

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

### TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

### GALLERIA NATURALE RACCORDO TECNICO NOVI LIGURE

### Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. E. Pagani	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 0	X	C V	R B	G N 0 0 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	05/05/2015	Rocksoil 	07/05/2015	A. Palomba 	08/05/2015	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:

File: IG5100XCVRBGN0000001A00

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 63</p>

## INDICE

INDICE.....	3
1.   PREMESSA.....	5
2.   DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO .....	7
2.1. Documentazione di riferimento.....	7
2.2. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento .....	7
3.   INQUADRAMENTO DELL'OPERA.....	9
3.1. Inquadramento geologico-geomorfologico .....	9
3.2. Condizioni geologiche e idrogeologiche attese in corrispondenza delle opere.....	15
4.   CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA ...	19
4.1. Note generali .....	19
4.2. Materiali a grana medio-fine (sabbie localmente ghiaiose in matrice limosa).....	19
4.2.1. Introduzione.....	19
4.2.2. Determinazione della densità relativa $D_r$ da prove SPT .....	20
4.2.3. Angolo di resistenza al taglio.....	22
4.2.4. Caratteristiche di deformabilità.....	22
4.3. Materiali a grana fine (limi e argille) saturi.....	25
4.3.1. Introduzione.....	25
4.3.2. Resistenza al taglio non drenata .....	26
4.3.3. Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci.....	26
4.3.4. Caratteristiche di deformabilità.....	26
5.   CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA .....	29
5.1. Introduzione .....	29
5.2. Argille di Lugagnano (aL).....	30
5.2.1. Note introduttive .....	30
5.2.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica .....	30
5.3. Formazione di Cassano Spinola (cC).....	49
5.3.1. Note introduttive .....	49
5.3.2. Caratterizzazione fisico-meccanica.....	49
5.4. Depositi fluviali medi (f12).....	51
5.4.1. Note generali .....	51
5.4.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica .....	51
5.5. Sintesi parametrizzazione geotecnica .....	61
6.   BIBLIOGRAFIA .....	62

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG5100XCVRBGN0000001A00

Foglio  
4 di 63

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00
	Foglio 5 di 63

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione geomeccanica/geotecnica delle formazioni geologiche attraversate dalle opere relative al Raccordo Tecnico di Novi Ligure tra la Linea AV/AC del Terzo Valico e la Linea storica Torino-Genova.

L'opera ricade all'interno delle successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) che a nord, verso la pianura alessandrina, sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti l.s. e "Villafranchiano" Auct.) e dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

Nel progetto del Raccordo Tecnico di Novi Ligure sono previste le seguenti opere strutturali sotterranee:

Camerone: pk 33+701.76÷34+041.76 BP

Pozzo di accesso: pk 33+995.26 BP

Galleria naturale: pk 0+337.00÷1+330.00 IP

Galleria artificiale: pk 1+330.00÷1+491.50 IP

Il camerone è costituito da una serie di quattro sezioni allargate innestate a "cannocchiale", di sviluppo totale pari a 340 m.

Per il camerone, realizzato mediante scavo in tradizionale, è previsto l'accesso tramite un pozzo circolare. Il pozzo verrà scavato tra diaframmi realizzati mediante idrofresa.

L'ubicazione del pozzo e la lunghezza dei vari tratti attribuiti alle diverse sezioni tipo sono state definite al fine di omogeneizzare le tempistiche di scavo di ogni tratto, in funzione della velocità di esecuzione delle diverse sezioni tipologiche, ma anche in funzione degli spazi disponibili in superficie.

In uscita dal camerone lato Milano verrà realizzato lo sdoppiamento delle canne: la galleria di linea proseguirà mediante scavo meccanizzato mentre lo sfiocco del Raccordo Tecnico è previsto in galleria naturale scavata in tradizionale. La galleria ha lunghezze pari a 993 m.

Dal lato Milano la galleria naturale avrà un imbocco realizzato tramite diaframmi di testata, che permetterà l'esecuzione degli scavi da due fronti per canna. A tal fine la galleria artificiale avrà due sezioni tipologiche, in particolare la sezione "standard" di larghezza interna 6.30 m ed una sezione "allargata" di larghezza interna 9.36m per permettere il posizionamento dei macchinari per l'esecuzione dei lavori per il concio d'attacco.

Nel tratto finale di entrambi i binari è prevista la realizzazione di un tratto in trincea tra diaframmi, mediante la realizzazione di strutture interne ad U fino al successivo tratto in trincea aperta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p>	<p>Foglio 6 di 63</p>

Il presente documento, dopo un sintetico inquadramento del contesto geologico, esamina gli elementi essenziali dell'attività di caratterizzazione geotecnica delle formazioni attraversate.

La relazione si articola come segue:

- il **capitolo 2** elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento.
- il **capitolo 3** propone l'inquadramento geologico e idrogeologico di sintesi riprendendo quanto descritto nella relazione geologica di progetto;
- il **capitolo 4** descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche,
- il **capitolo 5** riporta la caratterizzazione geotecnica / geomeccanica dei terreni e/o degli ammassi rocciosi presenti nell'area di intervento, quali risultano sia dagli studi di carattere geologico (cfr. profilo geologico), sia dall'interpretazione delle indagini e dei rilievi eseguiti, effettuata in base ai criteri descritti nel capitolo precedente, definendo infine la sintesi dei parametri geotecnici.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 7 di 63</span>

## 2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO

### 2.1. Documentazione di riferimento

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento a quanto elencato di seguito.

- Profilo geologico - geotecnico longitudinale
- Studi a carattere geologico, composti dai seguenti elaborati:
  - o Carta geologico-geomorfologica
  - o Carta idrogeologica
  - o Profilo geologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche eseguite durante la fase di Progetto Preliminare della galleria di linea.
- Indagini effettuate durante la fase di Progetto Definitivo.
- Indagini effettuate per la presente fase di Progetto Esecutivo.

### 2.2. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento

Per l'attività di caratterizzazione geotecnica-geomeccanica delle formazioni interagenti con l'opera e più in generale per l'analisi di tutti gli aspetti progettuali legati al contesto geologico-geomeccanico, sono state prese a riferimento le seguenti normative di legge e strumenti territoriali di riferimento:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 "Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative"
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 8 di 63</p>

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316. “Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03”.
- Variante al P.T.C. Bacini Padani” (VBP) redatto dalla Provincia di Genova.
- Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico PAI - (Autorità di Bacino del Fiume Po).
- "Indagine geologica per verifiche di compatibilità idraulica ed idrogeologica del P.A.I." - Comunità Montana Alta Val Lemme Alto Ovadese
- EN 1997 Eurocodice 7 “Geotechnical Design”
  - Part 1: General rules
  - Part 2: Standards for laboratory testing
  - Part 3: Standards for field testing.
- ASTM D1557 “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort”.
- CNR UNI 10009 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre”.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBG0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 63</span>

### 3. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

#### 3.1. Inquadramento geologico-geomorfologico

La galleria naturale del Raccordo Tecnico III Valico-Novì Ligure ricade all'interno delle successioni sedimentarie terrigene riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP) che a nord, verso la pianura alessandrina, sono sormontate dai depositi post-messiniani (Argille di Lugagnano/Argille Azzurre, Sabbie di Asti I.s. e "Villafranchiano" Auct.) e dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

In particolare attraversa le successioni sedimentarie riferibili alle seguenti unità:

- Conglomerati di Cassano Spinola (cC).
- Depositi post-messiniani: Argille di Lugagnano (Argille Azzurre, aL)

La descrizione delle formazioni è riportata nello specifico nella relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica, ed è relativa agli studi di dettaglio condotti in fase di Progetto Esecutivo, nelle aree oggetto d'intervento, implementati con informazioni provenienti dal Progetto Definitivo nonché dai dati presenti in letteratura.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported, con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane. Localmente è osservabile l'embriciatura dei ciottoli ed una stratificazione mal definita. Il contatto inferiore con i depositi pelitico-siltosi sottostanti risulta netto ed erosionale. Sulla base del modello proposto da Ghibaudo et al. (1985), questi depositi possono essere interpretati come depositi di delta-conoide distale.

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Si mostrano localmente bioturbate e contengono resti di bivalvi, gasteropodi, echinidi, pteropodi, associazioni a foraminiferi planctonici e bentonici ed abbondanti frustoli vegetali. Il contenuto fossilifero ed in generale la scarsa frazione carbonatica tendono a diminuire verso la parte alta della formazione

Localmente si rinvencono livelli di arenarie e micro-conglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

Nell'area oggetto di intervento, i depositi fluviali riferibili al bacino del Torrente Scrivia sono localizzati sia alla sommità dei rilievi collinari prospicienti le aree di pianura, sia in corrispondenza dell'ampio conoide del T. Scrivia, che si sviluppa all'incirca tra Serravalle Scrivia e Tortona.

I depositi fluviali del bacino del Torrente Scrivia sono costituiti da successioni che presentano una granulometria scarsamente differenziata, con netta prevalenza di elementi clastici grossolani, tuttavia sulla base delle caratteristiche litologiche, delle caratteristiche dei suoli cui sono associate e sulla base della posizione geometrica che essi occupano all'interno del bacino si sono potute distinguere in 3 unità principali:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBG0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 10 di 63</span>

- Depositi fluviali antichi (fl1)
- Depositi fluviali medi (fl2)
- Depositi fluviali recenti (fl3)

In particolare, i *depositi fluviali medi*, interessati dallo scavo della galleria in esame, sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia e che si estende da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia.

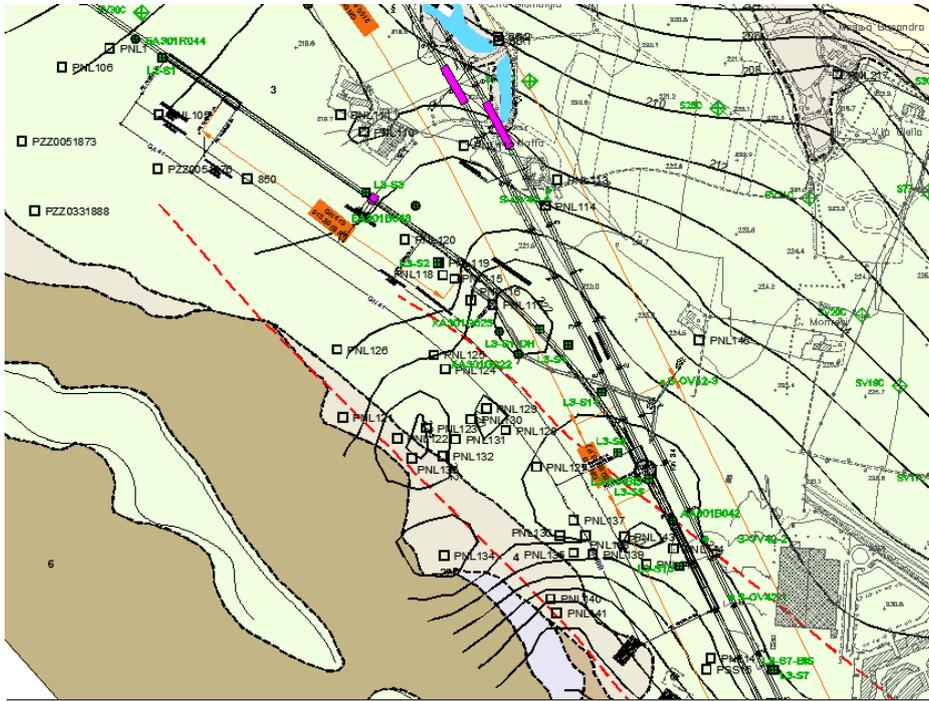


**Figura 3-1: Sondaggio XA301B111, dettaglio dell'unità fl2.**

Le osservazioni stratigrafiche derivano soprattutto dalle stratigrafie di sondaggio e in minima parte da osservazioni dirette. I depositi fluviali medi (fl2) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi.

La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato costituito dalle successioni post-messiniane (Argille di Lugagnano, aL; Sabbie d'Asti e successione Villafranchiana auct., vL). La superficie sommitale dei depositi coincide solo in parte con il top deposizionale essendo in generale sensibilmente rimodellata, soprattutto in corrispondenza dell'orlo del terrazzo che separa i depositi fluviali medi (fl2) da quelli recenti (fl3). I depositi fluviali medi (fl2) sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri, attualmente utilizzati come strato coltivo. Lo spessore complessivo dei depositi fluviali medi varia da 1-2 metri a 10-15 metri circa.

Per quanto riguarda ulteriori indicazioni di carattere geologico-geomorfologico e un inquadramento di dettaglio idrogeologico e dei sistemi di flusso si rimanda alla relativa Relazione (IG5100XCVROGE0000001). Vengono di seguito riportate le principali condizioni geologiche e idrogeologiche attese in corrispondenza del Raccordo Tecnico Novi Ligure.



LEGENDA CARTA IDROGEOLOGICA

N°	Complessi idrogeologici	Unità geologica	TIPO	CLASSI DI PERMEABILITÀ (m/s) in assenza di fenomeni carsici*						
				1	2	3	4	5	6	
1	Depositi fluviali attuali (a)	SUCCESIONI SEDIMENTARIE PLEISTOCENICO-RECENTI	P	←						
2	Depositi fluviali recenti (fp1, f3, f3a, f3b)		P		←	←	←			
3	Depositi alluvionali medi (f2) e antichi (f1)		P		←	←	←			
4	Coltre colluviale - detritico colluviale (c), detrito di falda (d), accumulo di frana (dF)		P		←	←	←			
5	Villafranchiano Auct. e sabbie d'Asti (vL)		P		←	←	←			
6	Argille di Lugagnano (jL), Mame di S. Agata Fossili (mA1)	F					←	←	←	
7	Formazione di Cassano Spinola (cC)	P/F					←	←	←	
8	Membro di Riomaggiore (Gruppo della Oessoso Soffleria) (gS)	F					←	←	←	
9	Mame di S. Agata Fossili (mA2), Mame di Cessole (mC e mC1)	P/F					←	←	←	
10	Arenarie di Serravalle (aS), Formazione di Costa Azeusa (C, fCa); Formazione di Costa Montada (uMb), Formazione di Rigoroso - Itofacies siltose con stati arenosi (oR)	F					←	←	←	
11	Formazione di Rigoroso - Itofacies massosa (mR), Formazione di Molare - Itofacies siltoso-pellica (FMa), Formazione di Costa Montada (uMa, uMc)	F					←	←	←	
12	Formazione di Molare - rudifica a clasti calcarei dominanti (FMc)	F					←	←	←	
13	Formazione di Molare - Itofacies rudifica (FMp), Formazione di Molare - Itofacies brecciosa (FMbc), Formazione di Molare - Itofacies arenacea (FMa), Breccie della Costa di Cravara (cR)	F					←	←	←	
14	Formazione del Monte Antola (An)	F					←	←	←	
15	Argille a Palombi del Passo Della Bocchetta (aP), Metasedimenti silicei (dM, d'1), Scisti Filadici del Monte Larvego (f), Argilloscisti neri (Mn), Argille di Mignonego (Mg), Argille di Ronco_Argille di Montanero (ro, mo), rocce associate a piani di taglio duttile (mT)	F					←	←	←	
16	Metacalcari di Erzevi (eE), Calcari di Voltogno (cV), Calcari di Gallaneto (cG), Calcari di Lencisa (eN)	F					←	←	←	
17	Metabazalti del Monte Fognora (f), Metabazalti di Cravasco (b), Metagabbri (mG), Metagabbri del Monte Crescione (mB)	F					←	←	←	
18	Serpentini e serpentinoscisti (Se', Se"), Metafoidoliti (of, of')	F					←	←	←	
19	Dolomie del Monte Gazzo (dG)	F					←	←	←	
20	Gessi, Anidriti e Camiole (gc)	F					←	←	←	

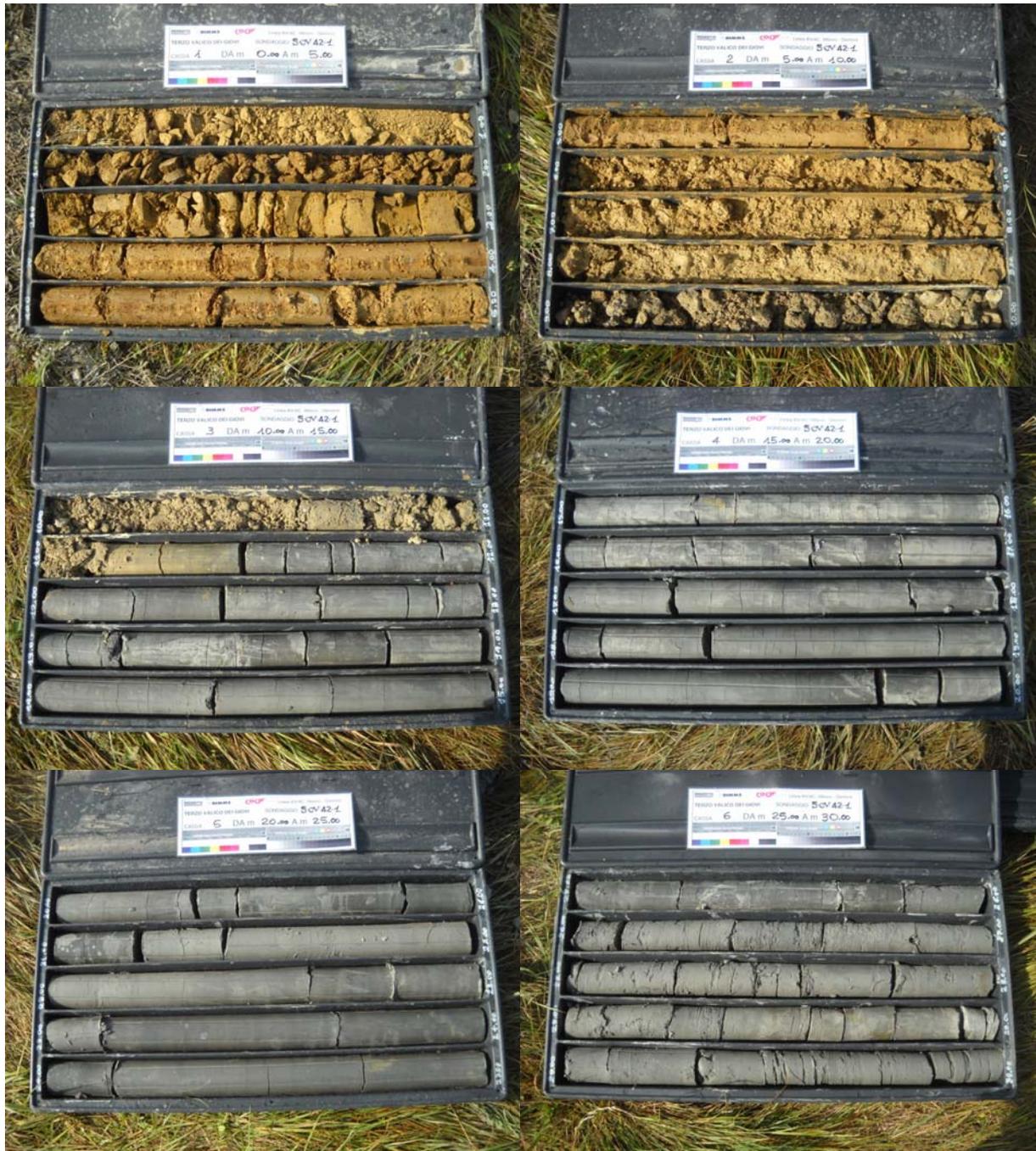


Figura 3-2. Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità fl2 e aL.

