

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 DEFINITIVO

**INTERCONNESSIONE DI NOVI LIGURE ALTERNATIVA ALLO SHUNT
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio Cociv Ing. E. Pagani		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R B	G N 0 0 0 0	0 0 1	C

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	25/08/2014	Rocksoil 	27/08/2014	A. Palomba 	29/08/20134	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B01	Revisione generale	Rocksoil 	20/04/2015	Rocksoil 	22/04/2015	A. Palomba 	24/04/2015	
C00	Revisione per istruttoria	Rocksoil 	22/07/2015	Rocksoil 	24/07/2015	A. Mancarella 	28/07/2015	

n. Elab.:	File: A3010XDCVRGBN0000001C00
-----------	-------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p>	<p>Foglio 3 di 78</p>

INDICE

INDICE.....	3
1. PREMESSA.....	5
2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO	6
2.1. Documentazione di riferimento.....	6
2.2. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento	6
3. INQUADRAMENTO GENERALE.....	8
3.1. Inquadramento dell'opera	8
3.2. Inquadramento geologico e geomorfologico	11
3.3. Inquadramento idrogeologico	17
3.4. Sintesi geologica e idrogeologica lungo il tracciato.....	19
4. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA ...	26
4.1. Note generali	26
4.2. Materiali a grana medio-fine (sabbie localmente ghiaiose in matrice limosa).....	26
4.2.1. Introduzione	26
4.2.2. Determinazione della densità relativa D_r da prove SPT	27
4.2.3. Angolo di resistenza al taglio.....	29
4.2.4. Caratteristiche di deformabilità	29
4.3. Materiali a grana fine (limi e argille) saturi.....	32
4.3.1. Introduzione	32
4.3.2. Resistenza al taglio non drenata	33
4.3.3. Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci.....	33
4.3.4. Caratteristiche di deformabilità	33
4.3.5. Coefficienti di permeabilità e di consolidazione primaria	35
4.3.6. Coefficienti di consolidazione primaria e secondaria	36
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA	37
5.1. Introduzione	37
5.2. Indagini geotecniche.....	37
5.3. Argille di Lugagnano (aL).....	39
5.3.1. Note introduttive	39
5.3.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica	39
5.4. Formazione di Cassano Spinola (cC).....	61
5.4.1. Note introduttive	61
5.4.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica	61
5.5. Depositi fluviali medi (fl2).....	68
5.5.1. Note generali	68
5.5.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica	68
5.6. Sintesi parametrizzazione geotecnica	76
6. BIBLIOGRAFIA	77

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVRBGN0000001B01

Foglio
4 di 78

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 5 di 78

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione geomeccanica/geotecnica delle formazioni geologiche attraversate dalle opere relative all'interconnessione tra la Linea AV/AC del Terzo Valico e la Linea storica Torino-Genova.

In particolare mediante la realizzazione di due cameroni, due gallerie naturali e due gallerie artificiali, il piano del ferro verrà portato da profondità di circa 30m (P.F. della linea Serravalle) a pochi metri dal piano campagna; continuando a cielo aperto, in trincee tra diaframmi e muri e in trincee naturali, e infine fuori terra su rilevati, avverrà il collegamento con la linea storica.

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.

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 78</p>

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°97/8 1.
- 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>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p>Foglio 7 di 78</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”.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 78</p>

3. INQUADRAMENTO GENERALE

3.1. Inquadramento dell'opera

Nel progetto dell'interconnessione tra la Linea AV/AC del Terzo Valico e la Linea storica Torino-Genova sono previste le seguenti opere strutturali sotterranee:

Binario Pari:

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

Trincea tra diaframmi: pk 1+491.50÷1+825.00 IP

Trincea naturale: pk 1+825.00÷2+050.00 IP

Rilevato: pk 2+050.00 ÷2+353.00 IP

Binario Dispari:

Camerone: pk 33+471.63÷33+823.63 BD

Pozzo di accesso: pk 33+688.00 BD

Galleria naturale: pk 0+349.00÷1+074.00 ID

Galleria artificiale: pk 1+074.00÷1+362.00 ID

Trincea tra diaframmi: pk 1+362.00÷1+589.00 ID

Trincea tra muri a U: pk 1+589.00÷1+734.00 ID

Trincea naturale: pk 1+734.00÷1+859.00IP

Rilevato: pk 1+859.00 IP ÷2+741.00 IP

By-pass e cabine tecniche

Cabina TE – pk BP 33+112.00

By-pass – pk BP 33+180.45

By-pass – pk BP 33+413.00

By-pass – pk BP 33+564.00

By-pass – pk BP 34+064.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 9 di 78

I cameroni sono costituiti da una serie di quattro sezioni allargate innestate a “cannocchiale”, di sviluppo totale pari a 340 m e 352 m (compresi i pozzi), rispettivamente per il camerone pari e dispari.

Per entrambi i cameroni, realizzati mediante scavo in tradizionale, è previsto l’accesso tramite un pozzo circolare. I due pozzi verranno scavati tra diaframmi realizzati mediante idrofresa.

L’ubicazione dei pozzi 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 dai cameroni lato Milano verrà realizzato lo sdoppiamento delle canne: la galleria di linea proseguirà mediante scavo meccanizzato mentre lo sfiocco di interconnessione è previsto in galleria naturale scavata in tradizionale. Le due gallerie hanno lunghezze pari a 993m e 725m, rispettivamente per il tratto di interconnessione pari e dispari.

Dal lato Milano le gallerie naturali avranno 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.

Nello sviluppo di circa 300 m di galleria artificiale del binario dispari (GAVA) sono previste due tratte di lunghezza 40m e 30m in trincea naturale, con scavi a cielo aperto; l’assenza dei diaframmi e la presenza di uno strato drenante al di sotto dello scatolare in c.a. faranno in modo da mantenere un collegamento nell’acquifero “tagliato” dalla galleria ed evitare o limitare un eventuale “effetto diga” dell’opera per il naturale flusso superficiale delle acque. Come riportato nella specifica Relazione Idrogeologica (A3010XDCVROGE0000001), il modello idrogeologico di riferimento generale prevede un substrato prequaternario costituito dalle formazioni aL e cC, caratterizzato da bassissima permeabilità, al di fuori delle zone di faglia maggiori, sormontato da un acquifero di spessore metrico-decamentrico, rappresentato principalmente dal complesso dei depositi alluvionali medi, a permeabilità medio-alta, saturi nella porzione basale e caratterizzati da oscillazioni stagionali del livello di falda. All’interno dell’acquifero quaternario sono state ipotizzate direzioni di flusso principali con direzione da SE a NW, che costituiscono il drenaggio maggiore dell’acquifero, coerente con il drenaggio dell’acquifero alla scala del conoide del T. Scrivia (cfr. Figura 3-2).

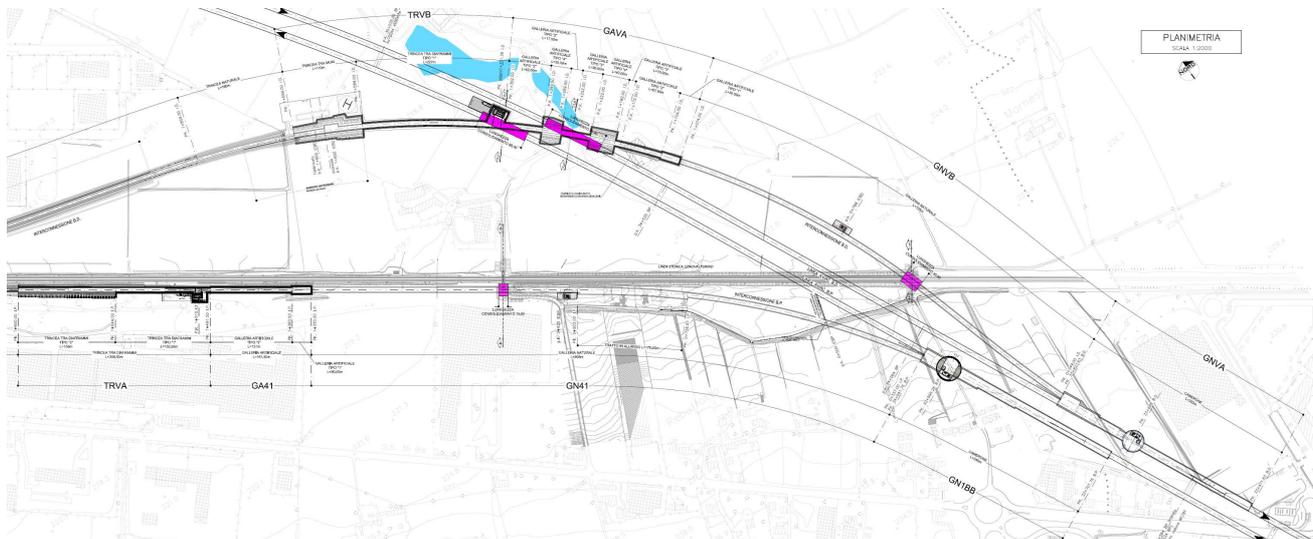


Figura 3-1. Stralcio planimetrico delle opere di interconnessione

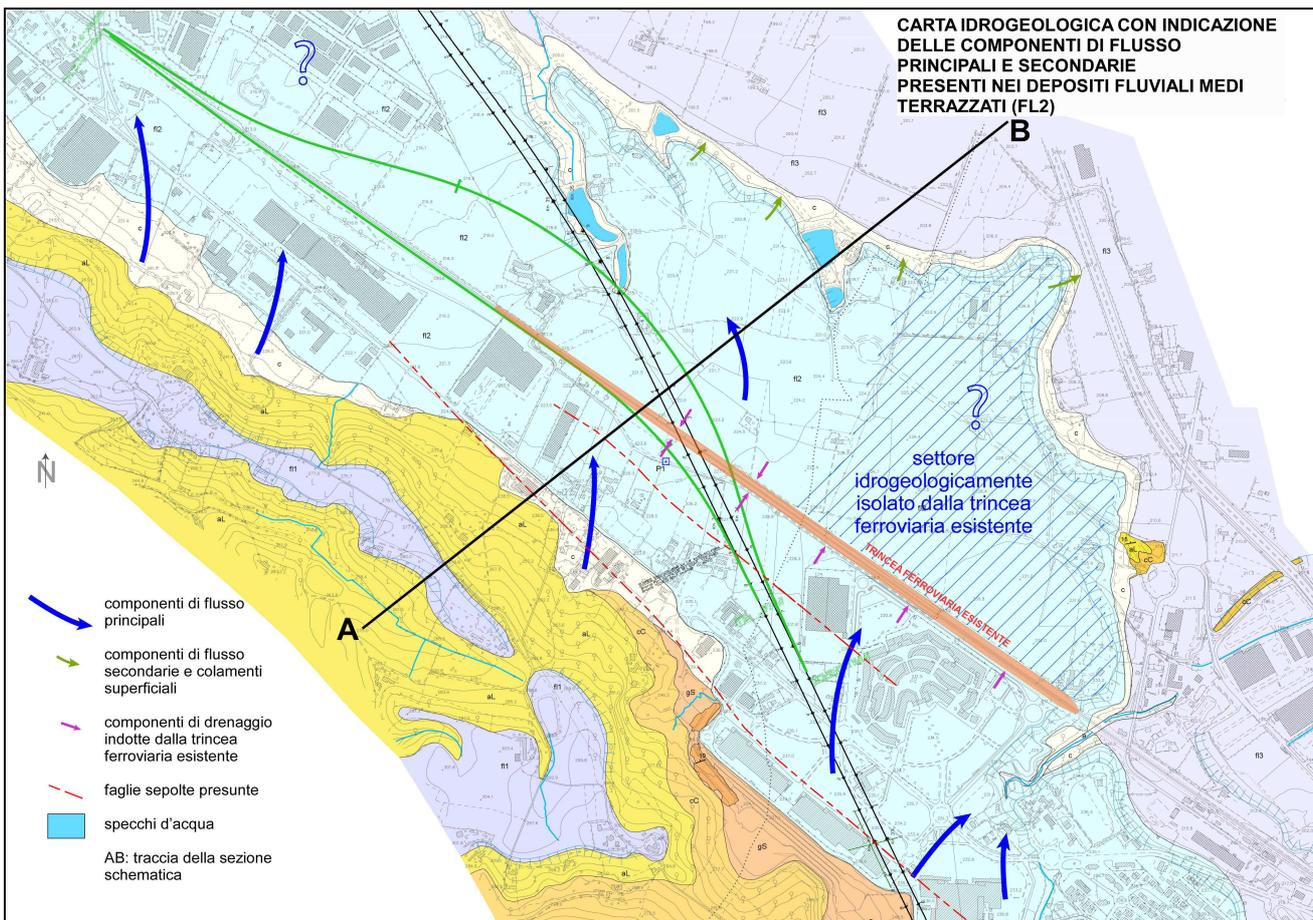


Figura 3-2. Stralcio della carta idrogeologica con indicazione delle componenti di flusso principali

Nel tratto finale di entrambi i binari è prevista la realizzazione di un tratto in trincea ed infine su rilevato.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 <div style="float: right;">Foglio 11 di 78</div>

In particolare, per evitare aree di scavo troppo estese, parte delle trincee è scavata tra diaframmi. In particolare nel binario pari la realizzazione dei diaframmi arriverà a protezione di scavi di profondità modeste per limitare al massimo l'interferenza con la vicina linea storica. Inoltre, per evitare un effetto dreno della galleria a lungo termine generato da trincee naturali sotto falda, verranno realizzati strutture a U impermeabili fino alla pk definita in precedenza. Per ulteriori informazioni sulle opere si rimanda agli elaborati di planimetrie generali e le relazioni di calcolo specifiche.

3.2. Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area di indagine si colloca sulla piana alluvionale terrazzata situata in sponda sinistra idrografica del Torrente Scriva, tra gli abitati di Serravalle Scrivia e Novi Ligure; si tratta di un settore posto in corrispondenza dello sbocco della Valle Scrivia sull'apice del vasto conoide alluvionale che forma la pianura tra Serravalle, Novi, Frugarolo, Castelnuovo Scrivia e Tortona, delimitata, a E e a N, dal corso dei fiumi Orba, Bormida, Tanaro e Po e a E dal corso del T. Grue.

Il terrazzo su cui si sviluppano le opere in progetto è impostato nei depositi alluvionali del Fluviale Medio (fl2) e si estende con andamento SE-NW tra 230m e 218m di quota, con una larghezza, nel tratto interessato dalle opere, compresa tra 1000 e 1200 m; il gradiente morfologico medio è di circa 4.5‰ in senso longitudinale (SE-NW), con drenaggio superficiale diretto dalla base del versante collinare sinistro della Valle Scrivia verso NE.

A livello locale quindi, la morfologia è controllata:

- dalla presenza al piede del versante collinare di piccoli conoidi alluvionali, di pertinenza del reticolato idrografico secondario, che sfociano sul terrazzo principale, nonché di sottili accumuli di detrito di versante che raccordano il pendio alla piana alluvionale;
- dalla presenza di alcune linee di drenaggio trasversali rispetto all'asse vallivo;
- da vistosi interventi di riassetto territoriale connessi con interventi di urbanizzazione, in articolare tra la linea ferroviaria attuale e il versante collinare, dove sono presenti diversi insediamenti industriali, in corrispondenza dell'allacciamento tra le interconnessioni e la prevista linea di valico, dove si trova il centro commerciale di Serravalle e all'estremo opposto, dove inizia la periferia di Novi Ligure.

È da segnalare la presenza sul terrazzo in esame di diversi specchi d'acqua che colmano alcune depressioni morfologiche e che danno un'indicazione di quanto possa essere localmente superficiale la falda ospitata nelle alluvioni. In particolare, presso C.na Moffa sono presenti, come precedentemente accennato, due laghetti che occupano il fondo di un'incisione di origine fluviale

La zona interessata dall'opera in progetto ricade in parte nelle unità sommitali del Bacino Terziario Piemontese (BTP) e in parte all'interno dei sovrastanti depositi post-messiniani, sormontati a loro volta dai depositi alluvionali pleistocenico-olocenici del bacino di Alessandria, rappresentati in questo settore dai depositi del T. Scrivia.

In particolare, il tratto di linea oggetto del presente rapporto attraversa il termine basale della successione pliocenica, rappresentato dalle Argille di Lugagnano/Argille Azzurre (aL), poggianti sull'unità dei Conglomerati di Cassano Spinola del Gruppo della Gessoso-Solfifera (BTP). Le Argille

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 12 di 78

Azzurre sono sormontate dai depositi alluvionali quaternari del bacino del T. Scivia riferibili al Fluviale Medio (f12).

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.

In particolare, i depositi fluviali medi (f12) sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose debolmente argillose. Solo localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt-argillosi. Lo spessore complessivo dei depositi fluviali medi varia da 1-2 metri a 10-15 metri circa. La superficie di appoggio basale, di natura erosiva, è modellata sul substrato costituito dalle successioni post-messiniane (Argille di Lugagnano).

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.

I Conglomerati di Cassano Spinola (cC) è costituita 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 e talora risultano amalgamati.

Per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni specifiche.

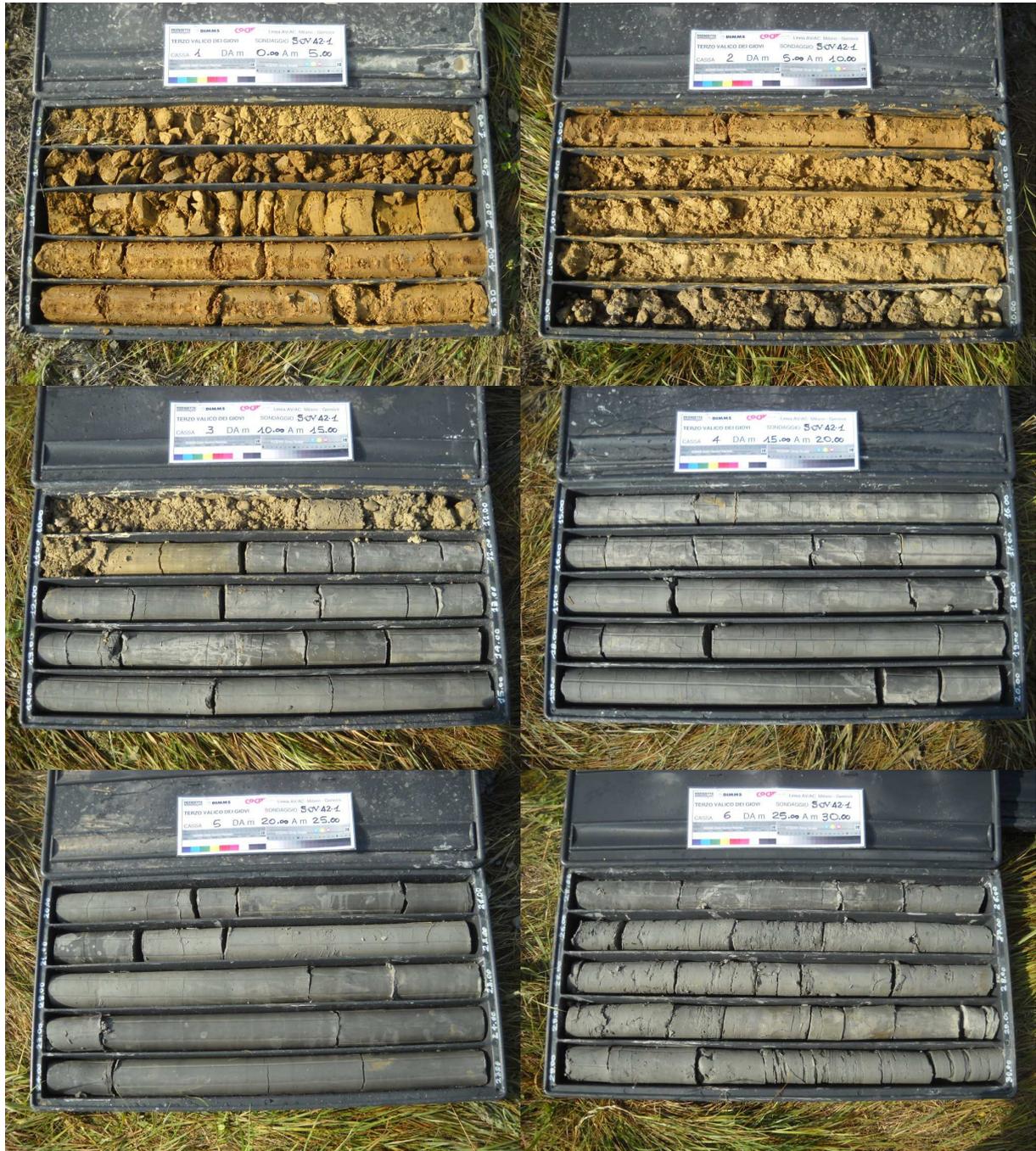


Figura 3-3. Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità fl2 e aL.



Figura 3-4. Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità aL.

