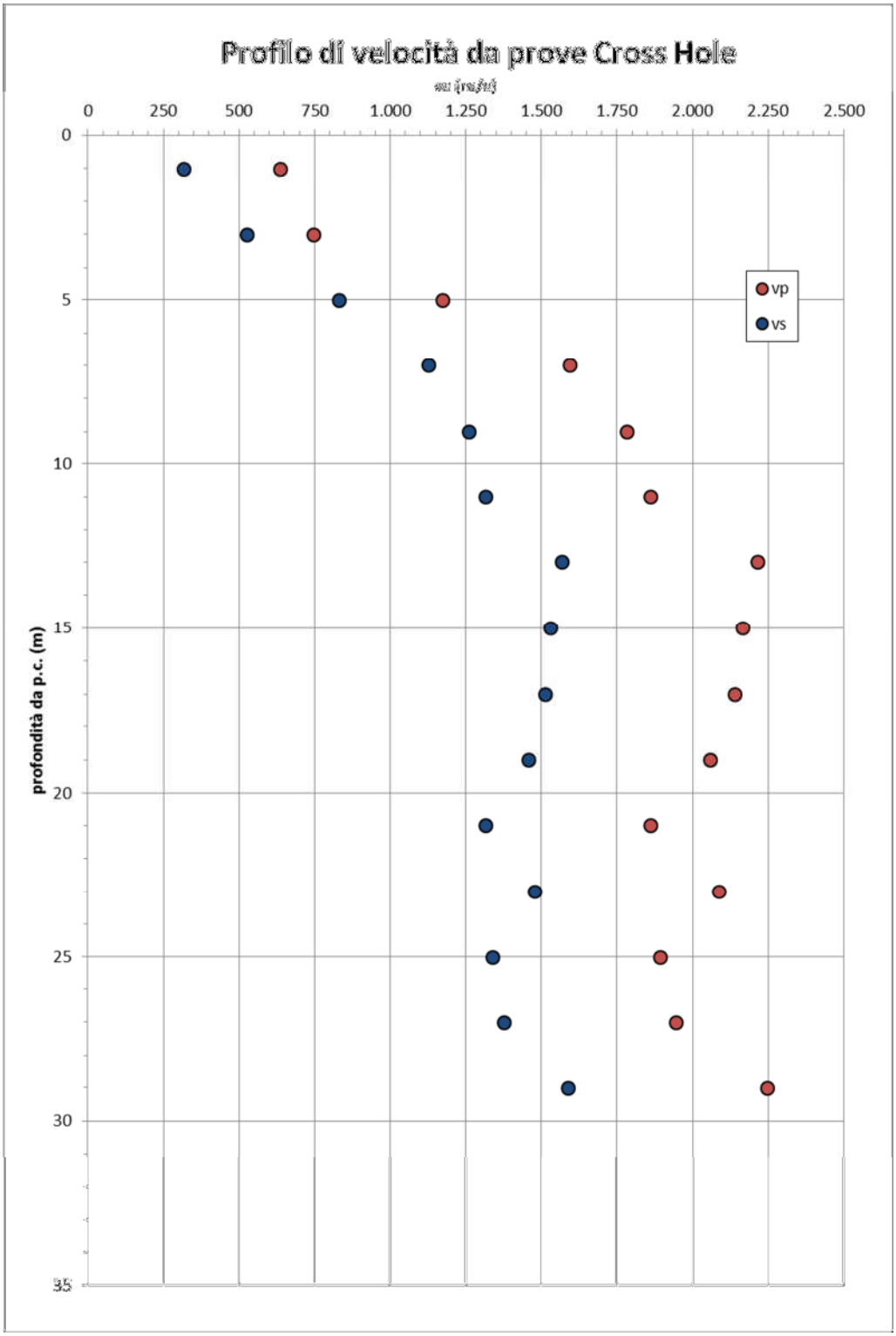


Figura 8.7: Profilo della velocità delle onde P ed S.

