

AREA PARCHI MATERIE PRIME - ILVA STABILIMENTO DI TARANTO

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA D'EMERGENZA DELLA FALDA IN AREA "PARCHI PRIMARI" E "PARCO LOPPA"



COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE : Dott. Ing. EDOARDO ROBORTELLA STACUL

ATTIVITA' TECNICHE



ATTIVITÀ PRODUTTIVE

Invitalia Attività Produttive S.p.A.
VIA PIETRO BOCCANELLI 30 - 00138 - ROMA

DIRETTORE TECNICO:
Dott. Ing. MASSIMO MATTEOLI

PROGETTAZIONE AMBIENTALE :

Dott. Ing. EDOARDO ROBORTELLA STACUL

GRUPPO DI LAVORO INTERNO :

Dott. Ing. DANIELE BENOTTI
Dott. Ing. ANDREA VACCARO
Sig.ra PATRIZIA FOGLI

COMPUTI E STIME :

Geom. GENNARO DI MARTINO

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

Relazione Geotecnica

REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI
---	---	---
---	---	---
---	---	---

	DATA	NOME	FIRMA
REDATTO			
VERIFICATO			
APPROVATO			
DATA	NOVEMBRE 2013		
SCALA			
CODICE FILE	ILVA TA_RGeo.dwg		

RGEO

INDICE

INDICE.....	1
1 PREMESSA.....	2
1.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
1.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	2
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROLOGICO DELL'AREA	4
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
2.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
3 INDAGINI ESEGUITE.....	11
3.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA DEL 2007	11
3.1.1 LETTURE PIEZOMETRICHE	15
3.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA FEBBRAIO 2013	17
3.2.1 PROVE DI LABORATORIO	20
3.2.2 INDAGINI SISMICHE	23
3.2.3 LETTURE PIEZOMETRICHE	23
3.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA INTEGRATIVA IN CORSO (NOVEMBRE 2013)	23
4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE	27
4.1 RICONOSCIMENTO DELLE UNITÀ STRATIGRAFICHE	27
4.2 CRITERI DI VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI	27
4.2.1 DEPOSITI INCOERENTI	27
4.2.2 DEPOSITI COESIVI.....	30
4.3 UNITÀ R - TERRENI DI RIporto	33
4.4 UNITÀ L, LA – LIMO SABBIOSO ARGILLOSO E LIMO ARGILLOSO	33
4.5 UNITÀ Ca – CALCARENITI.....	35
4.6 UNITÀ AG – ARGILLE LIMOSE GRIGIO-AZZURRE.....	36
4.7 UNITÀ CAL – CALCARI	37
4.8 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	38
5 CLASSIFICAZIONE SISMICA: CATEGORIA DI SUOLO	66

1 PREMESSA

Nella presente relazione si affrontano gli aspetti geotecnici relativi agli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico relativi alle zone "Parco fossile/minerale" e "Parco Loppa" in area Ilva SpA - Stabilimento di Taranto (Puglia).

L'insieme delle informazioni disponibili ricavate dalle indagini, adeguatamente ordinate ed interpretate, ha permesso la ricostruzione geologico-geotecnica del sottosuolo, la valutazione dei parametri geotecnici e la definizione di una stratigrafia.

Nella presente relazione verranno affrontati i seguenti aspetti:

- descrizione delle indagini in sito ed in laboratorio eseguite;
- caratterizzazione geotecnica generale dell'area;
- definizione della categoria di suolo sismica;
- descrizione delle problematiche, delle scelte progettuali e dimensionamento degli interventi previsti in progetto.

1.1 Normative di riferimento

La presente relazione tecnica è stata redatta in conformità alle normative vigenti:

[Ref. 1.]Decreto Ministero Infrastrutture 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".

[Ref. 2.]Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009 - "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008".

1.2 Documenti di riferimento

[Ref. 3.]Prove geotecniche in sito e di laboratorio propedeutiche al dimensionamento strutturale delle opere di copertura dei seguenti parchi: "GRF", "Omo/Coke", "materie prime", "AGL Nord", "AGL Sud", "Loppa", in area Ilva SpA-Taranto. *Report geofisico*. Indagini geognostiche - caratterizzazioni ambientali Toma Abele Trivellazioni s.r.l. di Matera. Dr. Geol. G. Michele Vizziello. Aprile 2013.

[Ref. 4.]Prove geotecniche in sito e di laboratorio propedeutiche al dimensionamento strutturale delle opere di copertura dei seguenti parchi: "GRF", "Omo/Coke", "materie prime", "AGL Nord", "AGL Sud", "Loppa", in area Ilva SpA-Taranto. Prove CPTU. *Indagini geognostiche* - caratterizzazioni ambientali Toma Abele Trivellazioni s.r.l. di Matera. Dr. Geol. G. Michele Vizziello. Maggio 2013.

[Ref. 5.]Prove geotecniche in sito e di laboratorio propedeutiche al dimensionamento strutturale delle opere di copertura dei seguenti parchi: "GRF", "Omo/Coke", "materie prime", "AGL Nord", "AGL Sud", "Loppa", in area Ilva SpA-Taranto. Prove CPTU. *Documentazione fotografica* - caratterizzazioni ambientali Toma Abele Trivellazioni s.r.l. di Matera. Dr. Geol. G. Michele Vizziello. Maggio 2013.

- [Ref. 6.] Stratigrafie sondaggi Toma Abele Trivellazioni s.r.l. di Matera, gennaio-febbraio 2013.
- [Ref. 7.] Certificati prove di laboratorio "GTest" S.a.s. di Carbone Andrea & C di Melfi (PZ). Certif. TOMA -OMO2-Coke 14-03-13 (completo).
- [Ref. 8.] Certificati prove di laboratorio "GTest" S.a.s. di Carbone Andrea & C di Melfi (PZ). Certif. TOMA - Parco Loppa 15-04-2013.
- [Ref. 9.] Certificati prove di laboratorio "GTest" S.a.s. di Carbone Andrea & C di Melfi (PZ). Certif. TOMA - Parco Fossili e Minerali (1) 06-04-2013.
- [Ref. 10.] Certificati prove di laboratorio "GTest" S.a.s. di Carbone Andrea & C di Melfi (PZ). Certif. TOMA - Parco Fossili e Minerali (1) 11-04-2013.
- [Ref. 11.] Certificati prove pressiometriche Menard. Toma Abele Trivellazioni s.r.l. di Matera, gennaio-febbraio 2013.
- [Ref. 12.] Certificati sondaggi anno 2007.
- [Ref. 13.] Relazione geologica-idrogeologica del sito industriale Ilva/Sana Taranto. Dott. Geol. Gallicchio Antonio. Maggio 2007.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO ED IDROLOGICO DELL'AREA

2.1 Inquadramento geologico

La ricostruzione dei caratteri geolitologici dell'area in cui ricade il sito industriale in esame, ha evidenziato una condizione litostratigrafica abbastanza semplice in quanto si ha una concordanza tra morfologia e tettonica. A partire dalla formazione più antica e dal basso verso l'alto si ha la seguente successione geologica:

- **Calcari, calcari dolomitici e dolomie note in letteratura come "Calcarea di Altamura" (Senoniano):** si tratta della più antica unità affiorante nell'area Nord dello stabilimento e costituisce il basamento carbonatico sul quale si sono successivamente depositate le altre unità presenti in quest'area. Il litotipo si presenta sia compatto che fessurato, ceroidale, con colore variabile dal bianco al grigiastro al grigio nocciola o rossastro se alterato. A luoghi si notano calcari cristallini vacuolari a frattura irregolare. La fratturazione e l'alterazione carsica, conferiscono a tale unità stratigrafica una permeabilità secondaria dipendente dall'assetto strutturale della roccia (intensità, spaziatura e apertura delle fratture, grado di alterazione). Il Calcarea di Altamura è delimitato superiormente da una superficie di erosione ondulata e ricoperta da depositi trasgressivi, quasi sempre rappresentati dalle Calcareniti di Gravina. Tuttavia, in alcune aree dello stabilimento, in trasgressione sui calcari si sono rinvenute le Calcareniti di Monte Castiglione o le Argille del Bradano.
- **Calcareniti e biocalcareniti di colore grigio biancastro, giallastro in letteratura note come "Calcareniti di Gravina" (Calabriano):** in trasgressione sulla formazione del Calcarea di Altamura, poggiano le Calcareniti di Gravina. Lo spessore affiorante è variabile da qualche metro fino ad una decina di metri ed è strettamente dipendente dall'andamento della superficie erosiva di contatto con il sottostante Calcarea di Altamura. L'unità in questione è costituita da calcareniti con granulometria variabile da fine a medio - grossolana. Si tratta di calcareniti organogene costituite da clasti derivanti dal disfacimento dei sottostanti calcari e/o da resti di organismi fossili. Il colore osservato sulle superfici esposte e dalle carote provenienti dai sondaggi è biancastro tendente al grigio e talora anche al rossastro o al giallo. La formazione calcarenitica passa superiormente e lateralmente alle Argille del Bradano con le quali è parzialmente coeva. In alcune aree, sulle Calcareniti di Gravina poggiano direttamente quelle di Monte Castiglione.
- **Argille limose e argille marnose di colore grigio azzurro ("Argille del Bradano o subappennine del Calabriano"):** la formazione poggia sulle Calcareniti di Gravina con le quali sono a volte eteropiche oppure, come nel caso dell'area a Sud dell'ex "Nuova Direzione" e verso il mare, essa viene direttamente a contatto, per trasgressione, con il substrato calcareo. La formazione è costituita da marne argillose e siltose, da argille marnose passanti, a luoghi e verso l'alto, a frazioni decisamente più sabbiose. Il colore delle frazioni argillose è variabile dal

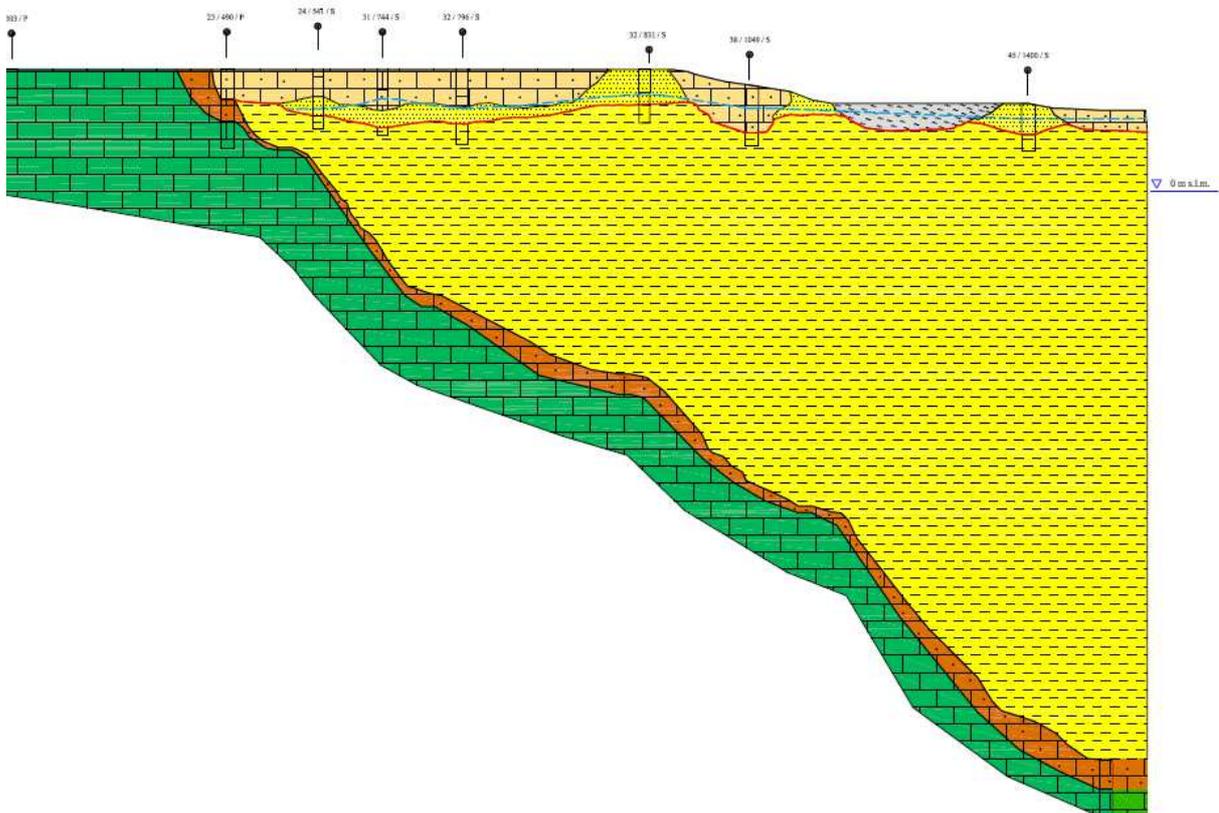
grigio – azzurro al grigio verdino passante ad un marrone – giallastro nelle frazioni limose ed ad un giallo ocra nelle frazioni più sabbiose. Dall'analisi dei diversi sondaggi eseguiti, si è notato che la superficie sommitale delle argille ha un andamento ondulato e che il loro spessore aumenta man mano che ci si sposta verso la linea di costa dove raggiungono uno spessore di circa 110 mt. nelle aree verso mare, in trasgressione sulle argille, si ritrovano i Depositi Marini Terrazzati, mentre in prossimità dell'area Parchi Primari si rinvengono dei limi giallastri o nerastri di origine palustre non sempre ben distinguibili dalle sottostanti Argille del Bradano.

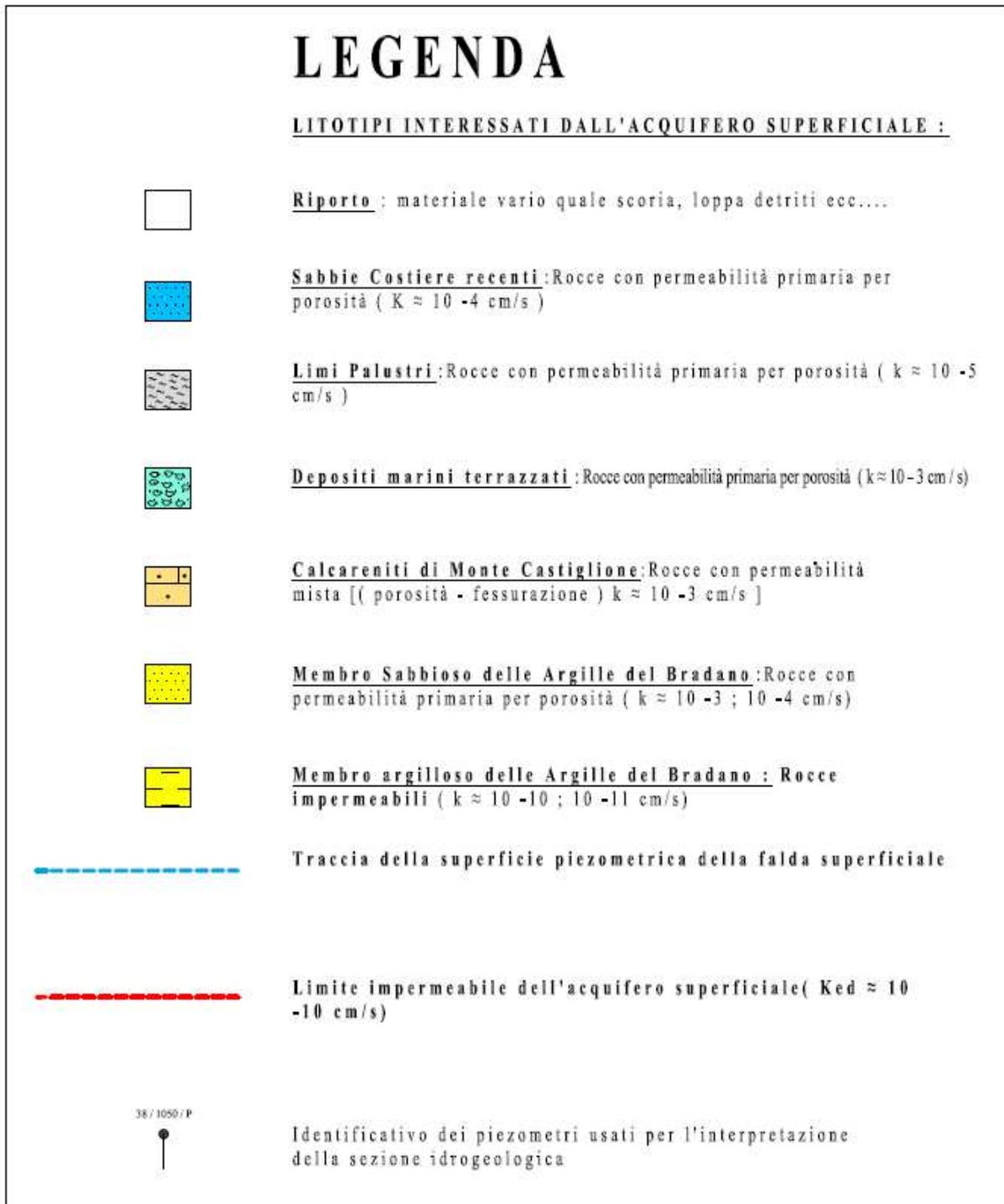
- **Calcareniti o biocalcareniti giallastre, biancastre a luoghi rossastre ("Calcareniti di Monte Castiglione", del Tirreniano – Calabriano):** questi depositi sono trasgressivi su quelli delle Argille del Bradano o sulle Calcareniti di Gravina ed il Calcarea di Altamura. A luoghi sono interrotte dalle Argille del Bradano e quasi sempre presentano un aspetto litologico differente da luogo a luogo che costituisce la peculiarità predominante di tale deposito. In generale, sono rappresentate da calcareniti grossolane e/o a luoghi finissime di colore variabile dal bianco al giallo rosato più o meno compatte e organogene con aspetto detritico. Nel complesso la facies delle Calcareniti di Monte Castiglione è poco uniforme. Gli spessori di questa formazione variano con la profondità del tetto delle argille e comunque sono sempre dell'ordine di qualche metro. .
- **Limi gialli e nerastri di natura lagunare e/o palustre (Olocene):** l'unità poggia direttamente sulle Argille del Bradano nell'area "Parchi Primari", mentre è a contatto con i Depositi Marini Terrazzati in prossimità dell'area Bellavista. L'estensione della formazione è limitata ad una parte delle aree suddette. L'unità presenta un diverso aspetto nelle due differenti zone. Infatti, in corrispondenza dell'area "Parchi Primari", ha un aspetto fangoso dovuto alla sua piccola frazione granulometrica. Anche il colore è variabile dal grigio chiaro al giallastro al grigio nero. In corrispondenza con il limite delle argille, assume l'aspetto di un fango conchigliare con dei piccoli livelli sabbioso limosi più o meno cementati con piccolissimi resti fossili millimetrici. Il loro spessore è quasi sempre esiguo e comunque non superiore a qualche metro. In corrispondenza dell'area Bellavista, invece, tale deposito ha un predominante colore nero molto scuro con resti di bivalvi o di vegetali. Il deposito sembra avere un peso di volume ed una plasticità minore di quello presente ai Parchi Primari, probabilmente dovuti alla maggiore presenza di componenti organici. Il loro spessore è quasi sempre esiguo e comunque non superiore a qualche metro.
- **Depositi sabbiosi recenti (Sabbie Costiere):** questa formazione è stata rinvenuta solo in alcuni sondaggi in prossimità della vecchia linea di riva sulla quale attualmente passa la strada statale 106 Jonica. Si tratta essenzialmente di sabbie fini di colore grigio scuro o grigio verde con rari resti fossili e piccolissimi ciottoli millimetrici sia silicei che calcarei. Nelle frazioni più cementate questi ciottoli attribuiscono al deposito in questione un aspetto microconglomeratico. Nei

primi metri si trovano spesso resti di vegetali. Lo spessore misurato ha raggiunto anche i 6 - 7 mt.

- **Terreni detritici di Riporto:** si tratta di terreni presenti in tutto lo stabilimento ed usati per la regolarizzazione delle varie asperità o per il riempimento di scavi di diversa profondità. Il loro spessore è ben definibile solo a carattere puntuale. Questi terreni hanno un assetto caotico e sono costituiti da miscele di materiali inerti di diversa natura con possibile presenza di materiali siderurgici, quali loppe di altoforno e scorie di acciaieria. Le diverse modalità di compattazione e le diverse tipologie di materiali usati conferiscono a tale materiale delle caratteristiche fisico meccaniche variabili.

SEZIONE C - C'





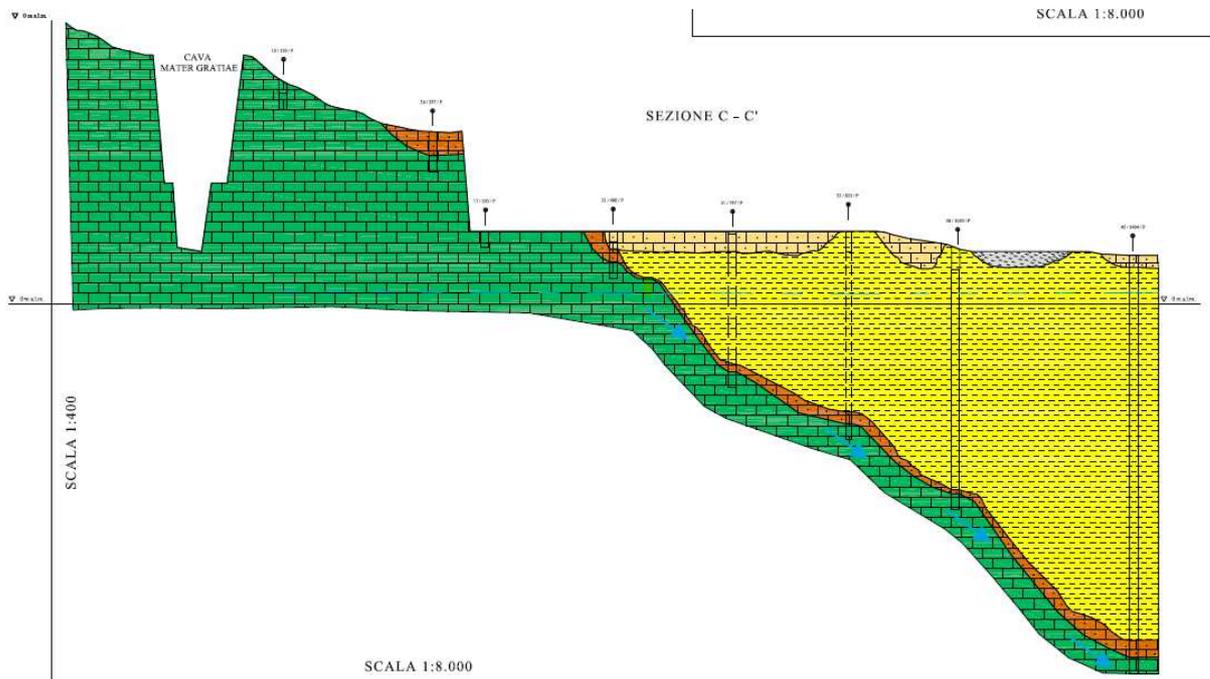
2.2 Inquadramento idrogeologico

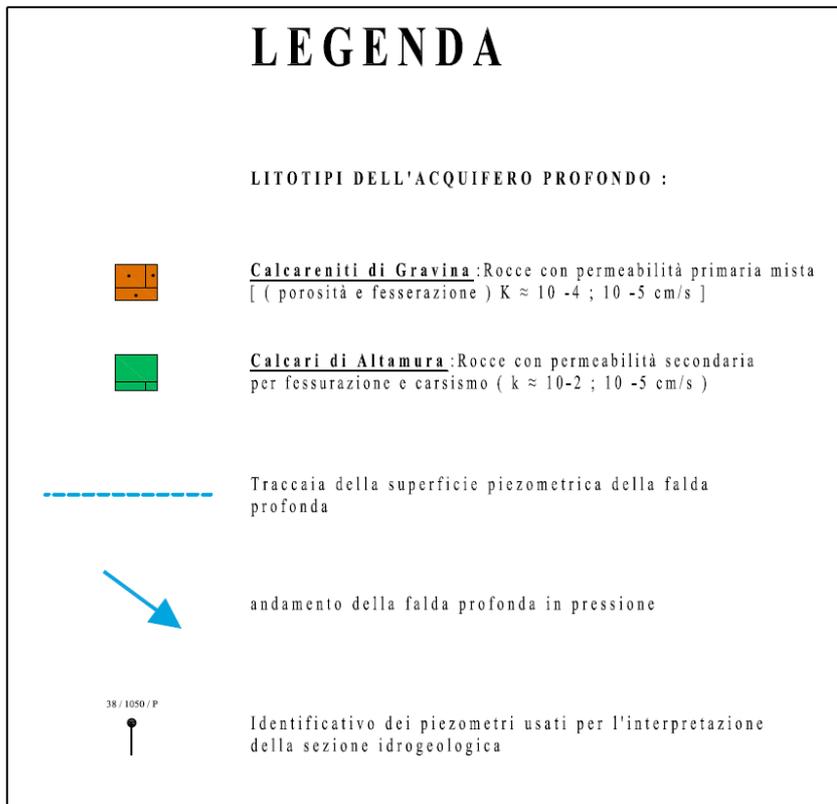
Il contesto stratigrafico di cui sopra ha fortemente condizionato l'idrogeologia dell'area oggetto di caratterizzazione, in quanto la sedimentazione del potente banco argilloso non solo ha confinato la sottostante falda profonda di base ma ha anche permesso l'instaurarsi di una falda superficiale che è delimitata inferiormente dal tetto impermeabile delle argille. Pertanto, in quest'area si rinvencono due distinti acquiferi :

- acquifero fessurato – carsico profondo;
- acquifero poroso superficiale.