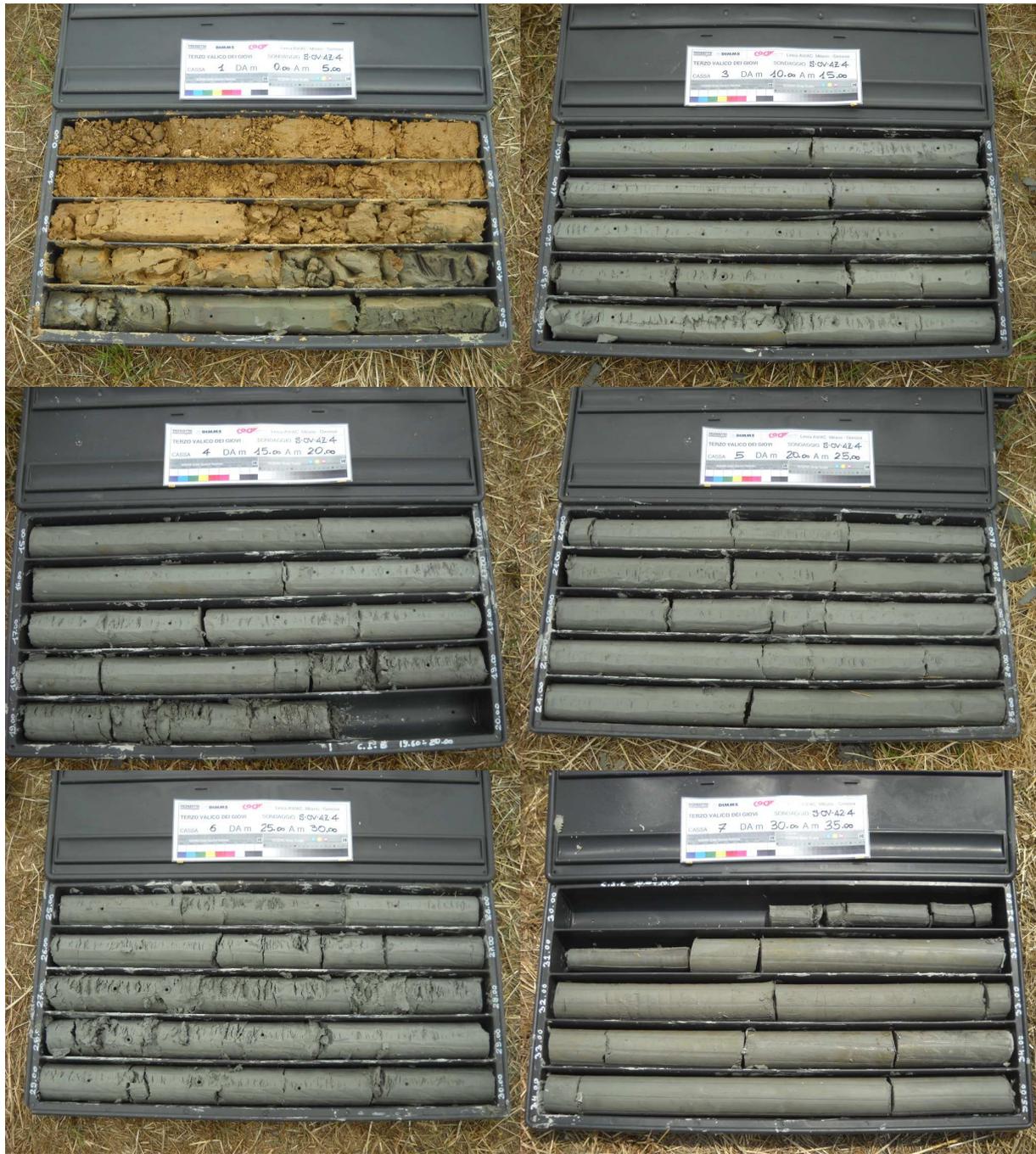


Figura 3-5:. Sondaggio S0V42-4, dettaglio dell'unità fl2 e aL.



Figura 3-6.: Sondaggio S0V42-1, dettaglio dell'unità aL.



Figura 3-7. Sondaggio L3S13, passaggio dalla formazione delle aL ai cC.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01
	Foglio 17 di 78

3.3. Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade l'Interconnessione di Novi Ligure è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o molto poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano che nella parte più profonda dell'opera poggia sulla formazione dei conglomerati di Cassano Spinola. I depositi sono di tipo fluviale medio (fl2) e sono costituiti da ghiaie sabbioso-limose con percentuali variabili di matrice fine.

I depositi di tipo fluviale medio sono caratterizzati da un grado di cementazione variabile e la cui permeabilità è principalmente legata alla porosità primaria del deposito.

I test idraulici eseguiti (Figura 3-8), mettono in evidenza valori di conducibilità idraulica piuttosto dispersi, compresi in media tra 1×10^{-5} e 1×10^{-7} m/s; localmente si potrebbero riscontrare conducibilità maggiori (fino a 1×10^{-3} m/s) o minori (fino a 1×10^{-8} m/s) a seconda della presenza di strati differenziabili in relazione a diverse percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla. Un valore medio rappresentativo di fl2 è rappresentato da 5×10^{-5} m/s.

La stratigrafia di questi sedimenti, nota sulla base dei sondaggi eseguiti, evidenzia una successione di orizzonti a composizione limoso-argillosa che possono causare locali effetti di compartimentazione in senso verticale dell'acquifero.

Per quanto riguarda la conducibilità idraulica delle Argille di Lugagnano, i test idraulici eseguiti mostrano valori prevalenti, fuori dalle zone di faglia, compresi tra 1×10^{-8} a 1×10^{-10} m/s. Un valore medio di riferimento è pari 1×10^{-8} m/s.

Nei conglomerati di Cassano Spinola i dati da test idraulici eseguiti in foro disponibili sono pochi (Figura 3-10). Essi mettono in evidenza una conducibilità idraulica dell'ordine di 1×10^{-8} - 1×10^{-9} m/s; cautelativamente si è comunque ipotizzato che si possano raggiungere valori fino a 1×10^{-6} m/s, vista la possibile presenza di livelli poco cementati.

Per le zone di faglia la conducibilità idraulica è stata stimata nell'intervallo 1×10^{-6} / 1×10^{-9} m/s. Si può ipotizzare che lungo le faglie del complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto compartimentante per la presenza più o meno continua di prodotti di frizione tettonica con granulometria fine.

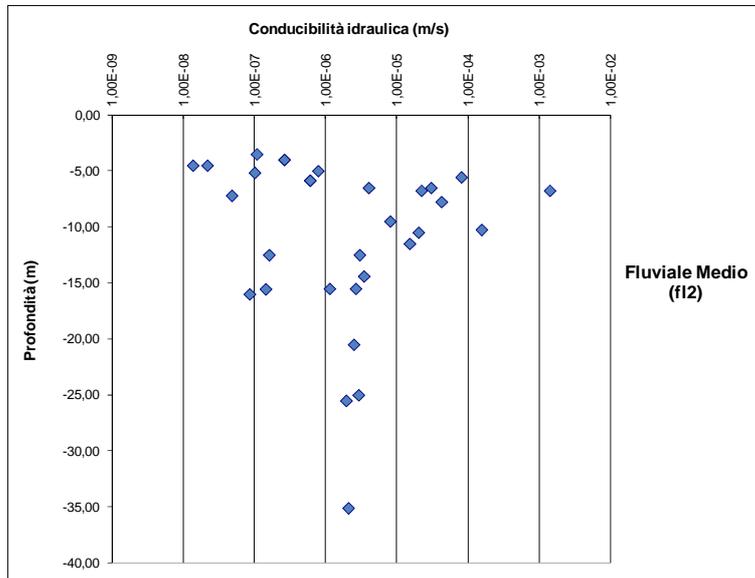


Figura 3-8 - Grafico delle conducibilità idrauliche per i depositi alluvionali medi (f12)

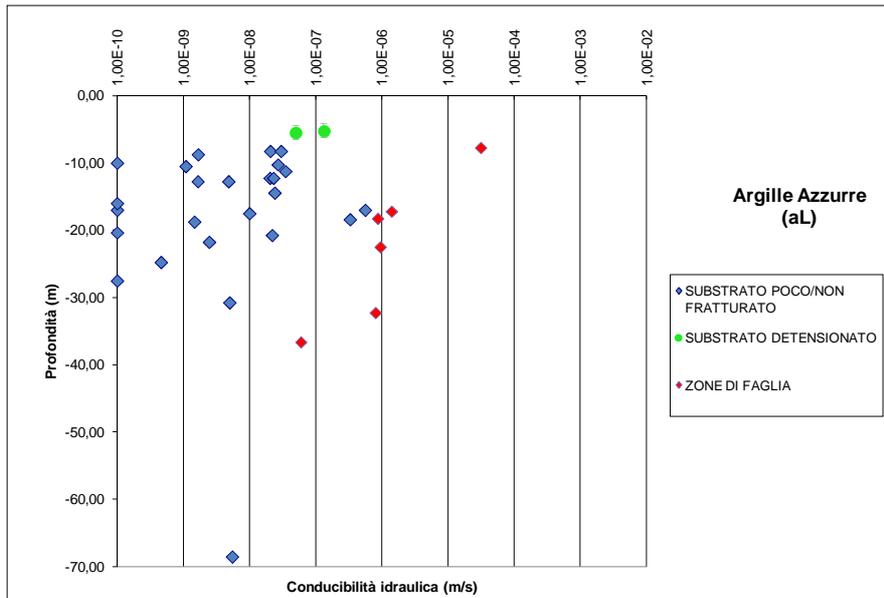


Figura 3-9. Grafico delle conducibilità idrauliche per le Argille Azzurre

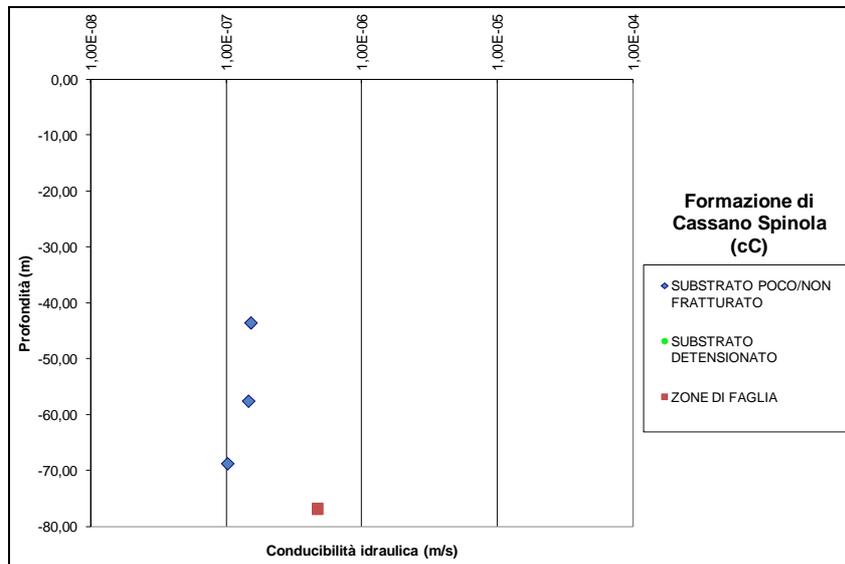


Figura 3-10 - Grafico delle conducibilità idrauliche per la formazione di Cassano Spinola

Per un maggiore dettaglio sulle ricostruzioni idrogeologiche e le condizioni di falda attese si rimanda alle specifiche relazioni.

3.4. Sintesi geologica e idrogeologica lungo il tracciato

Di seguito viene presentata in maniera schematica una breve descrizione dell'assetto geologico e idrogeologico atteso per tratte omogenee lungo il tracciato dell'Interconnessione Novi Ligure, per il Binario Pari e per il Binario Dispari. Poiché le condizioni geologiche si ripropongono in maniera quasi identica, la descrizione che segue è univoca mentre variano solo le progressive di progetto a cui possono essere incontrati i diversi passaggi.

Dove necessario, vengono aggiunti dettagli inerenti l'uno o l'altro tracciato di interconnessione.

In particolare per quanto riguarda l'interferenza degli scavi a cielo aperto in terreni sotto falda e gli effetti dovuti alla scelta delle tipologie di opere adottate sul bacino circostante, si rimanda alla relazione idrogeologica e alle relazioni di calcolo delle specifiche opere.

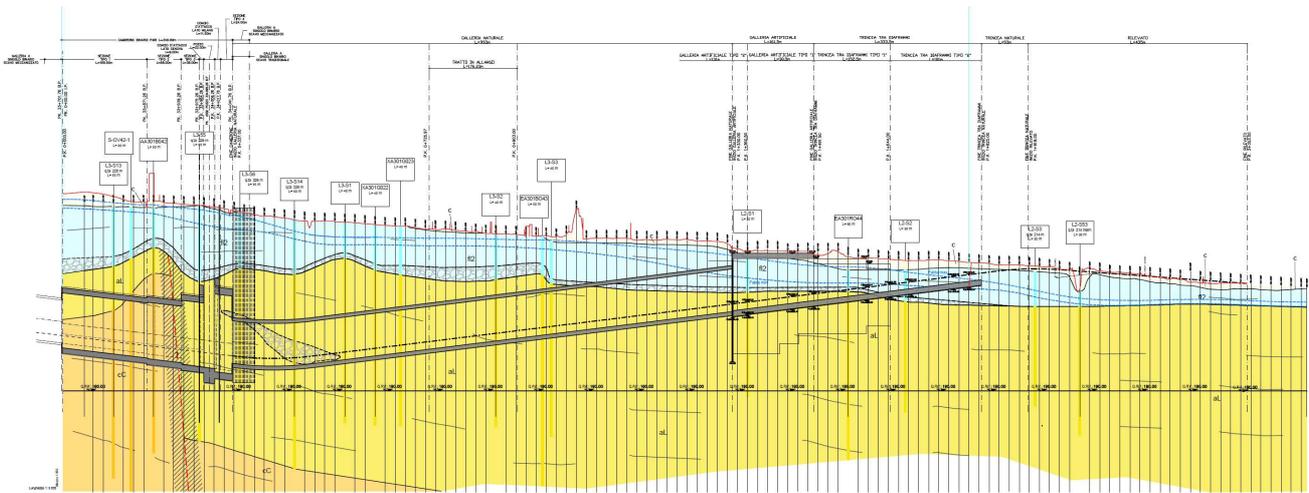


Figura 3-11. Stralcio del profilo geologico del binario Pari delle opere di Interconnessione

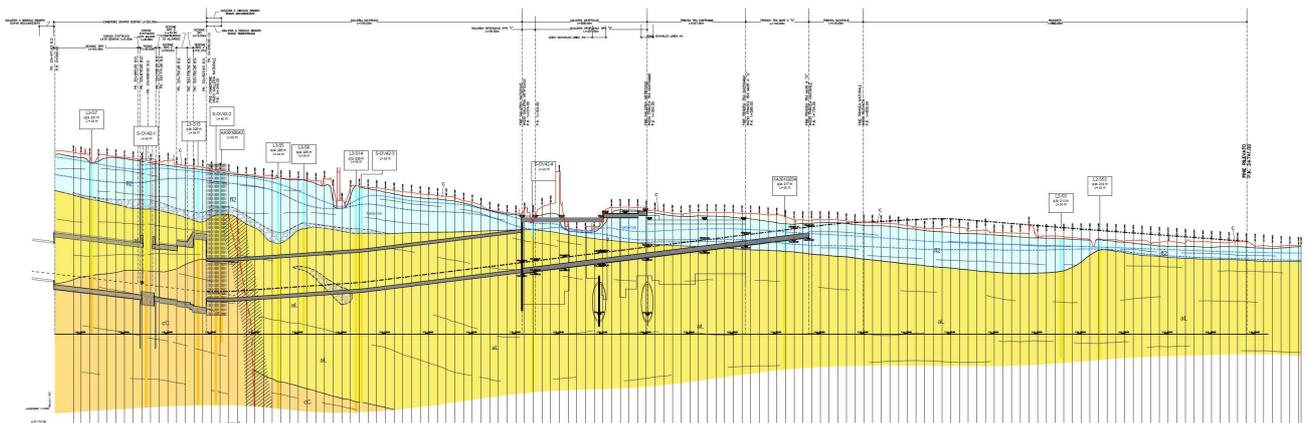


Figura 3-12. Stralcio del profilo geologico del binario dispari delle opere di Interconnessione

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 (coltre detritico-colluviale).

UNITÀ PLEISTOCENICO-OLOCENICHE DISTINTE IN BASE AL BACINO DI PERTINENZA

Bacino del T. Scrvia

DEPOSITI FLUVIALI RECENTI (Pleistocene superiore?-Olocene)

DEPOSITI FLUVIALI MEDI (Pleistocene medio-superiore?)

fi2 Ghiaie sabbioso-limose debolmente argilose. La matrice fine, siltoso-arenacea è mediamente alterata. Localmente sono presenti livelli metrici di argille e silt argillosi. I depositi fluviali medi (fi2) 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 marne calcaree di colore beige o grigio-azzurro passanti verso l'alto a marne siltoso-argillose.

SUCCESSIONI SEDIMENTARIE DEL BACINO TERZIARIO PIEMONTESE (Rupelliano-Messiniano)

FORMAZIONE DI CASSANO SPINOLA (Messiniano)

cC Alternanze arenaceo-peltilche 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
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 22 di 78

Tipologia scavo	Descrizione	pk	
		BP	BD
Scavo in tradizionale – tratto in Camerone e in Galleria Naturale	<ul style="list-style-type: none"> - Tra la pk 0+000-0+200 del BP e la 0+000-0+430 del BD è previsto un assetto geologico misto, con le Argille di Lugagnano (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>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 di disturbo 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 pre-quadernario. Questo potrebbe indurre deformazioni e subsidenze a livello della superficie, se non opportunamente gestite durante le fasi di scavo mediante interventi di consolidamento (cfr. Relazione di calcolo delle opere).</p> - Tra la pk 0+200-0+250 del BP e la 0+430-0+450 del BD, è probabilmente presente 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. - Tra la pk 0+250-0+1040 del BP e la 0+450-1+060 del BD è previsto l'attraversamento da parte dell'opera delle Argille di Lugagnano. Localmente, all'interno delle aL possono essere presenti livelli ghiaiosi con geometria lenticolare. Non sono previste discontinuità strutturali significative, che 	da 0+000 a 1+330	da 0+000 a 1+074

peraltro all'interno delle successioni argillose e argilloso-siltose non avrebbero probabilmente un ruolo idrogeologico molto marcato.

Dal punto di vista del comportamento geomeccanico è prevedibile che lo sviluppo della zona di disturbo 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, se non opportunamente gestite durante le fasi di scavo mediante interventi di consolidamento (cfr. Relazione di calcolo delle opere).

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, se non opportunamente gestite durante le fasi di scavo mediante interventi di consolidamento.

- Tra la pk 0+1040-1+330 del BP e la 1+060-1+704 del BD è prevista la presenza di una sezione di scavo mista, con le Argille 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.

Il passaggio stratigrafico tra le Argille Azzurre e i depositi alluvionali è caratterizzato da una superficie erosionale piana, con possibili locali ondulazioni (paleovalvei sepolti).

Non sono previste discontinuità strutturali significative, che peraltro all'interno delle argille non avrebbero probabilmente un ruolo idrogeologico molto marcato.

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



A3010XDCVRBGN0000001B01

Foglio
24 di 78

prevedibili venute d'acqua dai depositi alluvionali saturi.

Lo strato di alluvioni non contribuisce efficacemente al sostegno dello scavo, trattandosi per lo più di depositi sciolti, solo localmente cementati.

Dal punto di vista del comportamento geotecnico/geomeccanico, sono prevedibili deformazioni e subsidenze a livello della superficie, anche indotte da sovrascavo nei depositi sciolti, se non opportunamente gestite durante le fasi di scavo mediante interventi di consolidamento.

<p>Scavo tra diaframmi</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tra la pk 1+330-1+825 del BP e la 1+704-1+699 del BD è previsto uno scavo tra diaframmi. Dal punto di vista del comportamento geotecnico/ geomeccanico, durante lo scavo è possibile che si verifichino deformazioni e subsidenze a livello della superficie, anche indotte da sovrascavo nei depositi sciolti. Gli interventi di consolidamento/sostegno necessari per il contenimento di tali fenomeni sono debitamente tenuti in conto nella progettazione delle opere e gestiti se necessario mediante opportuni interventi di consolidamento/sostegno – cfr. Relazione di calcolo opere strutturali. <p>Dal punto di vista idrogeologico, sono prevedibili venute d'acqua in corrispondenza al fronte di scavo mentre, lateralmente, i diaframmi impediscono afflussi dalla falda. Le previsioni in merito alle venute d'acqua al fronte di scavo sono riportate nella "Relazione sul modello numerico di flusso dell'interconnessione di Novi Ligure".</p> <p>Tra la pk 1+644 e 1+825 del BP (trincea tra diaframmi di "Tipo 2") e la pk 1+269.5-1+299.5 e la 1+182-1+222 (galleria artificiale di "Tipo 4" e la pk 1+589 e 1+734 (trincea tra muri), lo scavo può interessare anche uno drenaggio temporaneo della falda, indotto dall'aggottamento della falda necessario per la realizzazione delle opere. Le previsioni in merito alle portate di aggottamento e agli abbassamenti di livello piezometrico che si producono in seguito a tali portate sono riportate nella "Relazione sul modello numerico di flusso dell'interconnessione di Novi Ligure". In tale relazione vengono inoltre discussi i possibili impatti indotti dall'abbassamento piezometrico sui pozzi limitrofi all'opera.</p>	<p>da 1+330 a 1+800</p>	<p>da 1+074 a 1+859</p>
<p>Scavo a cielo aperto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - In questa tratta l'opera esce progressivamente all'aperto, andando ad appoggiare al di sopra dei depositi alluvionali riferibili al terrazzo fluviale del T. Scrivia (Fluviale Medio, fl2), parzialmente consolidati e ricoperti da uno strato superficiale detritico-colluviale localmente frammisto a materiale di riporto. - 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. 	<p>1+800 Fine opera</p>	<p>1+074 Fine opera</p>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 78</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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A3010XDCVRBGN0000001B01	Foglio 27 di 78

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
 σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²)
 N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione
 $(K_o)_{nc}$ = 0,5 = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati
 $(K_o)_{sc}$ = $0,5 \cdot (GSC)^{0.5}$ = 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 28 di 78

O ancora secondo la seguente correlazione:

- $Dr(\%) = 21 \text{radq}(N_{\text{spt}}/(s+0.7))$ - 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:

- $N_{\text{SPT}} = 100$ - se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel primo tratto di 15 cm o nel secondo tratto di 15 cm
- $N_{\text{SPT}} = N_2 + \frac{50}{a} \cdot 15 \leq 100$ 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 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 29 di 78

4.2.3. Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ' 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:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m_3

ν' = 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 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:

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

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

G₀ 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_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica

f _A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 4-2: Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f _G	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_G (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
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 31 di 78

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

$$\frac{E'}{E'_0} = \frac{1}{1 + 0.8 \cdot \left(\frac{\gamma}{\lambda_r}\right)}$$

$$\frac{E'}{E'_0} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\tau}{\tau_{\max}}$$

o meglio (Byrne et al, 1990):

$$\frac{E'}{E'_0} = 1 - 0.8 \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta\tau_{\max}}$$

essendo:

γ = deformazione di taglio corrente

$$\gamma_r = \frac{\tau_{\max}}{G_0}$$

τ_{\max} = tensione di taglio limite

τ = tensione di taglio corrente

G_0 = 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 $(1/3 \div 1/5) \cdot E_0$; 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 $1/5 \cdot E_0$, 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
	A3010XDCVRBGN0000001B01

Foglio
32 di 78

- 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
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 33 di 78

- 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  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 34 di 78

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

ν' = 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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 35 di 78

taglio γ 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).