8.2.3 Profilo di porosità

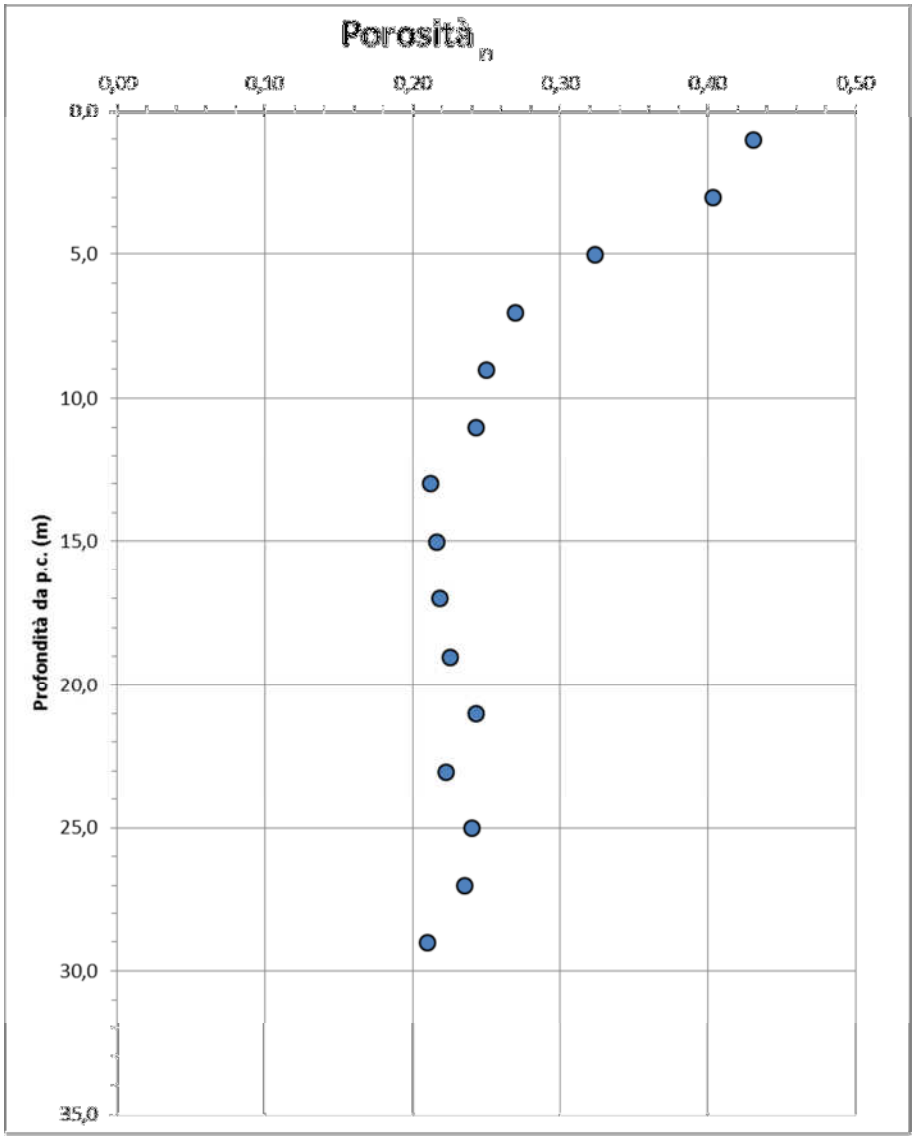


Figura 8.8: Profilo di porosità.