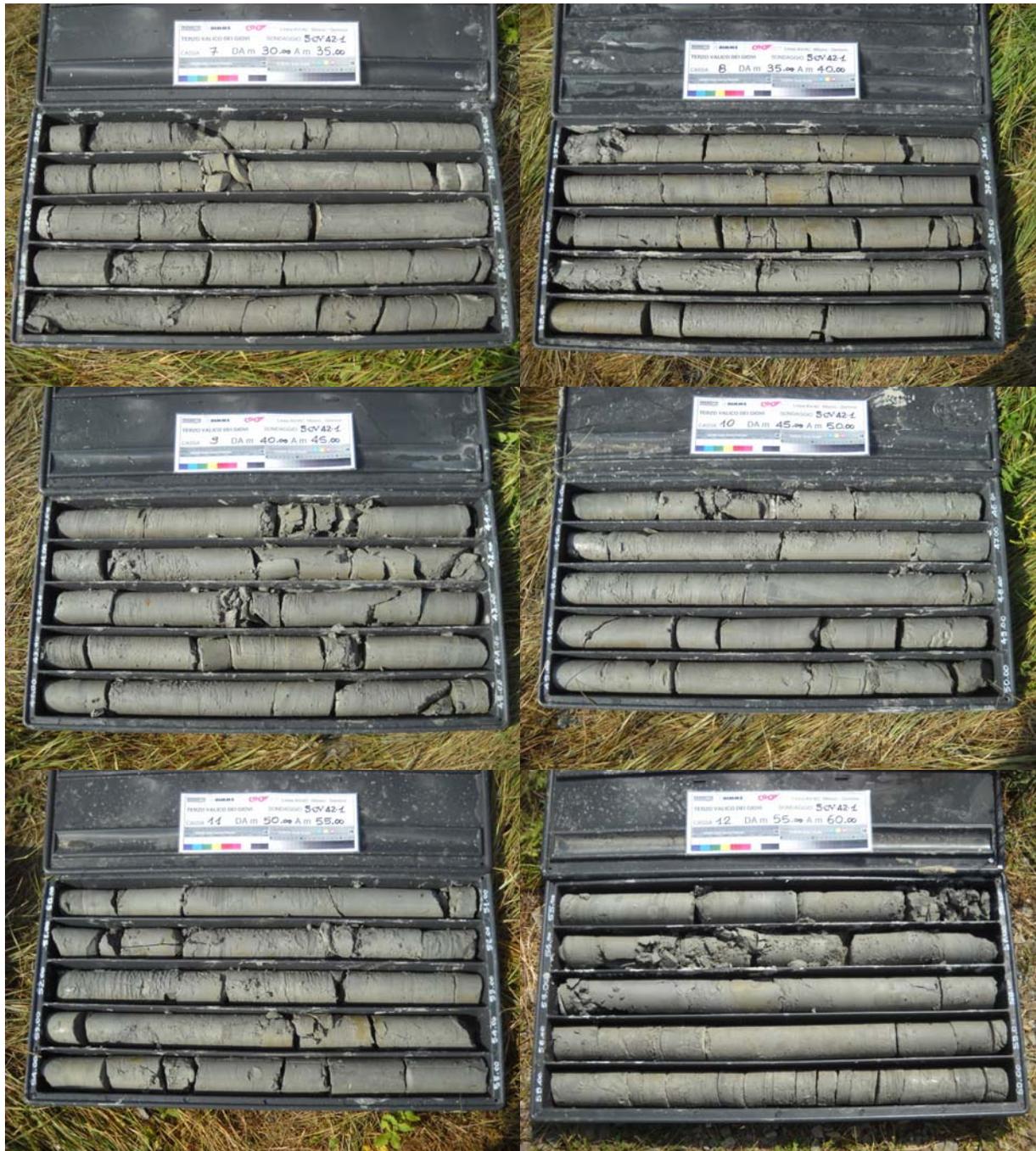


Figura 3-3. Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità aL.



Figura 3-4:. Sondaggio S0V42-4, dettaglio dell'unità f12 e aL.



Figura 3-5:. Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità aL.

### 3.2. Condizioni geologiche e idrogeologiche attese in corrispondenza delle opere

Di seguito viene presentata in maniera schematica una breve descrizione dell'assetto geologico e idrogeologico atteso per tratte omogenee lungo il tracciato del Raccordo Tecnico Novi Ligure.

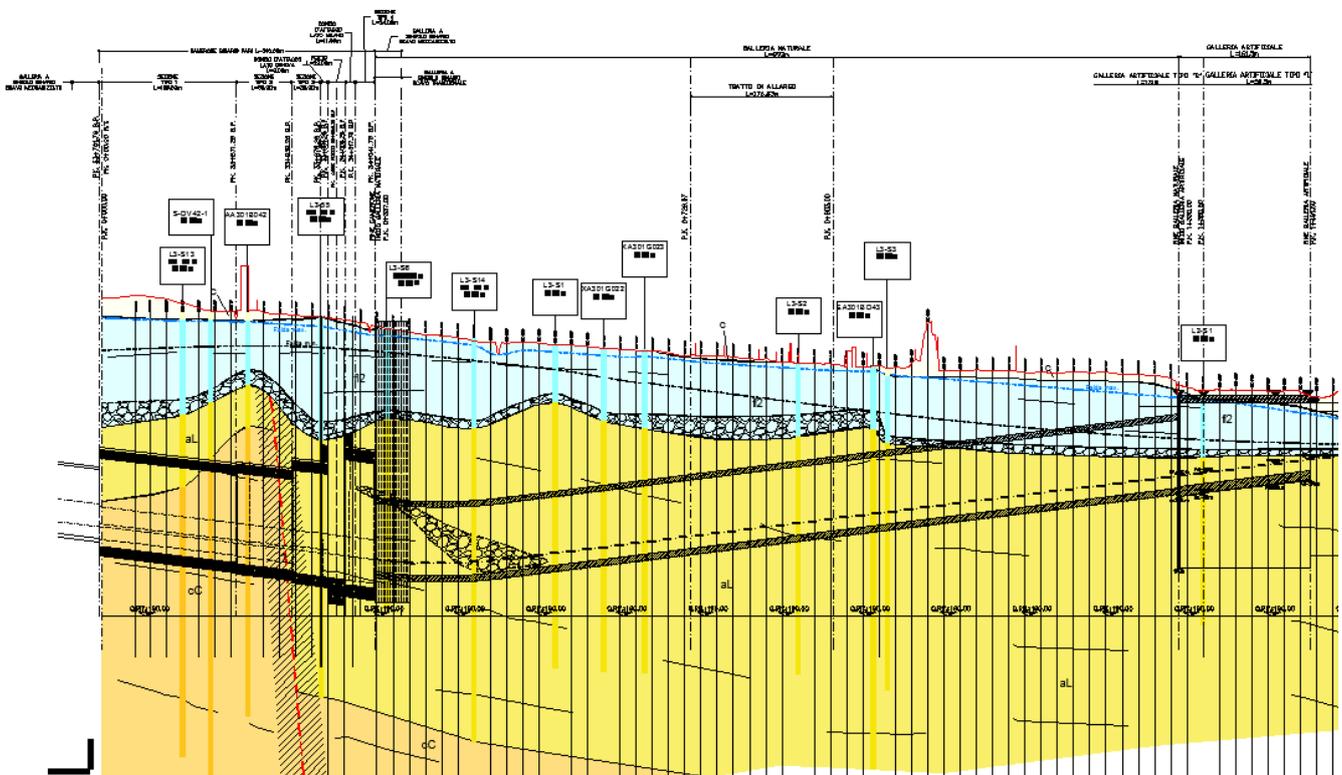


Figura 3-6. Stralcio del profilo geologico del Raccordo Tecnico Novi Ligure

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Censorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 16 di 63</p>

## LEGENDA

### UNITÀ DI COPERTURA NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI PERTINENZA

#### COLTRE COLLUVIALE E DETRITICO-COLLUVIALE

**c** Depositi massivi-eterogenei, con spessore superiore a 2-3 m, a supporto di matrice, costituiti da silt e silt sabbiosi con subordinate percentuali di clasti di taglia centimetrico-decimetrica. Localmente sono presenti livelli con struttura a supporto di clasti (oltre detritico-colluviale).

### UNITÀ PLEISTOCENICO-OLOCENICHE DISTINTE IN BASE AL BACINO DI PERTINENZA

#### Bacino del T. Scrivia

##### DEPOSITI FLUVIALI RECENTI (Pleistocene superiore?-Olocene)

##### DEPOSITI FLUVIALI MEDI (Pleistocene medio-superiore?)

**f2** Ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi. I depositi fluviali medi (f2) sono ricoperti da suoli che presentano un grado di evoluzione medio-basso con potenza media variabile da 0,5 a 2 metri.

### SUCCESSIONI POST-MESSINIANE

#### VILLAFRANCHIANO *auct.* e SABBIE D'ASTI (Pleistocene inf.)

#### ARGILLE DI LUGAGNANO (Zancleano)

**aL** Marne e mame calcaree di colore beige o grigio-azzurro passanti verso l'alto a marne siltoso-argillose.

### SUCCESSIONI SEDIMENTARIE DEL BACINO TERZIARIO PIEMONTESE (Rupeliano-Messiniano)

#### FORMAZIONE DI CASSANO SPINOLA (Messiniano)

**cC** Alternanze arenaceo-pelittiche e subordinati corpi conglomeratici a geometria lenticolare.

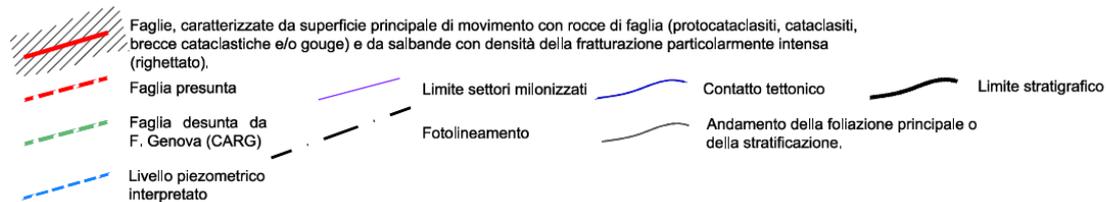


Tabella 3-1. Legenda profilo geologico

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBG0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 17 di 63</span>

pk BP		descrizione
da	a	
0+000	0+220 c.a.	<p>In questa tratta è previsto un assetto geologico misto, con le Argille Azzurre (aL) che occupano la parte superiore della sezione di scavo e la Formazione di Cassano Spinola (cC) nella parte inferiore. La presenza di un fronte di scavo misto non dovrebbe dare luogo a un comportamento geomeccanico significativamente differente poiché i due litotipi sono tra loro molto simili.</p> <p>Non sono previste discontinuità strutturali significative, che peraltro all'interno delle successioni argillose e argilloso-siltose non avrebbero probabilmente un ruolo idrogeologico molto marcato.</p> <p>Dal punto di vista del comportamento geomeccanico è prevedibile che lo sviluppo della zona plastica al contorno dello scavo possa estendersi fino a raggiungere l'interfaccia substrato/depositi fluviali (fl2). Questi depositi (Fluviale Medio, fl2) non contribuiscono efficacemente al sostegno dello scavo, trattandosi per lo più di materiale sciolto, consolidato e solo localmente cementato il cui carico litostatico andrà a gravare passivamente sulla volta impostata nel substrato prequaternario. Questo potrebbe indurre deformazioni e subsidenze a livello della superficie.</p>
0+220	-	<p>Probabile presenza di una discontinuità strutturale significativa (zona di faglia) con rigetto di 20-25 m circa, suggerito da un marcato approfondimento del limite aL/cC nei sondaggi. La faglia, essendo sviluppata all'interno di successioni argillose e argilloso-siltose, non dovrebbe avere una rilevanza significativa dal un punto di vista idrogeologico, la permeabilità lungo la zona di deformazione non dovrebbe essere significativamente più alta rispetto a quella dei litotipi non deformati.</p>
0+220	1+1040 c.a.	<p>In questa tratta è previsto l'attraversamento da parte dell'opera delle Argille Azzurre. Non sono previste discontinuità strutturali significative, che peraltro all'interno delle successioni argillose e argilloso-siltose non avrebbero probabilmente un ruolo idrogeologico molto marcato.</p> <p>Dal punto di vista del comportamento geomeccanico è prevedibile che lo sviluppo della zona plastica al contorno dello scavo possa estendersi fino a raggiungere l'interfaccia substrato/depositi fluviali (fl2). Questi depositi (Fluviale medio, fl2) non contribuiscono efficacemente al sostegno dello scavo, trattandosi per lo più di materiale sciolto, consolidato e solo localmente cementato il cui carico litostatico andrà a gravare passivamente sulla volta impostata nel substrato prequaternario. Questo potrà indurre deformazioni e subsidenze a livello della superficie.</p> <p>Dal punto di vista idrogeologico le argille sono quasi del tutto impermeabili o con permeabilità molto bassa; non si dovrebbero quindi incontrare venute d'acqua provenienti direttamente dal substrato, mentre è probabile che una certa quantità di acqua filtri verso lo scavo dalle soprastanti alluvioni fl2, a causa delle deformazioni indotte nelle argille dallo scavo stesso.</p>
1+1040	Fine	<p>In questa tratta è prevista la presenza di una sezione di scavo mista, con le Argille</p>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 18 di 63</p>

	<p>Opera</p>	<p>Azzurre (aL) che andranno a occupare la porzione inferiore della sezione e i depositi alluvionali riferibili al terrazzo fluviale del T. Scrivia (Fluviale Medio, fl2) nella parte alta della sezione. A progressive crescenti i depositi alluvionali andranno via via ad occupare l'intera sezione di scavo.</p> <p>Il passaggio stratigrafico tra le Argille Azzurre e i depositi alluvionali è caratterizzato da una superficie erosionale piana, con possibili locali ondulazioni (paleoalvei sepolti).</p> <p>Non sono previste discontinuità strutturali significative, che peraltro all'interno delle argille non avrebbero probabilmente un ruolo idrogeologico molto marcato.</p> <p>I depositi alluvionali hanno, in questo settore, uno spessore abbastanza costante di 8-10 m e ospitano una falda freatica con superficie ubicata tra 2 e 6 m dal p.c. Sono quindi prevedibili venute d'acqua dai depositi alluvionali saturi.</p> <p>Lo strato di alluvioni non contribuisce efficacemente al sostegno dello scavo, trattandosi per lo più di depositi sciolti, solo localmente cementati.</p> <p>Dal punto di vista del comportamento geotecnico/ geomeccanico, sono prevedibili deformazioni e subsidenze a livello della superficie, anche indotte da sovrascavo nei depositi sciolti.</p>
--	--------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 19 di 63</p>

## 4. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA

### 4.1. Note generali

A livello generale, dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica, si distinguono due tipologie di materiale:

- materiali a grana medio-fine (sabbie localmente ghiaiose in matrice limosa);
- materiali a grana fine (limi e argille in matrice sabbiosa);

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- delle prove di laboratorio sui campioni di terreno e sulle carote di roccia.

Nei paragrafi che seguono sono pertanto illustrati nell'ordine :

- i criteri per la caratterizzazione dei materiali a grana medio-fine(sabbie localmente ghiaiose in matrice limosa);
- i criteri per la caratterizzazione dei materiali a grana fine (limi e argille in matrice sabbiosa)

### 4.2. Materiali a grana medio-fine (sabbie localmente ghiaiose in matrice limosa)

#### 4.2.1. Introduzione

In questa sede si intendono a grana medio-fine quei materiali caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a  $\cong 40\%$ .

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito (mediante correlazioni empiriche) e delle prove di classificazione di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

L'interpretazione delle prove in sito e di classificazione di laboratorio è finalizzata a determinare principalmente le seguenti quantità:

- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

Si rileva che le correlazioni empiriche riportate nei paragrafi seguenti sono rigorosamente applicabili ove è ragionevole ritenere che le prove interpretate siano avvenute in condizioni drenate, ovvero nei seguenti casi:

- Terreni sopra falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a  $\cong$  50%.
- Terreni sotto falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a  $\cong$  35÷40%.

#### 4.2.2. Determinazione della densità relativa $D_r$ da prove SPT

##### In sabbia

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la densità relativa  $D_r$  può essere correlata al valore NSPT con la seguente legge:

$$D_r = \left( \frac{1}{A + B \cdot \sigma_{vo}'} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

- A, B = costanti empiriche  
 $\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione  
 $(K_o)_{nc}$  = 0,5 = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati  
 $(K_o)_{sc}$  = 0,5·(GSC)<sup>0.5</sup> = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati  
 GSC = grado di sovraconsolidazione  
 $D_r$  = densità relativa

Tipo di materiale	A	B
Sabbie fini normalmente consolidate	27,5	27,5
Sabbie grosse normalmente consolidate	43,3	21,7
Sabbie sovraconsolidate	27,5÷43,3	$(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$

Tabella 4-1 Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

In questa sede, ove non specificato espressamente, si assumeranno valori di A e B corrispondenti alle sabbie medie.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00
	Foglio 21 di 63

O ancora secondo la seguente correlazione:

- $Dr(\%) = 21radq(N_{spt}/(s+0.7))$  - Formula di Gibbs e Holtz, valida per terreni prevalentemente sabbiosi.

### **In sabbie e ghiaie**

Nelle sabbie e ghiaie la determinazione della densità relativa  $D_r$  risulta meno agevole che nelle sabbie per i seguenti ordini di problemi:

Per motivi esecutivi il campionatore standard a punta aperta deve essere spesso sostituito con quello a punta conica; in linea di principio non è detto che i risultati ottenibili con il campionatore standard a punta aperta in termini di numero di colpi/30 cm risultino uguali a quelli conseguiti con la punta conica e quindi possano essere interpretati direttamente con le correlazioni empiriche di letteratura sviluppate per la prova SPT con campionatore standard a punta aperta.

Causa la presenza della ghiaia spesso vengono raggiunte condizioni di rifiuto che non necessariamente sono indice di elevati gradi di addensamento.

Per il superamento delle difficoltà in questa sede si opererà come segue:

Ove possibile, nell'ambito della stessa formazione sabbioso-ghiaiosa, verrà fatto un confronto tra i risultati delle prove SPT eseguite con il campionatore standard a punta aperta e quelle eseguite con la punta conica; in base a tale confronto si valuterà la possibilità di trasformare i risultati ottenuti con la punta conica in valori  $N_{SPT}$  equivalenti con il campionatore standard.

Ove tale confronto non sia possibile, i valori  $N_{SPT}$  misurati con la punta conica verranno equiparati ai valori  $N_{SPT}$  ottenibili con il campionatore standard.

Nel caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione geotecnica del dato sperimentale verrà effettuata facendo riferimento ad un valore  $N_{SPT}$  calcolato come segue:

- $N_{SPT} = 100$  - se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel primo tratto di 15 cm o nel secondo tratto di 15 cm
- $N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{a} \cdot 15 \leq 100$  se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel terzo tratto di 15 cm essendo (a) l'affondamento misurato (in centimetri) per un numero di colpi pari a 50.

Verranno inoltre scartati i valori (troppo bassi o troppo alti) che si scostano decisamente dalla linea di tendenza caratteristica.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5100XCVRBGN0000001A00	Foglio 22 di 63

#### 4.2.3. Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco  $\varphi'$  verrà determinato facendo riferimento ai seguenti approcci alternativi:

- correlazione di Schmertmann e Gibbs & Holts, 1957
- correlazione Peck Hansen et al., 1974

#### 4.2.4. Caratteristiche di deformabilità

##### **Moduli elastici iniziali**

I moduli iniziali di taglio ( $G_{01}$ ) e di Young ( $E_{01}$ ), corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie  $p_o'$ , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{01} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

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

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in  $\text{kN/m}_3$

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio in  $\text{m/sec}$ .

La velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  può essere ricavata direttamente da prove geofisiche "down hole" e "cross hole" o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT.