4.3.5. Coefficienti di permeabilità e di consolidazione primaria

Nella definizione delle caratteristiche di permeabilità si potrà far riferimento ai risultati:

- Di prove di laboratorio (edometri) in corrispondenza di pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero in corrispondenza di indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_o .
- Dell'applicazione della seguente correlazione empirica (Rocchi, 2003), applicabile a condizioni di pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche:

$$\log \frac{e}{e_L} = 1.22 + 0.19 \cdot \log k_v$$

essendo:

e = indice dei vuoti corrente

e_L = indice dei vuoti corrispondente al limite liquido

k_v = coefficiente di permeabilità verticale corrente un cm/sec.

- Delle prove di permeabilità tipo Lefranc in foro.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 36 di 78

Si rileva che:

- Anche i valori dei coefficienti di permeabilità ottenuti dalla prove in foro si riferiscono a pressioni verticali efficaci pari a quelle geostatiche, ovvero ad indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_o .
- La variazione del coefficiente di permeabilità con l'indice dei vuoti corrente, potrà essere stimata sulla base della seguente espressione:

$$\log k = \log k_o - \frac{e_o - e}{C_k}$$

essendo:

k = coefficiente di permeabilità corrente

k_o = coefficiente di permeabilità corrispondente all'indice dei vuoti iniziale e_o

e = indice dei vuoti corrente

$C_k = 0.5 \cdot e_o$.

e_o = indice dei vuoti iniziale

- I valori ricavabili dalle prove edometriche si riferiscono a direzioni di flusso verticali, ovvero a coefficienti di permeabilità in direzione verticale k_v ;
- I valori ricavabili dalle prove in foro si riferiscono a direzioni di flusso verosimilmente più prossime a quelle orizzontali, ovvero a coefficienti di permeabilità in direzione orizzontale k_h .

4.3.6. *Coefficienti di consolidazione primaria e secondaria*

I coefficienti di consolidazione primaria c_v e secondaria c_{α} , utilizzabili nell'ambito di teorie di consolidazione convenzionali e a problemi di flusso principalmente nella direzione verticale, saranno ricavati dalle prove di laboratorio (edometri).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 37 di 78</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

5.2. Indagini geotecniche

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 | |

Per ogni formazione verranno riportate nel dettaglio le prove eseguite per tutti i sondaggi utilizzati per la caratterizzazione.

PROGETTO	SONDAGGIO	PROF. [m]	PROVE DI LABORATORIO							PROVE IN SITO				
			Granulom.	Prop. fisiche	Lim. Atterberg	Compr. Sempl.	Triassiali	Taglio dir.	Edom.	SPT	Pocket Pen.	Permeabilità	Pressiometr.	Dilatom.
PP	AA301B042	50								x	x	Lef		
PP	XA301G022	40	x	x	x		x					Lef		
PP	XA301G023	40	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	EA301B043	50								x	x	Lef		
PP	XA301G024	40	x	x	x		x	x				Lef		
PP	XA301R010	30	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	XA301R011	30	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	EA301R044	60								x	x	Lef +Lug		
PP	XA301R004	40	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	SA301B041	50										Lef + Lug		x
PP	XA301A012	38.7	x	x			x					Lef		
PP	XA301A013	40	x	x			x					Lef		
PP	XA301B077	40	x	x	x			x				Lef		
PP	XA301B078	35	x	x	x							Lef		
PP	XA301B079	40	x	x								Lef		
PP	XA301B080	40	x	x	x							Lef		
PP	XA301B081	40	x	x	x		x	x				Lef		
PP	XA301B082	40	x	x	x			x				Lef		
PP	XA301B111	50	x	x	x			x		x	x			
PP	XA301B112	40								x	x			
PP	XA301D108	30	x		x			x		x	x			
PP	XA301R005	30	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	XA301R006	30	x	x	x		x	x	x			Lef		
PP	XA301BC01	15	x											
PP	XA301BC02	13.8	x											
PP	XA301B083	40	x	x	x							Lef		
PP	SA301B084	40	x		x			x				Lef		
PP	XA301B085	40	x	x	x			x	x			Lef		
PP	XA301B086	40	x		x			x				Lef		
PP	XA301B101	50	x		x			x		x	x			
PP	XA301R113	30	x		x			x		x				
PP	XA301R093	30	x		x			x		x				
PP	XA301R096	30	x		x			x		x				
PP	XA301R097	30	x		x			x						
PP	XA301R109	30	x		x			x						
PP	XA301A008	35	x									Lef + Lug		
PP	AA301B042	50								x	x	Lef		
PD	SC-28	50								x	x			
PD	SF10	25	x	x	x		x	x	x		x	Lug	x	
PE	S148	20	x	x	x		x	x	x	x	x	Lef	x	
PE	L3-S01	40								x	x	Lef+Lug		x
PE	L3-S02	40	x	x	x					x	x	Lug		x
PE	L3-S03	40	x	x	x		x	x		x	x	Lef		x
PE	L3-S05	55	x	x	x		x	x		x	x	Lug		x
PE	L3-S06	35	x	x	x			x		x	x	Lef		x
PE	L3-S07	40	x	x	x			x		x		Lug		x
PE	L3-S11	45	x	x	x			x	x	x		Lef + Lug		x
PE	L3-S12	80	x	x	x			x	x			Lug		x
PE	L3-S13	55	x	x	x				x	x		Lug		x
PE	L3-S14	70	x	x	x			x	x	x	x	Lug		x
PE	L3-S16	40	x	x	x		x	x	x	x		Lef		x
PE	L3-S51	25	x	x	x		x	x		x				
PE	SOV42-1	60	x	x	x					x				x
PE	SOV42-2	60		x						x		Lug		x
PE	SOV42-3	50	x	x	x					x	x	Lug	x	
PE	SOV42-4	40								x	x	Lef	x	
PE	L2-S01	30	x	x	x			x		x		Lef	x	
PE	L2-S02	30	x	x	x		x	x		x		Lef	x	
PE	L2-S03	30	x	x	x		x	x		x		Lef	x	
PE	L2-S16	30	x	x	x		x	x		x		Lef	x	
PE	L2-S53	30	x	x	x		x	x		x		Lef	x	
PE	L2-S44	30								x		Lef	x	
PE	L2-S45	30								x		Lef	x	
PE	L2-S46	30								x		Lef	x	

Tabella 5-1. Tabella sondaggi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01
	Foglio 39 di 78

5.3. Argille di Lugagnano (aL)

5.3.1. 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 rinvengono livelli di arenarie e microconglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro.

5.3.2. 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 - S01 | - L3-S51 |
| - L3-S02 | - S0V42-1 |
| - L3 - S03 | - S0V42-2 |

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p>	<p>Foglio 40 di 78</p>

- | | |
|------------|-----------|
| - L3 - S05 | - S0V42-3 |
| - L3-S06 | - S0V42-4 |
| - L3-S07 | - L2-S16 |
| - L3-S11 | - L2-S01 |
| - L3-S12 | - L2-S03 |
| - L3-S13 | - L2-S02 |
| - L3-S14 | - L2-S53 |
| | - L2-S44 |
| - L3-S16 | - L2-S46 |

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 anche 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.

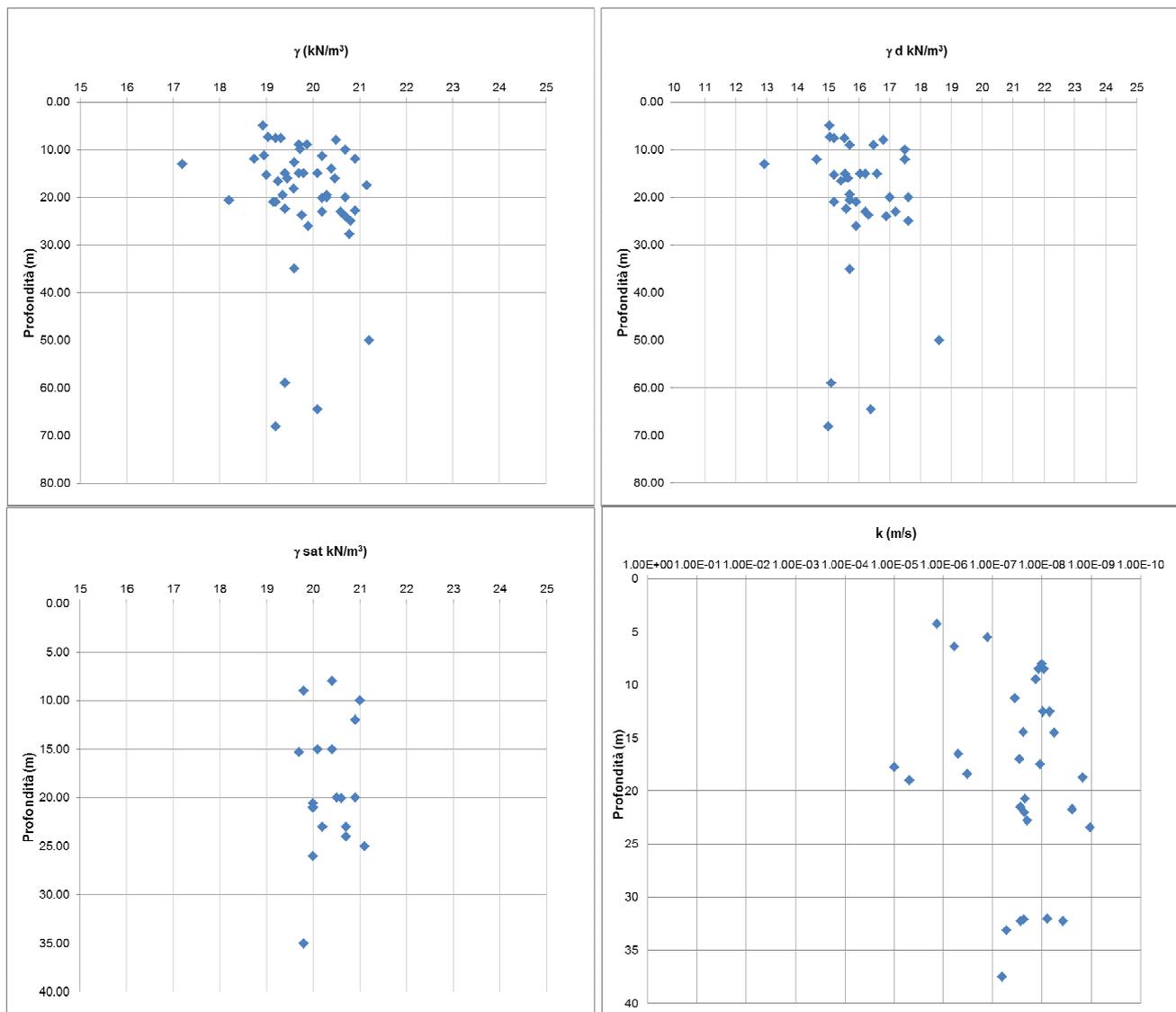


Figura 5-1. Argille di Lugagnano – caratteristiche fisiche

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%.

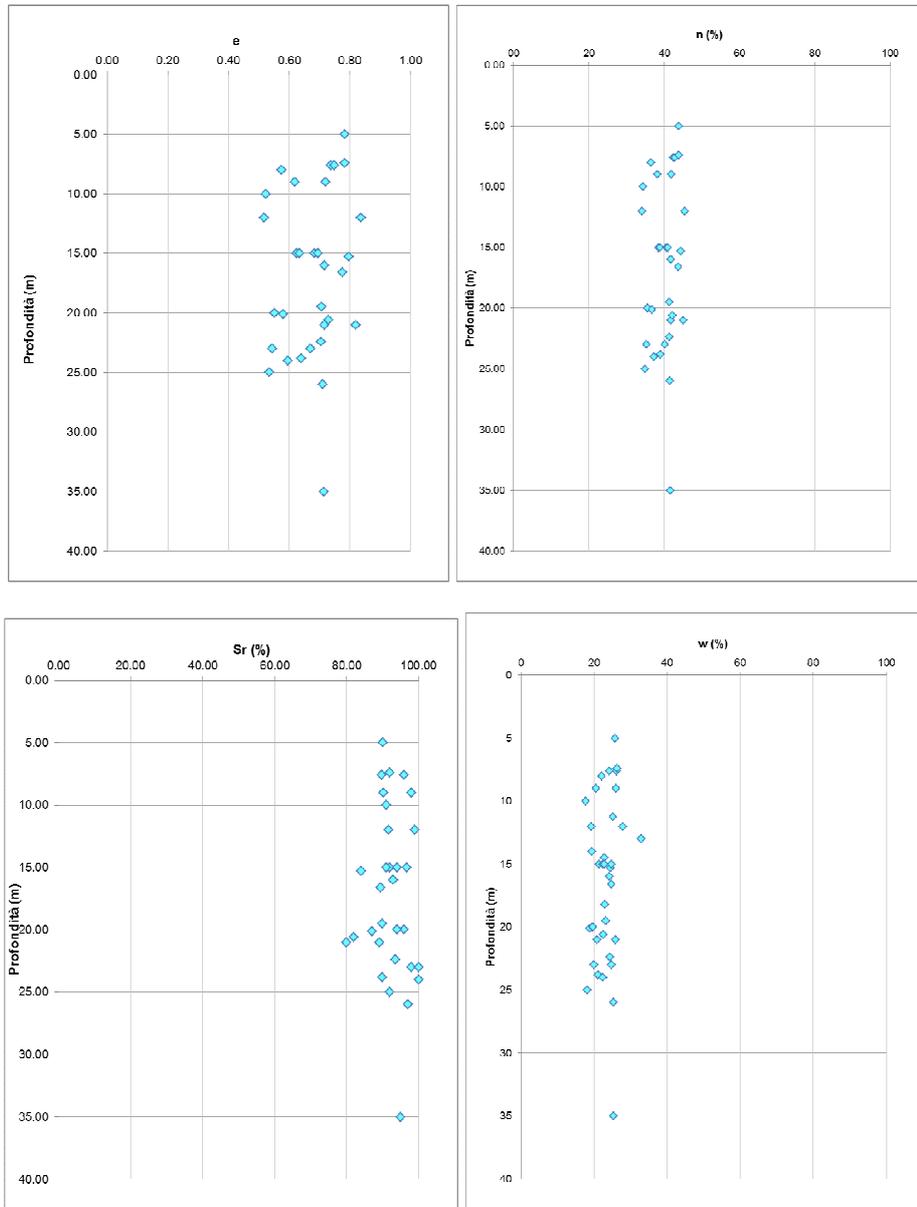


Figura 5-2 Argille di Lugagnano - caratteristiche fisiche

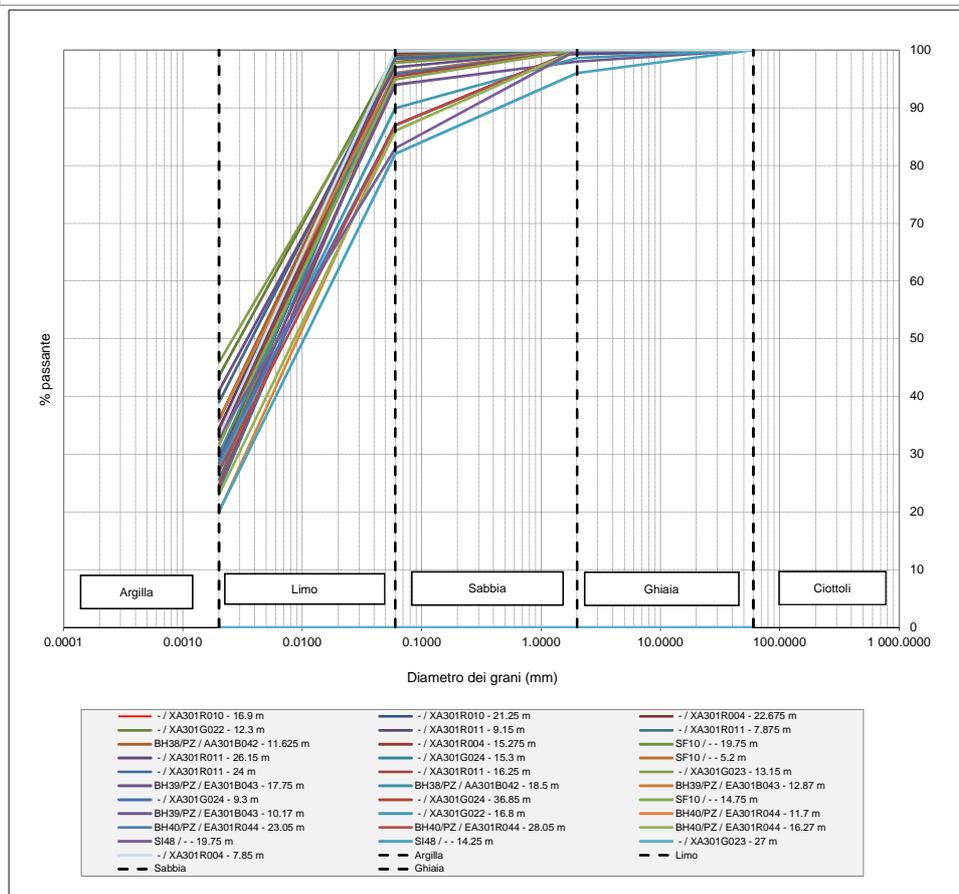
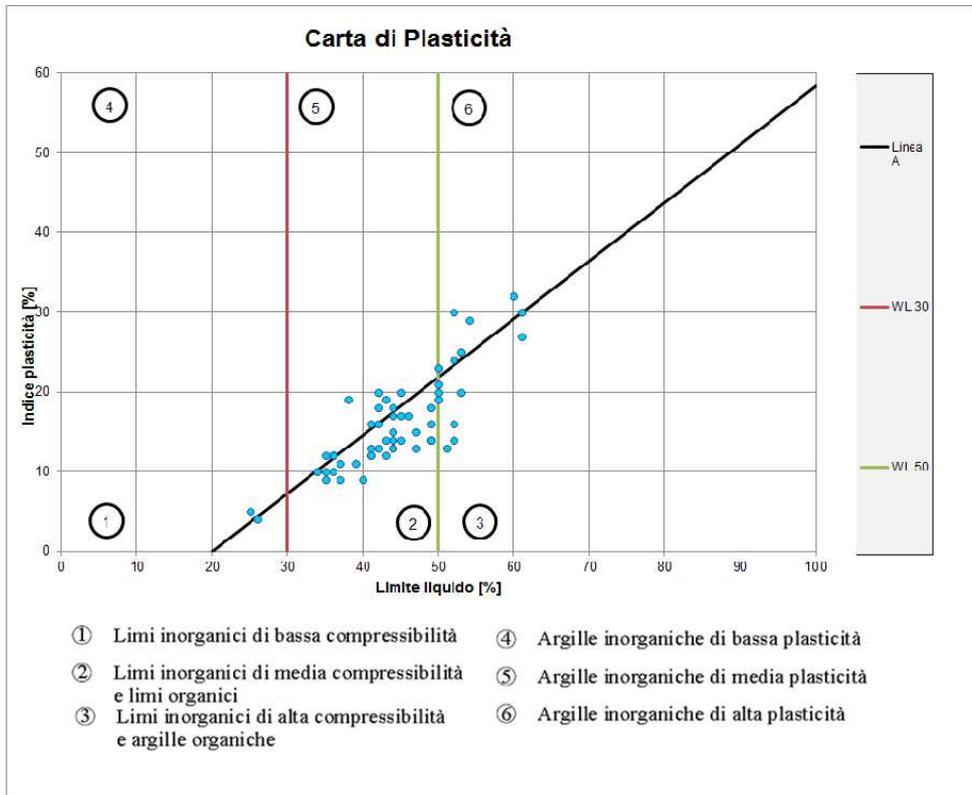


Figura 5-3. Argille di Lugagnano – Carta di plasticità e fusi granulometrici

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

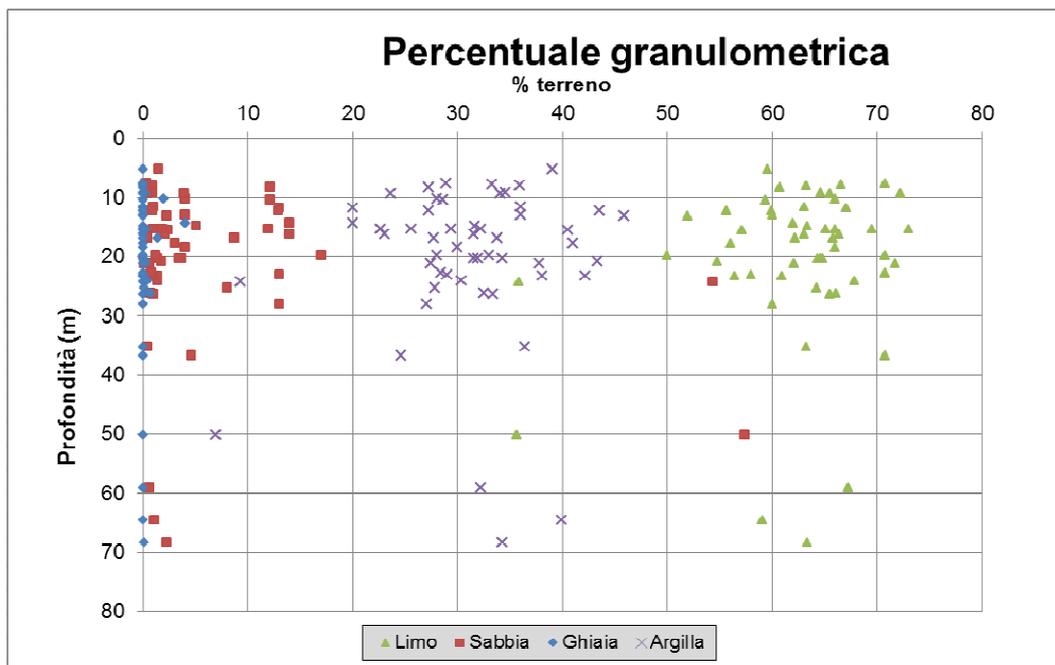


Figura 5-4. Argille di Lugagnano – distribuzioni di percentuale granulometrica

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.