8.2.4 Profilo dell'indice dei vuoti

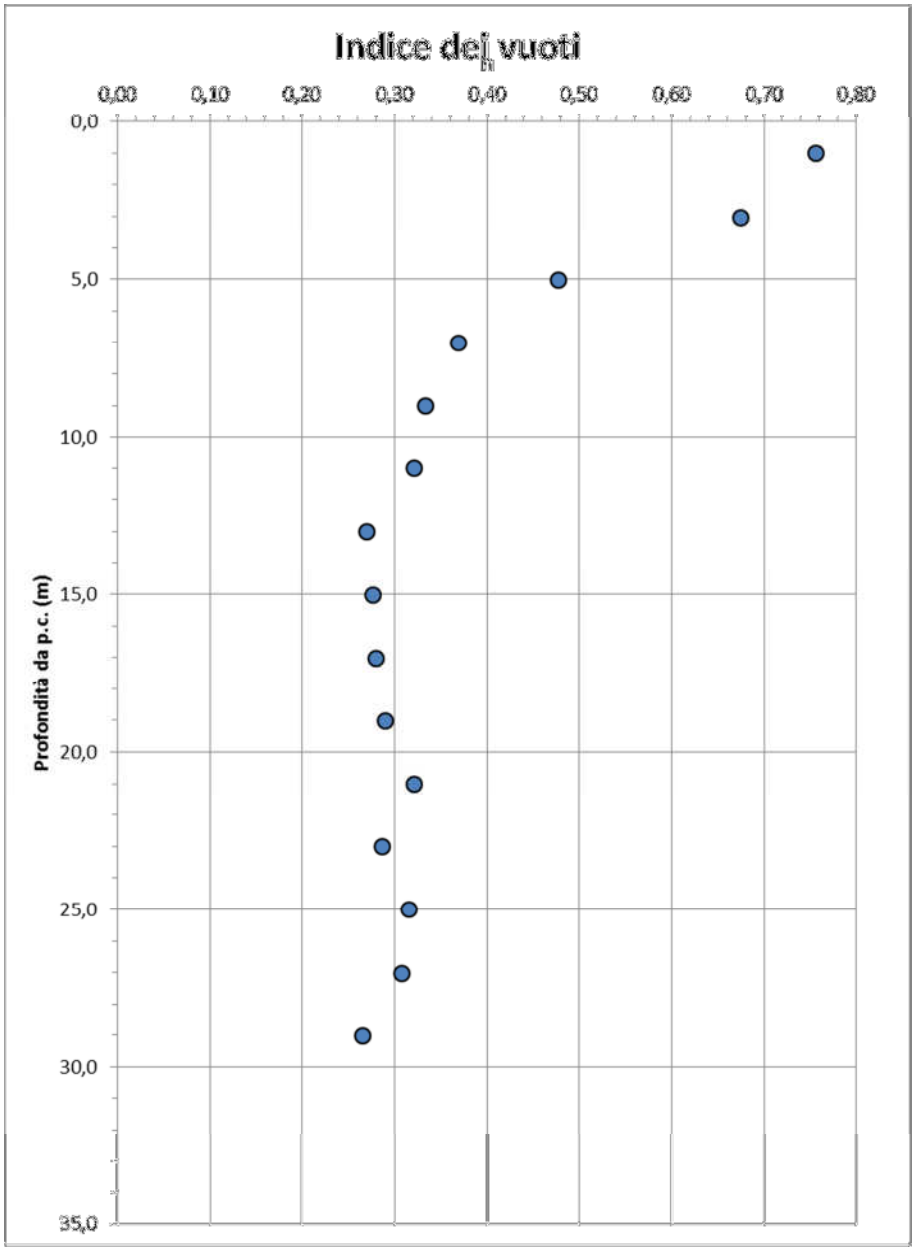


Figura 8.9: Profilo dell'indice dei vuoti.