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

$$G_o = G_{01} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \quad (\text{kPa})$$

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

### **G<sub>0</sub> da prove SPT**

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, 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:

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

essendo:

C = 67,3

z = profondità dal p.c. in metri

f<sub>A</sub> = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

f<sub>G</sub> = coefficiente funzione della composizione granulometrica

f <sub>A</sub>	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 4-2: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>A</sub> (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f <sub>G</sub>	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Tabella 4-3 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f<sub>G</sub> (funzione della composizione granulometrica del deposito)

### **Moduli elastici "operativi"**

Il comportamento dei terreni a grana grossa risulta non lineare; i moduli di deformazione risultano infatti funzione sia delle pressioni efficaci medie correnti p' sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono:

- I moduli elastici iniziali
- Curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione indotto. Tipiche curve di degrado del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione γ indotto, tratte

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 24 di 63</span>

da Lo Presti (1989). In alternativa alle curve di degrado possono essere adottate le seguenti espressioni (Fahey, 1992 e Fahey & Carter, 1993):

$$\frac{E'}{E_o} = \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \left(\frac{\gamma}{\lambda_r}\right)}$$

$$\frac{E'}{E_o} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\tau}{\tau_{\max}}$$

o meglio (Byrne et al, 1990):

$$\frac{E'}{E_o} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta\tau_{\max}}$$

essendo:

$\gamma$  = deformazione di taglio corrente

$$\gamma_r = \frac{\tau_{\max}}{G_o}$$

$\tau_{\max}$  = tensione di taglio limite

$\tau$  = tensione di taglio corrente

$G_o$  = modulo di taglio iniziale

$\Delta\tau$  = variazione della tensione di taglio

$\Delta\tau_{\max}$  = variazione massima della tensione di taglio

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, per la stima dei moduli "operativi" da associare allo specifico problema al contorno verranno fatte le seguenti assunzioni "convenzionali":

- Nell'analisi di fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie (tirantate e non) i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  sono pari a circa  $(1/3 \div 1/5) \cdot E_o$ ; il problema è infatti complessivamente di scarico; inoltre i coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità imposti dalla normativa vigente sono tali per cui normalmente le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di  $1 \times 10^{-3} \div 5 \times 10^{-3}$ .
- Nell'analisi di fondazioni profonde e dirette i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  sono pari a circa  $1/5 \cdot E_o$ , ciò in considerazione del fatto che:
  - in base alla normativa vigente tale tipo di opere è caratterizzato infatti da coefficienti di sicurezza nei confronti della rottura per capacità portante superiori a  $2.5 \div 3$ ;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 25 di 63</span>

- gli spostamenti totali e differenziali ammissibili per l'opera sono molto contenuti (i cedimenti ammissibili sono infatti generalmente inferiori a  $0.01 \cdot B$ , essendo  $B$  la dimensione minore della fondazione).
- Nel calcolo dei cedimenti dei rilevati i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  sono pari a circa  $(1/5 \div 1/10) \cdot E_0$  o, in alternativa, pari a quelli desumibili dalle correlazioni empiriche; per tali strutture in terra possono essere infatti ammessi cedimenti totali e differenziali maggiori di quelli delle fondazioni profonde e dirette.

### **Moduli elastici "operativi" da prove SPT in sabbia e ghiaia**

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) valgono le seguenti espressioni:

$$E'_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E'_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa} \quad \text{nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

$E_{25}'$  = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;

$D_r$  = densità relativa espressa come frazione dell'unità;

$N_{SPT}$  = numero di colpi in prova SPT.

Si rileva che nel caso di materiali ghiaioso-sabbiosi e per valori di densità relativa  $D_r$  inferiori a 50% le espressioni suddette conducono ad una sottostima dei valori di  $E_{25}'$ .

## **4.3. Materiali a grana fine (limi e argille) saturi**

### **4.3.1. Introduzione**

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine (percentuale di fine maggiore del 50%) è affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

La classificazione dei terreni a grana fine verrà effettuata facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di :

- fusi granulometrici;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- contenuti d'acqua naturale;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 26 di 63</span>

- indice dei vuoti iniziale.

#### 4.3.2. Resistenza al taglio non drenata

##### Premesse di carattere generale

La resistenza al taglio non drenata  $c_u$  di materiali saturi sotto falda verrà valutata facendo riferimento sia ai risultati delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Come noto la resistenza al taglio non drenata è funzione delle tensioni efficaci di consolidazione e del percorso di carico; in questa sede si farà riferimento a prove di laboratorio e a correlazioni empiriche per l'interpretazione delle prove SPT che forniscono valori di  $c_u$  corrispondenti a tensioni efficaci di consolidazione pari a quelle geostatiche.

##### Valutazione di $c_u$ da prove SPT

La resistenza al taglio non drenata di materiali saturi sotto falda, associabile a quella di prove triassiali di compressione e carico, consolidate alle tensioni efficaci geostatiche, verrà stimata adottando la correlazione empirica proposta da Stroud (1974) (vedi anche Clayton, 1995). In base a tale correlazione risulta quanto segue:

$$c_u \cong (5,0 \div 5,5) \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

#### 4.3.3. Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza di picco in termini di sforzi efficaci verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio di taglio diretto (TD).

#### 4.3.4. Caratteristiche di deformabilità

##### Moduli elastici iniziali

##### Generalità

I moduli iniziali di taglio ( $G_{o1}$ ) e di Young ( $E_{o1}$ ) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie  $p_o'$ , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  utilizzando le seguenti equazioni:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 27 di 63</span>

essendo:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in kN/m<sup>3</sup>

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

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

La velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche “down hole” e “cross hole”.

In alternativa i moduli di taglio iniziali  $G_{01}$  possono essere stimati pari a 1000 volte la resistenza al taglio non drenata  $c_u$  (vedi ad esempio Simpson et al., 1979).

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

$$G_o = G_{o1} \cdot \left( \frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \quad (\text{kPa})$$

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

### Moduli elastici “operativi” in condizioni drenate

Il comportamento dei terreni a grana fine risulta non lineare; i moduli elastici risultano infatti funzione sia della pressione efficace media corrente sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

In generale saranno seguite le seguenti regole:

**1.** Caso di opere di sostegno e di fondazione su terreni sovraconsolidati meccanicamente con percorsi di sollecitazione indotti dalla costruzione dell’opera collocati all’interno della superficie di plasticizzazione primaria del materiale.

In tali situazioni le deformazioni plastiche indotte dalle variazioni tensionali sono relativamente contenute e l’utilizzo di modelli costitutivi elastici o elastici non lineari può essere ritenuto accettabile.

Nel caso di ricorso a metodi di calcolo elastico-non lineari, i dati di ingresso per le analisi sono essenzialmente:

- I moduli elastici iniziali
- Curve di degrado del modulo in funzione del livello di deformazione o di spostamento indotto.  
Tipiche curve di degrado del modulo di taglio  $G$  in funzione del livello di deformazione di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 28 di 63</span>

taglio  $\gamma$  indotto, proposte da Vucetic & Dobry (1991). In alternativa alle curve di degrado possono essere adottate le espressioni (leggi iperboliche) riportate nel caso dei materiali a grana grossa.

Va tuttavia rilevato che la procedura suddetta, associata all'utilizzo delle curve di degrado, risulta rigorosamente applicabile in problemi di scarico e/o di scarico e ricarica tensionale; nel caso di problemi di "primo carico", caratterizzati da incrementi di tensione rispetto alla condizione geostatica potrebbe condurre ad una sottostima degli spostamenti.

Nel caso in cui la progettazione faccia ricorso a metodi di calcolo elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, e ove non diversamente specificato, i moduli di Young "operativi"  $E_{op}$  saranno convenzionalmente assunti pari a:

- $1/5 \cdot E_o$  o  $(400 \div 500) \cdot c_u$  nel caso di problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non);
- $(150 \div 200) \cdot c_u$  o quanto desumibile dai risultati delle prove edometriche nel caso di problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati).

**2. Caso di opere di fondazione con percorsi di sollecitazione indotti dalla costruzione dell'opera collocati all'esterno della superficie di plasticizzazione del terreno.**

Nelle analisi si farà necessariamente riferimento a modelli costitutivi elasto-plastici ed ai risultati delle prove edometriche ad incremento di carico (ED-IL) in termini di coefficienti di compressione ( $C_c$  e  $C_r$ ).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 29 di 63</p>

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA

### 5.1. Introduzione

Nel seguente documento si riporta la caratterizzazione geotecnica delle formazioni presenti nell'area di intervento, quali risultano sia dagli studi di carattere geologico (cfr. profilo geologico), sia dall'interpretazione delle indagini e dei rilievi eseguiti, definendo infine la sintesi dei parametri geotecnici.

In particolare sono state analizzate le seguenti formazioni:

- Argille di Lugagnano
- Conglomerati di Cassano-Spinola
- Depositi fluviali medi

La caratterizzazione è stata eseguita considerando tutti i sondaggi a disposizione relativi alle formazioni analizzate, andando poi a particularizzare i range di parametri considerando le indagini nella zona di interesse dell'opera in esame. La caratterizzazione è stata integrata in ultima fase con i seguenti sondaggi relativi ai lotti 2 e 3 di P.E.

- |          |             |
|----------|-------------|
| - L3-S12 | - L2-S01    |
| - L3-S11 | - L2-S02-   |
| - L3-S16 | - L2-S03    |
| - L3-S07 | - L2-S16    |
| - L3-S13 | - L2-S33    |
| - L3-S05 | - L2-S53    |
| - L3-S06 | - S-OV-42-1 |
| - L3-S14 | - S-OV-42-2 |
| - L3-S01 | - S-OV-42-3 |
| - L3-S02 | - S-OV-42-4 |
| - L3-S03 |             |

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 30 di 63</p>

## 5.2. Argille di Lugagnano (aL)

### 5.2.1. Note introduttive

Le Argille di Lugagnano sono costituite da argille e argille siltose, localmente sabbiose-fini, di colore beige (zona di alterazione superficiale) o grigio-azzurro, a stratificazione mal distinta, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Localmente si rinvencono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

### 5.2.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica

La caratterizzazione geomeccanica delle Argille di Lugagnano è stata condotta sulla base delle risultanze delle prove in situ e/o in laboratorio condotte nell'ambito dei sondaggi geognostici compresi nell'area di interesse ed elencati di seguito per fase di progettazione.

#### Campagna di indagini P.P.

- AA301B042
- XA301G022
- XA301G023
- EA301B043
- XA301G024
- XA301R010
- XA301R011
- EA301R044
- XA301R004

#### Campagna di indagini P.D.

- SF10

#### Campagna di indagini P.E. (Lotto 1)

- SI48

#### Campagna di indagini P.E. (Lotti 2 e 3)

- L3 - S11
- L3 - S13
- L3 - S14

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p>	<p>Foglio 31 di 63</p>

- L3 - S01
- L3-S02
- L3 - S03
- L3 - S05
- L3-S06
- L3-S07
- L3-S11
- L3-S12
- L3-S51
- S0V42-1
- S0V42-2
- S0V42-3
- S0V42-4
- L2-S16
- L2-S01
- L2-S03
- L2-S02
- L2-S53
- L2-S45
- L2-S44
- L2-S46
- L3-S51

Nello specifico sono stati elaborati i risultati di:

Prove di sito

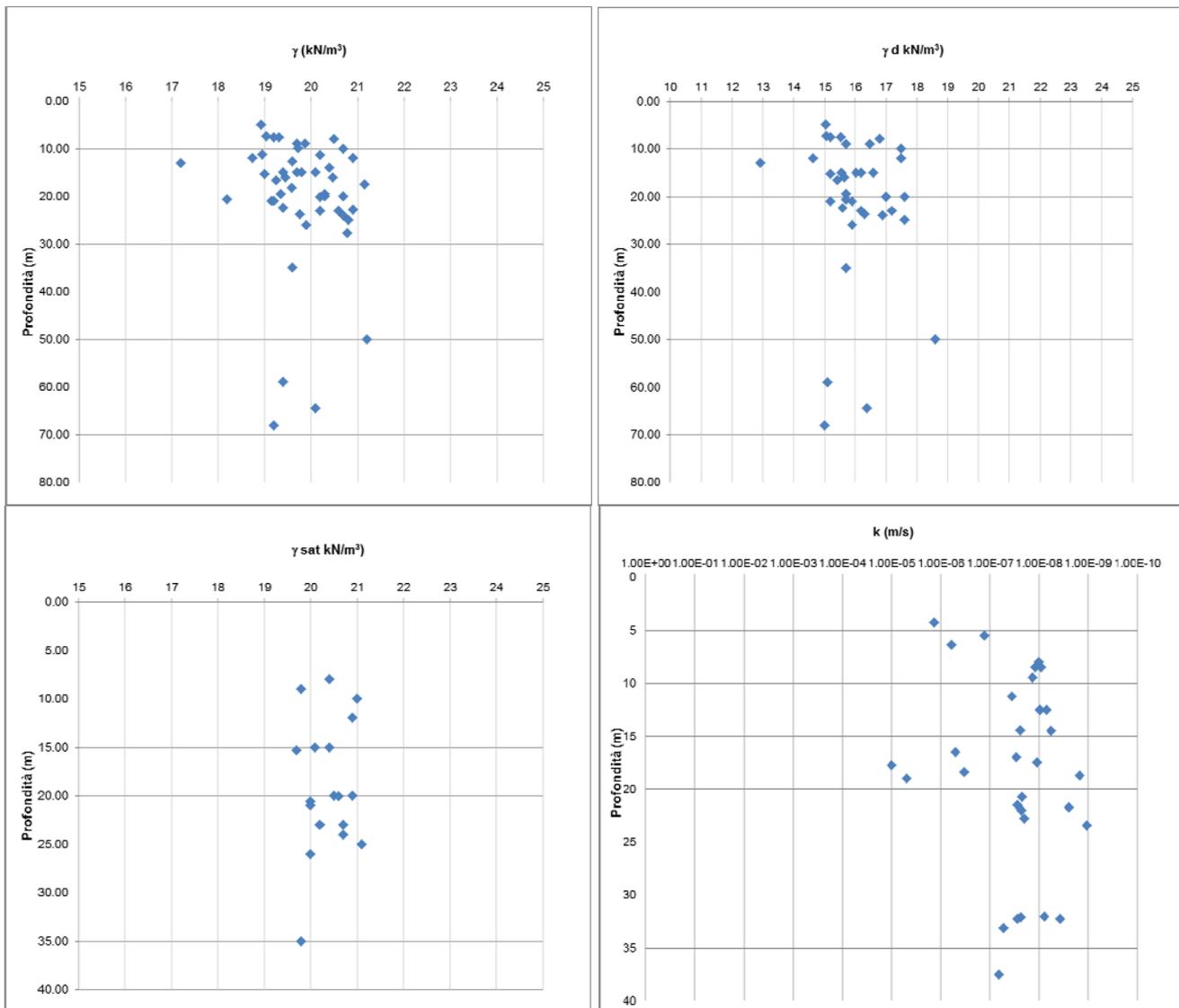
- prove SPT condotte in foro di sondaggio
- prove di permeabilità tipo Lefranc e tipo Lugeon
- prove pressiometriche e dilatometriche
- prove geofisiche

Prove di laboratorio

La definizione dei parametri fisico-meccanici delle Argille di Lugagnano è derivata inoltre dall'analisi delle prove di laboratorio condotte sia sui campioni rimaneggiati che indisturbati prelevati nei fori di sondaggio (prove di caratterizzazione fisica – peso di volume, analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione, limiti di consistenza – e prove meccaniche - Taglio Diretto, prova Triassiale tipo CID - CIU - UU, prova edometrica).

### Proprietà fisiche

L'elaborazione grafica dei principali parametri fisico-meccanici di interesse progettuale è proposta nelle seguenti figure.



**Figura 5-1. Argille di Lugagnano – caratteristiche fisiche**

Con l'incremento dei dati di laboratorio si nota che, rispetto ad una prima ipotesi di incremento di caratteristiche meccaniche con la profondità, i valori in gioco non dipendono effettivamente dalla profondità, mantenendosi generalmente all'interno di un range che solamente mostra valori massimi in profondità. Si riportano le caratteristiche di saturazione dell'unità in disamina, con indice  $S_r$  mediamente situato attorno al 90%.

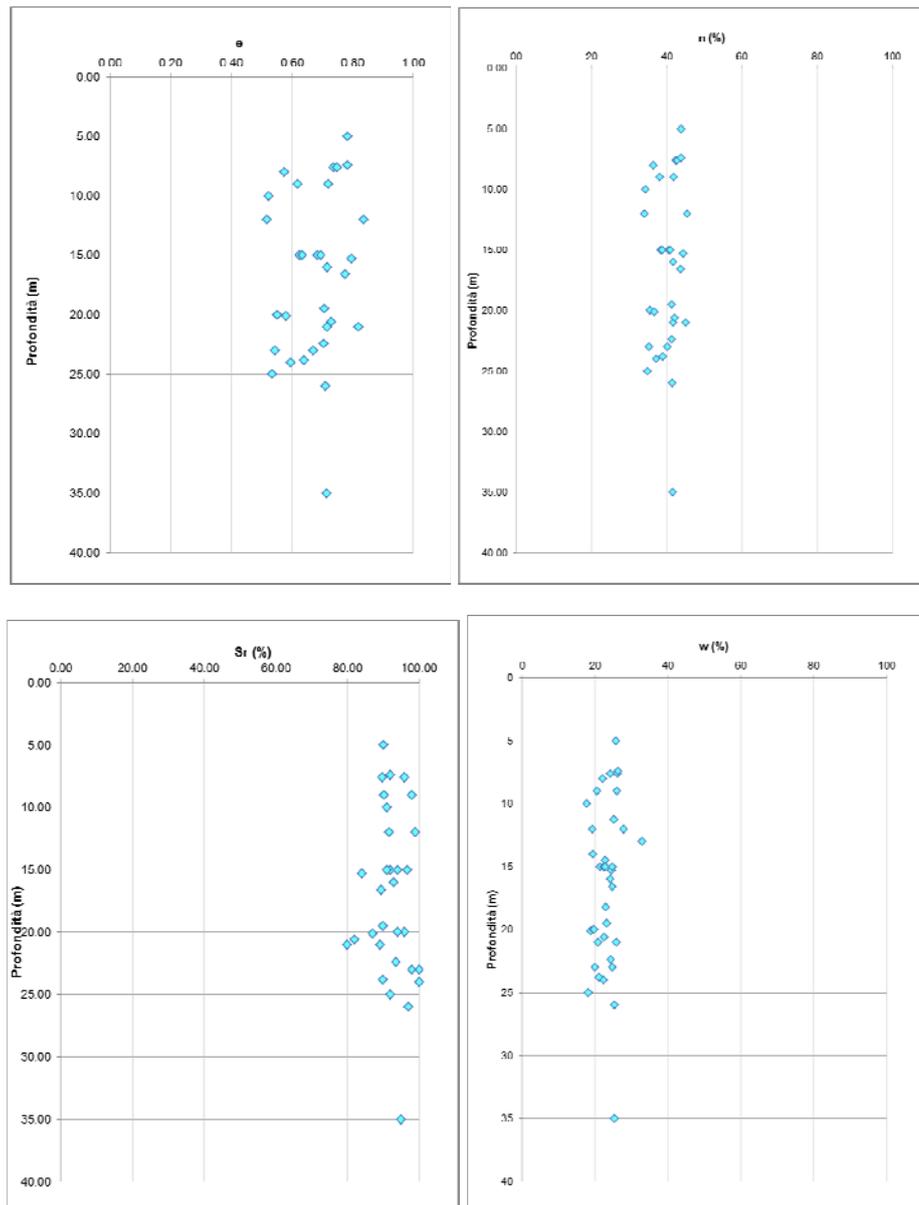


Figura 5-2 Argille di Lugagnano - caratteristiche fisiche

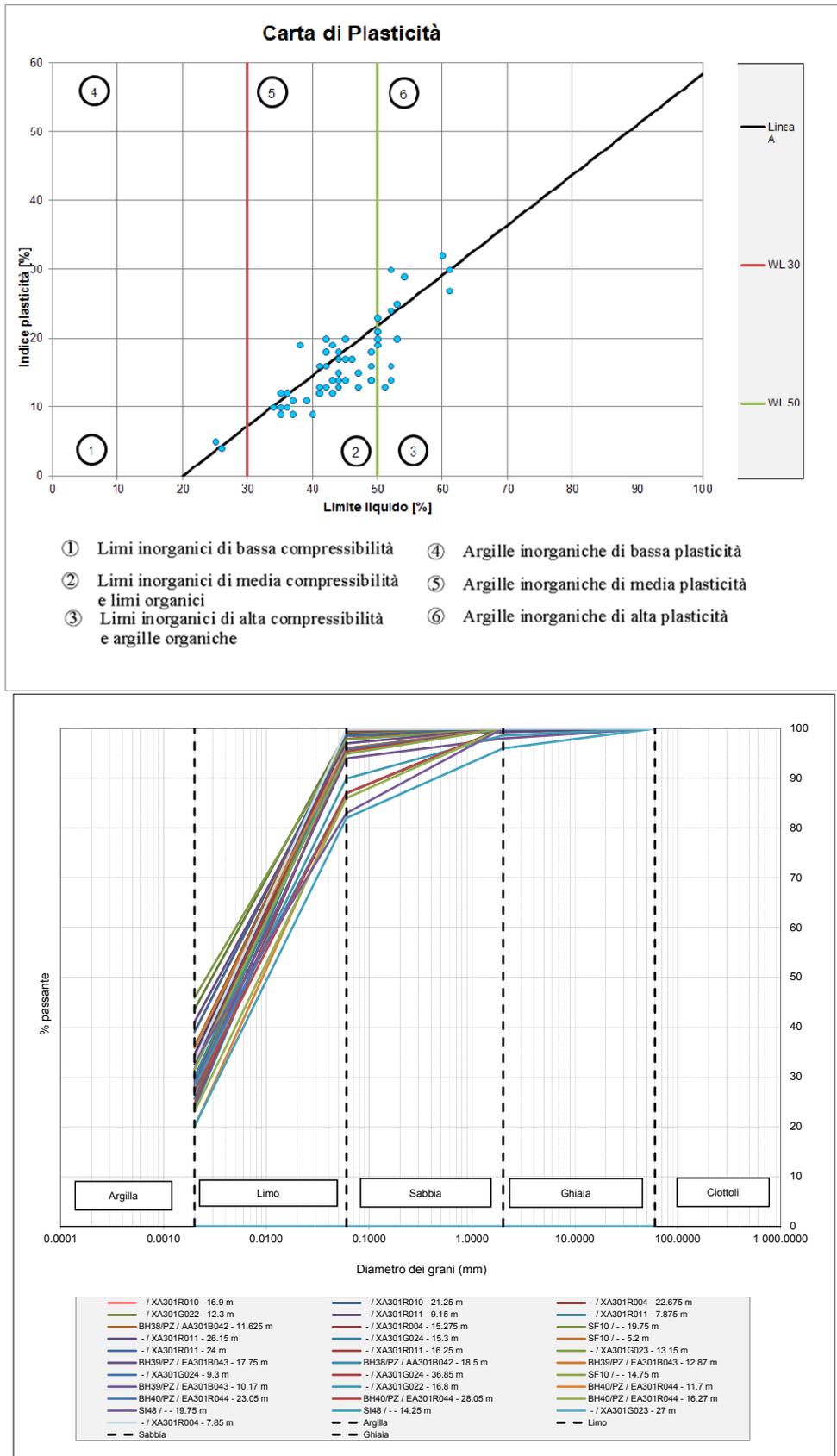


Figura 5-3. Argille di Lugagnano – Carta di plasticità e fusi granulometrici

L'analisi granulometrica per vagliatura restituisce il quadro di un terreno composto in prevalenza dalle componenti limose ed argillose: la determinazione dei limiti di consistenza qualifica l'unità del Lugagnano a cavallo tra le argille inorganiche di media/alta plasticità e i limi inorganici di media/ alta compressibilità e limi organici

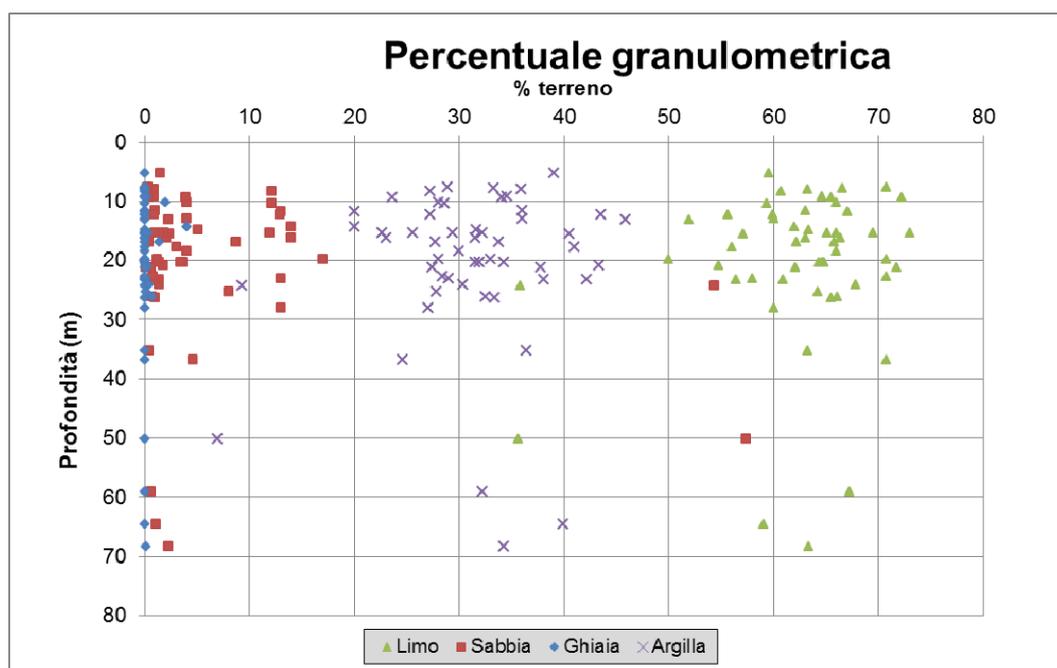


Figura 5-4. Argille di Lugagnano – distribuzioni di percentuale granulometrica

### Proprietà meccaniche di resistenza

L'analisi dei risultati delle prove meccaniche delinea, allo stato attuale, una distribuzione dei parametri di resistenza sia in tensioni efficaci che totali (secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb), caratterizzata da un leggero incremento dei parametri medi con la profondità. Il valore di coesione non drenata aumenta da valori minimi di 200 kPa fino a 600 kPa già nei primi 15 m, indicando buone caratteristiche di resistenza proprie di una formazione marnosa.

I risultati delle prove tabellati di seguito mostrano però alcune caratteristiche (elevati angoli di attrito e scarsa capacità coesiva laddove le cassette stratigrafiche mostravano argille marnose) poco compatibili con materiali argillosi caratterizzati da un intervallo di parametri di coesione non drenata che arriva oltre i 600 kPa. Ciò lascia intendere la scarsa validità dei risultati che vengono comunque riportati per chiarezza, e si evince la necessità di incrementare i dati per la caratterizzazione con i risultati di campioni di laboratorio tuttora in esecuzione.

In via cautelativa ai fini progettuali, il range che caratterizza la formazione nei calcoli verrà suddiviso in due gruppi, andando ad attribuire valori minimi e medi allo strato più superficiale (dai 7-10 fino ai 15-20m) e i valori medi massimi allo strato più profondo, in accordo anche con le prove geofisiche e le stratigrafie di sondaggio che mostrano un passaggio da argille e argille marnose consistenti ad argille molto consistenti e a marne argillose.

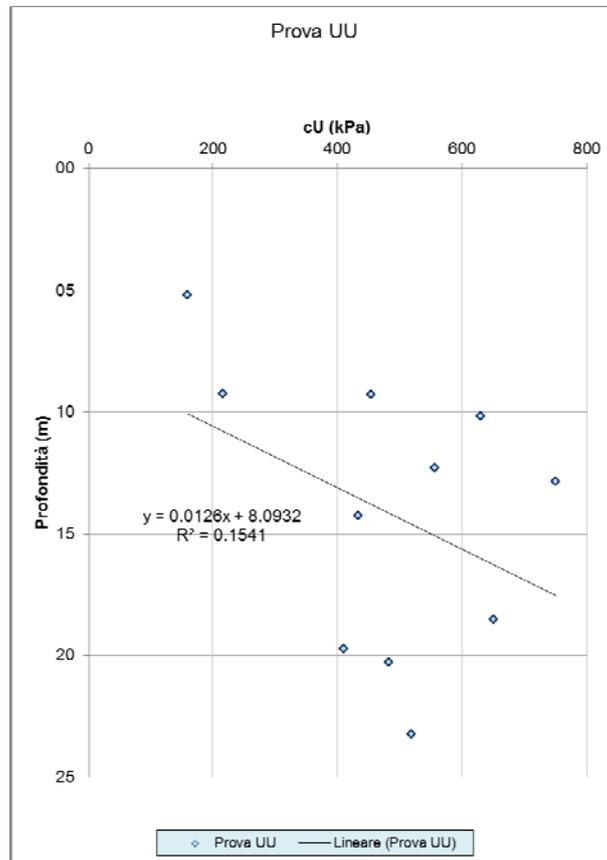
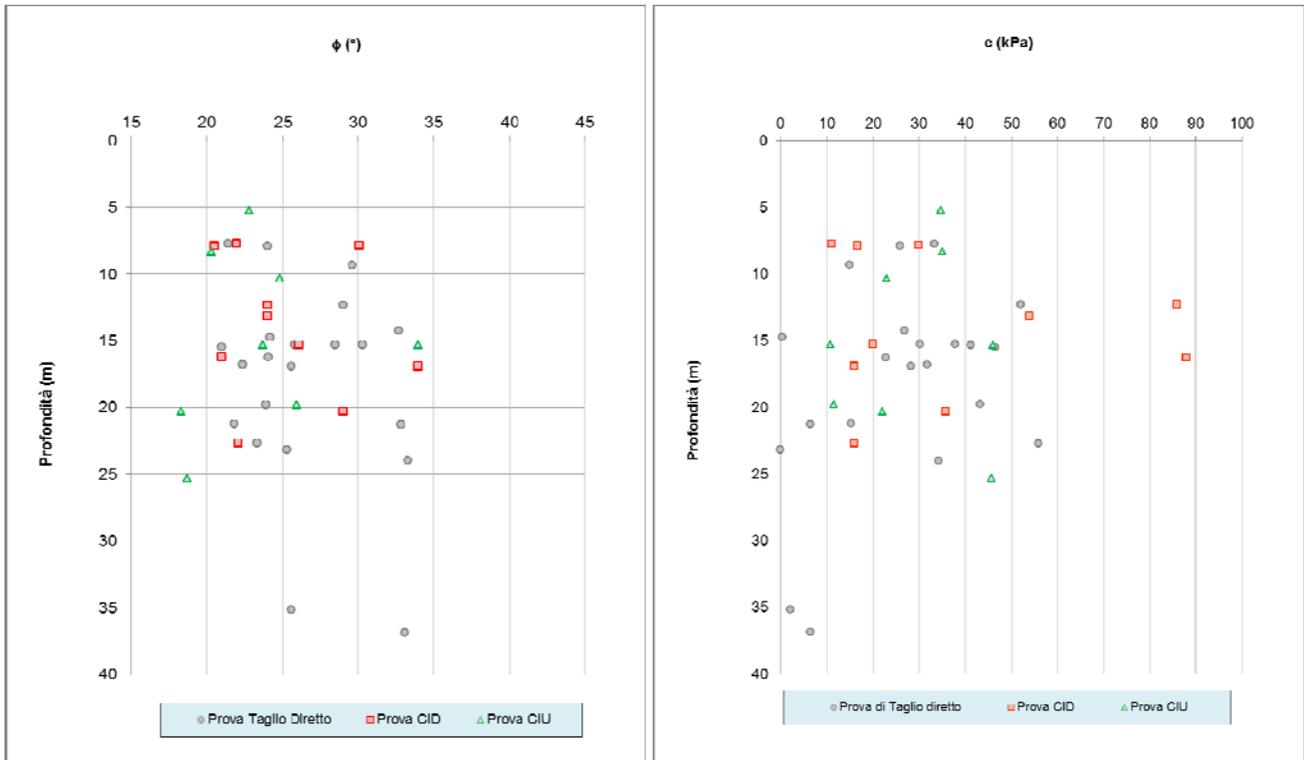


Figura 5-5 Argille di Lugagnano – proprietà meccaniche

In merito ai risultati della prova SPT, è noto come essa venga comunemente usata nella parametrizzazione dei terreni granulari quali sabbie e ghiaie mentre il suo utilizzo risulta più limitato nei terreni coesivi quali limi e argille: ne discende che, per la formazione in disamina, i risultati delle prove SPT e le relative interpretazioni risultano prevalentemente indicativi.

In generale le formule empiriche (NAVFAC 1982, Schmertmann 1977, Japanese Railways 1971, Road Bridge Specification 1971) utilizzate per la caratterizzazione dei terreni sabbiosi tendono a sovrastimare l'angolo di resistenza al taglio del terreno. Nei limi argillosi delle Argille di Lugagnano i risultati delle prove SPT e le relative interpretazioni risultano prevalentemente indicativi e vengono usate in questo caso per valutare la consistenza del materiale e per verificare i parametri caratteristici ottenuti da altre prove in situ e in laboratorio. Per completezza si propone comunque qui di seguito la distribuzione dei valori di angolo di attrito calcolati secondo le correlazioni di cui sopra, in relazione alla profondità da pc. di esecuzione della prova SPT.

La distribuzione conferma come andamento il quadro emerso dall'elaborazione delle prove di laboratorio, con valori minori nei primi metri di passaggio dai depositi alla formazione più consistente che arriva ad essere molto consistente con molti valori di NSPT a rifiuto e comunque valori medi superiori a 50 colpi. I valori da correlazione dell'angolo di attrito sono però chiaramente più elevati dei risultati delle prove di laboratorio e non verranno presi in considerazione nella stima dei range di resistenza per il calcolo.

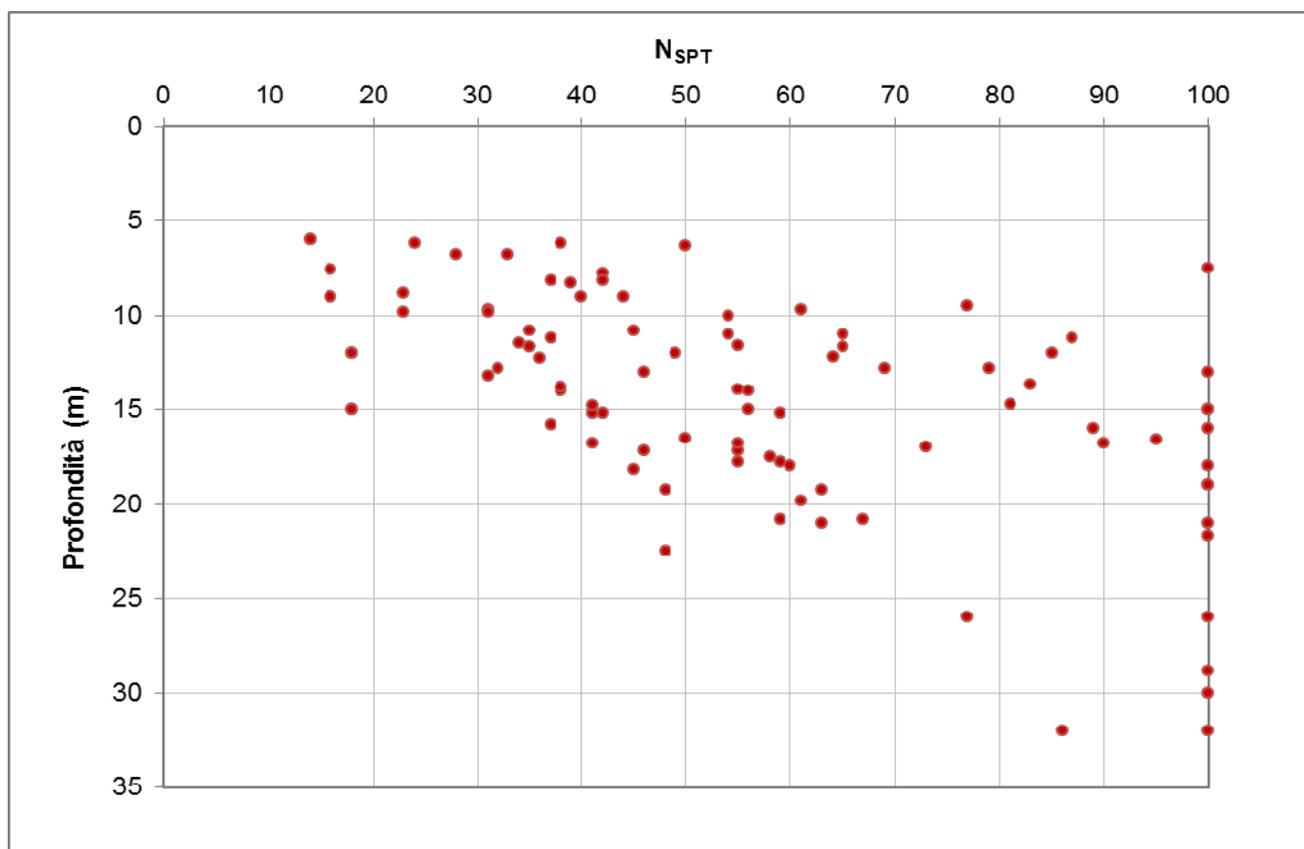
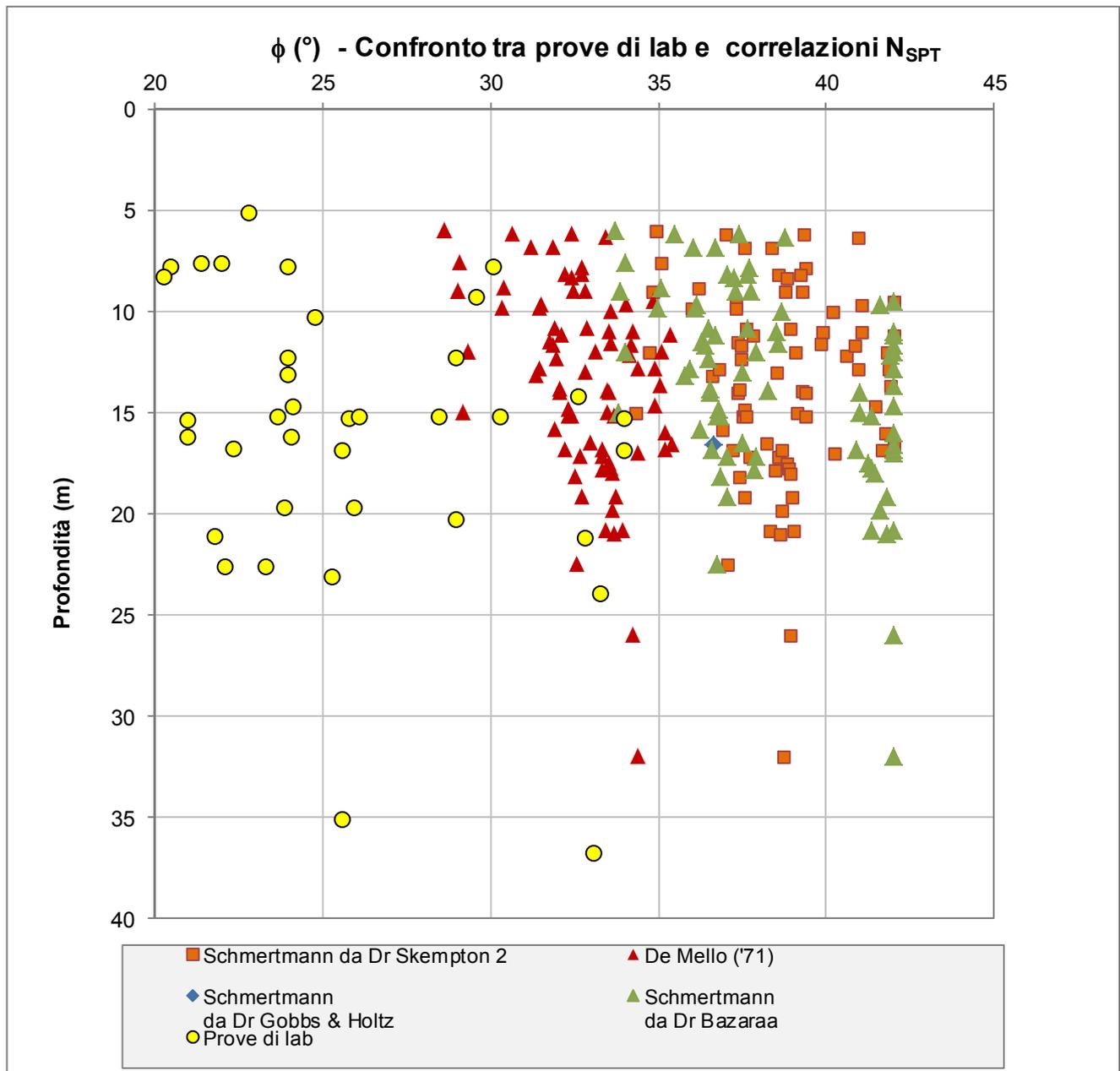


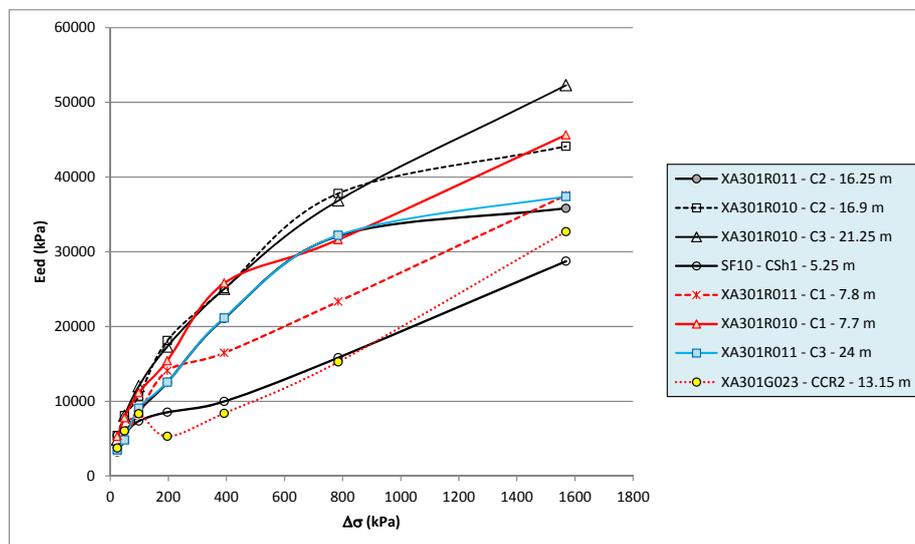
Figura 5-6. Argille di Lugagnano – Valori di NSPT



**Figura 5-7. Argille di Lugagnano – Angoli d’attrito da NSPT e prove di laboratorio**

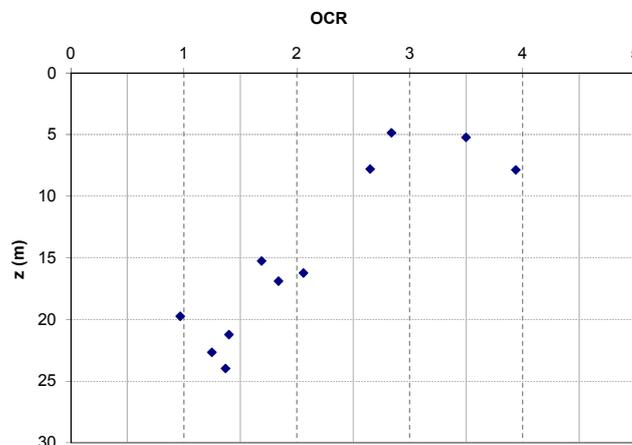
### Proprietà meccaniche di deformabilità

Con riferimento ai livelli tensionali attesi nell'ammasso, si riportano nel seguito le curve di variazione del modulo edometrico determinato in laboratorio, in funzione della pressione di consolidazione applicata al provino. Ne discende, per via analitica, la definizione del modulo elastico di Young corrispondente al massimo dello scavo: esso varia nello specifico nell'ambito del range 20-30 MPa per stati tensionali principali compresi fra 400 e 800 kPa (quest'ultimo livello di pressioni può ritenersi indicativo in relazione alla concentrazione del campo di tensioni al contorno del cavo aperto alle massime profondità scavate entro le Argille di Lugagnano).



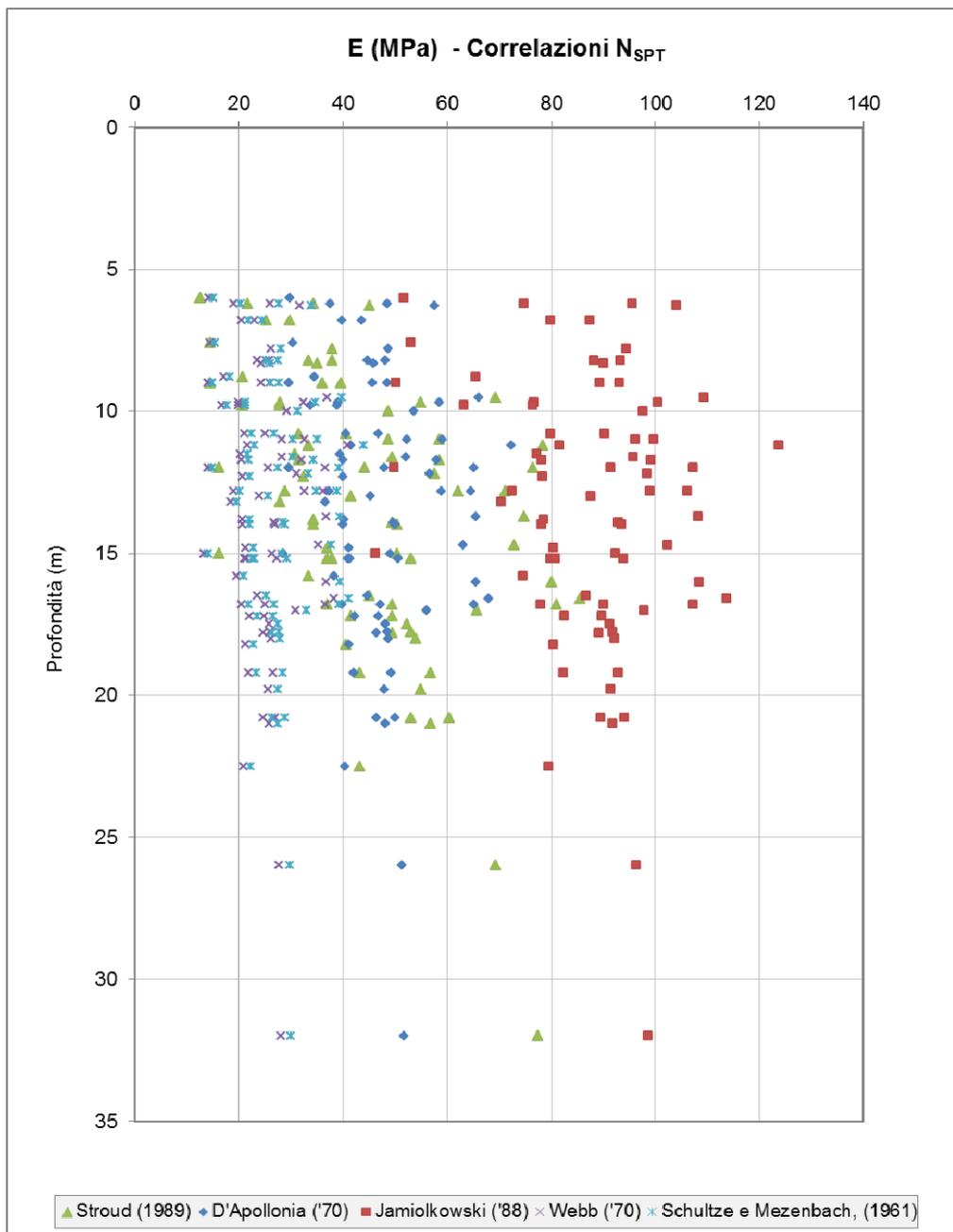
**Figura 5-8. Argille di Lugagnano – risultati prova edometrica**

L'interpretazione delle medesime prove di compressione edometrica ha fornito la distribuzione del grado di sovraconsolidazione nell'ambito dell'unità geotecnica, al variare della profondità dal piano campagna.



**Figura 5-9 Argille di Lugagnano – Valori di OCR**

Ai fini della valutazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso, si è considerato altresì l'insieme delle determinazioni ottenute dalle prove in sito (dilatometriche e pressiometriche) e per correlazione con l'esito delle prove SPT in foro di sondaggio. Per quanto riguarda la valutazione del Modulo Elastico, tale metodo di indagine presenta una maggiore affidabilità di quanto precedentemente accennato in seno alle valutazioni sui parametri di resistenza a taglio. Nel dettaglio sono state prese in considerazione le seguenti correlazioni: D'Apollonia - 1968; Jamiolkowski - 1988 (terreni SC); Webb - 1970, Stroud - 1989 e Schultze e Menzenbach - 1961.



**Figura 5-10 Argille di Lugagnano - Distribuzione con la profondità dei valori di Modulo elastico ottenuti da correlazioni con SPT**

I risultati delle prove pressiometriche e dilatometriche distribuiti fino ai 70 m non mostrano un aumento importante con la profondità, se non per profondità non di interesse per l'opera in esame. I valori si attestano dagli 80 MPa ai 250 MPa, considerando che i valori minimi considerati anche nei grafici corrispondono a particolari sondaggi con strati maggiormente destrutturati.

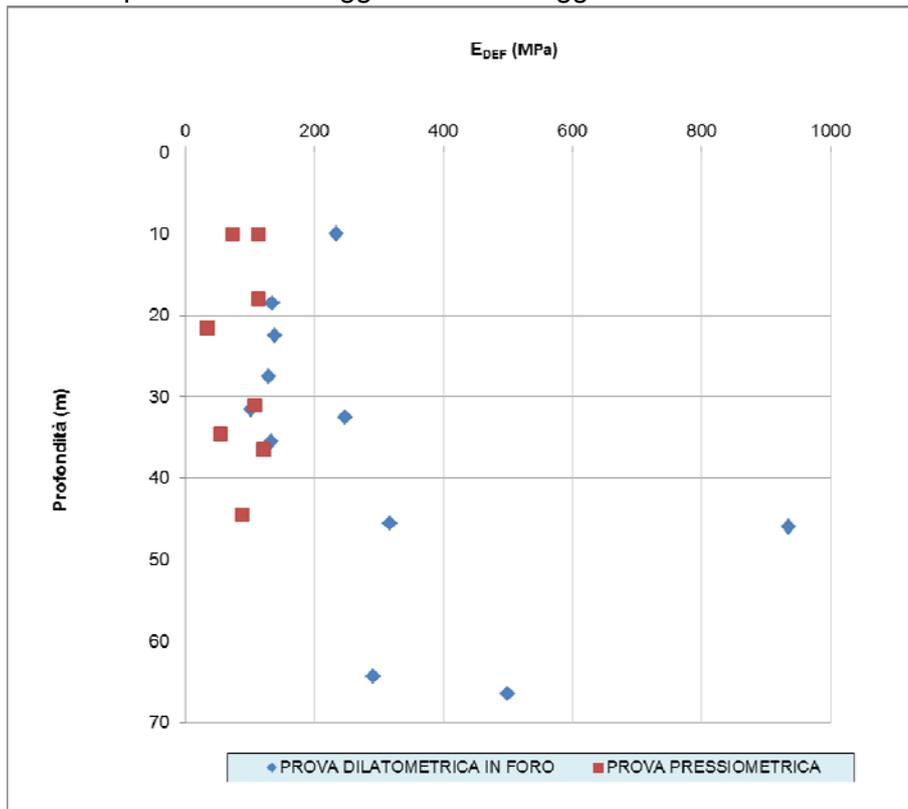


Figura 5-11 Argille di Lugagnano – Modulo di deformabilità – prove di sito

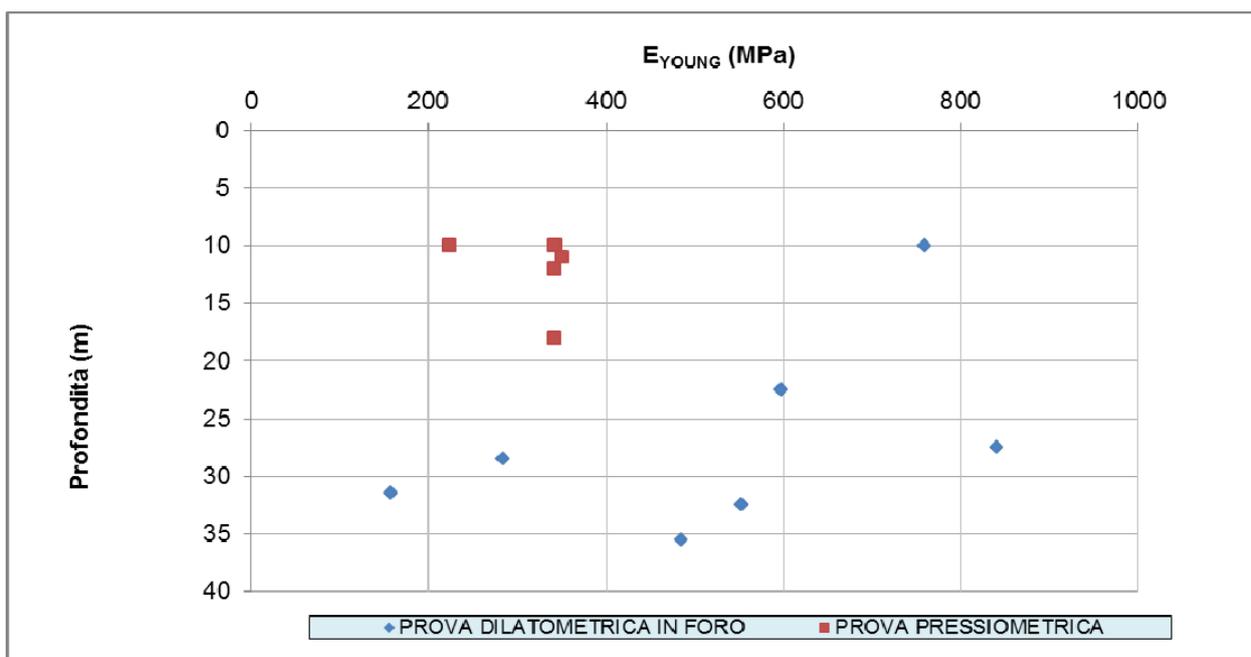


Figura 5-12 Argille di Lugagnano – Modulo di Young – prove di sito

Infine si riportano i risultati delle prove sismiche, in particolare gli stendimenti sismici e le Down-Hole. Per quanto riguarda le indagini a rifrazione, i risultati delle prove lungo la linea storica mostrano valori operativi dai 10÷12m superiori a 130 MPa e superiori a 200 MPa oltre i 20 m (GN41), mentre le prove poste più verso Nord lungo la futura galleria di linea mostrano valori di velocità delle onde di taglio maggiori di 300 m/s già intorno ai 10 m e valori del modulo elastico dinamico superiori ai 3600 MPa. Questi risultati possono essere ritenuti come valore massimo per i range adottati nella caratterizzazione considerando cautelativamente un valore del modulo elastico operativo minimo pari a  $E_0/10$  ( $E_{op\_max} = 200-350$  MPa).

I valori delle DH mostrano generalmente un aumento con la profondità nella formazione aL, ma non sono singolari casi in cui il valore di  $V_s$  resta pressoché costante anche fino ai 50m (cfr. immagini seguenti). I risultati mostrano valori del modulo elastico dinamico tali da poter ritenere accettabile un range per la formazione che va da un minimo di 150 MPa a massimi di 500 MPa, consapevoli del fatto che sono stati registrati valori di velocità delle onde anche pari a 900 m/s già a profondità di 15 m.

Si riportano di seguito l'andamento delle velocità e del modulo elastico operativo ricavato dalle prove DH nella zona delle Argille rispetto ai risultati delle prove di sito puntuali nella formazione. Le prove mostra valori di modulo operativo ( $E_0/10$ ) leggermente più elevati rispetto ai risultati delle prove dilatometriche e pressiometriche alle stesse profondità nello strato tra 20m e i 40, mentre coglie con buona approssimazione il range definito per lo strato superficiale delle argille.

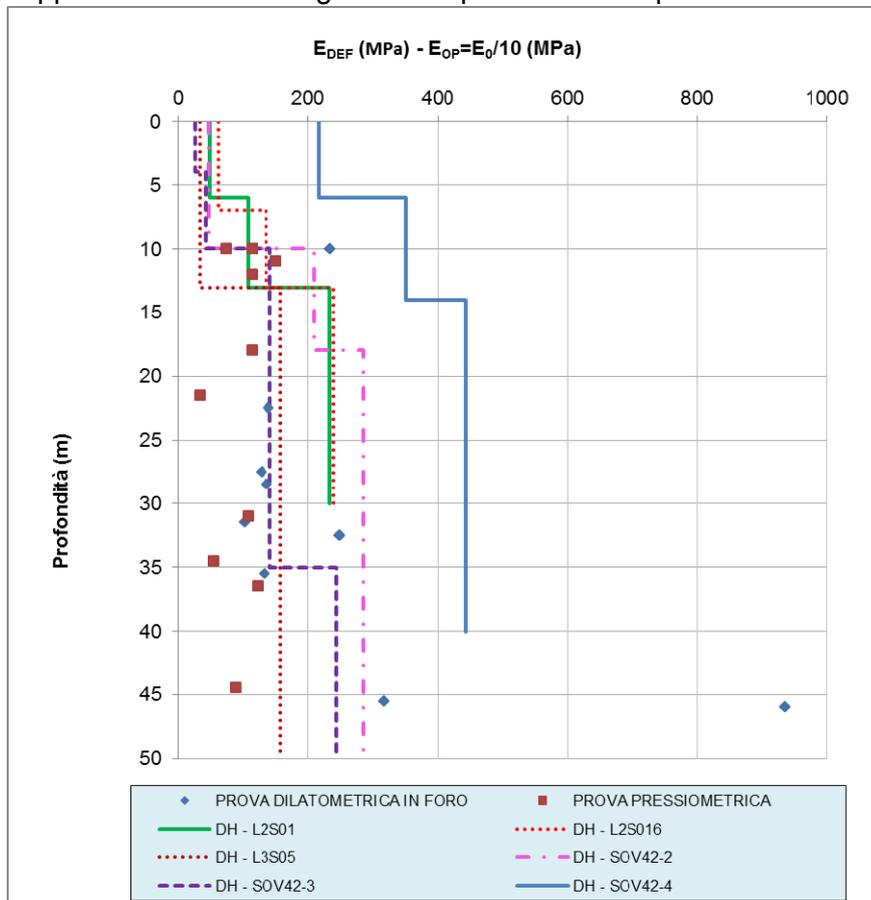


Figura 5-13. Confronto moduli operativi da DH e prove puntuali di sito

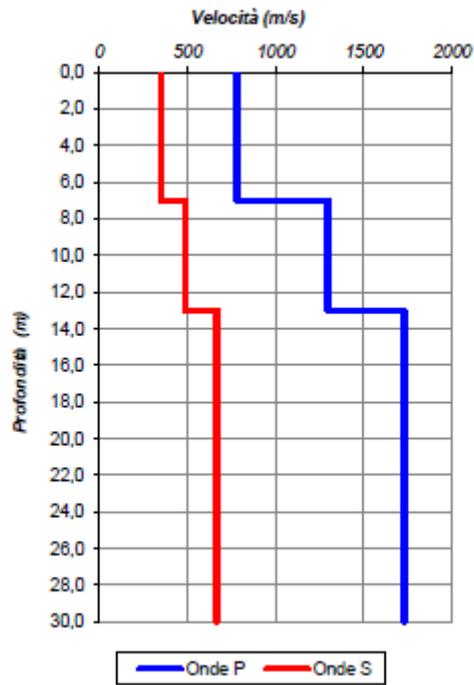


Figura 5-14. DH L2S16 (Eop=120÷300/220÷480 MPa)

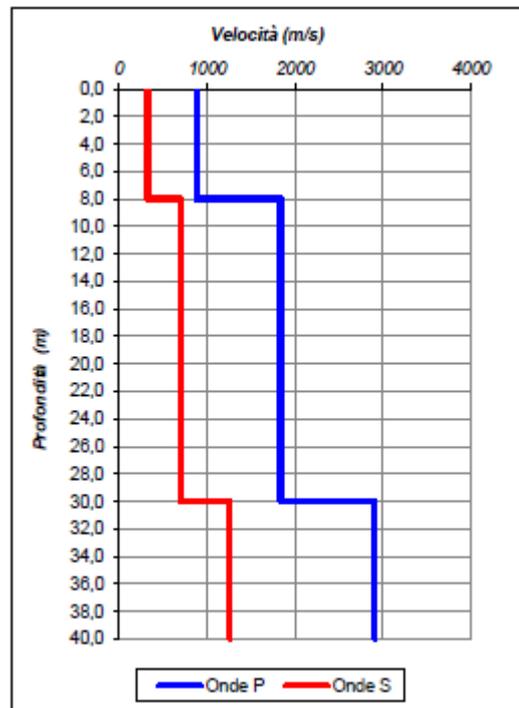


Figura 5-15. DH L2S07 – Eop=200-500 MPa

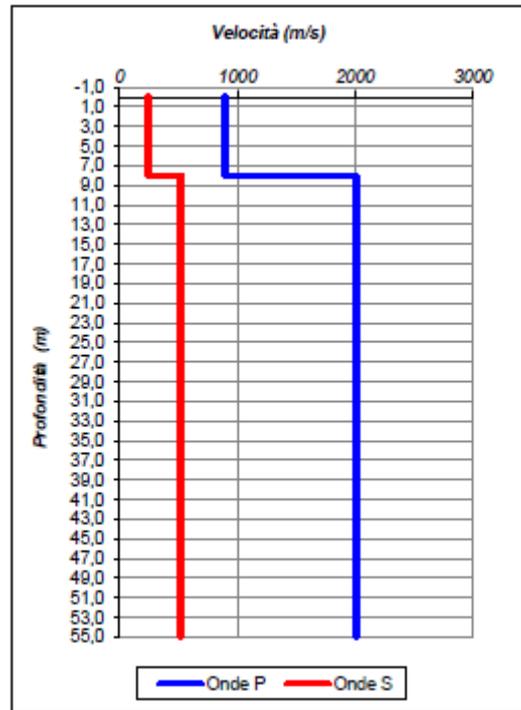


Figura 5-16. DH L3S05 - Eop==150-300 MPa

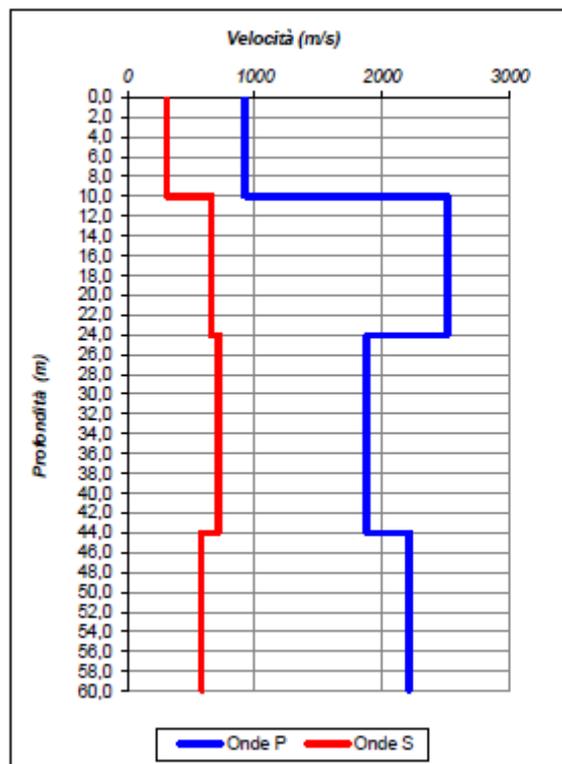


Figura 5-17. DH S0V42-2 - Eop==200-300 MPa

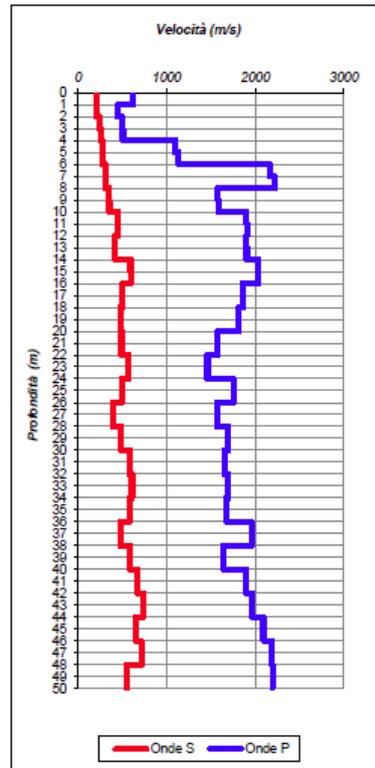


Figura 5-18. DH S0V42-3 - Eop==140-300 MPa

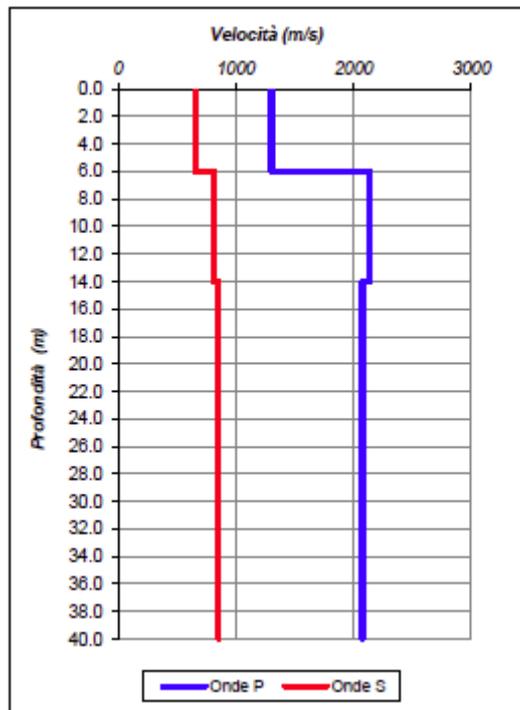


Figura 5-19. DH S0V42-4 - Eop==290-800 MPa



Figura 5-20 Ubicazione stendimento 1 – GN41

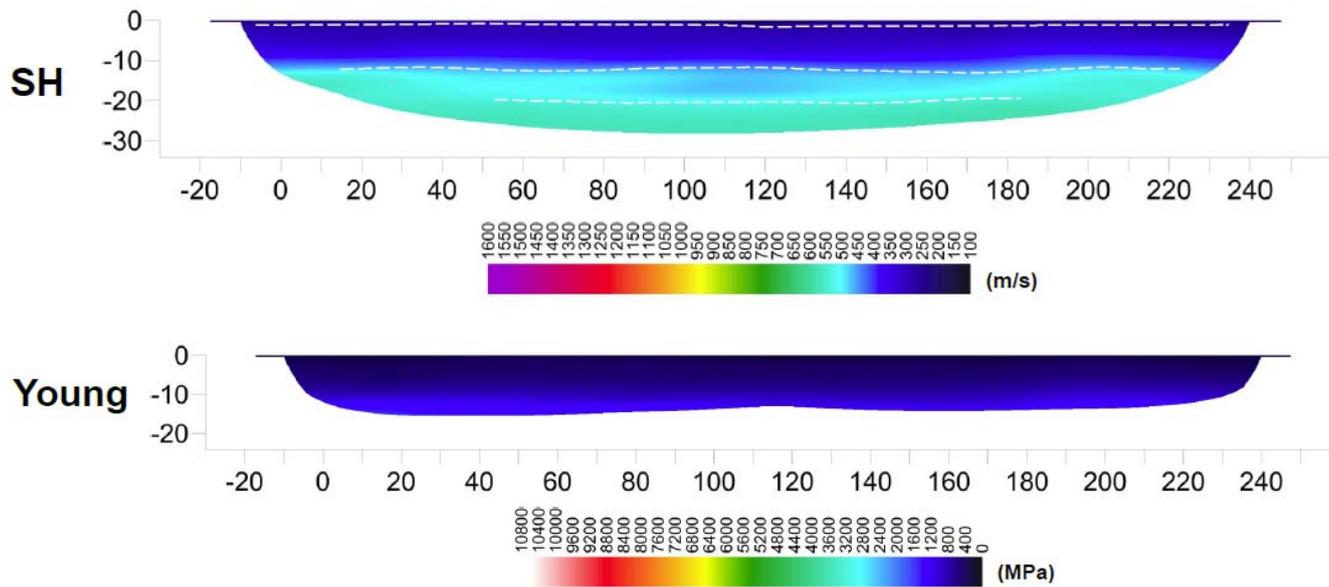


Figura 5-21 Risultati linee sismiche 1 – GN41



Figura 5-22 Ubicazione stendimento 2 – GN41

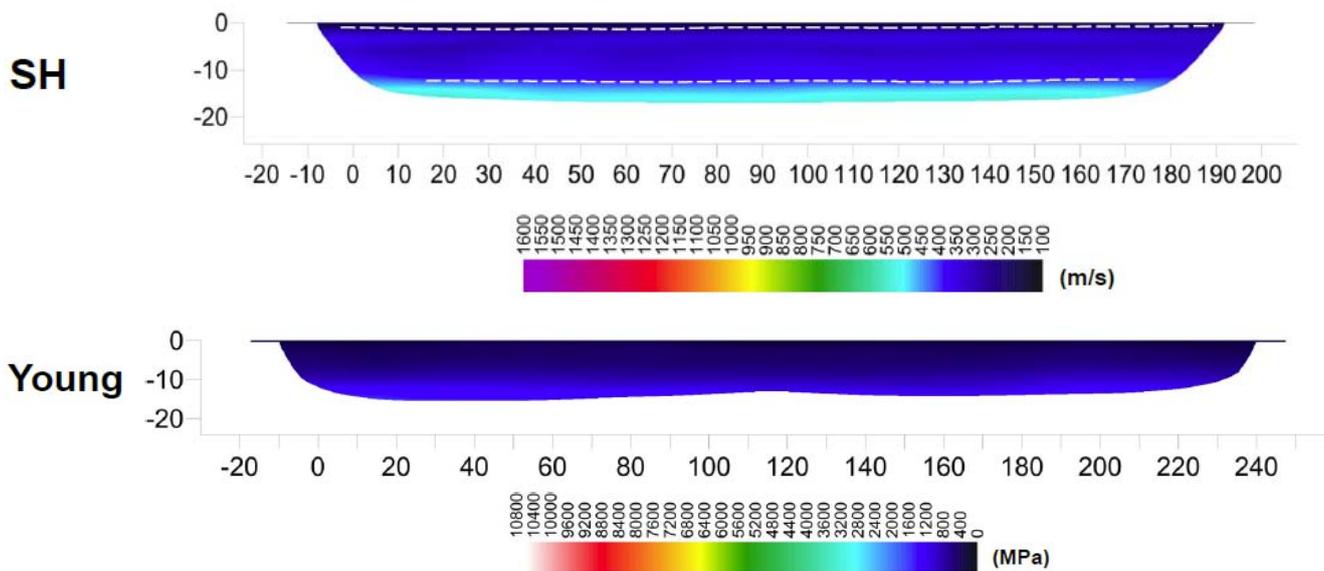


Figura 5-23 Risultati linee sismiche 2 – GN41

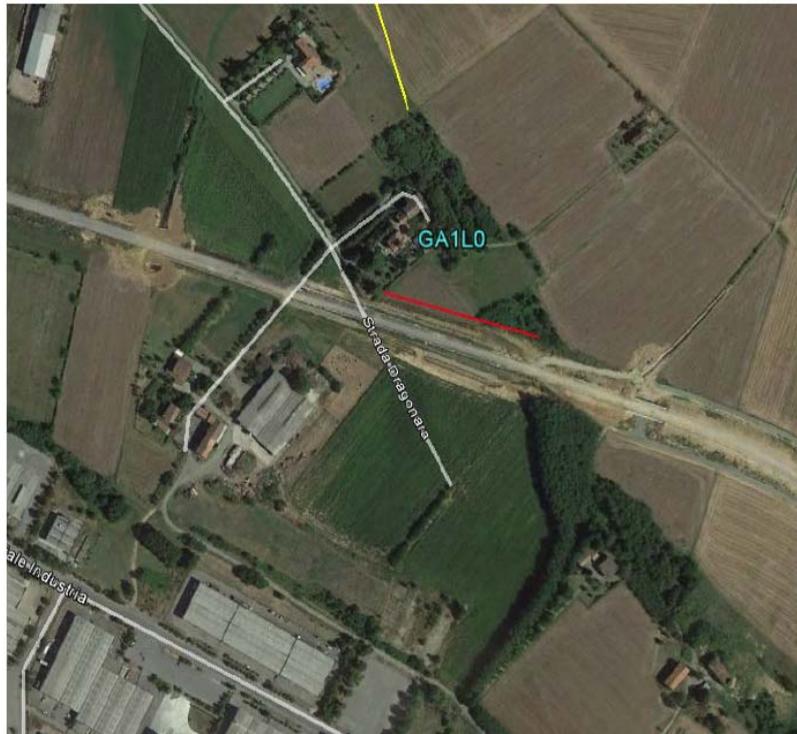


Figura 5-24 Ubicazione stendimento - GA1LL1

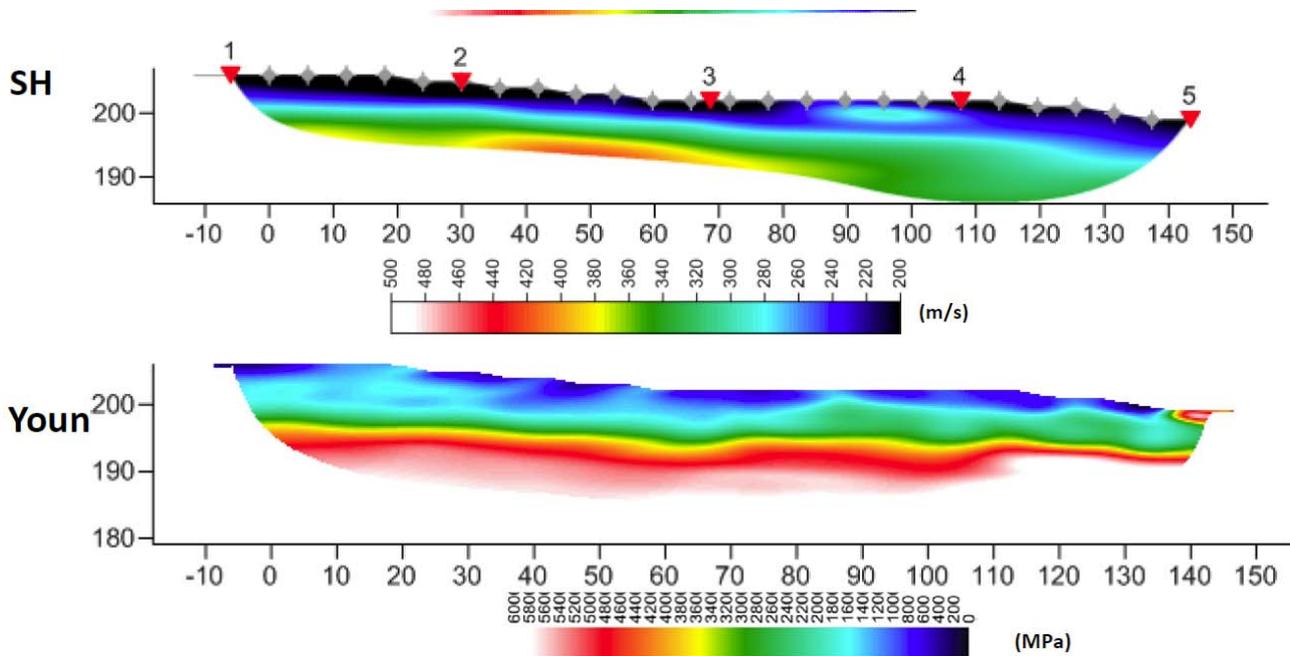


Figura 5-25 Risultati linee sismiche - GA1LL1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 49 di 63</span>

### 5.3. Formazione di Cassano Spinola (cC)

#### 5.3.1. Note introduttive

I Conglomerati di Cassano Spinola, del Gruppo della gessoso-Solfifera, sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati. I livelli arenacei sono potenti da qualche decimetro a 2-3 m, risultano omogenei o gradati e sono caratterizzati da laminazioni piano-parallele, oblique, ondulate e/o convolute. Le intercalazioni pelitiche sono in genere potenti da pochi centimetri a 1 m circa e corrispondono a intervalli compositi, costituiti da alternanze ritmiche di strati centimetrico-decimetrici di argille omogenee, strati centimetrici di siltiti e/o strati millimetrico-centimetrici di areniti fini.

I corpi conglomeratici, nel settore interessato dall'opera possono raggiungere i 2-3 m di spessore e mostrano un'estensione laterale variabile intorno alla decina di metri. Si tratta di conglomerati clast-supported con matrice sabbiosa, a ciottoli centimetrico-decimetrici, passanti lateralmente ad areniti medie e grossolane con stratificazione mal definita.

#### 5.3.2. Caratterizzazione fisico-meccanica

La caratterizzazione geomeccanica dei Conglomerati di Cassano Spinola è stata condotta sulla base delle risultanze delle prove in situ e/o in laboratorio condotte nell'ambito dei sondaggi geognostici SC28 (PD), SA301B041, AA301B042, XA301G022, XA301G023 (PP).

Sono state nello specifico considerati i risultati delle seguenti prove in situ/laboratorio:

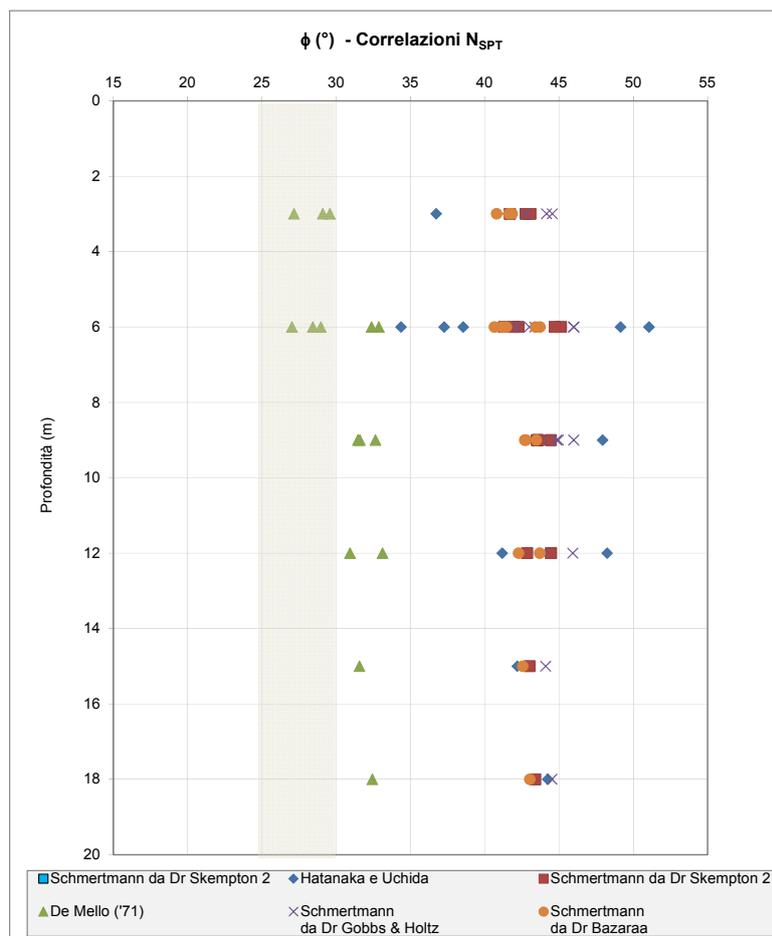
- SC28, SA301B041, AA301B042, XA301G022, XA301G023: prove SPT in foro di sondaggio
- SA301B041, XA301G022, XA301G023: prove di permeabilità tipo Lefranc (un'unica prova tipo Lugeon condotta alla profondità di 19 m dal p.c. nel sondaggio SA301B041)
- XA301G022: prova di compressione mono-assiale alla profondità di 35 m ca da p.c. (
- XA301G023: prove di taglio diretto (profondità indicative 31 – 35 m da p.c.)
- AA301B042, XA301G022, XA301G023: prove di caratterizzazione fisica (peso di volume naturale, analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione) condotta sul provino prelevato alla profondità di 27.20 m da p.c.

Dalle prove di caratterizzazione fisica sono discese le seguenti proprietà:

- Peso di volume naturale: 20-21 kN/m<sup>3</sup>
- Granulometria (campioni rimaneggiati): sabbie, limo sabbioso, limo argilloso.
- Limite liquido: 32-29
- Limite Plastico: 24-28
- Indice di plasticità: 8-11

In merito ai risultati della prova SPT, è noto come essa venga comunemente usata nella parametrizzazione dei terreni granulari quali sabbie e ghiaie mentre il suo utilizzo risulta più limitato nei terreni coesivi quali limi e argille o comunque caratterizzati da una discreta anisotropia in termini di componenti litologiche, quale il caso dei Conglomerati di Cassano Spinola: ne discende che, per la formazione in disamina, i risultati delle prove SPT e le relative interpretazioni risultano prevalentemente indicativi. A questo proposito, si nota che, in generale, le formule empiriche (NAVFAC 1982, Schmertmann 1977, Japanese Railways 1971, Road Bridge Specification 1971) utilizzate per la caratterizzazione dei terreni sabbiosi tendono a sovrastimare l'angolo di resistenza al taglio del terreno. Con riferimento ai parametri di resistenza meccanica, l'esiguo numero di risultati derivati dalle prove di Taglio Diretto condotte in laboratorio, ha restituito valori dell'angolo di attrito compresi nel range 32°-40° e coesione di poco inferiore ai 10 kPa.

In questa sede, si individua nel range 25-30° un intervallo rappresentativo per la resistenza a taglio della formazione in oggetto, specie in relazione al modesto campione di dati sperimentali disponibile.



**Figura 5-26 Formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola (cC) - Distribuzione con la profondità dei valori di angolo di attrito ottenuti da correlazioni con SPT**

In merito ai parametri di deformabilità operativi, non si ha disponibilità, per la formazione in disamina di dati sperimentali, sia misurati in situ che derivati dall'attività condotta in laboratorio.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5100XCVRBG0000001A00
	Foglio 51 di 63

In attesa di avere disponibilità delle risultanze delle Indagini Integrative previste nell'ambito del Lotto 3, si è definito pertanto il range 100-200 MPa ritenuto rappresentativo per i moduli elastici operativi corrispondenti al livello deformativo atteso nella formazione interagente con l'opera. Nell'individuazione del citato intervallo si è considerata in particolare la storia geologica della formazione in disamina, sviluppatasi nell'ambito dello stadio evolutivo deposizionale terrigeno post-evaporitico, successivo alla fase diagenetica delle evaporiti primarie e peliti euxiniche propria del sottostante Membro di Riomaggiore (gS).

#### 5.4. Depositi fluviali medi (fl2)

##### 5.4.1. Note generali

I depositi fluviali riferiti a questa unità sono ubicati in corrispondenza dell'ampio terrazzo di Novi Ligure, sospeso di 25-45 metri rispetto all'alveo del T. Scrivia e che si estende da Serravalle Scrivia a Pozzolo Formigaro in sinistra idrografica del T. Scrivia.

Le osservazioni stratigrafiche derivano soprattutto dalle stratigrafie di sondaggio e in minima parte da osservazioni dirette. I depositi fluviali medi (fl2) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Dall'analisi granulometrica di 4 campioni raccolti in 1 sito le classi granulometriche risultano così distribuite: 57% ghiaia, 21% sabbia, 15% limo e 7% argilla. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi.

##### 5.4.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica

Ai fini della determinazione dei parametri fisico-meccanici per l'unità dei Depositi fluviali medi sono state elaborate le risultanze delle prove in situ ed in laboratorio condotte nell'ambito dei seguenti sondaggi geognostici:

###### Campagna di indagini P.P. (2001-2002)

- AA301B042
- EA301B043
- EA301R044
- SA301B041
- XA301A012
- XA301A013
- XA301B077
- XA301B078
- XA301B079
- XA301B080
- XA301B081
- XA301B082
- XA301B111
- XA301B112
- XA301B113
- XA301BC01
- XA301BC02
- XA301D108
- XA301G022
- XA301G023
- XA301G024
- XA301R004
- XA301R005
- XA301R006

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 52 di 63</span>

- XA301B083            • XA301R008
- XA301B083            • XA301R011
- XA301B084            • XA301R093
- XA301B085            • XA301R096
- XA301B086            • XA301R097
- XA301B101            • XA301R109
- XA301B109            • XA301R113

Campagna di indagini P.D. (2004)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini integrative P.D. (2005)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)

- SI48

Campagna di indagini P.E. Lotti 2 e 3

- vedi § 5.1

Come si evince dall'elenco riportato, sono stati considerati anche i risultati di sondaggi eseguiti in altre zone in materiali analoghi.

Proprietà fisiche

L'elaborazione grafica dei principali parametri fisico-meccanici di interesse progettuale è proposta nelle seguenti figure.

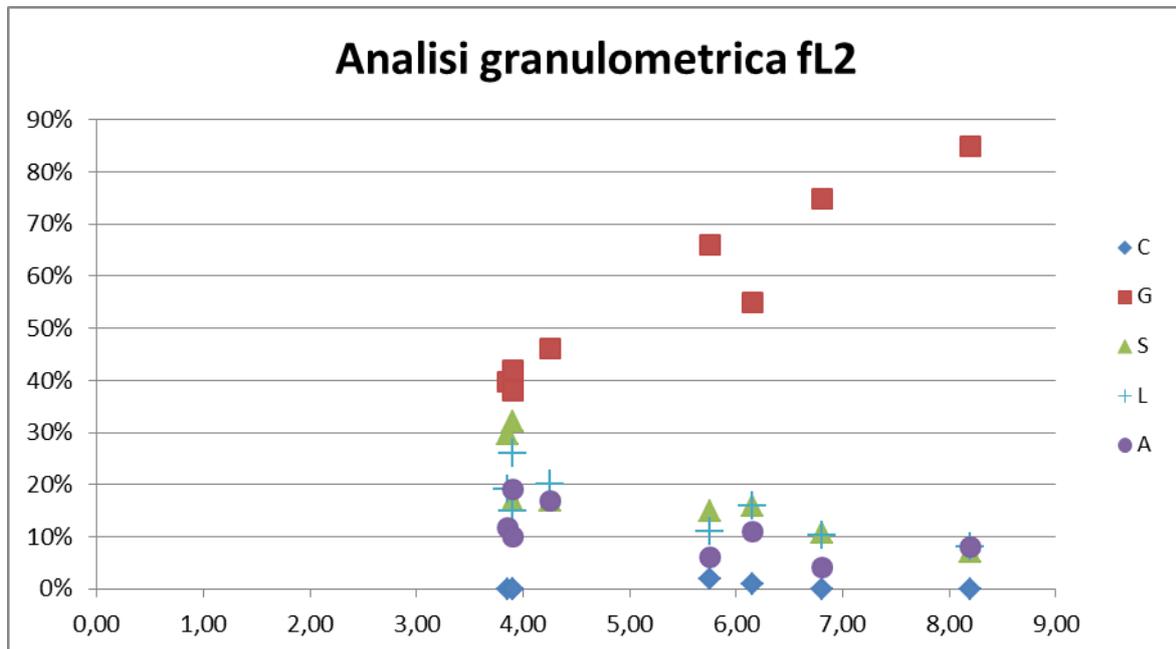


Figura 5-27: Composizione granulometrica (fL2) – Area di interesse

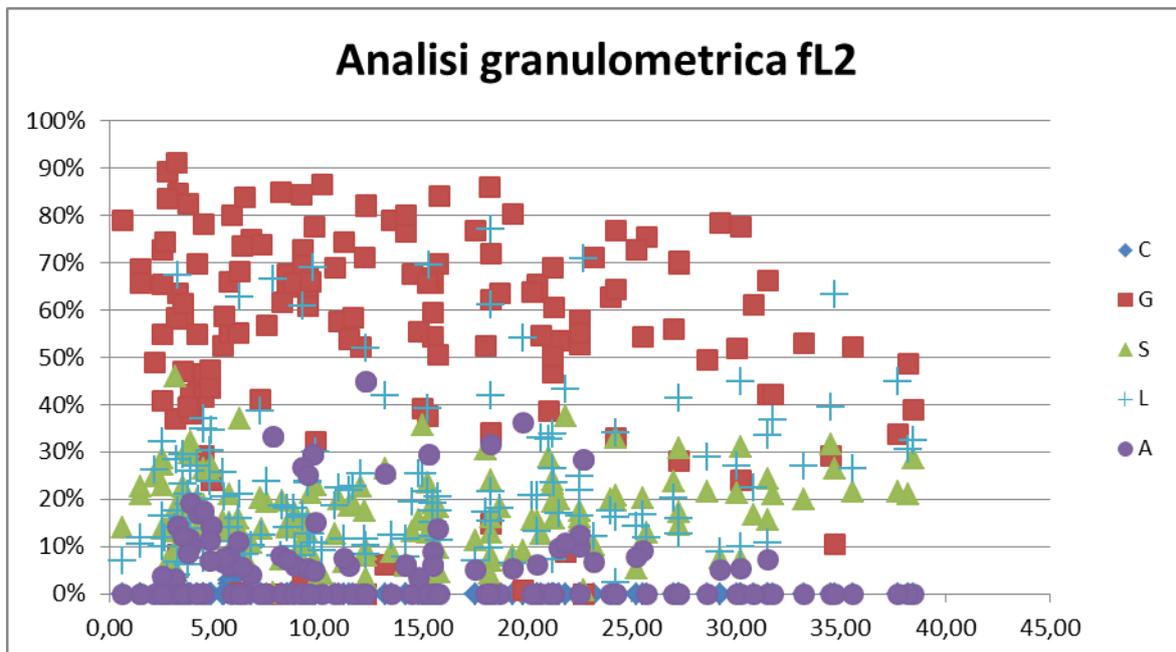


Figura 5-28: Granulometria (fL2) – tutte le prove disponibili

Le analisi condotte hanno mostrato come i Depositi alluvionali (fL2) presenti nell'area siano classificabili come ghiaie sabbiose e ghiaie sabbioso-limoso, con percentuali di ghiaia maggiori al 40%. Le indagini globali condotte per la formazione in esame hanno mostrato che i depositi alluvionali si presentano due differenti composizioni granulometriche, configurandosi sia come ghiaie sabbiose che come limi sabbiosi: bisognerà quindi distinguere i parametri in modo da

impiegare, per la caratterizzazione geotecnica relativa all'opera in esame, quelli relativi ai materiali a granulometria più grossolana.

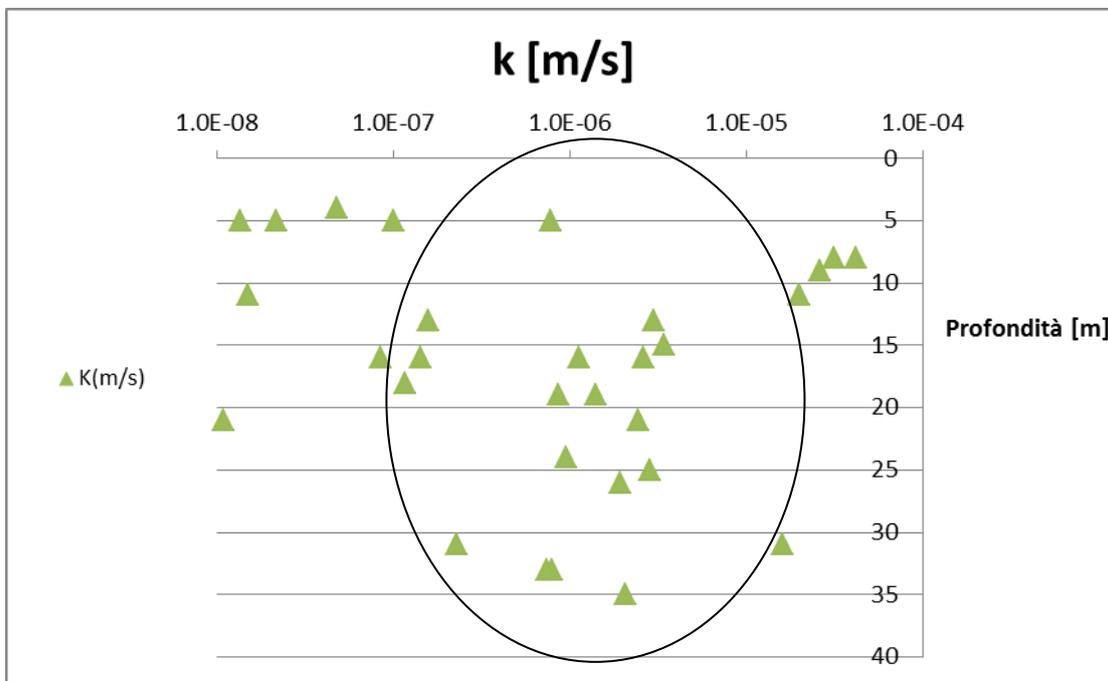


Figura 5-29: Permeabilità – Globale

Le prove effettuate hanno indicato per la formazione in esame una permeabilità medio-bassa per quanto riguarda il materiale prevalentemente limoso (tra  $10^{-7}$  e  $10^{-8}$  m/s), mentre più elevata per il materiale a prevalenza ghiaiosa (tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m/s).

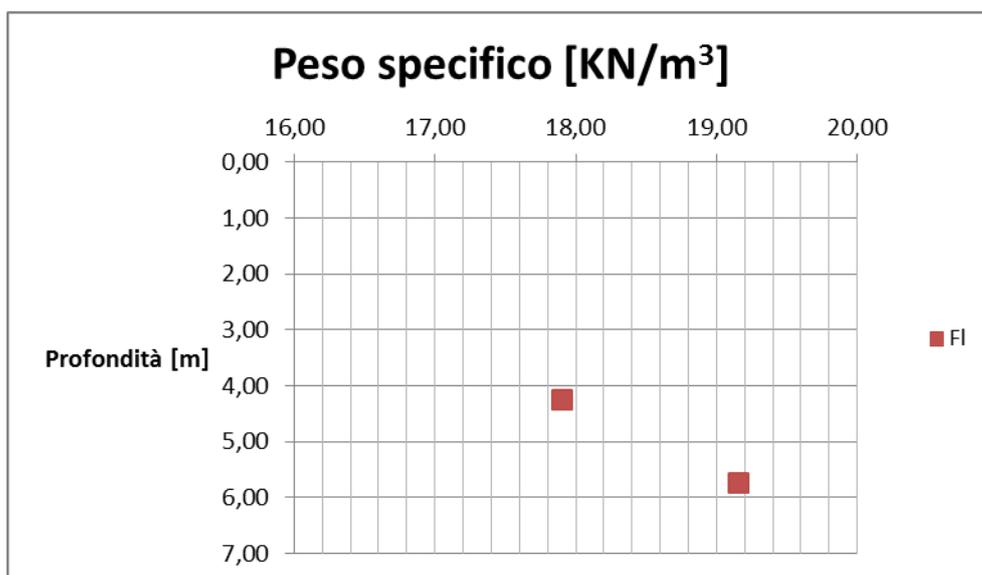


Figura 5-30: Peso specifico (f12) – Area di interesse

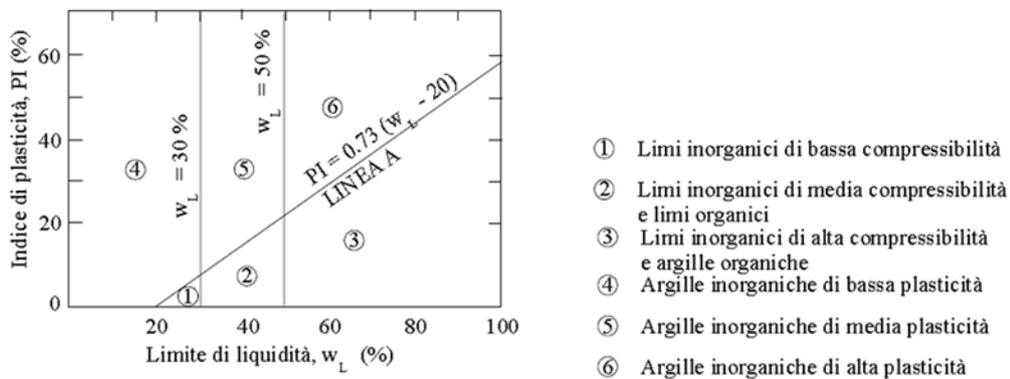
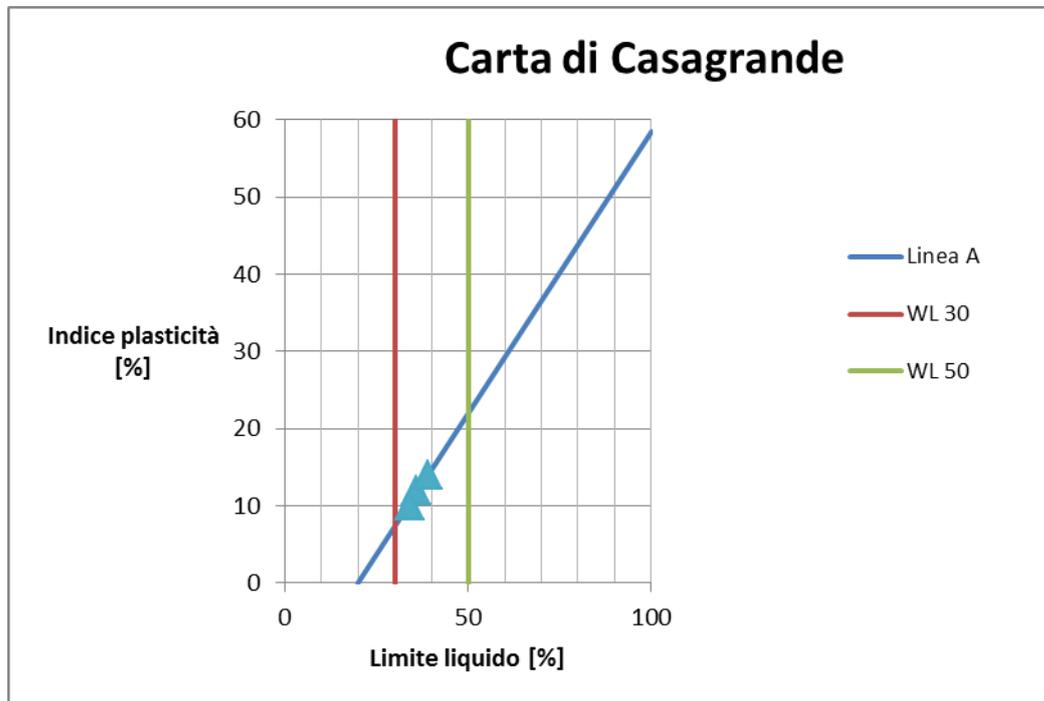
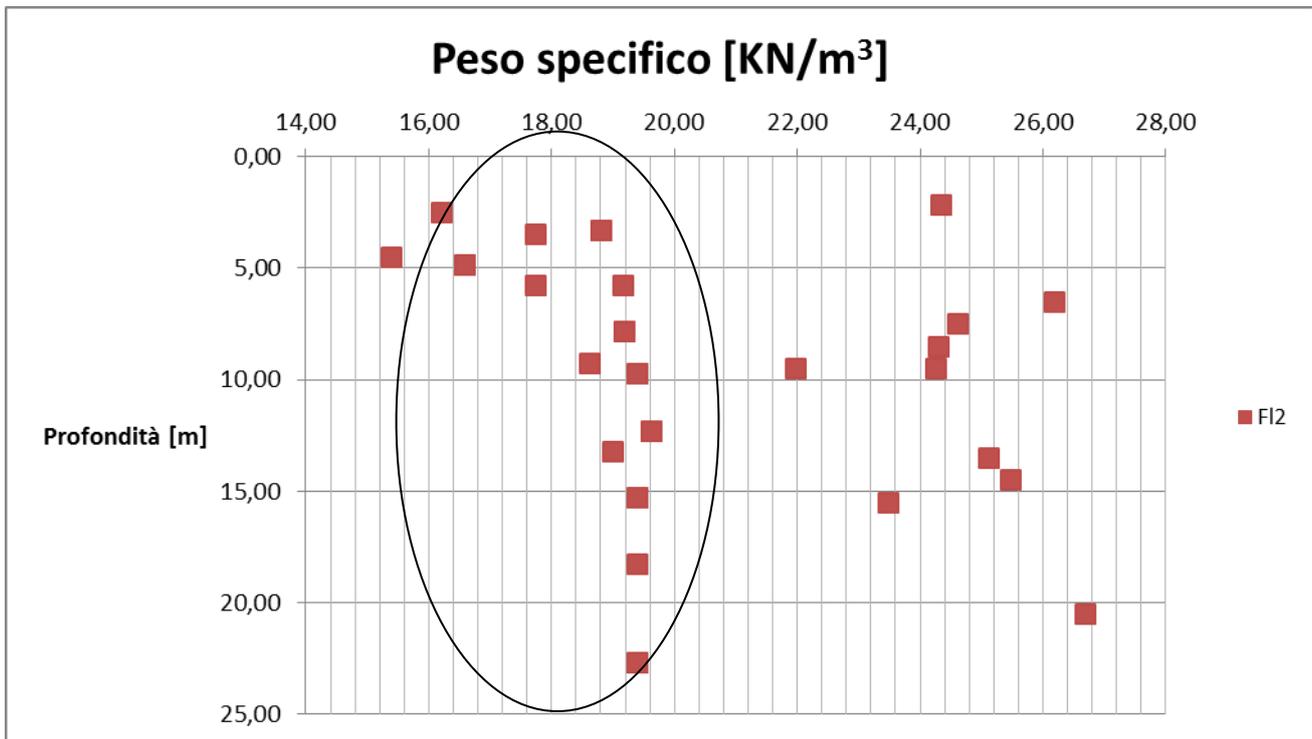


Figura 5-31: Carta di Casagrande – Area di interesse



**Figura 5-32: Peso specifico (fi2) – tutte le prove disponibili**

Gli unici valori disponibili per i depositi alluvionali nell'area in esame indicano un valore di 18-19 kN/m, valore confermato dai valori desunti dagli altri sondaggi a disposizione. Unicamente i sondaggi XA301B078, XA301B079, XA301B080 (ubicati in aree differenti da quella in esame) hanno fornito valori decisamente più elevati che non si ritengono significativi.