L'acquifero carsico profondo ha sede nella formazione carbonatica del Calcarea di Altamura ed ha delle caratteristiche idrauliche strettamente dipendenti dallo stato di fratturazione e carsismo della roccia serbatoio. Tale aspetto è stato confermato dalle prove di permeabilità in situ di tipo Lefranc, dalle quali è emerso che la permeabilità del calcarea varia tra $3,7 \times 10^{-3}$ a $9,3 \times 10^{-5}$ cm/s.

Inoltre, la circolazione idrica sotterranea, a causa della presenza del banco argilloso soprastante il Calcarea di Altamura, si esplica a pelo libero dall'area di Cava Mater Gratiae fino al Tubificio Longitudinale n. 1, Treno Nastri n° 2 ed in pressione dalle suddette aree in poi (vedasi figura seguente).





Dalle campagne freaticometriche di maggio 2006 e dicembre 2006, è emerso che i livelli piezometrici diminuiscono spostandosi dall'area di Cava Mater Gratiae verso il mare con dei valori compresi tra +5 a + 2 m s.l.m. e che gli stessi livelli, relativamente a questi due rilievi, hanno subito delle oscillazioni medie dell'ordine di 0.2 m circa.

L'elaborazione dei dati rilevati nel maggio 2006 e l'interpretazione della relativa carta idrogeologica ottenuta (vedi tav. 4 in all. 6) evidenziano che i principali assi di deflusso preferenziale sono orientati circa N - S e NW - SE. L'acquifero superficiale, invece, è caratterizzato da rocce serbatoio con variabilità litologica - granulometrica sia laterale che verticale rappresentate dalle Calcareniti di M.te. Castiglione, dai Limi Palustri, dal membro sabbioso delle Argille del Bradano e dalle sabbie e ghiaie dei Depositi Marini Terrazzati. Pertanto, la circolazione idrica, pur essendo sempre a pelo libero, è condizionata dalla variazione laterale di permeabilità, dalla morfologia del tetto delle argille e dall'interazione con le opere antropiche (fondazioni, scavi, ecc.). Dalle campagne freaticometriche di luglio 2006 e di febbraio 2007, si è evidenziato che le oscillazioni piezometriche, variabili da 0,1 a 1 m circa, oltre ad essere dipendenti dalle precipitazioni meteoriche, sono influenzate localmente anche da fattori antropici (trincee, scavi, pavimentazione mediante asfalto). Dalla rappresentazione cartografica delle isofreatiche (vedi Tav. 5 in all. 6), si evince come sia difficile definire, se non localmente, un andamento preferenziale del flusso idrico. Tuttavia, è importante rimarcare la presenza di uno spartiacque sotterraneo di separazione tra l'area nord e l'area sud dello stabilimento e delle direzioni di flusso preferenziali con diverso orientamento.

Anche lo studio idrogeologico di dettaglio eseguito da Sogesid del dicembre 2011 (PUG904 SFPL002) ha evidenziato nell'area in esame un principale asse di deflusso

preferenziale orientato circa N - S e NW - SE (verso mare), come si evince dallo stralcio planimetrico riportato in figura seguente.



3 INDAGINI ESEGUITE

Nell'area in oggetto sono state eseguite le seguenti campagne di indagini geotecniche:

- Campagna geognostica del 2007;
- Campagna geognostica del febbraio del 2013.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte nel dettaglio le indagini eseguite nelle campagne di indagine, prendendo in considerazione le indagini ubicate in corrispondenza o comunque vicino alle aree di interesse: "Parco Loppa", Parco Omo/Coke" e "Parco Fossile/minerale".

In sede di stesura del presente elaborato è in programma una campagna di indagine integrativa, che non è ancora stata approntata; le informazioni relative alla suddetta campagna saranno specificate nel seguito.

3.1 Campagna geognostica del 2007

Nel 2007 sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche:

- sondaggi a carotaggio continuo (denominati 19/388/I/T) spinti generalmente fino a profondità di 5 m dal p.c.;
- sondaggi a carotaggio continuo per monitoraggio della falda superficiale, denominati 19/386/I/FS, spinti fino a profondità comprese fra 5 e 45 m;
- sondaggi a carotaggio continuo per monitoraggio della falda profonda, denominati 19/374/I/FP, spinti fino a profondità comprese fra 5 e 45 m;
- installazione di piezometri del tipo a tubo aperto (in ciascun foro di sondaggio con tratto finestrato per tutta la lunghezza della perforazione).

Nella seguente tabella si riassumono le indagini eseguite in sito nella suddetta campagna geognostica.

Tabella 1 - Indagini in sito denominate "T" campagna geognostica 2007

Sondaggio	Tipo sondaggio	Quota boccaforo [m] s.l.m.	Coordinate: x, y		Profondità [m]
			[m]	[m]	
-	-				
19/417/I/T	T	16.73	5032.87	3733.308	5.0
19/419/I/T	T	16.43	5086.878	3722.15	5.0
19/420/I/T	T	15.24	5155.311	3670.334	5.0
19/421/I/T	T	15.12	5173.08	3705.489	5.0
19/423/I/T	T	15.14	5271.858	3669.44	5.0
26/608/I/T	T	15.098	5186.219	3653.861	5.0
26/609/I/T	T	12.038	5181.47	3582.26	5.0
26/610/I/T	T	14.628	5230.53	3651.14	5.0
26/611/I/T	T	12.157	5135.04	3543.47	5.0
26/612/I/T	T	13.026	5313.25	3638.63	5.0
26/614/I/T	T	11.877	5222.36	3529.55	5.0
26/616/I/T	T	11.011	5406.86	3485.97	5.0
26/617/I/T	T	11.219	5529.13	3457.9	5.0
26/619/I/T	T	12.331	5068.03	3402.13	5.0
26/621/I/T	T	11.579	5217.97	3478.97	5.0
26/623/I/T	T	11.208	5581.51	3369.83	5.0
26/624/I/T	T	11.306	5619.78	3381.33	5.0
26/626/I/T	T	12.222	5069.23	3267.64	5.0
26/627/I/T	T	11.337	5288.94	3303.93	5.0
26/628/I/T	T	11.428	5320.67	3264.24	5.0
26/629/I/T	T	10.929	5674.43	3298.00	5.0
33/848/I/T	T	12.153	5073.35	3053.51	5.0
33/850/I/T	T	11.154	5213.93	3119.09	5.0
33/851/I/T	T	11.177	5611.02	3116.35	5.0
33/853/I/T	T	12.103	5035.97	2978.48	5.0
33/854/I/T	T	12.096	5091.93	3018.67	5.0
33/855/I/T	T	11.538	5352.86	3006.25	5.0
33/857/I/T	T	11.14	5560.01	3017.48	5.0
33/860/I/T	T	11.981	5074.82	2889.3	5.0
33/861/I/T	T	11.273	5208.34	2866.24	5.0
33/863/I/T	T	11.259	5551.44	2864.26	5.0
33/864/I/T	T	11.811	5661.81	2848.61	5.0

Sondaggio	Tipo sondaggio	Quota boccaforo	Coordinate: x, y		Profondità
-	-	[m] s.l.m.	[m]	[m]	[m]
38/1079/I/T	T	12.93	4926.32	2444.72	5.0
39/1080/I/T	T	13.197	5032.1	2797.29	5.0
39/1081/I/T	T	13.215	5065.4	2819.61	5.0
39/1084/I/T	T	14.799	54440.66	2910.55	5.0
39/1086/I/T	T	11.359	5604.73	2814.73	5.0
39/1088/I/T	T	12.997	5028.91	2724.22	5.0
39/1091/I/T	T	11.9	5664.3	2715.95	5.0
39/1094/I/T	T	11.964	5112.6	2613.24	5.0
39/1096/I/T	T	11.312	5617.65	2593.14	5.0
39/1097/I/T	T	11.927	5023	2539.12	5.0
39/1098/I/T	T	11.812	4987.87	2508.24	5.0
39/1099/I/T	T	11.833	5034.08	2508.54	5.0
39/1100/I/T	T	11.825	5110.56	2512.73	5.0
39/1102/I/T	T	11.581	5215.4	2530.79	5.0
39/1103/I/T	T	11.748	5363.9	2530.91	5.0
39/1104/I/T	T	11.404	5272.8	2526.05	5.0
39/1105/I/T	T	12.548	5327.85	2457.84	5.0
39/1109/I/T	T	12.138	5495.26	2520.82	5.0
44/1322/I/T	T	13.154	4920.15	2419.83	5.0
45/1375/I/T	T	12.77	4959.04	2391.86	5.0
45/1376/I/T	T	12.514	5344.72	2408.54	5.0
45/1377/I/T	T	12.713	5406.05	2377.28	5.0
45/1378/I/T	T	12.86	5546.08	2401.13	5.0
45/1379/I/T	T	13.027	5671.14	2413.42	3.2
45/1380/I/T	T	12.83	4978.69	2256.25	5.0
45/1381/I/T	T	12.88	5403.8	2225.39	5.0
45/1382/I/T	T	12.73	5530.46	2314.54	5.0
45/1383/I/T	T	12.79	5598.35	2321.91	5.0
45/1384/I/T	T	12.805	5533.57	2274.54	5.0
45/1386/I/T	T	13.307	5681.11	2302.48	5.0
45/1387/I/T	T	12.99	4970.5	2227.48	5.0
45/1388/I/T	T	12.404	5026.68	2203.86	5.0
45/1390/I/T	T	12.24	5071.71	2212.53	5.0
45/1391/I/T	T	12.69	5133.37	2188.27	5.0
45/1392/I/T	T	12.73	5092.58	2186.09	5.0
45/1393/I/T	T	12.43	5173.58	2211.95	5.0
45/1397/I/T	T	12.39	5273.78	2212.16	5.0
45/1398/I/T	T	13.63	5325.52	2165.23	5.0
45/1401/I/T	T	12.55	5383.55	2304.48	7.0
45/1402/I/T	T	12.82	5396.76	2181	5.0
45/1403/I/T	T	12.99	5526.32	2185.82	5.0
45/1405/I/T	T	14.2	5644.35	2217.98	5.0
45/1415/I/T	T	13.405	5317.11	2118.48	5.0
45/1416/I/T	T	12.67	5382.12	2097.21	5.0
45/1417/I/T	T	12.89	5469.74	2146.64	5.0

Tabella 2 - Indagini in sito denominate "FS" campagna geognostica 2007

Sondaggio	Tipo sondaggio	Quota boccaforo	Coordinate: x, y		Profondità
			[m]	[m]	
-	-	[m] s.l.m.	[m]	[m]	[m]
19/422/I/FS	FS	13.93	5246.82	3666.07	10.0
26/251/I/FS	FS	13.648	5313.091	3645.546	7.0
26/253/I/FS	FS	13.37	5479.598	3573.098	10.0
26/605/I/FS	FS	12.03	5095.25	3640.72	10.0
26/606/I/FS	FS	12.03	5122.9	3619.46	9.0
26/607/I/FS	FS	12.61	5120.6	3520.01	9.0
26/618/I/FS	FS	12.87	5628.53	3475.09	8.0
26/620/I/FS	FS	12.34	5072.197	3439.603	7.0
26/622/I/FS	FS	12.111	5471.865	3421.852	5.0
25/589/I/FS	FS	12.515	4982.22	3366.09	9.0
26/625/I/FS	FS	12.407	4985.05	3296.29	7.0
33/843/I/FS	FS	12.262	5191.403	3103.35	7.0
33/844/I/FS	FS	12.1	5320.277	3203.85	5.0
33/846/I/FS	FS	11.18	5582.199	3045.52	5.0
33/847/I/FS	FS	12.93	5682.6	3201.82	8.0
33/849/I/FS	FS	12.03	5113.81	3064.75	7.0
33/856/I/FS	FS	12.244	5471.46	3044.57	5.0
33/858/I/FS	FS	11.14	5582.456	2911.414	5.0
33/859/I/FS	FS	12.96	5684.48	2974.44	8.0
33/862/I/FS	FS	11.96	5191.204	2921.737	6.0
33/865/I/FS	FS	12.88	5683.74	2886.06	8.0
33/866/I/FS	FS	12.828	5683.41	2829.69	8.0
39/1082/I/FS	FS	11.85	5021.44	2759.39	8.0
39/1083/I/FS	FS	11.61	5448.28	2949.276	6.0
39/1085/I/FS	FS	11.417	5583.265	2691.735	6.0
39/1087/I/FS	FS	12.18	5683.41	2788.83	7.0
39/1089/I/FS	FS	12.191	5025.48	2650.45	7.0
39/1090/I/FS	FS	11.258	5317.4	2755.17	5.0
39/1092/I/FS	FS	11.97	5682.6	2740.1	7.0
39/1093/I/FS	FS	11.89	5683.5	2663.41	8.0
39/1095/I/FS	FS	12.78	5684.11	2593.6	9.0
39/1101/I/FS	FS	11.53	5156	2611.96	7.0
39/1106/I/FS	FS	11.29	5450.1	2545.24	7.0
39/1107/I/FS	FS	12.65	5345.09	2461.97	8.0
39/1108/I/FS	FS	11.78	5445.48	2468.37	8.0
39/1110/I/FS	FS	11.62	5497.68	2452.62	7.0
39/1111/I/FS	FS	12.33	5571	2439.52	8.0
39/1112/I/FS	FS	11.28	5622.92	2493.37	8.0
39/1113/I/FS	FS	11.34	5628.45	2456.46	8.0
39/1114/I/FS	FS	12.87	5684.6	2500.63	8.0
44/1339/I/FS	FS	13.336	4940.25	2329.62	8.0
44/1358/I/FS	FS	14.73	4951.89	2161.42	8.0
45/1385/I/FS	FS	13.71	5661.37	2260.5	8.0
45/1388/I/FS	FS	12.404	5026.68	2203.86	5.0
45/1394/I/FS	FS	12.37	5220.27	2210.64	8.0
45/1399/I/FS	FS	12.903	5322.81	2205.31	7.0
45/1400/I/FS	FS	12.84	5371.88	2201.51	5.0
45/1418/I/FS	FS	13.22	5552.27	2144.3	8.0
51/1583/I/FS	FS	15.387	5434.56	2051.85	7.0

Tabella 3 – Indagini in sito denominate "FP" campagna geognostica 2007

Sondaggio	Tipo sondaggio	Quota boccaforo	Coordinate: x, y		Profondità
			[m]	[m]	
-	-	[m] s.l.m.	[m]	[m]	[m]
19/407/I/FP	FP	15.81	4498.506	3679.557	5.0
26/615/I/FP	FP	11.976	5541.25	3535.8	56.0
33/852/I/FP	FP	12.87	5682.11	3158.17	66.5
39/1115/I/FP	FP	12.858	5683.43	2540.12	94.0
45/1404/I/FP	FP	13.07	5565.06	2216.97	105.0

Per quanto riguarda la descrizione di dettaglio delle indagini eseguite ed i certificati, si rimanda agli appositi documenti [Ref. 12.]. Comunque dalla documentazione della campagna del 2007 si osserva che:

- dalle stratigrafie dei sondaggi mancano descrizioni accurate delle granulometrie e del grado di addensamento/consistenza del terreno ed indicazioni più dettagliate sul grado di cementazione della calcarenite intercettata superficialmente;
- mancano misure speditive con Pocket Penetrometer e/o Vane Test nelle carote dei terreni coesivi;
- mancano le foto delle cassette catalogatrici delle carote dei sondaggi;
- mancano indicazioni sul tipo di piezometri installati;
- non è citata l'impresa esecutrice.

Sui sondaggi eseguiti nella campagna geognostica del 2007 non sono stati prelevati campioni né rimaneggiati, né indisturbati per analisi di laboratorio, non sono inoltre state eseguite prove in sito.

3.1.1 Letture piezometriche

Nelle seguenti tabelle si riportano le letture nei piezometri del tipo a tubo aperto, installati nei fori di sondaggio, al fine di individuare il livello statico di falda, le direttrici locali di flusso e valutare lo stato di qualità delle acque di falda (tramite analisi chimiche di campioni di acqua prelevati).

Per i piezometri superficiali la parte finestrata si estende da fondo foro fino ad 1 m da p.c., per i piezometri profondi tra fondo foro ed almeno 1 m sopra il livello massimo statico della falda ed il restante tratto di tubazione è cieca.

I campioni sono stati prelevati mediante impiego della pompa sommersa, opportunamente lavata prima di ogni prelievo. All'atto del campionamento sono stati determinati in campo, i seguenti parametri: Temperatura, Ossigeno disciolto, Conduttività elettrica, Potenziale Redox, pH. I campioni, con l'eccezione dell'aliquota destinata all'analisi dei composti organici volatili, sono campioni medi risultanti dalla somma di tre campionamenti eseguiti da un flusso ininterrotto, a distanza di 5 - 10 minuti l'uno dall'altro. L'aliquota destinata all'analisi dei composti organici volatili è stata oggetto di prelievo istantaneo.

Tabella 4 - Letture piezometri superficiali campagna del 2007

Sondaggio	Tipo sondaggio	Zona	Quota boccaforo	FALDA	FALDA
-	-	-	[m] s.l.m.	[m] da p.c.	[m] s.l.m.
19/386/I/FS	FS	Parco Coke	17.79	5.3	12.5
19/390/I/FS	FS	Parco Coke	16.88	7.5	9.4
19/399/I/FS	FS	Parco Coke	17.1	5.4	11.7
19/401/I/FS	FS	Parco Coke	16.32	7.8	8.5
19/409/I/FS	FS	Parco Coke	16.051	5.9	10.1
19/411/I/FS	FS	Parco Coke	15.595	6.0	9.6
19/422/I/FS	FS	Parco fossile/parco Coke	13.93	6.7	7.2
26/251/I/FS	FS	Parco fossile/parco Coke	13.648	6.8	6.8
26/253/I/FS	FS	Parco fossile	13.37	4.7	8.7
26/605/I/FS	FS	Parco fossile/parco Coke	12.03	4.5	7.5
26/606/I/FS	FS	Parco fossile/parco Coke	12.03	4.4	7.6
26/607/I/FS	FS	Parco fossile	12.61	5.1	7.5
26/618/I/FS	FS	Parco fossile	12.87	2.4	10.5
26/620/I/FS	FS	Parco fossile	12.34	3.9	8.4
26/622/I/FS	FS	Parco fossile	12.111	0.2	11.9
25/589/I/FS	FS	Parco fossile	12.515	3.9	8.6
26/625/I/FS	FS	Parco fossile	12.407	2.89	9.5
33/843/I/FS	FS	Parco fossile	12.262	1.6	10.7
33/844/I/FS	FS	Parco fossile	12.1	1.4	10.7
33/846/I/FS	FS	Parco fossile	11.18	0.7	10.5
33/847/I/FS	FS	Parco fossile	12.93	1.6	11.3
33/849/I/FS	FS	Parco fossile	12.03	2.6	9.4
33/856/I/FS	FS	Parco fossile	12.244	0.1	12.1
33/858/I/FS	FS	Parco fossile	11.14	0.3	10.9
33/859/I/FS	FS	Parco fossile	12.96	1.9	11.0
33/862/I/FS	FS	Parco fossile	11.96	1.0	11.0
33/865/I/FS	FS	Parco fossile	12.88	2.0	10.9
33/866/I/FS	FS	Parco fossile	12.828	2.1	10.8
39/1082/I/FS	FS	Parco fossile	11.85	2.6	9.3
39/1083/I/FS	FS	Parco fossile	11.61	0.6	11.1
39/1085/I/FS	FS	Parco fossile	11.417	0.8	10.6
39/1087/I/FS	FS	Parco fossile	12.18	2.4	9.8
39/1089/I/FS	FS	Parco fossile	12.191	3.6	8.6
39/1090/I/FS	FS	Parco fossile	11.258	0.8	10.5
39/1092/I/FS	FS	Parco fossile	11.97	2.2	9.8
39/1093/I/FS	FS	Parco fossile	11.89	2.5	9.4
39/1095/I/FS	FS	Parco fossile	12.78	3.0	9.8
39/1101/I/FS	FS	Parco fossile	11.53	1.9	9.6
39/1106/I/FS	FS	Parco fossile	11.29	1.0	10.3
39/1107/I/FS	FS	Parco fossile	12.65	2.6	10.1
39/1108/I/FS	FS	Parco fossile	11.78	2.5	9.3
39/1110/I/FS	FS	Parco fossile	11.62	2.5	9.1
39/1111/I/FS	FS	Parco fossile	12.33	2.3	10.0
39/1112/I/FS	FS	Parco fossile	11.28	2.9	8.4
39/1113/I/FS	FS	Parco fossile	11.34	1.9	9.4
39/1114/I/FS	FS	Parco fossile	12.87	3.3	9.6
44/1339/I/FS	FS	Parco loppa	13.336	3.7	9.7
44/1358/I/FS	FS	Parco loppa	14.73	2.6	12.2
45/1385/I/FS	FS	Parco loppa	13.71	3.0	10.7
45/1388/I/FS	FS	Parco loppa	12.404	1.2	11.2
45/1394/I/FS	FS	Parco loppa	12.37	2.0	10.3
45/1399/I/FS	FS	Parco loppa	12.903	2.6	10.3
45/1400/I/FS	FS	Parco loppa	12.84	2.0	10.9
45/1418/I/FS	FS	Parco loppa	13.22	2.6	10.6
51/1583/I/FS	FS	Parco loppa	15.387	4.2	11.2

Tabella 5 – Letture piezometri profondi campagna del 2007

Sondaggio	Tipo sondaggio	Zona	Quota boccaforo	FALDA	FALDA
-	-	-	[m] s.l.m.	[m] da p.c.	[m] s.l.m.
19/374/I/FP	FP	Parco Coke	18.94	16.0	2.9
19/407/I/FP	FP	Parco fossile	15.81	15.0	0.8
19/414/I/FP	FP	Parco Coke	15.08	12.0	3.1
26/615/I/FP	FP	Parco fossile	11.976	11.0	1.0
33/852/I/FP	FP	Parco fossile	12.87	10.9	2.0
39/1115/I/FP	FP	Parco fossile	12.858	9.3	3.6
45/1404/I/FP	FP	Parco loppa	13.07	3.3	9.8

3.2 Campagna geognostica febbraio 2013

Nell'ambito della campagna d'indagine del febbraio del 2013 sono state eseguite le seguenti attività nell'area in esame:

- n. 19 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabile da 20 a 45 m dal p.c.;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per le prove di laboratorio;
- installazione di strumentazione per prova Down-Hole su n. 6 fori di sondaggio.
- n. 6 prove sismiche tipo Down-Hole;
- prove penetrometriche statiche CPTU.

Durante la perforazione dei sondaggi sono state inoltre eseguite:

- prove SPT (Standard Penetration Test) con campionatore a punta aperta;
- prove pressiometriche;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per le prove di laboratorio;
- misura speditiva con Pocek Penetrometer e Vane Test in corrispondenza dei terreni coesivi;
- rilievo dei livelli di acqua durante la perforazione dei sondaggi.

Nella seguente tabella si riassumono le indagini eseguite in sito nella suddetta campagna geognostica. I sondaggi hanno doppia sigla di identificazione, come si evince da tabella seguente.

Per quanto riguarda la descrizione di dettaglio ed i certificati, si rimanda agli appositi documenti [Ref. 3.], [Ref. 4.], [Ref. 5.]. [Ref. 6.], [Ref. 11.].