8.2.5 Profilo del peso specifico

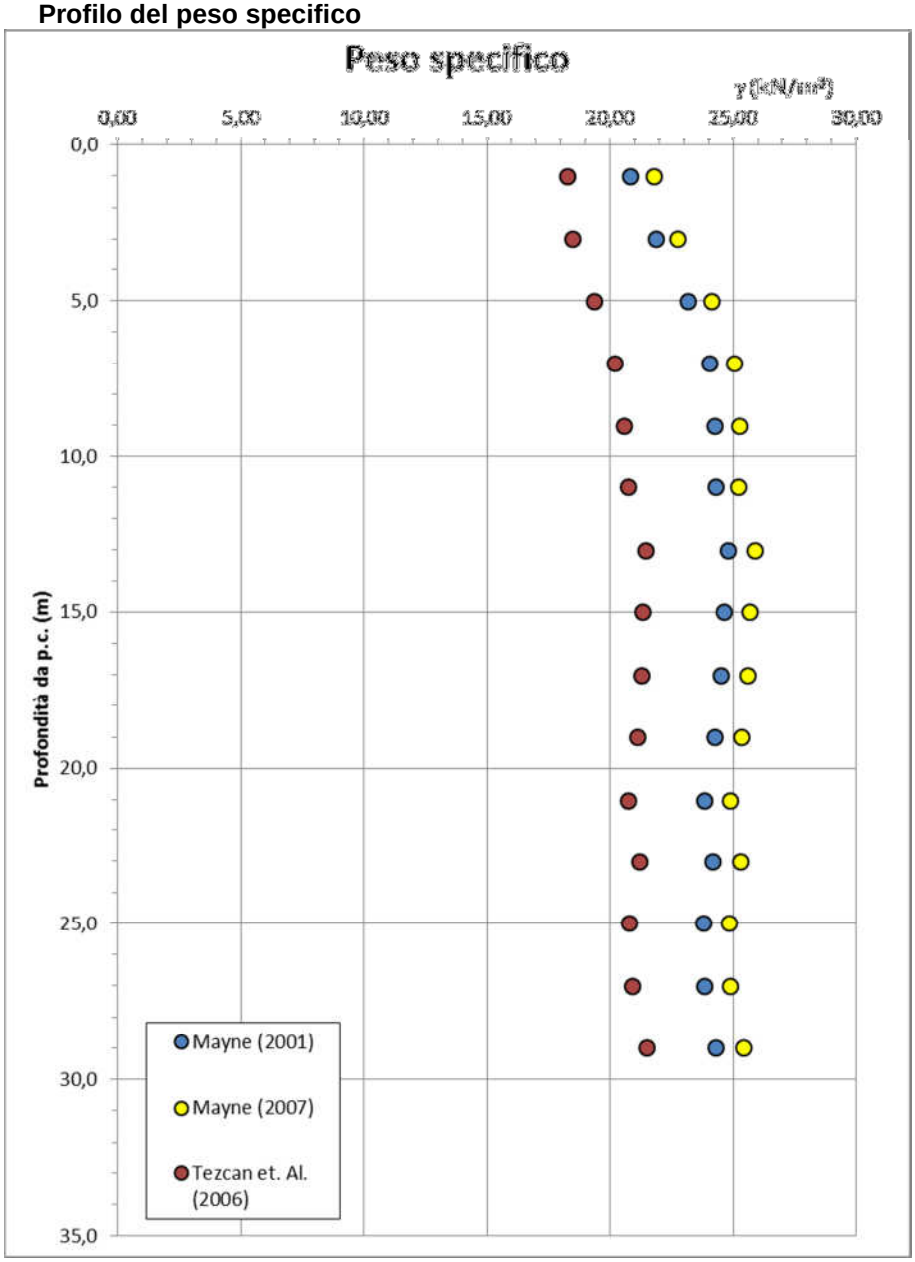


Figura 8.10: Profilo del peso specifico.

9 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO

Il presente paragrafo riporta i risultati delle prove di laboratorio discendenti dal recupero dei campioni rimaneggiati (terreni granulari) od indisturbati (terreni coesivi) effettuati nei sondaggi durante le varie campagne d'indagine geognostica eseguite ed i relativi certificati sono riportati in allegato.

Il predetto laboratorio risulta qualificato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore del Lavori Pubblici.

9.1 TERRENI GRANULARI

9.1.1 Cumulativo delle curve granulometriche

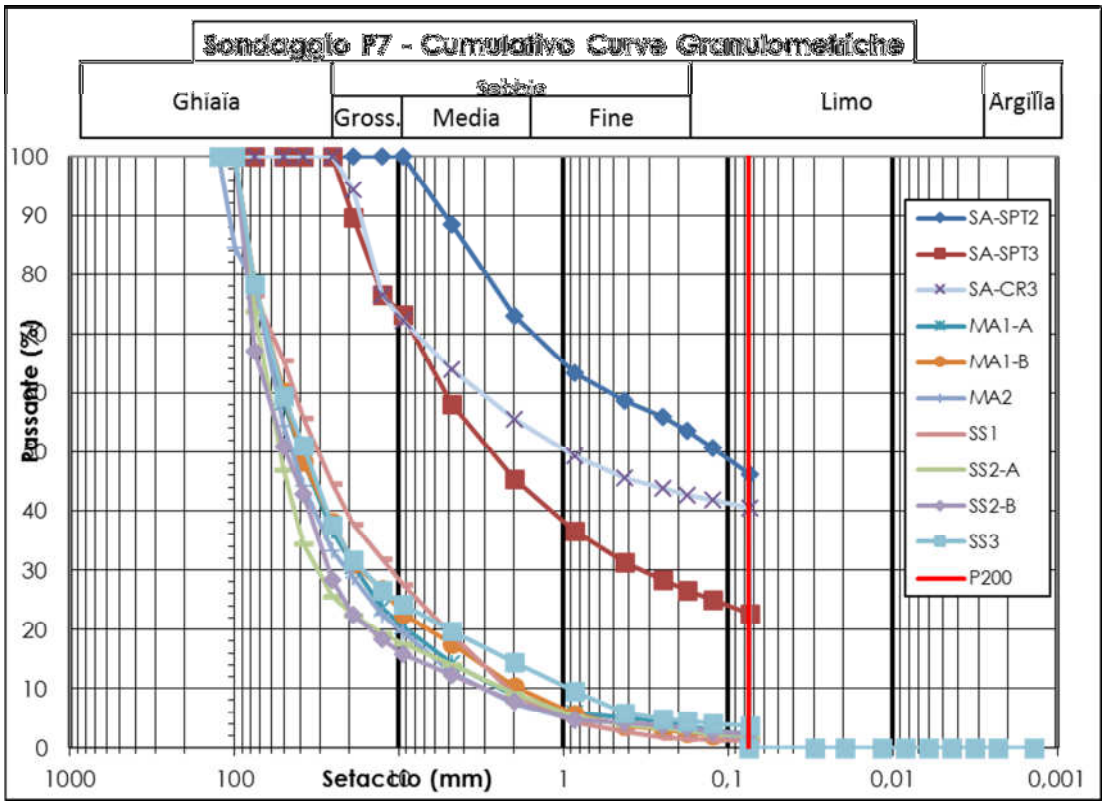


Figura 9.1: Cumulativo delle curve granulometriche.