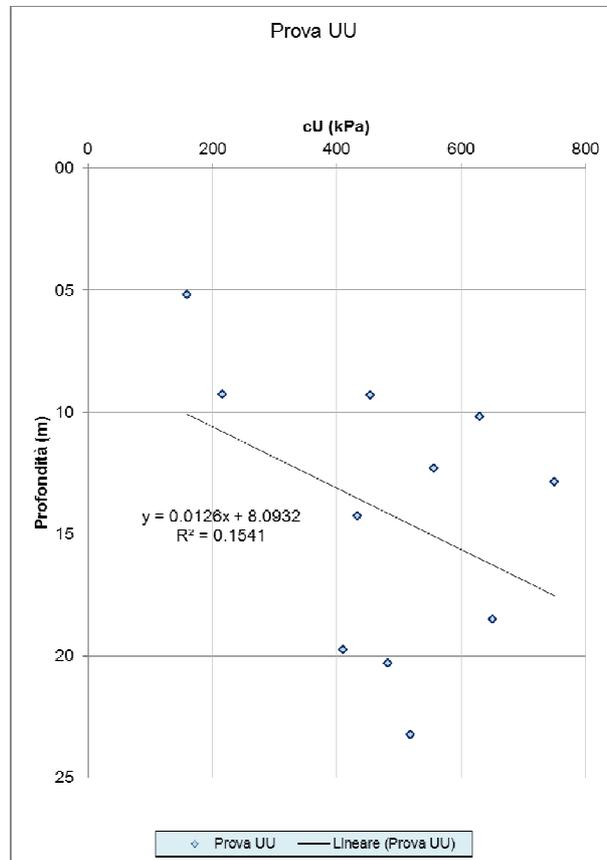
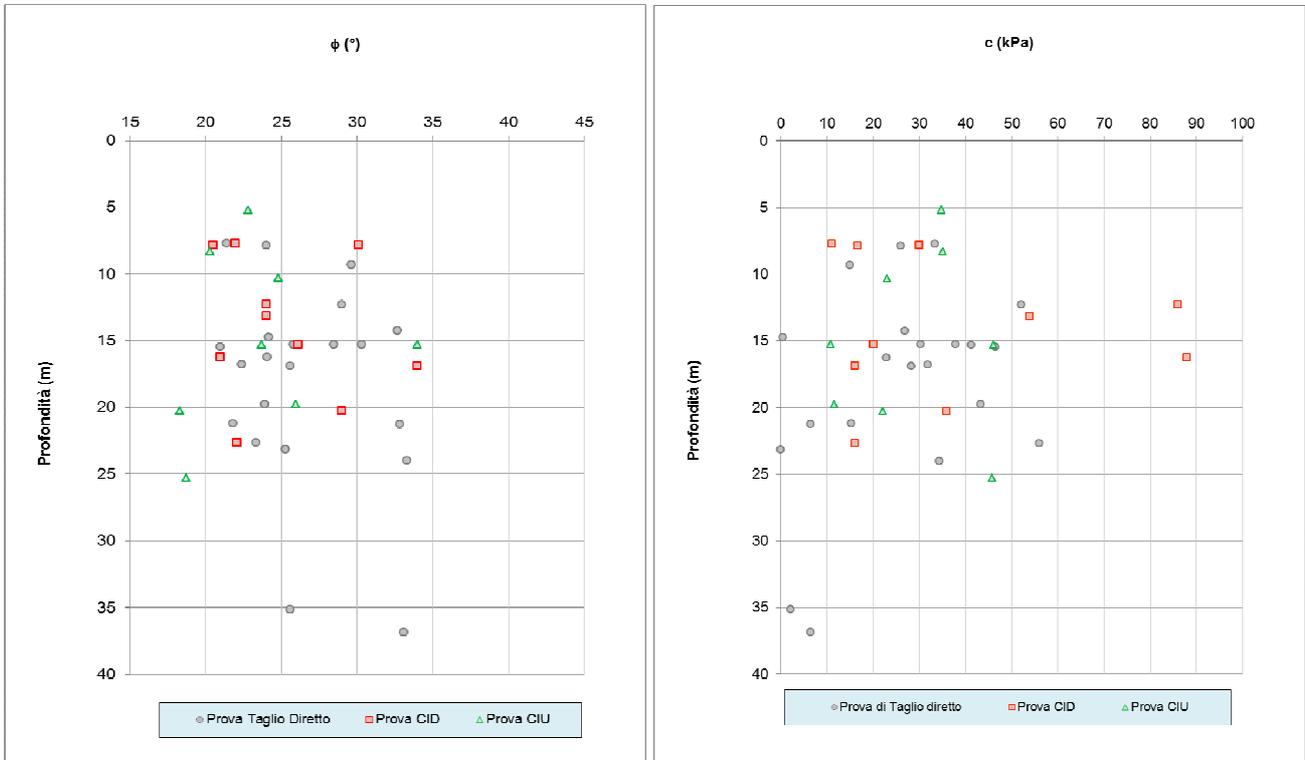


Figura 5-5 Argille di Lugagnano – proprietà meccaniche

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.

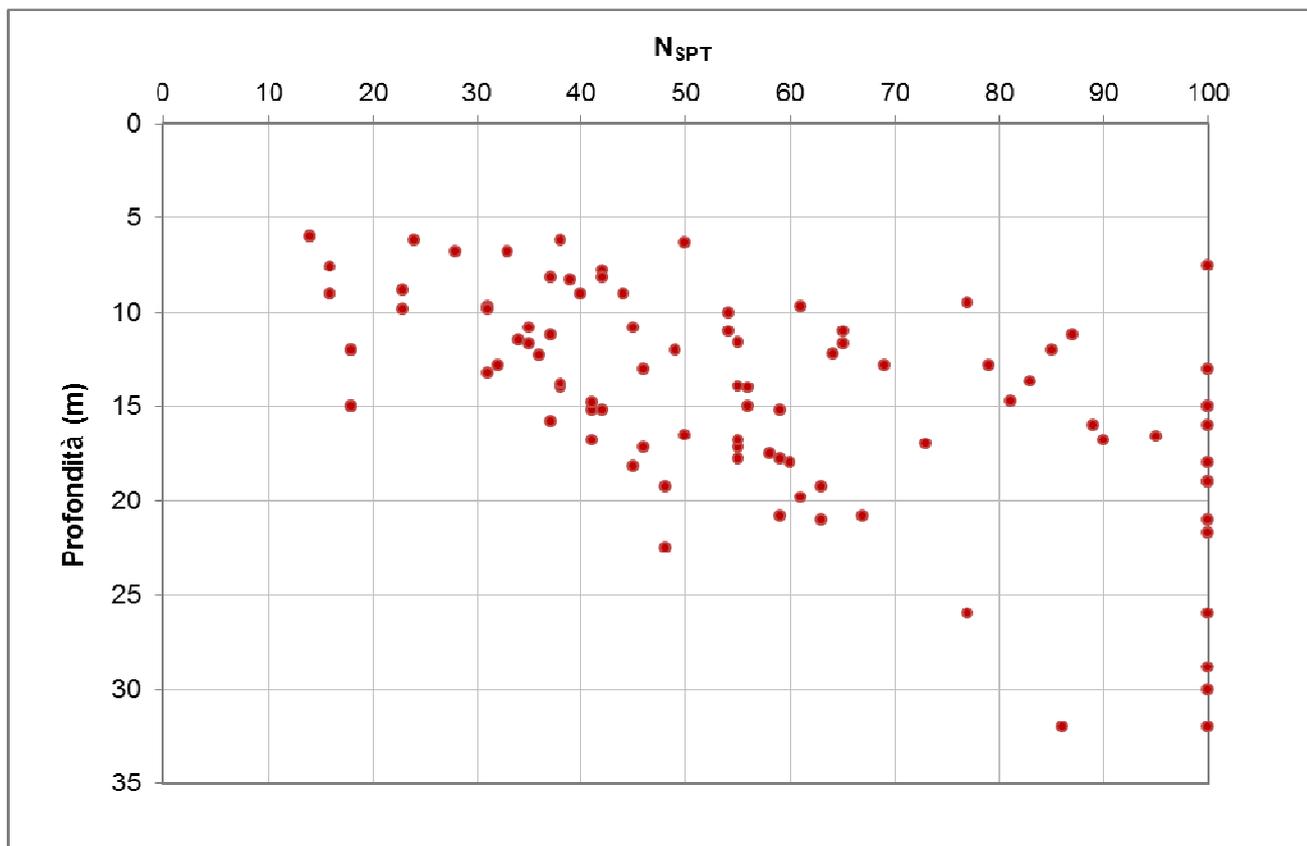


Figura 5-6. Argille di Lugagnano – Valori di NSPT

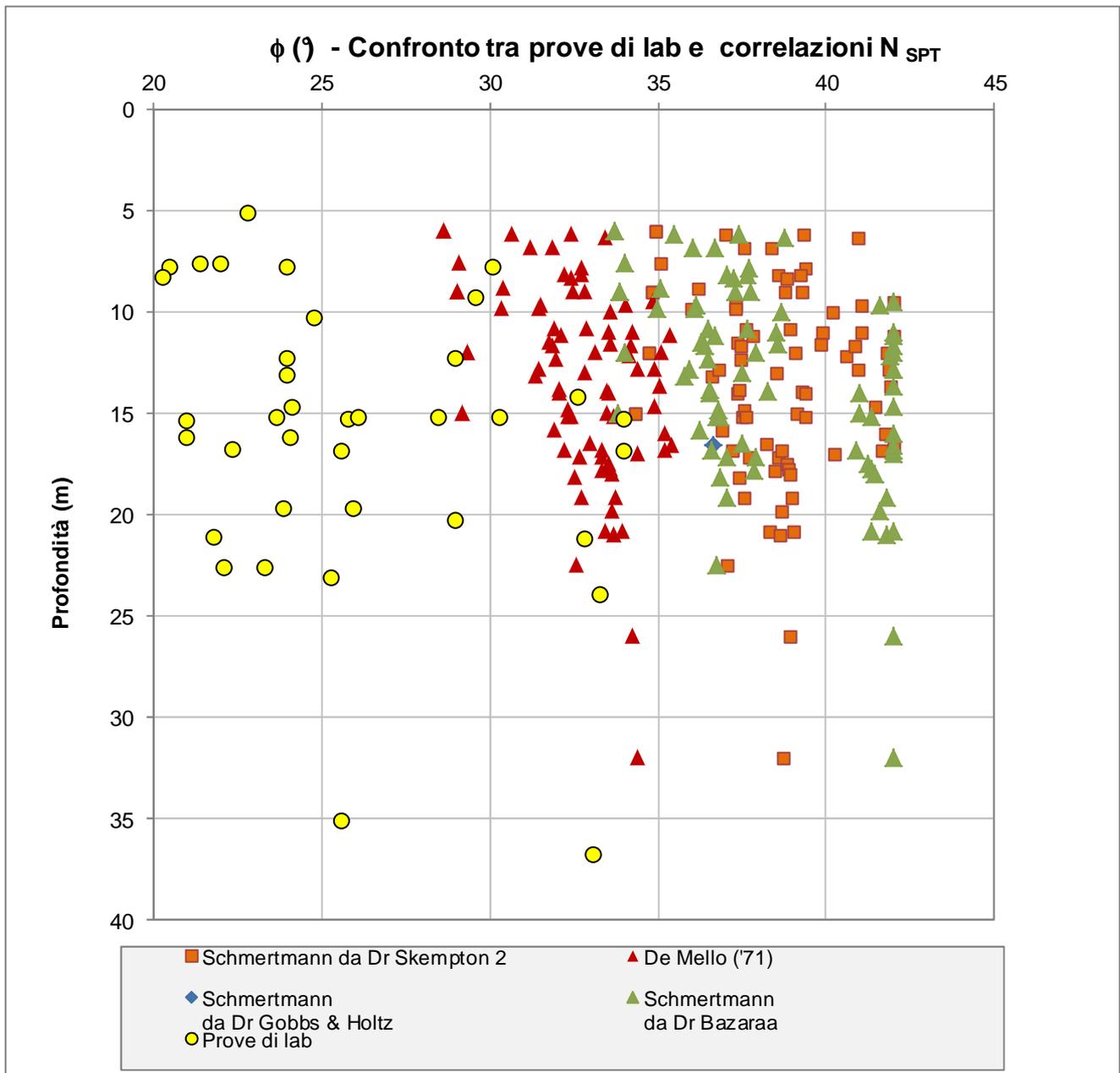


Figura 5-7. Argille di Lugagnano – Angoli d'attrito da NSPT e prove di laboratorio

Proprietà meccaniche di deformabilità

I risultati delle prove delle precedenti fasi progettuali (PP e PD) mostrano una bassa sovraconsolidazione per l'unità geotecnica, con valori di OCR generalmente inferiori a 4 e superiori a 2 e che diminuiscono con la profondità al di sotto dei 15-20 m, e che teoricamente tendono a 1 al di sotto dei 30 m di profondità. Il sondaggio di lotto 3 L3S16 mostra valori in linea con le prove descritte, al contrario di alcuni campioni sempre dell'ultima campagna di indagine che mostrano valori dell'OCR prossimi all'unità. In particolare si nota come tutti i sondaggi con valori di OCR \approx 1 sono ubicati nella zona maggiormente antropizzata, posta nella parte terminale verso Sud della tratta in esame.

Si ritiene pertanto di considerare un OCR pari a 2 per lo strato superficiale delle aL e un OCR pari a 1.5 nello strato profondo (20-35m di profondità relativamente alle profondità delle opere in esame).

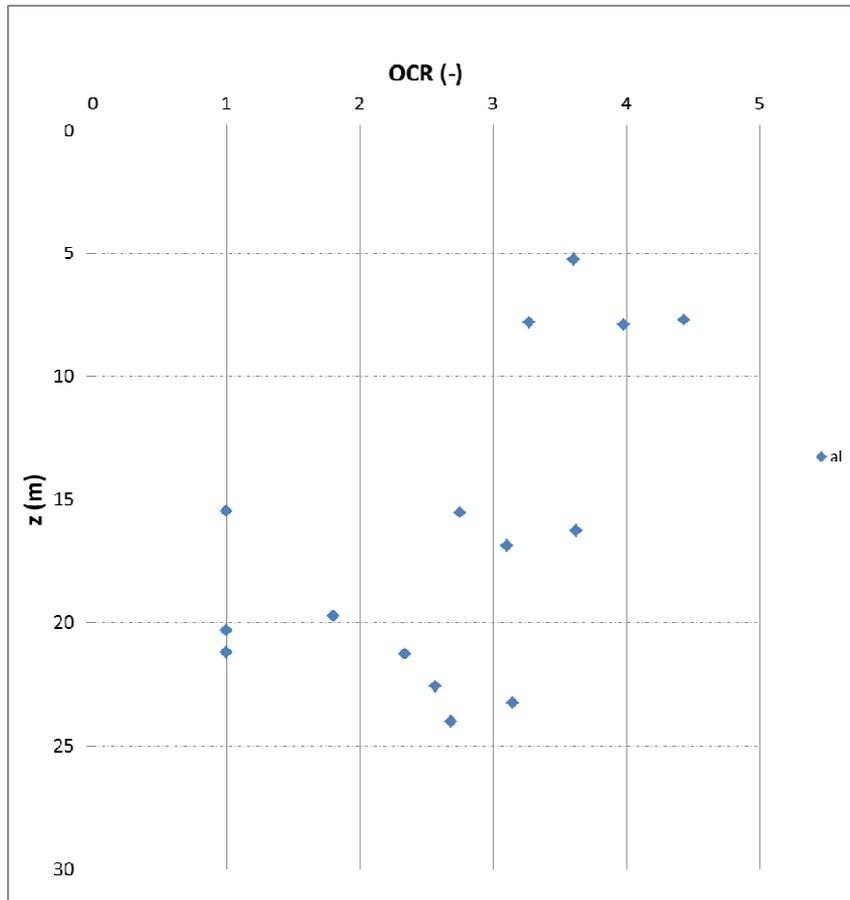


Figura 5-8 Argille di Lugagnano – Valori di OCR

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.

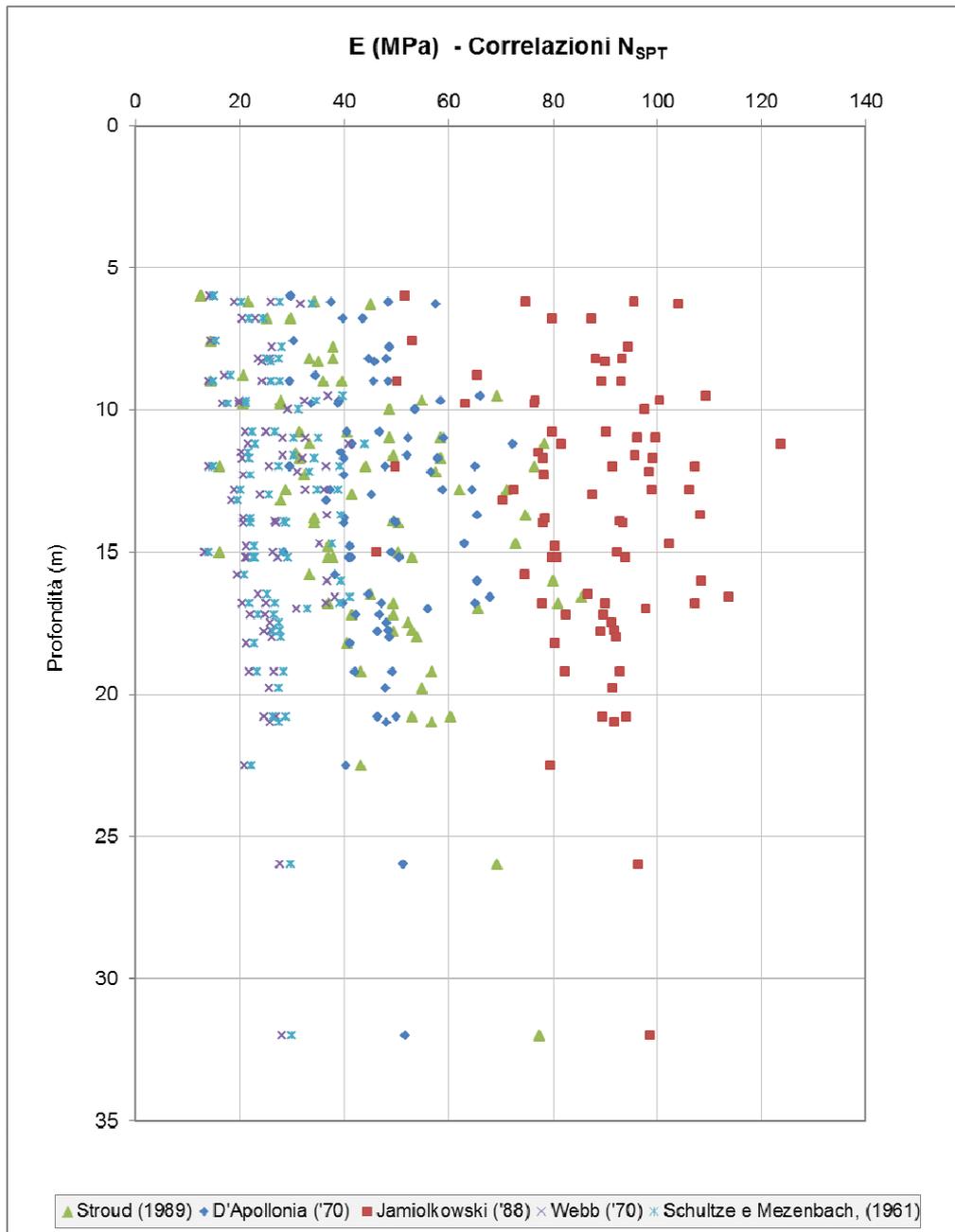


Figura 5-9 Argille di Lugagnano - Distribuzione con la profondità dei valori di Modulo elastico ottenuti da correlazioni con SPT

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.