Tabella 6 – Indagini in sito campagna 2013

Sondaggio	Zona	Quota boccaforo	Coordinate: x, y		Data	Profondità	DH	campioni ind.	campioni rim.	Pressiometriche	SPT
-	-	[m] s.l.m.	[m]	[m]		[m]					
19/2239/I/T (ex S2 Omo 2)	Parco Coke	16.5	4596.438	3766.826	mar-13	25.0	-	3		6	5
19/2238/I/T (ex S1 Omo 2)	Parco Coke	16.9	4768.77	3871.596	mar-13	25.0	-	2		-	11
19/2240/I/T (ex S4-DH Omo 2)	Parco Coke	16.4	4835.097	3767.852	mar-13	37.0	30m	2	7	4	11
19/2241/I/T (ex S3 Omo 2)	Parco Coke	14.5	4760.376	3657.277	mar-13	25.0	-	2		-	13
25/2236/I/T (ex S1 Agl Nord)	Parco Coke		4720.533	3473.252	mar-13	25.0	-	2	-	7	6
25/2237/I/T (ex S2 Agl Nord)	Parco Coke		4754.605	3396.965	mar-13	45.0	30m	3	-	-	16
45/2231/I/T (ex S2 parco loppa)	Parco loppa	12.4	5280.929	2348.904	mar-13	30.0	30m	2	-	-	15
39/2230/I/T (ex S1 parco loppa)	Parco loppa	12.5	5318.867	2453.231	mar-13	25.0	-	2	-	10	-
45/2232/I/T (ex S4-DH parco loppa)	Parco loppa	12.5	5200.652	2359.745	mar-13	40.0	-	3	-	-	17
45/2233/I/T (ex S3 parco loppa)	Parco loppa	12.3	5065.889	2209.413	mar-13	30.0	-	2	-	5	-
44/2235/I/T (ex S2-DH Agl Sud)	Parco loppa		4877.400	2250.509	mar-13	45.0	30m	4	-	3	14
44/2234/I/T (ex S1 Agl sud)	Parco loppa		4830.422	2320.945	mar-13	25.0	-	2	-	8	4
26/2223/I/T (ex. S1 DH Pma)	Parco fossile	12	5109.211	3203.396	mar-13	45.0	30m	3		9	5
33/2227/I/T (ex. S6 Pma)	Parco fossile	12	5118.431	2937.806	mar-13	25.0	-	3		-	10
26/2224/I/T (ex. S3 Pma)	Parco fossile	10.9	5545.933	3261.314	mar-13	20.0	-	2		8	1
33/2226/I/T (ex. S2-DH Pma)	Parco fossile		5400.029	3045.541	mar-13	45.0	30m	3		-	16
39/2229/I/T (ex. S5 Pma)	Parco fossile	10.8	5222.667	2675.509	mar-13	20.0	-	2		-	8
33/2225/I/T (ex. S4 Pma)	Parco fossile	11.2	5658.731	3043.336	mar-13	20.0	-	2		8	2
33/2228/I/T (ex. S7 Pma)	Parco fossile	11.2	5543.722	2870.934	mar-13	30.0	-	3		-	13

Tabella 7 – prove penetrometriche statiche CPTU campagna 2013

CPTU	Zona	Quota boccaforo	Coordinate: x, y		Preforo	Profondità	Prove di dissipazione
-	-	[m] s.l.m.	[m]	[m]	[m]	[m]	-
CPTU2	Parco fossile/minerale	11.4	5637.792	3262.735	2.20	6.96	-
CPTU3	Parco fossile/minerale	11.7	5131.78	3094.518	2.00	14.79	-
CPTU5	Parco fossile/minerale	11.9	5251.366	3040.97	0.00	9.04	-
CPTU6	Parco fossile/minerale	11.0	5320.305	3079.401	1.70	7.78	si
CPTU7	Parco fossile/minerale	10.6	5170.337	2690.583	2.60	7.22	-
CPTU9	Parco fossile/minerale	11.9	5660.778	2704.850	0.00	6.98	-
CPTU3	Parco Loppa	12.4	5279.284	2212.148	1.60	9.16	si
CPTU5	Parco Omo/Coke	15.5	4868.173	3654.850	2.20	4.96	-

Tabella 8 - prove pressiometriche campagna 2013

Zona	Sondaggio	Profondità	Modulo pressiometrico	Unità	Eed	cu
-	-	[m]	[Mpa]	-	[MPa]	[kPa]
Parco Omo-Coke	S2	10.5	8.7	Ag	17.5	127.6
Parco Omo-Coke	S2	13.5	17.3	Ag	34.7	231.1
Parco Omo-Coke	S2	15.5	36.3	Ag	54.2	298.5
Parco Omo-Coke	S2	19.5	22.7	Ag	45.5	350.4
Parco Omo-Coke	S2	20.5	48	Ag	71.7	341.4
Parco Omo-Coke	S2	22	62.8	Ag	93.8	429.1
Parco Omo-Coke	S4	13.5	15.3	Ag	22.8	168
Parco Omo-Coke	S4	19	17.2	Ag	34.5	189
Parco Omo-Coke	S4	22	20.8	Ag	41.6	296
Parco Loppa	S1	5	9.5	LAS	14.2	117
Parco Loppa	S1	7	22.5	Ag	33.7	211
Parco Loppa	S1	9	26.5	Ag	39.6	258
Parco Loppa	S1	11	23.7	Ag	35.4	290
Parco Loppa	S1	13	35.1	Ag	52.5	331
Parco Loppa	S1	15	48.8	Ag	72.8	420
Parco Loppa	S1	17	87.4	Ag	130.5	515
Parco Loppa	S1	19	53.5	Ag	79.9	425
Parco Loppa	S1	21	42.3	Ag	63.1	459
Parco Loppa	S1	23	42	Ag	62.8	412
Parco Loppa	S3	4.5	8	LAS	12	104
Parco Loppa	S3	6.5	23.8	Ag	35.6	209
Parco Loppa	S3	8.5	48.3	Ag	72.1	327
Parco Loppa	S3	10.5	28.1	Ag	42	300
Parco Loppa	S3	12.5	30.9	Ag	46.2	303
Parco fossili	S1	8	14.6	Ag	29.2	218
Parco fossili	S1	10	17.1	Ag	25.5	297
Parco fossili	S1	12	20.8	Ag	41.6	265
Parco fossili	S1	14	35.7	Ag	53.3	315
Parco fossili	S1	16	34.9	Ag	52.1	310
Parco fossili	S1	18	27.4	Ag	40.8	324
Parco fossili	S1	20	47.6	Ag	71	386
Parco fossili	S1	22	58.8	Ag	87.8	338
Parco fossili	S1	24	44.5	Ag	66.4	417
Parco fossili	S3	4	6.0	LAS	12.1	108
Parco fossili	S3	6	22.3	Ag	33.2	223
Parco fossili	S3	8	33.7	Ag	50.3	277
Parco fossili	S3	10	34.6	Ag	51.7	381
Parco fossili	S3	12	35.5	Ag	53	369
Parco fossili	S3	14	40.6	Ag	60.5	360
Parco fossili	S3	16	45.8	Ag	68.4	380
Parco fossili	S3	18	60.2	Ag	89.8	407

Tabella 9 – Rilievi livelli di falda da sondaggi campagna 2013

Sondaggio	Zona	Quota boccaforo	FALDA
-	-	[m] s.l.m.	[m] da p.c.
19/2239/I/T (ex S2 Omo 2)	Parco Coke	16.5	4.0
19/2238/I/T (ex S1 Omo 2)	Parco Coke	16.9	4.6
19/2240/I/T (ex S4-DH Omo 2)	Parco Coke	16.4	5.5
19/2241/I/T (ex S3 Omo 2)	Parco Coke	14.5	6.3
25/2236/I/T (ex S1 Agl Nord)	Parco Coke		6.5
25/2237/I/T (ex S2 Agl Nord)	Parco Coke		6.0

3.2.1 Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati nei sondaggi sono state eseguite le prove di laboratorio di seguito elencate e riportate nella seguente tabella:

- determinazione del peso di volume naturale;
- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- analisi granulometriche per sedimentazione ed aerometria;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- prove di taglio diretto;
- prove triassiali consolidate e isotropicamente non drenate (CIU);
- prove ad espansione laterale libera;
- prove edometriche.

Tabella 10 - Laboratorio 2013 Parco Loppa

Sondaggio	-	S2	S4	S2	S1	S3	S3	S1	S2	S4	S4	S4
Campione	-	SPT1	SPT1	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	3.00
Unità	-	R	R	LAS	LAS	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag
Prof.	m	1.50	1.50	3.13	4.20	10.20	14.75	24.75	26.25	32.13	36.70	39.75
Granulometria												
G	%	5.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
S	%	43.0	24.7	1.2	0.9	4.0	2.8	3.2	4.7	2.3	2.6	3.6
L+A	%	51.3	72.6	98.8	99.1	96.0	97.2	96.8	95.3	97.5	97.4	96.4
L	%	15.5	20.8	14.5	10.1	21.7	48.2	43.3	52.7	27.0	25.2	23.1
A	%	35.8	51.8	84.3	89.0	74.3	49.0	53.5	42.6	70.5	72.2	73.3
D50	mm											
Limiti di Atterberg												
W _L	%			49.5	63.6	66.4	40.4	47.1	40.3	52.6	63.4	57.0
W _P	%			31.6	32.7	31.1	22.6	24.0	22.0	28.7	30.4	29.4
I _c	-			1.11	1.08	1.39	1.17	1.29	1.22	1.31	1.40	1.31
I _p	%			17.9	30.9	35.3	17.8	23.1	18.3	23.9	33.0	27.6
Caratteristiche fisiche												
γ _N	kN/m ³			18.3	18.9	19.0	20.1	20.2	20.3	20.5	20.4	20.6
γ _S	kN/m ³											
G _s	-											
w _N	%			29.7	30.3	17.4	19.6	17.4	18.0	21.2	17.3	20.9
e	-											
Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)												
E _{ed}	kPa				6155.0				19237.0	15954.0		
c _v	cm ² /s											
c _α	-											
k	m/s											
Resistenza a compressione monoassiale												
σ _c	MPa											
Resistenza non drenata												
(TX-UU) c _u	kPa											
(TX-ELL) c _u	kPa						472.0		509.0			783.0
Resistenza drenata												
(TD) c	kPa											
(TD) f	°			24.0				23.5				

Tabella 11 - Laboratorio 2013 Parco Fossili/Minerali

Sondaggio	-	S1	S2	S4	S5	S3	S6	S6	S1	S5	S7	S1
Campione	-	SPT1	SPT1	SPT1	SPT1	SPT1	SPT1	SPT2	SPT2	SPT2	SPT2	SPT3
Unità	-	R	R	R	R	R	R	R	LAS	LAS	R	LAS
Prof.	m	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	3.50	3.00	3.00	3.00	4.50

Granulometria

G	%	52.7	0.0	1.7	0.6	4.5	4.8	0.0	1.5	0.1	56.7	2.1
S	%	43.5	0.0	14.9	12.8	18.5	5.0	1.5	7.0	5.3	39.4	7.0
L+A	%	3.8	0.0	83.4	86.6	77.0	90.2	98.5	91.5	94.6	3.9	90.9
L	%	0.0	0.0	44.1	27.8	19.7	33.2	25.3	42.4	34.5	3.6	41.4
A	%	0.0	0.0	39.3	58.8	57.3	57.0	73.2	49.1	60.1	0.3	49.5
D50	mm											

Limiti di Atterberg

W_L	%											
W_p	%											
I_b	-											
I_p	%											

Caratteristiche fisiche

γ_N	kN/m ³		16.9							17.9		
----------------------	-------------------	--	------	--	--	--	--	--	--	------	--	--

Sondaggio	-	S4	S5	S6	S3	S7	S7	S5	S4	S6	S3	S7	S6	S2	S1	S2	S1	S2	S1
Campione	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	3.00
Unità	-	LAS	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag	Ag
Prof.	m	5.75	6.25	6.75	9.20	10.80	13.20	14.75	15.75	16.75	19.80	22.25	24.20	27.20	30.20	31.25	36.20	39.15	42.20

Granulometria

G	%	0.0	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
S	%	3.3	4.3	1.0	1.3	1.4	2.4	1.4	2.3	3.1	2.7	1.6	3.0	3.4	4.7	0.4	1.0	5.8	5.4
L+A	%	96.7	95.3	98.7	98.5	98.6	97.6	98.6	97.7	96.9	97.3	98.4	97.0	96.6	95.3	99.6	99.0	94.0	94.6
L	%	50.4	30.1	27.6	23.7	45.4	40.2	34.5	33.7	40.6	34.5	28.2	37.4	17.0	30.4	18.1	31.6	33.5	32.0
A	%	46.3	65.2	71.1	74.8	53.2	57.4	64.1	64.0	56.3	62.8	70.2	59.6	79.6	64.9	81.5	67.4	60.5	62.6
D50	mm																		

Limiti di Atterberg

W_L	%	44.0	52.9	56.1	60.5	51.7	41.9	51.5	49.3	48.9	51.7	53.7	56.5	64.8	56.8	65.3	61.0	52.7	64.6
W_p	%	22.3	28.3	27.3	29.0	25.6	22.1	26.5	26.7	25.5	28.0	27.5	30.7	32.9	26.7	31.9	31.2	29.2	30.6
I_b	-	1.06	1.09	0.94	1.10	1.13	0.96	1.11	1.11	1.10	1.38	1.14	1.41	1.29	1.13	1.28	1.30	1.31	1.26
I_p	%	21.7	24.6	28.8	31.5	26.1	19.8	25.0	22.6	23.4	23.7	26.2	25.8	31.9	30.1	33.4	29.8	23.5	34.0

Caratteristiche fisiche

γ_N	kN/m ³	19.8	19.4	19.1	18.8	19.8	19.8	20.0	20.0	20.1	20.1	20.1	20.2	20.1	20.3	20.3	20.3	20.4	20.4
γ_s	kN/m ³																		
G_s	-																		
w_N	%	21.1	26.1	29.1	25.9	22.1	22.8	23.8	24.2	23.1	19.1	23.9	20.1	23.8	22.8	22.7	22.4	21.9	21.8
e	-																		

Prove edometriche (valori riferiti alla tensione geostatica in sito)

E_{su}	kPa		13183.0			13056.0				23395.0					18503.0		19200.0	
c_v	cm ² /s		7.60E-04			4.25E-04				3.90E-04					4.50E-04		5.80E-04	
c_v	-																	
k	m/s		5.60E-07			3.20E-07				1.65E-07					2.39E-07		2.94E-07	

Resistenza a compressione monoassiale

σ_c	MPa																		
----------------------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Resistenza non drenata

(TX-UU) c _u	kPa																		
(TX-ELL) c _u	kPa					401.0			276.0			335.0		353.0					438.0

Resistenza drenata

(TD) c	kPa	29.0			47.5					24.5					70.0				
(TD) f	°	15.0			15.5					22.0					25.0				

3.2.2 Indagini sismiche

Sono state eseguite n. 6 indagini sismiche Down-Hole nei fori di sondaggio con una profondità indagata di 30 m al fine di determinare la velocità delle onde $V_{s,30}$ come richiesto da normativa vigente, indicati nella seguente tabella.

Tabella 12 – Indagini sismiche - campagna indagini 2013

Sondaggio	Zona	Profondità	DH	$V_{s,30}$
-	-	[m]		[m/s]
19/2240/I/T (ex S4-DH Omo 2)	Parco Coke	37.0	30m	334
25/2237/I/T (ex S2 Agl Nord)	Parco Coke	45.0	30m	343
45/2231/I/T (ex S2 parco loppa)	Parco loppa	30.0	30m	332
44/2235/I/T (ex S2-DH Agl Sud)	Parco loppa	45.0	30m	352
26/2223/I/T (ex. S1 DH Pma)	Parco fossile	45.0	30m	333
33/2226/I/T (ex. S2-DH Pma)	Parco fossile	45.0	30m	350

3.2.3 Letture piezometriche

Si tratta, ad oggi, di poche misure, utili a definire l'attuale livello di falda ma non sufficienti a cogliere l'oscillazione stagionale o le eventuali risalite in condizioni ambientali particolari.

3.3 Campagna geognostica integrativa in corso (novembre 2013)

A seguito delle elaborazioni effettuate sui dati ad oggi disponibili, si valutata l'opportunità di procedere, ai fini del successivo sviluppo progettuale a livello esecutivo, ad un approfondimento di indagini (geognostiche) per i seguenti scopi:

- definire più dettagliatamente il passaggio stratigrafico agli strati argillosi lungo il perimetro della barriera in progetto (Parco Fossile e Minerario, Parco Loppa) con particolare riferimento alle zone non coperte da sondaggi o comunque con sondaggi pregressi corti (lunghezza 5÷8 m);
- caratterizzazione della permeabilità mediante prove in sito e della granulometria dei limi argillosi sovrastanti le argille limose grigie plioceniche, allo scopo principale di determinare la profondità utile della barriera perimetrale in progetto;
- esecuzione di prove in foro: (Standard Penetration Test nei terreni incoerenti - Riporti e con Pocket Penetrometer nei terreni coesivi) per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni;
- esecuzione di prove di permeabilità Lefranc a carico variabile nei terreni coesivi limosi argillosi per indagare la permeabilità dei limi argillosi sovrastanti le argille limose grigie plioceniche;
- esecuzione di prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nelle argille per approfondire la conoscenza delle caratteristiche fisico-meccaniche e della permeabilità;
- esecuzione di prove di laboratorio su campioni rimaneggiati prelevati nei riporti per conoscere la composizione granulometrica (percentuale di matrice fine); esecuzione di prove di compressione monoassiale su spezzoni litoidi per

approfondire la conoscenza dello strato di "Calcareni di Monte Castiglione" presenti localmente sotto il terreno di riporto.

- accurata descrizione delle stratigrafie dei sondaggi, corredata da documentazione fotografica, comprendente anche la determinazione dell'indice RQD negli strati litoidi e la presenza e dimensioni di eventuali blocchi e trovanti di grossa dimensioni. Tali descrizioni dovranno avere utilità per la caratterizzazione fisica e geotecnica, con riguardo anche agli aspetti tecnologici delle possibili tecnologie di intervento (es. possibilità e condizioni di infissione di palancole metalliche).

La campagna di caratterizzazione integrativa, attualmente in corso, prevede di eseguire:

- sondaggi a carotaggio continuo integrale denominati BH2013_01 ÷ BH2013_05. La lunghezza dei sondaggi indicativa è di 15 m. La lunghezza reale del sondaggio sarà di 3 m entro le argille grigie (quindi potrà essere anche inferiore o superiore a 15 m). Il diametro di carotaggio sarà ≥ 100 mm.
- 7 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc a carico variabile: almeno una per ogni sondaggio nei terreni coesivi limoso argillosi sovrastanti le argille grigie plioceniche;
- prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU denominate CPTU2013_01 ÷ CPTU2013_04 con contrasto da almeno 15 t. Le prove verranno eseguite con preforo nel tratto iniziale per attraversare i riporti e/o calcareniti e poi verranno spinte almeno 3 m entro le argille fino a rifiuto strumentale. Per ogni prova CPTU si avrà cura di determinare la idrostatica e di eseguire 2 prove di dissipazione (che si considerano concluse una volta dissipato almeno il 60% della sovrappressione indotta dalla penetrazione e comunque fino a un massimo di 4 ore). Le prove CPTU verranno, di norma eseguite in adiacenza ad un sondaggio per opportuna taratura e complemento di informazioni.

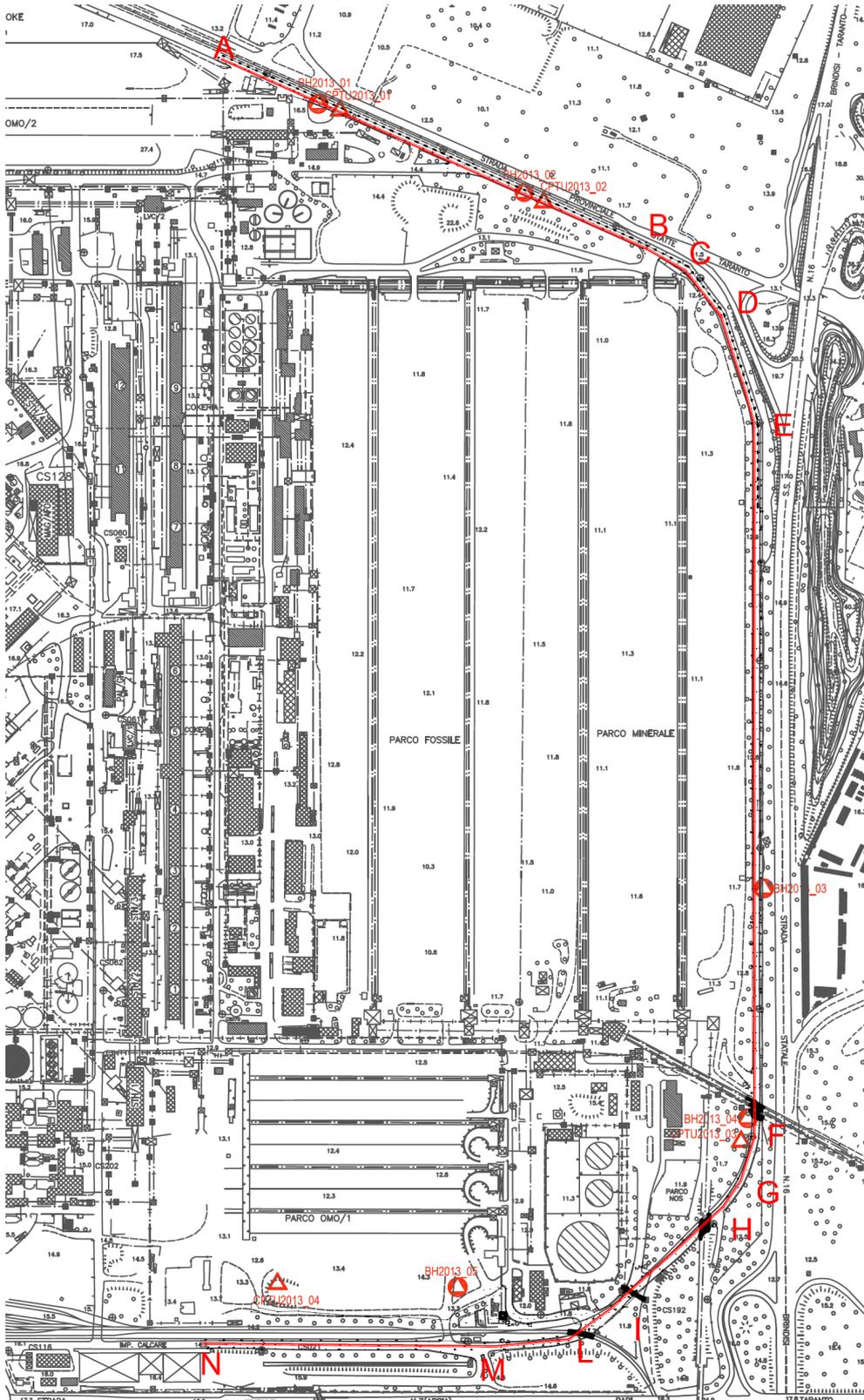
L'esecuzione dei sondaggi prevede:

- carotaggio continuo integrale con metodologia adeguata; a tal proposito l'impresa dovrà dotarsi di carotieri semplici e doppi, rivestimenti e fluidi di perforazione adeguati.
- sistemazione del materiale in apposite cassette catalogatrici e foto a colori (previa scortecciatura del materiale carotato);
- prove di consistenza speditiva con Pocket Penetrometer ogni 20 cm nei livelli coesivi;
- prove SPT (con campionatore Raymond) nei terreni incoerenti (a profondità > 2 m) in numero di circa 3 per sondaggio (indicativamente n. 2-3 nei terreni incoerenti e n. 0-1 nelle argille);
- accurata descrizione dei terreni con annotazioni su: natura litologia e genesi geologica, granulometria, clasti (litologia, dimensioni, arrotondamento), consistenza o addensamento, condizioni di umidità, plasticità; struttura principale, eventuali strutture secondarie, intercalazioni, alterazione, ossidazioni; descrizione geomeccanica in caso di strati litoidi o pseudo-litoidi, RQD;
- prelievo di campioni indisturbati entro le argille (da 1 a 3 m circa), in numero di circa 2 per sondaggio;
- prelievo di campioni rimaneggiati nei terreni di riporto superficiali o di spezzoni litoidi negli eventuali strati delle "Calcareni di Monte Castiglione", in numero di circa 1 per sondaggio.

L'attività di laboratorio prevede:

1. nei campioni indisturbati prelevati nelle argille:
 - apertura e descrizione del materiale;
 - determinazione del contenuto naturale d'acqua;
 - determinazione dei limiti di consistenza;
 - analisi granulometriche per setacciatura ed aerometria;
 - prove di compressione assiale semplice (ELL);
 - prove triassiali non consolidate non drenate (TXUU);
 - prove edometriche IL con determinazione del coefficiente di consolidazione e della permeabilità per l'intervallo di carico corrispondente allo stato tensionale del terreno in sito (entro $0.5 \div 0.1$ MPa), con indicazione del carico massimo (3.2 o 6.4 MPa) e dello scarico finale.
2. nei campioni rimaneggiati prelevati nei riporti (numero indicativo):
 - apertura e descrizione del materiale;
 - analisi granulometriche.
3. negli spezzoni litoidi prelevati nelle "Calcareni di Monte Castiglione":
 - prove di compressione monoassiale (ELL).

Nella seguente figura è mostrata l'ubicazione delle indagini della campagna integrativa in corso in sede di stesura del presente elaborato.



4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE

4.1 Riconoscimento delle unità stratigrafiche

Dal punto di vista geologico-stratigrafico generale, le indagini eseguite hanno intercettato a partire dal piano campagna le seguenti unità geotecniche:

Unità R: Terreno di riporto. Si tratta di materiale eterogeneo ed eterometrico, quale scoria, loppa, detriti.

Unità L: Limi. Si tratta di limi lagunari, palustri più o meno sabbiosi con fossili e di limi sabbiosi argillosi. Sono presenti localmente sotto il terreno di riporto e generalmente sovrastano anche le calcareniti.

Unità LA: Limi argillosi. Si tratta prevalentemente di limi argillosi che sovrastano le argille grigie plioceniche e quindi si trovano sotto i limi, limi sabbiosi e sotto le calcareniti, hanno spessore molto variabile e comunque con grado di consistenza crescente con la profondità.

Unità CA: Calcareniti. Si tratta di calcareniti ("Calcareniti di Montecastiglione") con vario grado di cementazione e sabbie calcarenitiche con tratti cementati, intercettate in alcuni sondaggi sotto i riporti con spessori di qualche metro e comunque sopra le argille grigio-azzurre.

Unità Ag: Argilla grigia. Si tratta delle argille limose grigio-azzurre ("Argille del Bradano") intercettate sotto i limi argillosi a profondità variabili da 5 a 14 m circa da p.c..

Unità CAL: Calcari. I calcari, calcari dolomitici di Altamura, con diverso grado di fratturazione/cementazione, sono stati intercettati solo dai sondaggi più profondi sotto le argille marnose grigio-azzurre. Talvolta nella parte superiore sono presenti le calcareniti di Gravina ben cementate, con spessori di qualche metro.

4.2 Criteri di valutazione dei parametri geotecnici

4.2.1 Depositi incoerenti

Per i depositi prevalentemente incoerenti, i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità possono essere stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Sono stati considerati i valori minimi di densità relativa ottenuti dalle varie correlazioni che di seguito vengono esposte.

Densità Relativa

Correlazione di Skempton

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986), la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} 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 indicate nella seguente tabella.

σ'_{vo} = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm^2);

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione ;

D_r = densità relativa (-).

Tabella 13 - Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

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	$(21,7+27,5) \cdot \frac{1+2 \cdot (k_0)_{sc}}{1+2 \cdot (k_0)_{nc}}$

Nel caso in esame per l'unità 1 e 2 sono state cautelativamente considerate le costanti empiriche relative a sabbie fini normal consolidate.

Correlazione di Bazaraa

In accordo a quanto indicato da Bazaraa (1967) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{vo})}} \quad \text{per } \sigma'_{vo} \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{vo})}} \quad \text{per } \sigma'_{vo} > 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

essendo:

D_R = densità relativa (-).

σ'_{vo} = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm^2);

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione.

Correlazione di Gibbs e Holtz

In accordo a quanto indicato da Gibbs e Holtz (1957) la densità relativa D_R può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(16 + 23 \cdot \sigma'_{vo})}}$$

Correlazione di Terzaghi & Peck

In accordo a quanto indicato da Terzaghi e Peck (1948) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente espressione:

$$D_R = (10.297 + N_{SPT} \cdot 2.4142) - (N_{SPT})^2 \cdot 0.0181$$

Parametri di resistenza al taglio

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio dalle prove SPT è stata utilizzata la correlazione di Schmertmann di seguito illustrata.

Correlazione di Schmertmann

L'angolo di resistenza al taglio (φ') stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977), che correla l'angolo di resistenza al taglio alla densità relativa attraverso la seguente relazione:

$$\varphi = 38.5 + 0.108 \cdot D_R \quad \text{valida per sabbia e ghiaia poco limosa e ghiaietto uniforme}$$

$$\varphi = 34.5 + 0.10 \cdot D_R \quad \text{sabbia grossa-media uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 31.5 + 0.115 \cdot D_R \quad \text{sabbia medio-fine uniformemente ben gradata}$$

$$\varphi = 28.0 + 0.14 \cdot D_R \quad \text{sabbia fine uniforme}$$

essendo:

D_r = densità relativa

Nel caso in esame per l'unità 1 e 2 si è considerata, rispettivamente, la correlazione valida per sabbia medio-fine e fine.

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate, in ordine di importanza:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche in sito (Down-Hole);
- dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Il modulo di taglio iniziale (G_0) e quello di Young iniziale (E_0), associabili a piccole deformazioni, possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio (V_s) utilizzando le seguenti correlazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9.81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in assunto pari a 19 kN/m³;

ν = coefficiente di Poisson del terreno (assunto pari a 0.3);

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

La velocità delle onde di taglio (V_s) può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove geofisiche in foro di sondaggio o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT attraverso, ad esempio, la correlazione di Ohta e Goto (1978) e Yoshida et al. (1988).

Correlazione di Ohta e Goto (1978)

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{50\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

$C = 53.3$;

z = profondità dal p.c. in metri;

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedasi tabella seguente);

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedasi Tabella 15).

Tabella 14 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A (funzione dell'epoca geologica del deposito)

f_A	Olocene	Pleistocene
	1,0	1,3

Tabella 15 Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G (funzione della granulometrica del deposito)

f_G	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini
	1,45	1,15	1,14	1,07	1,09

Nel caso in esame, è stato assunto:

$f_A = 1.3$;

$f_G = 1.09$

Correlazione di Yoshida et al. (1988)

$$v_s = C \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot (\sigma'_v)^{0.14} \quad (\text{m/sec})$$

essendo:

$C=49$ per sabbie fini (Unità 1 e 2);

$C=56$ per sabbie grosse con almeno il 25% di ghiaia;

$C=60$ per 50% di ghiaia.

σ'_v = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova.

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni dirette, saranno assunti pari a $1/3 \div 1/5$ di quello iniziale (E_0).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a $1/10$ di quello iniziale.

4.2.2 Depositi coesivi

Per i depositi coesivi la caratterizzazione geotecnica è stata fatta oltre che dall'interpretazione delle prove in sito, principalmente CPTU, anche dai risultati delle prove di laboratorio sui campioni indisturbati.

Classificazione

La classificazione di questi terreni avverrà essenzialmente sui risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometriche;

- Pesi di volume naturale;
- Contenuti d'acqua naturale;
- Limiti di Atterberg.

Caratteristiche di resistenza al taglio

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza dei depositi coesivi ci si è basati sui risultati delle prove di laboratorio che, nel caso in esame, sono essenzialmente prove di taglio diretto e prove triassiali per la resistenza in tensioni efficaci.

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata sulla base di prove speditive di Pocket Penetrometer (PP), eseguite in sito sulle carote nelle cassette catalogatrici.

L'andamento della resistenza al taglio per un terreno normal consolidato può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$c_{u,NC} = 0.23 \cdot \sigma'_v$$

La resistenza al taglio in condizioni non drenate è stata valutata dalle prove CPT sulla base della seguente relazione:

$$c_u = (q_c - \sigma_v) / 15$$

La resistenza al taglio non drenata può essere anche desunta dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$c_u \cong (5.0 \div 5.5) \cdot N_{SPT} \text{ (kPa)}$$

La resistenza al taglio in condizioni drenate è stata stimata sulla base di conoscenze su terreni simili e confrontata con i valori desunti con la relazione di carta di classificazione e di interpretazione di Searle (1979). La coesione drenata è stata stimata anche dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU (correlazione di Mayne e Stewart, 1988; Mesri and Abdel-Ghaffar, 1993).

Caratteristiche di deformabilità

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi coesivi possono essere stimati:

- sulla base dei risultati delle indagini sismiche (Down-Hole);
- dalle prove edometriche di laboratorio;
- da correlazioni di letteratura.

Per quanto concerne le prove sismiche in sito, le caratteristiche di deformabilità vengono individuate con le stesse relazioni precedentemente indicate per i terreni incoerenti mentre i risultati delle prove edometriche di laboratorio potranno presi a riferimento per la scelta dei moduli da utilizzare per le analisi dei cedimenti dei rilevati.

Sulla base di quanto riportato in Simpson et al. (1979) il modulo di taglio iniziale (G_0) può essere stimato anche sulla base della seguente equazione:

$$G_0 = (500 \div 700) \cdot c_u \text{ (kPa)}$$

essendo:

c_u = resistenza al taglio non drenata.

Il modulo di deformazione a taglio iniziale può inoltre essere stimato dai risultati delle prove CPT con la correlazione di Mayne e Rix (1993).

Come nel caso dei terreni incoerenti i moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni dirette, saranno assunti pari a 1/3÷1/5 di quello iniziale (E_0).

Nel caso di valutazione di cedimenti di rilevati, i moduli elastici "operativi" saranno assunti pari a 1/10 di quello iniziale.

Nella valutazione dei cedimenti immediati dei rilevati il modulo di Young "operativo" E_u può essere stimato sulla base della correlazione empirica proposta da Duncan & Buchignani (1976) $E_u = k \cdot c_u$.

Nei paragrafi che seguono verranno riportati a confronto per le varie unità geotecniche tutti i risultati delle prove in sito e dell'interpretazione delle prove eseguite.

4.3 Unità R - Terreni di riporto

Si tratta di materiale di riporto di varia natura, ha un assetto caotico ed è costituito da miscele di materiali inerti di diversa natura con possibile presenza di materiali siderurgici, quali loppe di altoforno e scorie di acciaieria, con una matrice limoso sabbiosa. Le diverse modalità di compattazione e le diverse tipologie di materiali usati conferiscono a tale materiale delle caratteristiche fisico meccaniche variabili. E' stato intercettato in tutti i sondaggi con spessori molto variabili da 1.5 m a 7.0 m circa.

Nell'unità in esame sono disponibili i risultati di prove SPT, che hanno dato valori generalmente tra 5 e 20 colpi/30 cm con massimi fino a rifiuto probabilmente riconducibili alla eterogeneità del deposito piuttosto che ad un effettivo addensamento (vedasi Figura 1).

Dai risultati delle prove SPT si stima mediamente una densità relativa tra 20 e 35% (vedasi Figura 2).

Sono stati prelevati campioni rimaneggiati per prove di laboratorio.

Il peso di volume naturale è compreso fra 17 e 18 kN/m³ (vedasi Figura 15).

Dalle analisi granulometriche eseguite la composizione del materiale è molto variabile (vedasi Figura 7):

- Percentuale di argilla da 0 a 73%;
- Percentuale di limo da 4 a 44%;
- Percentuale di sabbia da 3 a 43%;
- Percentuale di ghiaia da 1 a 72%.

Parametri di resistenza al taglio

Dall'interpretazione delle prove SPT si stima un angolo di resistenza al taglio di 34-37° (vedasi Figura 3).

Caratteristiche di deformabilità

Per la stima delle caratteristiche di deformabilità sono stati messi a confronto i risultati delle prove sismiche Down-Hole con l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT. I risultati sono sostanzialmente in accordo con velocità delle onde Vs tra 130 e 180 m/s, si stimano valori del modulo di deformazione a taglio iniziale (G_0) di 40÷100 MPa (vedasi Figura 5) e quindi di modulo di deformazione elastico iniziale (E_0) di 90÷200 MPa (vedasi Figura 6).

4.4 Unità L, LA – Limo sabbioso argilloso e Limo argilloso

Al di sotto dei terreni di riporto e sopra le argille grigie plioceniche sono presenti limi palustri, limi sabbioso argillosi (L) e limi argillosi (LA). Relativamente all'unità denominata (L), si tratta di limi lagunari, palustri più o meno sabbiosi con fossili e di limi sabbiosi argillosi che si trovano localmente sotto il terreno di riporto e generalmente

sopra le calcareniti. Con la profondità si passa a limi argillosi mediamente consistenti. In alcune zone i limi palustri e/o limi sabbiosi non sono stati intercettati e sotto i riporti si rinvencono subito i limi argillosi con grado di consistenza crescente con la profondità che passano poi alle argille grigio azzurre, di cui costituiscono la parte superiore (una sorta di "cappellaccio").

Quindi dal punto di vista delle caratteristiche fisico-meccaniche queste unità verranno trattate insieme

Nell'unità in esame sono disponibili i risultati di prove SPT, che hanno dato valori generalmente tra 7 e 18 colpi/30 cm, con qualche valore fino a 30 colpi/30 cm (vedasi Figura 1).

Le prove penetrometriche statiche CPTU, nell'unità in esame, hanno dato valori di resistenza alla punta penetrometrica tra 0.5 e 2.5 MPa circa.

In corrispondenza dei livelli/strati a prevalente composizione fine limoso argillosa sono stati prelevati campioni indisturbati, su cui sono state fatte prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni. I risultati delle prove di laboratorio sono di seguito sintetizzati.

Sui campioni indisturbati sono stati ottenuti valori di peso di volume di 18.0 e 19.8 kN/m³ (vedasi Figura 15).

Dalle analisi granulometriche eseguite la composizione del materiale è (vedasi Figura 8):

- Percentuale di argilla da 46 a 89%;
- Percentuale di limo da 10 a 50%;
- Percentuale di sabbia da 1 a 7%;
- Percentuale di ghiaia da 0 a 2%.

Il contenuto naturale d'acqua è variabile da 21 a 35% (Figura 10).

Dove determinabile, il limite liquido è risultato variabile da 44 a 72%, il limite plastico da 22 a 32% (Figura 10); l'indice di consistenza è compreso fra 0.9 e 1.1 (vedasi Figura 11). Nella Carta di Plasticità di Casagrande i valori sono molto dispersi e vanno dalle argille/limi a media-alta plasticità (vedasi Figura 12).

Parametri di resistenza al taglio

I parametri di resistenza al taglio in tensioni efficaci sono stati stimati dai risultati prove di taglio diretto che hanno dato mediamente valori di angolo di resistenza al taglio fra 15 e 24° e coesione drenata fra 10 e 29 kPa (vedasi Figura 13). Nella Figura 22 è mostrato l'andamento della coesione drenata con la profondità dalle prove di laboratorio e stimata dalle prove in sito.

Per la resistenza al taglio in condizioni non drenate sono state eseguite prove di pocket Penetrometer, da cui si stimano valori di resistenza al taglio non drenata fra 35 e 200 kPa; valori in accordo con i valori stimati dai risultati delle prove SPT (vedasi Figura 14) e quelli stimati dalle prove penetrometriche statiche CPTU (vedasi Figura 20).

Caratteristiche di deformabilità

Per la stima delle caratteristiche di deformabilità sono stati messi a confronto i risultati delle prove sismiche Down-Hole con l'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU e delle prove penetrometriche dinamiche SPT. I risultati delle prove sismiche Down-Hole e delle sono prove penetrometriche statiche CPTU sostanzialmente in accordo con velocità delle onde Vs tra 230 e 330 m/s; valori un poco inferiori si ottengono dalla stima delle prove SPT. Quindi si stimano valori del modulo di deformazione a taglio iniziale (G_0) di 40÷180 MPa (vedasi Figura 5) e quindi di modulo di deformazione elastico iniziale (E_0) di 100÷460 MPa (vedasi Figura 6).

4.5 Unità Ca – Calcareniti

Un primo livello di calcareniti è stato intercettato solo localmente, sotto i riporti con spessori molto variabili da 1 a 5 m circa. Si tratta del litotipo appartenente alla formazione delle "Calcareniti di Montecastiglione"; in generale, sono rappresentate da calcareniti grossolane e/o a luoghi finissime con vario grado di cementazione, talvolta sono costituite da sabbie calcarenitiche con tratti cementati.

Un secondo livello di calcareniti è stato intercettato solo da alcuni sondaggi profondi (45 m) sotto le argille grigio-azzurre e sopra la formazione del Calcarea. In questo caso si tratta delle "Calcareniti di Gravina". Si tratta di calcareniti organogene costituite da clasti derivanti dal disfacimento dei sottostanti calcari e/o da resti di organismi fossili. Lo spessore è di ordine metrico (1÷4 m circa).

La caratterizzazione di seguito riportata si riferisce alle calcareniti più superficiali che interferiscono con gli interventi in progetto.

Nell'unità in esame sono disponibili i risultati di alcune prove SPT, che hanno dato valori molto variabili, tra 4 e rifiuto (100 colpi/30 cm) ad indicare la grande disuniformità del deposito (vedasi Figura 1).

Sono stati prelevati alcuni campioni rimaneggiati su cui sono state eseguite prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica.

Dalle analisi granulometriche eseguite, il litotipo è caratterizzato da una composizione molto variabile, due campioni hanno una prevalente composizione fine-coesiva (infatti è stato possibile eseguire i limiti di consistenza) per gli altri tre campioni prevale la sabbia (vedasi Figura 8):

- Percentuale di argilla da 25 a 58%;
- Percentuale di limo da 26 a 58%;
- Percentuale di sabbia da 13 a 51%;
- Percentuale di ghiaia da 5 a 55%.

Il peso di volume naturale, misurato sui due campioni a prevalente matrice fine, è compreso fra 18.8 e 19.2 kN/m³ (vedasi Figura 15).

Dai risultati delle prove SPT si stima mediamente una densità relativa tra 20 e 75% (vedasi Figura 2).

Parametri di resistenza al taglio

Dall'interpretazione delle prove SPT si stima un angolo di resistenza al taglio di 34-40° (vedasi Figura 3).

Caratteristiche di deformabilità

Per la stima delle caratteristiche di deformabilità sono stati messi a confronto i risultati delle prove sismiche Down-Hole con l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT. I risultati sono sostanzialmente in accordo con velocità delle onde Vs tra 155 e 300 m/s, si stimano valori del modulo di deformazione a taglio iniziale (G_0) di 40÷170 MPa (vedasi Figura 5) e quindi di modulo di deformazione elastico iniziale (E_0) di 100÷450 MPa (vedasi Figura 6).

4.6 Unità Ag – Argille limose grigio-azzurre

Le argille con limo grigio azzurre plioceniche ("Argille del Bradano"), da molto consistenti a dure, a luoghi con livelli marcatamente sabbiosi, rappresentano il substrato dell'area in esame.

Le argille limose sono state intercettate sempre dai sondaggi profondi, solo localmente dai sondaggi più corti, al di sotto dei limi argillosi e/o sotto le "Calcareniti di Montecastiglione" a profondità variabili da 4 a 15 m circa da p.c..

Le prove penetrometriche statiche CPTU, nell'unità in esame, hanno dato valori di resistenza alla punta penetrometrica tra 3 e 5 MPa circa.

Nell'unità in esame sono state eseguite prove SPT che hanno dato valori da 20 a rifiuto (100 colpi/30 cm) con andamento crescente con la profondità.

Sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Dalle analisi granulometriche eseguite il materiale è costituito da (vedasi Figura 9):

- Percentuale di argilla 43÷85%;
- Percentuale di limo 13÷48%;
- Percentuale di sabbia 1 ÷5%;
- Percentuale di ghiaia 0.

Il peso di volume naturale misurato è compreso fra 18.5 e 20.6 kN/m³ (vedasi Figura 15).

Il contenuto naturale d'acqua è 17÷29% (Figura 10). Il limite liquido è 40÷70%, il limite plastico 22÷33% (Figura 10); l'indice di consistenza è 0.9÷1.4 (vedasi Figura 11). Nella Carta di Plasticità di Casagrande i valori ricadono nella zona delle argille a media-alta plasticità (vedasi Figura 12).

Nella Figura 21 è mostrato l'andamento del grado di sovraconsolidazione stimato dalle prove di laboratorio (edometriche) e dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU.

Parametri di resistenza al taglio

Dalle prove di laboratorio sono stati ottenuti valori dell'angolo di resistenza al taglio di $15.5 \div 27^\circ$ e coesione drenata di $24.5 \div 117$ kPa (vedasi Figura 13).

Nella Figura 22 è mostrato l'andamento della coesione drenata con la profondità da cui si nota un andamento crescente della resistenza con la profondità.

Per la resistenza al taglio in condizioni non drenate nella Figura 14, sono mostrati a confronto i valori delle prove di laboratorio e quelli stimati dalle prove in sito (pocket Penetrometer e SPT), da cui si osserva un buon accordo fra i dati con valori generalmente compresi fra 135 e 500 kPa, con andamento crescente con la profondità.

Caratteristiche di deformabilità

Per la stima delle caratteristiche di deformabilità sono stati messi a confronto i risultati delle prove sismiche Down-Hole con l'interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPTU e delle prove penetrometriche dinamiche SPT. Le prove sismiche Down-Hole hanno dato valori di velocità delle onde Vs variabili tra 300 e 600 m/s nell'ambito della profondità indagata (30 m) con andamento generalmente crescente.

Quindi si stimano valori del modulo di deformazione a taglio iniziale (G_0) di $200 \div 700$ MPa (vedasi Figura 5) e quindi di modulo di deformazione elastico iniziale (E_0) di $500 \div 1900$ MPa (vedasi Figura 6).

L'interpretazione delle prove CPTU ha sostanzialmente confermato i valori delle prove sismiche fino alla profondità indagata (15 m circa). Dall'interpretazione delle prove SPT si stimano valori un po' più bassi.

4.7 Unità CAL – Calcari

Si tratta del litotipo appartenente alla formazione dei "Calcari di Altamura"; costituisce il basamento carbonatico sul quale si sono successivamente depositate le altre unità presenti in quest'area. Il litotipo si presenta sia compatto che fessurato. A luoghi si notano calcari cristallini vacuolari a frattura irregolare. La fratturazione e l'alterazione carsica, conferiscono a tale unità stratigrafica una permeabilità secondaria dipendente dall'assetto strutturale della roccia (intensità, spaziatura e apertura delle fratture, grado di alterazione). Il Calcare di Altamura è delimitato superiormente da una superficie di erosione ondulata e ricoperta, quasi sempre dalle Calcareniti di Gravina, tuttavia, in alcune aree dello stabilimento, in trasgressione sui calcari si sono rinvenute le Calcareniti di Monte Castiglione o le Argille del Bradano.

4.8 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Sulla base delle indagini eseguite sono stati desunti i seguenti parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche intercettate.

In linea generale, a partire dal p.c. si trova terreno di riporto con spessori da 1 m a 6 m, seguito generalmente limi argillosi a media consistenza, talvolta sovrastati dalle calcareniti debolmente cementate (sabbia calcarenitica) con spessore di qualche metro ed a seguire le argille grigio azzurre molto consistenti, presenti a partire da profondità di 6÷15 m dal p.c.. Come si osserva dai sondaggi più profondi al di sotto delle argille grigio-azzurre si ha uno strato di 1-4 m di calcareniti ed a seguire il calcare di Altamura.

Per la stratigrafia di dettaglio si farà riferimento al profilo stratigrafico.

Unità R – Terreno di riporto

$\gamma = 17.0 \div 18.0$	kN/m^3	peso di volume naturale;
$c' = 0$	kPa	coesione efficace;
$\phi' = 34 \div 36$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio;
$G_0 = 40 \div 100$	MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale.
$E_0 = 90 \div 200$	MPa	modulo di deformazione elastico iniziale.

Unità LA – Limo argilloso

$\gamma = 18.0 \div 19.0$	kN/m^3	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 15$	kPa	coesione efficace;
$\phi' = 23 \div 24$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio;
$G_0 = 40 \div 180$	MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale.
$E_0 = 100 \div 460$	MPa	modulo di deformazione elastico iniziale.
$c_u = 35 \div 150$	kPa	resistenza al taglio non drenata;

Unità Ca – sabbie calcarenitiche / calcareniti

$\gamma = 19 \div 20$	kN/m^3	peso di volume naturale;
$c' = 0 \div 20$	kPa	coesione efficace;
$\phi' = 34 \div 37$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio;
$G_0 = 40 \div 170$	MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale;
$E_0 = 100 \div 450$	MPa	modulo di deformazione elastico iniziale.

Unità Ag – Argilla grigio azzurra

$\gamma = 19.0 \div 20.5$	kN/m^3	peso di volume naturale;
$c' = 20 \div 40$	kPa	coesione efficace;
$\phi' = 24 \div 25$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio;
$c_u = 135 \div 500$	kPa	resistenza al taglio non drenata;
$G_0 = 200 \div 700$	MPa	modulo di deformazione a taglio iniziale;
$E_0 = 500 \div 1900$	MPa	modulo di deformazione elastico iniziale.

Falda: il livello di falda massimo è stato rilevato tra i 2 e 5 m circa dal p.c. locale.

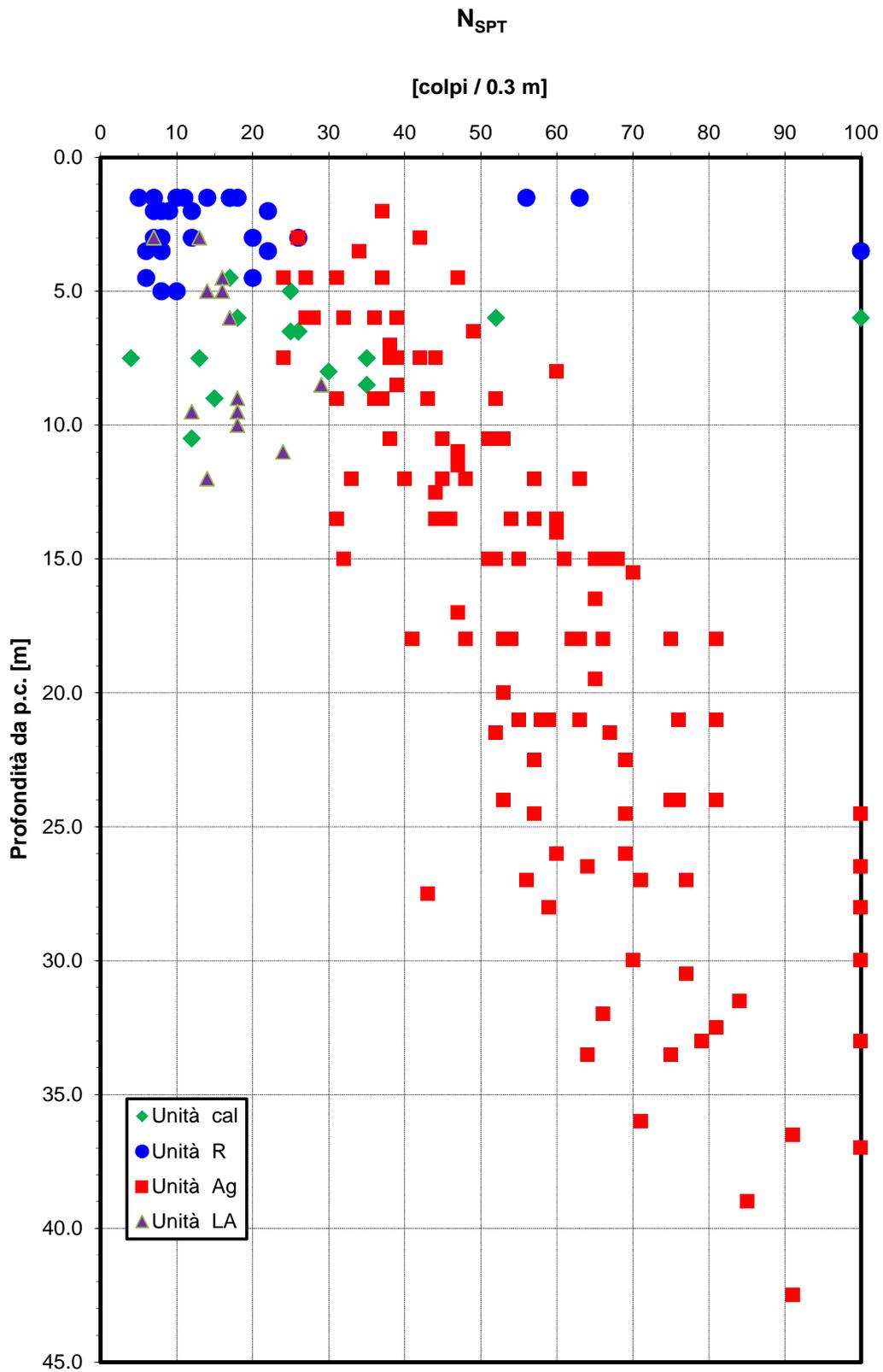


Figura 1 – Valori di Nspt

Densità relativa da prove SPT

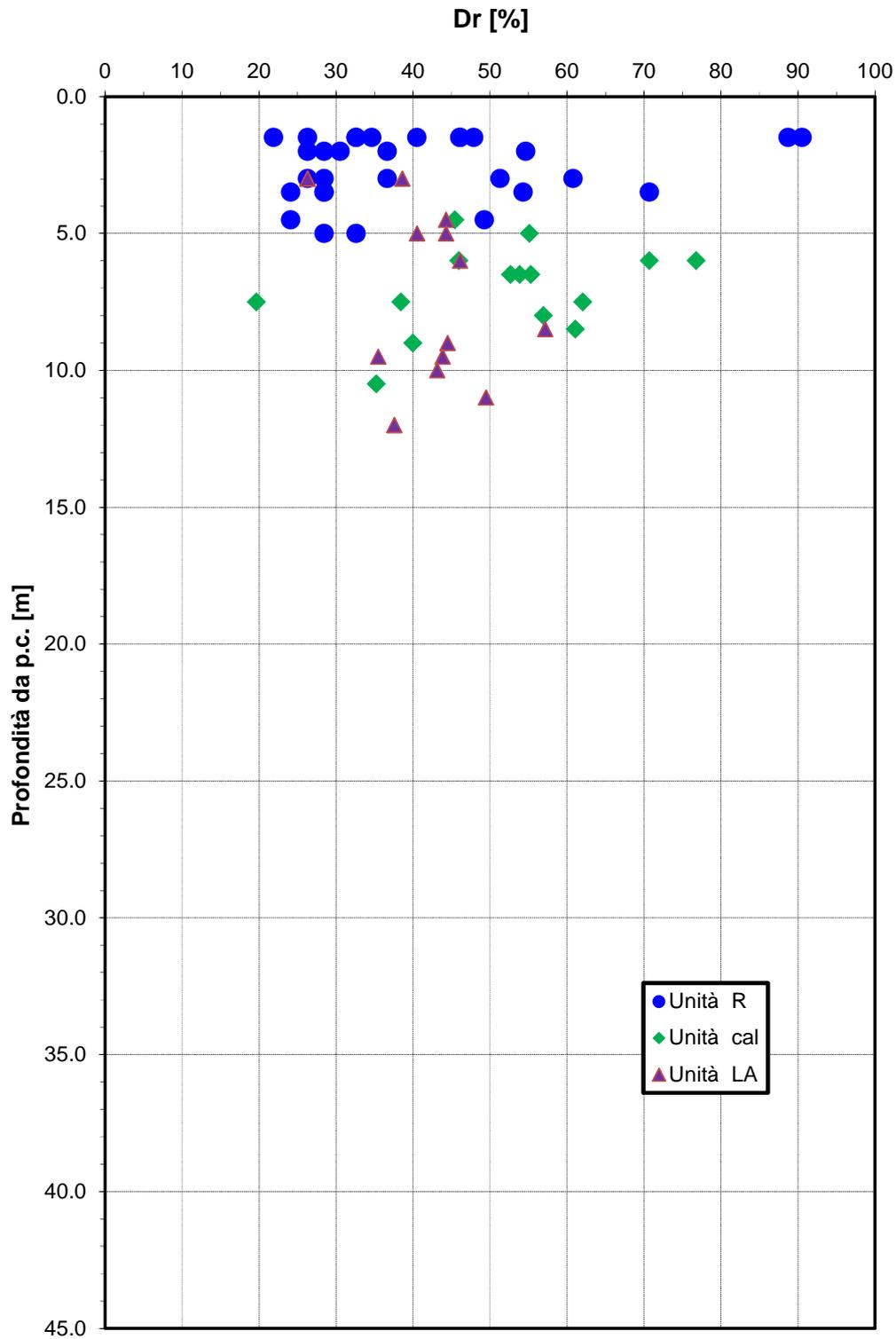


Figura 2 – Valori di densità relativa da prova SPT

Angolo di resistenza al taglio da prove SPT

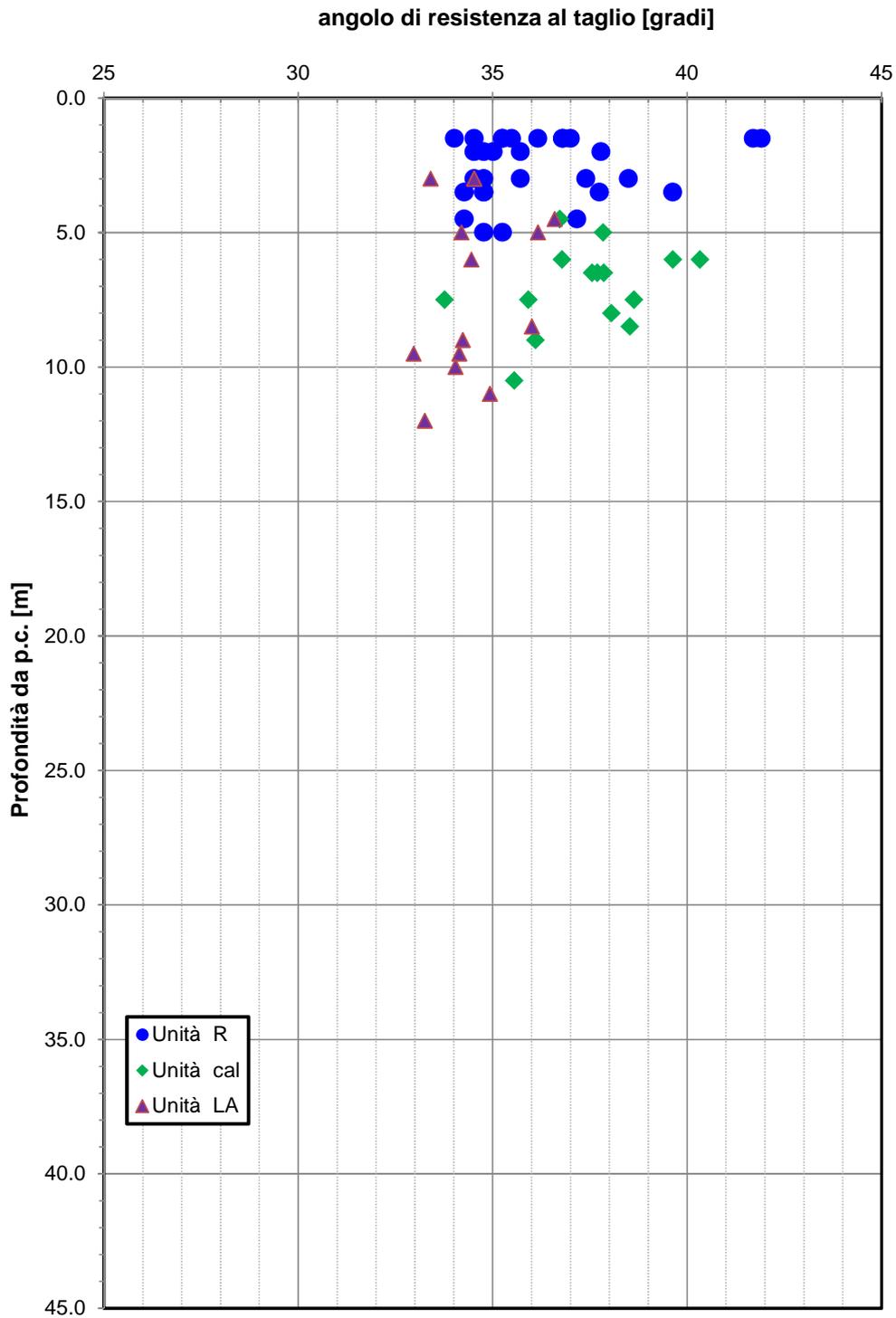


Figura 3 – Valori di angolo di resistenza al taglio da prova SPT

Velocità delle onde di taglio da prove SPT e Down-Hole

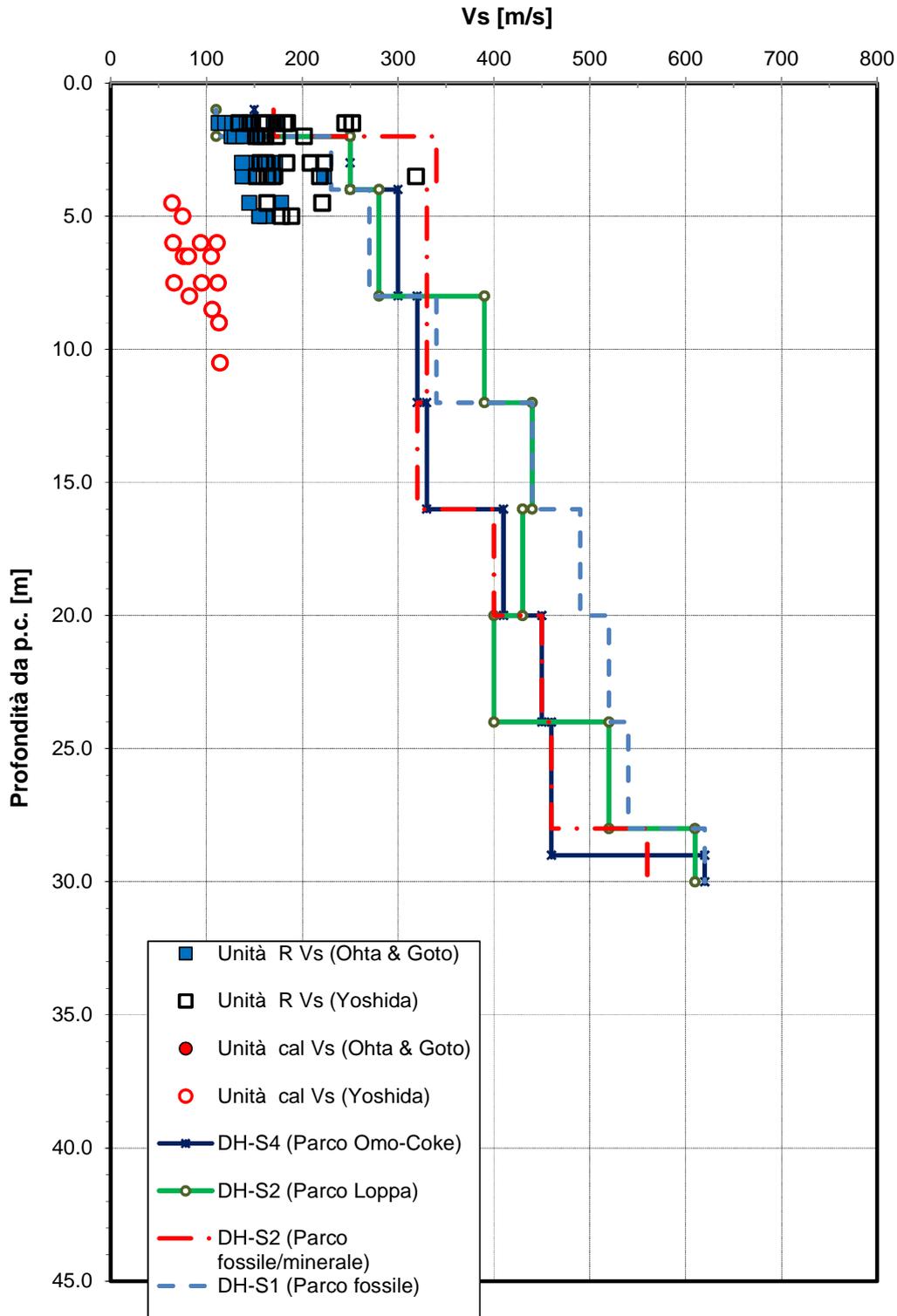


Figura 4 – Valori di velocità delle onde di taglio Vs

Modulo di deformazione a taglio iniziale da prove SPT, Down Hole

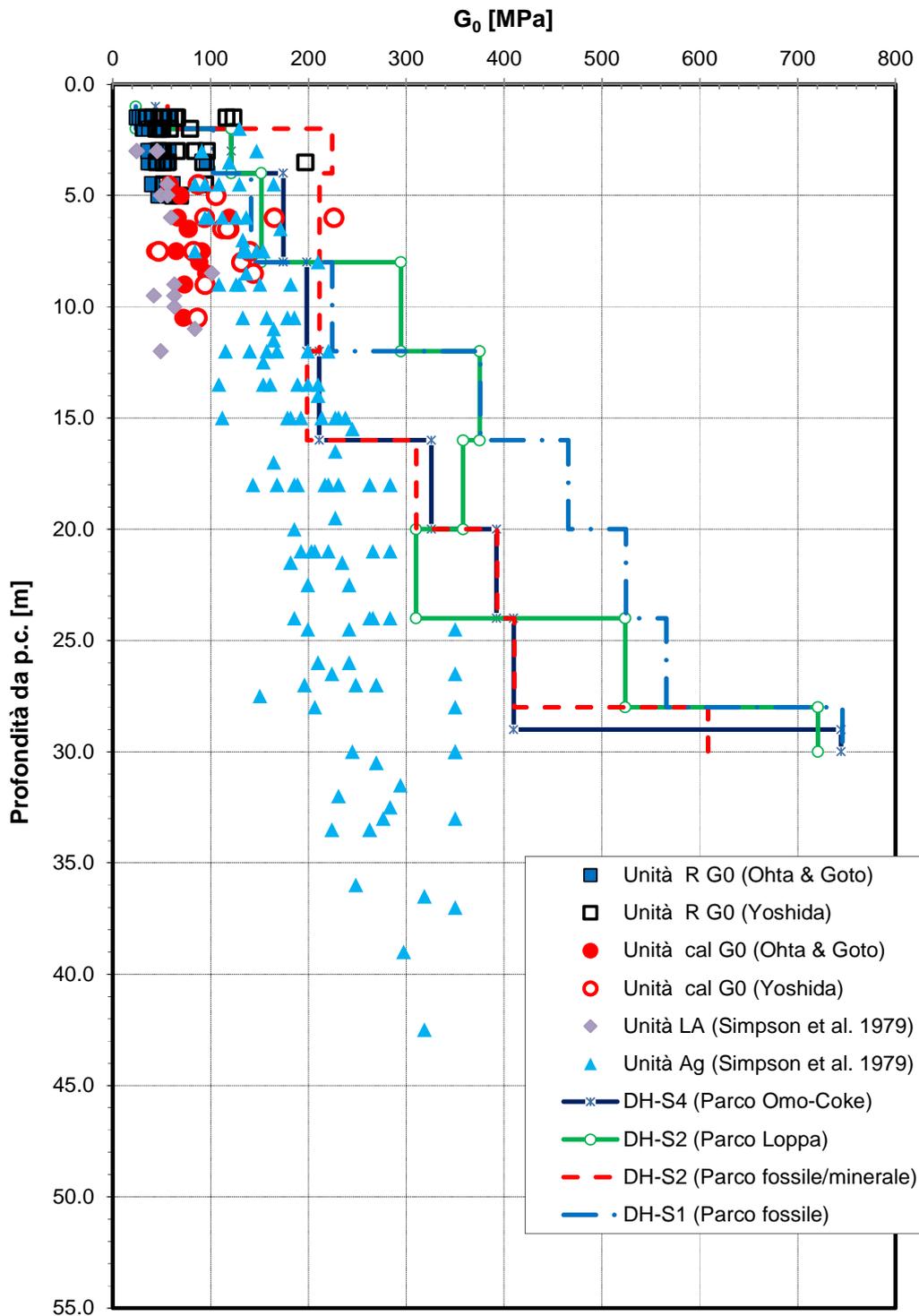


Figura 5 – Valori di modulo di deformazione a taglio iniziale

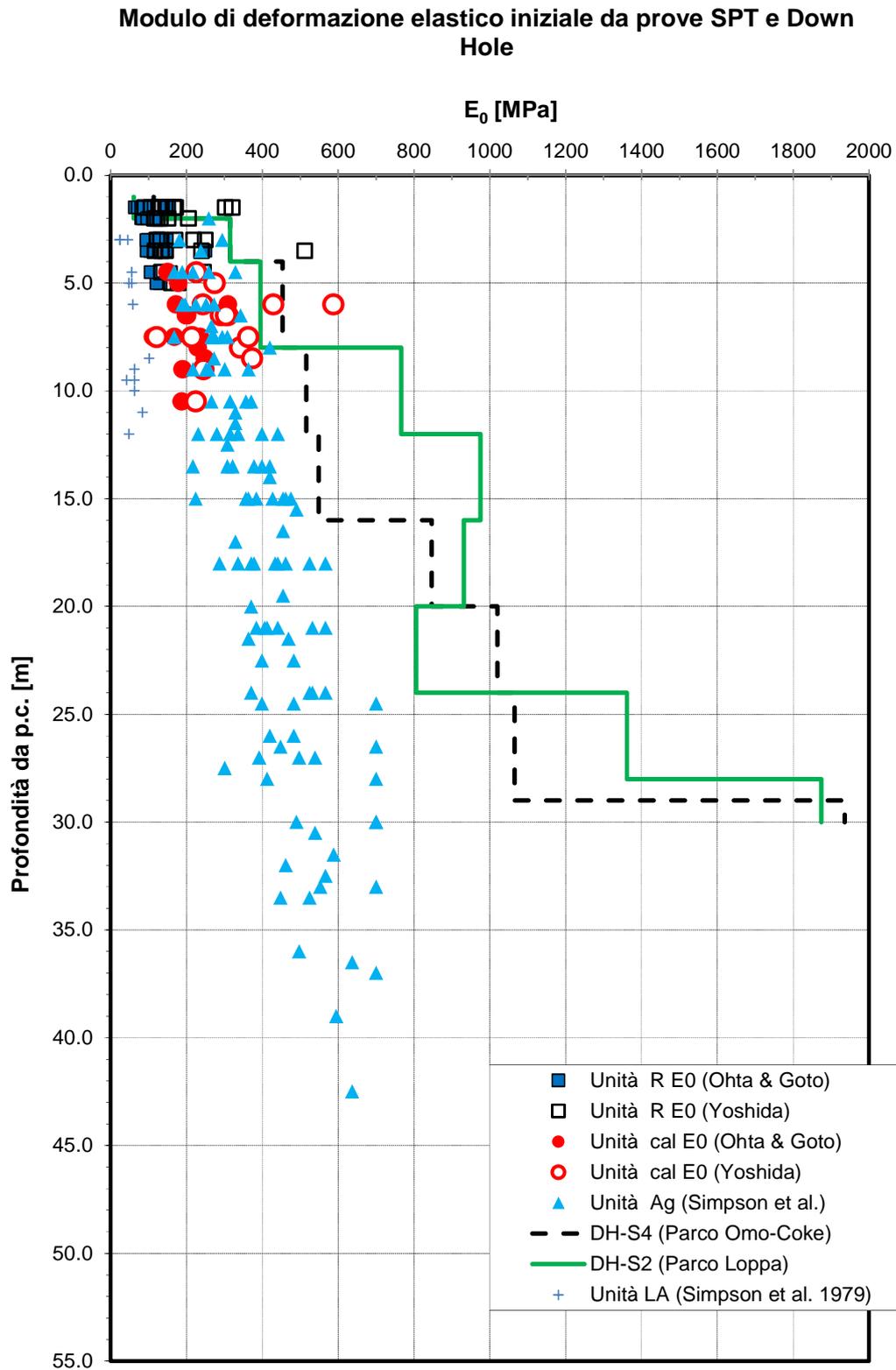


Figura 6 – Valori di modulo di deformazione elastico iniziale

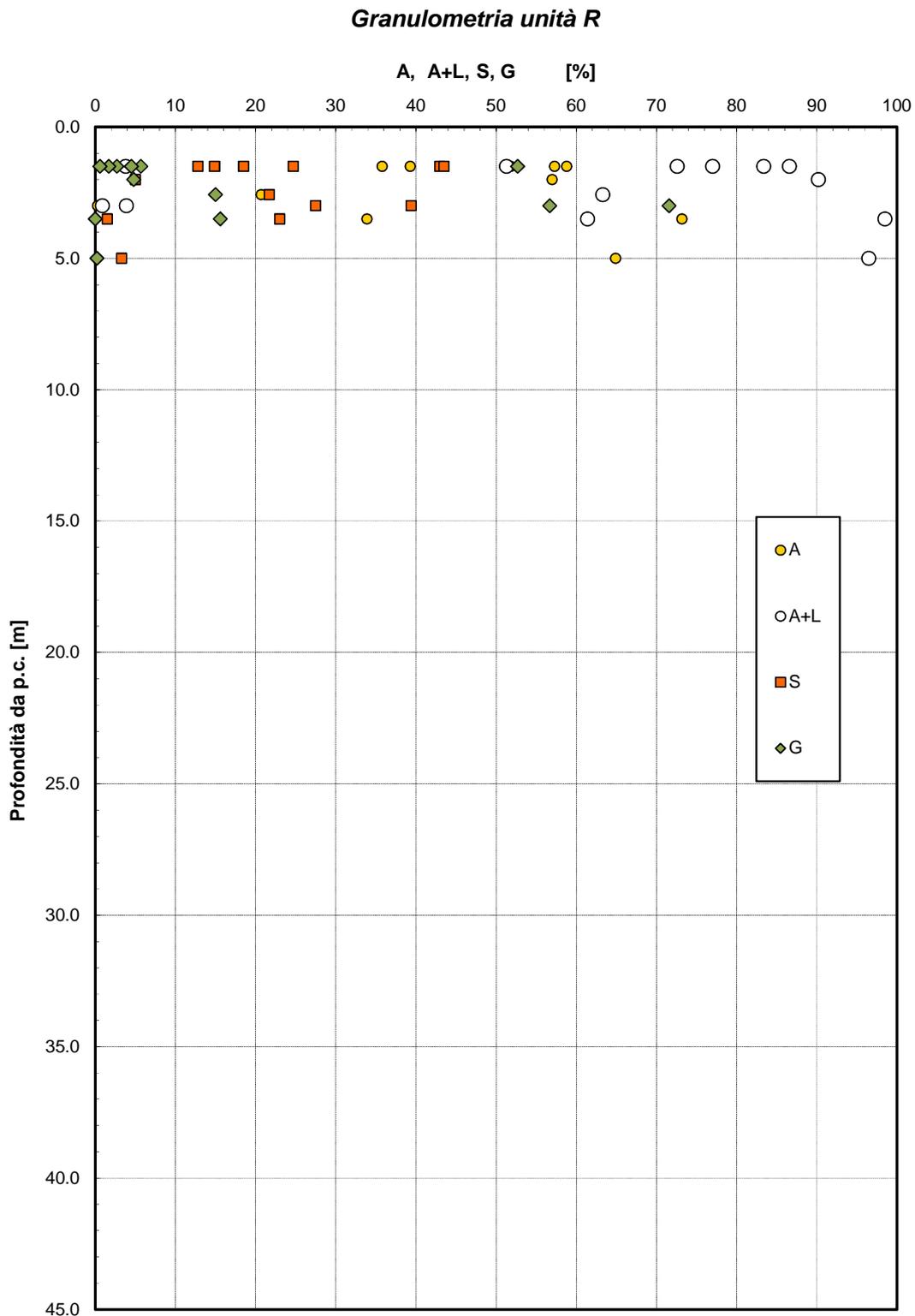


Figura 7 – Analisi granulometrica - unità R