9.1.2 Granulometria rappresentativa sondaggio SA

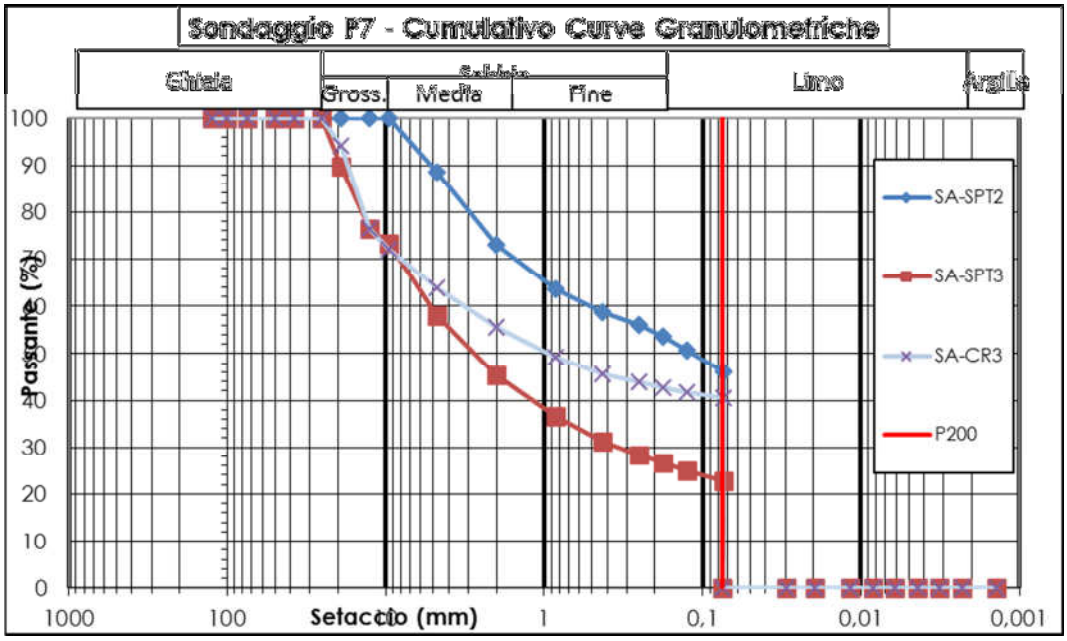


Figura 9.2: Fuso granulometrico rappresentativo per SA.