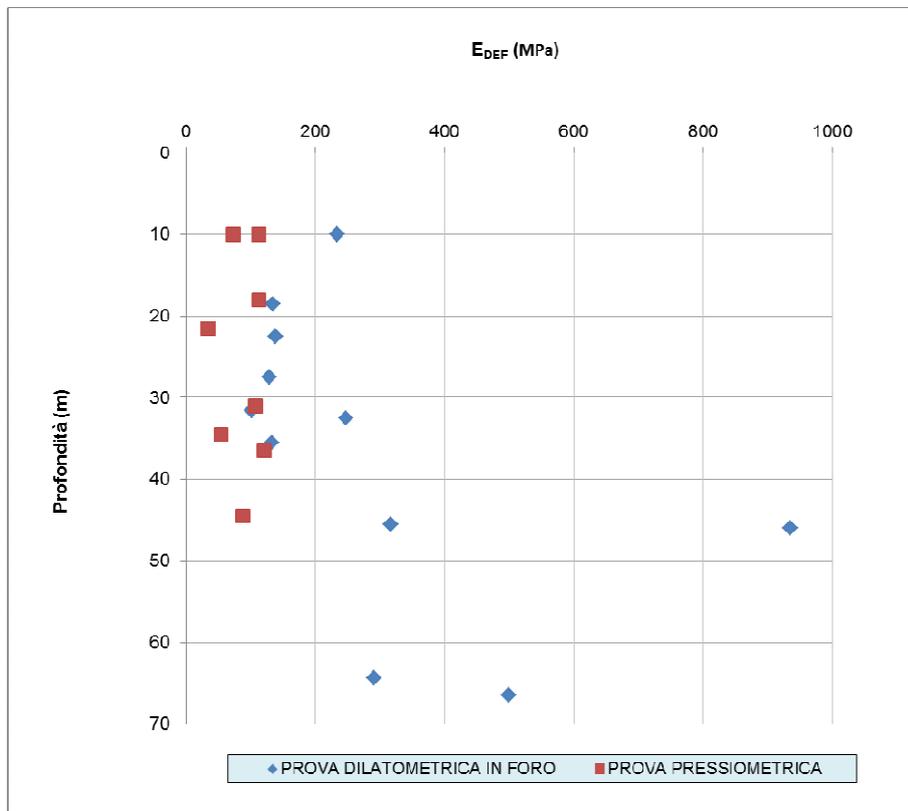


Figura 5-10 Argille di Lugagnano – Modulo di deformabilità – prove di sito

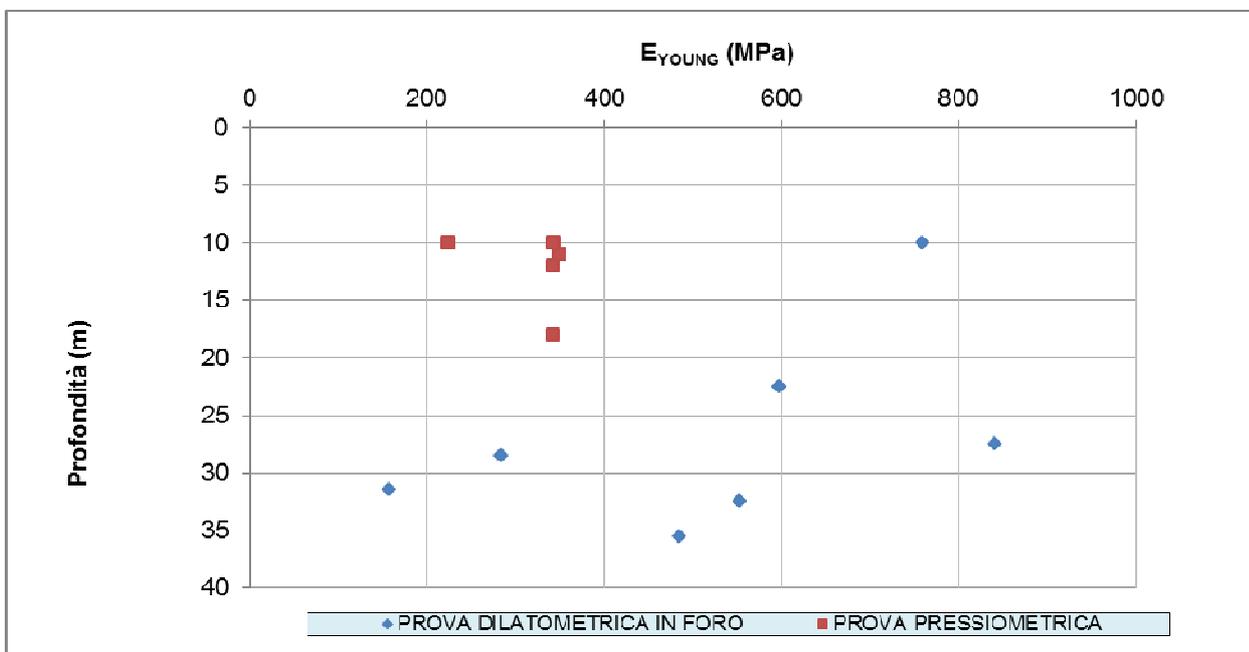


Figura 5-11 Argille di Lugagnano – Modulo di Young – prove di sito

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.

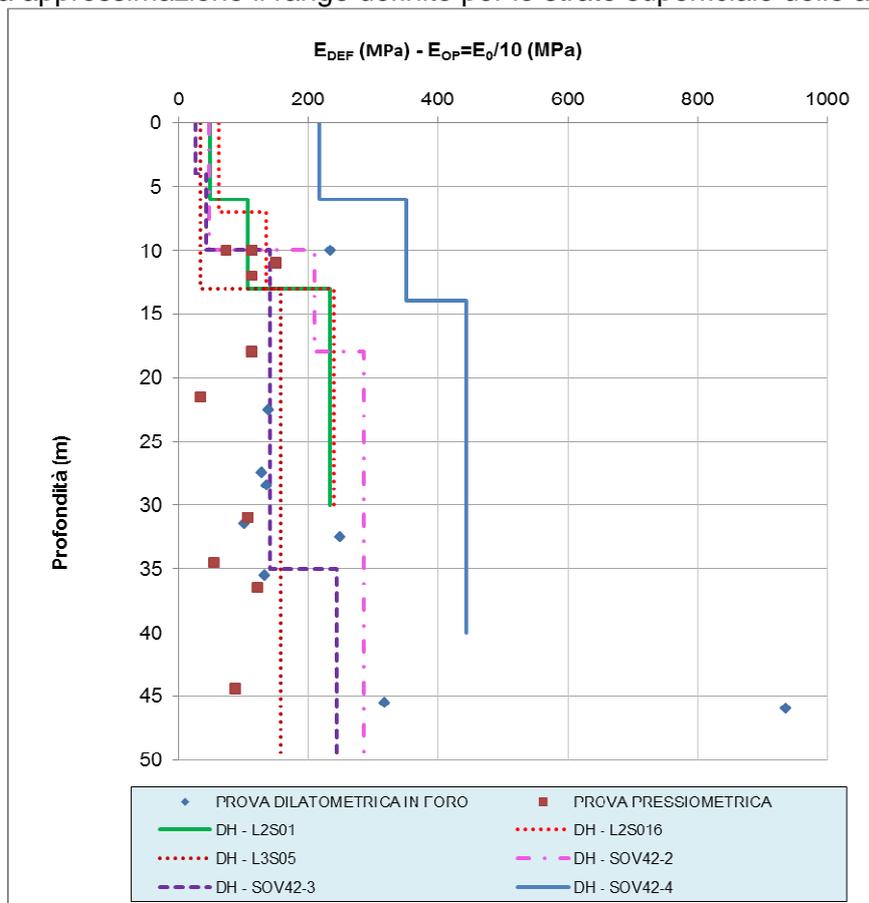


Figura 5-12. Confronto moduli operativi da DH e prove puntuali di sito

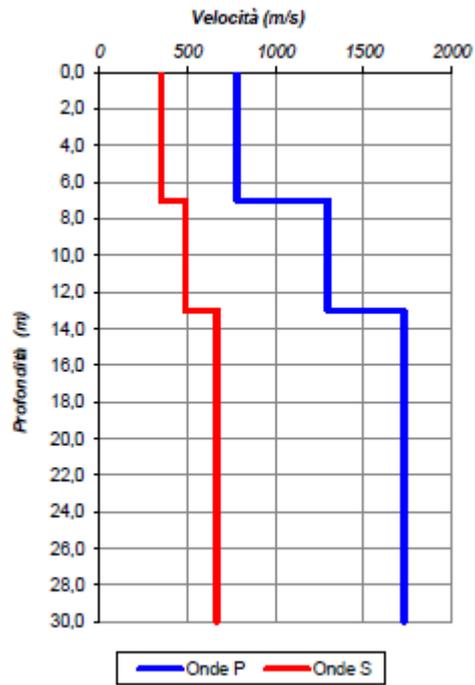


Figura 5-13. DH L2S16 (Eop=120÷300/220÷480 MPa)

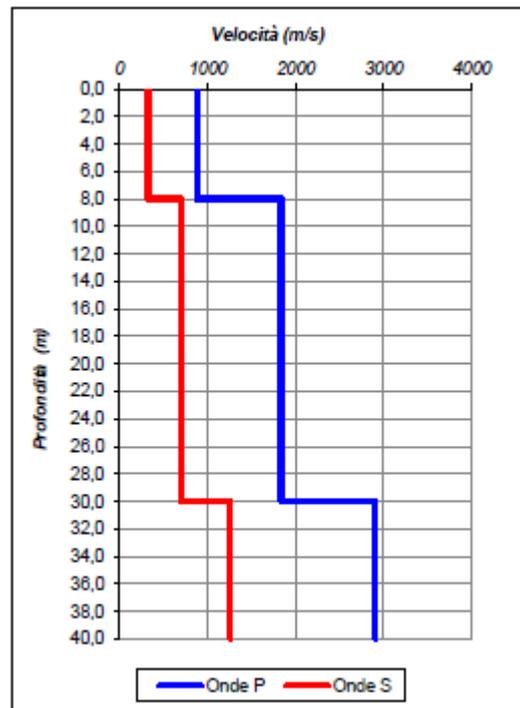


Figura 5-14. DH L2S07 – Eop==200-500 MPa

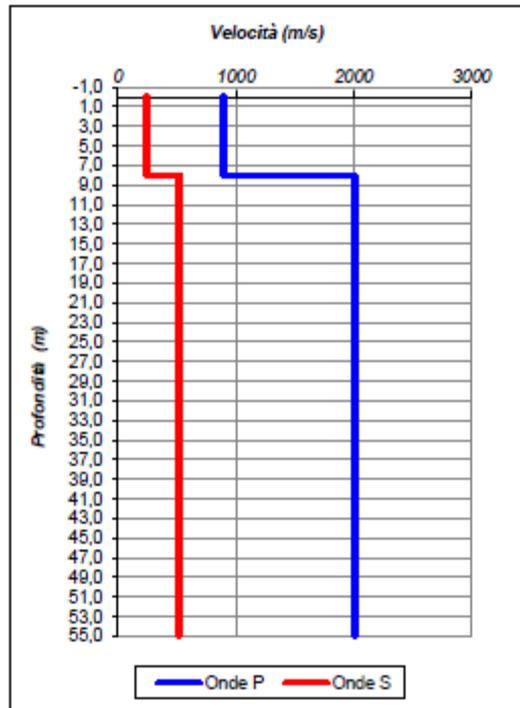


Figura 5-15. DH L3S05 - Eop==150-300 MPa

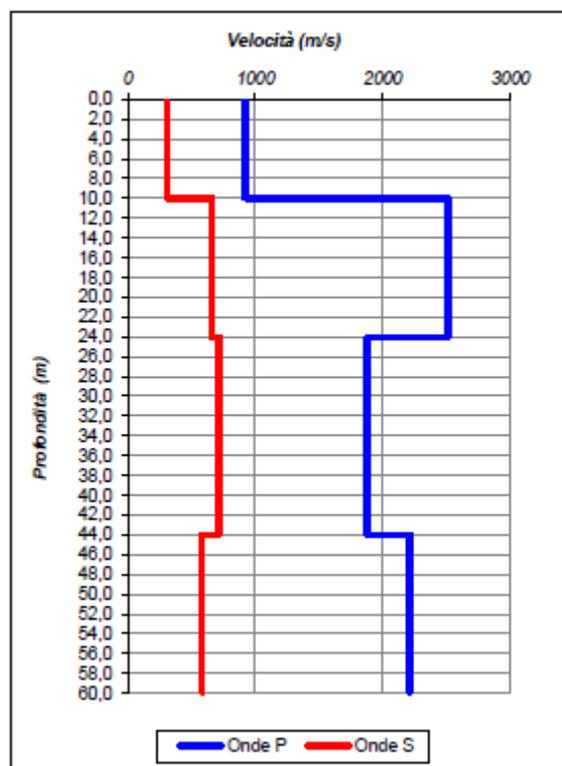


Figura 5-16. DH S0V42-2 - Eop==200-300 MPa

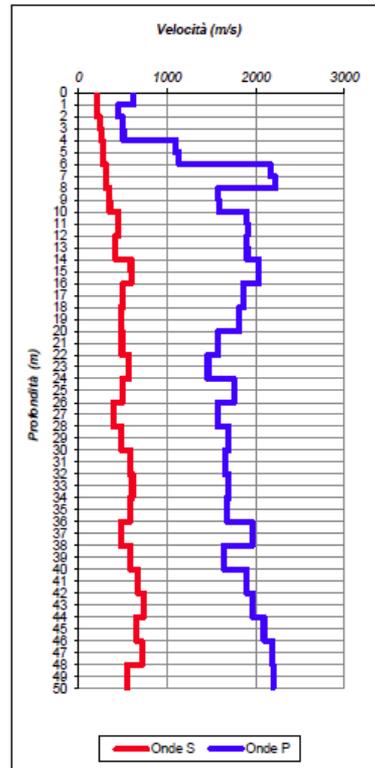


Figura 5-17. DH S0V42-3 - Eop==140-300 MPa

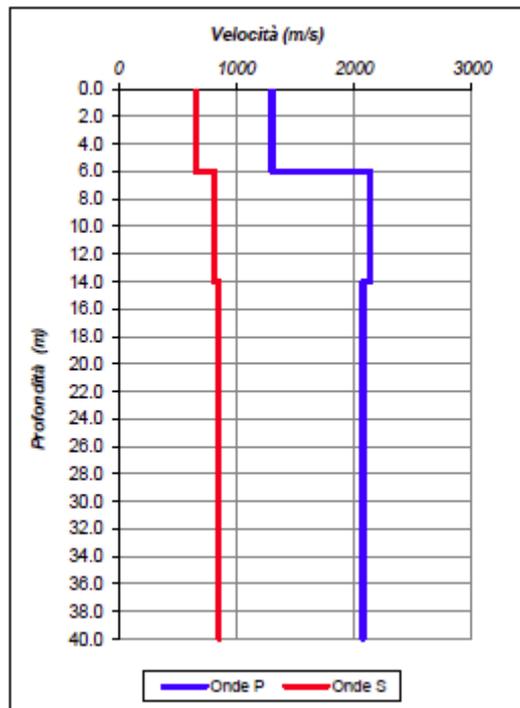


Figura 5-18. DH S0V42-4 - Eop==290-800 MPa



Figura 5-19 Ubicazione stendimento 1 – GN41

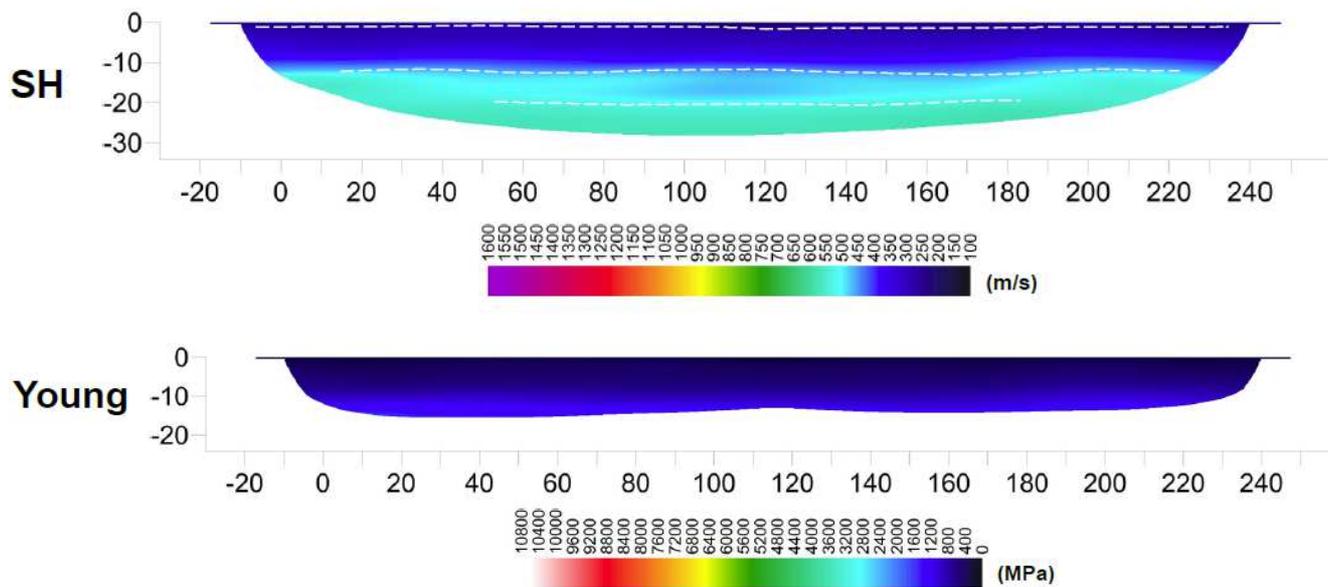


Figura 5-20 Risultati linee sismiche 1 – GN41



Figura 5-21 Ubicazione stendimento 2 – GN41

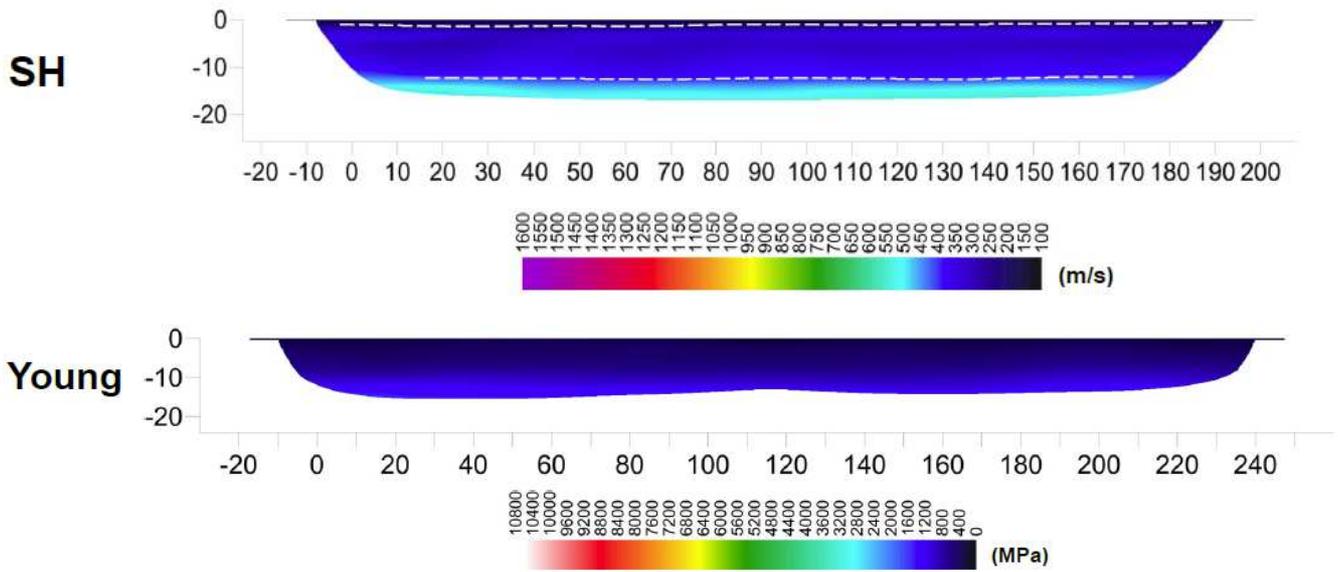


Figura 5-22 Risultati linee sismiche 2 – GN41

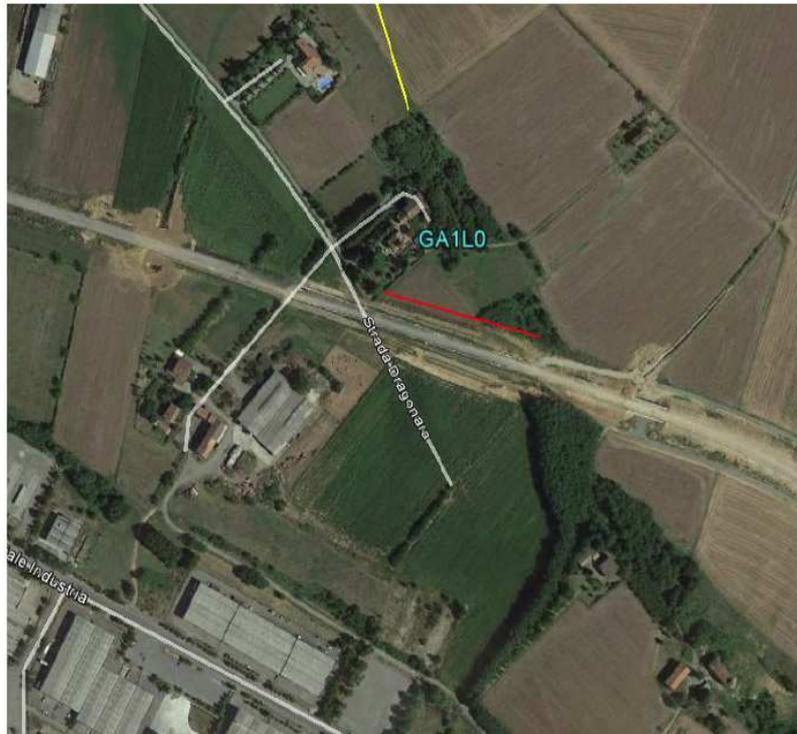


Figura 5-23 Ubicazione stendimento - GA1LL1

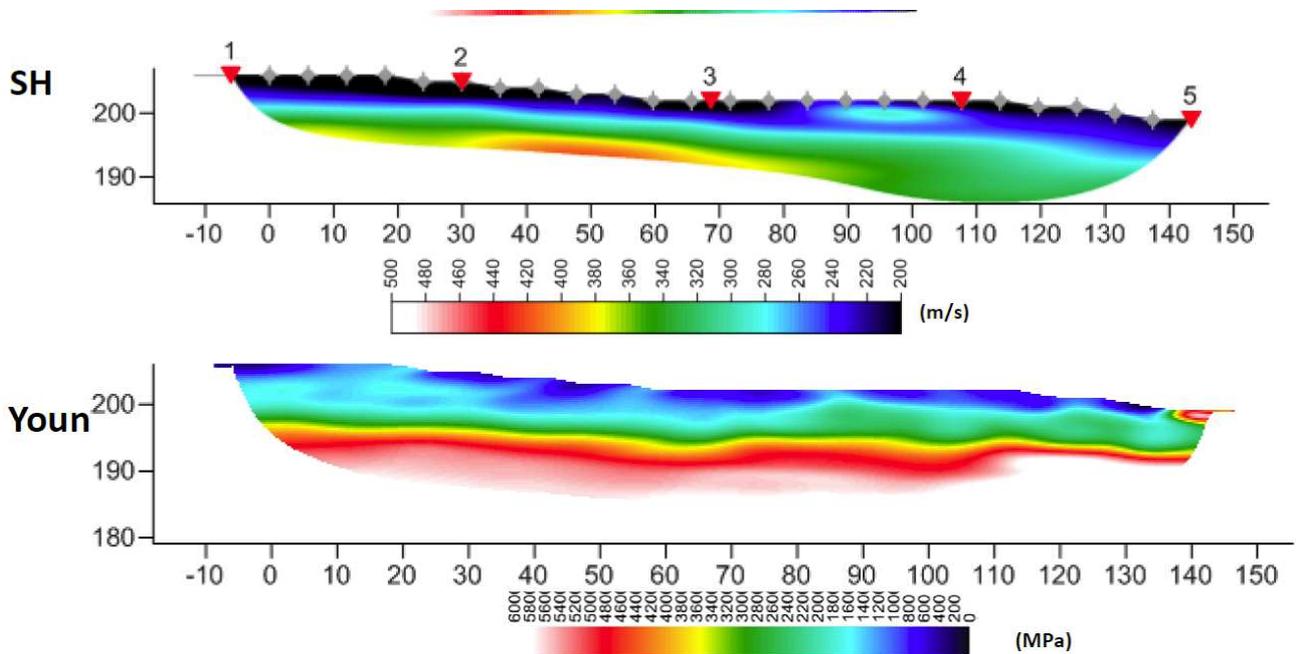


Figura 5-24 Risultati linee sismiche - GA1LL1

Parametri di compressibilità, consolidazione e permeabilità

Di seguito si riportano i parametri ricavati dalle prove edometriche .