### Proprietà meccaniche di resistenza

Di seguito si riassumono i principali dati desunti dalle indagini, specificando se si tratta di dati desunti dall'area di interesse o di dati globali ed indicando la tipologia di prova svolta.

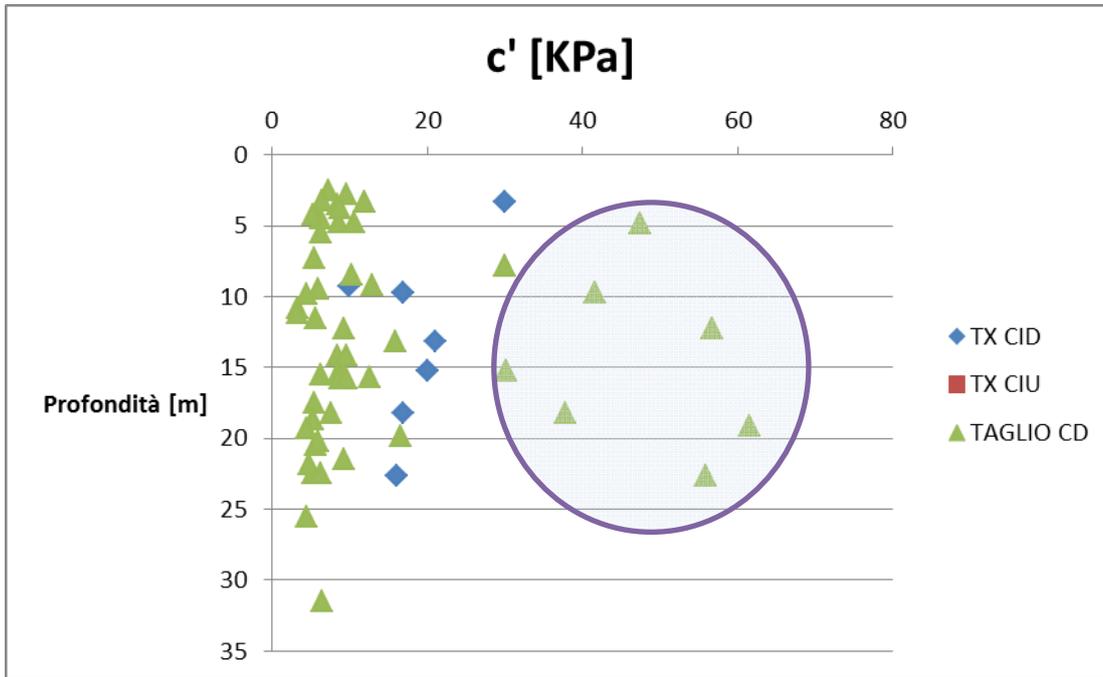


Figura 5-33: Coesione  $c'$  (F12 – tutte le prove disponibili )

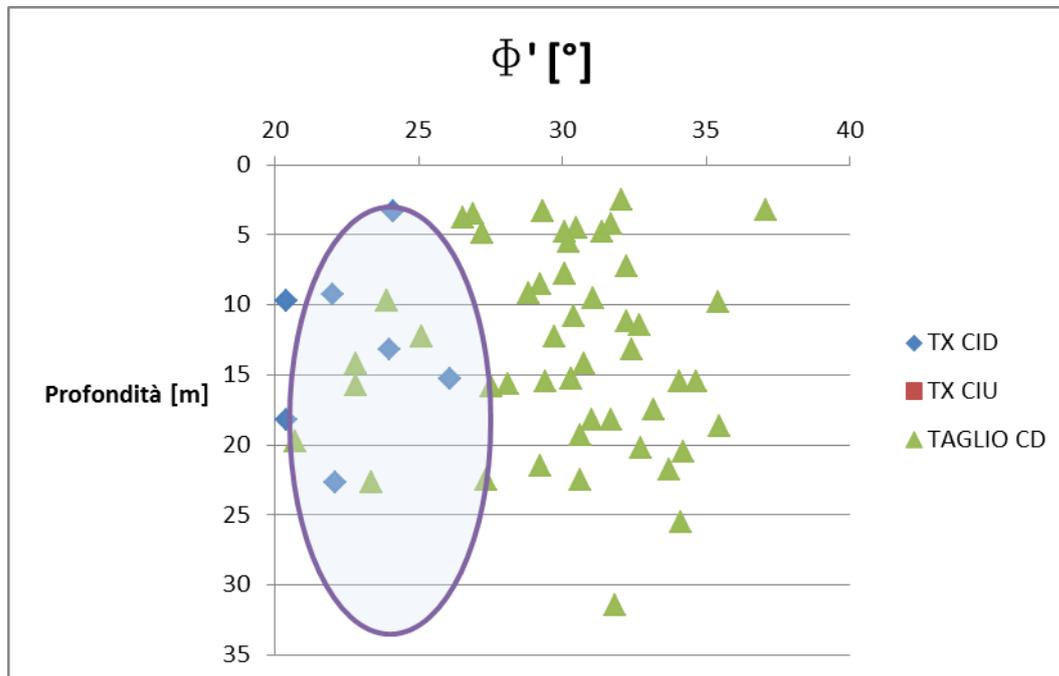


Figura 5-34: Angolo di attrito (F12 – tutte le prove disponibili )

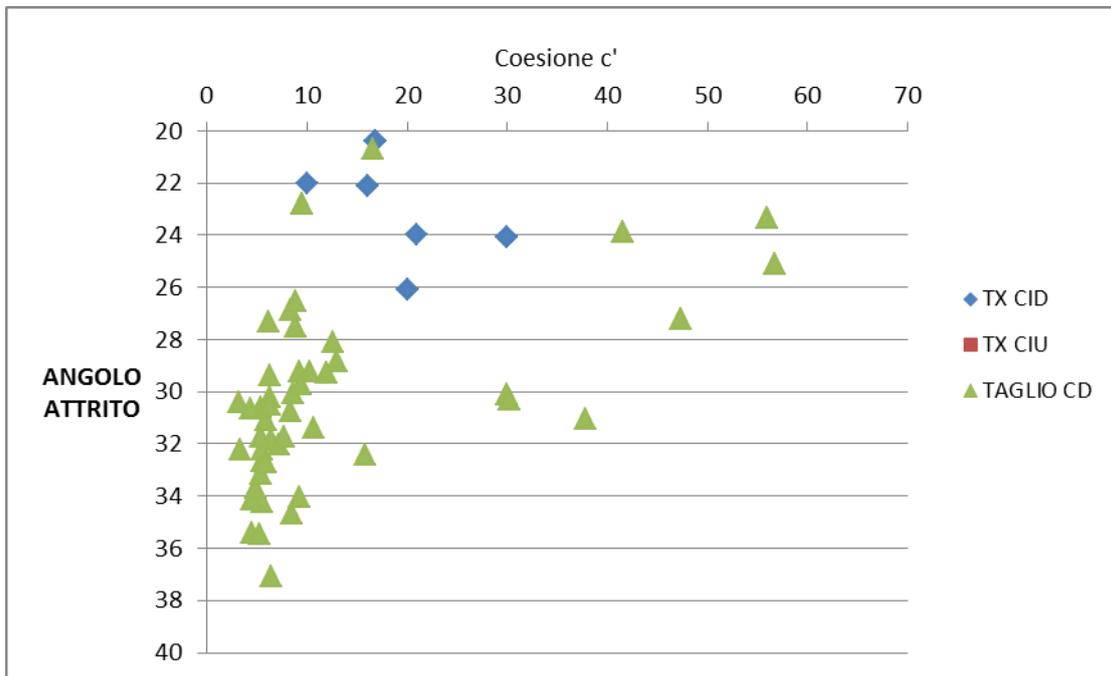


Figura 5-35: Correlazione tra angolo di attrito e coesione (F12 – tutte le prove disponibili )

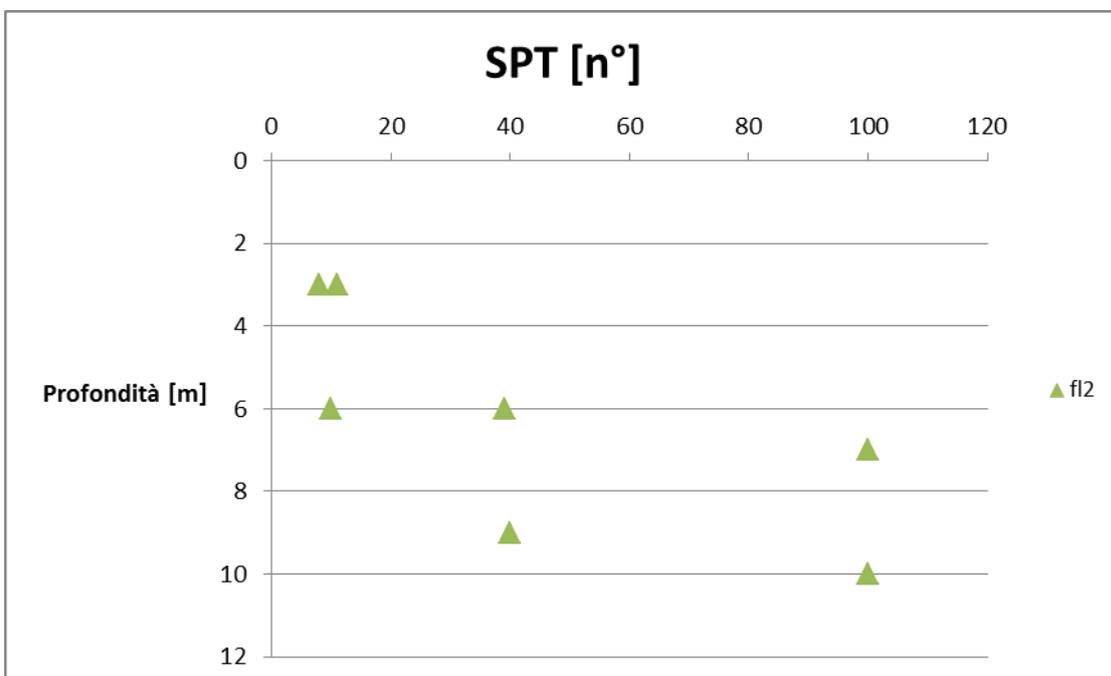


Figura 5-36: Prove SPT (f12) – Area di interesse

Si noti nuovamente come la formazione in oggetto presenti due differenti tipologie, una composta di materiale più grossolano (descrivibile come ghiaia sabbiosa) l'altra a matrice limo-sabbiosa. La seconda tipologia, indicata con un cerchio nei grafici sopra riportati, presenta coesioni più elevate ed angoli di attrito inferiori. Nell'area in esame, con riferimento a quanto presentato nel paragrafo precedente, risulta invece prevalente la tipologia a matrice più grossolana. A tale conformazione

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG5100XCVRBG0000001A00	Foglio 59 di 63

corrispondono valori di angolo d'attrito mediamente compresi tra 29-35 gradi e coesione compresa tra i 5 ed i 15 kPa. Le prove SPT mostrano un sostanziale aumento dei valori con la profondità.

### Proprietà meccaniche di deformabilità

Si sono ricavati i parametri relativi al modulo elastico nel caso depositi superficiali (f12) correlando i risultati ottenuti dalla prove SPT impiegando due differenti correlazioni:

- la formulazione di d'Apollonia (1988) relativa a sabbie e ghiaie normalconsolidate :

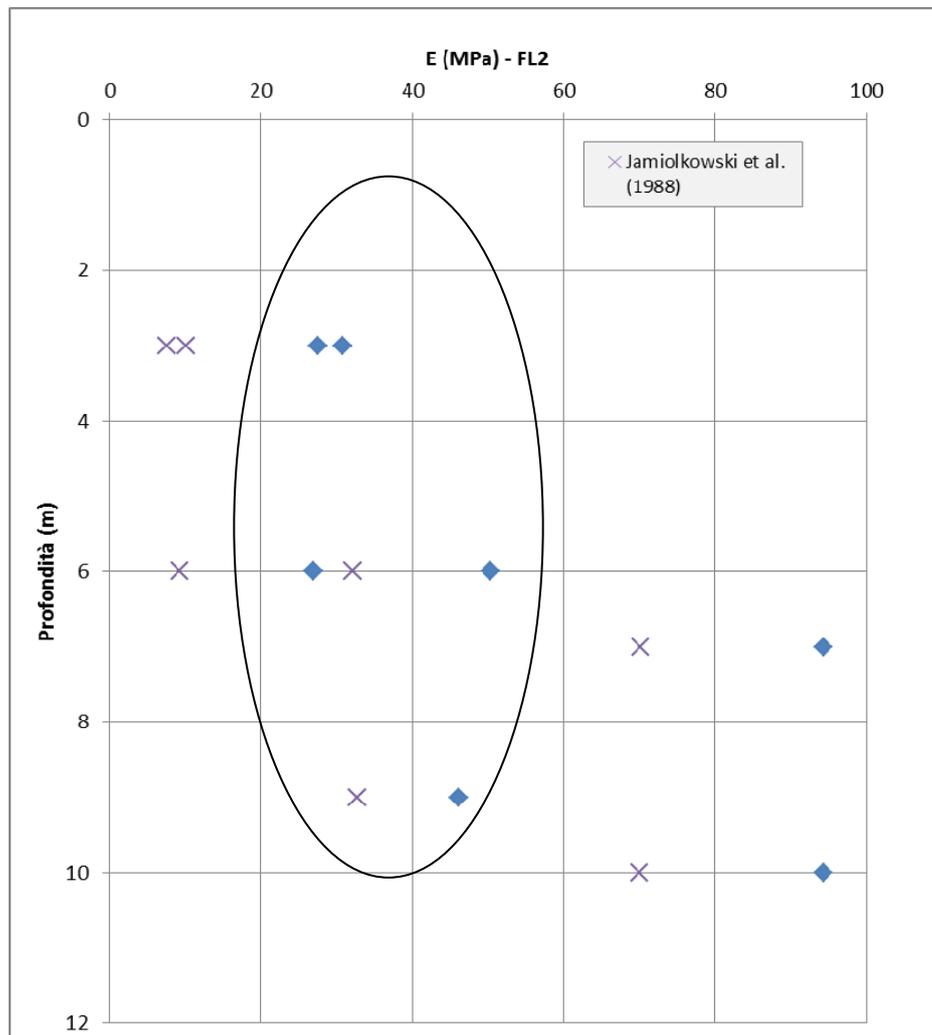
$$E = 0.756 * N_{spt} + 18.75 [MPa]$$

- la formulazione di Jamiolkowski (1970) relative a terreni normalconsolidati: #

$$E'_{25} = (10.5 - 3.5 * D_r) * N_{spt}/10 [MPa]$$

essendo:

$E_{25}'$  = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;



**Figura 5-37: Modulo elastico (fl2) – tutte le prove disponibili**

Anche in questo caso si nota un progressivo aumento del modulo elastico con la profondità: i valori più elevati (peraltro relativi al sondaggio SI48 e quindi non nella zona in esame) sono raggiunti in prossimità del contatto con il substrato e non verranno considerati. Si ritiene che i valori segnalati nel grafico siano, in funzione delle profondità e della vicinanza dei sondaggi, quelli maggiormente significati per la definizione del modulo elastico.

La parametrizzazione del modulo di deformabilità è in linea con i risultati in termini di modulo operativo  $E_{op}=E_0/10$  ricavati dalle DH e dagli stendimenti riportati al §5.2.2, con valori per i primi 10m che oscillano tra i 20 e i 60 MPa con picchi di 90 MPa).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5100XCVRBGN0000001A00 <span style="float: right;">Foglio 61 di 63</span>

### 5.5. Sintesi parametrizzazione geotecnica

Si riporta nella seguente tabella il riepilogo dei parametri fisici e meccanici derivati dalla caratterizzazione geotecnica.

Formazione		$\gamma$	$\phi$	c	$E_{op}$	k
		( $kN/m^3$ )	( $^\circ$ )	( $kPa$ )	( $Mpa$ )	( $m/s$ )
Depositi alluvionali	fL2	18÷19	29÷35	5÷15	20÷50	$10^{-5} \div 10^{-7}$
Argille di Lugagnano	aL	19.5÷20.5	21÷30	20÷100	80÷250	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Formazioni di Cassano Spinola	cC	20÷21	25÷30	10÷30	100÷200	$10^{-6} \div 10^{-10}$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p> <p>Foglio 62 di 63</p>

## 6. Bibliografia

- Allasinaz A., Gelati R., Gnaccolini M., Martinis B., Orombelli G., Pasquarè G. & Rossi P.M. (1971) – Note illustrative e Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, foglio 82, Genova. Nuova tecnica Grafica, roma, pp134.
- Barla (1995) – “Tunnelling under squeezing rock conditions”, International Society for rock mechanics, ISRM
- Boni A. & Casnedi R. (1970) – Note illustrative e Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, fogli 69, Asti e 70, Alessandria. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Na), pp. 64.
- Capponi, G., Cortesogno, L., Crispini, L., Gaggero, L., Bonci, M.C., Perilli, N., Piazza, M., Vannucci, G., Firpo, M., Piccazzo, M., Pacciani, G. & Ramella, A. (2007) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 213-230 “Genova”. S.EL.CA. Firenze.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 – Genova.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) – Carta Geologica della zona Sestri – Voltaggio. – Mem. Soc. Geol. It.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) – Note illustrative alla carta Geologica della zona Sestri – Voltaggio. – Mem. Soc. Geol. It., Geol. It., 1984 (28).
- Hoek – Marinos (2005)- Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses - 2005
- Italferr (2001) – Progetto Preliminare. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- Italferr (2005) – Progetto Definitivo. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- Marini M. (1997) – Carta Geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25000.
- Marini M. (1998) – Carta Geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25000. Note illustrative. – Atti Tic. Sc. Terra, vol.40.
- Ministero dell’Ambiente, Servizio Valutazione Impatto Ambientale – Richiesta integrazione A.C. Genova-Milano. Protocollo N°10784/VIA/A.O/13.G,Roma, 5 Settembre 2000.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) – Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.
- Provincia di Genova (1998) – Area 06: Difesa del suolo, Opere Ambientali e Piano di Bacino – Torrente Chiaravagna e Torrente Polcevera. Piano di bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive.Consultabile su: <http://cartogis.provincia.genova.it/cartogis/pdb/>.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>CODIV</b> Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG5100XCVRBGN0000001A00</p>	<p>Foglio 63 di 63</p>

- Soc. Geol.It. (1991) – Alpi Liguri. Collana Guide Geologiche Regionali vol.2 – BE.MA.