9.1.3 Granulometria rappresentativa per Torrente Magistrato

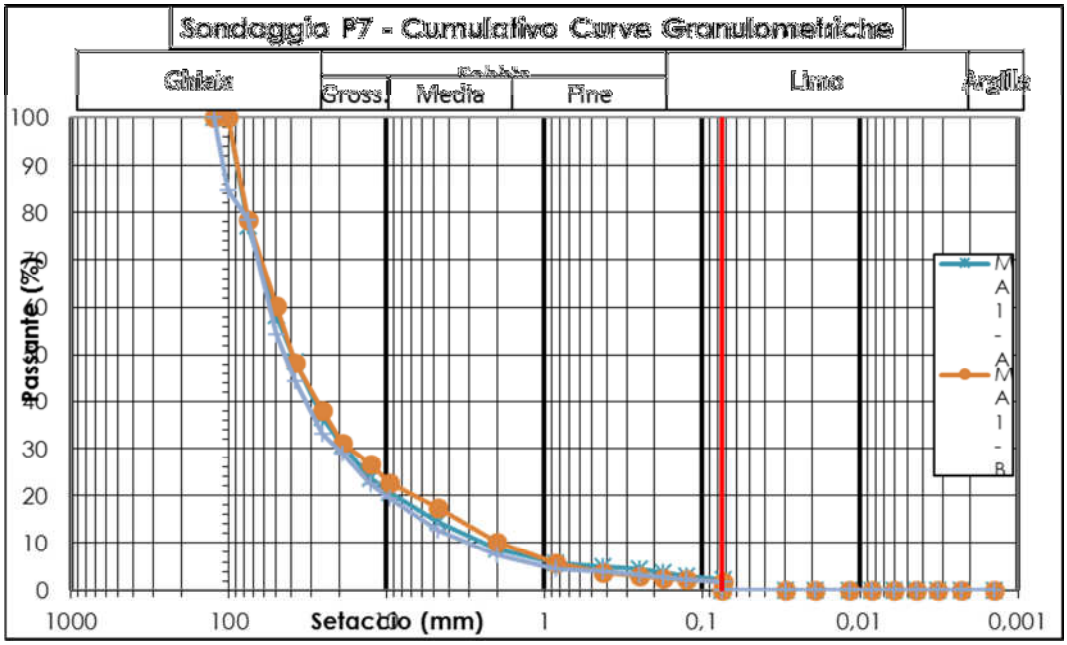


Figura 9.3: Fuso granulometrico dei sondaggi sul Torrente Magistrato.

9.1.4 Granulometria rappresentativa dei sondaggi sul Torrente San Siro

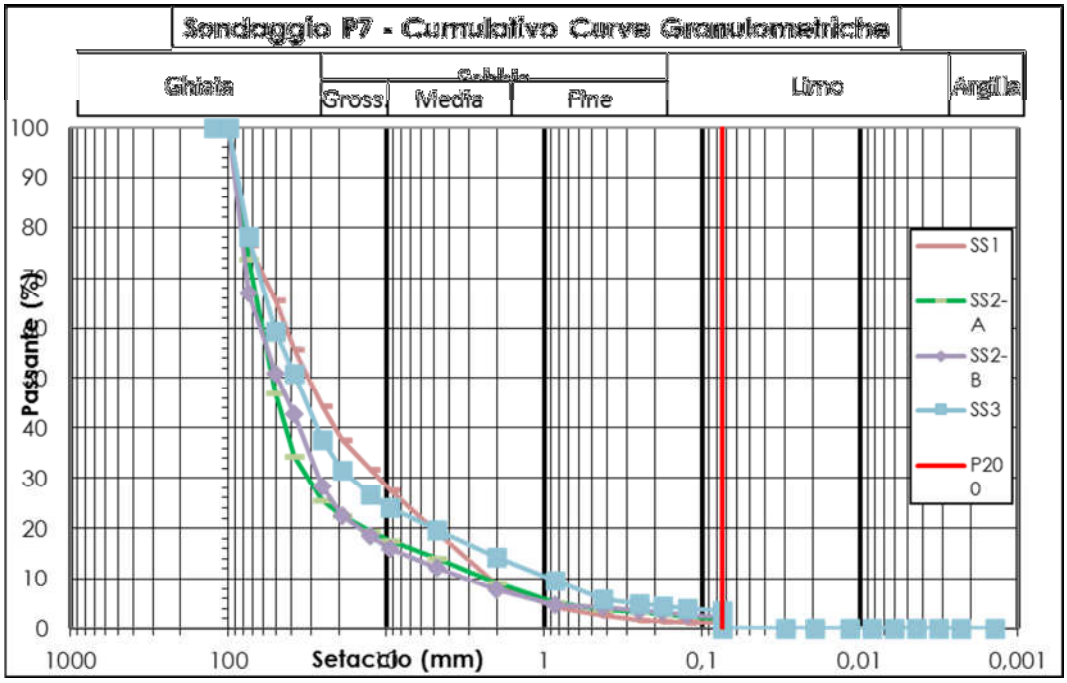


Figura 9.4: Fuso granulometrico dei sondaggi sul Torrente San Siro.