- Indice di compressione nel tratto vergine c_c

I valori variano all'interno di un range generale tra 0.08 e 0.22, in particolare si evidenzia la variabilità di tale parametro in funzione del grado di sovraconsolidazione del provino.

- Indice di rigonfiamento c_s

I valori ottenuti ricadono con buona approssimazione nell'intervallo tipico di variazione $c_s/5 \div c_s/10$ (Ladd,1971), con valor medio circa pari a $c_s = 0.04$.

- Coefficiente di consolidazione primaria c_v

I coefficienti di consolidazione primaria c_v per problemi di flusso verticale per i campioni sovraconsolidati risultano dell'ordine di $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$; quelli per problemi di flusso orizzontale possono essere ipotizzati pari a circa 3 volte quelli verticali.

- Coefficiente di consolidazione secondaria c_{α}

Il coefficiente di consolidazione secondaria nell'ambito dei campioni sovraconsolidati risulta nel complesso compreso nel range $1 \times 10^{-3} \div 1 \times 10^{-4}$.

- Coefficiente di permeabilità verticale k_v

I coefficienti di permeabilità verticale derivabili dalle prove edometriche sono dell'ordine di $1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$; quelli orizzontali possono essere ipotizzati dell'ordine di circa 3 volte quelli verticali.

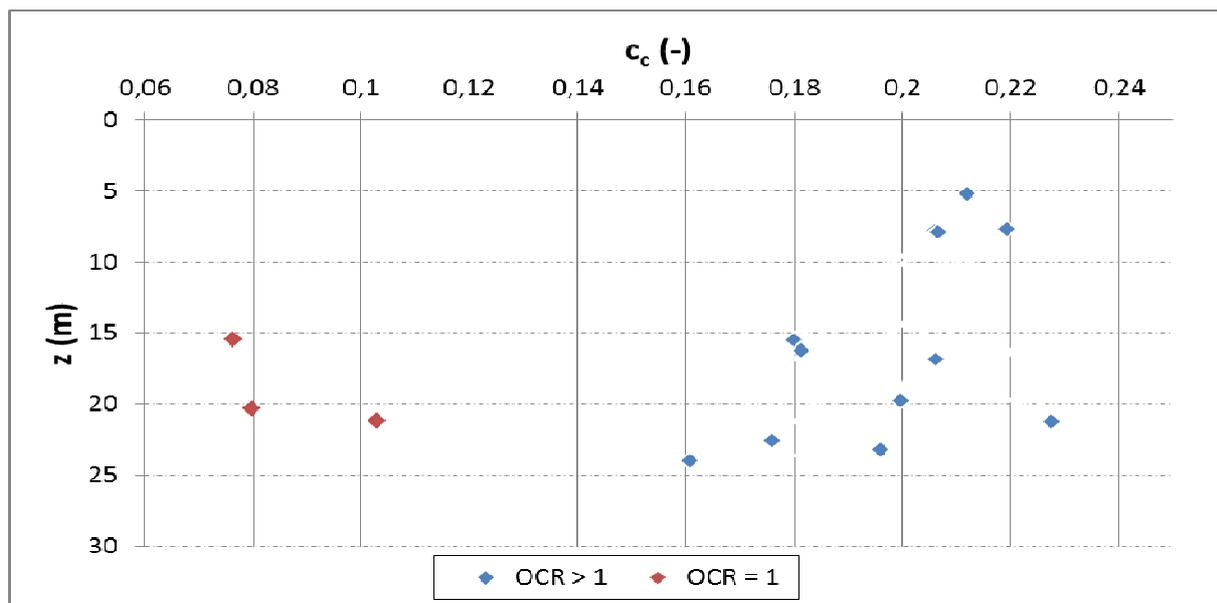


Figura 5-25 : indice di compressione al variare del grado di sovraconsolidazione

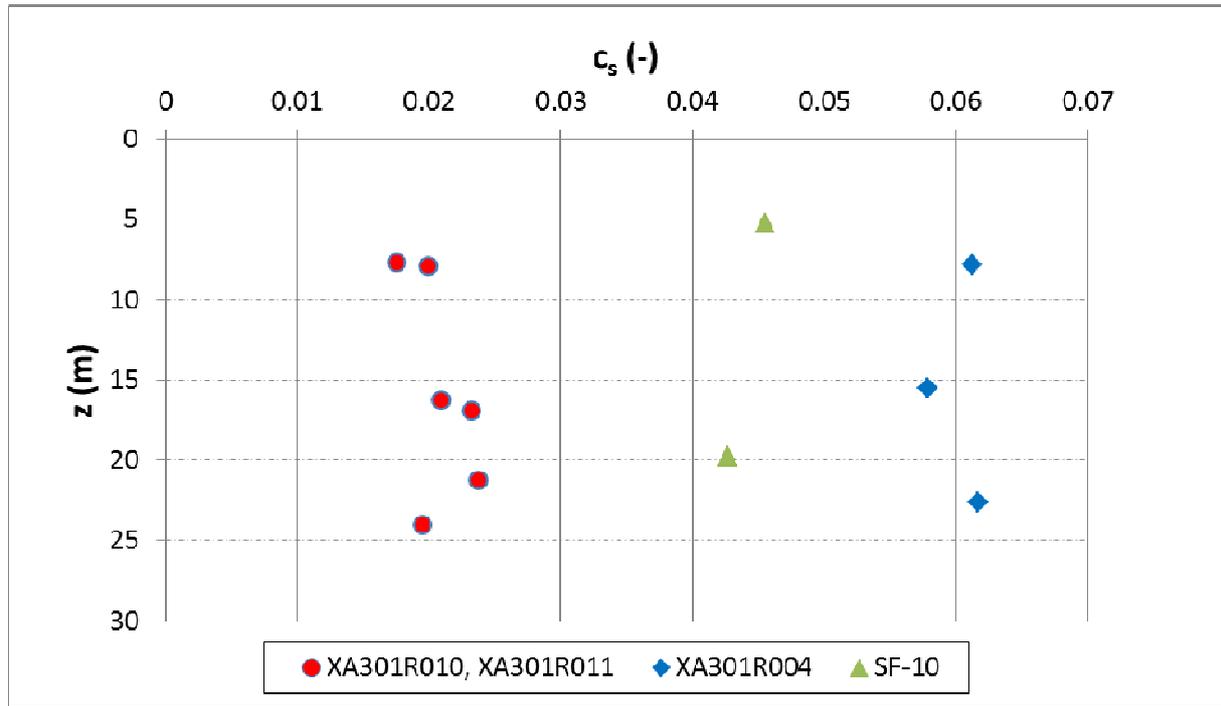


Figura 5-26 : indice di rigonfiamento per unità con OCR > 1

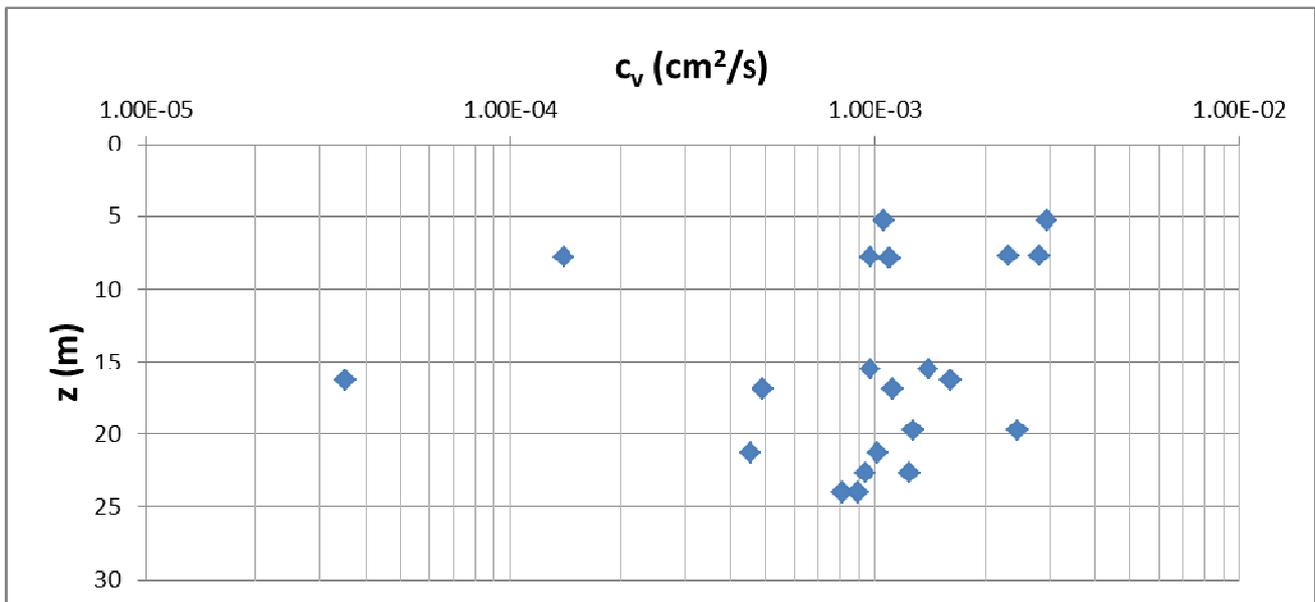


Figura 5-27. Coefficiente di consolidazione primaria (OCR > 1)

5.4. Formazione di Cassano Spinola (cC)

5.4.1. Note introduttive

I Conglomerati di Cassano Spinola (cC), del Gruppo della gessoso-Solfifera, sono costituiti per la maggior parte da alternanze arenaceo-pelitiche e subordinatamente da corpi lenticolari di conglomerati.

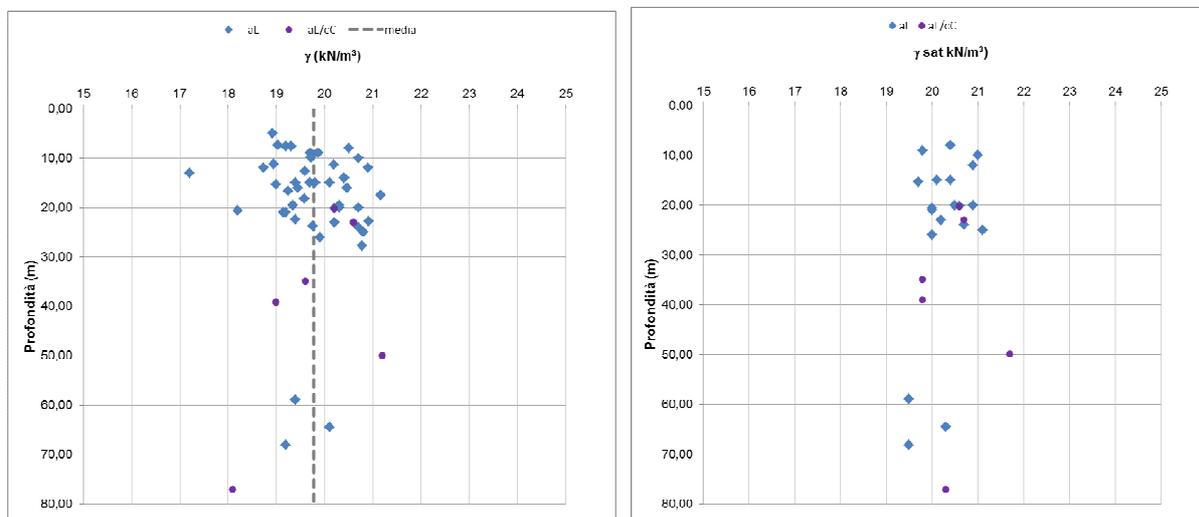
Nell'area interessata dalle WBS in oggetto, la formazione in esame è caratterizzata dalla prevalenza della componente pelitica ed è quindi sinteticamente descrivibile come marna argillosa localmente alterata e degradata in limo argilloso con livelli arenacei. Come evidenziato dall'analisi visiva e tattile delle carote disposte nelle cassette catalogatrici, la componente pelitica della formazione in esame è peraltro litologicamente assimilabile ai terreni che caratterizzano la formazione delle Argille di Lugagnano – aL; ciò che differenzia principalmente i due materiali è il livello di cementazione, mediamente più elevato nella componente pelitica della formazione cC - tanto da poter essere classificata come *marna argillosa*, rispetto alle *argille marnose* che caratterizzano la formazione aL .

5.4.2. Caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica

I dati sui conglomerati di Cassano Spinola delle precedenti fasi progettuali, uniti ai nuovi dati del PE, hanno mostrato delle caratteristiche fisiche spesso molto vicine alle argille di Lugagnano, in particolare nella zona di interesse delle opere della linea dove è stata incontrata in particolar modo la facies pelitica della formazione. Nei prossimi paragrafi si riportano pertanto i dati relativi ai cC unitamente a quelli già mostrati per le aL in precedenza.

Proprietà fisiche

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



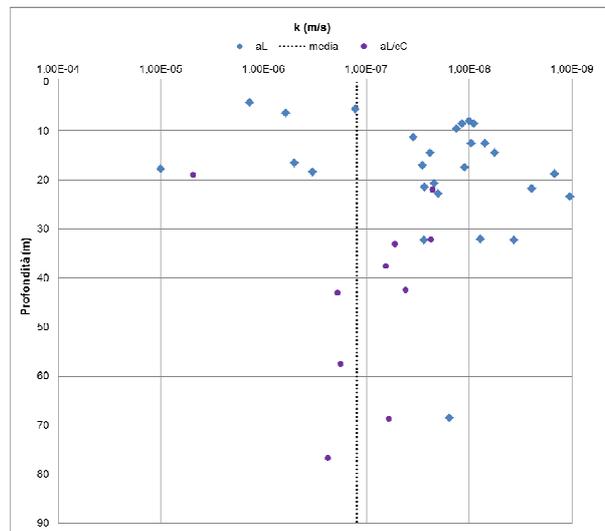
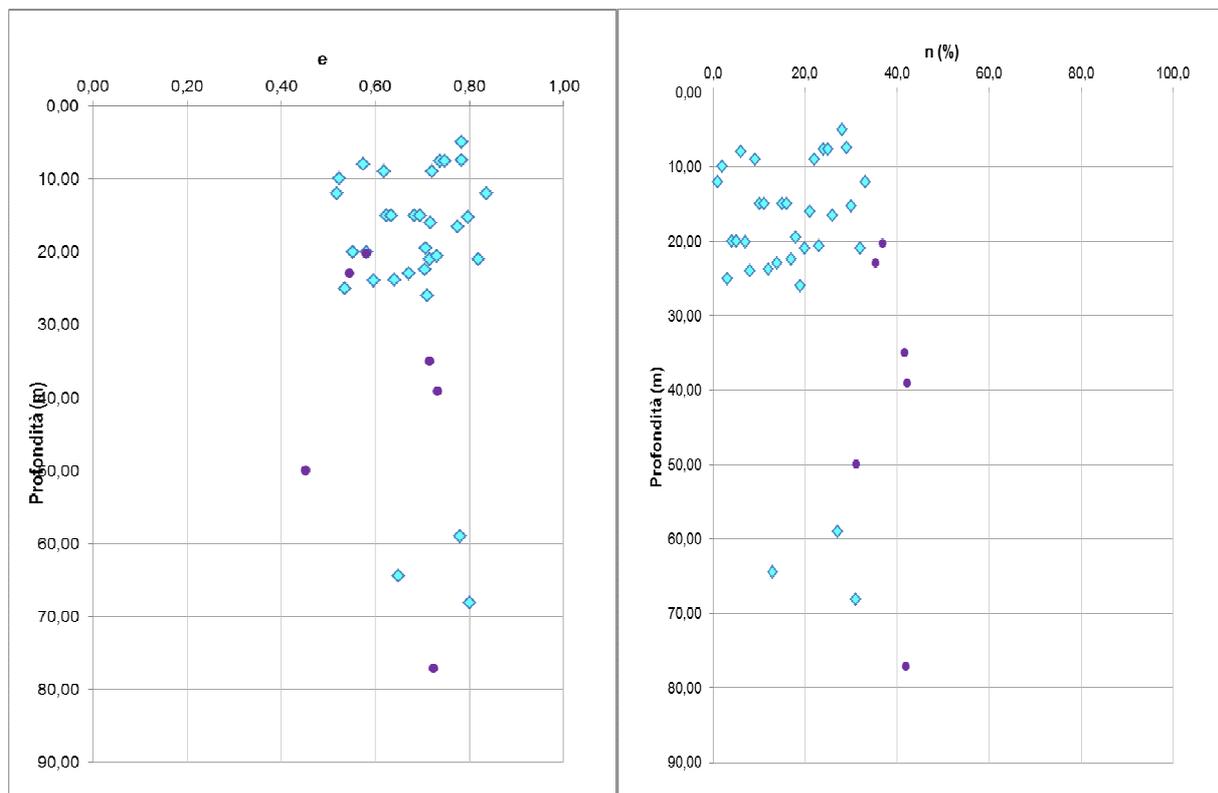


Figura 5-30. Conglomerati di Cassano Spinola – Argille di Lugagnano: caratteristiche fisiche

I conglomerati indagati non sembrano avere differenze in termini di peso di volume e permeabilità, andando a confermare peraltro quanto dichiarato in relazione idrogeologica. In funzione della percentuale di materiale fine si vede come anche le caratteristiche di saturazione sono paragonabili.

L'analisi granulometrica mostra più variabilità rispetto alle argille di Lugagnano, tenendo però anche conto del numero minore di campioni indagati, presentando più elevate percentuali sabbiose, sempre però mantenendo la maggioranza di materiale limoso e comunque una granulometria in prevalenza fine.



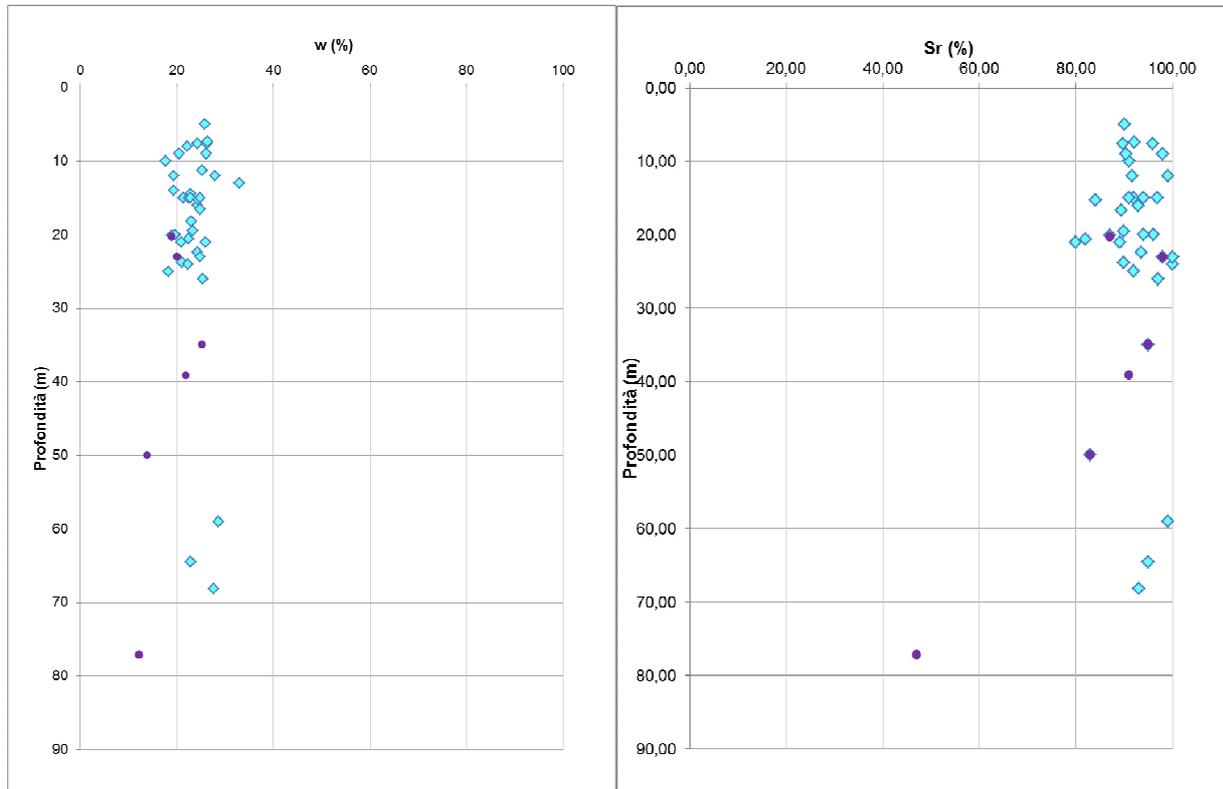


Figura 5-31 Conglomerati di Cassano Spinola – Argille di Lugagnano: caratteristiche fisiche

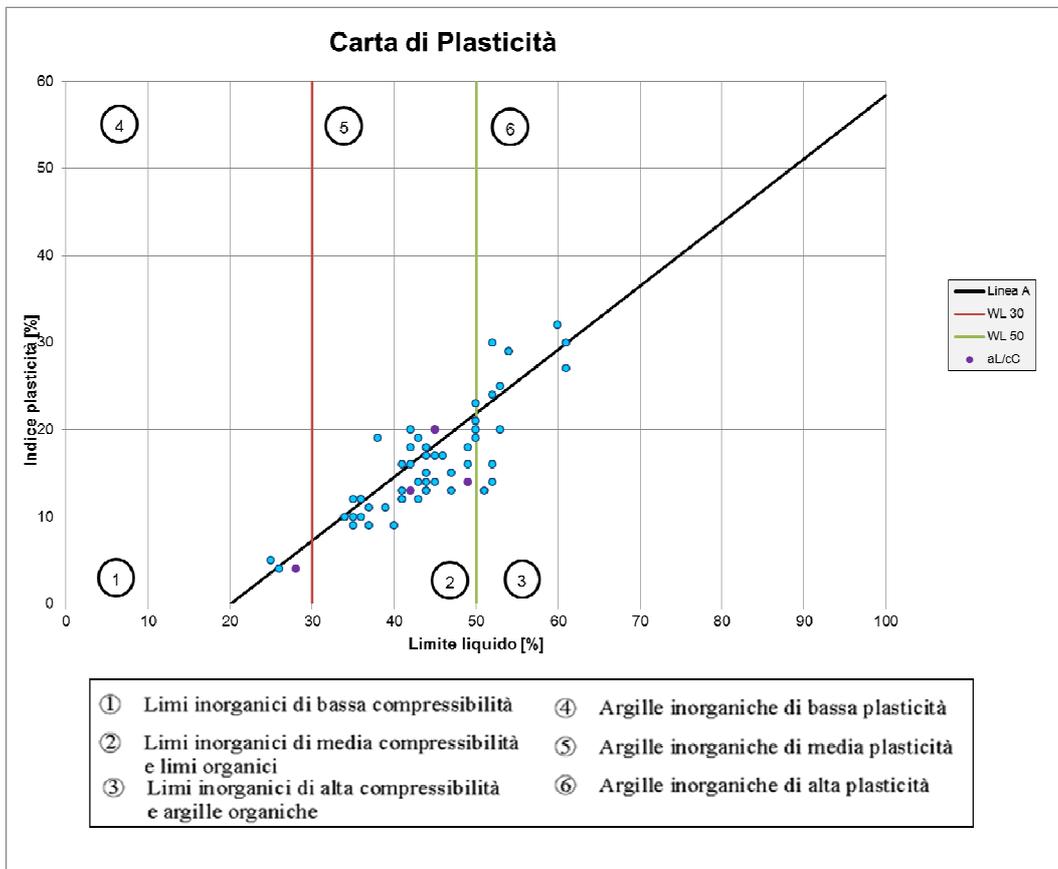


Figura 5-32. Argille di Lugagnano e Conglomerati di Cassano Spinola (facies pelitica) – Carta di plasticità

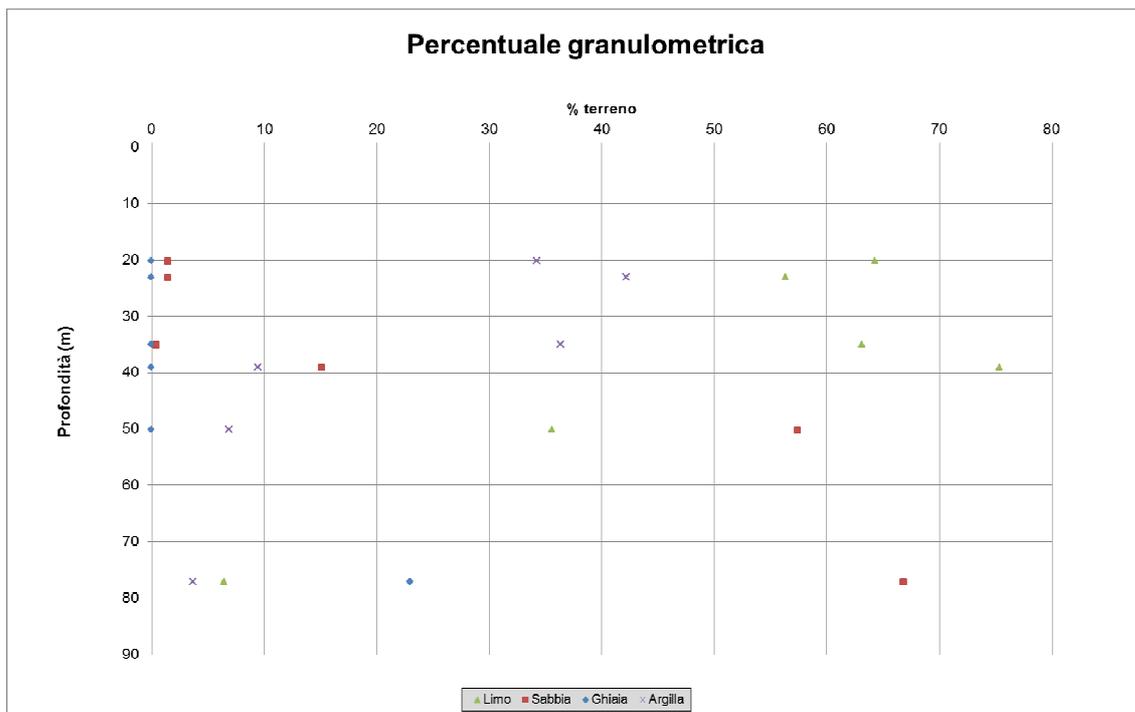


Figura 5-33. Conglomerati di Cassano Spinola: distribuzioni di percentuale granulometrica

Proprietà meccaniche di resistenza

L'analisi dei risultati delle prove meccaniche delinea, allo stato attuale, parametri di resistenza paragonabili ai valori di angolo di attrito appartenenti al range delle aL, mentre più bassi sono i valori di coesione, in funzione della presenza di matrice sabbiosa nei campioni posti a prova.

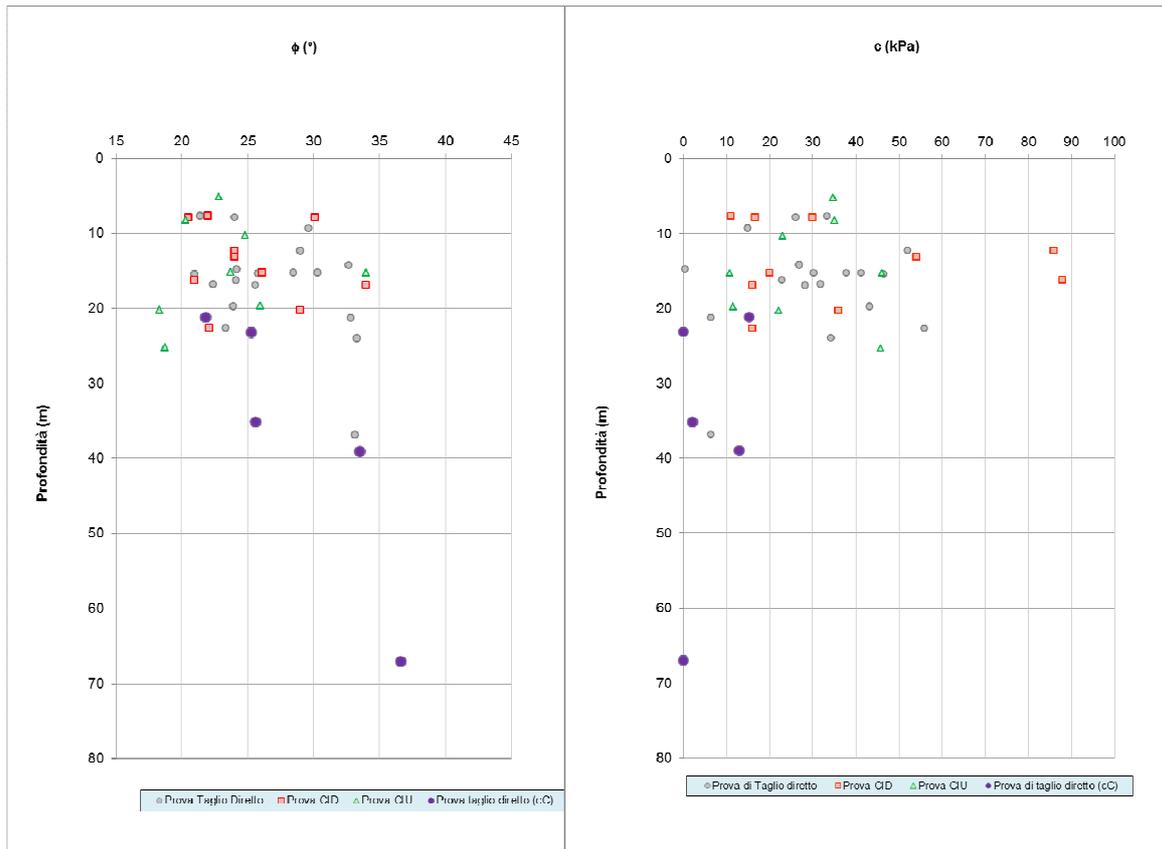


Figura 5-34 Conglomerati di Cassano Spinola – Argille di Lugagnano: proprietà meccaniche

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 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.

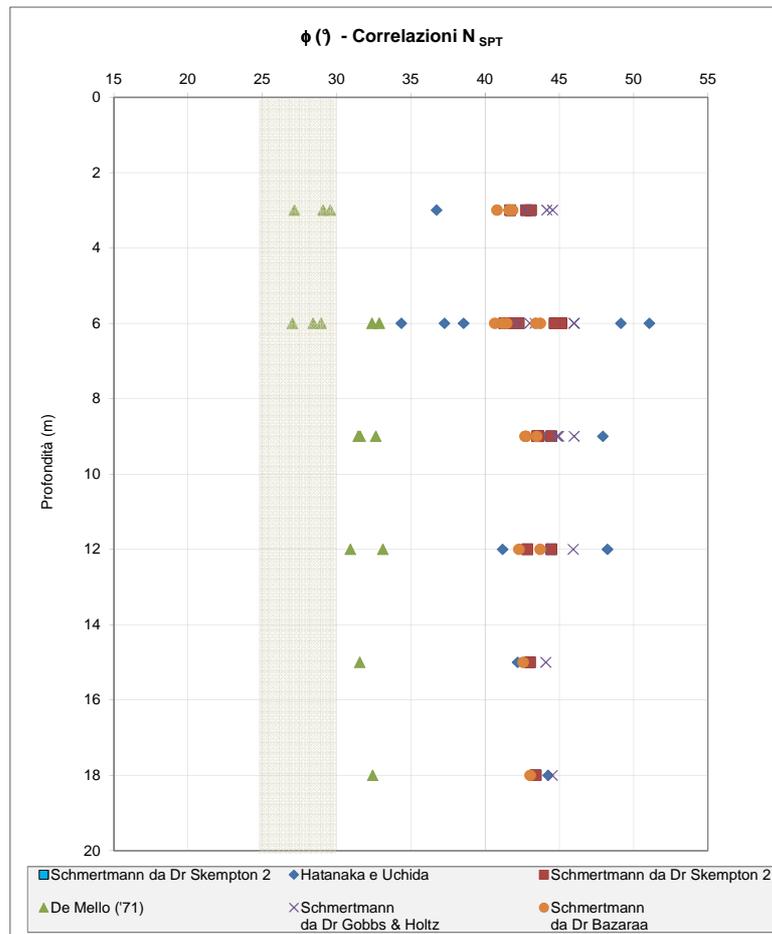


Figura 5-35 Conglomerati di Cassano Spinola (cC) - Distribuzione con la profondità dei valori di angolo di attrito ottenuti da correlazioni con SPT

Proprietà meccaniche di deformabilità

Le proprietà di deformabilità sono state investigate mediante alcune prove dilatometriche, che mostrano valori sicuramente superiori rispetto ai valori delle argille, anche se le zone poste in prova sono comunque più profonde.

In relazione ai livelli deformativi conseguenti all'interazione con le opere in progetto si ritiene corretto adottare un range operativo in linea con quello delle argille di Lugagnano.

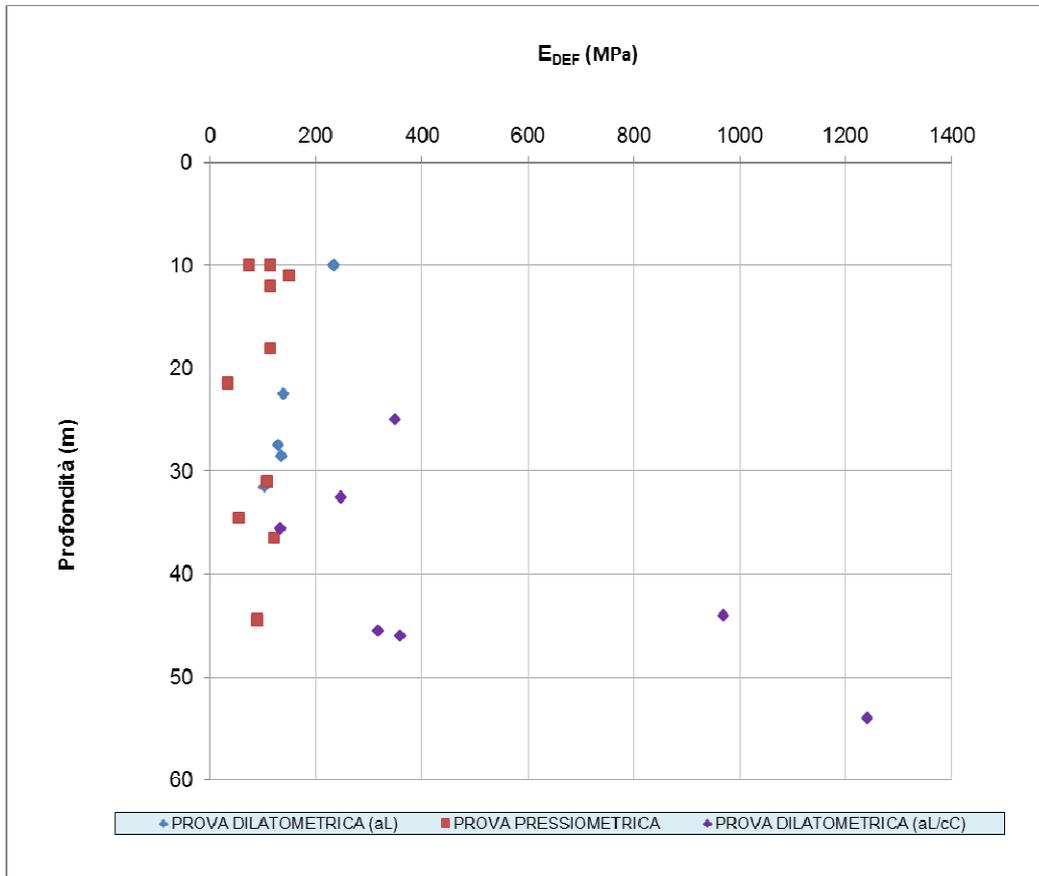


Figura 5-36. Risultati di modulo elastico operativo (aL-cC)

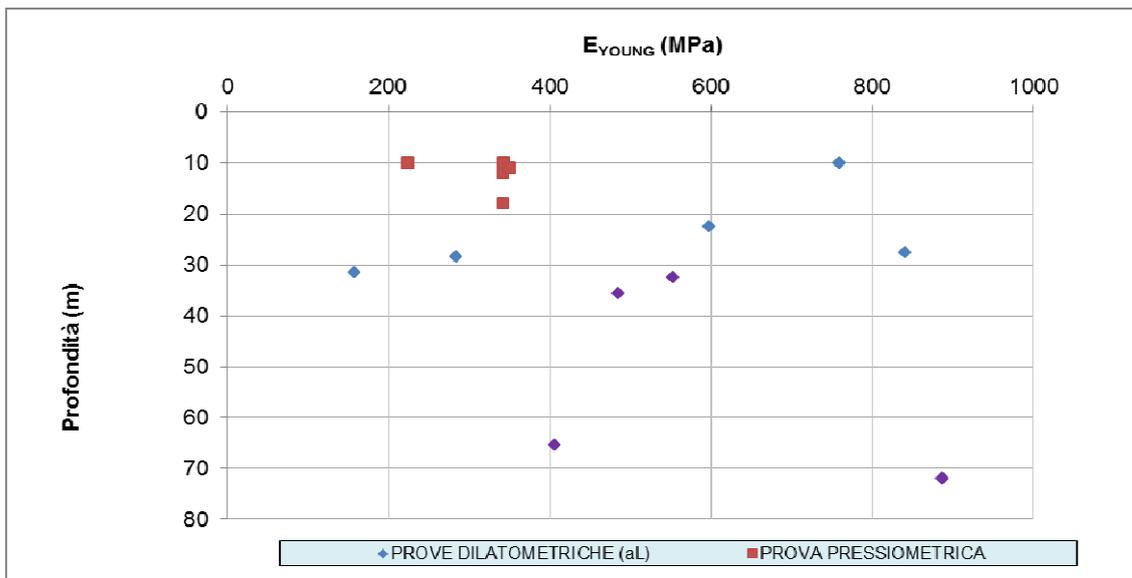


Figura 5-37. Risultati di modulo elastico (aL-cC)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 68 di 78

5.5. Depositi fluviali medi (fl2)

5.5.1. 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.

5.5.2. 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
- XA301B083
- SA301B084
- XA301B085
- XA301B086
- XA301B101
- XA301R109
- XA301B111
- XA301B112
- XA301BC01
- XA301BC02
- XA301D108
- XA301G022
- XA301G023
- XA301G024
- XA301R004
- XA301R005
- XA301R006
- XA301A008
- XA301R113
- XA301R011
- XA301R093
- XA301R096
- XA301R097

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.

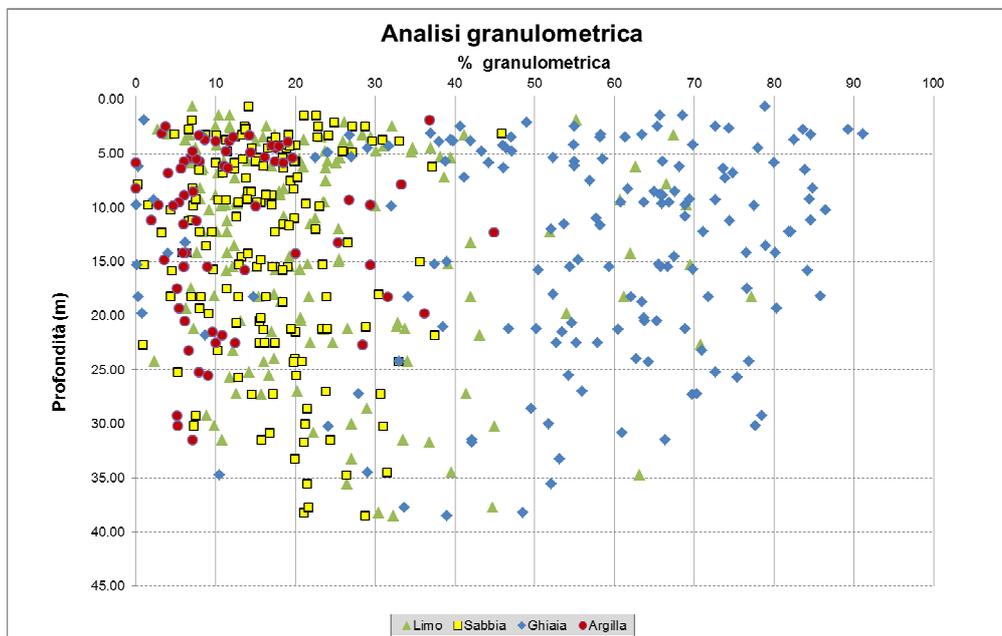


Figura 5-38: Depositi fluviali(f12) - Composizione granulometrica

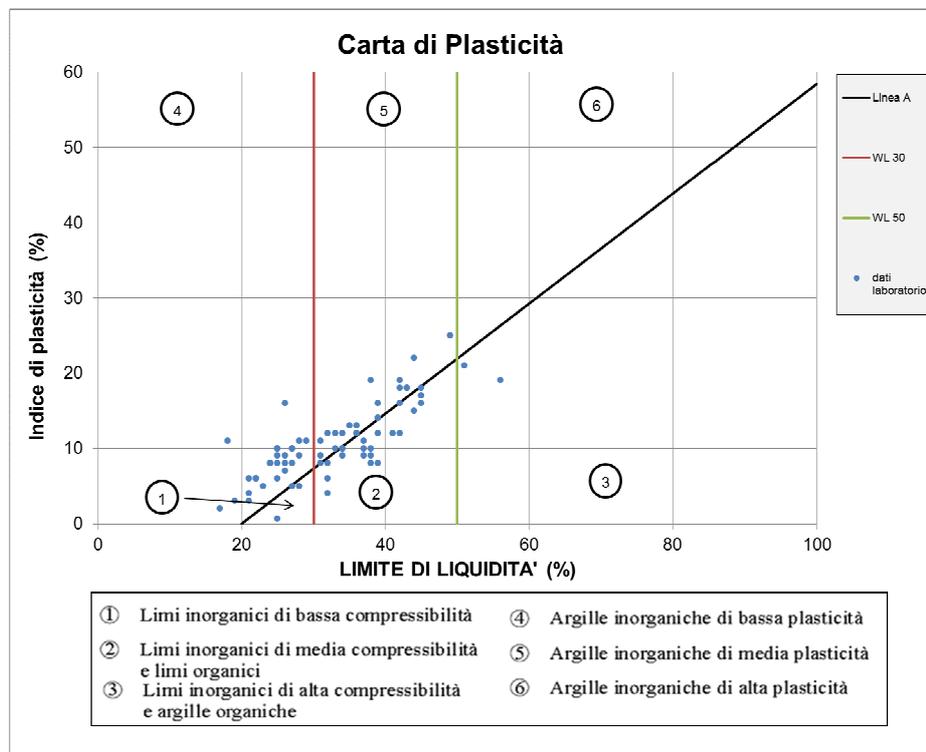


Figura 5-39: Depositi fluviali(fl2) - Carta di Casagrande

Le indagini condotte per la formazione in esame hanno mostrato che depositi alluvionali si presentano secondo due differenti composizioni granulometriche: una con prevalente carattere grossolano, classificabile come ghiaia sabbiosa e ghiaia sabbiosa-limosa, e una con granulometria più fine, identificabile come limo sabbioso-argilloso. Non c'è una chiara evidenza geotecnica nella tratta in esame che possa far propendere per una unità specificatamente grossolana o fine: nella gran parte della tratta si nota una alternanza tra strati di limo sabbioso, a componente maggiormente fine, e spessori anche metrici di ghiaia grossolana in matrice limoso-sabbiosa.

Le prove Lefranc e Lugeon effettuate in sito 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).

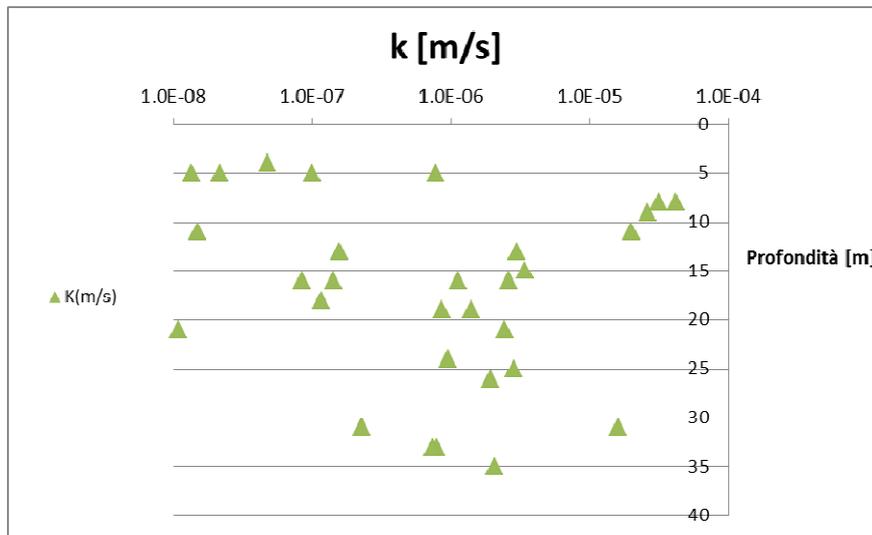


Figura 5-40: Depositi fluviali(fl2) -- Permeabilità

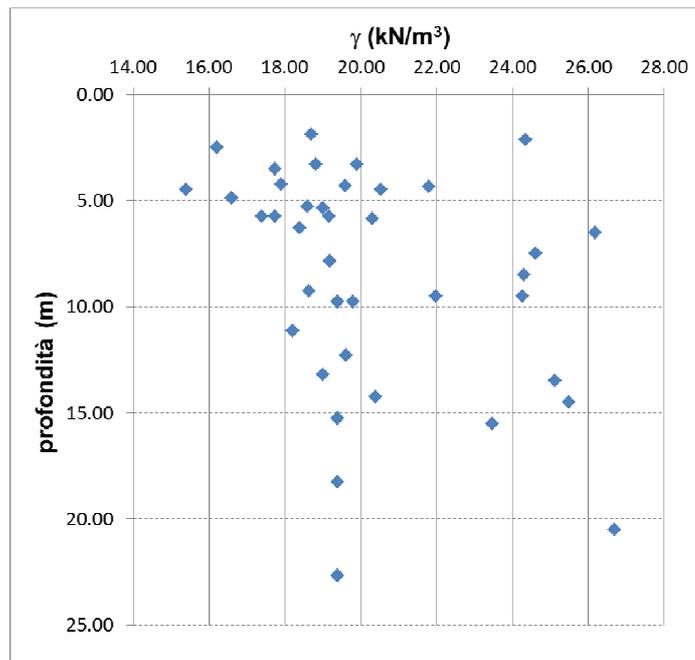


Figura 5-41: Depositi fluviali(fl2) - Peso dell'unità di volume

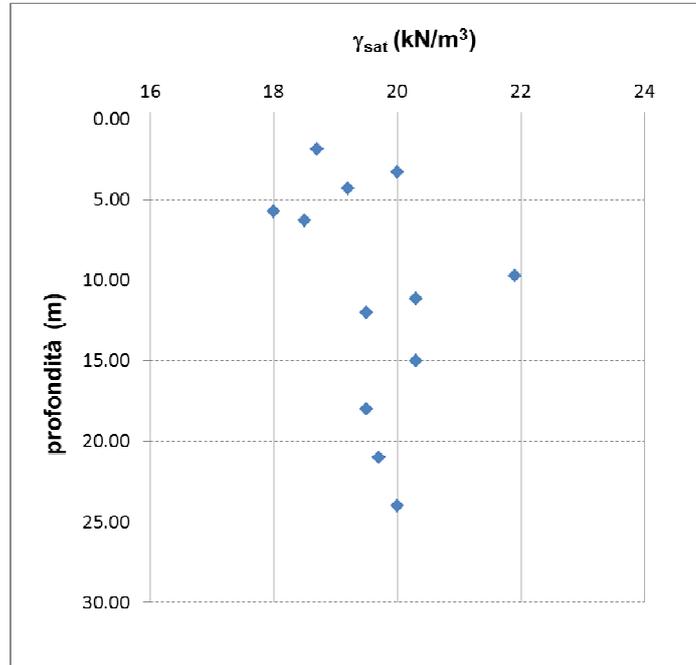


Figura 5-42: Depositi fluviali(fl2) - Peso dell'unità di volume saturo

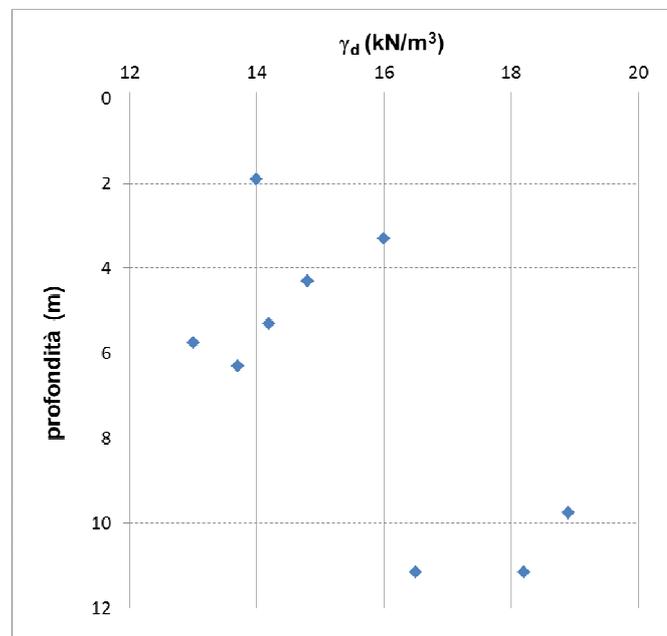


Figura 5-43: Depositi fluviali(fl2) - Peso dell'unità di volume secco

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in sito indicano per i depositi alluvionali una certa variabilità del peso di volume naturale, funzione della differente composizione granulometrica riscontrata; con valori prevalentemente all'interno del range pari a 18-19 kN/m³.

Proprietà meccaniche di resistenza

Di seguito si riassumono i principali dati desunti dalle indagini.

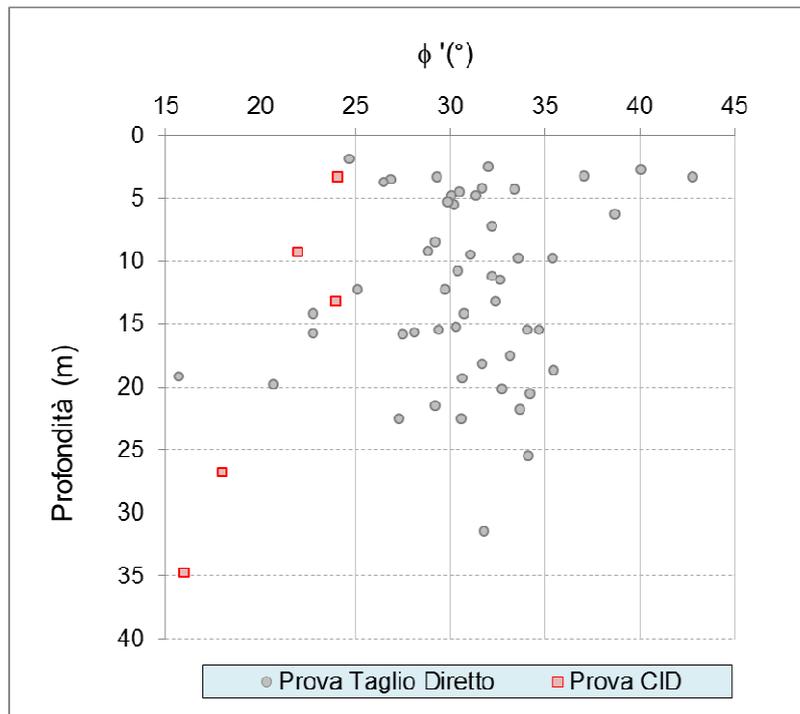


Figura 5-44 : Depositi fluviali(fl2) - Angolo d'attrito

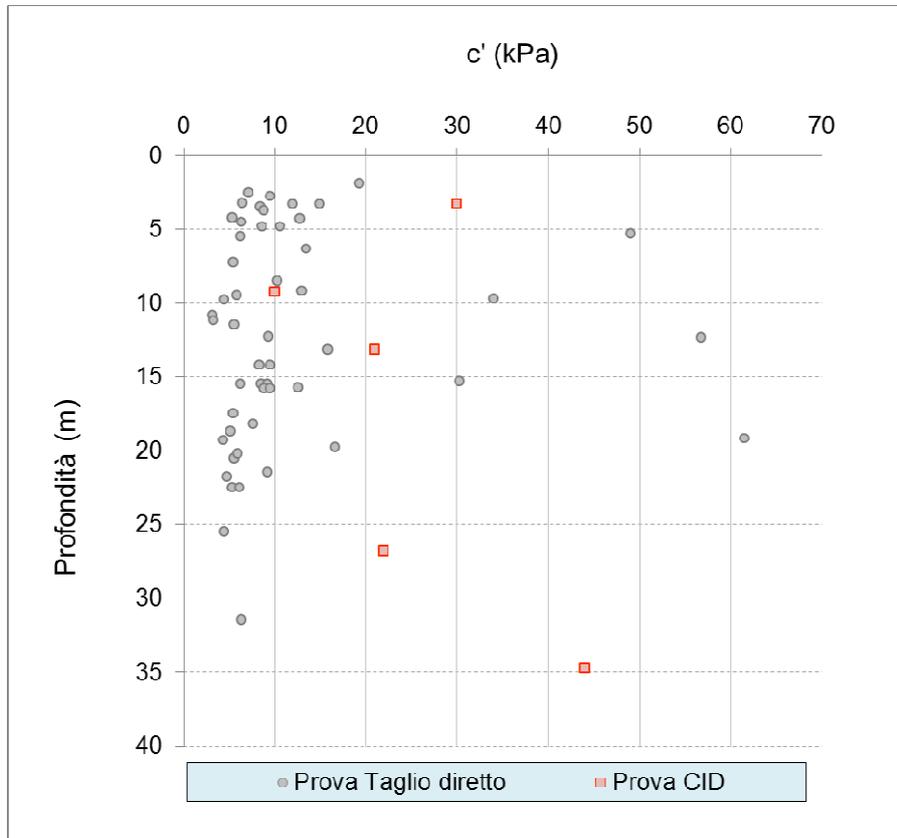


Figura 5-45: Depositi fluviali(fl2) - Coesione

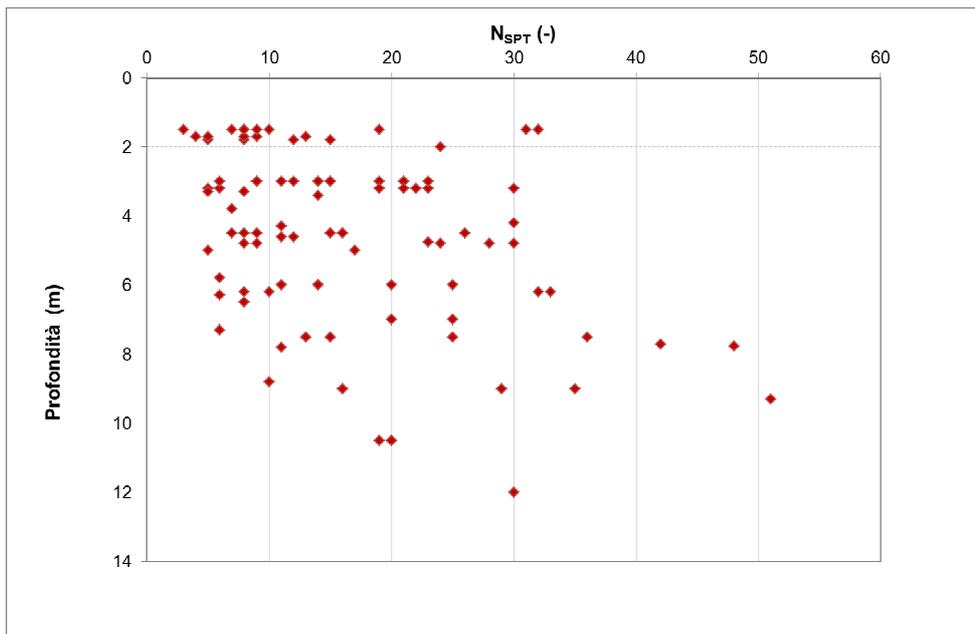


Figura 5-46: Depositi fluviali(fl2)- Prove SPT

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, presenta coesioni più elevate ed angoli di attrito inferiori. Nell'area in esame, con riferimento a quanto presentato nel paragrafo precedente, risulta spesso presente anche la tipologia a matrice più grossolana. A tale conformazione 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

Ai fini della valutazione delle caratteristiche di deformabilità dei depositi superficiali si è considerato l'esito delle prove SPT in foro di sondaggio. Di seguito si riportano i risultati ottenuti mediante le correlazioni proposte da D'Apollonia - 1968; Jamiolkowski - 1988 (terreni SC); Webb - 1970, Stroud - 1989 e Schultze e Menzenbach - 1961.

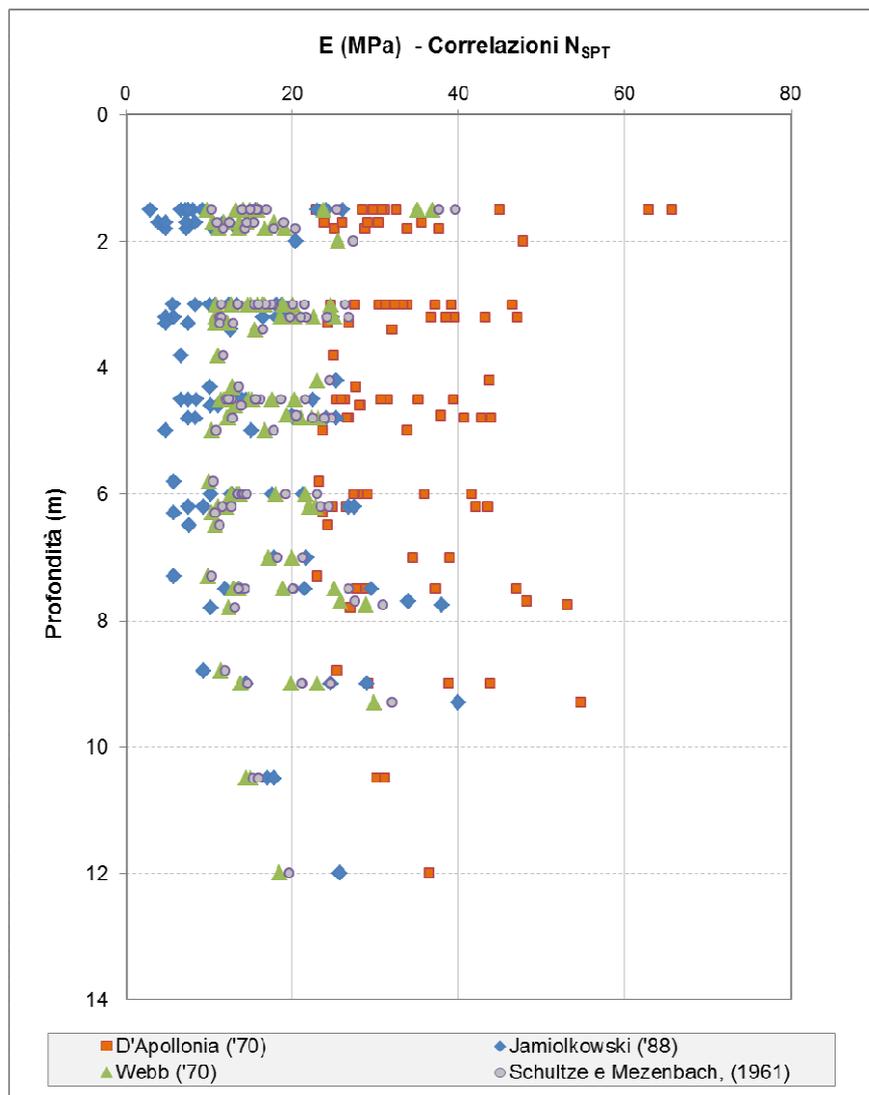


Figura 5-47: Depositi fluviali(fl2)-Modulo elastico da correlazioni con SPT

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A3010XDCVRBGN0000001B01 Foglio 76 di 78

I risultati evidenziano un leggero incremento del modulo elastico con la profondità, con valori medi intorno ai 30 MPa; la parametrizzazione risulta in linea con i risultati in termini di modulo operativo $E_{op}=E_0/10$ ricavati dalle DH e dagli stendimenti riportati al §5.3.2, con valori per i primi 10m che oscillano tra i 20 e i 60 MPa con picchi di 90 MPa).

5.6. Sintesi parametrizzazione geotecnica

Si riporta nella seguente tabella il riepilogo dei parametri fisici e meccanici derivati dalla caratterizzazione geotecnica. Si rimanda alle tavole del profilo geotecnico e alle specifiche relazioni di calcolo per quanto riguarda la determinazione dei profili stratigrafici adottati nelle varie calcolazioni e usati nei modelli di calcolo specifici, nonché del livello di falda di progetto.

Formazione		γ	ϕ	c	E_{op}	k
		(kN/m ³)	(°)	(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	$10^{-6} \div 10^{-10}$

L'intervallo di variabilità dei valori di coesione assegnati alla formazione di Cassano Spinola è da ritenersi una stima cautelativa, rispetto alla resistenza che il materiale può esibire ai livelli tensionali di interesse nelle opere in progetto; tale cautela è soprattutto conseguenza della tipologia delle determinazioni sperimentali condotte sui terreni riconducibili alla formazione in esame e delle caratteristiche fisiche del materiale in esame, ovvero:

- le prove di laboratorio a disposizione per la stima della coesione dei cC sono prove di taglio diretto, che imponendo una superficie di rottura prestabilita - diversamente da prove di taglio in cella triassiale - tendono a sottostimare la resistenza del materiale, specie la sua componente coesiva;
- il grado cementazione che caratterizza la componente pelitica dei cC, prevalente nell'area interessata dalle WBS in oggetto, è inevitabilmente ridotta dal disturbo provocato dal campionamento in situ e dalla formazione del provino in laboratorio.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 77 di 78</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>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A3010XDCVRBGN0000001B01</p>	<p>Foglio 78 di 78</p>

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