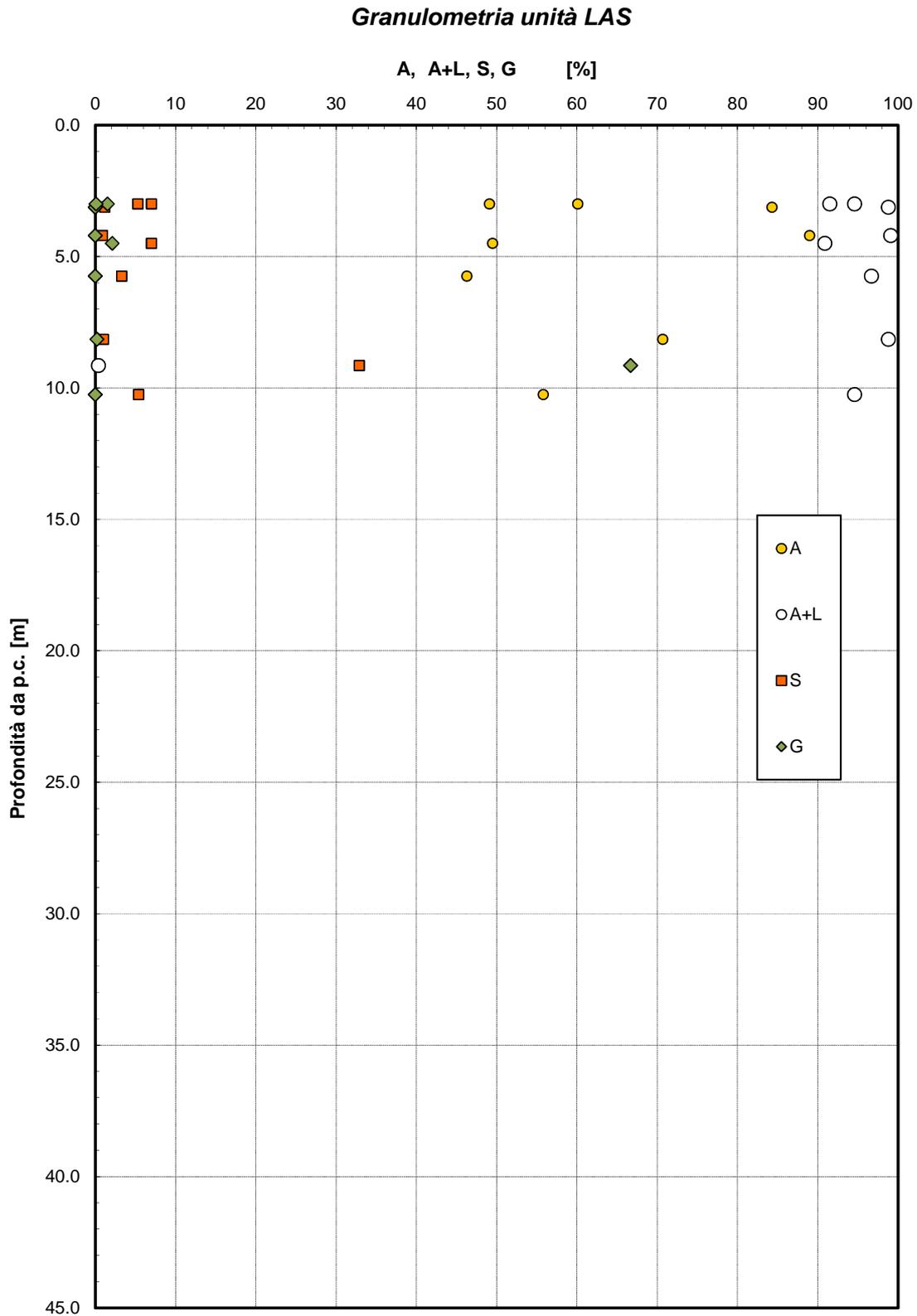


Figura 8 – Analisi granulometrica – Unità LA

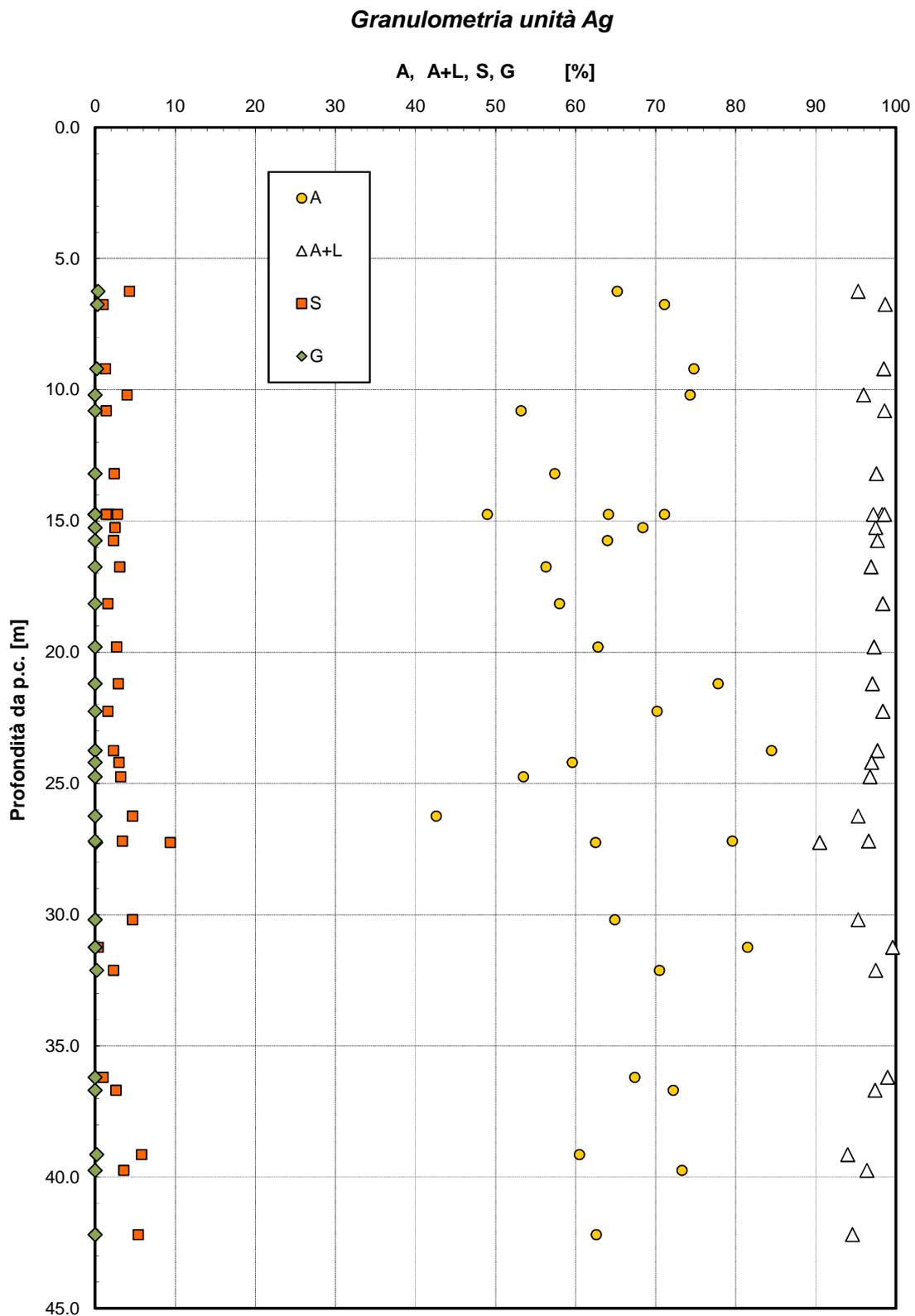


Figura 9 – Analisi granulometrica – Unità Ag

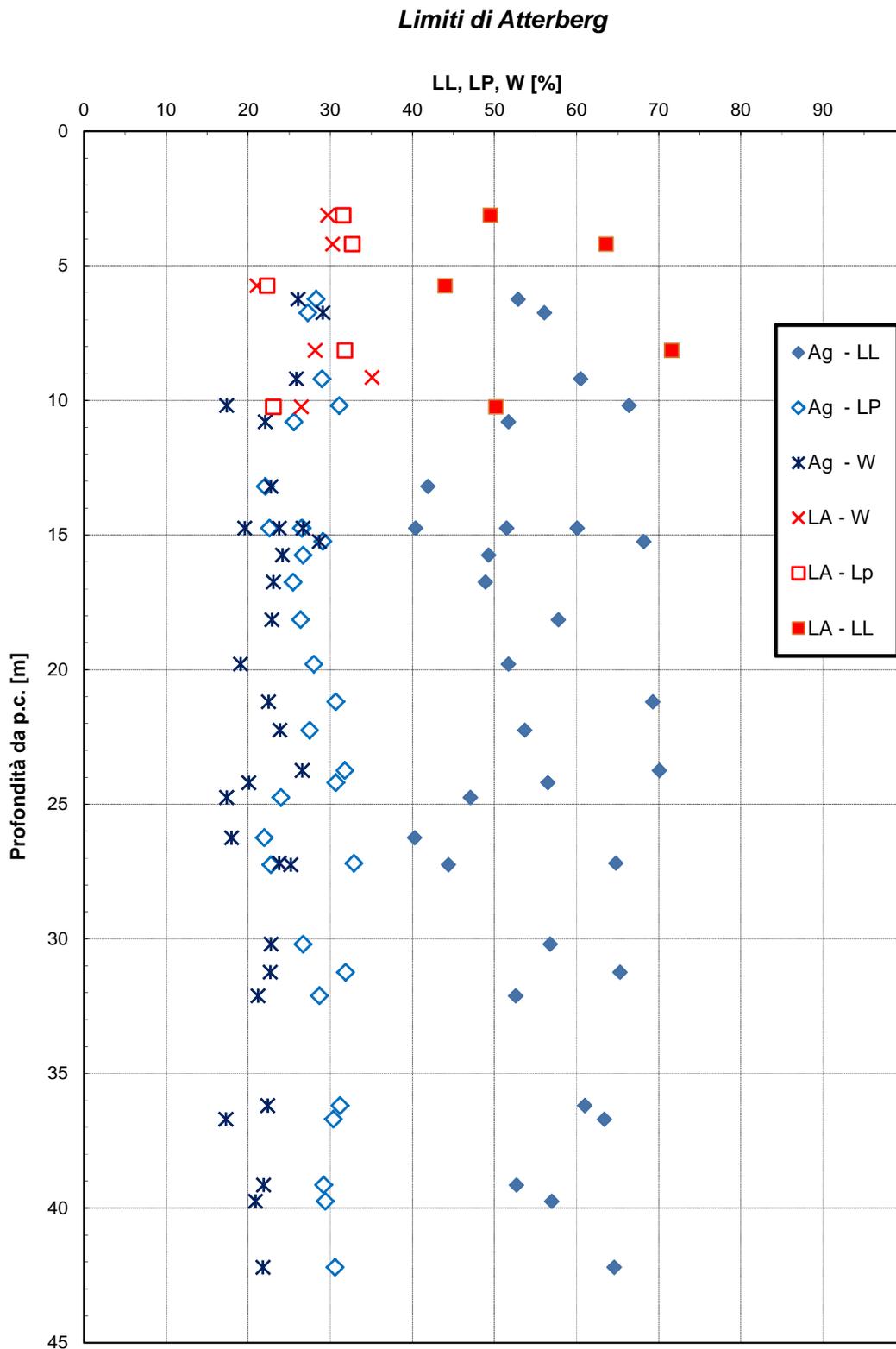


Figura 10 – Limiti di Atterberg e contenuto naturale d'acqua

Andamento dell'indice di consistenza

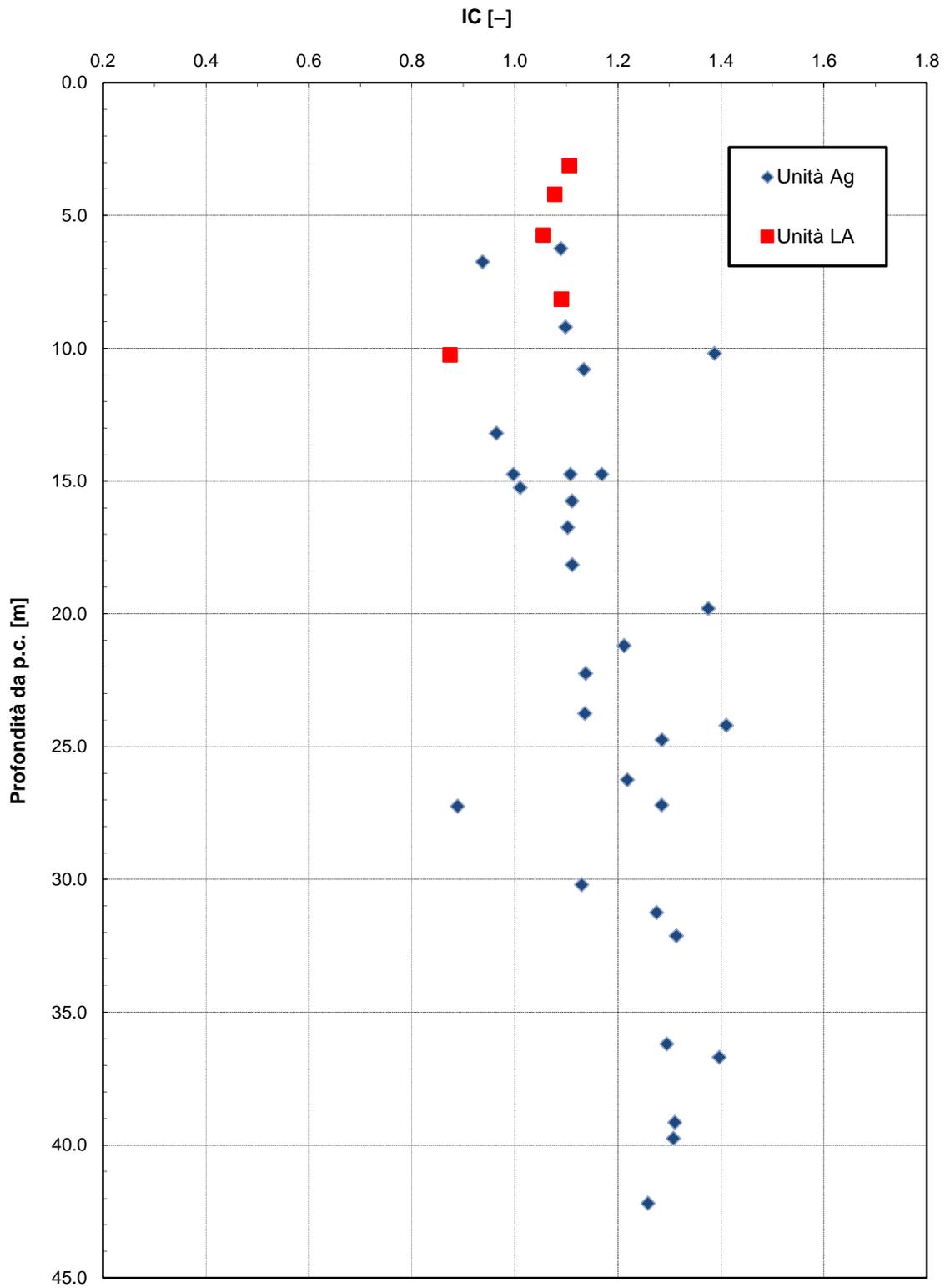


Figura 11 – Indice di consistenza

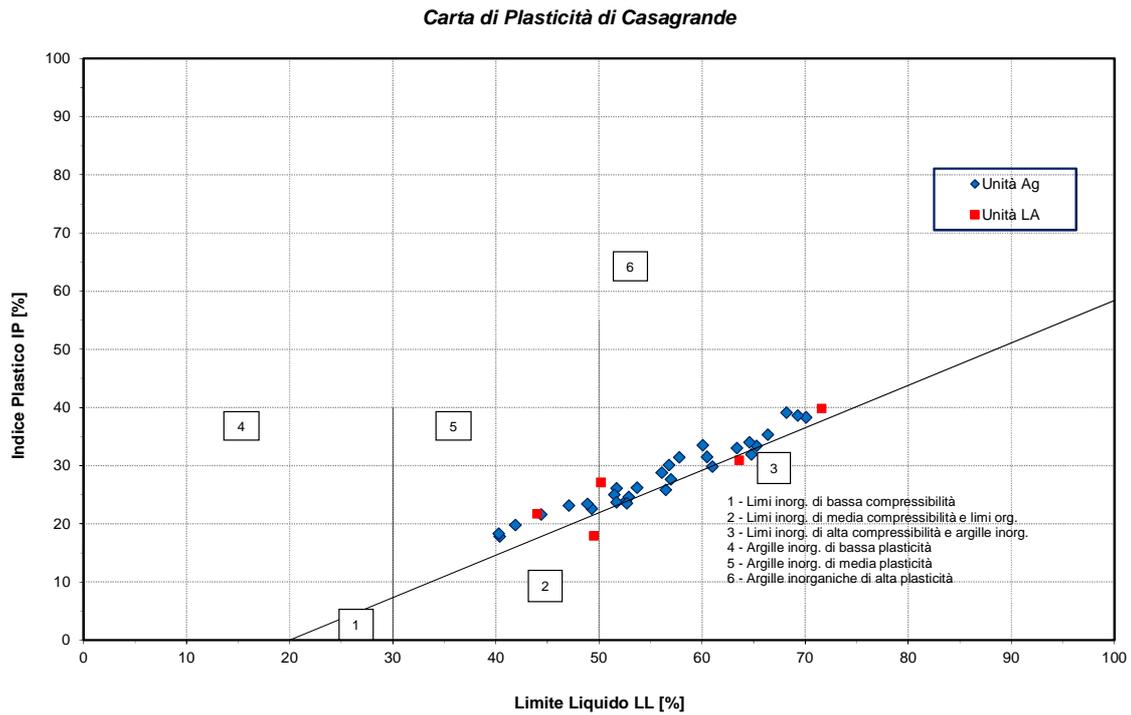


Figura 12 – Carta di plasticità di Casagrande

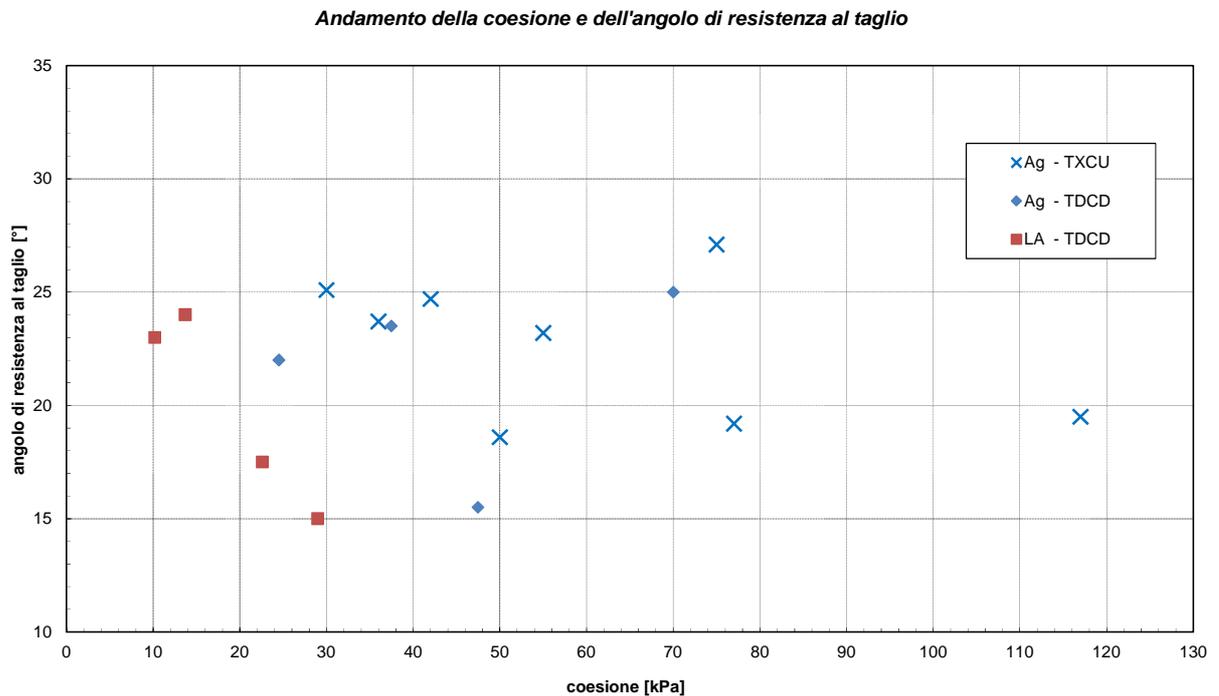


Figura 13 – Parametri di resistenza in condizioni drenate

Andamento della resistenza al taglio non drenata

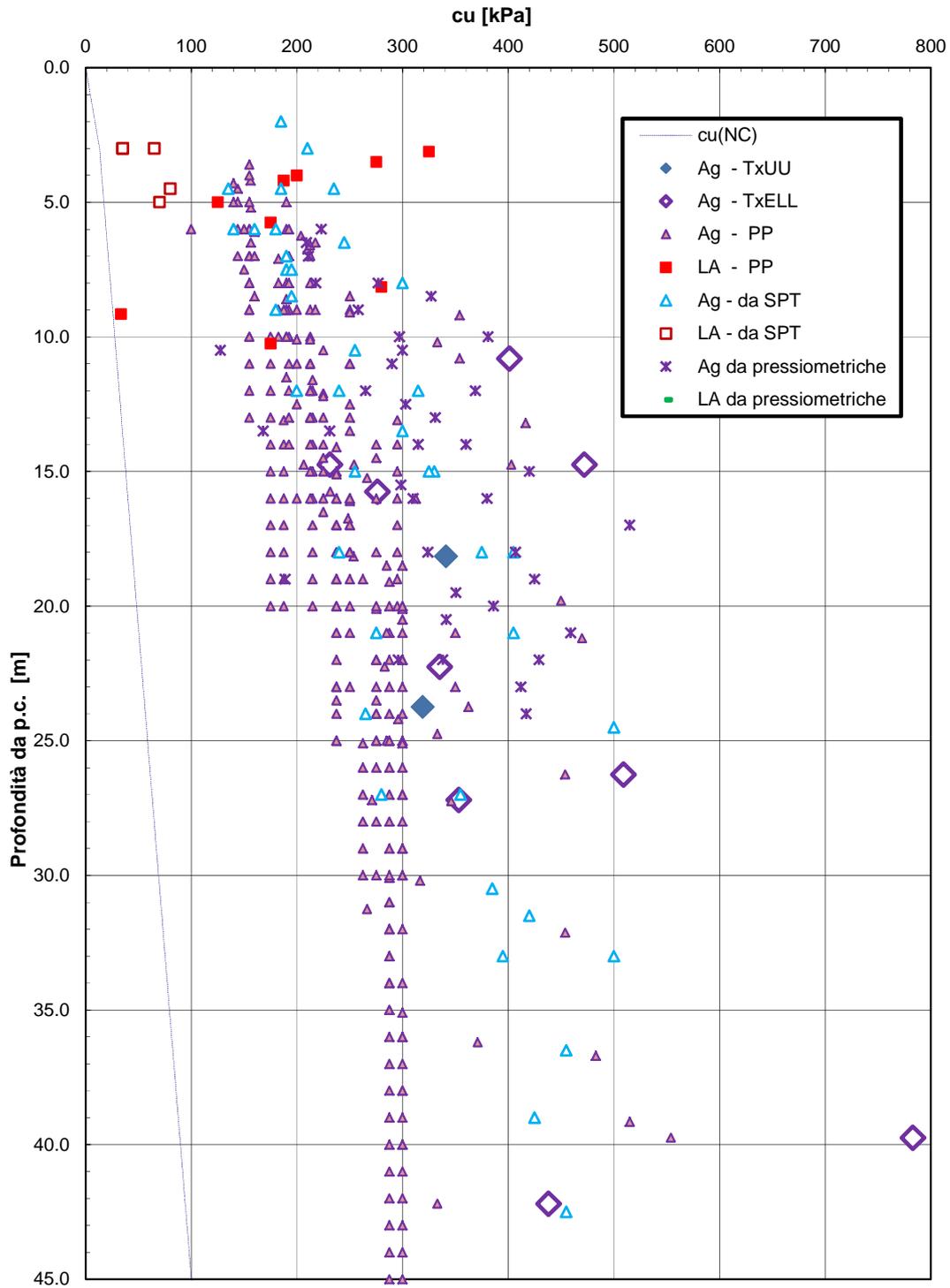


Figura 14 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate

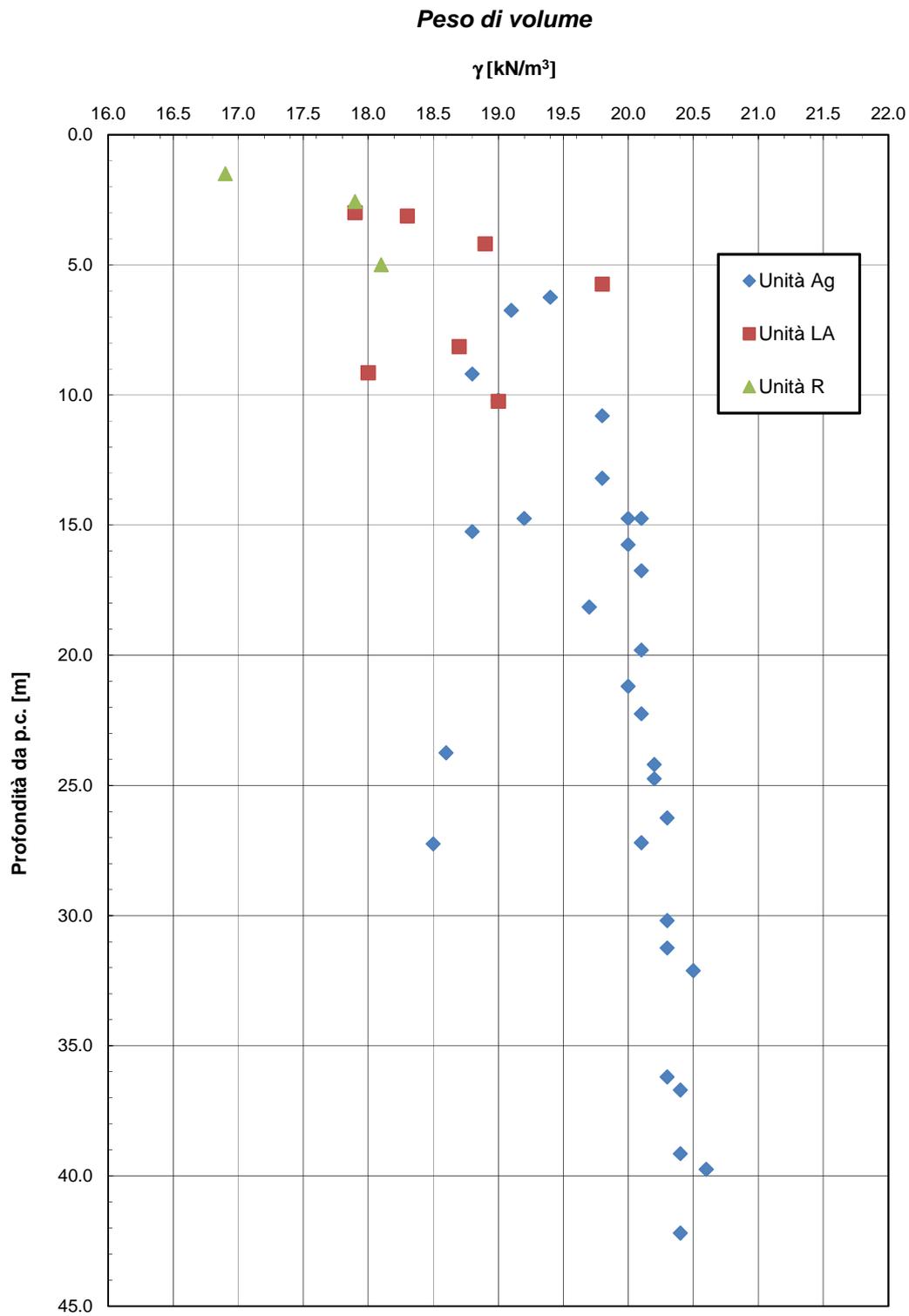


Figura 15 – Peso di volume

Resistenza alla punta penetrometrica

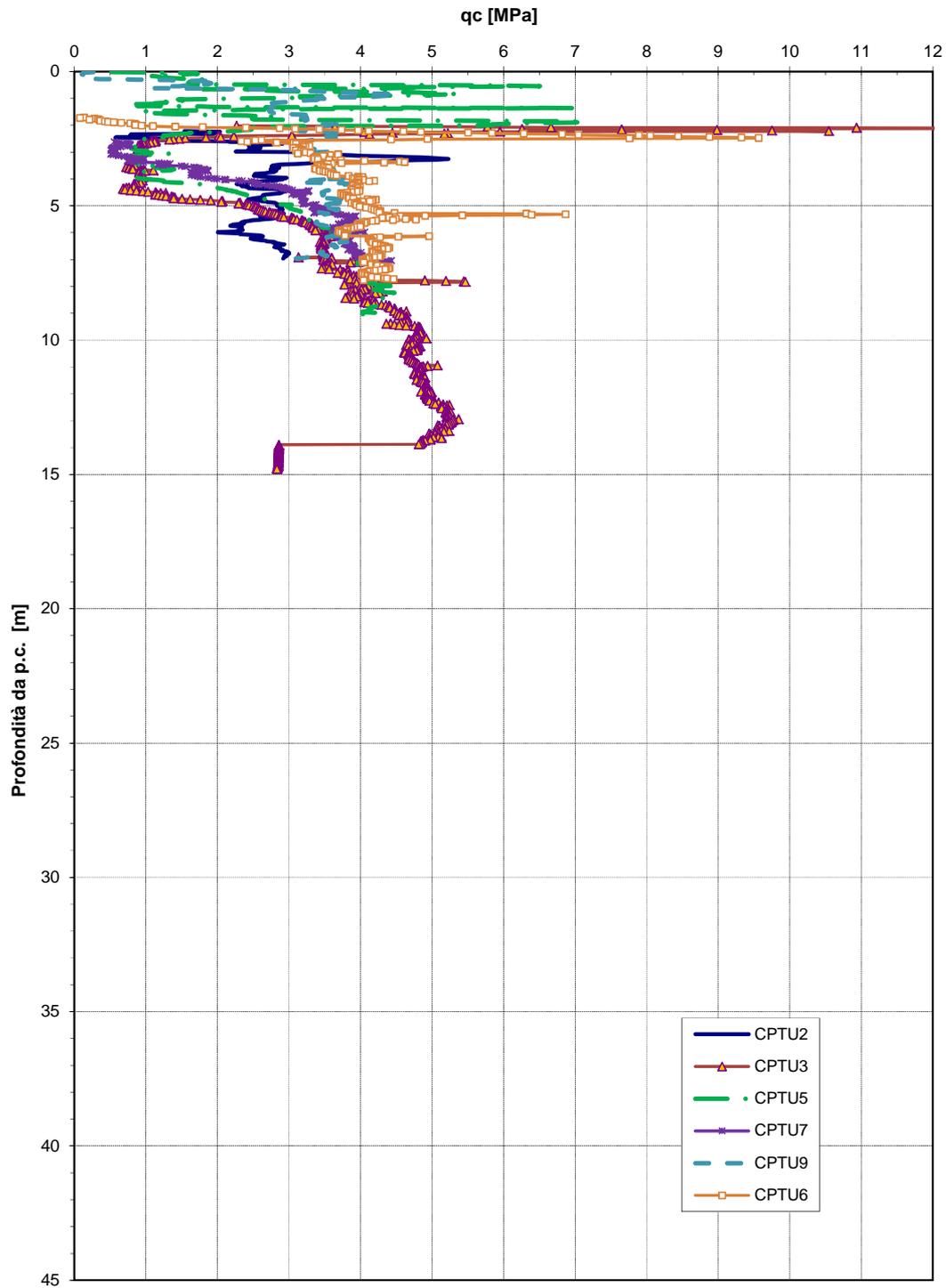


Figura 16 – Resistenza alla punta penetrometrica q_c – Parco fossile/minerali

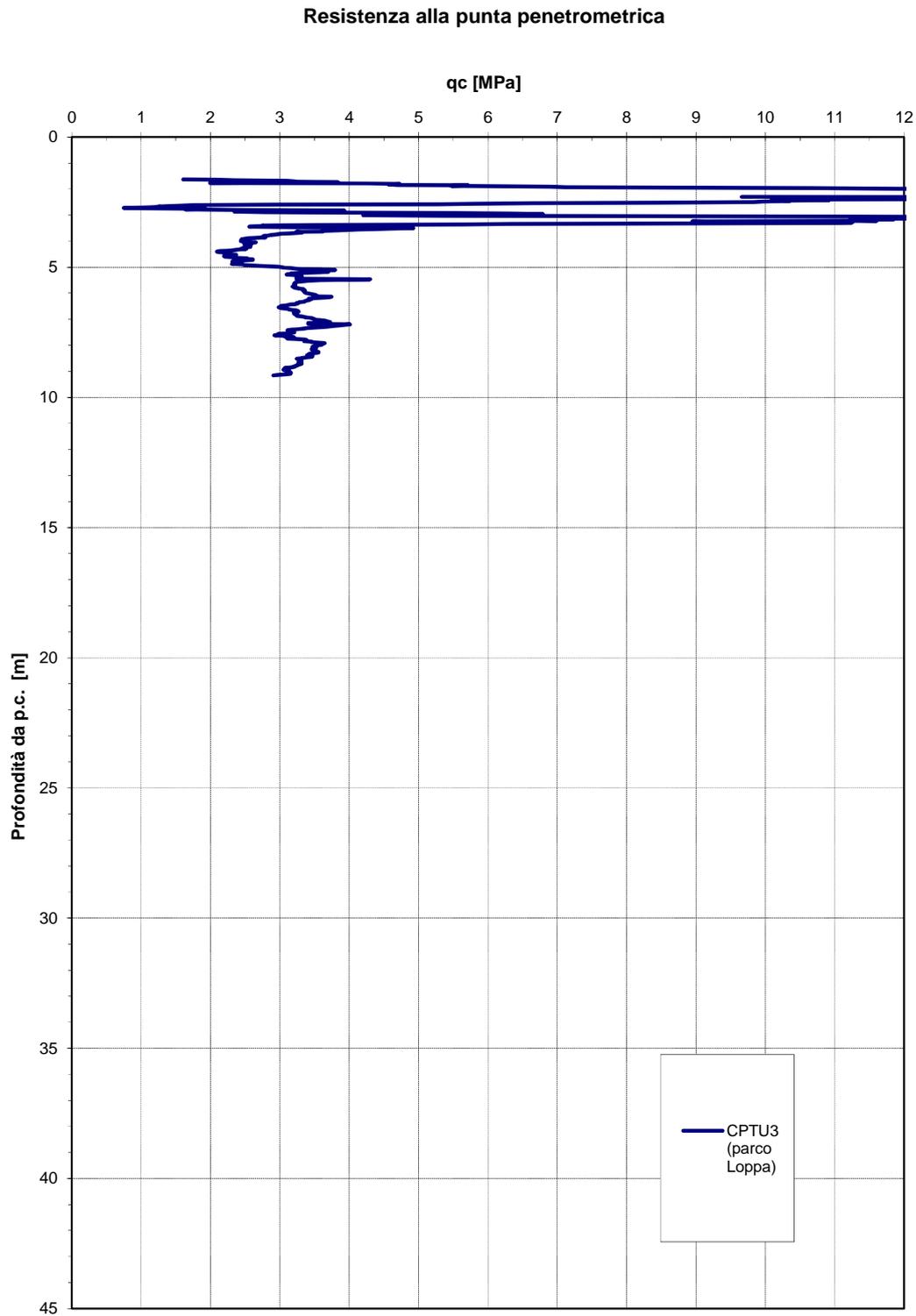


Figura 17 – Resistenza alla punta penetrometrica qc – Parco Loppa

Modulo di taglio iniziale da prove CPT, SPT e DH

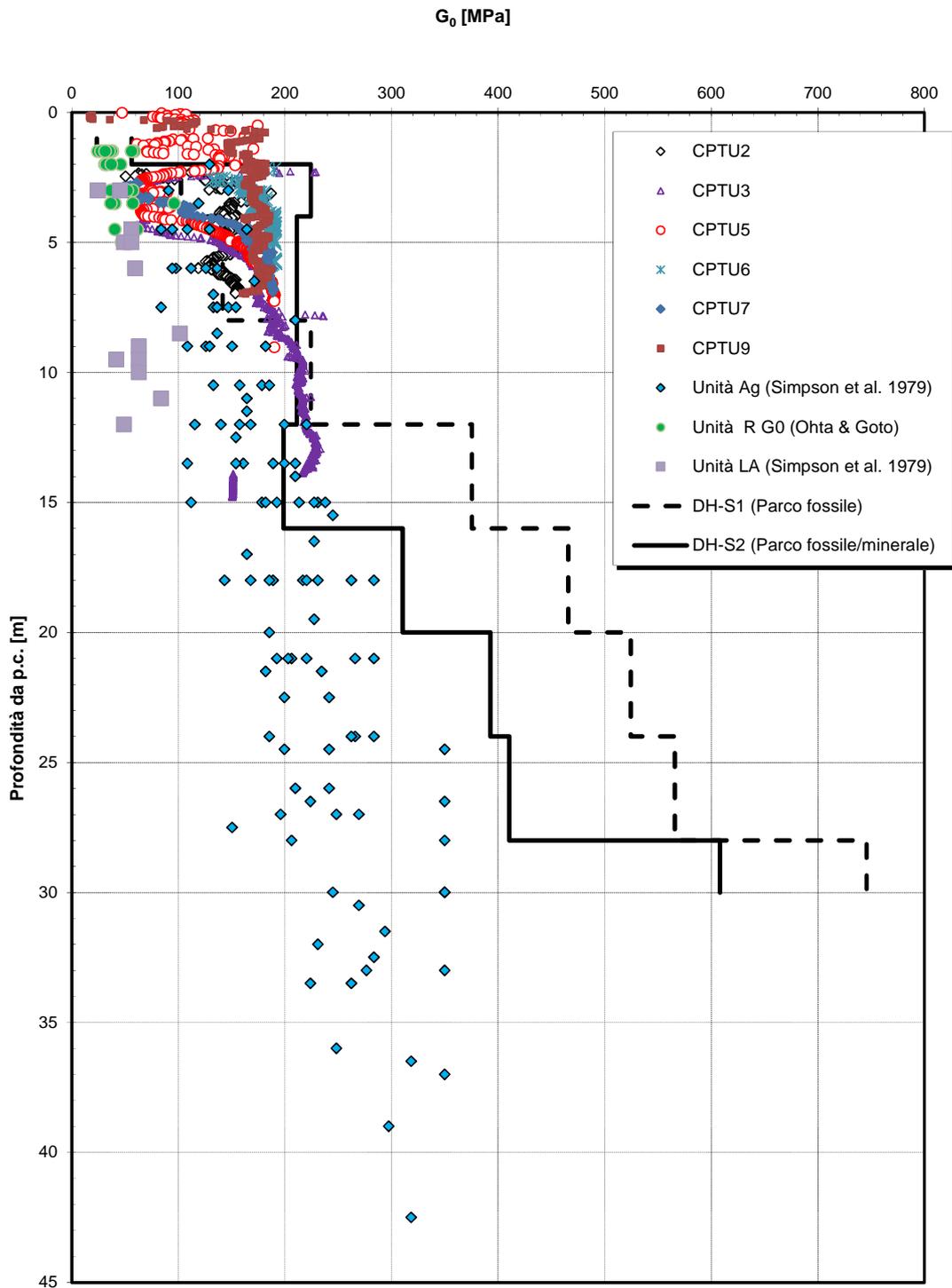


Figura 18 – Modulo di deformazione a taglio iniziale – Parco fossile/minerali

Modulo di taglio iniziale da prove CPT, SPT e DH

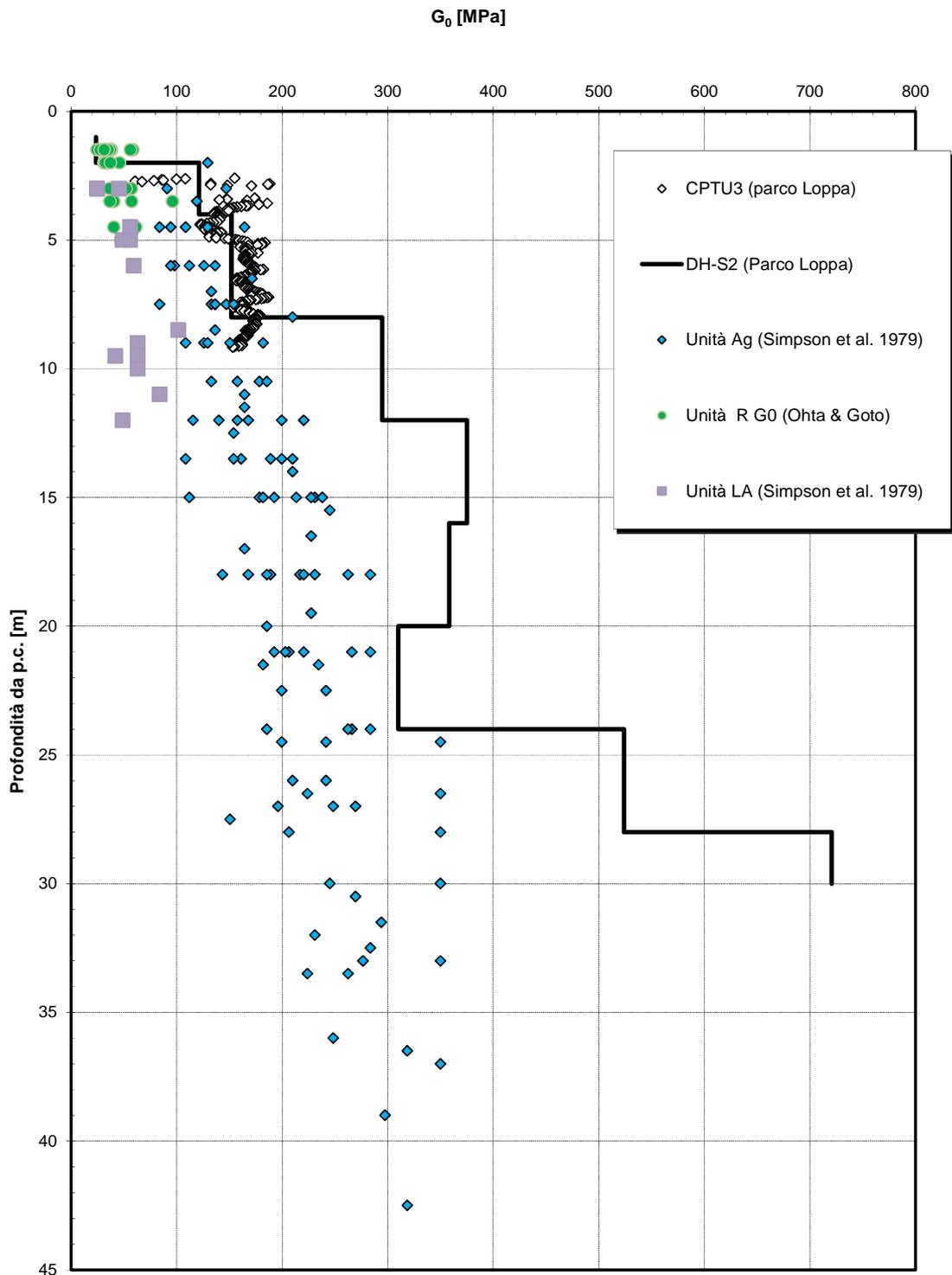


Figura 19 – Modulo di deformazione a taglio iniziale – Parco Loppa

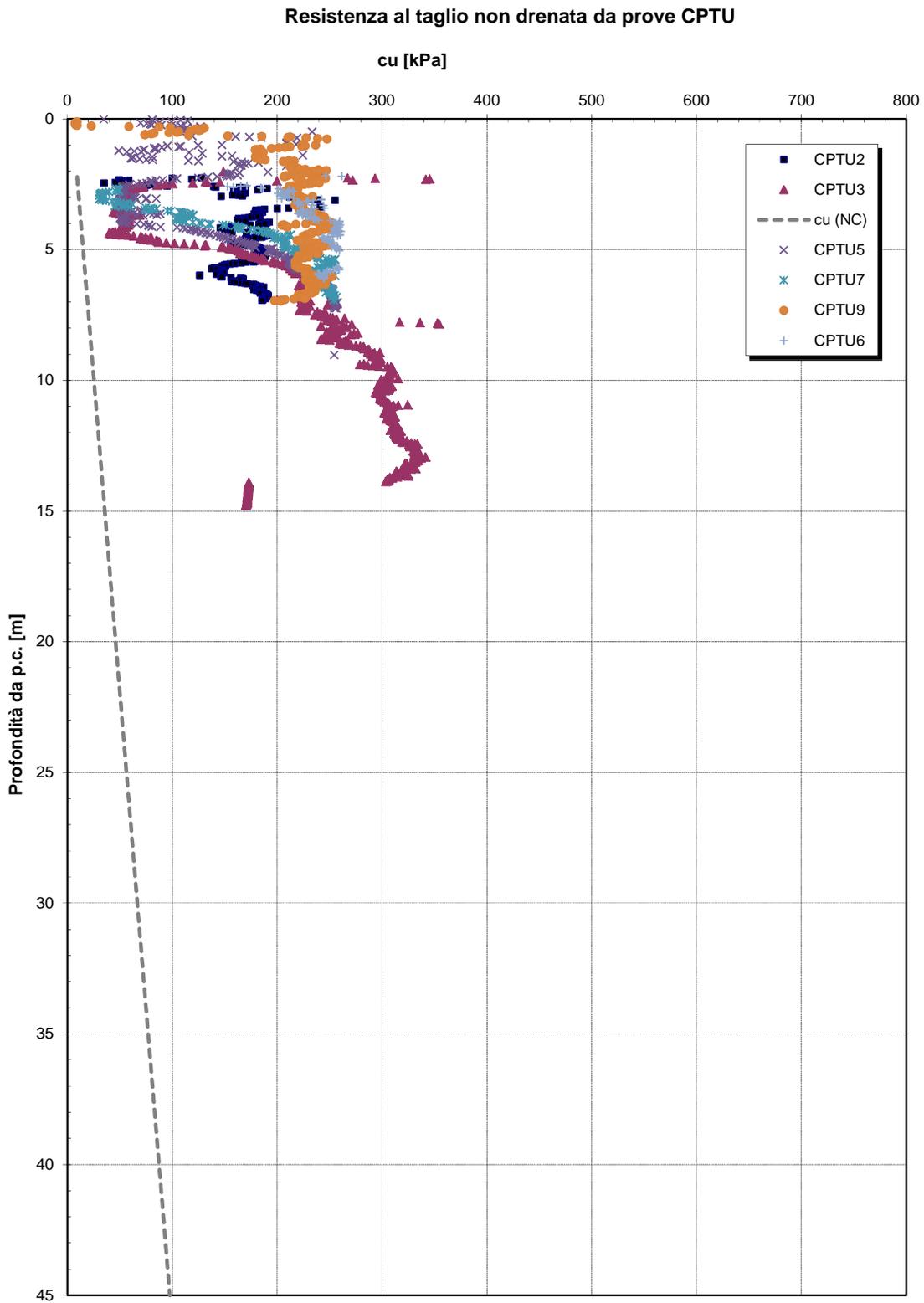


Figura 20 – Resistenza al taglio in condizioni non drenate – Parco fossile/minerali

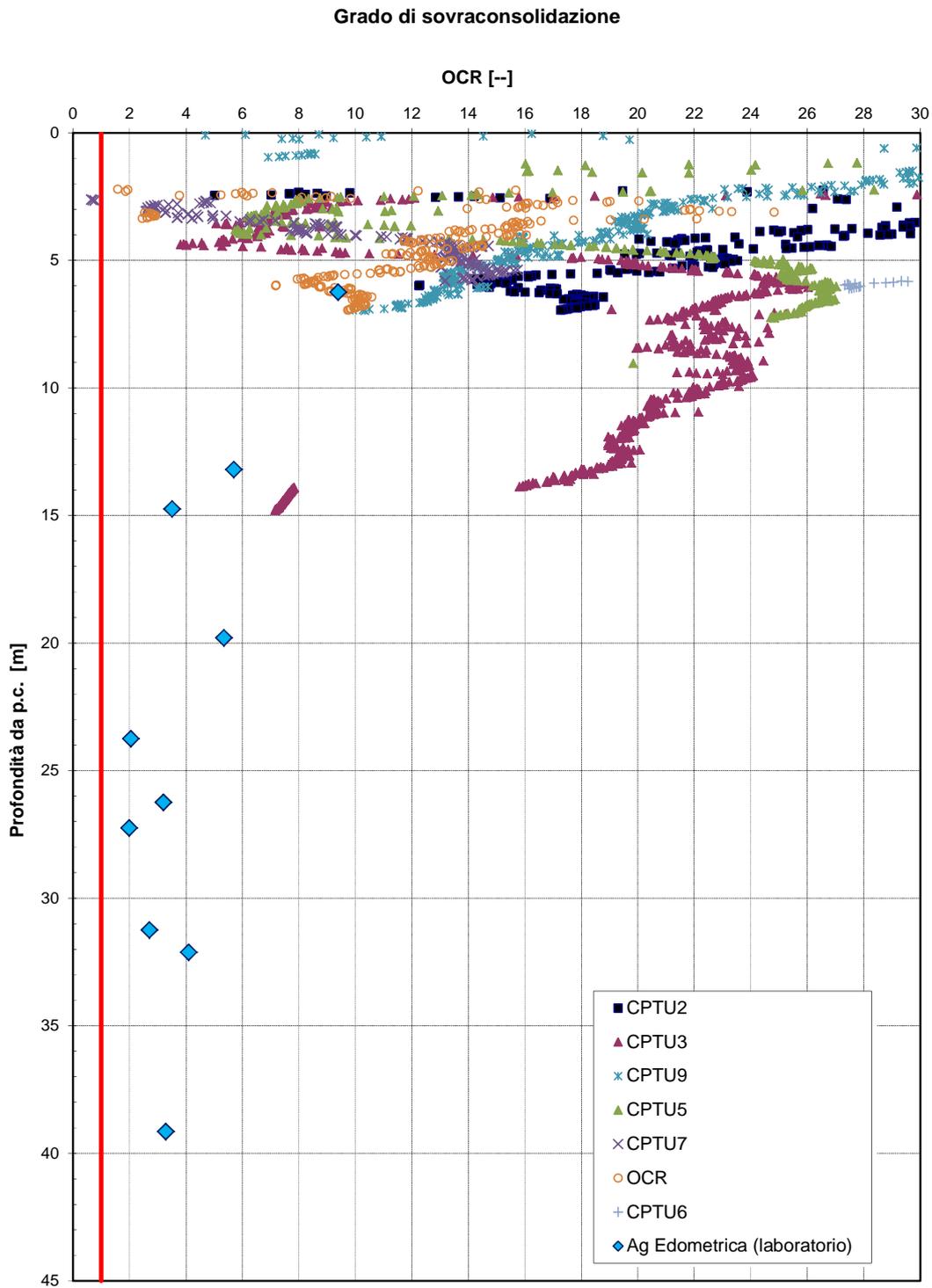


Figura 21 – Grado di sovraconsolidazione – Parco fossile/minerali

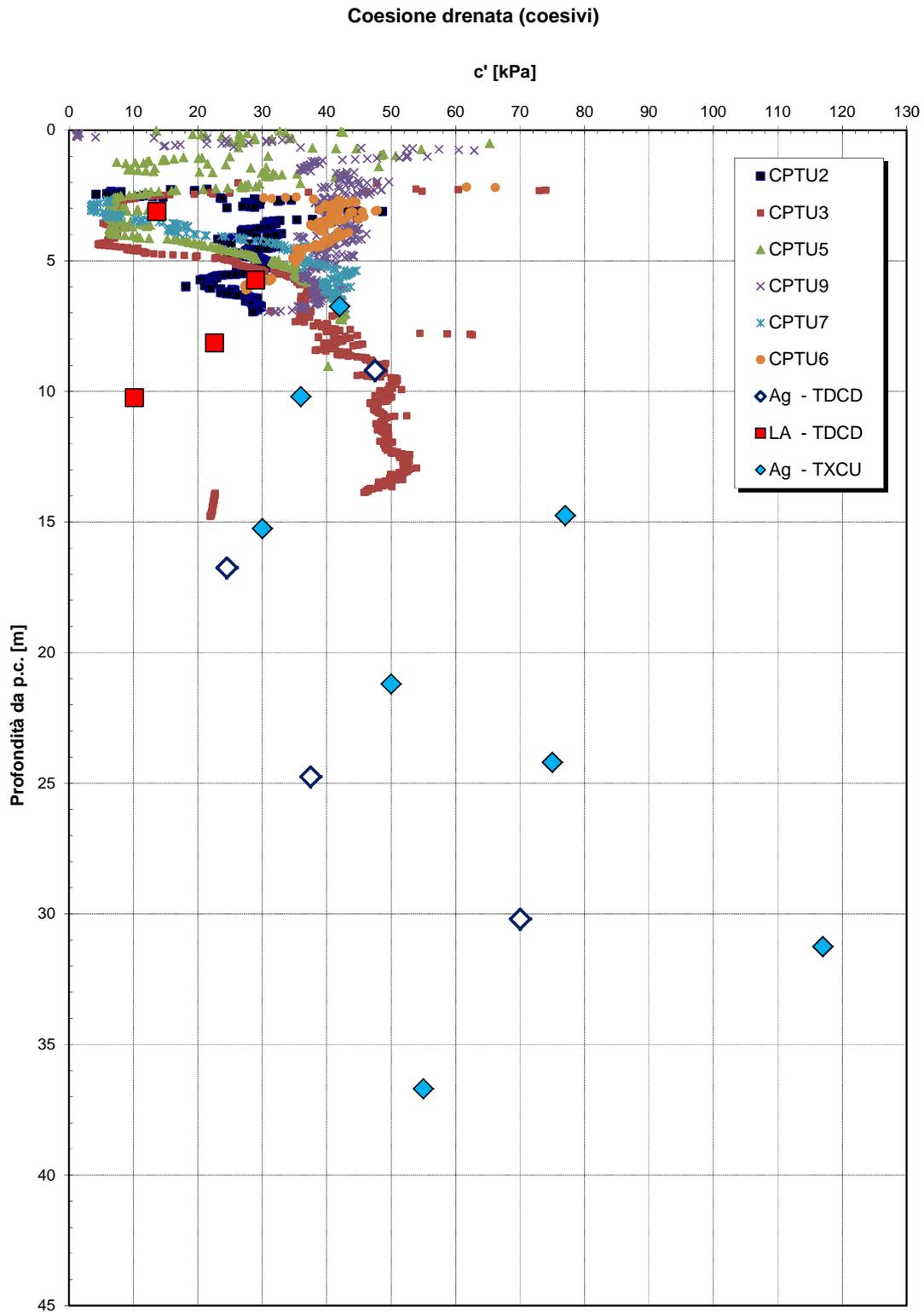


Figura 22 – Andamento coesione drenata con la profondità – Parco fossile/minerali

Velocità onde di taglio da prova Down-Hole

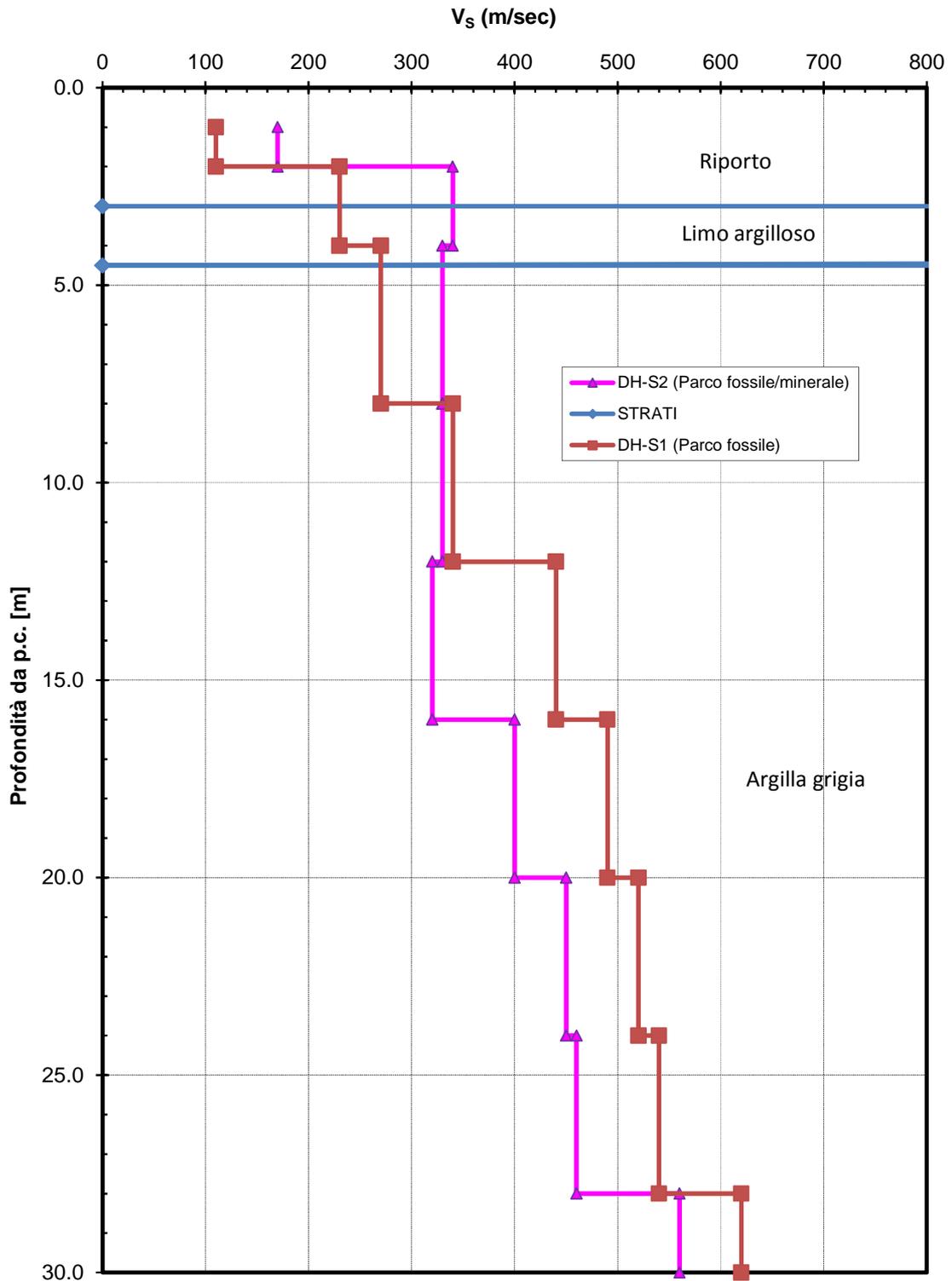


Figura 23 – Velocità delle onde di taglio V_s – Parco fossile/minerali

Velocità onde di taglio da prova Down-Hole

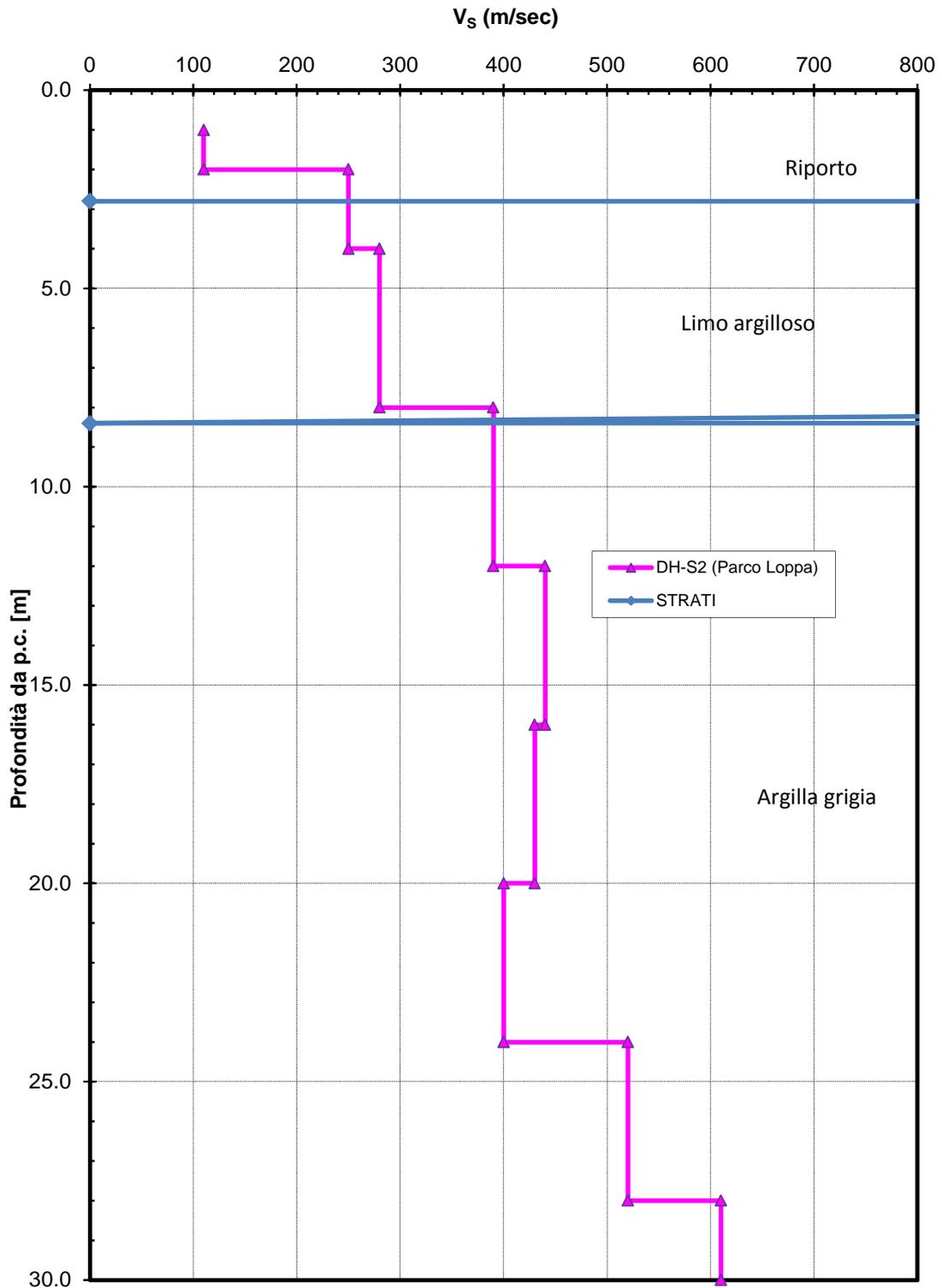


Figura 24 – Velocità delle onde di taglio V_s – Parco Loppa

Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prova Down-hole

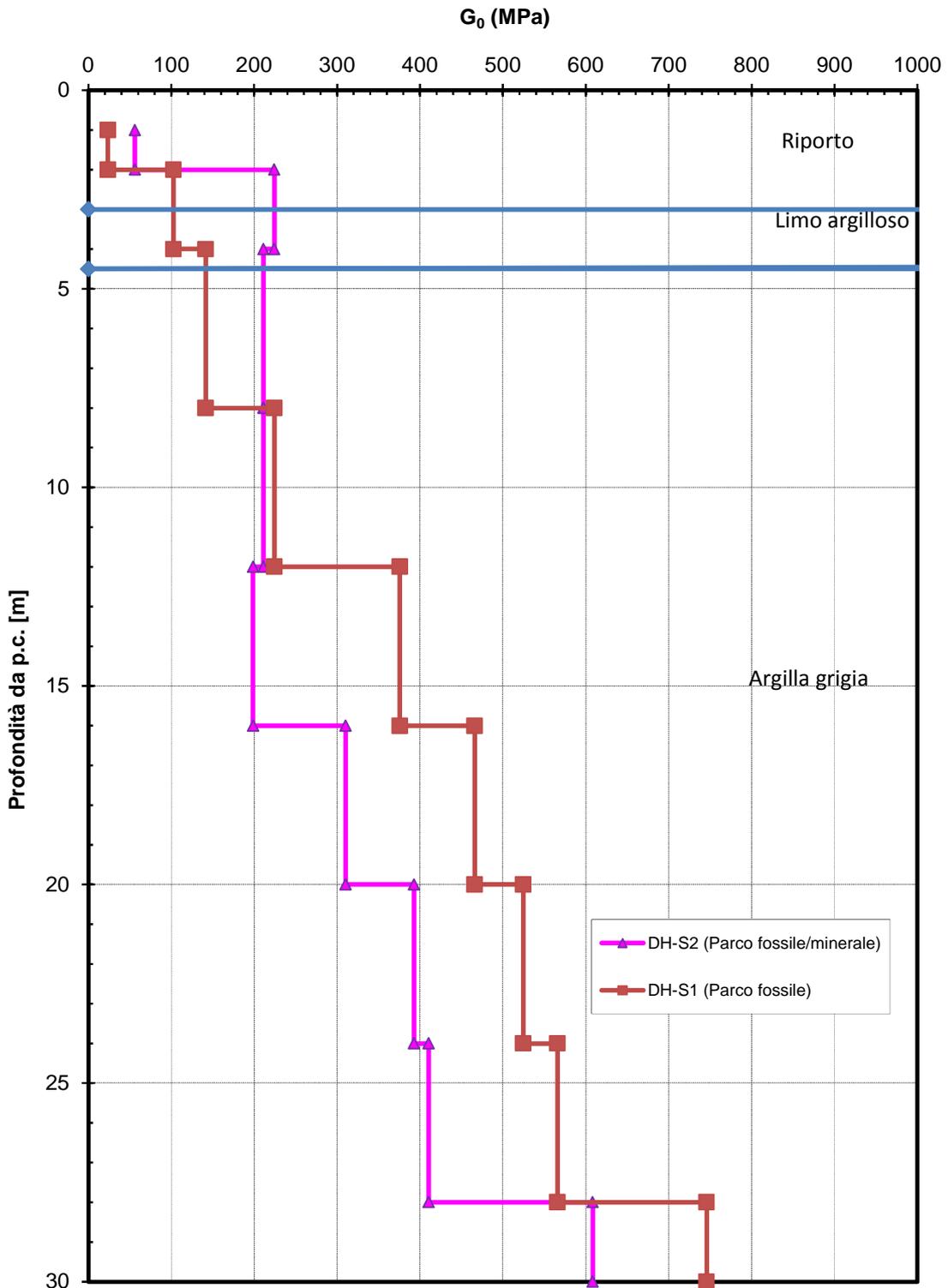


Figura 25 – Modulo di deformazione a taglio iniziale – Parco fossile/minerali

Modulo di deformazione a taglio iniziale G_0 da prova Down-hole

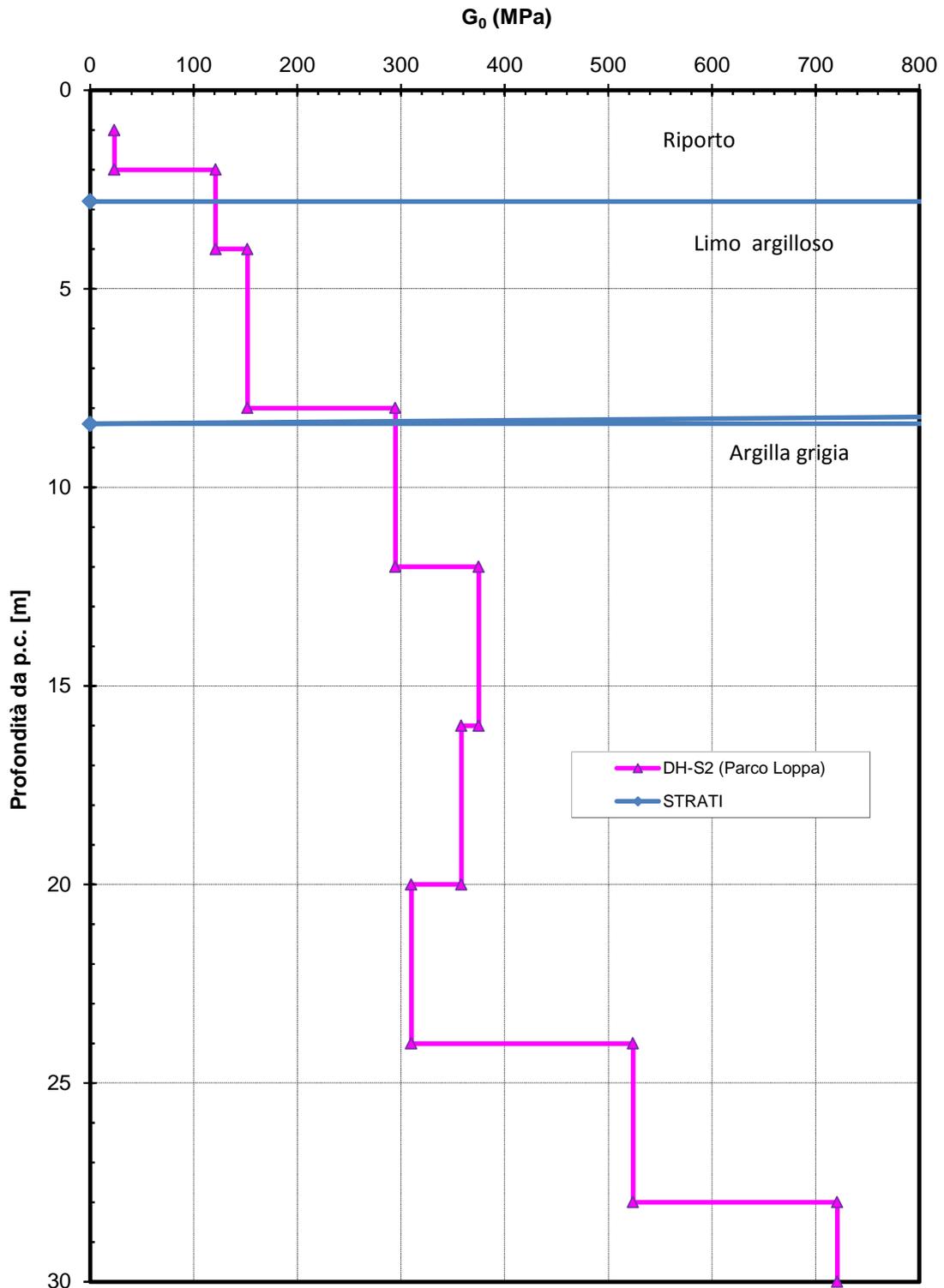


Figura 26 – Modulo di deformazione a taglio iniziale – Parco Loppa

Modulo di deformazione di Young iniziale E_0 da prova Down-hole

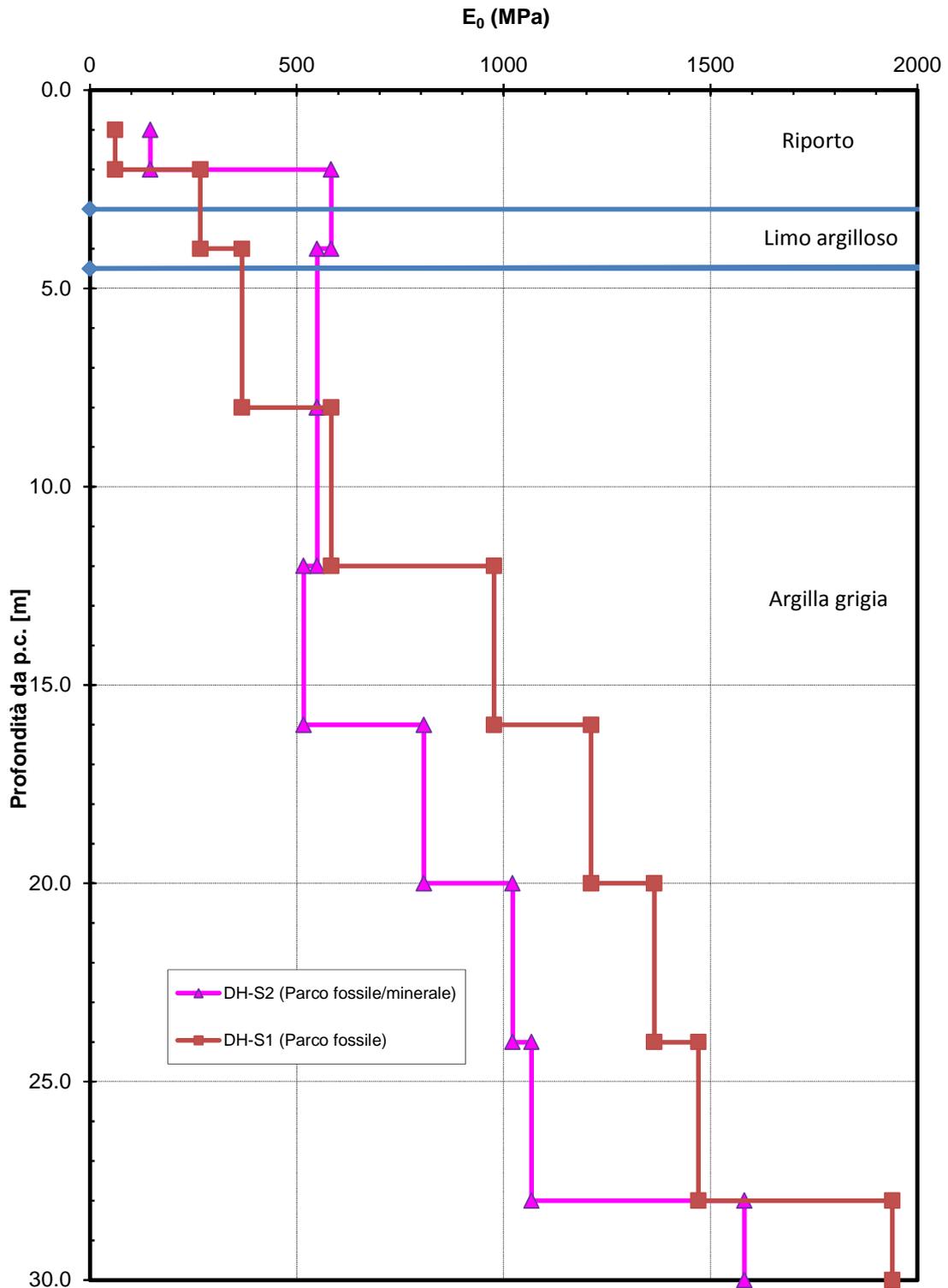


Figura 27 – Modulo di deformazione elastico iniziale – Parco fossile/minerali

Modulo di deformazione di Young iniziale E_0 da prova Down-hole

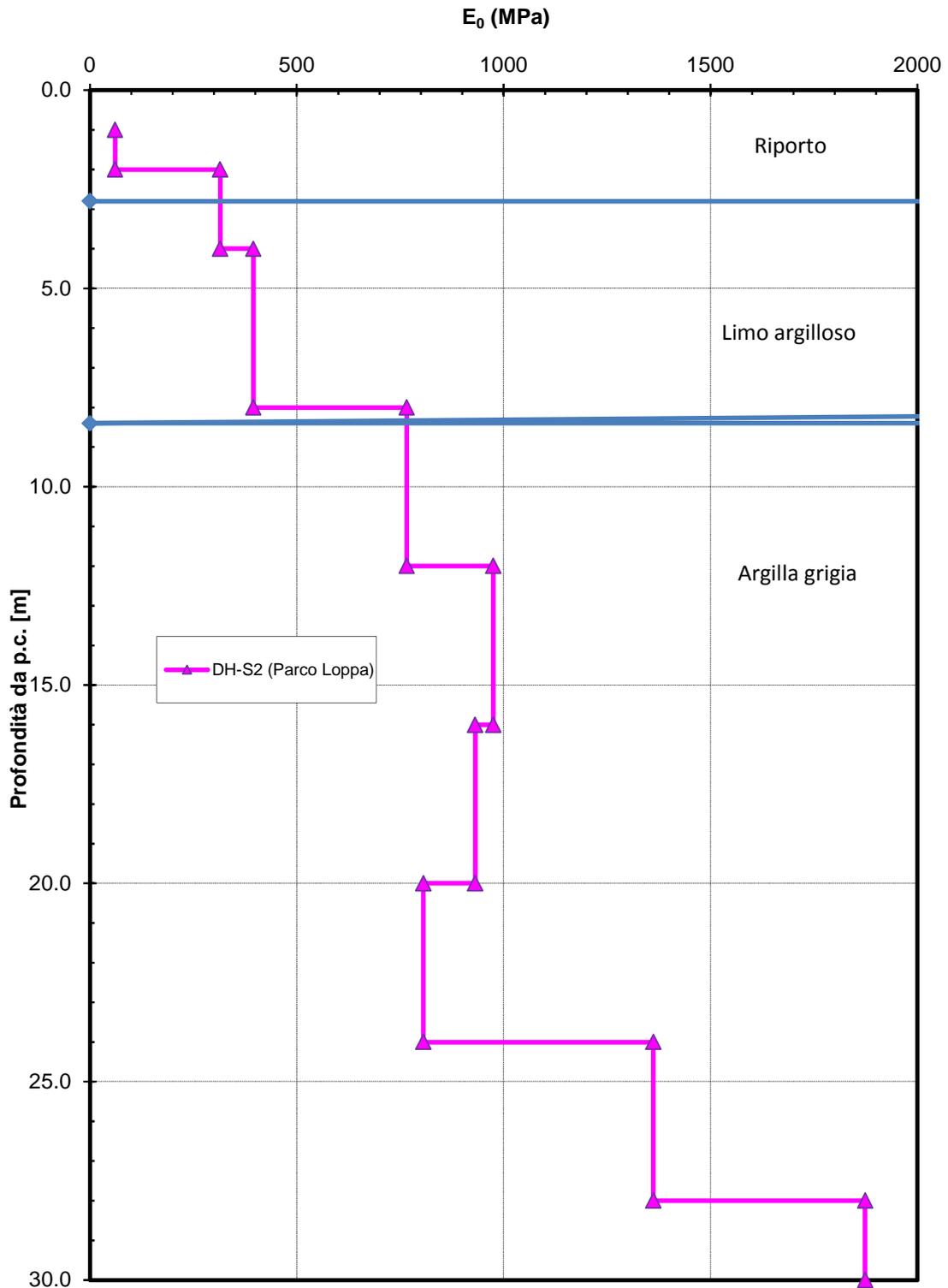


Figura 28 – Modulo di deformazione elastico iniziale – Parco Loppa

5 CLASSIFICAZIONE SISMICA: CATEGORIA DI SUOLO

La categoria di suolo di fondazione viene definita sulla base della conoscenza di $V_{s,30}$, ricavato dalle indagini sismiche appositamente eseguite nell'area (prove Down-Hole). Nel caso in esame, dalle prove sismiche (vedasi paragrafo 3.2.2) si assume una **categoria di suolo di tipo C**.