9.1.5 Distribuzione dei diametri rappresentativi

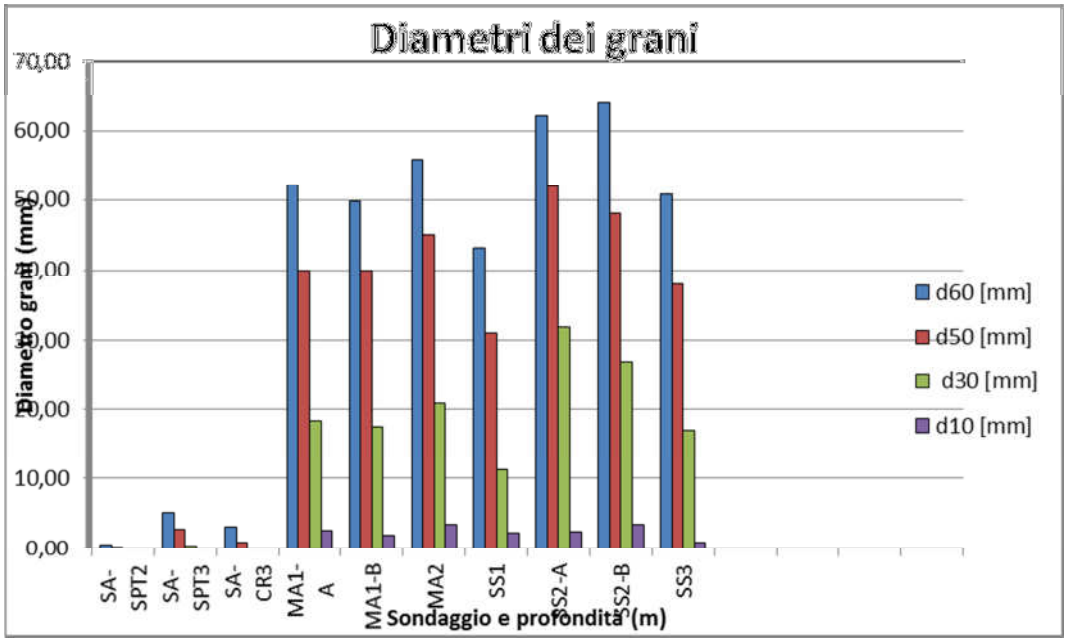


Figura 9.5: Diametri rappresentativi dei grani.

9.1.6 Diametri rappresentativi per il sondaggio SA

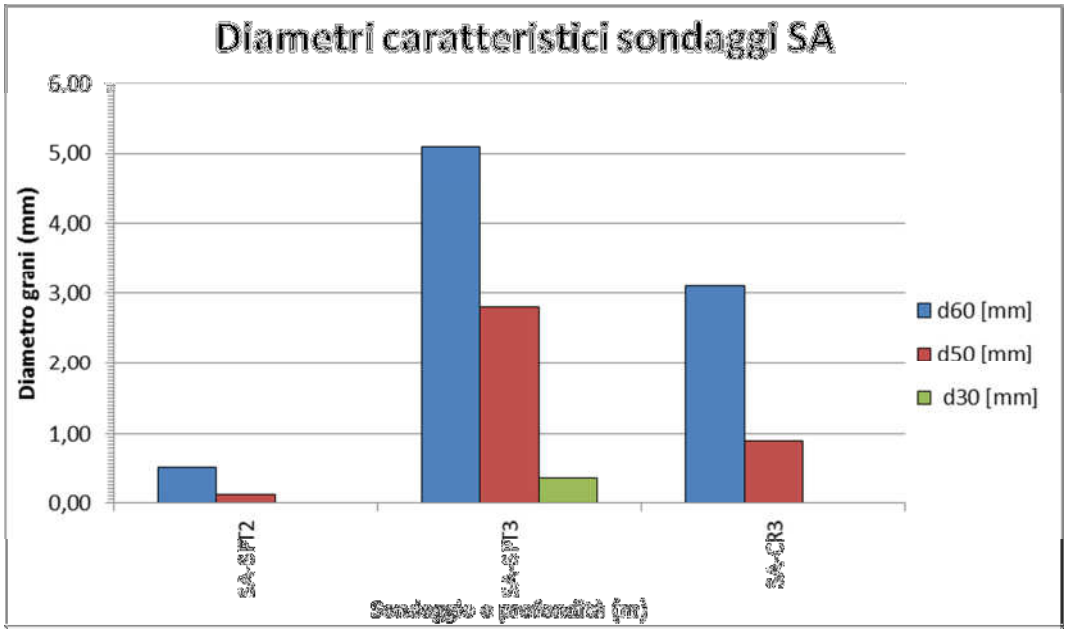


Figura 9.6: Diametri rappresentativi dei sondaggi SA.

9.1.7 Diametri ricavati dai sondaggi sul Torrente Magistrato

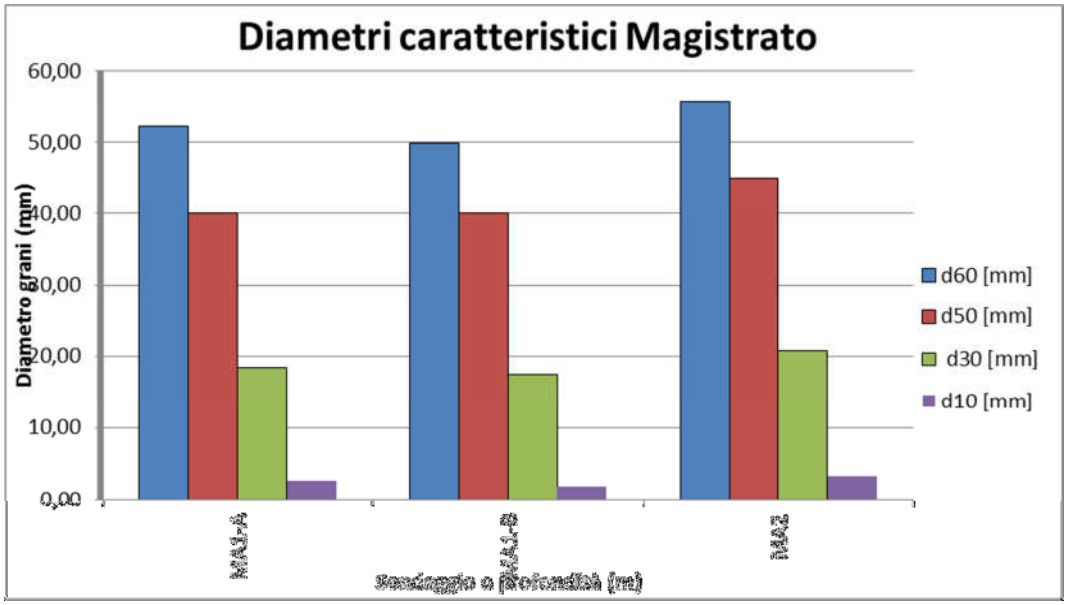
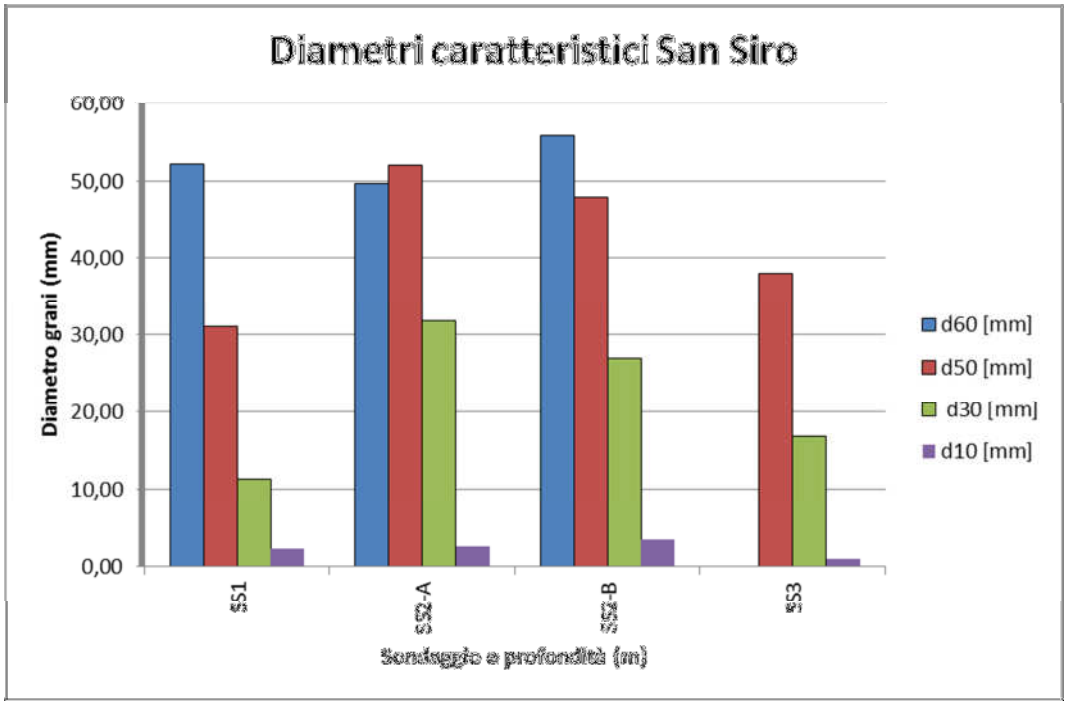


Figura 9.7: Diametri rappresentativi del Torrente Magistrato.

9.1.8 Diametri rappresentativi del Torrente San Siro



9.8: Diametri rappresentativi del Torrente San Siro.

APPENDICE A

STRATIGRAFIE SONDAGGI (2005)

APPENDICE B

RISULTATI PROVE DI LABORATORIO

APPENDICE C

CERTIFICATI GRANULOMETRICI DI LABORATORIO

APPENDICE D

RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI