

APPENDICE A
RELAZIONE GEOTECNICA

REV	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	APPROVATO
0	Emissione	31/10/07	Giorgi	Citterio

RELAZIONE GEOTECNICA

TOMO 1 – CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI



GARASSINO s.r.l.

Via Curtatone, 25 – 20122 MILANO (ITALIA)

Tel. +39 0255190493 Fax +39 0255181865

E-Mail: garassinosl@garassinosl.it – <http://www.garassinosl.it>

Azienda con Sistema Gestione Qualita' ISO 9001:2000 certificato da ICMQ
Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ



GARASSINO s.p.a.

Via Curtatone, 25
20122 MILANO (ITALIA)
Tel.: +39 02 55190493
Fax: +39 02 55181865
E-Mail: garassinosl@garassinosl.it
Internet: www.garassinosl.it



EDISON S.p.A.

**Rosignano
Nuovo impianto GNL**

Relazione Geotecnica

TOMO 1 - Caratterizzazione dei terreni

Commessa Job 1741
Protocollo / Rev Doc. No. 80.00

| Indica le parti modificate con l'ultima revisione *Latest revision*

REV	DATA DATE	DESCRIZIONE DESCRIPTION	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
00	31.10.07	Prima emissione	E. Oldini	A.L. Garassino	A.L. Garassino

MECCANICA DEI TERRENI E INGEGNERIA DELLE FONDAZIONI

Cod. Fisc. e Part. IVA 09893920158 – C.C.I.A.A. Milano 1325801 – Tribunale Milano Reg. Soc. 299857 – Capitale Sociale € 10.400,00 int. vers.

Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ
Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ



INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	GEOLOGIA DELL'AREA	6
3.	IDROGEOLOGIA.....	7
4.	PROFILO STRATIGRAFICO.....	11
5.	FALDA.....	14
6.	INDAGINE GEOGNOSTICA	16
7.	PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE IN SITU.....	17
7.1	Prove SPT.....	17
7.2	Prove pressiometriche	25
7.3	Prove di permeabilità di tipo Lefranc	28
7.4	Prove CPTU	29
7.5	Prove di dissipazione.....	46
7.6	Misure di penetrometro tascabile e scissometro	48
8.	PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE DI LABORATORIO	59
8.1	Prove dinamiche	87
9.	DEFINIZIONE DELLE STRATIGRAFIE DI PROGETTO	93
10.	INDAGINE GEOFISICA	95
11.	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	95
12.	CONCLUSIONI	95
12.1	Stratigrafie di progetto dell'area	95
12.2	Parametri geotecnici	95
12.3	Livello di falda.....	95
12.4	Prove di laboratorio dinamiche	95
12.5	Potenziale di liquefazione.....	95
12.6	Indagine geofisica	95
13.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA.....	95
13.1	Documenti di riferimento	95

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	3	142



13.2 Bibliografia.....95

ALLEGATO 1 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI E TRACCE DELLE SEZIONI

ALLEGATO 2 – Sezioni stratigrafiche

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	4	142



1. INTRODUZIONE

Nel comune di Rosignano (Livorno), è prevista la costruzione di un impianto di stoccaggio del gas naturale. Il terminale GNL sarà ubicato all'interno degli stabilimenti di Solvay Chimica Italia S.p.A., nella zona indicata in figura 1.1 seguente.

La presente relazione ha lo scopo caratterizzare il terreno di fondazione dal punto di vista della successione stratigrafica e delle proprietà geomeccaniche delle diverse formazioni presenti.

I dati a disposizione provengono da una approfondita campagna di indagine svoltasi nei mesi di maggio e giugno 2007 nel sito in oggetto e dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati.

Per la definizione della stratigrafia di progetto e dei parametri del terreno, i risultati ottenuti dall'indagine e dal laboratorio sono stati integrati con altre informazioni relative ad aree non distanti da quella in esame, acquisite direttamente dagli scriventi o messe a loro disposizione dalla Solvay.

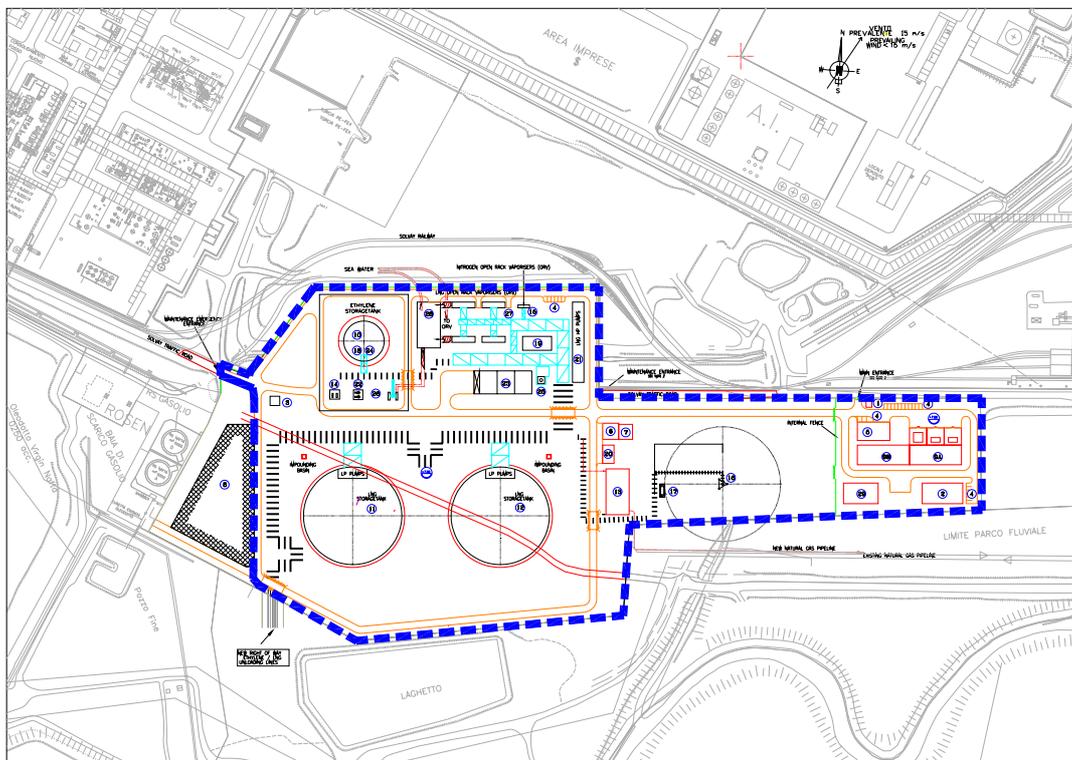


Figura 1.1 – Planimetria generale dell'impianto

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	5	142



2. GEOLOGIA DELL'AREA

L'impianto terminale GNL sarà situato nella parte nord della piana di Cecina, a quota di circa +8.00 m sul livello medio mare, delimitata a sud dal mar Tirreno.

L'area è compresa in una zona chiamata "Zona depressa di Ponte Unione" costituita da terreno derivante dalle antiche lagune e dagli ambienti paludosi della VI unità sedimentaria, la seconda delle sei formazioni che formano l'era Quaternaria della piana di Livorno (Barsotti e altri, 1974).

Il terreno presente in quest'area deriva da accumuli geologicamente recenti (Olocene) sedimentati in un ambiente di transizione continentale-marino.

I fenomeni deposizionali devono essere messi in correlazione con l'avanzata dell'estuario del fiume Fine con deposito di materiale alluvionale in un ambiente costiero di bassa energia.

Inoltre, durante le fasi di inondazione, i tomboli che si sono formati alle bocche del Fine si sono progressivamente espansi lasciando zone isolate depresse. Queste zone sono successivamente diventate aree paludose riempite gradualmente con materiale organico.

L'accrescimento veloce dal lato di mare della laguna è poi stato soggetto ad un'ulteriore accelerazione in seguito alla presenza umana che ha drenato l'area durante il XVII e XVIII secolo con lo scopo di dare spazio alla coltivazione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	6	142



3. IDROGEOLOGIA

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di livelli sabbioso-ghiaiosi che costituiscono un acquifero artesiano. Essi risultano confinati sia superiormente sia inferiormente, da depositi più prettamente coesivi che, secondo gli studi approfonditi commissionati da Solvay Chimica S.p.A., possono essere assunti come “acquicludi” (Valutazione delle caratteristiche idrogeologiche e geologico tecniche dell’area ex-SOC in relazione alla realizzazione di opere di fondazione – a cura di Dr. Geologo Paolo Squarci, Giugno 2005).

I livelli sabbiosi, come confermato anche dai dati della campagna di indagine appena conclusa, si collocano tra 22 e 34 m di profondità; non risultano continui, ma intercalati da lenti di spessore variabile di materiali coesivi. Essendo sede di falde alimentate da monte, che presentano un debole artesianesimo, rivestono una certa importanza e sono scrupolosamente preservati da contaminazioni.

Le figure 3.1, 3.2 e 3.3 redatte dal dott. Geol. Paolo Squarci illustrano chiaramente la situazione nell’area dello stabilimento:

- la figura 3.1 riporta la geologia locale dell’area di intervento con le curve di livello della base della paleovalle;
- la figura 3.2 riporta la profondità dell’acquifero artesiano rispetto al piano campagna;
- la figura 3.3 riporta lo schema idrologico nell’area del futuro impianto.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	7	142

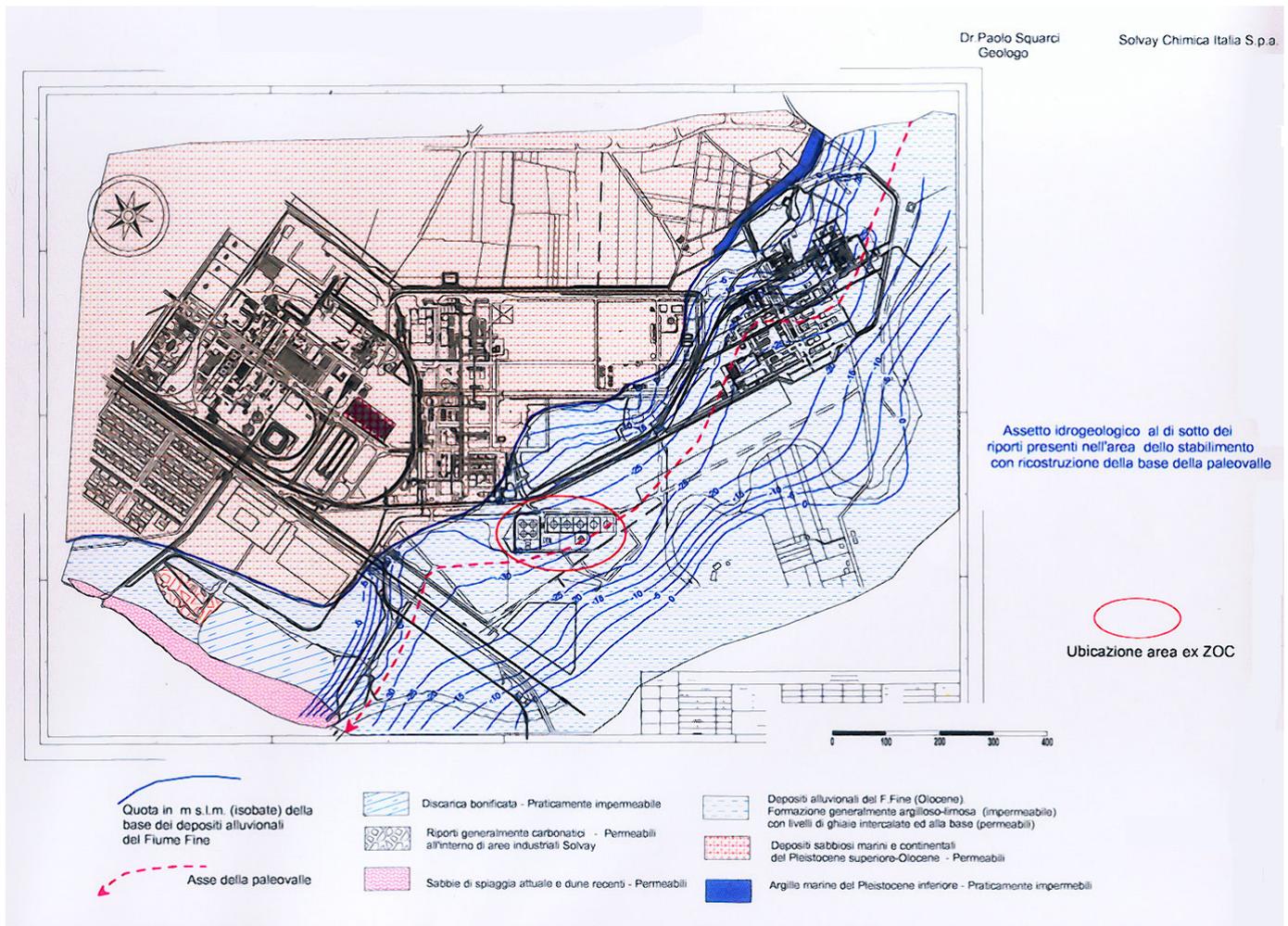


Figura 3.1 - Geologia locale dell'area di intervento con le curve di livello della base della paleovalle

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	8	142

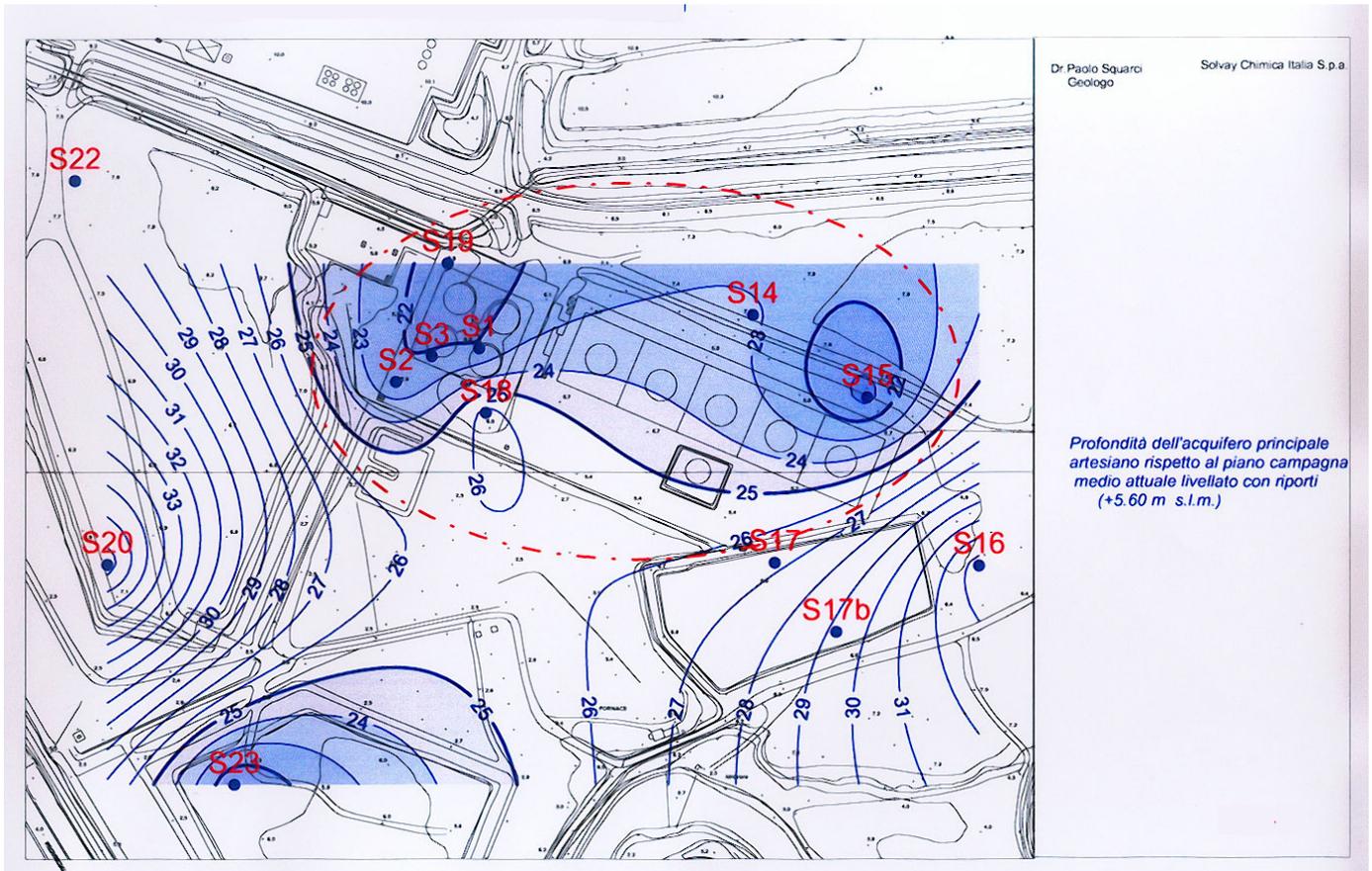


Figura 3.2 - Profondità dell'acquifero artesiano rispetto al piano campagna

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	9	142

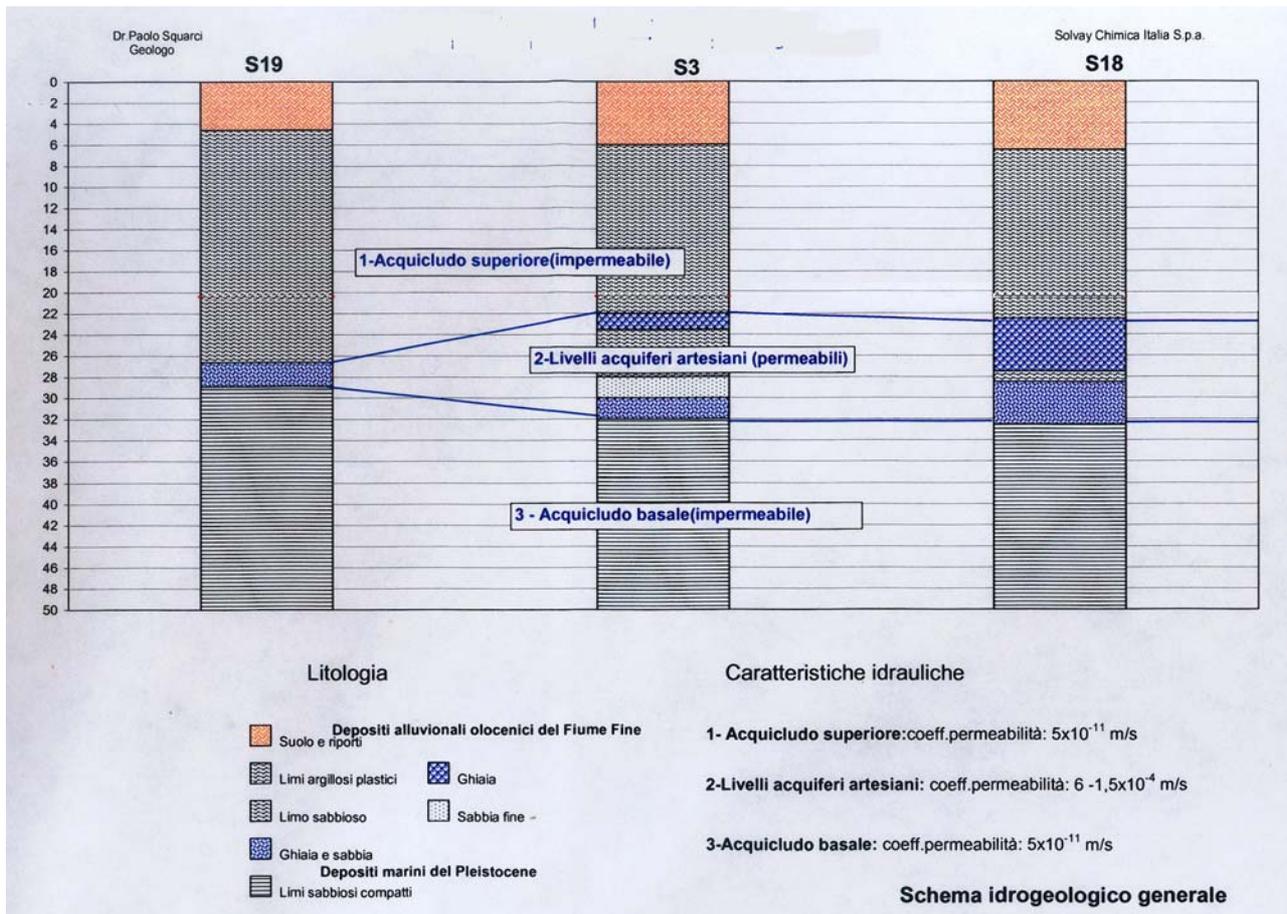


Figura 3.3 - Schema idrogeologico nell'area del futuro impianto

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	10	142



4. PROFILO STRATIGRAFICO

I profili stratigrafici riportati dai sondaggi eseguiti nell'area si sono dimostrati piuttosto eterogenei, soprattutto con riferimento ai primi 15÷20 m di terreni indagati. Risulta evidente che si tratta di depositi sedimentari, di origine fluviale sopra e di origine marina più in profondità.

Volendo descrivere sommariamente la stratigrafia dell'area, si indicano uno strato di riporto di origine antropica avente spessori anche di alcuni metri ($H_{max} = 6.10$ m in S1), materiali di tipo argilloso-limoso, intervallati in alcune zone da resti torbosi e/o ghiaia fine alluvionale con sabbia.

Al di sotto si trova l'acquifero cosiddetto profondo, costituito da terreni granulari tra cui prevalgono sabbie (come in S3 e S6) o ghiaie (in S4, S5, S7 e S9). Questi strati sono assenti nel sondaggio S1.

Oltre i 30 m di profondità si trovano di nuovo formazioni coesive, argille limose e limi argillosi o sabbiosi che si alternano in maniera discontinua; essi costituiscono spesso delle lenti di spessore ed estensione molto variabile.

Di seguito si fornisce una breve descrizione degli strati incontrati. Le sezioni stratigrafiche sono riportate nell'Allegato 2.

Strato R: riporto; si tratta di materiali estremamente eterogenei depositati in sito e leggermente compattati: scarti di lavorazione, ghiaie, sabbie e terre in genere provenienti da scavi; lo spessore di questo strato varia da 3.10 m a quasi 7 m (S1). È assente nel sondaggio S9.

Strato V: terreno vegetale di coltivo presente nel solo sondaggio S9, con spessore di 25 cm.

Strato A: limo argilloso, compatto con tracce di essiccamento e valori elevati di pocket penetrometro ($250 \div 310$ kPa); è stato rinvenuto sotto lo strato R (sotto lo strato V nel caso di S9) fino alla profondità variabile da 4.80m (0.32 m s.l.m. - S9) a 7.50 m (0.43 m s.l.m. - S5). È assente in S6.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	11	142



Nel sondaggio S1 è stato incontrato fino a 20.80 m da p.c. (-10.93 m s.l.m.) dove i valori di penetrometro tascabile sono compresi tra 360 kPa e 580 kPa.

Strato B: argilla limosa, piuttosto plastica, caratterizzata da una consistenza relativamente bassa (P.P. 40÷90 kPa). Questo strato è stato ritrovato al di sotto dello strato A; presenta spessori variabili da circa 14 m (in S7) a quasi 20 m (in S3).

Localmente, all'interno dello strato B, si sono incontrati dei livelli discontinui costituiti da materiali granulari: ghiaia medio – fine, sabbiosa, limosa, (da 13.20 m da p.c. (-7.46 m s.l.m.) a 17.90 m da p.c. (-12.16 m s.l.m.) in S4 e da 13.50 m (-5.57 m s.l.m.) a 15.60 m (-7.67 m s.l.m.) in S5) intervallata da alternanze di argilla limosa, livelli torbosi, sabbia limosa (tra 13.80 m da p.c. (-8.06 m s.l.m.) e 15.30 m da p.c. (-9.56 m s.l.m.) in S4 e da 14.45 m da p.c. (-6.52 m s.l.m.) a 15.25 m da p.c. (-7.32 m s.l.m.) in S5).

Strato C/C': formazione granulare di origine fluviale, sede dell'acquifero; si alternano, con spessori variabili, sabbie da medie a grossolane (C) e ghiaie (C') poligeniche per lo più angolari, in matrice sabbioso-argillosa. Localmente lo strato risulta intervallato da lenti di spessore modesto di limi sabbiosi argillosi.

Le prove SPT hanno fornito valori generalmente compresi tra 10 e 40, tipici di materiali da mediamente addensati ad addensati.

Si incontra a partire dalla profondità di 21.75 m da p.c. in S7 (-13.76 m s.l.m.) ÷ 25.95 m da p.c. in S3 (-18.40 m s.l.m.) fino alla profondità di 29.40 m da p.c. in S9 (-24.28 m s.l.m.) ÷ 34.40 m da p.c. in S7 (-26.41 m s.l.m.).

È assente nel sondaggio S1.

Strato D/D': argilla da debolmente limosa a limosa (D); costituisce la base inferiore dell'acquifero al di sotto del livello C/C'. Si alterna a lenti di limo argilloso sabbioso (D') fino a profondità di 46.50 ÷ 48.50 m da p.c. in tutti i sondaggi, ad eccezione di S1 (40 m circa).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	12	142



È caratterizzato da valori di penetrometro tascabile mediamente attorno a $150 \div 180$ kPa.

Strato E/E': alternanze di limo sabbioso (E) e limo argilloso debolmente sabbioso (E'), spesso presente sotto forma di lente. I valori del penetrometro tascabile sono compresi tra $170 \div 210$ kPa. Per il progetto in esame i depositi E/E' possono essere assunti come formazione di base.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	13	142



5. FALDA

Le misure del livello di falda sono state condotte contestualmente all'esecuzione di ciascun carotaggio, mattina e sera.

Nella tabella 5.I sono riportate le rilevazioni effettuate.

sondaggio	data lettura	sera			mattino			
		prof.foro	prof.falda	quota	data lettura	prof.falda	quota	
		[m da p.c.]	[m da p.c.]	[m s.l.m.]		[m da p.c.]	[m s.l.m.]	
S1	07-giu	10.00	0.00	9.87	08-giu	0.00	9.87	
	08-giu	24.00	0.00	9.87	11-giu	0.00	9.87	
	11-giu	48.60	0.00	9.87	12-giu	0.00	9.87	
	12-giu	48.60	1.40	8.47	13-giu	2.10	7.77	
S3	26-apr	4.50	2.85	4.70	27-apr	2.85	4.70	in R
	27-apr	21.00	1.00	6.55	02-mag	1.10	6.45	in C/C
	02-mag	30.00	2.30	5.25	03-mag	2.30	5.25	in C/C
	03-mag	44.10	8.90	-1.35	04-mag	9.00	-1.45	
	04-mag	46.50	10.00	-2.45	07-mag	9.95	-2.40	
S4	19-giu	7.10	1.30	4.44	20-giu	1.30	4.44	in R
	20-giu	26.00	0.00	5.74	21-giu	3.00	2.74	in C/C
	21-giu	45.00	0.00	5.74	22-giu	0.00	5.74	
S5	08-mag	6.00	1.35	6.58	09-mag	1.35	6.58	in R
	09-mag	27.00	0.00	7.93	10-mag	0.00	7.93	
	10-mag	40.50	0.00	7.93	11-mag	0.00	7.93	
	11-mag	54.00	0.00	7.93	14-mag	0.00	7.93	
	14-mag	69.00	0.00	7.93	15-mag	1.90	6.03	in C/C
	15-mag	91.00	0.00	7.93	16-mag	2.30	5.63	in C/C
S6	31-mag	18.00	0.00	8.27	01-giu	0.00	8.27	
	04-giu	24.00	3.50	4.77	04-giu	3.50	4.77	in C/C
	05-giu	34.50	0.00	8.27	05-giu	0.00	8.27	
	06-giu	49.50	2.50	5.77	06-giu	4.10	4.17	in C/C
S7	17-mag	19.50	0.00	8.00	18-mag	0.00	8.00	
	18-mag	27.00	4.30	3.70	21-mag	4.10	3.90	in C/C
	21-mag	33.00	5.05	2.95	22-mag	5.05	2.95	in C/C
S8	23-mag	9.00	0.00	8.25	24-mag	0.00	8.25	
	24-mag	31.50	5.10	3.15	25-mag	4.50	3.75	in C/C
	25-mag	36.60	0.00	8.25	28-mag	0.00	8.25	
	28-mag	43.50	0.00	8.25	29-mag	0.00	8.25	
	29-mag	63.00	0.00	8.25	30-mag	0.00	8.25	
S9	14-giu	21.00	0.00	5.12	15-giu	0.00	9.87	
	15-giu	30.00	2.40	2.72				

Tabella 5.I – Misure del livello di falda dai fori di sondaggio – campagna maggio-giugno 2007.

In corrispondenza del sondaggio S5 è stato posizionato un piezometro di tipo a tubo aperto, all'interno dello strato di riporto, fino alla profondità di 5 m da p.c..

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	14	142



Il livello di falda è stato registrato anche nel corso delle prove penetrometriche statiche (CPTU). In tabella 5.II sono riportate le profondità e le quote della superficie piezometrica nei punti indagati.

prova	data esecuzione	prof.falda	quota
		[m da p.c.]	[m s.l.m.]
P1	07-giu	4.00	3.78
P2	11-giu	4.00	4.25
P3	12-giu	5.00	4.88
P4	12-giu	5.00	-0.33
P6	12-giu	5.00	-0.17
P8	07-giu	4.00	3.80
P9	12-giu	2.00	3.23
P10	13-giu	2.00	3.28

Tabella 5.II – Misure del livello di falda da misure effettuate nel corso di prove CPTU – campagna maggio-giugno 2007.

I livelli di falda misurati alla sera sono poco veritieri del livello reale, poiché influenzati dalla presenza del fluido di circolazione impiegato nelle operazioni di carotaggio che in alcuni casi non è defluito nel corso della nottata dato anche l'impiego di più tubi di rivestimento a cannocchiale.

Prendendo in considerazione le misure più attendibili (evidenziate in tabella 5.I), si può notare:

- l'esistenza di un acquifero superficiale, nel riporto, il cui livello varia tra -1.30 e e -2.85 m da p.c., ovvero tra 6.85 m s.l.m. e 4.40 m s.l.m.;
- l'esistenza di un acquifero profondo, confinato nel livello C/C', la cui superficie piezometrica è stata rilevata a profondità -1.10 m e -5.05 m da p.c.corrispondenti, in termini di quote assolute a 6.45 m s.l.m. e 2.95 m s.l.m..

Nell'area circostante S1, nella quale è stata evidenziata l'assenza degli strati granulari C/C', il livello di falda è stato misurato alla profondità di -2.10 m da p.c. corrispondente a +7.80 m s.l.m..

Per meglio comprendere i livelli di falda presenti, l'eventuale artesianesimo della falda profonda e le variazioni stagionali della superficie piezometrica si rimanda alle letture dei piezometri fatti installare nell'area in esame attualmente effettuate a cura della Solvay.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	15	142



6. INDAGINE GEOGNOSTICA

La campagna di indagine in sito è consistita in sondaggi, prove penetrometriche, prove sismiche di tipo down-hole e indagini sismiche di superficie.

Sono stati eseguiti:

- 1 sondaggio spinto alla profondità di 100 m da p.c. – S5;
- 1 sondaggio approfondito fino a 80 m da p.c. – S8;
- 4 sondaggi alla profondità di 60 m da p.c. – S1, S3, S4, S7;
- 1 sondaggio alla profondità di 30 m da p.c. – S9;
- 8 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) – P1, P2, P3, P4, P6, P8, P9, P10.

All'interno dei fori di sondaggio, si sono inoltre eseguite prove di tipo SPT, prove pressiometriche, prove di permeabilità di tipo Lefranc.

Gli spezzoni di carota estratti, laddove in presenza di materiale coesivo, sono stati sottoposti a misure speditive della resistenza al taglio non drenata tramite penetrometro tascabile (pocket penetrometro) e vane test.

Sono stati prelevati complessivamente 48 campioni indisturbati, quasi esclusivamente mediante campionatore a pistone, da sottoporre a prove di laboratorio.

È stato installato 1 piezometro a tubo aperto nel riporto superficiale, alla profondità di 5 m da p.c..

Le prove penetrometriche statiche con piezocono, CPTU, in totale 8, sono state spinte a profondità variabili da 22.80 m a 30.00 m da p.c., arrestandosi a rifiuto in corrispondenza del livello ghiaioso dell'acquifero profondo. Sono state eseguite due prove di dissipazione.

La sismografia del sito è stata indagata mediante 3 prove down-hole a 30 m eseguite nei fori di sondaggio S1, S5 ed S8 e 3 stese sismiche superficiali con metodo ReMi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	16	142



7. PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE IN SITU

La caratterizzazione geotecnica dei terreni attraverso prove in situ fa riferimento ai risultati delle prove SPT, delle prove pressiometriche e delle prove di permeabilità condotte nei fori di sondaggio, delle prove CPTU e delle prove di dissipazione.

Inoltre sulle carote estratte sono state eseguite misure speditive della coesione non drenata tramite pocket penetrometro e scissometro.

Di seguito si riportano i dati registrati, l'interpretazione eseguita ed i parametri ricavati.

7.1 Prove SPT

Le prove SPT consistono nel conteggio del numero di colpi necessari all'avanzamento di una punta nel terreno per 3 segmenti consecutivi di 15 cm l'uno, a partire dal fondoforo del carotaggio in esecuzione. La somma dei colpi relativi al secondo ed al terzo segmento di 15 cm rappresenta il valore N_{SPT} sulla base del quale si caratterizza il terreno indagato.

L'altezza di caduta, il peso del maglio e le caratteristiche della punta impiegati fanno riferimento agli standard internazionali.

Le prove sono state eseguite quasi esclusivamente negli orizzonti granulari.

La figura 7.1.1 seguente mostra il numero di colpi N_{SPT} misurati nella campagna di indagine, per ciascun sondaggio.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	17	142

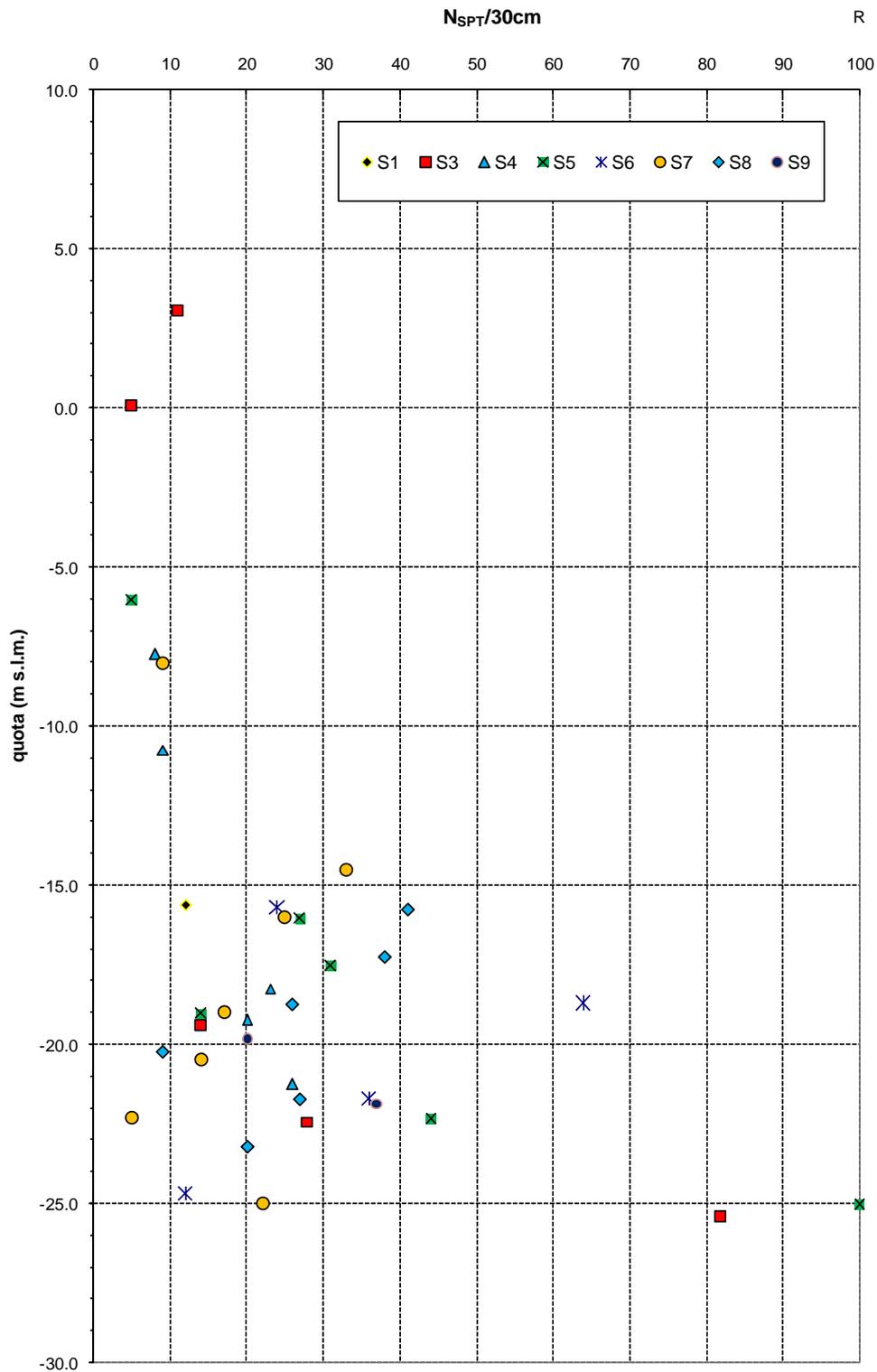


Figura 7.1.1 – Numero di colpi N_{SPT}

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	18	142



Per caratterizzare i terreni granulari, in termini di densità relativa, angolo d'attrito interno e modulo di Young, sono state impiegate le seguenti correlazioni.

Densità relativa: il grado di addensamento dei terreni, ricavato mediante l'espressione proposta da Bazaraa e Peck varia da 30% a 70%, - densità media secondo la classificazione proposta da Terzaghi e Peck (1967).

$$\frac{Dr}{100} = 0.2236 \cdot \left(\frac{N_{SPT}}{a + b \cdot \sigma_v'} \right)^{0.5} \quad \text{Bazaraa e Peck (1969)}$$

dove:

Dr = densità relativa [%];

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

σ_v' = pressione verticale efficace [t/m^2];

a, b = fattori dipendenti dalla pressione geostatica di preconsolidazione.

Angolo d'attrito: è stata applicata la correlazione seguente proposta da Shioi e Fukuni (1982). I valori calcolati sono mediamente compresi tra 27° (livelli sabbiosi) e 38° (livelli ghiaiosi).

$$\begin{aligned} \phi &= (15 \cdot N_{SPT})^{0.5} + 15 & \text{se } \phi &= (15 \cdot N_{SPT})^{0.5} + 15 < 46^\circ \\ \text{se } \phi &= (15 \cdot N_{SPT})^{0.5} + 15 > 46^\circ & \phi &= 46^\circ \end{aligned}$$

dove:

ϕ = angolo d'attrito [°];

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

Modulo di Young: la correlazione suggerita da Denver e quella proposta da D'Appolonia forniscono risultati molto simili.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	19	142



$$E = 7 \cdot \sqrt{N_{SPT}} \quad (\text{Denver, 1982})$$

$$E = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2 \quad (\text{D'Appolonia, 1970})$$

dove:

E = modulo di Young [MPa];

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

s_1, s_2 = parametri funzione della tipologia dei terreni (in questo caso $s_1 = 0.756$, $s_2 = 18.75$).

I valori ottenuti sono mostrati nei grafici delle figure 7.1.2 ÷ 7.1.5.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	20	142

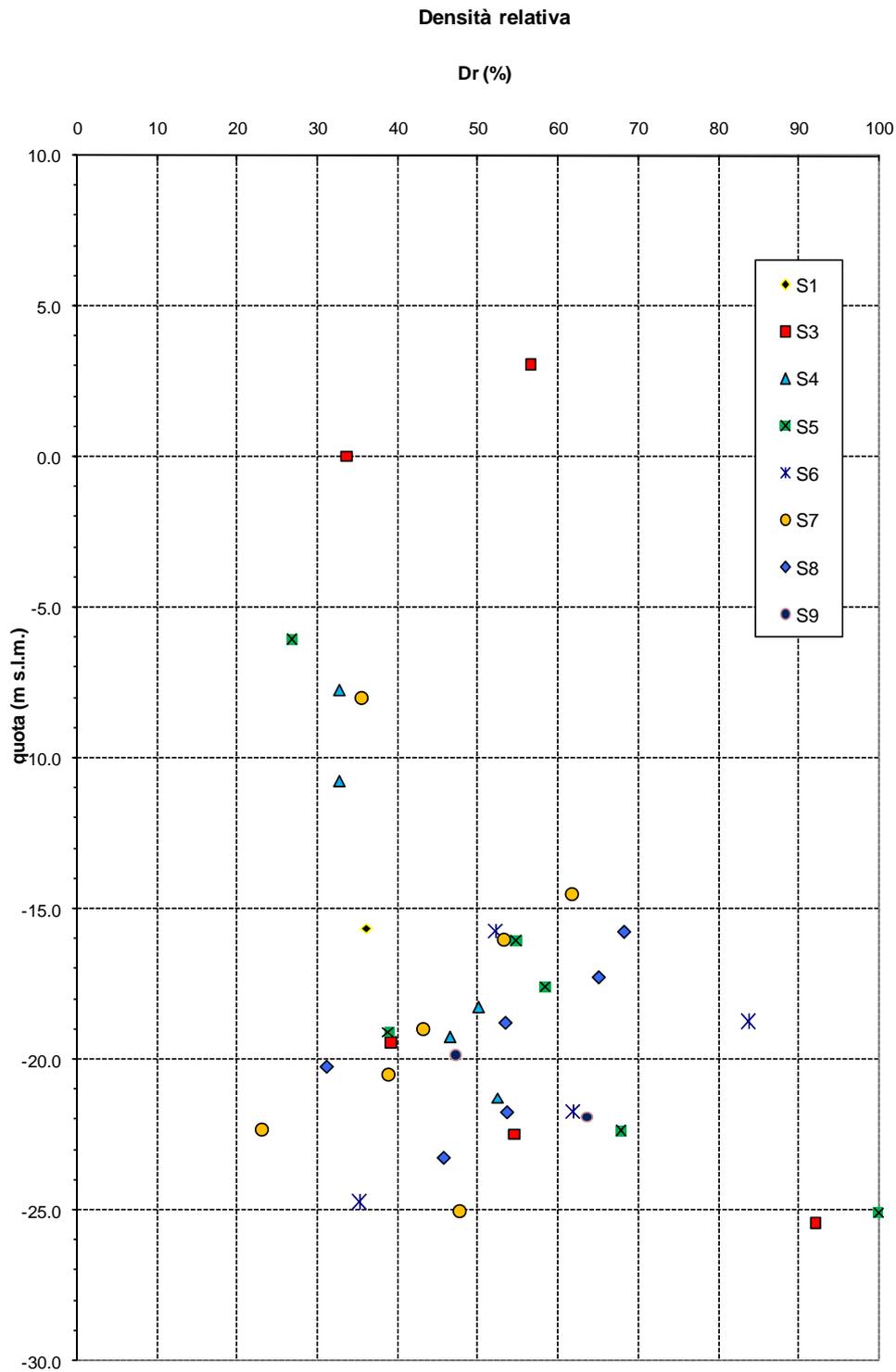


Figura 7.1.2 – Valori di densità relativa (Bazaraa e Peck)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	21	142

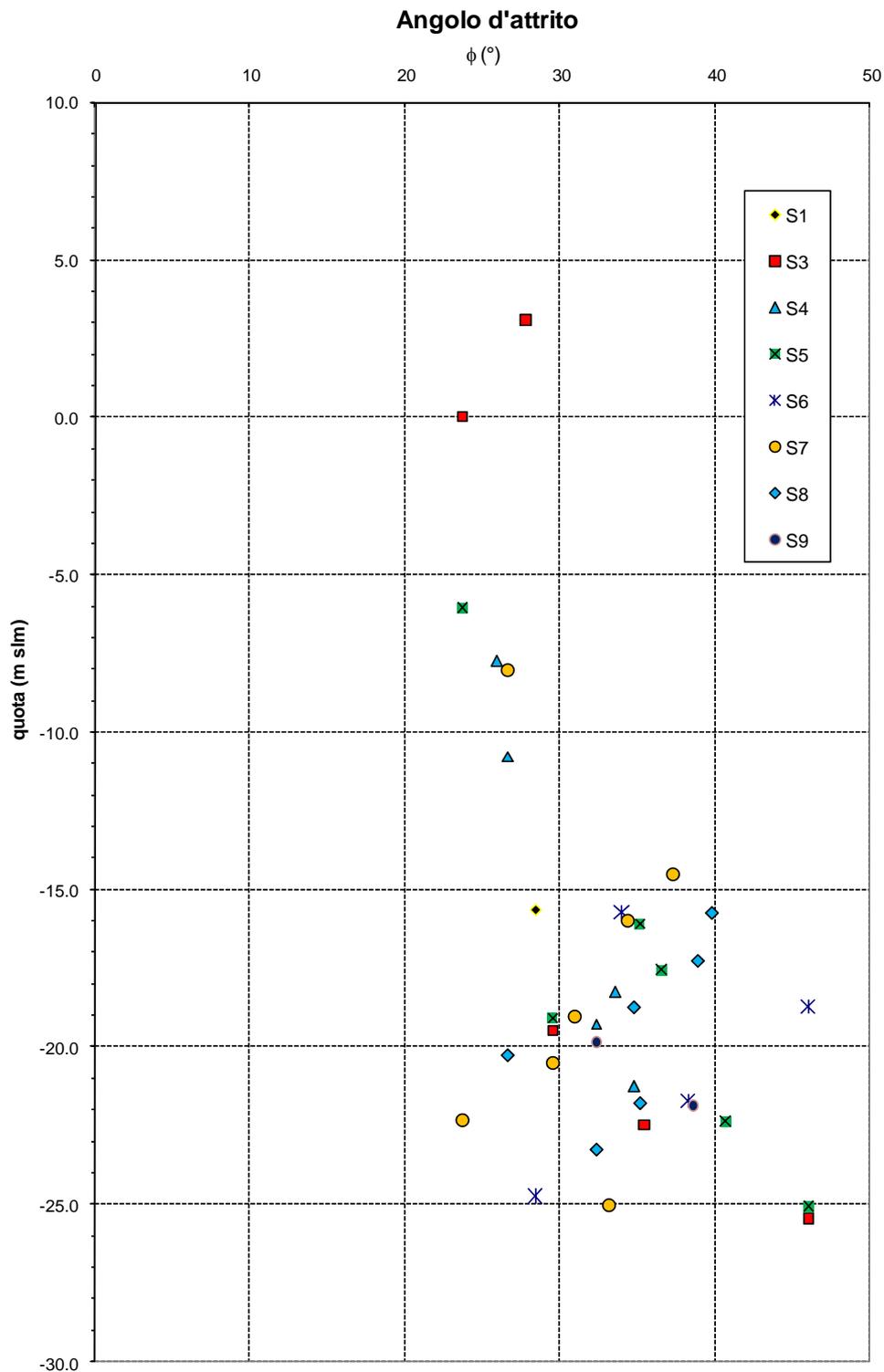


Figura 7.1.3 – Valori di angolo d'attrito

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	22	142

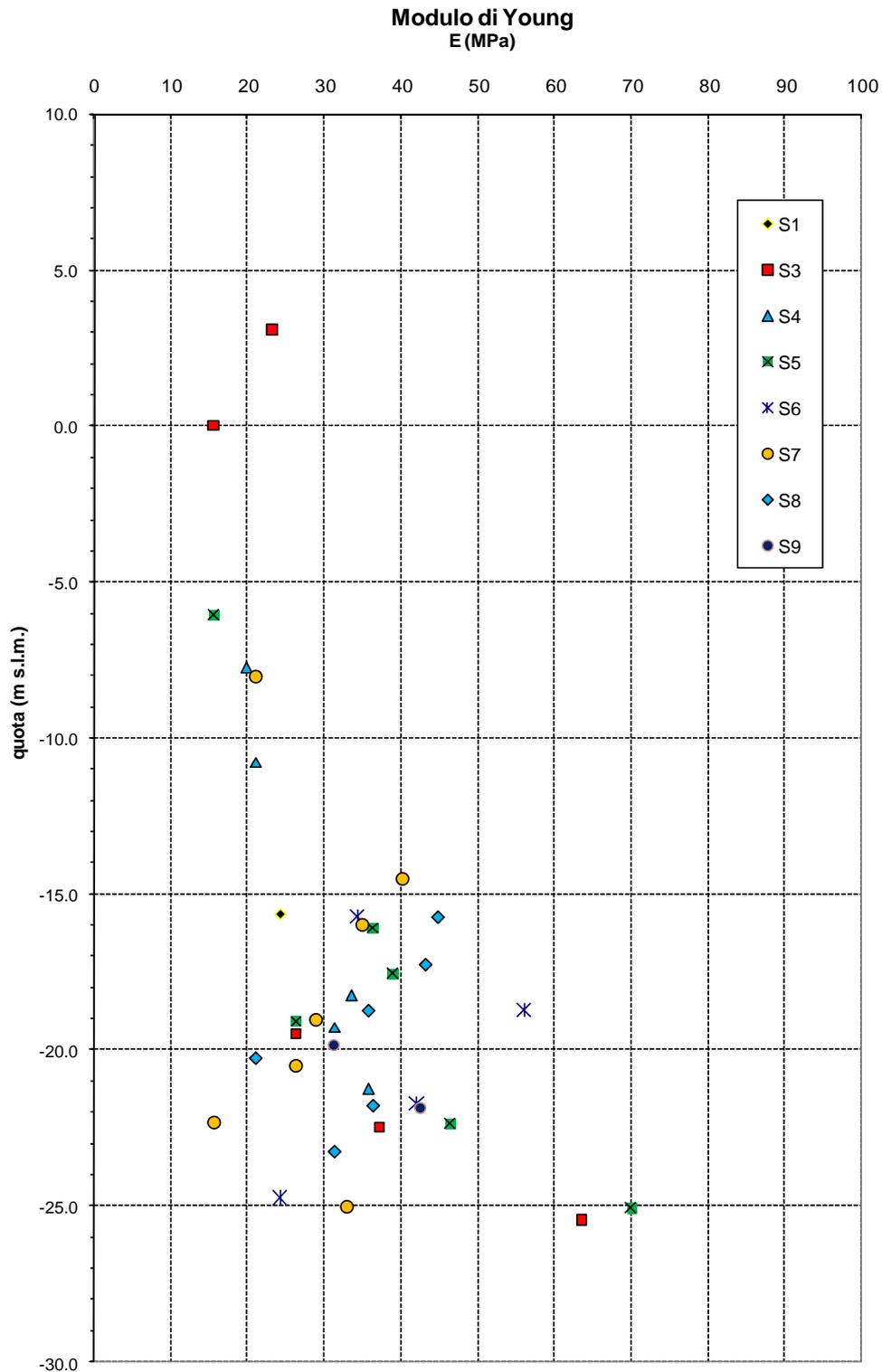


Figura 7.1.4 – Valori di modulo di Young (Denver)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	23	142

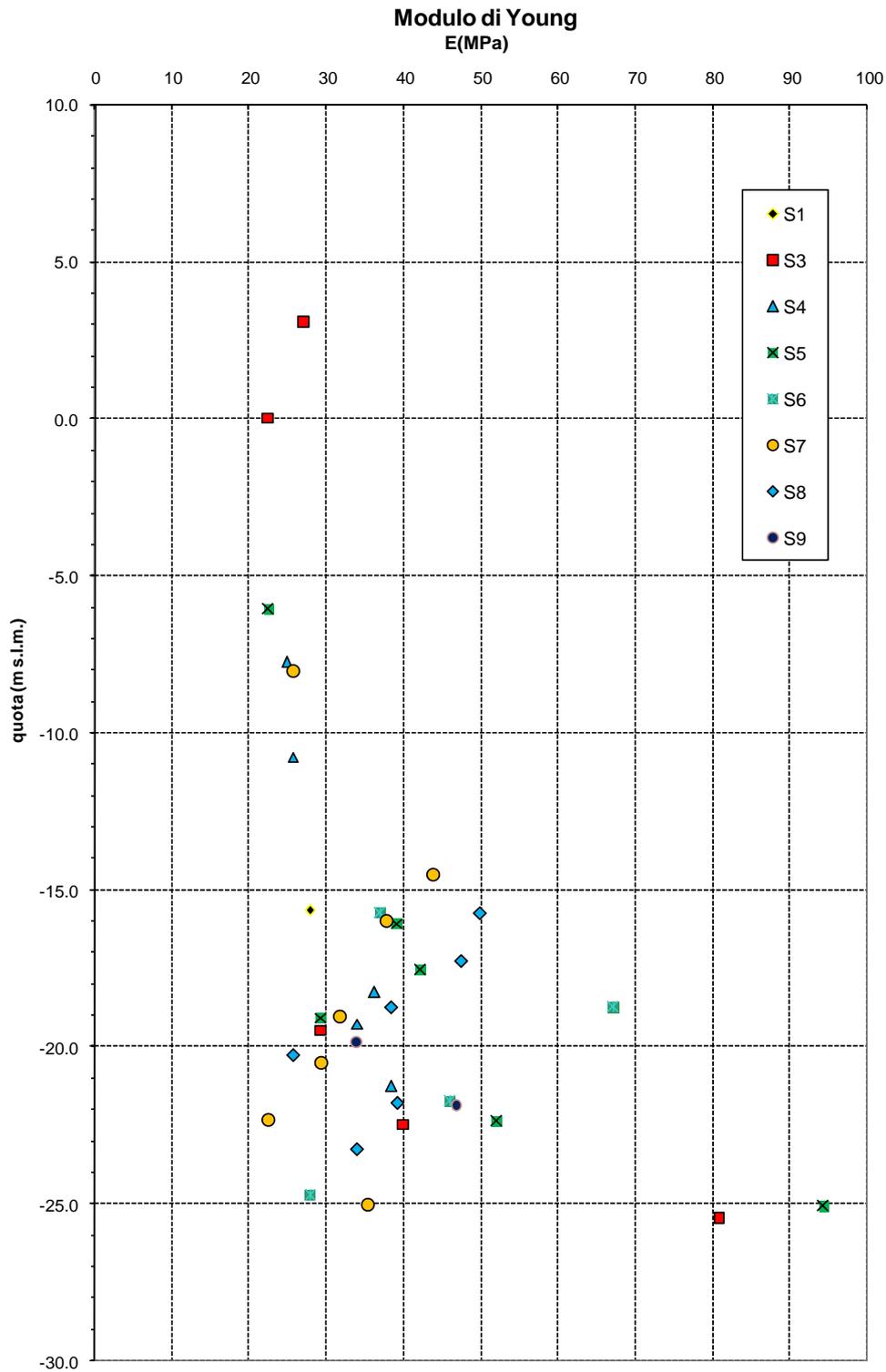


Figura 7.1.5 – Valori di modulo di Young (D'Appolonia)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	24	142



7.2 Prove pressiometriche

Le prove pressiometriche, di tipo Menard (PMT), sono state eseguite nel corso dei sondaggi, dopo aver predisposto opportunamente il foro mediante l'impiego di carotiere a piccolo diametro. Il metodo pressiometrico consiste nella misura delle deformazioni radiali indotte da una sonda cilindrica dilatabile, mediante incremento graduale della pressione.

Le prove hanno permesso la caratterizzazione dei livelli argilloso-limosi e limo-sabbiosi, a differenti profondità. La tabella 7.2.I seguente riassume i valori dei moduli pressiometrici ricavati come riportato nell'Allegato ID "Certificati prove pressiometriche Menard", citato per le 11 PMT eseguite.

A partire dai valori di modulo pressiometrico sono stati ricavati i valori del modulo di Young mediante l'espressione proposta da Leblanc (1982):

$$E_y = \frac{E_p}{\alpha}$$

Il valore del parametro α , detto fattore di Menard, è stato assunto pari a 2/3.

sondaggio	profondità [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]	E_p [MPa]	E_y [MPa]
S1	9.50	0.37	4.37	6.55
	32.50	-22.63	3.91	5.87
S4	20.50	-14.76	0.95	1.42
	34.00	-28.26	4.45	6.68
S5	18.90	-10.97	2.34	3.51
	40.50	-32.57	6.34	9.51
S6	37.00	-28.73	6.30	9.45
S7	20.50	-12.51	3.59	5.39
	32.00	-24.01	2.85	4.28
S8	13.00	-4.75	1.94	2.91
	35.50	-27.25	3.50	5.25

Tabella 7.2.I – Risultati delle prove pressiometriche.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	25	142

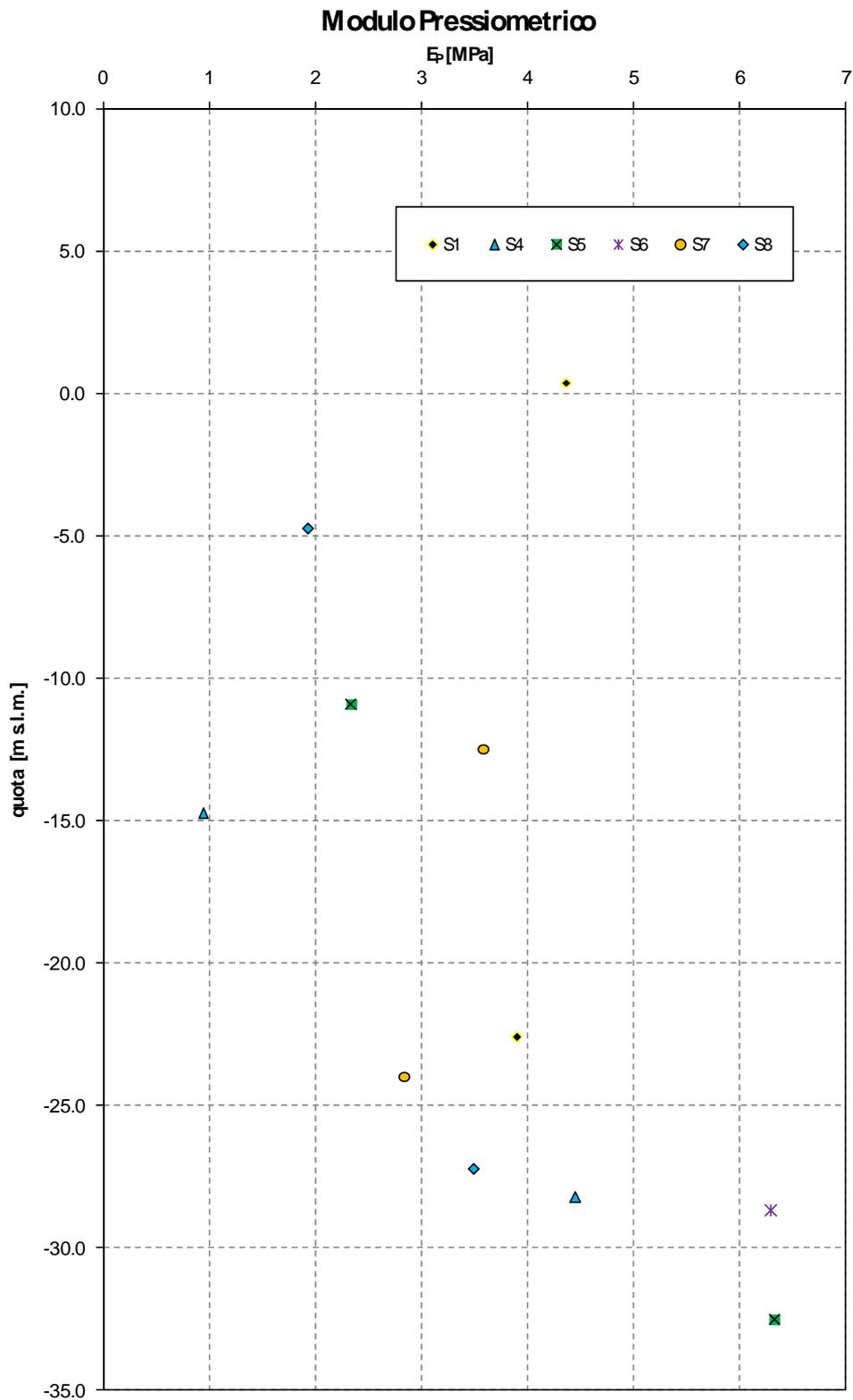


Figura 7.2.1 – Valori del modulo pressiometrico ottenuti da prove PMT

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	26	142

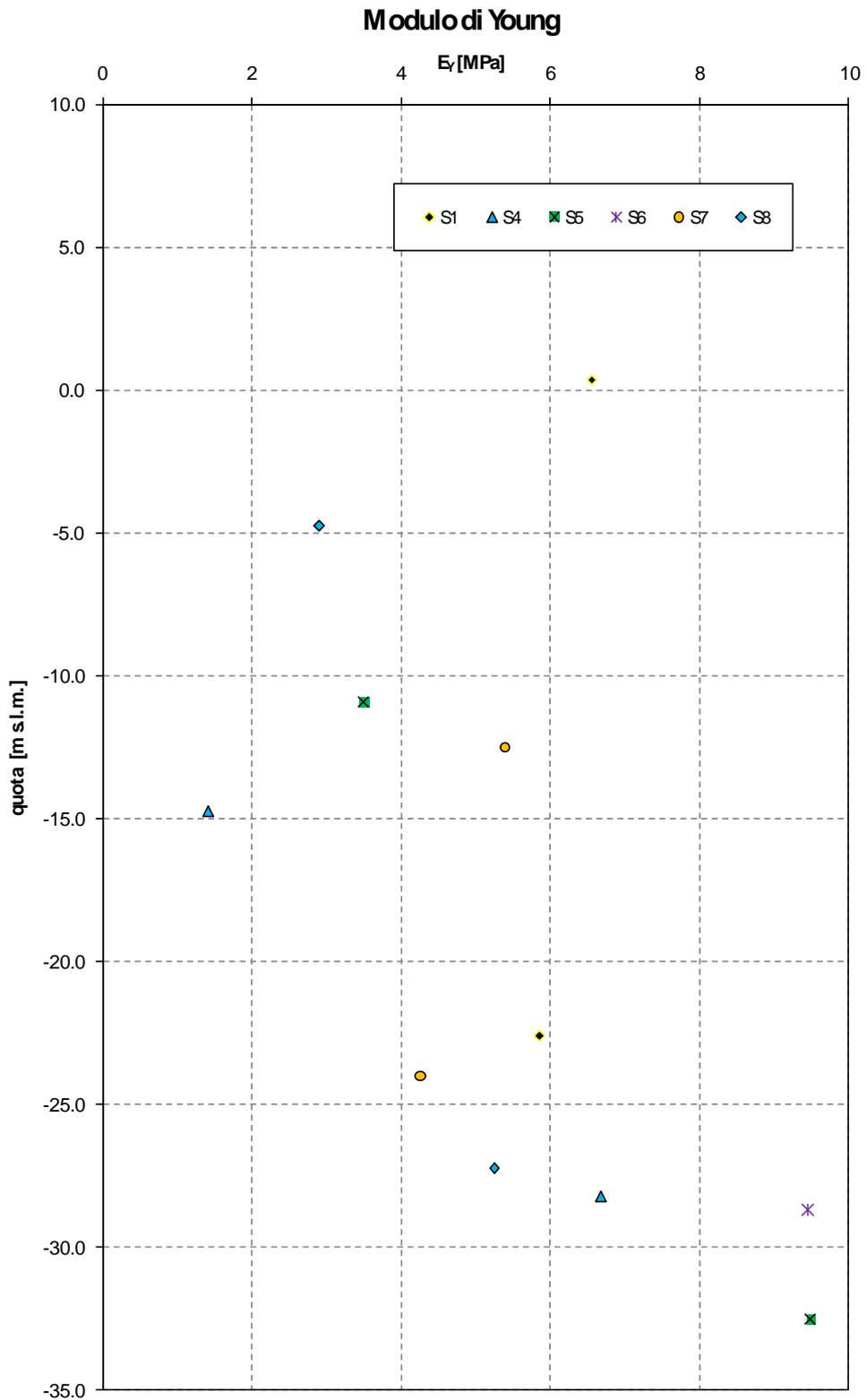


Figura 7.2.2 – Valori del modulo di Young ricavati dalle prove PMT

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	27	142



7.3 Prove di permeabilità di tipo Lefranc

Le prove di permeabilità sono state condotte in alcuni dei fori di sondaggio, allo scopo di determinare il valore del parametro k (conducibilità idraulica) dei livelli sabbioso – ghiaiosi e dei limi sabbiosi.

Le prove eseguite sono di tipo *a carico variabile*, ovvero è stata misurata la variazione del livello idraulico rispetto al tempo.

I risultati sono riassunti in tabella 7.3.I seguente.

Valori del coefficiente di permeabilità k dell'ordine di 10^{-5} m/s sono propri di materiali ghiaioso - sabbiosi o di sabbie fini, pulite; Valori più bassi, quali quelli ricavati dalle prove in S5, S6 e S9, sono tipici di limi sabbiosi e di sabbie limose.

sondaggio	profondità prova [m da p.c.]	quota [m s.l.m.]	k [m/s]
S4	24.0÷25.0	-18.26 ÷ -19.26	5.67 * 10 ⁻⁵
S5	30.2÷30.7	-10.33 ÷ -22.77	9.79 * 10 ⁻⁶
S6	48.00	-39.73	2.28 * 10 ⁻⁶
S7	23.5÷24.0	-15.50 ÷ -16.00	3.12 * 10 ⁻⁵
S9	24.5÷25.0	-19.38 ÷ -18.88	7.77 * 10 ⁻⁶

Tabella 7.3.I – Valori del coefficiente di permeabilità k .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	28	142



7.4 Prove CPTU

Le prove penetrometriche statiche sono consistite nell'infissione di una punta elettrica, di caratteristiche standard note, a velocità costante nel terreno.

Sono stati acquisiti dati relativi alla resistenza alla punta q_c , all'attrito laterale f_s ; inoltre, essendo lo strumento utilizzato un piezocono, è stata registrata anche la pressione neutra, u .

Le prove sono state spinte alla profondità massima di 30 m da p.c. (P10) oppure sono state arrestate in corrispondenza del tetto del livello ghiaioso.

In alcuni casi (P1, P2, P3 e P8) è stato necessario eseguire un preforo per superare lo strato di riporto superficiale. Esso è stato spinto a profondità variabile da 3.20 m a 6.20 m da p.c..

I grafici delle figure 7.4.1 e 7.4.2 mostrano i valori di q_c , f_s registrati.

Inoltre, in figura 7.4.3 si riporta il grafico dei valori Δu , eccesso di pressione interstiziale o pressione neutra rispetto alla pressione di competenza.

I valori di resistenza alla punta q_c sono risultati generalmente inferiori a 2 MPa, fino alla quota di circa -13.30 m s.l.m. (in P2); a partire da profondità comprese tra -16.0 m s.l.m. e -22.0 m s.l.m., si sono registrati valori di q_c ben più alti (fino a oltre 20 MPa) tipici di terreni granulari, sabbie e ghiaie. In corrispondenza di queste ultime le prove sono state arrestate, a rifiuto.

Valori di q_c elevati, non attribuibili a materiali fini, coesivi, sono stati registrati anche entro i primi 20 m di profondità, tra 4.50 m s.l.m. e 1.90 m s.l.m. in P8, attorno a -5.40 m s.l.m. in P2 e a circa -14.0 m s.l.m. in P4, P6 e P9.

Unica eccezione è rappresentata dalla prova P3, in cui dai valori di resistenza alla punta non risulta evidente l'attraversamento di materiali di natura diversa, coesiva e granulare.

I valori di attrito laterale f_s mostrano andamenti qualitativamente simili a quelli descritti per la resistenza di punta.

Anche i valori della sovrappressione neutra confermano le osservazioni sopra riportate: attorno alla quota di -13.0 ÷ -20 m s.l.m.; la sensibile riduzione dei valori di Δu indica, infatti, la presenza di materiali granulari, in grado di drenare velocemente l'acqua in eccesso, a differenza dei terreni argillosi superficiali che ne impediscono il drenaggio.

Anche con riferimento ai valori di pressione neutra, nella prova P3 non si evidenziano variabilità dei materiali da coesivi a granulari.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	29	142



Per contribuire alla identificazione dei materiali in sito, è stato calcolato il rapporto di friction (FR) definito come: $\frac{FR}{100} = \frac{f_s}{q_c}$. I valori sono riportati nel grafico di figura 7.4.4.

Valori di FR inferiori a 2 sono generalmente propri di materiali sabbiosi e sabbioso ghiaiosi; valori da 2 a 4 si ottengono per limi, limi argillosi; valori superiori a 4 sono invece attribuiti ad argille.

Infine, è stata anche considerata la classificazione proposta da Schmertmann (1978) di cui si riportano, a titolo di esempio, quanto ricavato per due prove, P1 e P3 (rispettivamente nelle figure 7.4.5 e 7.4.6).

Il piano individuato dai valori di FR (in ascissa) e di q_c in ordinata, è suddiviso in aree “omogenee” dal punto di vista della tipologia di materiale; la collocazione in questo piano dei punti (FR, q_c) fornisce un’indicazione sul tipo di materiale incontrato.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	30	142

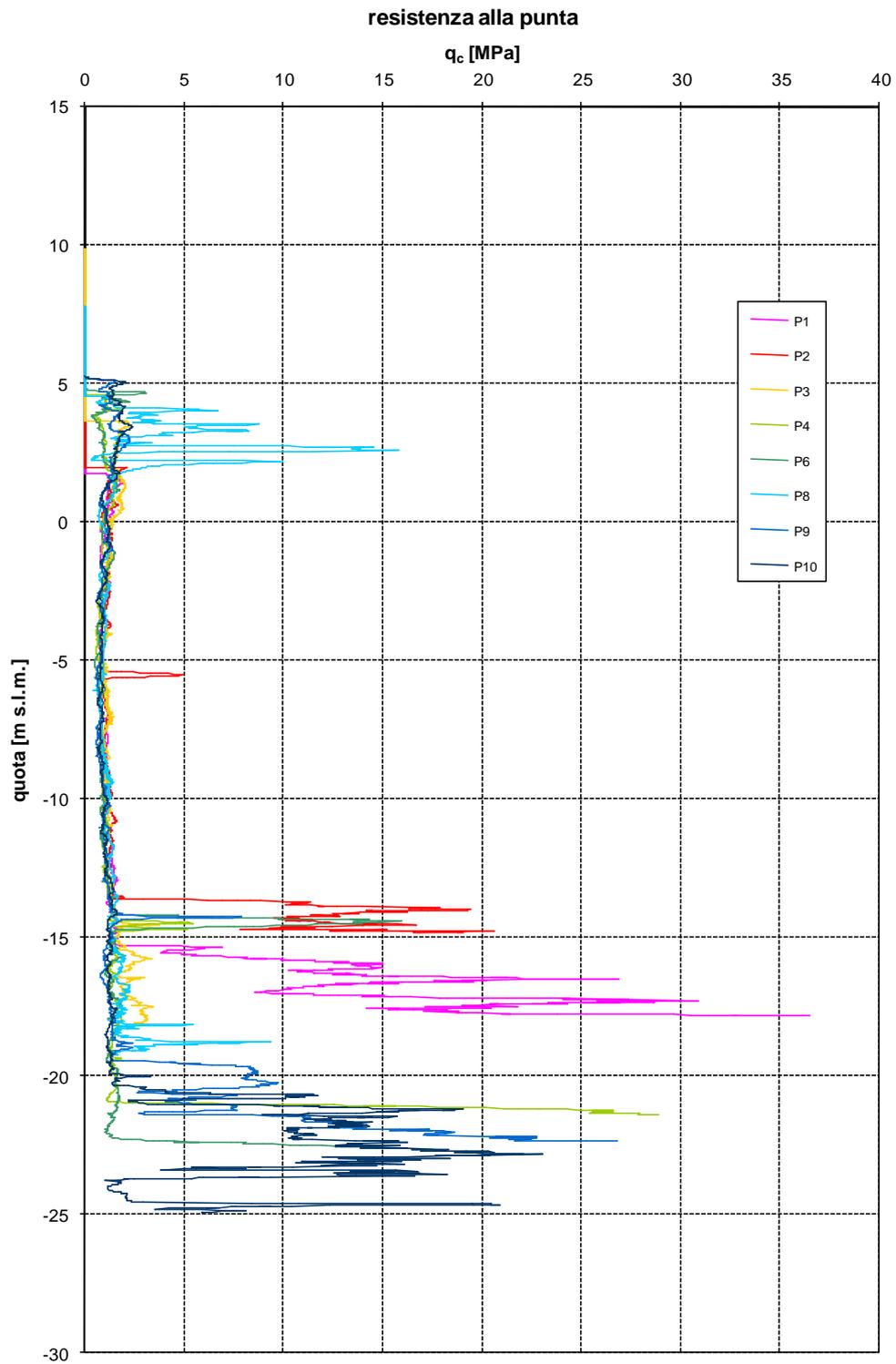


Figura 7.4.1 – Valori della resistenza alla punta q_c .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	31	142

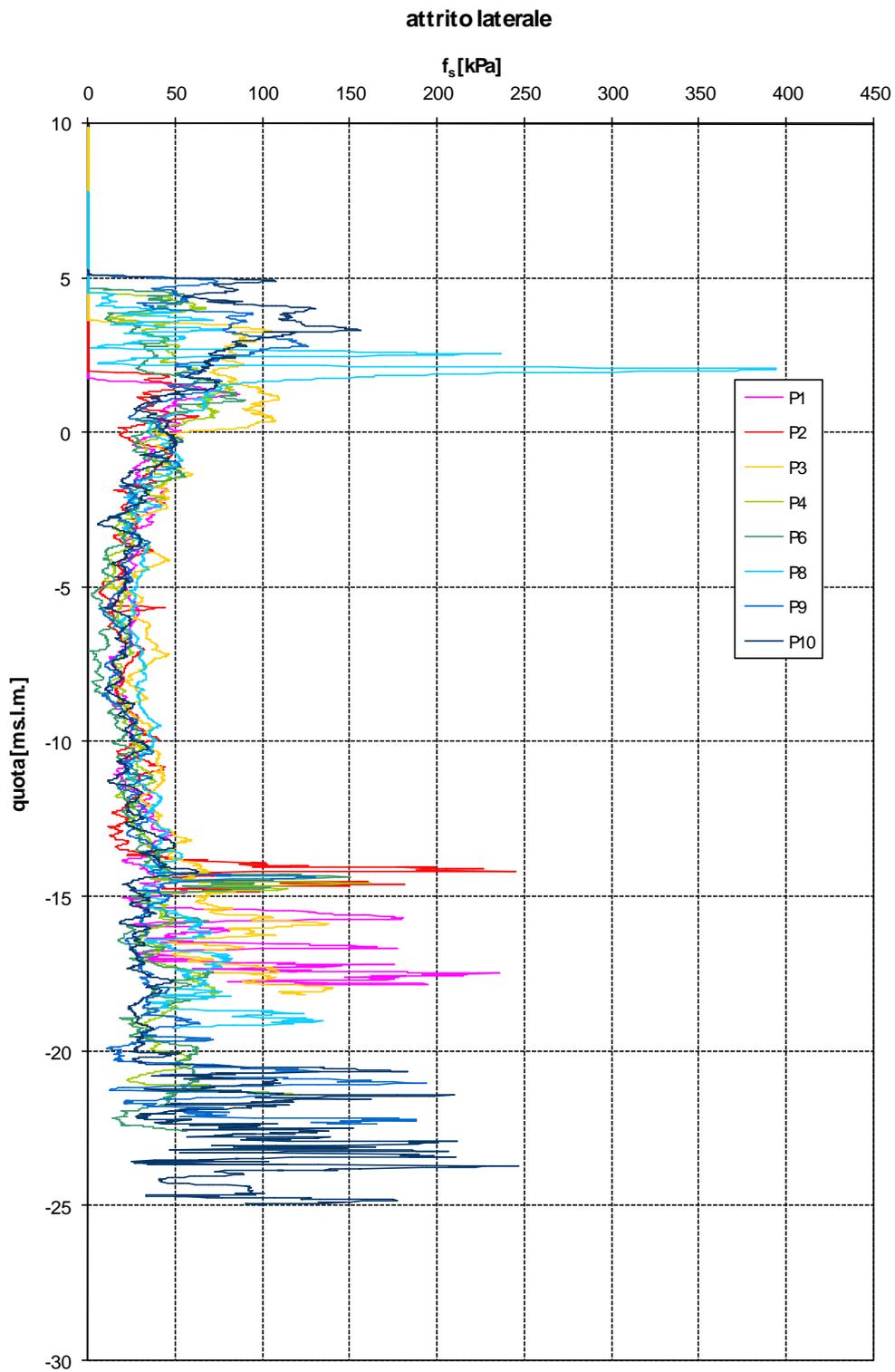


Figura 7.4.2 – Valori dell'attrito laterale f_s .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	32	142

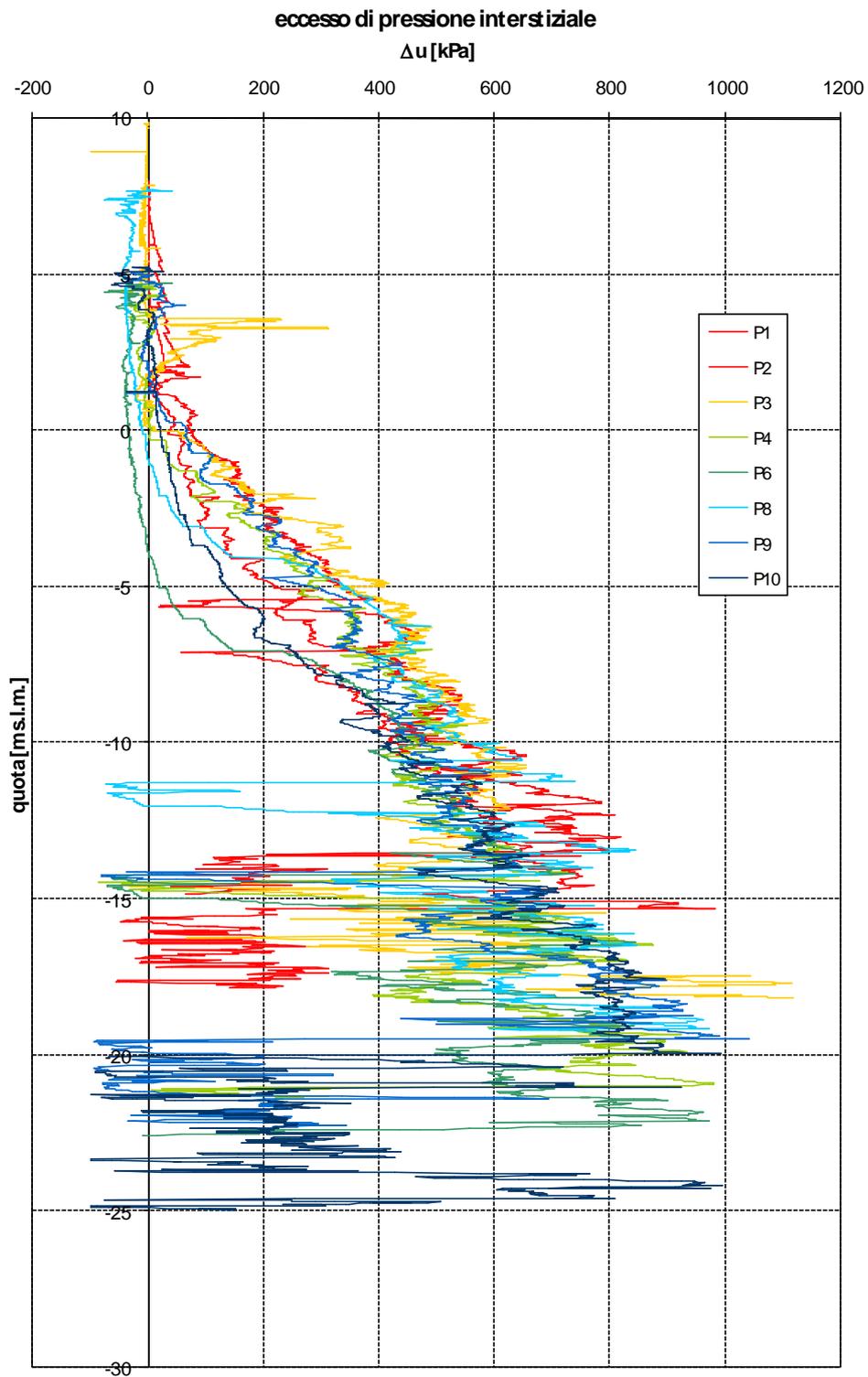


Figura 7.4.3 – Valori della sovrappressione neutra Δu .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	33	142

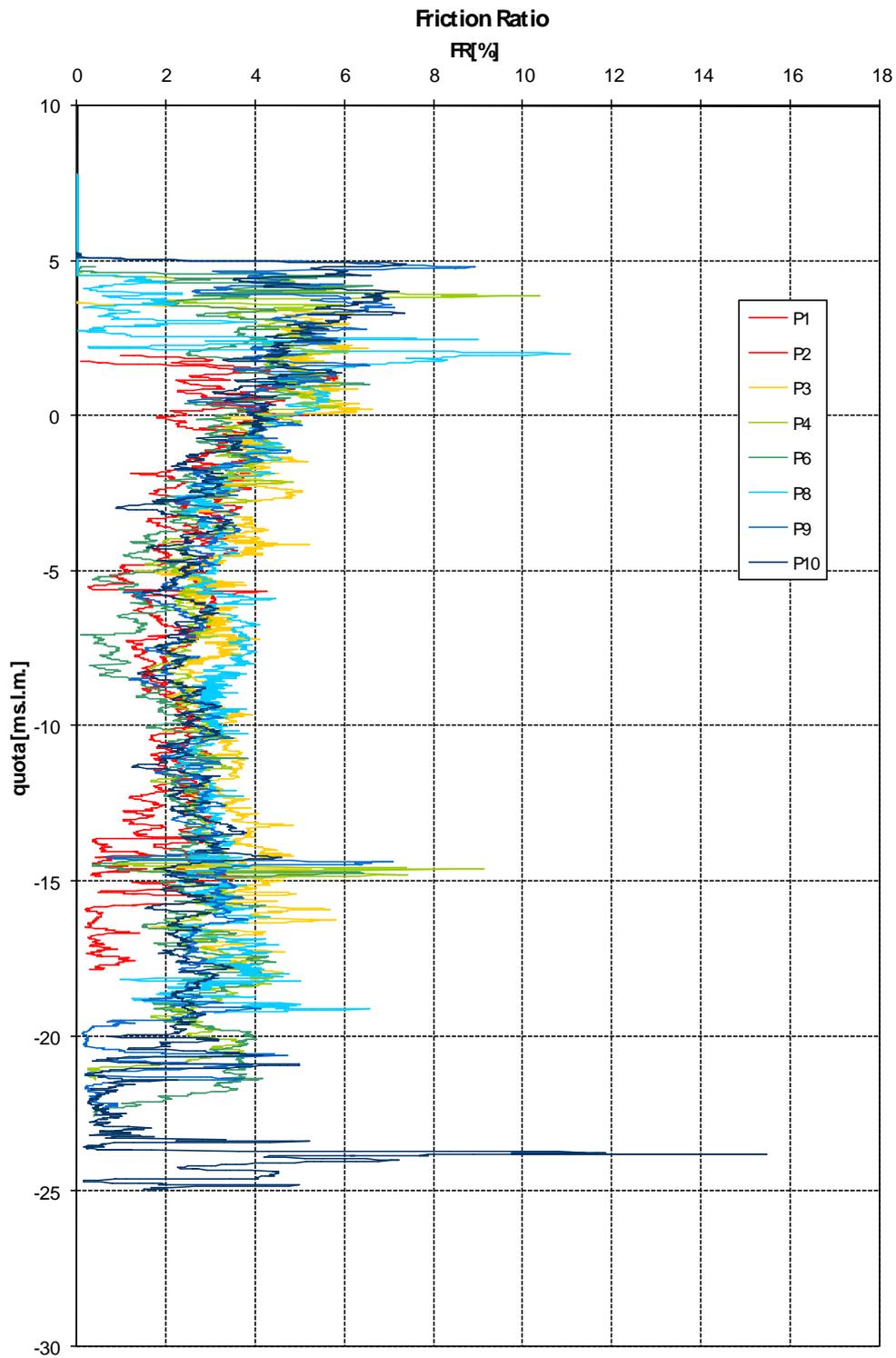


Figura 7.4.4 – Valori del rapporto di friction FR.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	34	142

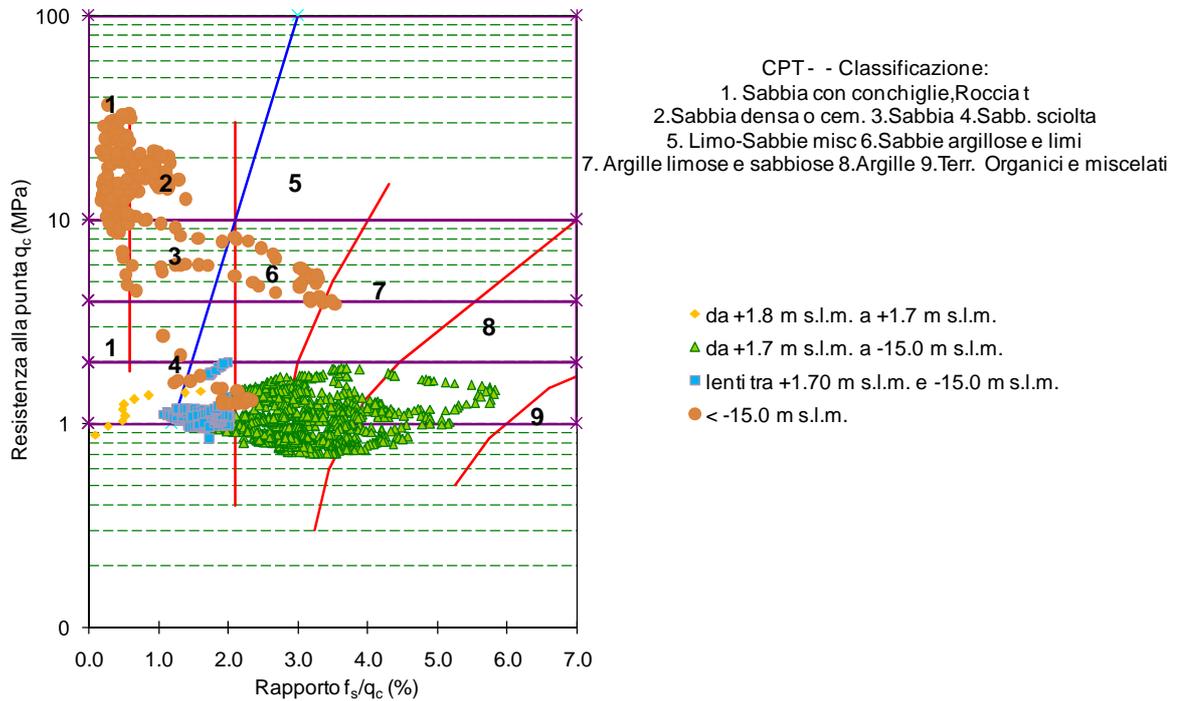


Figura 7.4.5 – Classificazione secondo Schmertmann – prova P1.

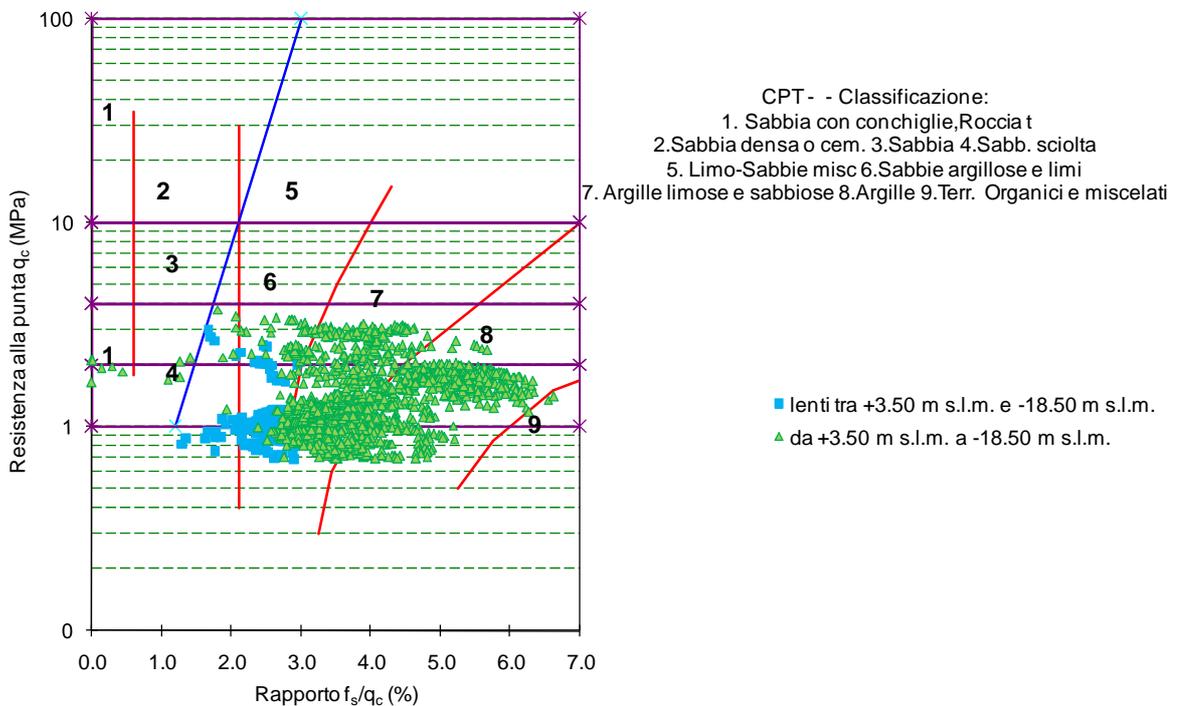


Figura 7.4.6 – Classificazione secondo Schmertmann – prova P3.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	35	142



Per caratterizzare i terreni granulari, mediante dati di prove CPTU, si sono adottate le seguenti correlazioni.

Densità relativa: i valori di D_r sono stati ricavati con la formula proposta da Jamiolkowski e Garizio; il grado di addensamento dei terreni in sito varia mediamente tra 25% e 70%.

$$D_r = \frac{1}{3.1} \ln \left(\frac{q_c}{175 \sqrt{\sigma'_v}} \right) \quad \text{Jamiolkowski e Garizio (1993)}$$

con:

D_r = densità relativa [%];

q_c = resistenza alla punta [kPa];

σ'_v = pressione verticale efficace [kPa];

Angolo d'attrito: è stata impiegata la correlazione seguente proposta da Robertson e Campanella (1986); i valori ottenuti, compresi tra 30° e 40°, risultano in buon accordo con quanto ricavato dai dati delle prove SPT.

$$\phi = \arctan \left(0.1 + 0.38 \text{Log} \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right) \right) \quad \text{avendo posto il limite superiore pari a } 46^\circ;$$

dove:

ϕ = angolo d'attrito [°];

q_c = resistenza alla punta [kPa];

σ'_v = pressione verticale efficace [kPa].

Modulo di Young: è stata impiegata la correlazione suggerita da Denver. I valori ottenuti risultano un poco inferiori rispetto a quelli calcolati sulla base delle prove SPT.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	36	142



$$E = 8 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{q_0}} \quad (\text{Denver, 1982})$$

dove:

E = modulo di Young [MPa];

q_c = resistenza alla punta [MPa];

q_0 = resistenza di riferimento [1MPa].

I valori ottenuti sono mostrati nei grafici delle figure 7.4.7 ÷ 7.4.9.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	37	142

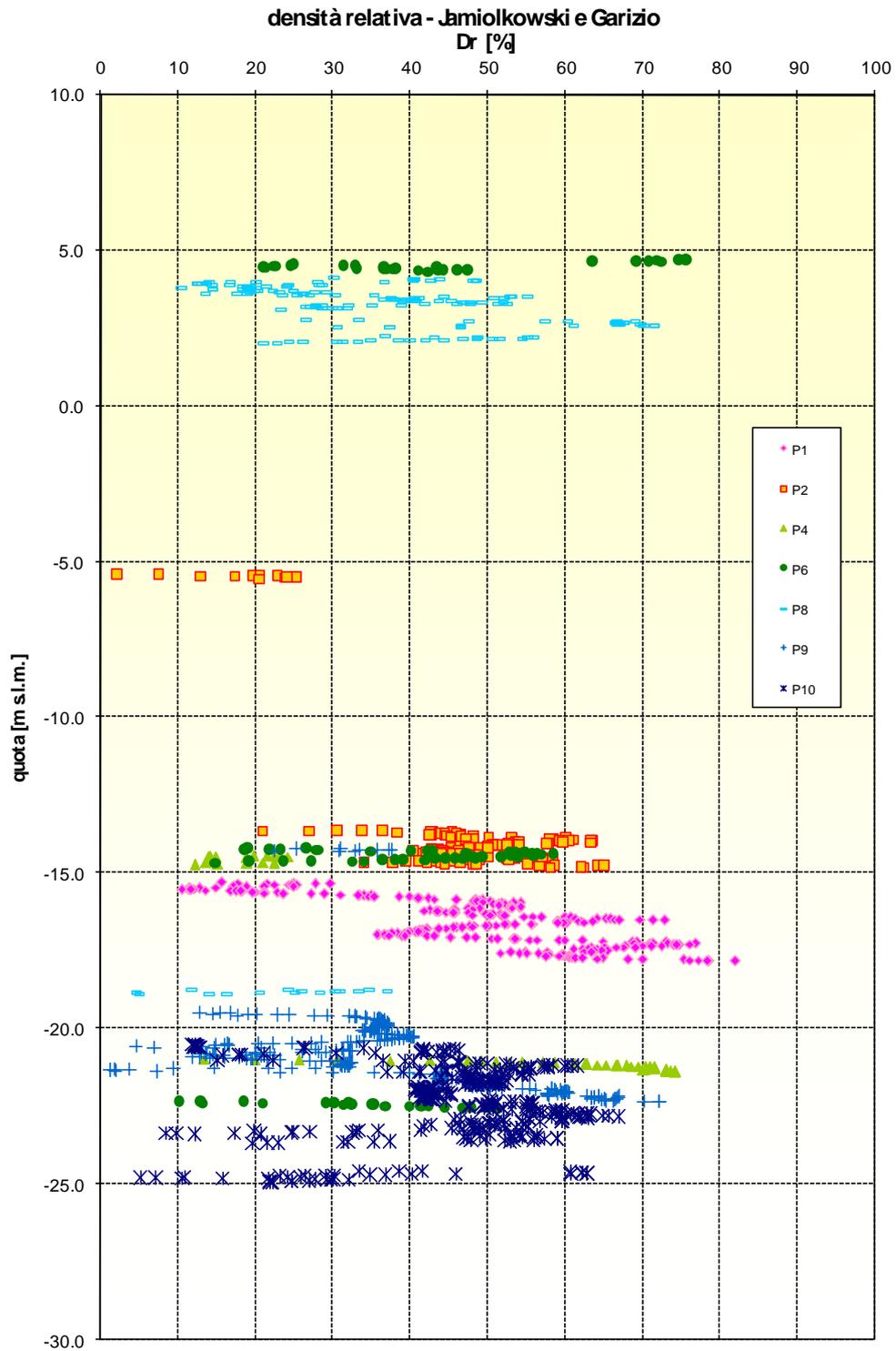


Figura 7.4.7 – Valori di densità relativa.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	38	142

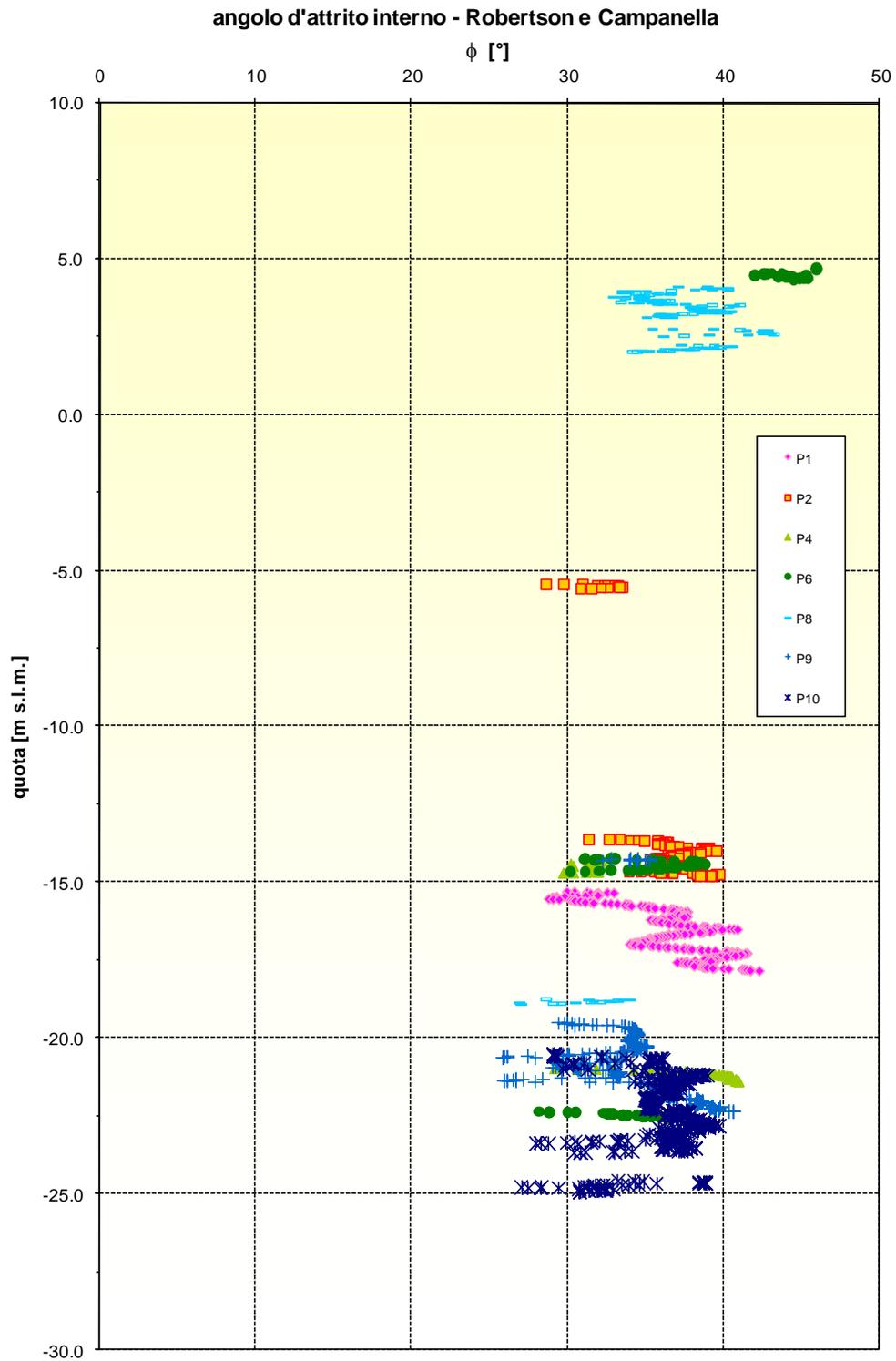


Figura 7.4.8 – Valori di angolo d'attrito.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	39	142

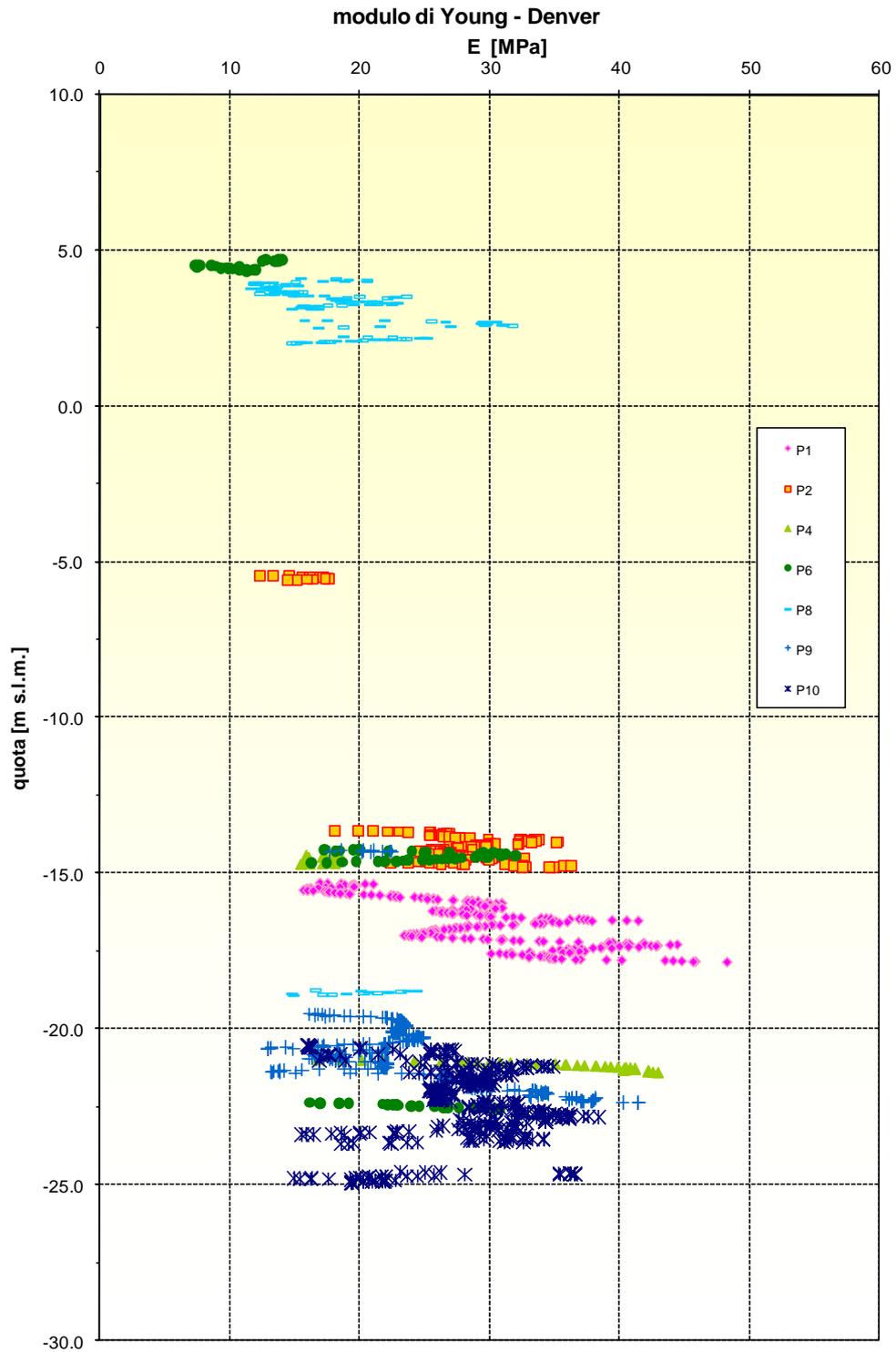


Figura 7.4.9 – Valori di modulo di Young.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	40	142



Per caratterizzare i livelli coesivi sono state impiegate le correlazioni seguenti.

Coesione non drenata: s è adottata la relazione fornita da Baligh e Campanella:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k}$$

Dove:

- c_u = coesione non drenata [kPa]
- q_c = resistenza alla punta [kPa];
- σ_v = pressione verticale totale [kPa];
- N_k = fattore empirico assunto pari a 18.

Modulo edometrico: è stata impiegata l'espressione sottostante, suggerita da Mayne; i valori ottenuti sono compresi tra 5 MPa e 15 MPa. Si osserva un andamento decrescente di M da p.c. fino alla quota di circa -5 m s.l.m.; i valori poi riprendono a crescere fino alla massima profondità investigata.

$$M = 8.25 \cdot (q_T - \sigma_v) \quad \text{Mayne (1990)}$$

Essendo:

- M = modulo edometrico [MPa];
- q_T = valore di resistenza alla punta corretto $q_T = q_c + (1-a) \cdot u$
- q_c = resistenza alla punta [MPa];
- a = rapporto tra le aree interna ed esterna della punta $A_i/A_e = 0.8$;
- σ_v = pressione verticale totale [MPa].

Grado di sovraconsolidazione: è stato ricavato mediante la formula fornita da Mayne; i valori di OCR risultano quasi sempre ≥ 1 . In particolare

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	41	142



nei primi metri da p.c. il materiale risulta fortemente sovraconsolidato. Oltre 10 m di profondità invece, i valori di OCR oscillano attorno a 1 (da 0.8 a 1.4).

$$\text{OCR} = 0.32 \cdot \frac{q_T - \sigma_v}{\sigma'_v}$$

con:

OCR = grado di sovraconsolidazione;

q_T = valore di resistenza alla punta corretto $q_T = q_c + (1-a) \cdot u$

q_c = resistenza alla punta [MPa];

a = rapporto tra le aree interna ed esterna della punta $A_i/A_e = 0.58$;

σ_v = pressione verticale totale [MPa];

σ'_v = pressione verticale efficace [MPa].

Nelle figure 7.4.10 ÷ 7.4.12 si riportano i valori delle grandezze c_u , M ed OCR calcolati.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	42	142

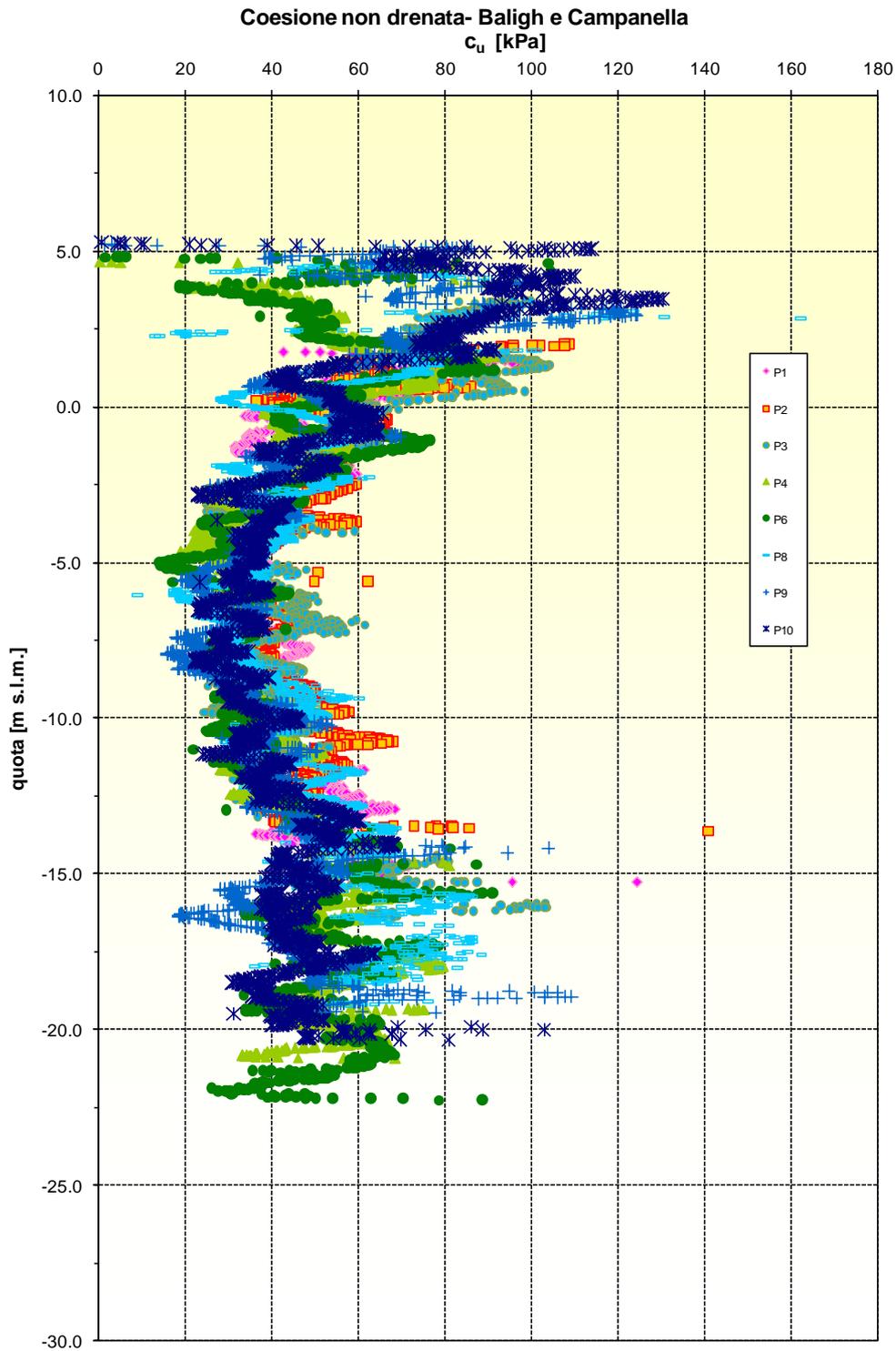


Figura 7.4.10 – Valori di coesione non drenata.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	43	142

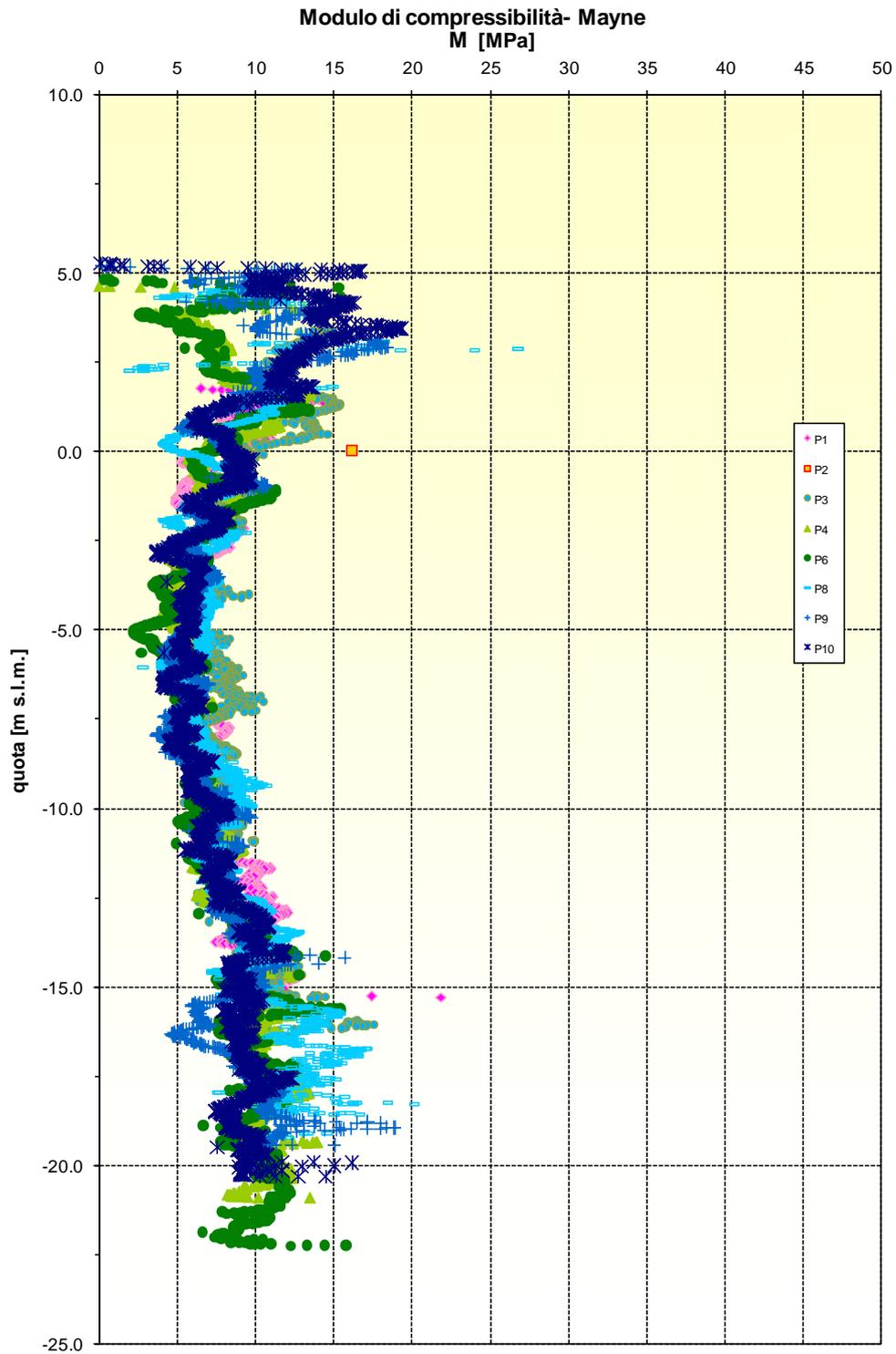


Figura 7.4.11 – Valori di modulo di compressibilità.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	44	142

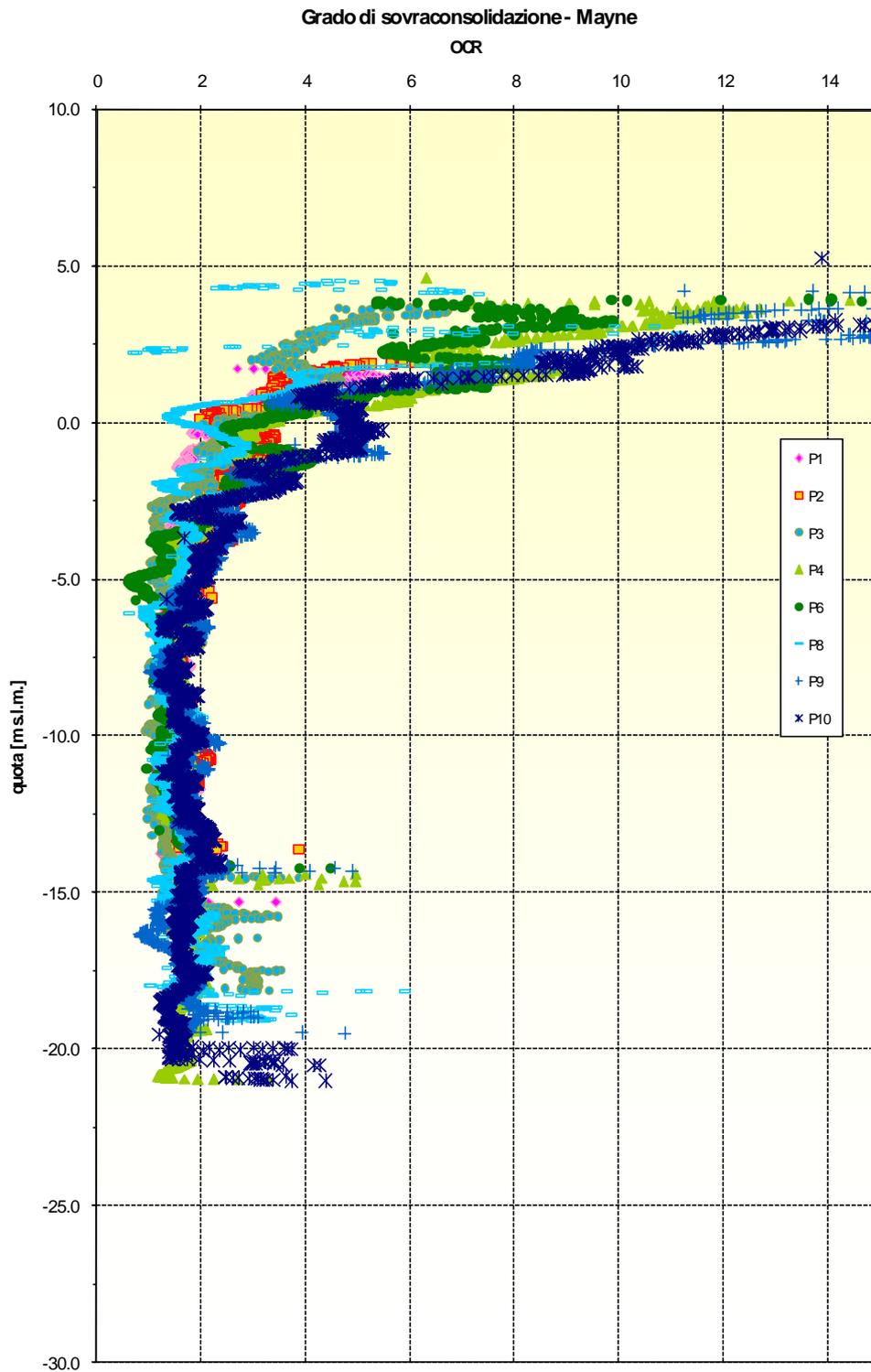


Figura 7.4.12 – Valori del grado si sovraconsolidazione OCR.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	45	142



7.5 Prove di dissipazione

Nel corso di due prove penetrometriche, precisamente P1 e P8, sono state eseguite altrettante prove di dissipazione, alle profondità di 14.80 m da p.c. (-7.02 m s.l.m., in P1) e di 10.0 m da p.c. (-2.20 m s.l.m. in P8), all'interno degli strati argilloso-limosi più superficiali.

Da esse è possibile ricavare i valori dei coefficienti di consolidazione, orizzontale c_h e verticale c_v .

Il coefficiente di consolidazione orizzontale è stato calcolato come:

$$c_h = \frac{r^2}{T \cdot t_x}$$

dove:

r = distanza dal punto in cui è stata effettuata la prova (m);

T = fattore di tempo (adimensionale);

t_x = tempo nel quale si è raggiunta una certa percentuale della consolidazione (min.).

Si è considerato un valore di $\frac{k_h}{k_v} = 3$, essendo k_h = coefficiente di permeabilità orizzontale e

k_v = coefficiente di permeabilità verticale;

c_v è stato calcolato come:

$$c_v = \frac{c_h}{k_h/k_v}$$

Solitamente si fa riferimento al tempo t_{50} , al quale cioè è avvenuto il 50% della consolidazione; da esso si ricava il valore del coefficiente di consolidazione c_{v50} , assunto come valore medio del comportamento del terreno.

Per quanto riguarda la prova 1 eseguita nel corso della penetrometrica P1, essa risulta incompleta o comunque i dati registrati non permettono di calcolare il valore del coefficiente di

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	46	142



consolidazione c_{v50} ; l'andamento della curva di dissipazione, inoltre, sembra essere piuttosto anomalo e pertanto al prova non è stata considerata.

Dalla prova 2, eseguita durante la penetrometrica P8, sono stati ottenuti i seguenti valori:

$c_h = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ alla profondità di 10 m da p.c. (-2.20 m s.l.m.), nel livello B;

$c_v = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$ alla profondità di 10 m da p.c. (-2.20 m s.l.m.), nel livello B.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	47	142



7.6 Misure di penetrometro tascabile e scissometro

Sugli spezzoni di carota costituiti da materiale principalmente coesivo, sono state eseguite prove speditive per una valutazione di massima della coesione non drenata, c_u , mediante pocket penetrometro e scissometro (Vane Test).

Essa risulta pari a:

$c_u = n$ per il Vane test;

$c_u = \frac{n}{2}$ per il pocket penetrometro;

dove:

n = valore letto durante la prova.

Le tabelle 7.6.I ÷ 7.6.VIII e i grafici di figura 7.6.1 e 7.6.2 seguenti riportano le misure registrate. I valori di coesione non drenata sono sostanzialmente in accordo con i risultati ottenuti dall'interpretazione delle prove CPTU (paragrafo 7.4).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	48	142



Sondaggio S1											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _v	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _v
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
7.30	2.57	2.00	100	1.00	100	35.20	-25.33	1.40	70	0.70	70
7.50	2.37	1.70	85	0.90	90	35.60	-25.73	1.40	70	0.70	70
10.00	-0.13	0.50	25	0.30	30	36.00	-26.13	1.40	70	0.70	70
10.20	-0.33	0.50	25	0.28	28	37.00	-27.13	1.50	75	0.80	80
10.40	-0.53	0.80	40	0.50	50	37.40	-27.53	1.60	80	0.85	85
13.20	-3.33	1.00	50	0.40	40	37.80	-27.93	1.80	90	0.92	92
13.50	-3.63	2.00	100			38.20	-28.33	1.50	75	0.50	50
13.80	-3.93	2.60	130			38.60	-28.73	1.50	75	0.40	40
14.10	-4.23	3.20	160			39.00	-29.13	1.80	90	0.70	70
14.40	-4.53	2.60	130			40.00	-30.13	1.60	80	0.90	90
14.70	-4.83	2.60	130			41.00	-31.13	2.00	100	1.00	100
15.00	-5.13	3.00	150			41.30	-31.43	2.00	100	0.50	50
15.30	-5.43	3.60	180			41.60	-31.73	1.80	90	0.40	40
15.60	-5.73	4.00	200			41.90	-32.03	1.60	80	0.50	50
15.90	-6.03	4.50	225			42.20	-32.33	1.60	80	0.40	40
17.00	-7.13	4.00	200			42.50	-32.63	1.80	90	0.80	80
17.40	-7.53	3.60	180			42.80	-32.93	1.80	90	0.80	80
17.80	-7.93	3.20	160			43.10	-33.23	1.60	80	0.50	50
18.20	-8.33	3.00	150	1.50	150	43.40	-33.53	1.50	75	0.50	50
18.60	-8.73	3.20	160	1.60	160	43.70	-33.83	1.20	60	0.40	40
19.00	-9.13	3.60	180	1.80	180	44.00	-34.13	1.40	70	0.50	50
20.50	-10.63	3.00	150	1.40	140	44.30	-34.43	1.20	60	0.60	60
20.90	-11.03	2.20	110	1.10	110	44.60	-34.73	1.40	70	0.70	70
21.30	-11.43	2.00	100	0.90	90	44.90	-35.03	1.60	80	0.85	85
21.70	-11.83	2.00	100	0.90	90	45.20	-35.33	1.60	80	0.80	80
22.10	-12.23	2.00	100	1.00	100	45.50	-35.63	1.20	60	0.50	50
23.20	-13.33	2.10	105	1.10	110	46.50	-36.63	1.60	80	0.80	80
23.60	-13.73	1.80	90	0.90	90	46.90	-37.03	1.40	70	0.72	72
24.00	-14.13	1.70	85	0.80	80	47.30	-37.43	1.40	70	0.74	74
24.40	-14.53	1.00	50	0.50	50	47.70	-37.83	1.50	75	0.80	80
24.80	-14.93	1.00	50	0.50	50	49.00	-39.13	1.60	80	0.80	80
25.20	-15.33	1.10	55	0.56	56	49.30	-39.43	1.60	80	0.84	84
26.00	-16.13	1.00	50	0.50	50	49.60	-39.73	1.60	80	0.80	80
26.40	-16.53	1.20	60	0.60	60	49.90	-40.03	1.50	75	0.70	70
26.80	-16.93	1.40	70	0.70	70	50.20	-40.33	1.70	85	0.85	85
29.50	-19.63	2.00	100	0.90	90	51.00	-41.13	1.60	80	0.76	76
29.90	-20.03	2.00	100	0.90	90	51.40	-41.53	1.60	80	0.80	80
30.30	-20.43	2.10	105	0.80	80	51.80	-41.93	1.80	90	0.90	90
30.70	-20.83	2.10	105	0.80	80	52.20	-42.33	1.80	90	0.90	90
31.10	-21.23	4.00	200			53.20	-43.33	1.60	80	0.80	80
31.50	-21.63	4.00	200			53.50	-43.63	1.60	80	0.66	66
33.60	-23.73	1.60	80	0.80	80	54.00	-44.13	1.80	90	0.90	90
34.00	-24.13	1.60	80	0.80	80	57.80	-47.93	1.70	85	0.90	90
34.40	-24.53	1.80	90	0.90	90	58.20	-48.33	2.00	100	1.10	110
34.80	-24.93	1.60	80	0.80	80	59.80	-49.93	1.50	75	0.80	80

Tabella 7.6.I – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S1

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	49	142



Sondaggio S3											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
5.00	2.55	1.60	80	0.80	80	34.40	-26.85	0.90	45	0.50	50
5.30	2.25	2.00	100	1.00	100	34.80	-27.25	0.90	45	0.60	60
5.60	1.95	2.20	110	1.10	110	35.20	-27.65	0.90	45	0.60	60
6.50	1.05	1.40	70	0.80	80	35.60	-28.05	1.20	60	0.80	80
6.80	0.75	1.60	80	0.90	90	36.00	-28.45	1.00	50	0.50	50
7.20	0.35	1.60	80	0.90	90	36.40	-28.85	0.90	45	0.50	50
8.10	-0.55	1.00	50	0.70	70	36.80	-29.25	1.00	50	0.60	60
8.40	-0.85	1.20	60	0.74	74	37.20	-29.65	0.90	45	0.50	50
8.70	-1.15	1.20	60	0.80	80	43.00	-35.45	0.90	45	0.50	50
9.60	-2.05	1.10	55	0.70	70	43.30	-35.75	0.80	40	0.30	30
10.00	-2.45	1.00	50	0.70	70	44.30	-36.75	0.80	40	0.40	40
10.40	-2.85	1.00	50	0.70	70	44.70	-37.15	0.80	40	0.40	40
10.80	-3.25	0.90	45	0.60	60	45.10	-37.55	0.90	45	0.45	45
11.20	-3.65	0.90	45	0.60	60	45.50	-37.95	1.00	50	0.40	40
11.60	-4.05	0.90	45	0.60	60	45.90	-38.35	0.90	45	0.40	40
12.00	-4.45	0.90	45	0.50	50	46.30	-38.75	1.00	50	0.50	50
12.80	-5.25	0.80	40	0.50	50	46.70	-39.15	1.10	55	0.60	60
13.20	-5.65	0.80	40	0.50	50	47.10	-39.55	1.20	60	0.70	70
13.60	-6.05	0.70	35	0.40	40	47.50	-39.95	1.60	80	0.50	50
14.00	-6.45	0.70	35	0.30	30	47.90	-40.35	1.80	90	0.40	40
14.40	-6.85	0.70	35	0.30	30	48.30	-40.75	1.60	80	0.40	40
16.50	-8.95	0.60	30	0.30	30	49.50	-41.95	1.50	75	0.50	50
16.90	-9.35	0.60	30	0.30	30	49.90	-42.35	1.60	80		
17.30	-9.75	0.90	45	0.50	50	50.30	-42.75	1.50	75		
17.70	-10.15	0.80	40	0.40	40	50.70	-43.15	1.60	80		
18.10	-10.55	0.80	40	0.40	40	51.10	-43.55	1.60	80		
18.50	-10.95	0.70	35	0.30	30	51.50	-43.95	1.40	70	0.70	70
18.90	-11.35	0.60	30	0.30	30	51.90	-44.35	1.50	75	0.75	75
19.30	-11.75	0.60	30	0.30	30	52.30	-44.75	1.50	75		
19.70	-12.15	1.00	50	0.50	50	52.70	-45.15	1.60	80		
20.10	-12.55	1.00	50	0.50	50	53.10	-45.55	1.40	70	0.70	70
21.00	-13.45	1.40	70	0.70	70	53.50	-45.95	1.40	70	0.70	70
21.30	-13.75	1.40	70	0.70	70	53.90	-46.35	1.50	75	0.76	76
21.60	-14.05	1.30	65	0.70	70	54.90	-47.35	1.40	70	0.70	70
21.90	-14.35	1.20	60	0.60	60	55.20	-47.65	1.40	70	0.70	70
22.20	-14.65	1.40	70	0.70	70	55.50	-47.95	1.50	75	0.76	76
22.50	-14.95	1.20	60	0.60	60	55.80	-48.25	1.40	70	0.70	70
23.30	-15.75	1.40	70	0.70	70	56.10	-48.55	1.40	70	0.72	72
23.70	-16.15	1.20	60	0.60	60	56.40	-48.85	1.40	70	0.68	68
24.10	-16.55	1.00	50	0.50	50	56.70	-49.15	1.40	70	0.70	70
24.50	-16.95	1.00	50	0.50	50	57.00	-49.45	1.50	75	0.74	74
24.90	-17.35	1.00	50	0.50	50	57.30	-49.75	1.40	70	0.70	70
25.30	-17.75	1.00	50	0.50	50	58.00	-50.45	1.20	60	0.60	60
25.70	-18.15	0.90	45	0.30	30	58.50	-50.95	1.50	75	0.80	80
28.90	-21.35	0.90	45	0.50	50	59.30	-51.75	1.40	70	0.70	70
34.00	-26.45	0.90	45	0.60	60						

Tabella 7.6.II – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S3

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	50	142



Sondaggio S4											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
3.60	2.14	3.00	150	1.60	160	42.00	-36.26	1.30	65	0.70	70
3.90	1.84	2.00	100	1.10	110	42.30	-36.56	1.30	65	0.66	66
4.20	1.54	2.60	130	1.30	130	42.60	-36.86	1.30	65	0.66	66
4.50	1.24	2.80	140	1.50	150	42.90	-37.16	1.20	60	0.60	60
5.70	0.04	1.30	65	0.70	70	43.20	-37.46	1.30	65	0.70	70
6.00	-0.26	1.20	60	0.60	60	43.50	-37.76	1.10	55	0.50	50
6.40	-0.66	1.20	60	0.60	60	43.80	-38.06	1.10	55	0.50	50
7.30	-1.56	1.20	60	0.70	70	44.10	-38.36	1.00	50	0.50	50
7.70	-1.96	1.10	55	0.70	70	44.40	-38.66	1.00	50	0.50	50
8.10	-2.36	1.10	55	0.54	54	44.70	-38.96	1.30	65	0.70	70
8.50	-2.76	1.20	60	0.70	70	45.00	-39.26	1.30	65	0.74	74
8.90	-3.16	1.20	60	0.60	60	45.30	-39.56	1.20	60	0.70	70
9.30	-3.56	1.10	55	0.56	56	45.60	-39.86	1.30	65	0.70	70
9.70	-3.96	1.20	60	0.66	66	45.90	-40.16	1.40	70	0.70	70
10.10	-4.36	1.20	60	0.60	60	46.20	-40.46	1.50	75	0.80	80
11.40	-5.66	1.00	50	0.50	50	46.50	-40.76	1.50	75	0.80	80
11.80	-6.06	1.00	50	0.50	50	46.80	-41.06	1.50	75	0.80	80
12.20	-6.46	1.00	50	0.50	50	47.10	-41.36	1.50	75	0.60	60
12.60	-6.86	1.00	50	0.50	50	47.40	-41.66	1.50	75	0.80	80
13.00	-7.26	1.00	50	0.40	40	47.70	-41.96	1.60	80	0.80	80
18.10	-12.36	1.10	55	0.60	60	48.00	-42.26	1.80	90	0.90	90
18.50	-12.76	1.10	55	0.64	64	48.30	-42.56	2.00	100	0.80	80
18.90	-13.16	1.00	50	0.50	50	48.60	-42.86	2.00	100	0.90	90
33.00	-27.26	1.60	80	0.80	80	51.30	-45.56	2.00	100	0.80	80
35.30	-29.56	1.30	65	0.80	80	51.90	-46.16	2.00	100	0.80	80
36.70	-30.96	1.20	60	0.64	64	54.30	-48.56	2.00	100	0.90	90
37.00	-31.26	1.20	60	0.70	70	54.60	-48.86	2.00	100	1.00	100
37.30	-31.56	1.10	55	0.60	60	54.90	-49.16	2.20	110	1.10	110
37.60	-31.86	1.20	60	0.70	70	58.00	-52.26	2.20	110	1.10	110
37.90	-32.16	1.40	70	0.70	70	58.30	-52.56	2.10	105	1.10	110
38.20	-32.46	1.40	70	0.70	70	58.60	-52.86	2.00	100	1.00	100
38.50	-32.76	1.60	80	0.80	80	58.90	-53.16	2.30	115	1.20	120
38.80	-33.06	1.20	60	0.60	60	59.20	-53.46	2.00	100	1.00	100
39.10	-33.36	1.10	55	0.60	60	59.50	-53.76	2.00	100	1.00	100

Tabella 7.6.III – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S4

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	51	142



Sondaggio S5											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
5.70	2.23	2.30	115	1.15	115	56.80	-48.87	1.60	80	0.80	80
7.50	0.43	1.20	60	0.70	70	57.50	-49.57	1.60	80	0.80	80
7.80	0.13	1.30	65	0.80	80	57.70	-49.77	1.50	75	0.70	70
8.10	-0.17	1.00	50	0.60	60	57.90	-49.97	1.80	90	0.90	90
8.40	-0.47	0.90	45	0.54	54	58.10	-50.17	1.60	80	0.80	80
8.70	-0.77	0.90	45	0.54	54	58.30	-50.37	0.50	25	0.60	60
9.00	-1.07	0.90	45	0.52	52	58.50	-50.57	1.50	75	0.60	60
9.30	-1.37	1.00	50	0.58	58	58.70	-50.77	2.00	100	0.84	84
9.60	-1.67	0.90	45	0.54	54	60.70	-52.77	1.20	60	0.60	60
9.90	-1.97	1.00	50	0.64	64	61.00	-53.07	1.00	50	0.28	28
10.20	-2.27	1.10	55	0.68	68	61.30	-53.37	1.10	55	0.40	40
10.60	-2.67	0.50	25	0.26	26	61.60	-53.67	1.00	50	0.40	40
11.00	-3.07	0.90	45	0.50	50	61.90	-53.97	1.40	70	0.68	68
11.40	-3.47	0.80	40	0.40	40	63.00	-55.07	1.40	70	0.60	60
11.80	-3.87	1.00	50	0.50	50	63.30	-55.37	1.30	65	0.50	50
12.20	-4.27	1.00	50	0.60	60	63.60	-55.67	1.40	70	0.62	62
12.60	-4.67	1.10	55	0.60	60	63.90	-55.97	1.50	75	0.60	60
15.60	-7.67	0.90	45	0.50	50	64.20	-56.27	1.50	75	0.64	64
15.90	-7.97	1.00	50	0.60	60	66.00	-58.07	1.60	80	0.80	80
16.20	-8.27	1.10	55	0.62	62	68.00	-60.07	1.50	75	0.80	80
16.50	-8.57	1.50	75	0.70	70	68.40	-60.47	1.20	60	0.60	60
16.80	-8.87	1.20	60	0.64	64	68.80	-60.87	1.60	80	0.70	70
17.10	-9.17	1.50	75	0.74	74	70.00	-62.07	2.00	100	0.40	40
18.50	-10.57	0.50	25	0.28	28	70.30	-62.37	2.20	110	0.40	40
18.80	-10.87	0.50	25	0.30	30	70.60	-62.67	2.00	100	0.40	40
20.00	-12.07	0.40	20	0.20	20	70.90	-62.97	1.80	90	0.40	40
20.40	-12.47	0.60	30	0.34	34	71.20	-63.27	2.00	100	0.40	40
20.80	-12.87	1.30	65	0.62	62	72.70	-64.77	2.00	100	0.70	70
21.50	-13.57	0.90	45	0.50	50	73.10	-65.17	1.50	75	0.50	50
22.00	-14.07	0.90	45	0.50	50	73.50	-65.57	1.00	50	0.34	34
22.50	-14.57	1.10	55	0.60	60	73.90	-65.97	1.00	50	0.36	36
23.00	-15.07	1.20	60	0.66	66	74.30	-66.37	1.00	50	0.34	34
23.50	-15.57	1.20	60	0.64	64	74.70	-66.77	1.00	50	0.34	34
27.00	-19.07	1.00	50	0.56	56	76.00	-68.07	1.60	80	0.80	80
27.50	-19.57	1.00	50	0.60	60	76.35	-68.42	1.80	90	0.90	90
28.00	-20.07	2.00	100	1.00	100	76.70	-68.77	2.00	100	0.60	60
35.00	-27.07	0.80	40	0.50	50	77.05	-69.12	2.00	100	0.70	70
35.40	-27.47	1.00	50	0.60	60	77.40	-69.47	2.20	110	0.70	70
35.80	-27.87	1.00	50	0.60	60	77.75	-69.82	2.40	120	0.70	70
36.20	-28.27	0.90	45	0.50	50	78.10	-70.17	1.60	80	0.50	50
36.60	-28.67	1.00	50	0.60	60	78.45	-70.52	1.60	80	0.60	60
37.00	-29.07	0.90	45	0.50	50	78.80	-70.87	1.60	80	0.70	70
37.40	-29.47	1.00	50	0.60	60	79.15	-71.22	0.50	25	0.60	60
37.80	-29.87	1.10	55	0.63	63	79.50	-71.57	1.60	80	0.60	60
38.20	-30.27	1.20	60	0.70	70	80.00	-72.07	3.40	170		
38.60	-30.67	1.20	60	0.70	70	80.30	-72.37	2.60	130		
39.00	-31.07	1.20	60	0.70	70	81.70	-73.77	2.00	100	0.60	60
42.00	-34.07	1.20	60	0.70	70	82.00	-74.07	2.00	100	0.60	60
42.40	-34.47	1.30	65	0.80	80	82.30	-74.37	2.20	110	0.70	70
43.00	-35.07	1.10	55	0.60	60	82.60	-74.67	2.00	100	0.70	70
43.40	-35.47	1.20	60	0.70	70	82.90	-74.97	2.40	120	0.70	70
43.80	-35.87	1.20	60	0.70	70	83.20	-75.27	2.00	100	0.60	60
44.20	-36.27	1.10	55	0.64	64	83.50	-75.57	1.60	80	0.50	50
44.60	-36.67	1.20	60	0.70	70	83.80	-75.87	2.00	100	0.60	60
45.70	-37.77	1.00	50	0.45	45	84.10	-76.17	2.50	125	0.80	80
46.10	-38.17	1.00	50	0.46	46	84.40	-76.47	2.20	110	0.80	80
46.50	-38.57	1.20	60	0.60	60	84.70	-76.77	3.00	150	0.90	90
46.90	-38.97	1.30	65	0.70	70	85.00	-77.07	2.60	130	0.80	80
47.30	-39.37	1.20	60	0.70	70	85.30	-77.37	2.80	140	0.84	84
47.70	-39.77	1.50	75	0.80	80	90.00	-82.07	1.10	55	0.54	54
48.10	-40.17	1.00	50	0.36	36	90.30	-82.37	1.50	75	0.50	50
48.50	-40.57	1.00	50	0.40	40	90.60	-82.67	1.60	80	0.50	50
48.90	-40.97	1.40	70	0.50	50	90.90	-82.97	1.80	90	0.60	60
49.30	-41.37	1.20	60	0.40	40	94.00	-86.07	2.40	120	1.00	100
49.70	-41.77	1.00	50	0.40	40	94.25	-86.32	1.60	80	0.54	54
50.10	-42.17	1.40	70	0.50	50	94.50	-86.57	2.00	100	0.60	60
50.50	-42.57	1.20	60	0.60	60	94.75	-86.82	2.00	100	0.56	56
50.90	-42.97	1.40	70	0.70	70	95.00	-87.07	1.60	80	0.50	50
51.70	-43.77	1.50	75	0.72	72	95.25	-87.32	2.00	100	0.80	80
52.00	-44.07	1.40	70	0.70	70	95.50	-87.57	2.00	100	0.90	90
52.30	-44.37	1.30	65	0.66	66	95.75	-87.82	2.00	100	1.00	100
52.60	-44.67	1.40	70	0.70	70	96.00	-88.07	2.00	100	0.90	90
52.90	-44.97	1.40	70	0.50	50	96.25	-88.32	2.00	100	0.90	90
53.20	-45.27	1.60	80	0.80	80	96.50	-88.57	2.00	100	1.00	100
54.50	-46.57	1.60	80	0.80	80	96.75	-88.82	2.00	100	0.90	90
54.80	-46.87	1.50	75	0.80	80	97.00	-89.07	1.80	90	0.90	90
55.10	-47.17	1.60	80	0.80	80	97.25	-89.32	2.00	100	0.90	90
55.40	-47.47	1.40	70	0.70	70	98.20	-90.27	2.00	100	1.00	100
55.70	-47.77	1.40	70	0.70	70	98.50	-90.57	1.80	90	0.90	90
56.00	-48.07	1.60	80	0.80	80	98.80	-90.87	2.00	100	0.90	90
56.30	-48.37	1.80	90	0.84	84	99.10	-91.17	1.80	90	0.90	90
56.60	-48.67	1.80	90	0.90	90	99.40	-91.47	2.00	100	1.00	100

Tabella 7.6.IV – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S5.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	52	142



Sondaggio S6											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
4.60	3.67	1.40	70	0.70	70	35.70	-27.43	1.10	55	0.60	60
4.90	3.37	1.40	70	0.70	70	36.00	-27.73	1.10	55	0.70	70
7.50	0.77	2.20	110	1.10	110	36.30	-28.03	1.20	60	0.70	70
7.80	0.47	2.00	100	1.00	100	36.60	-28.33	1.20	60	0.66	66
8.10	0.17	2.10	105	1.00	100	36.90	-28.63	1.20	60	0.70	70
8.40	-0.13	2.00	100	1.00	100	41.00	-32.73	1.20	60	0.70	70
8.70	-0.43	3.50	175	1.50	150	41.30	-33.03	1.30	65	0.72	72
9.00	-0.73	1.60	80	1.70	170	41.60	-33.33	1.40	70	0.76	76
10.60	-2.33	1.00	50	0.60	60	41.90	-33.63	1.20	60	0.68	68
10.90	-2.63	1.00	50	0.60	60	42.20	-33.93	1.40	70	0.76	76
11.20	-2.93	1.50	75	0.80	80	42.50	-34.23	1.40	70	0.70	70
11.50	-3.23	1.10	55	0.66	66	42.80	-34.53	1.30	65	0.70	70
11.80	-3.53	1.20	60	0.70	70	46.00	-37.73	1.40	70	0.70	70
12.10	-3.83	1.10	55	0.70	70	46.25	-37.98	1.60	80	0.80	80
12.40	-4.13	1.20	60	0.80	80	46.50	-38.23	1.50	75	0.75	75
12.70	-4.43	1.20	60	0.80	80	46.75	-38.48	1.50	75	0.75	75
13.00	-4.73	1.30	65	0.80	80	47.00	-38.73	2.00	100	0.60	60
13.30	-5.03	1.10	55	0.60	60	47.25	-38.98	1.60	80	0.36	36
13.60	-5.33	1.10	55	0.56	56	47.50	-39.23	1.40	70	0.70	70
13.90	-5.63	1.00	50	0.50	50	47.75	-39.48	1.40	70	0.72	72
14.20	-5.93	1.10	55	0.56	56	48.00	-39.73	1.50	75	0.76	76
14.50	-6.23	1.00	50	0.50	50	48.25	-39.98	1.50	75	0.80	80
14.80	-6.53	1.00	50	0.60	60	48.50	-40.23	1.00	50	0.60	60
15.10	-6.83	1.00	50	0.50	50	48.75	-40.48	1.00	50	0.40	40
15.40	-7.13	1.10	55	0.60	60	49.00	-40.73	1.10	55	0.50	50
15.70	-7.43	1.10	55	0.64	64	49.25	-40.98	1.20	60	0.50	50
16.00	-7.73	0.50	25	0.25	25	49.50	-41.23	1.40	70	0.70	70
16.30	-8.03	1.60	80	0.30	30	49.75	-41.48	1.40	70	0.70	70
16.60	-8.33	1.00	50	0.60	60	50.00	-41.73	1.20	60	0.50	50
16.90	-8.63	1.00	50	0.60	60	50.25	-41.98	1.10	55	0.50	50
17.20	-8.93	1.10	55	0.50	50	50.50	-42.23	1.00	50	0.40	40
17.50	-9.23	1.10	55	0.60	60	50.75	-42.48	1.30	65	0.70	70
17.80	-9.53	1.40	70	0.60	60	51.00	-42.73	1.40	70	0.74	74
18.10	-9.83	1.20	60	0.80	80	51.25	-42.98	1.50	75	0.86	86
18.40	-10.13	1.10	55	0.60	60	51.50	-43.23	1.40	70	0.50	50
18.70	-10.43	1.30	65	0.74	74	51.75	-43.48	1.50	75	0.40	40
20.50	-12.23	1.10	55	0.60	60	52.00	-43.73	1.40	70	0.80	80
20.90	-12.63	1.20	60	0.60	60	52.25	-43.98	1.40	70	0.80	80
21.30	-13.03	1.10	55	0.56	56	52.50	-44.23	1.50	75	0.80	80
21.70	-13.43	1.30	65	0.70	70	52.75	-44.48	1.70	85	0.90	90
22.10	-13.83	1.20	60	0.64	64	53.00	-44.73	1.80	90	0.98	98
22.50	-14.23	1.10	55	0.60	60	53.25	-44.98	1.80	90	0.98	98
22.90	-14.63	1.00	50	0.50	50	53.50	-45.23	1.80	90	0.96	96
23.30	-15.03	0.90	45	0.50	50	53.75	-45.48	2.00	100	1.04	104
31.50	-23.23	1.80	90	0.90	90	54.00	-45.73	2.00	100	1.04	104
33.60	-25.33	1.00	50	0.56	56	54.25	-45.98	2.10	105	1.10	110
33.90	-25.63	1.00	50	0.50	50	54.50	-46.23	2.10	105	1.10	110
34.20	-25.93	1.00	50	0.48	48	54.75	-46.48	1.60	80	0.80	80
34.50	-26.23	0.90	45	0.50	50	55.00	-46.73	1.50	75	0.80	80
34.80	-26.53	0.90	45	0.50	50	55.25	-46.98	2.10	105	1.10	110
35.10	-26.83	0.90	45	0.52	52	55.50	-47.23	2.00	100	1.00	100
35.40	-27.13	1.40	70	0.75	75	55.75	-47.48	1.25	62.5	0.54	54

Tabella 7.6.V – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S6

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	53	142



Sondaggio S7											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
6.00	2.00	2.20	110	1.20	120	38.40	-30.41	1.00	50	0.50	50
6.30	1.70	2.50	125	1.25	125	41.00	-33.01	1.40	70	0.60	60
6.60	1.40	2.50	125	1.25	125	41.25	-33.26	1.20	60	0.40	40
6.90	1.10	3.00	150	1.50	150	41.50	-33.51	1.50	75	0.64	64
7.20	0.80	2.20	110	1.10	110	41.75	-33.76	1.60	80	0.80	80
7.50	0.50	2.50	125	1.30	130	43.00	-35.01	2.00	100	1.00	100
7.80	0.20	2.00	100	1.00	100	43.30	-35.31	2.00	100	0.94	94
8.10	-0.11	1.00	50	0.56	56	43.60	-35.61	1.60	80	0.76	76
8.40	-0.41	1.10	55	0.60	60	43.90	-35.91	1.20	60	0.60	60
8.70	-0.71	1.50	75	0.80	80	44.20	-36.21	1.40	70	0.34	34
9.00	-1.01	1.70	85	0.90	90	44.50	-36.51	1.30	65	0.32	32
9.30	-1.31	1.70	85	0.90	90	44.80	-36.81	2.00	100	0.96	96
9.60	-1.61	1.60	80	0.80	80	45.10	-37.11	2.00	100	0.90	90
9.90	-1.91	2.20	110	1.10	110	47.90	-39.91	1.20	60	0.60	60
10.20	-2.21	1.70	85	0.80	80	48.20	-40.21	1.20	60	0.60	60
10.50	-2.51	1.60	80	0.80	80	48.50	-40.51	0.50	25	0.20	20
10.80	-2.81	1.50	75	0.76	76	48.80	-40.81	0.60	30	0.24	24
13.00	-5.01	1.40	70	0.70	70	49.10	-41.11	0.60	30	0.26	26
13.30	-5.31	1.20	60	0.60	60	49.40	-41.41	0.80	40	0.34	34
13.60	-5.61	1.00	50	0.60	60	49.70	-41.71	1.00	50	0.50	50
14.00	-6.01	0.90	45	0.40	40	50.00	-42.01	1.20	60	0.60	60
17.00	-9.01	0.90	45	0.40	40	50.30	-42.31	1.60	80	0.64	64
17.25	-9.26	2.00	100	0.90	90	50.60	-42.61	1.20	60	0.45	45
17.50	-9.51	1.80	90	0.90	90	50.90	-42.91	1.80	90	0.92	92
17.75	-9.76	2.00	100	0.90	90	51.20	-43.21	1.90	95	0.96	96
18.00	-10.01	2.00	100	0.90	90	53.00	-45.01	1.80	90	0.90	90
18.25	-10.26	1.80	90	0.90	90	53.30	-45.31	1.80	90	0.90	90
27.50	-19.51	2.00	100	1.10	110	53.60	-45.61	1.40	70	0.70	70
27.90	-19.91	1.00	50	0.40	40	53.90	-45.91	1.40	70	0.70	70
30.00	-22.01	1.20	60	0.65	65	54.20	-46.21	1.80	90	0.86	86
31.10	-23.11	1.80	90	0.96	96	54.50	-46.51	1.80	90	0.90	90
31.50	-23.51	2.10	105	1.10	110	54.80	-46.81	1.70	85	0.84	84
32.00	-24.01	2.50	125	1.25	125	55.10	-47.11	1.80	90	0.90	90
35.00	-27.01	1.50	75	0.45	45	55.40	-47.41	1.70	85	0.80	80
35.30	-27.31	1.50	75	0.60	60	55.70	-47.71	1.60	80	0.80	80
35.60	-27.61	1.50	75	0.60	60	56.00	-48.01	1.70	85	0.80	80
35.90	-27.91	1.20	60	0.60	60	56.30	-48.31	1.60	80	0.92	92
36.20	-28.21	1.10	55	0.54	54	56.60	-48.61	1.80	90	0.84	84
36.50	-28.51	1.20	60	0.60	60	56.90	-48.91	1.60	80	0.80	80
36.80	-28.81	1.20	60	0.90	90	57.20	-49.21	1.60	80	0.82	82
37.10	-29.11	1.80	90	0.94	94	57.50	-49.51	1.60	80	0.90	90
37.40	-29.41	2.00	100	0.96	96	57.80	-49.81	1.80	90	0.90	90
37.70	-29.71	2.00	100	0.74	74	58.10	-50.11	1.60	80	0.82	82
38.00	-30.01	1.60	80	0.60	60						

Tabella 7.6.VI – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S7

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	54	142



Sondaggio S8											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
5.30	2.95	2.20	110	1.20	120	49.50	-41.25	1.30	65	0.50	50
5.60	2.65	2.70	135	1.40	140	49.80	-41.55	1.40	70	0.66	66
5.90	2.35	2.60	130	1.30	130	50.10	-41.85	1.80	90	0.80	80
6.20	2.05	3.20	160	1.60	160	50.40	-42.15	1.60	80	0.75	75
6.50	1.75	2.00	100	1.00	100	50.70	-42.45	1.60	80	0.74	74
6.80	1.45	1.80	90	0.94	94	51.00	-42.75	1.20	60	0.60	60
7.10	1.15	1.30	65	0.50	50	51.30	-43.05	1.50	75	0.70	70
8.30	-0.05	1.20	60	0.80	80	51.60	-43.35	1.50	75	0.70	70
8.60	-0.35	1.20	60	0.76	76	53.30	-45.05	1.40	70	0.76	76
8.90	-0.65	1.20	60	0.80	80	53.60	-45.35	1.40	70	0.70	70
9.20	-0.95	1.20	60	0.80	80	53.90	-45.65	1.40	70	0.70	70
9.50	-1.25	1.20	60	0.74	74	54.20	-45.95	1.50	75	0.80	80
9.80	-1.55	1.20	60	0.70	70	54.50	-46.25	1.50	75	0.80	80
14.30	-6.05	1.10	55	0.60	60	54.80	-46.55	1.80	90	0.90	90
14.60	-6.35	1.20	60	0.64	64	55.10	-46.85	1.60	80	0.80	80
14.90	-6.65	1.20	60	0.70	70	55.40	-47.15	1.80	90	0.86	86
15.20	-6.95	1.20	60	0.70	70	55.70	-47.45	1.80	90	0.90	90
15.50	-7.25	1.10	55	0.60	60	57.80	-49.55	1.60	80	0.80	80
15.80	-7.55	1.10	55	0.60	60	58.20	-49.95	1.60	80	0.80	80
16.10	-7.85	1.00	50	0.50	50	58.50	-50.25	1.70	85	0.84	84
16.40	-8.15	1.10	55	0.60	60	59.00	-50.75	1.60	80	0.80	80
16.70	-8.45	1.10	55	0.60	60	59.30	-51.05	2.00	100	0.90	90
18.70	-10.45	1.40	70	0.72	72	60.40	-52.15	1.50	75	0.80	80
19.00	-10.75	1.20	60	0.64	64	60.80	-52.55	1.50	75	0.80	80
19.40	-11.15	1.20	60	0.60	60	61.60	-53.35	1.30	65	0.68	68
20.40	-12.15	1.00	50	0.60	60	61.90	-53.65	1.30	65	0.70	70
20.70	-12.45	1.40	70	0.70	70	62.20	-53.95	1.40	70	0.70	70
21.00	-12.75	1.00	50	0.60	60	62.50	-54.25	1.50	75	0.76	76
21.80	-13.55	1.00	50	0.50	50	62.80	-54.55	1.50	75	0.80	80
22.30	-14.05	1.00	50	0.60	60	63.10	-54.85	1.40	70	0.40	40
22.60	-14.35	1.00	50	0.60	60	63.40	-55.15	1.50	75	0.60	60
22.90	-14.65	1.00	50	0.60	60	64.60	-56.35	1.50	75	0.50	50
31.80	-23.55	2.80	140	1.40	140	64.80	-56.55	1.80	90	1.00	100
32.10	-23.85	2.20	110	1.20	120	66.70	-58.45	1.80	90	0.80	80
34.00	-25.75	1.40	70	0.80	80	67.00	-58.75	1.80	90	0.84	84
34.30	-26.05	1.40	70	0.70	70	70.60	-62.35	1.80	90	0.50	50
36.80	-28.55	1.20	60	0.70	70	70.90	-62.65	1.40	70	0.50	50
37.10	-28.85	1.00	50	0.60	60	71.20	-62.95	1.30	65	0.50	50
37.40	-29.15	1.00	50	0.60	60	71.50	-63.25	1.00	50	0.40	40
37.70	-29.45	1.00	50	0.54	54	71.80	-63.55	1.00	50	0.36	36
38.00	-29.75	1.00	50	0.50	50	72.10	-63.85	1.10	55	0.40	40
38.30	-30.05	1.00	50	0.40	40	72.40	-64.15	1.00	50	0.40	40
38.60	-30.35	1.00	50	0.40	40	72.70	-64.45	1.40	70	0.70	70
40.00	-31.75	1.00	50	0.50	50	73.00	-64.75	1.80	90	0.80	80
40.30	-32.05	1.00	50	0.52	52	73.30	-65.05	1.80	90	0.84	84
41.30	-33.05	1.00	50	0.64	64	75.70	-67.45	2.00	100	0.70	70
41.50	-33.25	1.00	50	0.64	64	76.00	-67.75	2.00	100	0.74	74
42.00	-33.75	1.00	50	0.40	40	76.30	-68.05	2.00	100	0.70	70
45.30	-37.05	1.30	65	0.70	70	76.60	-68.35	2.10	105	0.76	76
45.70	-37.45	1.30	65	0.70	70	76.90	-68.65	2.00	100	0.60	60
46.00	-37.75	1.40	70	0.70	70	77.20	-68.95	1.90	95	0.50	50
48.60	-40.35	1.80	90	0.64	64	77.50	-69.25	2.00	100	0.74	74
48.90	-40.65	1.40	70	0.60	60	77.80	-69.55	2.00	100	0.80	80
49.20	-40.95	1.40	70	0.56	56	78.10	-69.85	1.80	90	0.90	90

Tabella 7.6.VII – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S8

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	55	142



Sondaggio S9											
prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u	prof.	quota	PP	c _u	TV	c _u
m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]	m da p.c.	m s.l.m.	[kg/cm ²]	[kPa]	[kg/cm ²]	[kPa]
2.00	6.25	2.00	150	0.90	90	10.80	-2.55	0.90	45	0.40	40
2.30	5.95	2.00	100	1.00	100	11.05	-2.80	0.80	40	0.40	40
2.60	5.65	2.40	120	1.10	110	11.30	-3.05	0.80	40	0.38	38
2.90	5.35	3.00	150	1.40	140	11.55	-3.30	0.90	45	0.44	44
3.20	5.05	2.60	130	1.20	120	11.80	-3.55	0.80	40	0.46	46
3.50	4.75	2.20	110	1.00	100	12.05	-3.80	0.80	40	0.52	52
3.80	4.45	2.20	110	1.10	110	12.30	-4.05	0.80	40	0.50	50
4.10	4.15	2.10	105	1.05	105	12.55	-4.30	0.90	45	0.50	50
4.40	3.85	1.60	80	0.90	90	12.80	-4.55	0.90	45	0.50	50
4.70	3.55	1.50	75	0.80	80	13.05	-4.80	1.00	50	0.50	50
5.00	3.25	1.00	50	0.50	50	13.30	-5.05	1.00	50	0.50	50
5.30	2.95	1.10	55	0.60	60	13.55	-5.30	0.90	45	0.45	45
5.60	2.65	1.20	60	0.70	70	15.80	-7.55	0.80	40	0.40	40
5.90	2.35	1.30	65	0.76	76	16.10	-7.85	0.80	40	0.36	36
6.20	2.05	1.30	65	0.76	76	16.40	-8.15	1.20	60	0.60	60
6.50	1.75	1.10	55	0.60	60	16.70	-8.45	1.20	60	0.60	60
6.80	1.45	1.00	50	0.50	50	17.00	-8.75	1.10	55	0.56	56
7.10	1.15	1.00	50	0.50	50	17.30	-9.05	1.20	60	0.60	60
7.40	0.85	1.00	50	0.50	50	17.60	-9.35	1.20	60	0.60	60
7.70	0.55	0.90	45	0.44	44	17.90	-9.65	1.40	70	0.70	70
8.00	0.25	0.90	45	0.44	44	18.20	-9.95	1.40	70	0.74	74
8.30	-0.05	0.80	40	0.40	40	18.50	-10.25	1.60	80	0.80	80
9.80	-1.55	1.00	50	0.50	50	18.80	-10.55	2.00	100	1.10	110
10.05	-1.80	0.90	45	0.42	42	21.00	-12.75	2.00	100	1.05	105
10.30	-2.05	0.80	40	0.40	40	21.25	-13.00	1.60	80	0.90	90
10.55	-2.30	0.80	40	0.46	46	21.50	-13.25	1.60	80	0.90	90

Tabella 7.6.VIII – Valori di c_u da pocket penetrometro e scissometro – S9

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	56	142

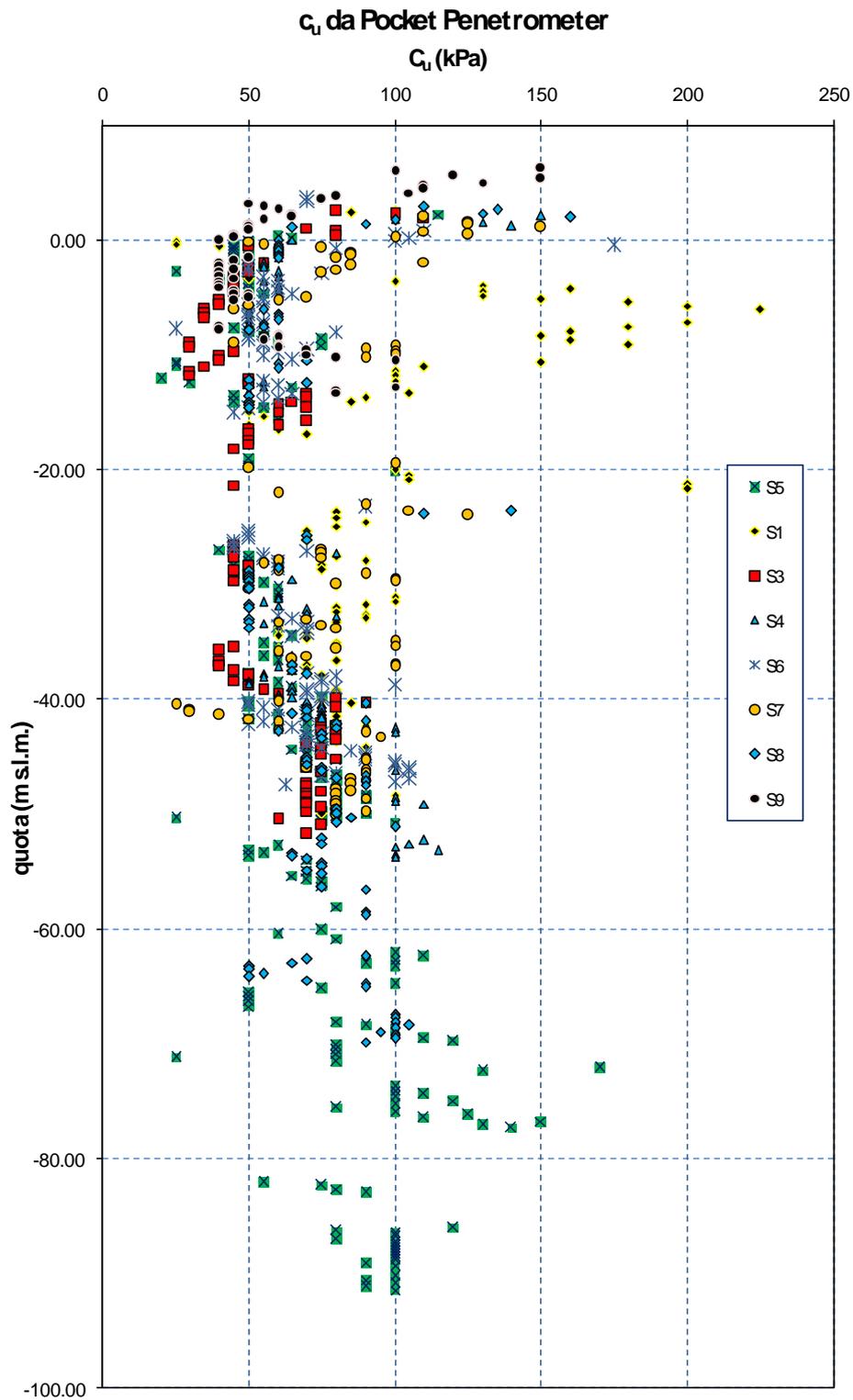


Figura 7.6.1 – Valori di c_u da pocket penetrometro

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	57	142

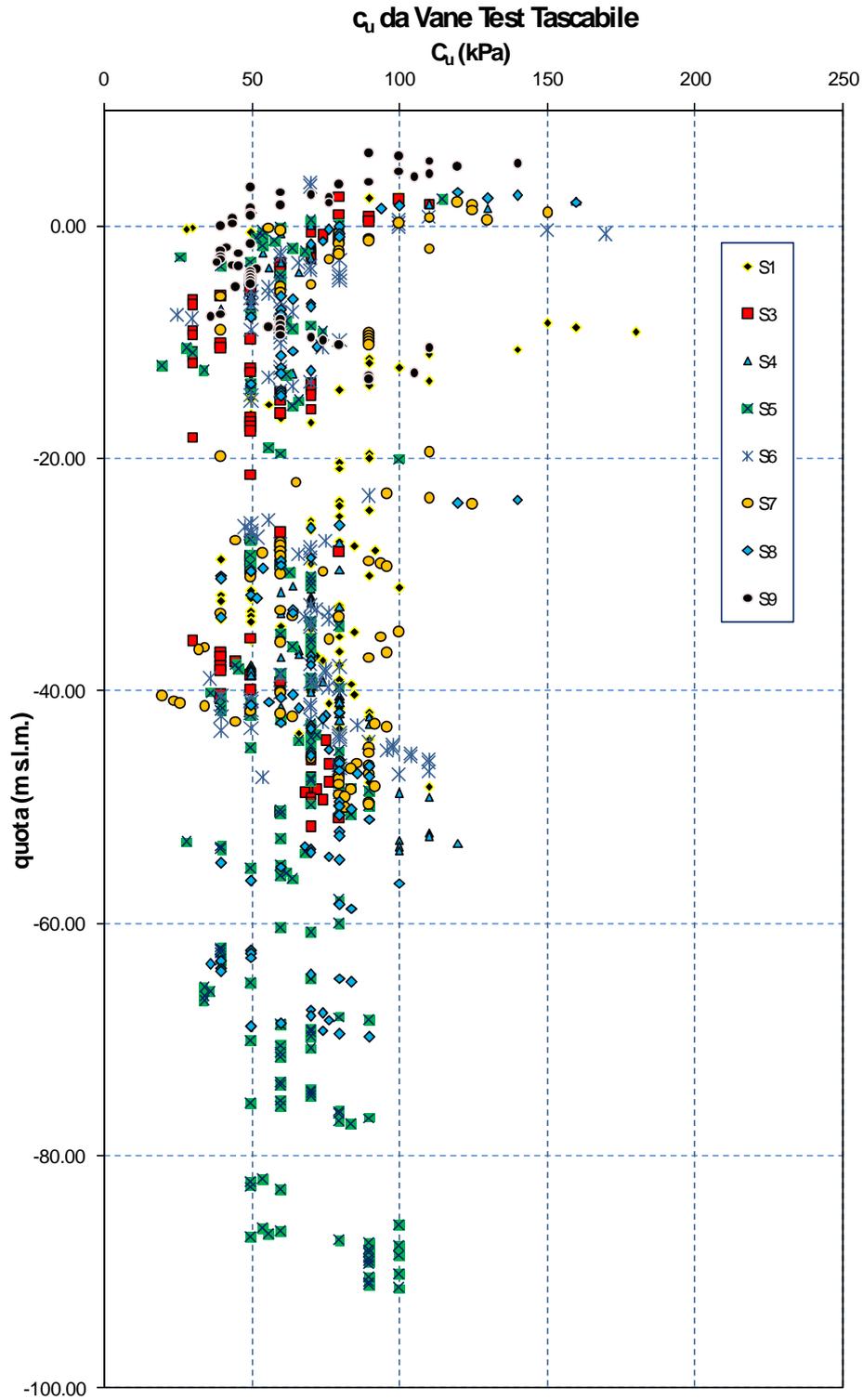


Figura 7.6.2 – Valori di c_u da scissometro

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	58	142



8. PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE DI LABORATORIO

I campioni indisturbati e quelli rimaneggiati prelevati in sito, sono stati sottoposti a prove di laboratorio; di seguito si riportano i risultati delle prove eseguite.

Prove di classificazione e caratterizzazione generale dei materiali

- determinazione del peso di volume;
- determinazione del contenuto d'acqua;
- analisi granulometrica;
- determinazione dei limiti di Atterberg;
- determinazione del contenuto di carbonati;
- determinazione del contenuto di sostanze organiche;
- determinazione del contenuto di solfati.

Il peso di volume dei materiali in sito, γ , risulta compreso tra 18.1 kN/m³ e 20.4 kN/m³.

Il contenuto d'acqua naturale, w , varia tra 20% e 35%.

L'indice dei vuoti, e , è compreso tra 0.645 e 0.961.

Le analisi granulometriche sono state eseguite mediante vagliatura meccanica e in alcuni casi anche con il metodo di sedimentazione.

Nei campioni indisturbati, hanno evidenziato che il contenuto di ghiaia è praticamente nullo; le percentuali di sabbia, prevalentemente fine, variano da 0.3% a circa 40% fino a profondità di circa 50 m da p.c., mentre nei campioni prelevati a profondità maggiore il contenuto di sabbia è generalmente >30%. La frazione fine – limo+argilla – è risultata essere quasi sempre predominante; il contenuto di limo varia da 21% a quasi 80%, quello di argilla da 7% a 51%.

I campioni rimaneggiati sono costituiti da ghiaie (per il 45% ÷ 50%) e sabbie (per il 36% ÷ 50%); fa eccezione il campione R4 prelevato dal sondaggio S5, in cui il contenuto di sabbia è pari a 86%.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	59	142



I valori del limite liquido (LL) sono compresi tra 25.8% e 58%, quelli del limite plastico (LP) variano tra 17% e 26%.

Con riferimento ai valori dell'indice di plasticità, definito come $IP = LL - LP$, i materiali sono definiti da poco plastici a plastici.

Secondo la correlazione proposta da Skempton, sono stati calcolati i valori della coesione non drenata c_u , a partire dai dati di IP, mediante la seguente correlazione:

$$\frac{c_u}{\sigma'} = 0.11 + 0.0037 \cdot IP$$

con σ' pari al valore dello stato di sforzo efficace in sito assunto pari al valore σ'_v nel caso di argille normalconsolidate ed al valore σ'_p (sforzo verticale di pre-consolidazione) per argille sovraconsolidate. In questo caso il calcolo di c_u è stato possibile solo per quei provini di cui si conosce il valore di σ'_p da prove edometriche (si veda tabella 8.IV seguente).

I valori calcolati sono mostrati nel grafico di figura 8.15 insieme agli altri valori di c_u ottenuti da prove di laboratorio.

Il contenuto di carbonati ($CaCO_3$) varia tra 10% e 50%; il contenuto di solfati (S) è compreso tra 93 mg/kg e 552 mg/kg; la percentuale di materia organica è variabile tra 1% e 3.86%.

I risultati sono riassunti nelle tabelle 8.I e 8.II e nei grafici di figura 8.1 ÷ 8.10 seguenti.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	60	142

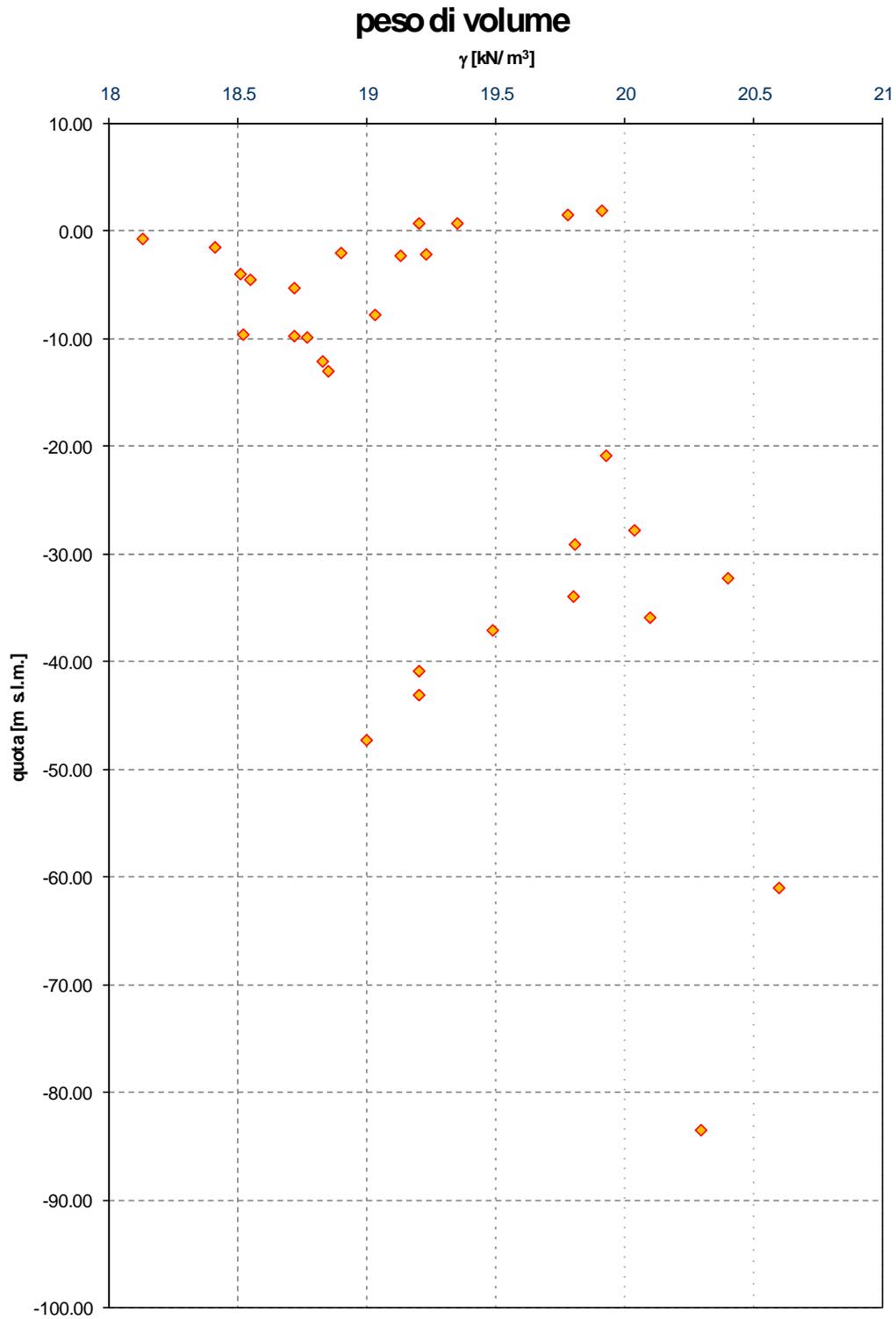


Figura 8.1 – Campioni indisturbati - Peso di volume.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	61	142

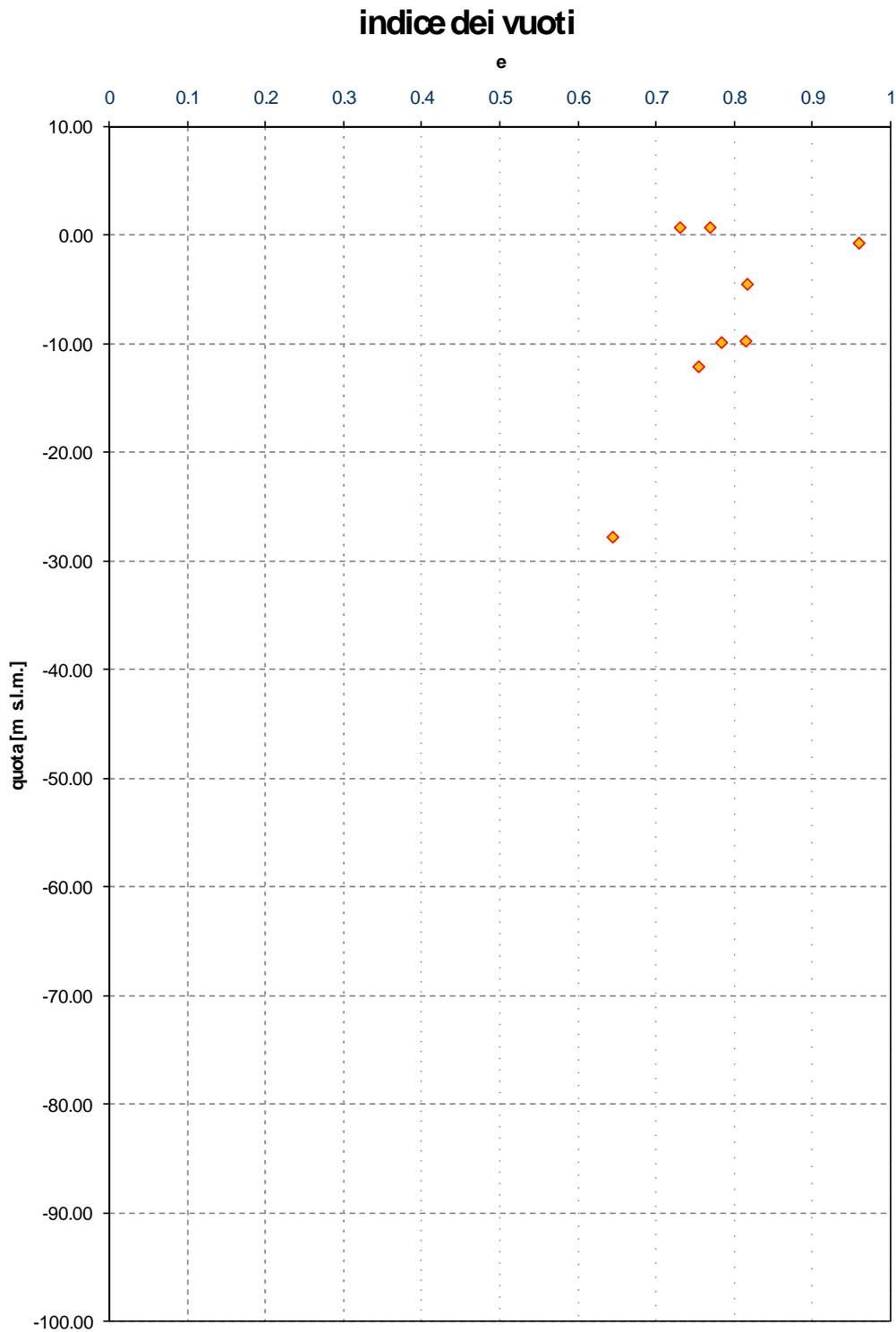


Figura 8.2 – Campioni indisturbati – Indice dei vuoti.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	62	142



Analisi granulometrica

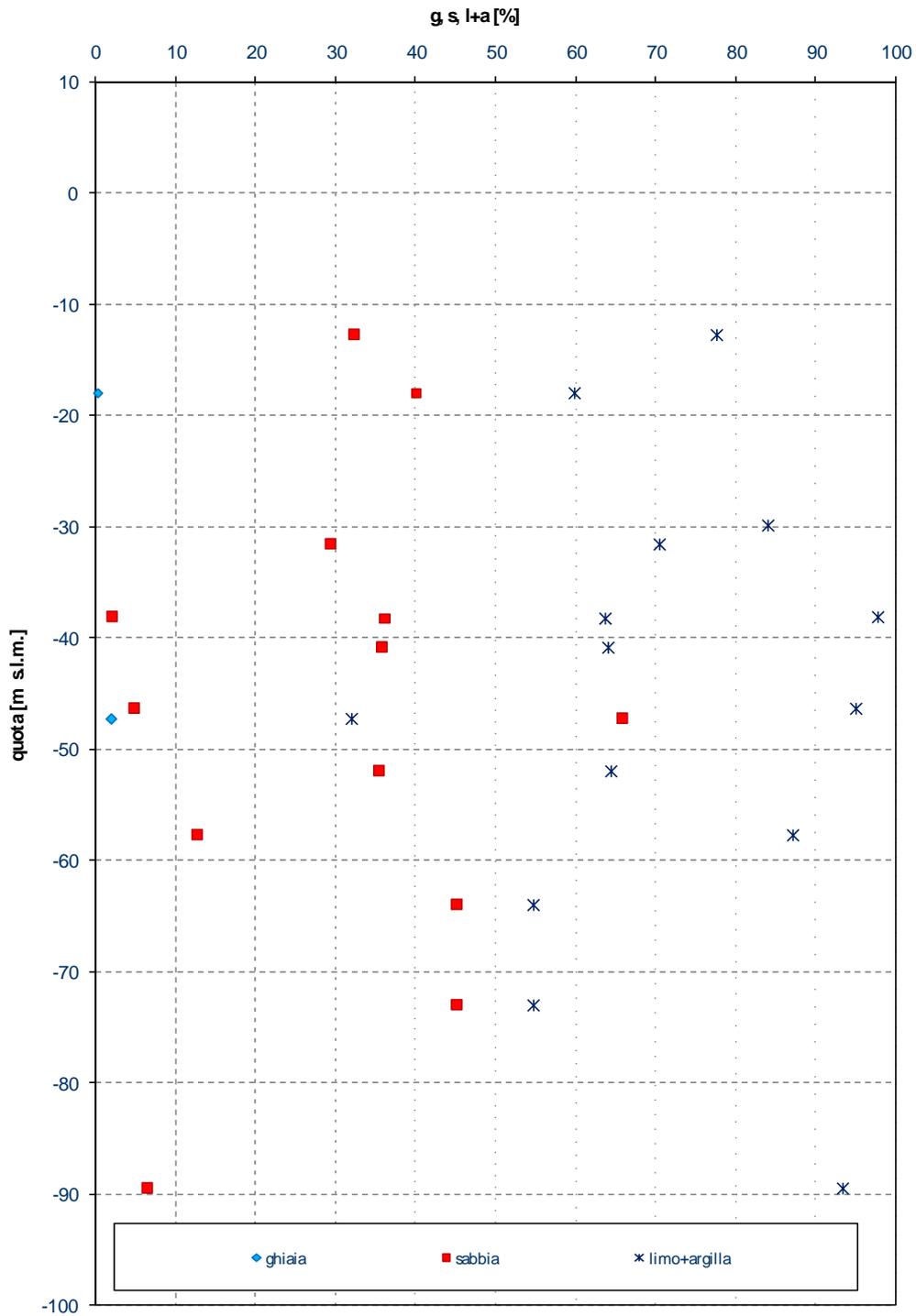


Figura 8.3 - Campioni indisturbati – Risultati delle analisi granulometriche per vagliatura meccanica

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	63	142



Analisi granulometrica

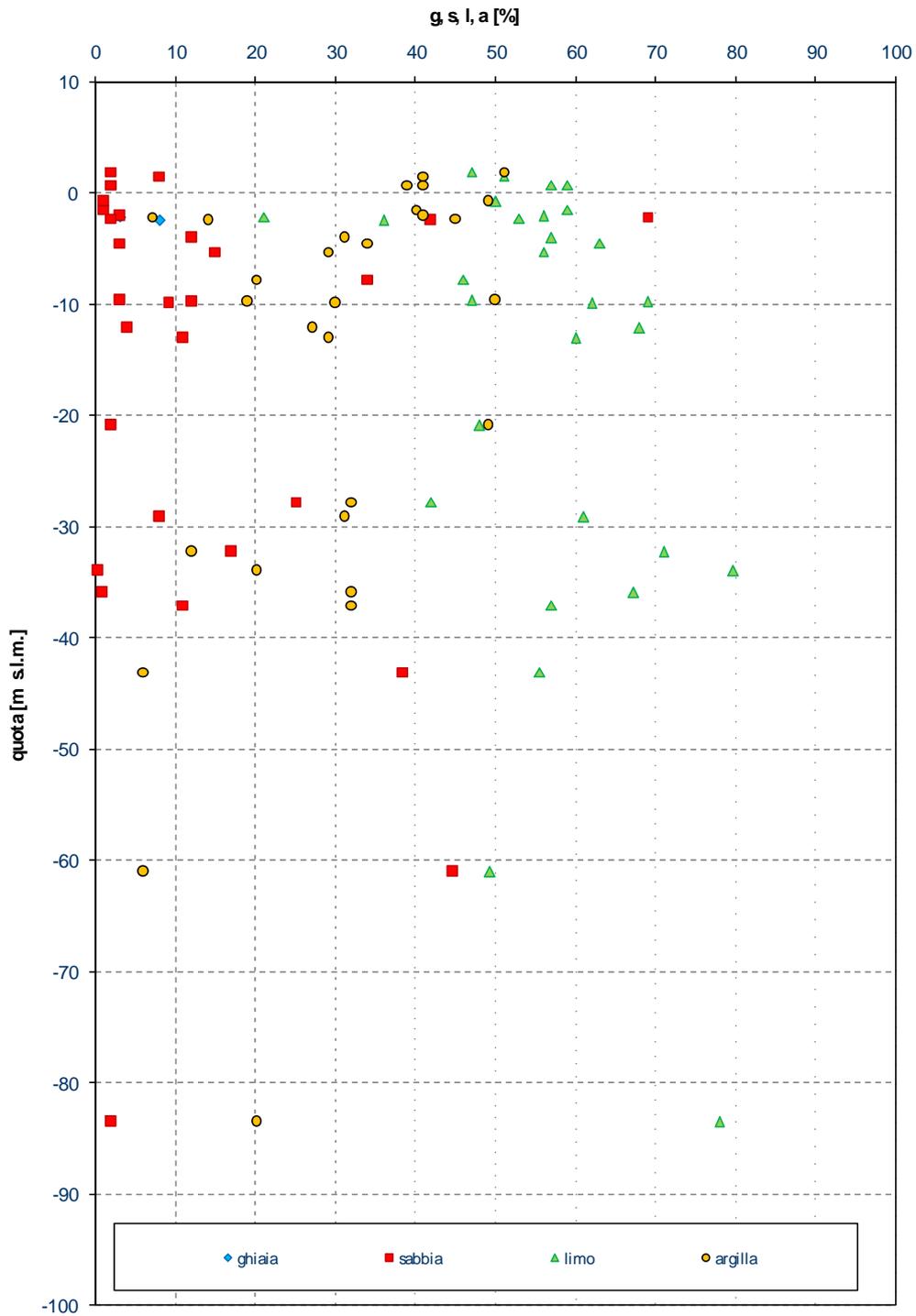


Figura 8.4 - Campioni indisturbati – Risultati delle analisi granulometriche per sedimentazione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	64	142



Limiti di Atterberge contenuto d'acqua

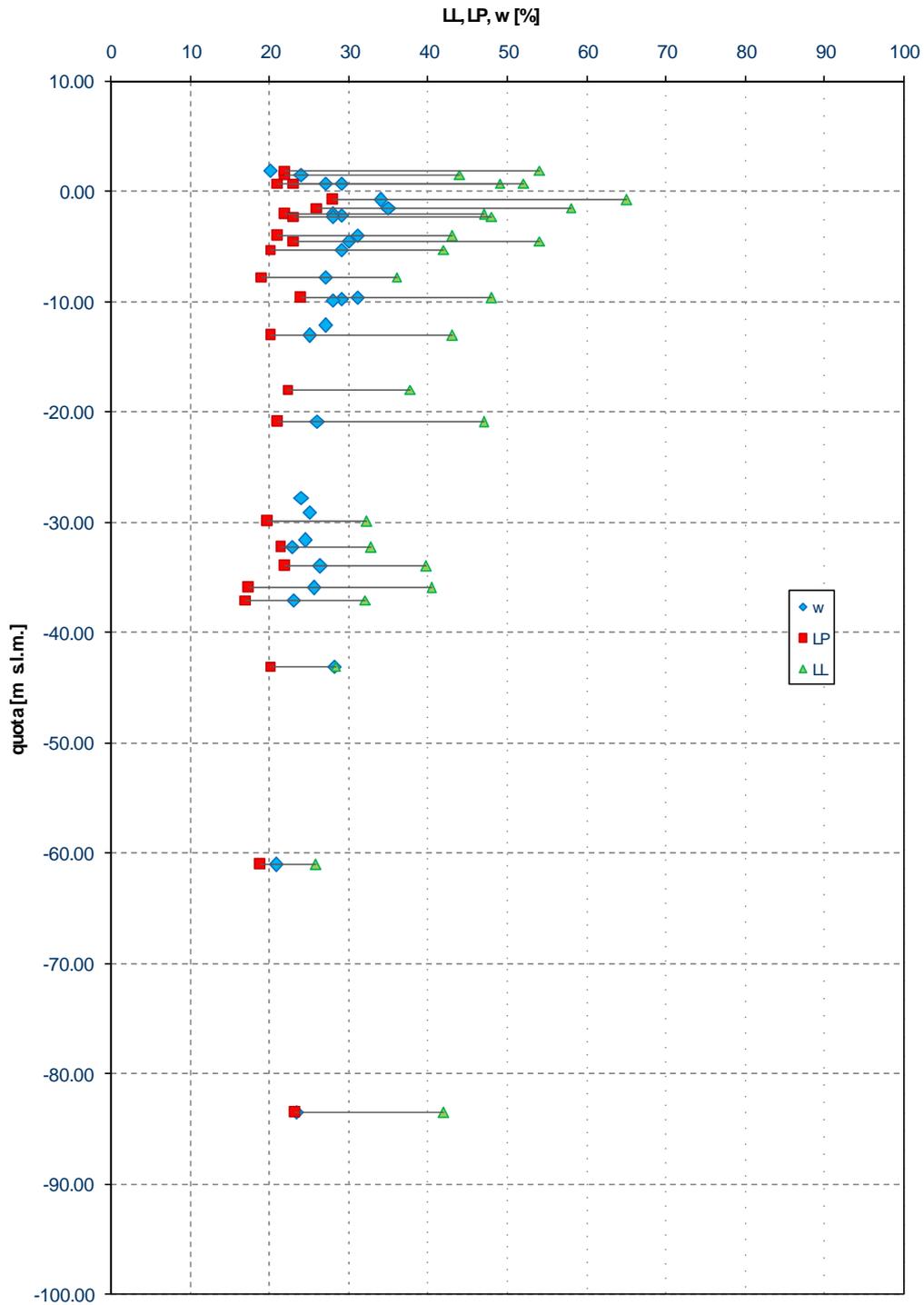


Figura 8.6 - Campioni indisturbati - Limite Liquido e Limite Plastico, Contenuto d'acqua

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	66	142

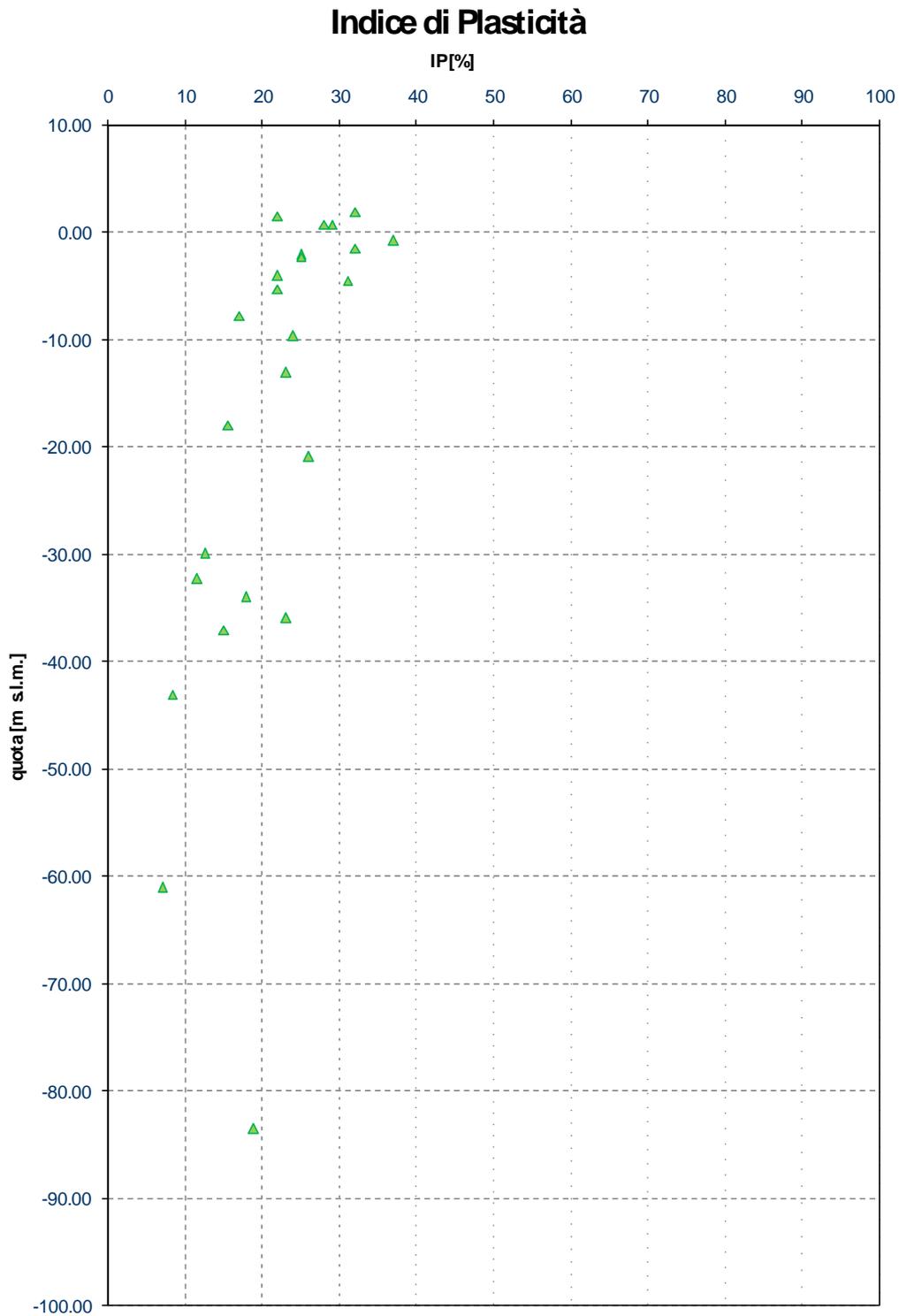


Figura 8.7 - Campioni indisturbati – Indice di Plasticità

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	67	142



contenuto di carbonati

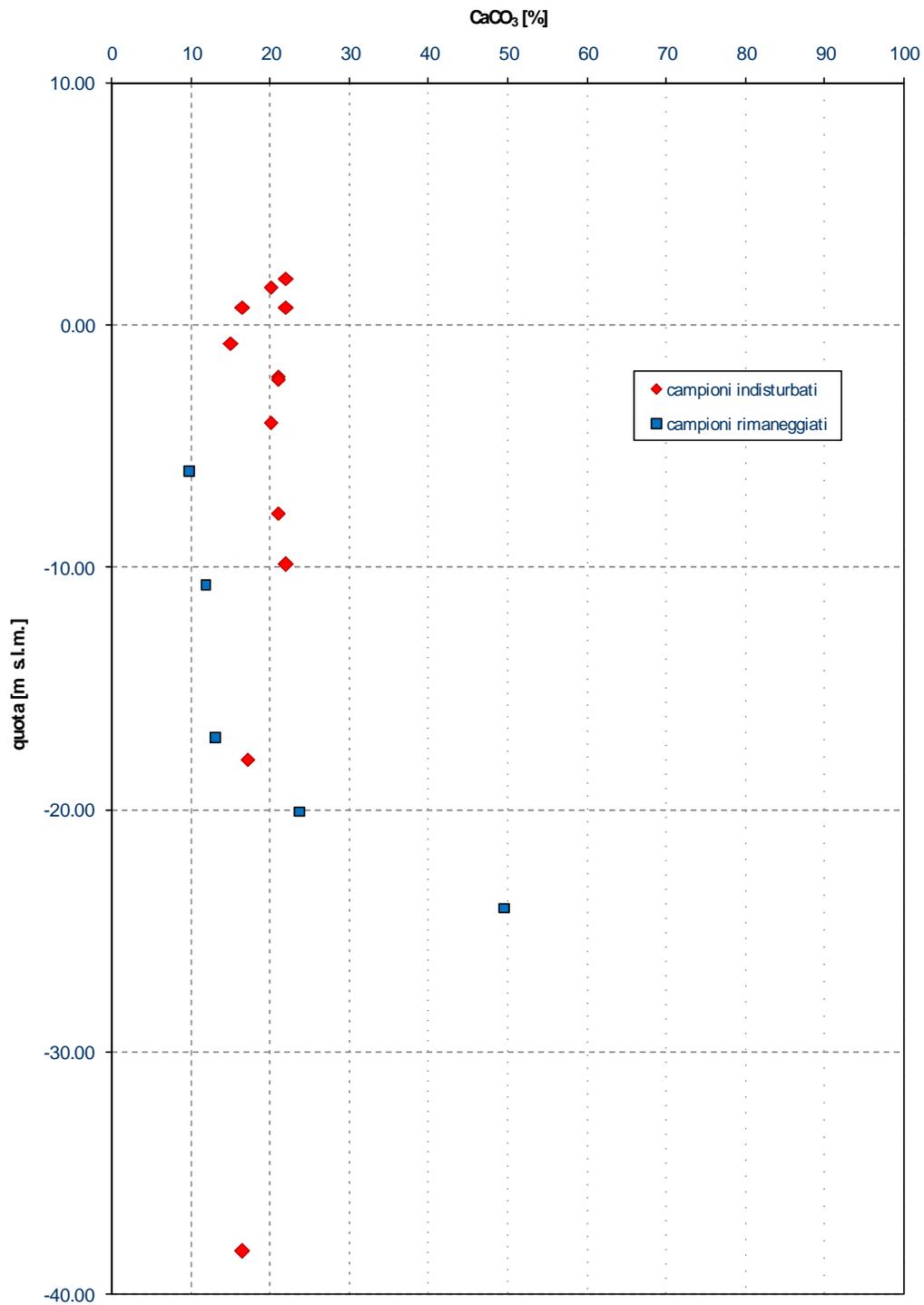


Figura 8.8 – Contenuto di carbonati

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	68	142

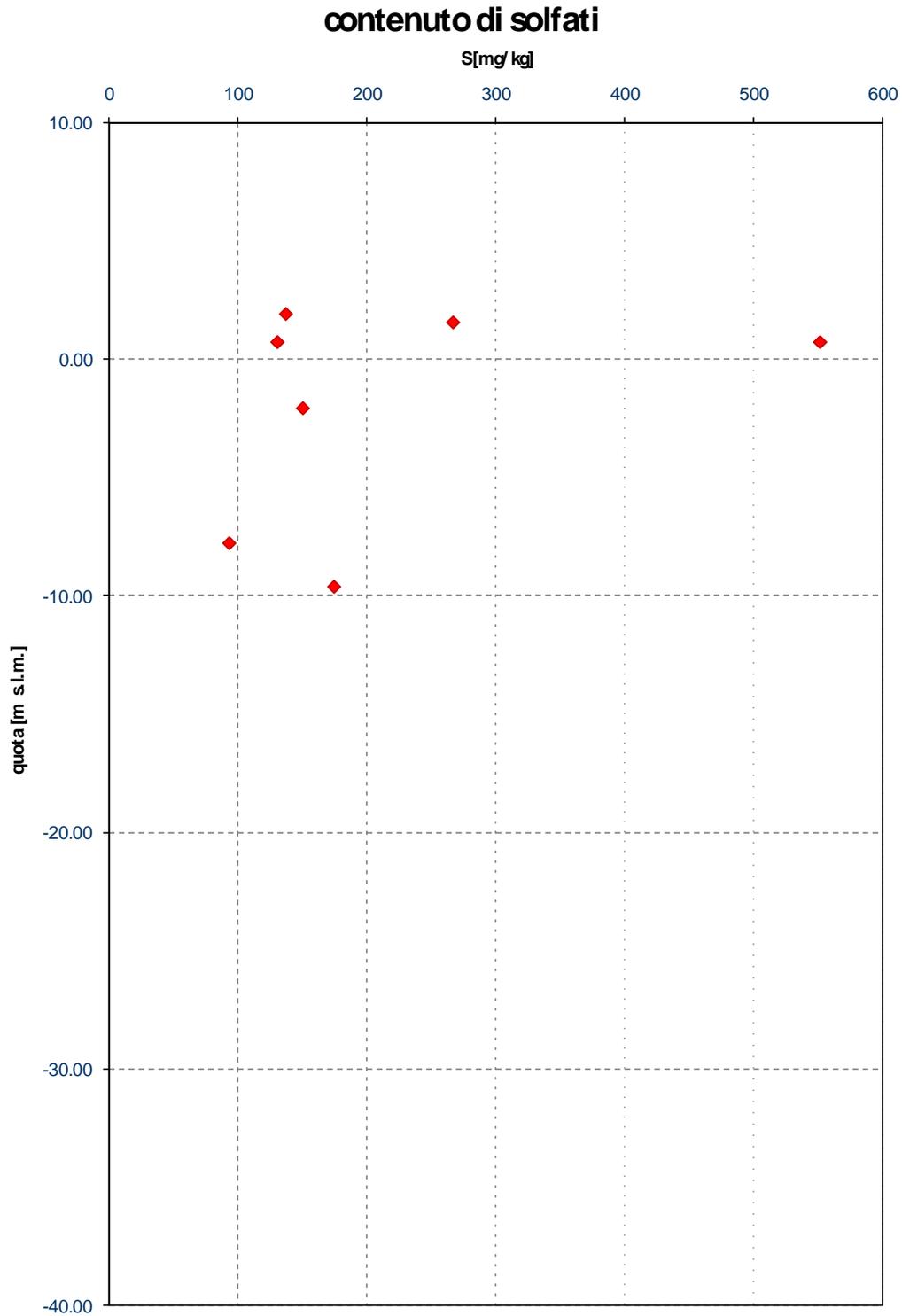


Figura 8.9 – Campioni indisturbati – Contenuto di solfati

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	69	142

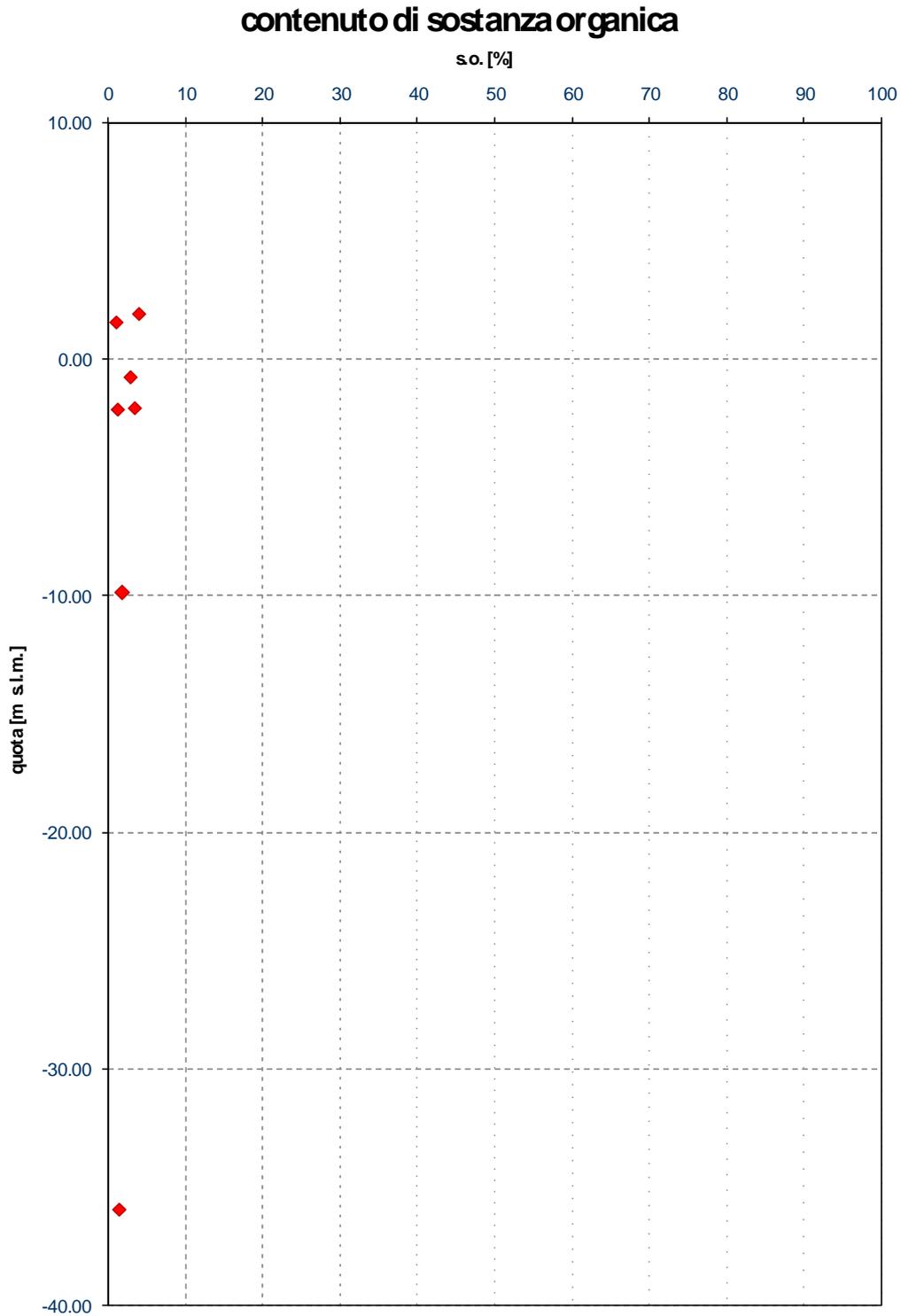


Figura 8.10 – Campioni indisturbati - Contenuto di sostanza organica.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	70	142



sondaggio	CAMPIONE	PROF. da p.c	QUOTA s.l.m.	γ	e	w	G	S	L	A	L+A	LL	LP	IP	γ_{grani}	CaCO ₃	S	s.o.
n.	n.	m	m	kN/m ³	(-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(mg/kg)	(%)
S1	A	12.00	-2.13	19.23		29	3	69	21	7						21		1.14
		12.30	-2.43				8	42	36	14								
	B	16.50	-6.63															
	C	19.50	-9.63	18.52		31		3	47	50			48	24	24			174
	D	22.00	-12.13	18.83	0.754	27			4	68	27							
	E	39.00	-29.13	19.81		25			8	61	31							
	F	48.00	-38.13						2.2			98						
G	57.20	-47.33	19.00				1.9	66			32							
S3	A	6.00	1.55	19.78		24		8	51	41		44	22	22	2.751	20	267	1.0
	B	9.00	-1.45	18.41		35		1	59	40		58	26	32				
	C	12.00	-4.45	18.55	0.818	30		3	63	34		54	23	31				
	D	15.30	-7.75	19.03		27			34	46	20		36	19	17		21	93
	E	25.50	-17.95				0.2	40				60	37.7	22.2	15.5		17.1	
	F	37.50	-29.95									84	32.2	19.7	12.5			
	G	43.50	-35.95	20.1		26		0.8	67	32		40.4	17.4	23				1.3
	H	48.50	-40.95	19.2					36			64						
	I	54.00	-46.45						4.9			95						
S4	A	5.00	0.74	19.35	0.73	27		2	59	39		49	21	28		22	130	
	B	6.50	-0.76	18.13	0.961	34		1	50	49		65	28	37		15		2.84
S5	A	6.00	1.93	19.91		20		2	47	51		54	22	32		22	137	3.86
	B	10.00	-2.07	18.90		28		3	56	41		47	22	25			150	3.35
	C	21.00	-13.07	18.85		25		11	60	29		43	20	23				
	D	28.80	-20.87	19.93		26		2	48	49		47	21	26	2.646			
	E	39.60	-31.67			25		30			71							
	F	45.00	-37.07	19.49		23		11	57	32		32	17	15				
	G	51.00	-43.07	19.2		28		39	56	6		28.3	20	8.3				
	H	60.00	-52.07					36			65							
	I	69.00	-61.07	20.6		21		45	49	6		25.8	18.8	7				
	L	72.00	-64.07					45			55							
	M	81.00	-73.07					45			55							
	N	91.50	-83.57	20.3		23		2	78	20		42	23.2	18.8				
	O	97.50	-89.57					6.6			93							
S7	A	12.00	-4.01	18.51		31		12	57	31		43	21	22		20		
	B	42.00	-34.01	19.8		26		0.3	80	20		39.7	21.9	17.8				
S8	A	7.50	0.75	19.2	0.769	29		2	57	41		52	23	29		16.5	552	
	B	10.50	-2.25	19.13		28		2	53	45		48	23	25		21		
	C	13.50	-5.25	18.72		29		15	56	29		42	20	22				
	D	18.00	-9.75	18.72	0.815	29		12	69	19								
	E	21.00	-12.75					32			78							
	F	36.00	-27.75	20.04	0.645	24		25	42	32								
	G	40.50	-32.25	20.4		23		17	71	12		32.8	21.3	11.5				
	H	46.50	-38.25					36			64						16.5	
	I	52.50	-44.25															
	L	57.00	-48.75															
	M	66.00	-57.75					13			87							
	N	75.00	-66.75															
S9	B	15.00	-9.88	18.77	0.785	28		9	62	30						22		1.83

Tabella 8.I – Campioni indisturbati - Parametri di laboratorio da prove di classificazione

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	71	142



sondaggio	CAMPIONE	PROF. Da p.c.	QUOTA s.l.m.	G	S	L+A	CaCO ₃
n.	n.	m	m	(%)	(%)	(%)	(%)
S4	R1	16.50	-10.76	52.4	36.1	11.5	11.8
S5	R1	14.00	-6.07	45.2	49.7	5.1	9.9
	R2	25.00	-17.07	54.9	36.1	9	13.2
	R3	28.00	-20.07	51.9	37	11.1	23.8
	R4	32.00	-24.07	1.7	86.1	12.2	49.7

Tabella 8.II – Campioni rimaneggiati - Parametri di laboratorio da prove di classificazione.

Nelle tabelle sopra riportate:

- γ = peso di volume [kN/m³];
w = contenuto d'acqua naturale [%];
e = indice dei vuoti;
G = ghiaia [%]
S = sabbia [%];
L = limo [%];
A = argilla [%];
LL = limite liquido [%];
LP = limite plastico [%];
IP = indice di plasticità [%];
 γ_{grani} = peso specifico dei grani;
CaCO₃ = contenuto di carbonati [%];
S = contenuto di solfati [mg/kg];
s.o. = contenuto di sostranza organica [%].

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	72	142



Prove di consolidazione edometrica

- ad incrementi di carico controllati - tipo Edo IL – con ciclo intermedio di scarico e ricarico;
- con controllo della velocità di deformazione - tipo CRS;
- ad incrementi di carico controllati, con determinazione del parametro K_0 .

Dalle *prove edometriche di tipo EDO IL* sono stati ricavati i valori del modulo di compressione, M , dei coefficienti di consolidazione primaria c_v , e secondaria, c_α , e del coefficiente di permeabilità k , per ciascuno degli intervalli di carico applicati nel corso della prova.

I valori di M riferiti al valore di sforzo geostatico di pre-consolidazione (σ'_p) sono compresi tra 8 MPa e 30 MPa.

Il grado di sovraconsolidazione dei materiali, ricavato dai diagrammi di compressibilità ottenuti in laboratorio, varia tra 1.35 e 2.67; i materiali in sito risultano pertanto sovraconsolidati.

Le *prove edometriche CRS* (9 in totale), hanno consentito di seguire l'andamento delle grandezze di interesse per tutto l'arco delle prove stesse; i risultati confermano quanto ottenuto dalle prove edometriche tradizionali.

I valori della pressione interstiziale sviluppata dal provino nel corso della fase di compressione sono risultati fortemente variabili da prova a prova e generalmente compresi tra 3% e 20%, anche se in 2 casi si sono raggiunti valori massimi di Δu pari al 45-50% dello sforzo verticale efficace.

I valori dei parametri M , c_α , c_v sono risultati notevolmente diversi all'inizio di ciascuna prova – campo sovraconsolidato - e al termine della stessa – campo normalconsolidato.

I campioni risultano tutti sovraconsolidati ($OCR\ 1.35 \div 5.12$); i valori del modulo M riferiti al valore di σ_p , sono compresi tra 4 MPa e 22 MPa.

La *prova edometrica con determinazione del parametro di spinta a riposo* ha fornito valori di K_0 per di differenti valori del carico applicato sia nel campo sovraconsolidato sia nel campo vergine.

Il campione presenta una leggera tendenza al rigonfiamento fino a carichi di 25 kPa.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	73	142



Il valore di K_0 è inizialmente pari a 1.44; scende fino a valori di 0.66 nel campo normalconsolidato. In corrispondenza dell'attuale sforzo geostatico, K_0 può essere assunto pari a circa 1.1.

I valori dei parametri M , c_v , $c_{\alpha\varepsilon}$, OCR e k sono riassunti nelle tabelle 8.III e 8.IV; tali valori, graficati in funzione della quota assoluta a cui si riferiscono, sono mostrati nei grafici delle figure 8.11 ÷ 8.13.

Per quanto concerne il *coefficiente di consolidazione secondaria* è da osservare i valori di $c_{\alpha\varepsilon}$ ottenuti in condizione edometriche possono essere anche molto differenti da quelli caratteristici del materiale che in sito dovrà sopportare dei carichi e sarà quindi soggetto a cedimenti.

Il verificarsi di cedimenti secondari e soprattutto l'entità degli stessi risulta molto influenzata dalla storia tensionale del materiale, come ampiamente discusso da Vermeer et al (2007). Con riferimento a quanto proposto dagli autori, è stata valutata la riduzione del coefficiente $c_{\alpha\varepsilon}$ per materiali sovraconsolidati.

In particolare, per lo strato A, fortemente sovraconsolidato è stata calcolato un valore di $c_{\alpha\varepsilon}$ dell'ordine di oltre 10^{-30} ; per lo strato D, caratterizzato da valori di OCR attorno a 1.4, il valore di $c_{\alpha\varepsilon}$ è risultato pari a $2 \cdot 10^{-10}$; infine per lo strato E il valore di $c_{\alpha\varepsilon}$ è di circa $8 \cdot 10^{-9}$.

I valori del coefficiente di consolidazione secondaria sopra riportati rendono quasi del tutto nulla e sicuramente trascurabile, l'entità dei cedimenti secondari per gli strati A, D ed E.

Per i materiali dello strato B, invece, data l'incertezza circa l'effettivo grado di sovraconsolidazione, non si ritiene di applicare alcuna riduzione del valore $c_{\alpha\varepsilon}$ ottenuto da prove edometriche ($c_{\alpha\varepsilon} = 0.362\%$). Questa assunzione risulta confermata anche dall'evidenza di un fenomeno di creep piuttosto marcato osservato su provini sottoposti a prova triassiale con misure locali delle deformazioni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	74	142

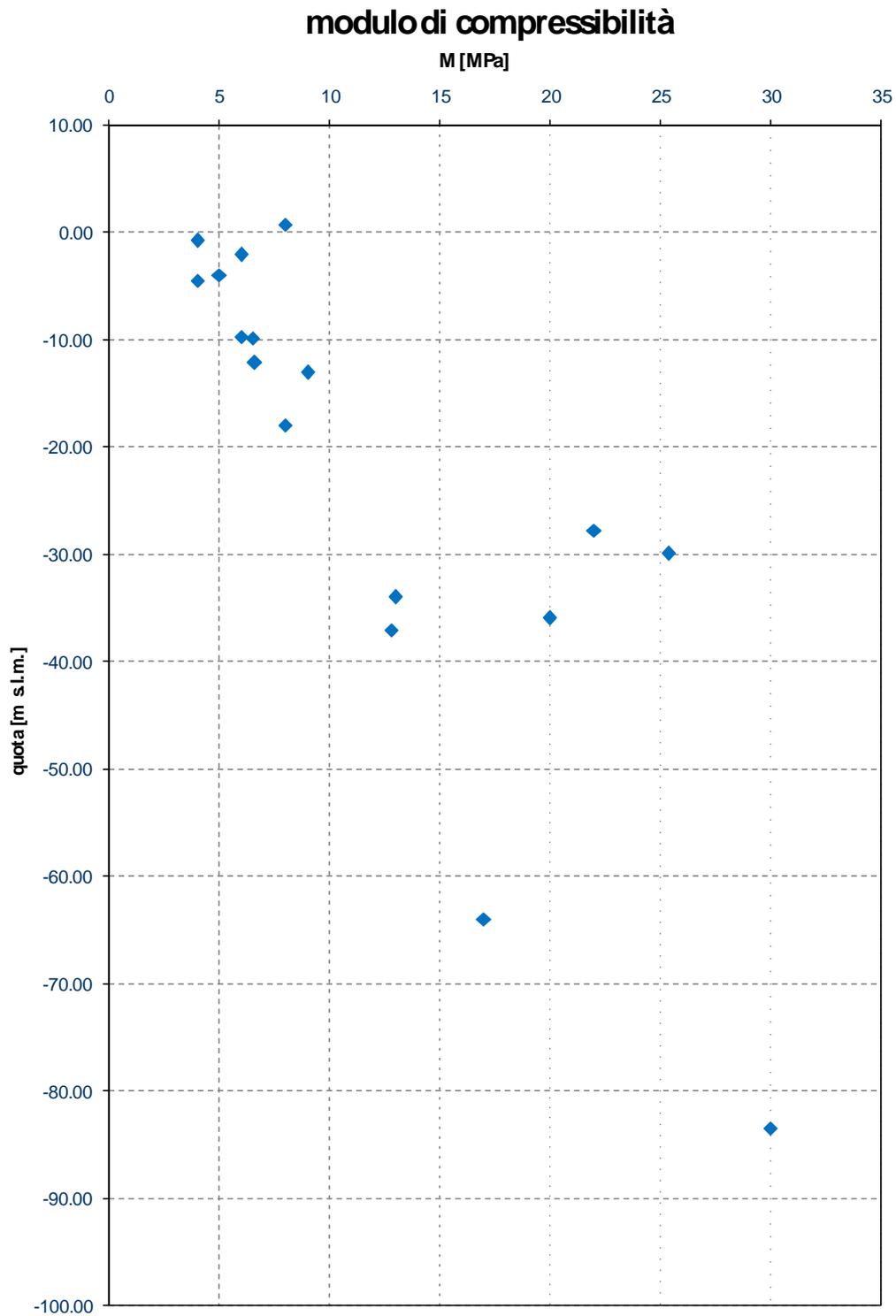


Figura 8.11 – Campioni indisturbati – Modulo di compressione

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	75	142

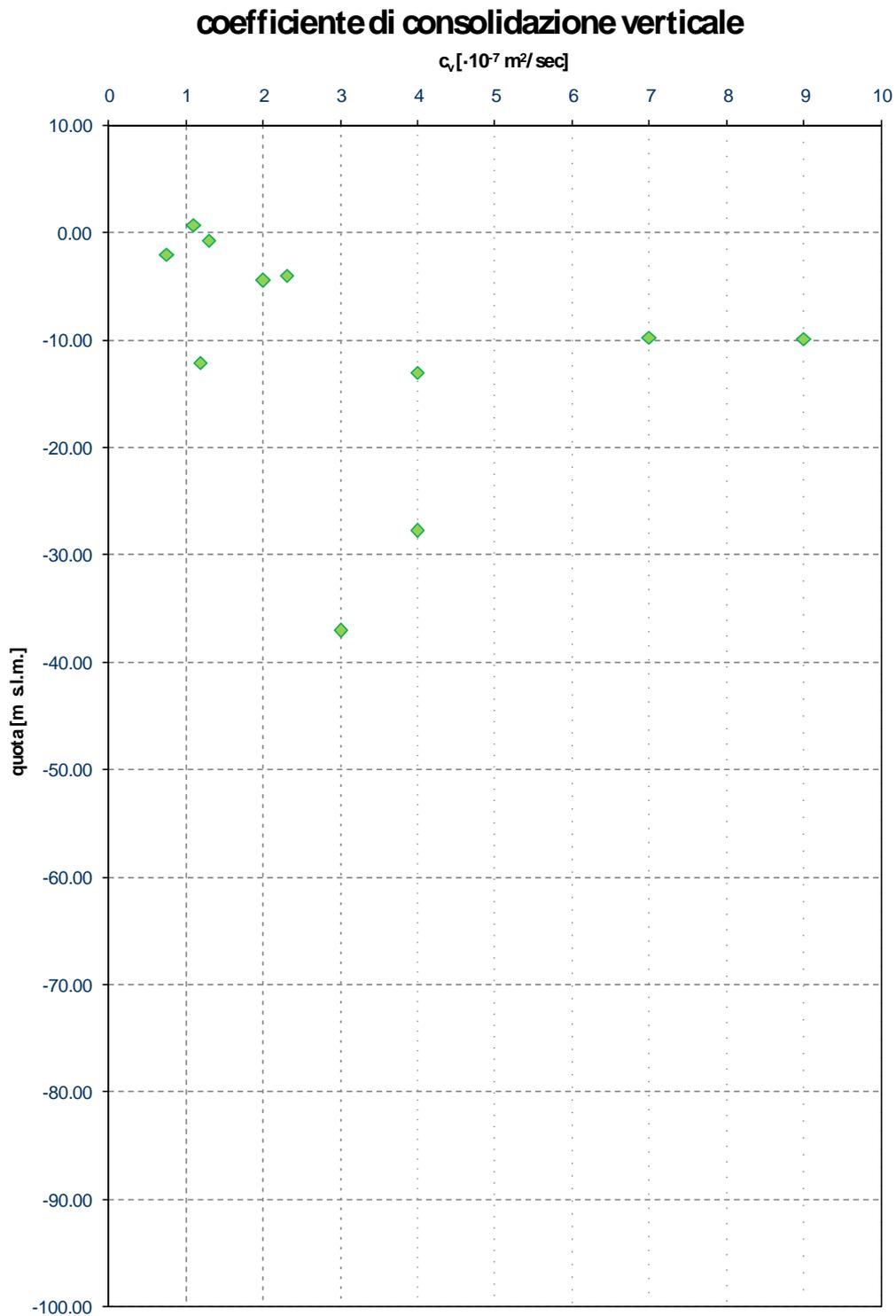


Figura 8.12 – Campioni indisturbati – Coefficiente di consolidazione verticale.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	76	142

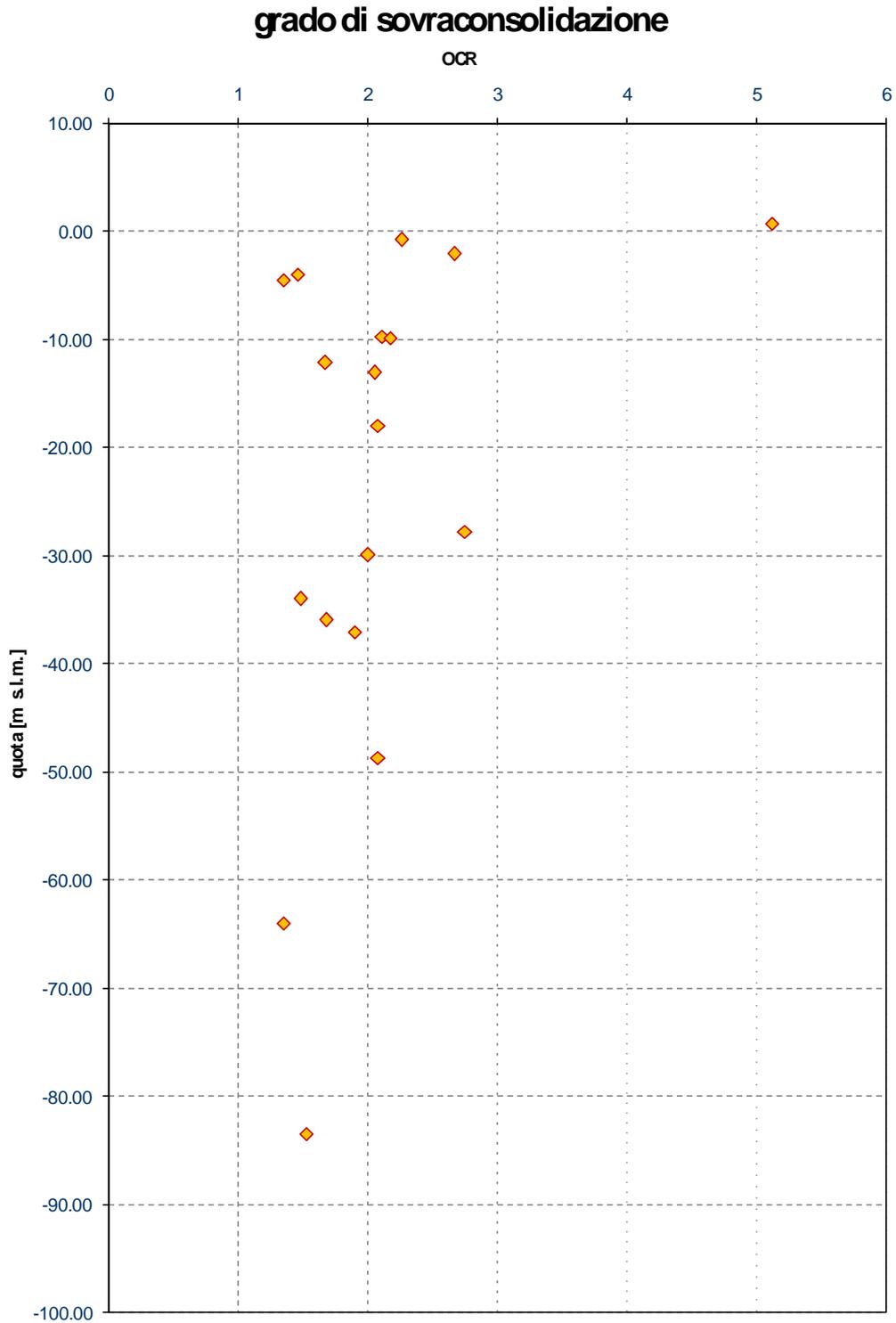


Figura 8.13 – Campioni indisturbati – Valori del grado di sovraconsolidazione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	77	142



sondaggio - campione	quota	Δ carico	c_v	c_α	M	k
	[m s.l.m.]	[kPa]	[* 10 ⁻⁷ m ² /s]	[* 10 ⁻³]	[MPa]	[* 10 ⁻¹⁰ m/s]
S3-E	-17.95	100-200	1.60	1.60	6.98	2.2
		200-400	1.40	3.00	7.94	1.8
		400-800	0.87	4.50	9.65	0.87
		800-1600	0.74	5.10	17.3	0.43
		1600-3200	0.67	5.20	31.6	0.21
		3200-6400	0.60	6.00	62.87	0.096
S3-F	-29.95	300-600			31.4	
		600-1200	2.60	4.70	15.9	1.60
		1200-2400	2.00	4.30	22.1	0.90
		2400-4000	1.20	4.30	45.5	0.25
S3-G	-35.95	400-600			29.5	
		600-800	1.60	1.60	13.1	1.20
		800-1600	0.95	0.60	13.4	0.70
		1600-3200	0.80	0.52	24.2	0.33
S5-L	-64.07	3200-6400	0.71	0.50	61.2	0.11
		400-600			19.3	
		600-800			16.6	
		800-1600	11.00	3.50	19.7	5.60
		1600-3200	6.60	3.00	31.4	2.10
S5-N	-83.57	3200-6400	6.00	3.80	55.1	1.10
		300-500			51.2	
		500-1000	6.40	0.98	34.8	1.90
		1000-2000	1.50	6.10	23.6	0.63
		2000-4000	0.90	6.40	29.8	0.32
S7-B	-34.01	4000-6000	0.54	5.60	58.9	0.092
		200-400	0.71	1.30	13.1	0.54
		400-800	0.67	3.10	12.7	0.53
		800-1600	0.51	4.50	18.0	0.29
		1600-3200	0.43	4.90	24.2	0.15
S8-L	-48.75	3200-6400	0.38	5.00	61.2	0.65
		200-400			42.5	
		400-800	8.00	1.60	33.1	2.40
		800-1600	3.40	3.90	24.0	1.40
		1600-3200	2.40	3.90	31.8	0.74
		3200-6000	2.00	4.10	59.9	0.34

Tabella 8.III – Risultati delle prove edometriche di tipo EDO IL

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	78	142



sondaggio	CAMPIONE	PROF. da p.c.	QUOTA s.l.m.	σ'_p	OCR	M	c_v	c_{α}	k
n.	n.	m	m	(kPa)	(-)	(MPa)	($\cdot 10^{-7} m^2/s$)	(%)	($\cdot 10^{-8} cm/s$)
S1	D	22.00	-12.13	395	1.67	6.6	1.19		1.4
S3	C	12.00	-4.45	178	1.35	4	2.00		4.7
	E	25.50	-17.95	472	2.08	8			
	F	37.50	-29.95	727	2.00	25.4			
	G	43.50	-35.95	700	1.68	20			
S4	B	6.50	-0.76	169.5	2.26	4	1.29		4
S5	B	10.00	-2.07	294	2.67	6	0.75	0.362	0.8
	C	21.00	-13.07	421.6	2.05	9	4		4
	F	45.00	-37.07	800	1.9	12.8	3		1.6
	L	72.00	-64.07	900	1.35	17			
	N	91.50	-83.57	1277	1.52	30			
S7	A	12.00	-4.01	222.4	1.46	5	2.31		5
	B	42.00	-34.01	624.7	1.48	13			
S8	A	7.50	0.75	353	5.12	8	1.1	0.3	
	D	18.00	-9.75	348	2.11	6	7		9.5
	F	36.00	-27.75	900	2.75	22	4		2.9
S9	B	15.00	-9.88	300	2.17	6.5	9		15.3

Tabella 8.IV – Risultati delle prove edometriche

Nelle tabelle sopra riportate:

- σ'_p = sforzo geostatico di pre-consolidazione [kPa];
 OCR = grado di sovraconsolidazione;
 M = modulo di compressibilità edometrica [MPa];
 c_v = coefficiente di consolidazione verticale [m^2/sec]
 c_{α} = coefficiente di consolidazione secondaria [%];
 k = coefficiente di permeabilità [cm/sec].

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	79	142



Prove di resistenza al taglio

- prova di compressione ad espansione laterale libera - ELL;
- prove triassiali (di tipo UU e con misura locale delle deformazioni, di tipo CIU);
- prova di taglio diretto.

I valori di coesione non drenata, c_u , ricavati da prove di compressione ELL, prove triassiali UU e da misure di pocket penetrometro eseguite su campioni indisturbati, sono compresi tra 30 kPa e 85 kPa nei campioni prelevati più superficialmente; i valori ottenuti da prove su campioni estratti a profondità $>38 \div 40$ m circa da p.c. risultano variabili da 100 kPa a oltre 400 kPa.

I valori di coesione drenata c' sono compresi tra 0 kPa e 43 kPa; l'angolo d'attrito di picco è risultato generalmente variabile da 21° a 25° ; l'angolo d'attrito residuo varia da 17° a 22° .

La prova triassiale con misura locale delle deformazioni condotta su 3 provini consolidati isotropicamente ed in condizioni non drenate (Tx CKoU), ha posto in evidenza un fenomeno di creep piuttosto marcato. Una volta raggiunto il carico assiale di prova, i provini infatti hanno mostrato incrementi di deformazione assiale non trascurabili, da 0.32% a 1% (provino 1 - $\sigma'_a = 111.8$ kPa), da 1.6% a 3% (provino2 - $\sigma'_a = 211.6$ kPa), da 3.1% a 3.8% (provino 3 - $\sigma'_a = 310.1$ kPa).

Per ciascuna prova è fornito l'andamento dei valori del modulo non drenato E_u in funzione della deformazione assiale ϵ_a . Il valore di E_{u50} , ovvero del modulo non drenato associato al 50% della deformazione assiale, è risultato pari a 8 MPa \div 12 MPa per diversi valori di pressione verticale applicata.

I risultati sono riportati nelle figure 8.14 \div 8.17 seguenti e riassunti nella tabella 8.V.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	80	142

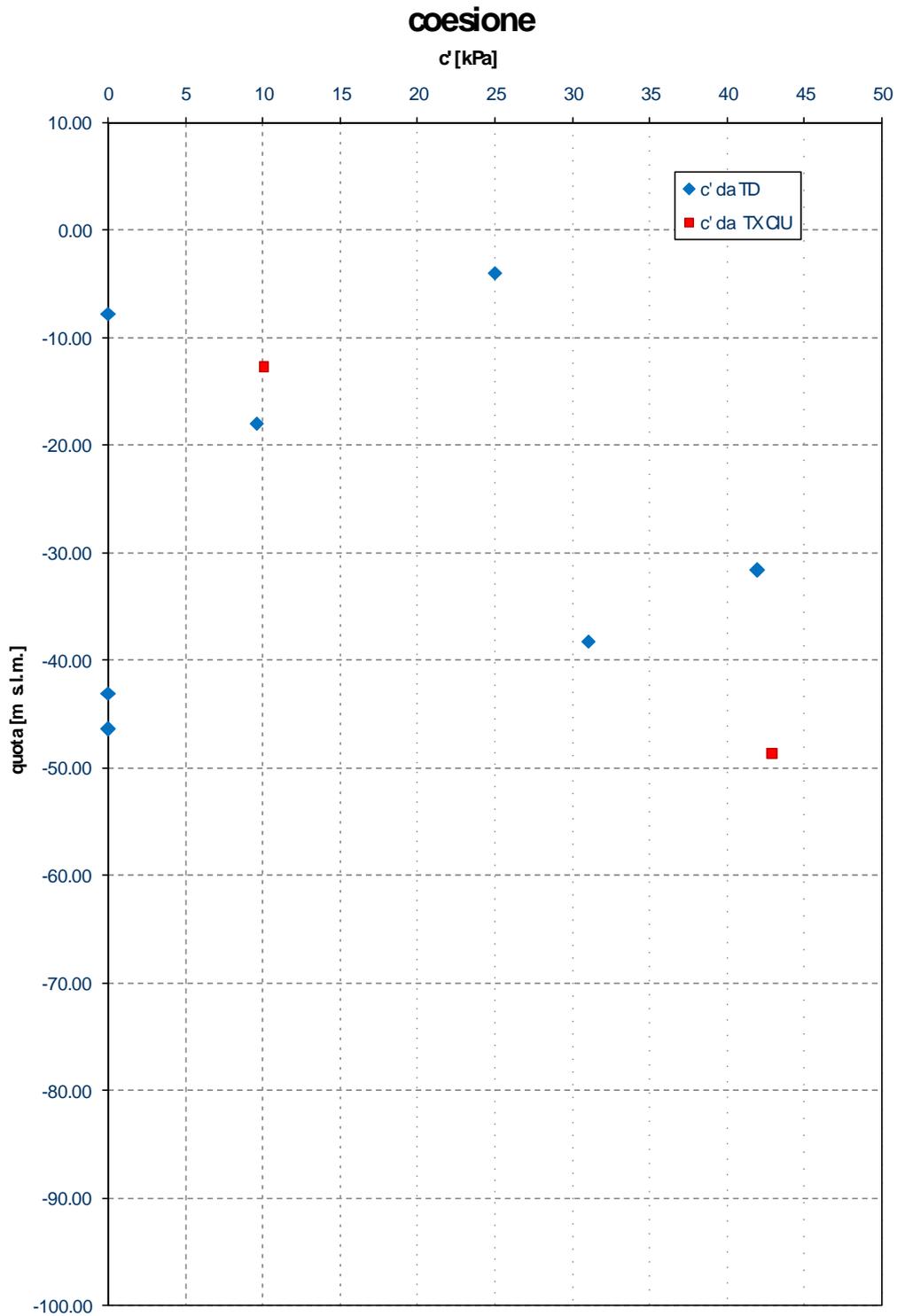


Figura 8.15 – Campioni indisturbati – Valori di coesione drenata

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	82	142

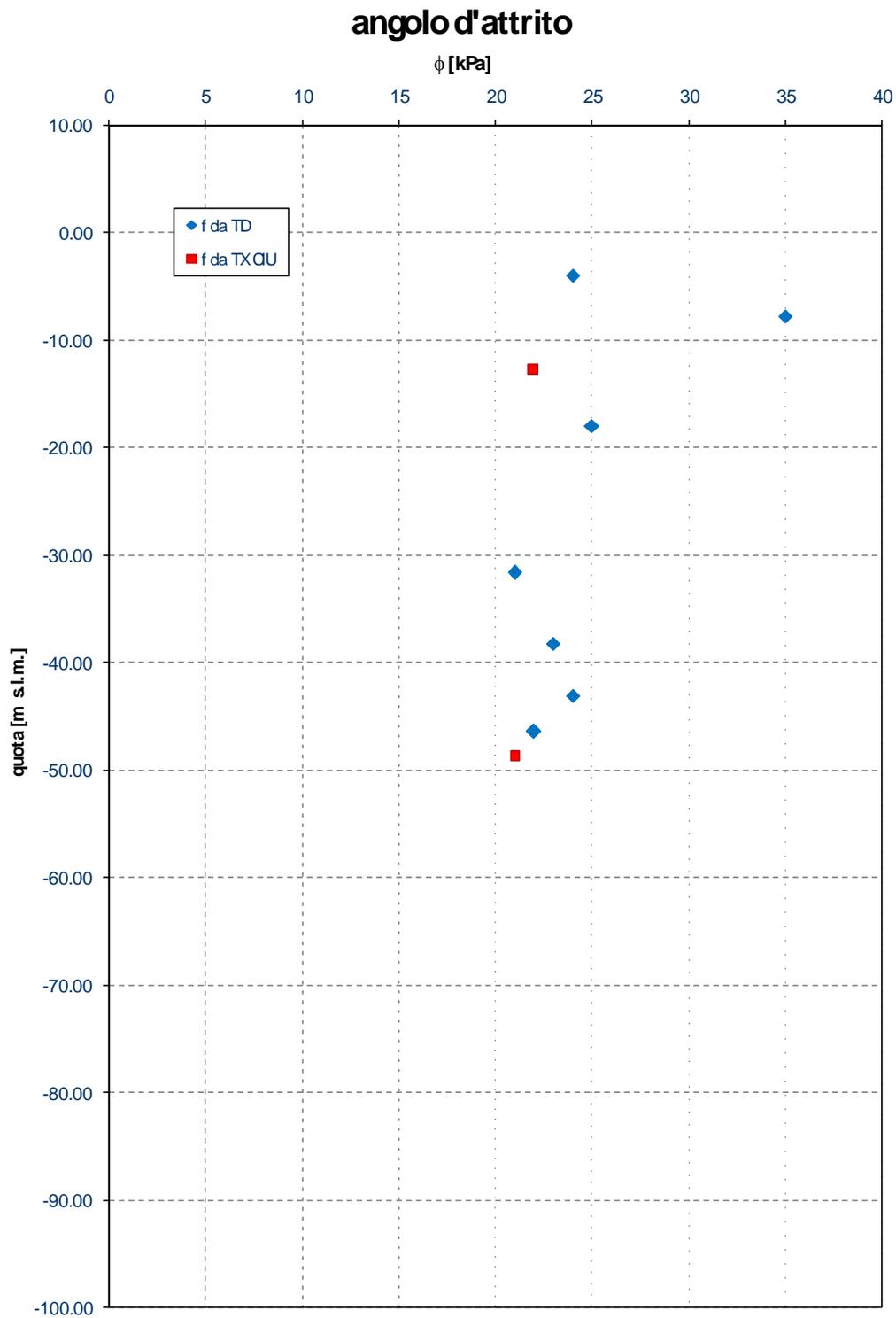


Figura 8.16 – Campioni indisturbati – Valori di angolo d’attrito di picco.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	83	142

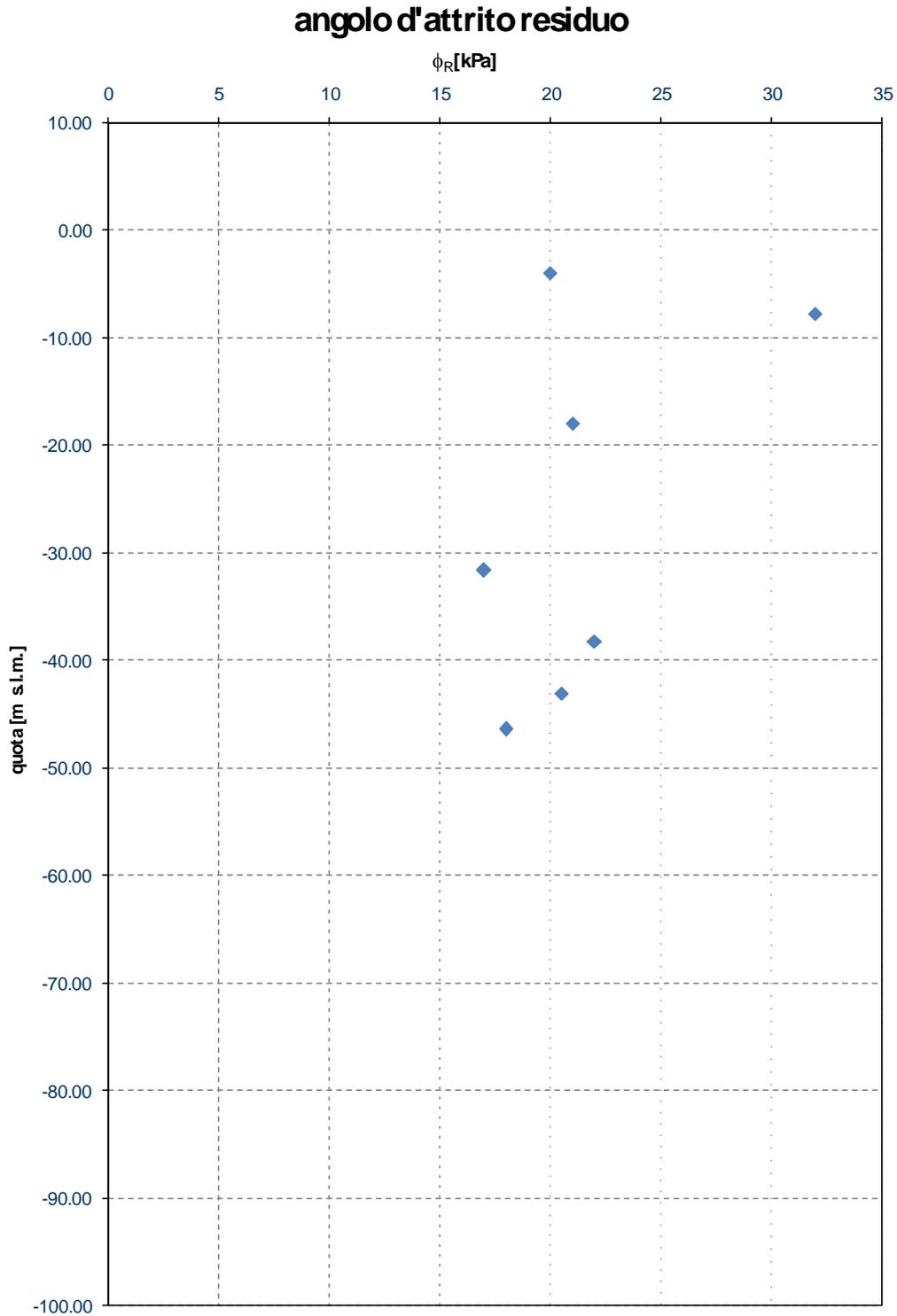


Figura 8.17 – Campioni indisturbati – Valori di angolo d’attrito residuo.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	84	142



sondaggio	CAMPIONE	PROF. da p.c.	QUOTA s.l.m.	c_u (1)	c_u (2)	c'	ϕ	ϕ_R	PK
n.	n.	m	m	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(°)	(kPa)
S1	C	19.50	-9.63						10
	D	22.00	-12.13	80					
	F	48.00	-38.13						280
S3	B	9.00	-1.45						120
	C	12.00	-4.45						120
	D	15.30	-7.75			0	35	32	130
	E	25.50	-17.95			9.6	25	21	200
	F	37.50	-29.95						240
	G	43.50	-35.95		210				260
	H	48.50	-40.95						270
	I	54.00	-46.45	185		0	22	18	
	S4	A	5.00	0.74	85				
B		6.50	-0.76		37				
S5	A	6.00	1.93						350
	B	10.00	-2.07						160
	C	21.00	-13.07		66				150
	D	28.80	-20.87						310
	E	39.60	-31.67	107		42	21	17	180
	F	45.00	-37.07						280
	G	51.00	-43.07			0	24	20.5	260
	H	60.00	-52.07		425				310
	I	69.00	-61.07	175					
	L	72.00	-64.07						450
	M	81.00	-73.07						450
N	91.50	-83.57		340					
O	97.50	-89.57	300					450	
S7	A	12.00	-4.01	30		25	24	20	110
	B	42.00	-34.01		100				140
S8	A	7.50	0.75						180
	B	10.50	-2.25						170
	C	13.50	-5.25						110
	D	18.00	-9.75		44				110
	E	21.00	-12.75			10	22		120
	F	36.00	-27.75		175				260
	G	40.50	-32.25	188					
	H	46.50	-38.25			31	23	22	280
	I	52.50	-44.25		270				300
	L	57.00	-48.75			43	21	0	
	M	66.00	-57.75						290
	N	75.00	-66.75						
	S9	B	15.00	-9.88					

(*)

$c_{u(1)}$: da prove di compressione ad espansione laterale libera

$c_{u(2)}$: da prove triassiali non consolidate non drenate

(*) dato non significativo: il campione si presentava rammollito

Tabella 8.V – Campioni indisturbati – Risultati delle prove di resistenza al taglio.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	85	142



Nella tabella:

c_u = coesione non drenata [kPa];

c' = coesione [kPa]

ϕ = angolo d'attrito [°];

ϕ_R = angolo d'attrito residuo [°];

PK = coesione non drenata da pocket penetrometro [kPa].

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	86	142



8.1 Prove dinamiche

Data l'importanza del progetto in esame, è stata richiesta l'esecuzione di prove di laboratorio che permettessero l'analisi del comportamento dei terreni in sito con riferimento a situazioni di sforzo ciclico e/o dinamico, quali possono presentarsi in caso di sisma.

In particolare sono state eseguite le seguenti prove:

- Prove triassiali cicliche a liquefazione;
- Prove triassiali cicliche di tipo "Property";
- Prove di colonna risonante;
- Misurazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio e di compressione V_S e V_P su provini triassiali.

Le prove triassiali cicliche a liquefazione sono state condotte su provini sottoposti a valori di SR (stress ratio = $\Delta\sigma_a/2\sigma'_r$) rappresentativi di eventi sismici associati a tempi di ritorno T di 475 anni e di 10000 anni.

Ciascun provino è stato dapprima sottoposto ad una prova applicando il valore di SR più basso, per circa 50 cicli. È stata poi lasciata dissipare la pressione interstiziale accumulata e quindi si è proceduto applicando il carico ciclico relativo al secondo valore di SR; il numero di cicli di carico applicati è stato tale da portare il campione in condizioni critiche (ad esclusione di quanto avvenuto per il provino S5-A).

In tutti i casi si è potuto osservare che per valori di SR bassi, i campioni non hanno subito deformazioni significative: i valori della deformazione assiale (ϵ_a) sono compresi tra 0.02% e 0.7%.

Per valori di SR elevati, invece, i provini hanno subito un fenomeno analogo alla liquefazione; data l'elevata percentuale di frazione fine presente nei campioni in esame anziché di liquefazione vera e propria si parla di "rottura ciclica". Nella realtà, i materiali hanno subito una perdita di consistenza dovuta alla generazione di pressione interstiziale e all'annullamento delle tensioni efficaci.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	87	142



Nella tabella 8.1.I seguente sono riassunti i principali valori dei parametri caratteristici:

- N = numero di cicli;
- ΔU = pressione interstiziale sviluppata;
- $\Delta\sigma_a$ = incremento di tensione assiale;
- ε_a = deformazione assiale osservata;
- RU = $\Delta U_{\max}/\sigma'_r$ essendo ΔU_{\max} il valore massimo di U raggiunto in ogni ciclo.

Con riferimento alla prova condotta applicando il valore di SR più elevato – seconda fase ciclica – si riporta un confronto tra il numero di cicli necessari a raggiungere livelli di deformazione assiale ε_a pari all'1% e al 2%, il numero di cicli necessario a raggiungere lo stato di “liquefazione” (associato convenzionalmente a RU = 0.9) e le caratteristiche di granulometria e plasticità di ciascun provino (tabella 8.1.II).

Da notare che, al diminuire della frazione di fine presente nel campione, il numero di cicli necessari per portare il provino a rottura decresce; per provini aventi granulometria molto simile (S5-A e S5-B) la plasticità del materiale diventa discriminante perché si verifichi o meno il fenomeno della liquefazione.

PROVE TRIASSIALI A LIQUEFAZIONE

sondaggio - campione	quota	SR	N	ΔU	$\Delta\sigma_a$	ε_a	RU
	[m s.l.m.]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]	[%]	[-]
S1-A	-2.13	0.11	55	42	± 30	0.70	0.32
		0.24	30	130	± 70	2.00	1
S3-D	-7.75	0.10	52	28	± 32	0.04	0.16
		0.25	30	158	± 33	2.00	0.94
S5-A	1.93	0.08	51	8	± 14	0.02	0.076
		0.02	210	32	± 40	0.10	0.34
S5-B	-2.07	0.09	55	12	± 30	0.05	0.09
		0.44	47	120	± 120	10.00	0.93
S8-C	-5.25	0.04	54	5	± 10	0.02	0.038
		0.24	59	144	± 70	2.00	0.95

Tabella 8.1.I

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	88	142

**Seconda fase ciclica**

Sondaggio	Campione	SR	N(e _a =2%)	N(e _a =1%)	RU	N(RU=0.9)	S	L	A	L+A	LL	LP	IP
		-	-	-	-	-	%	%	%	%	%	%	%
S1	A	0.25	26	15	0.9	15	42	36	14	50			
S3	D	0.25	21	10	0.9	25	34	46	20	66	36	19	17
S5	A	0.20	-	-	0.9	1000	2	47	51	98	54	22	32
S6	B	0.44	2	1	0.9	35	3	56	41	97	47	22	25
S8	C	0.24	28	15	0.9	40	15	56	29	85	42	20	22

S1_A (50% fine)
S3_D (66% fine)
S5_A (98% fine)
S6_B (97% fine)
S8_C (85% fine)

Tabella 8.1.II

Mediante le prove triassiali di tipo Property, condotte generalmente su campioni aventi un elevato contenuto di fine, i provini vengono sottoposti a cicli di carico assiale di ampiezza crescente; al crescere della deformazione assiale ϵ_{sa} si ricava il decadimento dei valori di modulo di deformazione del terreno E.

Nella tabella 8.1.III seguente si riportano i valori di E iniziale, quelli per ϵ_{sa} pari a 0.01% e quelli per $\epsilon_{sa} = 0.1\%$; per questi due livelli di deformazione, si riportano anche i valori del rapporto di smorzamento D, definito come il rapporto tra l'energia dissipata in un ciclo di carico e l'energia elastica immagazzinata al massimo livello di deformazione.

Mediamente si osserva che il valore di E si riduce a circa 70 ÷ 80% del valore iniziale per deformazioni dello 0.01% e a circa 20 ÷ 30 % rispetto al valore E_i per deformazioni dello 0.1%.

Il rapporto di smorzamento passa da 5 ÷ 7 % a 12 ÷ 16%.

PROVE TRIASSIALI TIPO PROPERTY

sondaggio - campione	quota	E	E _{0.01%}	D _{0.01%}	E _{0.1%}	D _{0.1%}
	[m s.l.m.]	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[%]
S3-C	-4.45	175	130	7.0	40	16.0
S4-A	0.74	110	85	5.0	5	12.0
S4-B	-0.76	90	78	7.4	30	15.2
S6-B	-2.07	150	115	7.2	40	15.6
S8-A	0.75	115	90	6.4	36	12.6
S8-B	-2.25	215	150	7.6	55	15.6

Tabella 8.1.III

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	89	142



Nel grafico di figura 8.1.1 sono riportate le curve di decadimento di E/E_{max} , dove E_{max} rappresenta il valore del modulo di Young iniziale, in funzione del valore di deformazione assiale.

Il passaggio da un comportamento elastico ad uno elasto-plastico si osserva per deformazioni dell'ordine di $0.002\% \div 0.005\%$.

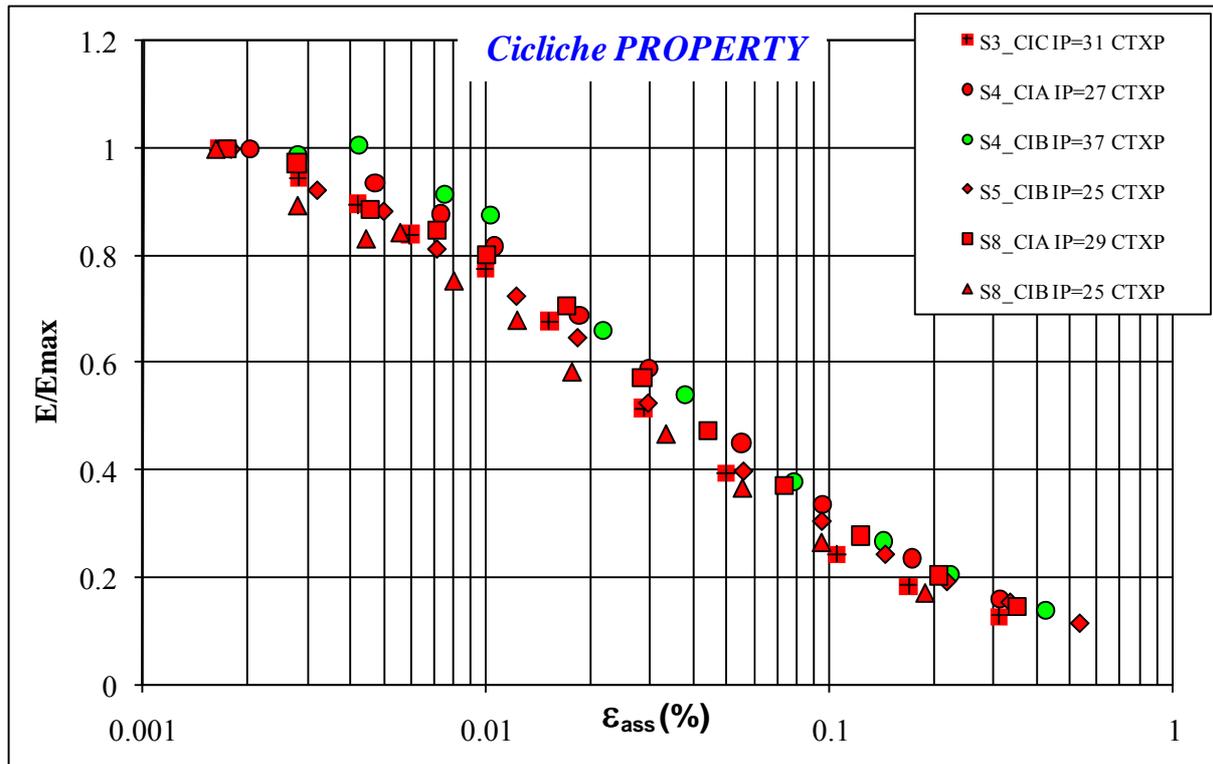


Figura 8.1.1

Le prove di colonna risonante hanno fornito valori del modulo di taglio G in funzione della deformazione di taglio γ . Nella tabella 8.1.IV seguente sono riportati i valori di G iniziale e finale (G_i e G_f), i valori di deformazione di taglio γ^*_{sa} (in corrispondenza del quale il valore del modulo di taglio G_i inizia a decrescere) e quelli finali γ_{saf} e i valori rapporto di smorzamento, D , iniziale e finale.

Al termine della prova, il valore di G si riduce a circa il 35% del valore iniziale nel caso del campione S3-A; per il campione S5-A la riduzione di G è pari a circa il 28% rispetto al valore G_i ; infine, sul campione S5-D, il valore G_f rappresenta il 28% di G_i .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	90	142



COLONNA RISONANTE

sondaggio - campione	quota	G_i	D_i	γ^*_{sa}	G_f	D_f	γ_{saf}
	[m s.l.m.]	[MPa]	[%]	[%]	[MPa]	[%]	[%]
S3-A	1.55	54.0	2.63	0.002	19.0	9.04	0.009
S5-A	1.93	45.5	3.00	0.004	13.0	12.87	0.28
S5-D	-20.87	105.0	2.10	0.004	27.2	12.70	0.23

Tabella 8.1.IV

La figura 8.1.2 mostra le curve di decadimento del rapporto $G/G_{max} - G_{max}$ pari al valore del modulo di taglio iniziale – in funzione della deformazione di taglio.

Le prove eseguite mostrano una dipendenza del valore γ^*_{sa} dall'indice di plasticità IP.

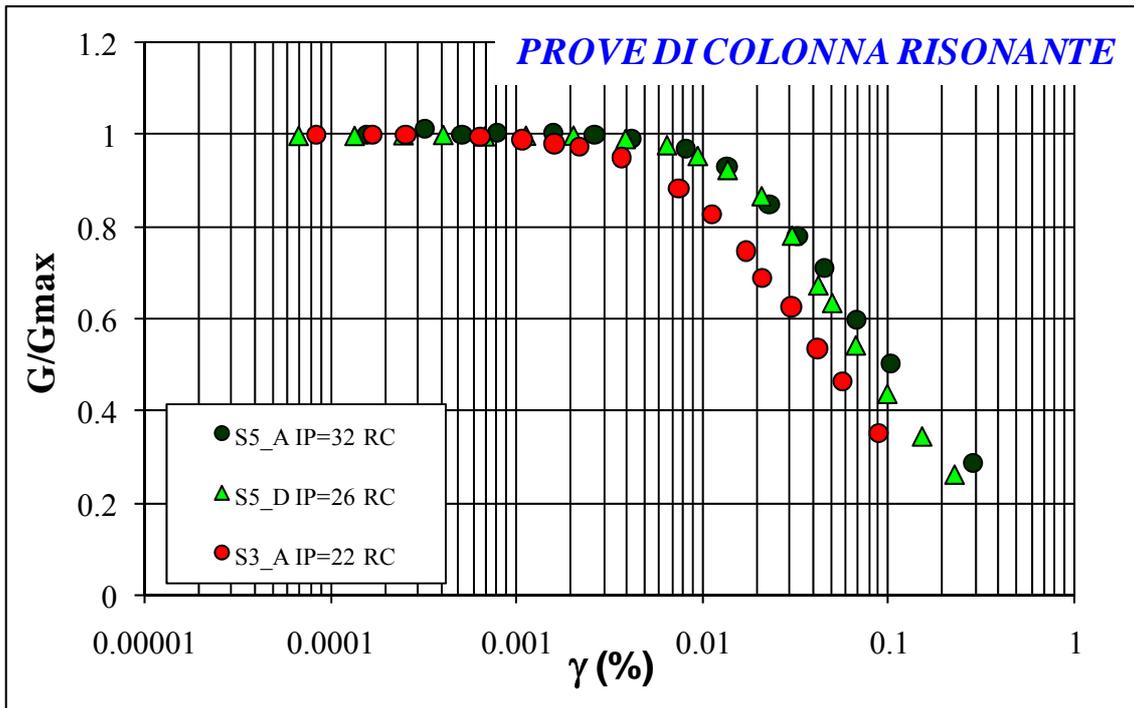


Figura 8.1.2

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	91	142



Sui provini già predisposti per prove triassiali è stata eseguita la determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio (propagate in direzione verticale e con movimento delle particelle in direzione orizzontale – $V_{s,VH}$) e in alcuni casi anche delle onde di compressione V_P .

La tabella sottostante 8.1.V riporta i valori ottenuti; in alcuni casi, differenti provini sono stati sottoposti a diversi valori della pressione verticale e di confinamento prima di procedere alla determinazione delle velocità V_s e V_P .

I valori delle velocità di taglio variano da circa 134 m/s a 244 m/s, mostrandosi crescenti con la profondità di campionamento; i valori delle velocità di compressione, invece, compresi tra 1843 m/s e 1863 m/s risultano meno dipendenti dalla profondità di prelievo del campione.

Dai valori di $V_{s,VH}$ sono stati ricavati i valori del modulo di taglio, G_{VH} ; si tratta di un valore di modulo G_0 , ovvero ricavato per un provino in condizioni indisturbate. I valori di G così ottenuti risultano generalmente più elevati di quelli ricavati da prove di colonna risonante poiché in tale prova essi sono associati a livelli di deformazione, pur piccoli ma diversi da zero.

VELOCITA' delle ONDE di TAGLIO e di COMPRESSIONE

sondaggio	CAMPIONE	PROF. Da p.c.	QUOTA s.l.m.	σ'_{v0}	$V_{s,VH}$	G_{VH}	σ'_{v0}	$V_{s,VH}$	G_{VH}	σ'_{v0}	$V_{s,VH}$	G_{VH}	σ'_{v0}	V_P	σ'_{v0}	V_P
n.	n.	m	m	(kPa)	(m/s)	(MPa)	(kPa)	(m/s)	(MPa)	(kPa)	(m/s)	(MPa)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
S1	A	12.28	-2.41	130	232.2	105.4								130	1705.3	
S	A	6.00	1.55	100	183.6	68.5								100	1766.7	
	B	9.00	-1.45	111	158.6	48.3	212	169.9	56.1	310	194.4	75				
	C	12.00	-4.45	135	164.5	53.1								135	1657.1	
	D	15.30	-7.75													
S	A	6.00	1.93	100	169.2	58.7								100	1734.6	
	B	10.00	-2.07	130	172.2	58.6	130	194.4	73.8					130	1751.9	130
	D	28.80	-20.87	280	244.4	120.3								280	1661.0	
S4	A	5.00	0.74	85	135.4	36.5								85	1770.0	
	B	6.50	-0.76	90	134.2	34.2								90	1832.0	
S	A	7.50	0.75	95	137	37										
	B	10.50	-2.25	150	186	68.3								150	1712.9	
	C	13.50	-5.25	151.1	222.6	97.9								151.1	1643.4	

Tabella 8.1.V

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	92	142



9. DEFINIZIONE DELLE STRATIGRAFIE DI PROGETTO

I dati raccolti nel corso della campagna di indagine in sito ed i risultati delle prove di laboratorio presentati nei paragrafi precedenti, hanno condotto all'elaborazione di 2 stratigrafie di progetto rappresentative dell'area di impianto.

La stratigrafia di progetto n.1 si riferisce alla zona dove saranno ubicati i serbatoi di stoccaggio del gas naturale, la torcia e altri edifici minori, quali la sottostazione elettrica e gli uffici amministrativi con l'annesso parcheggio.

La stratigrafia di progetto n.2 riguarda la zona a nord della ferrovia ancora esistente, dove sorgerà il serbatoio di stoccaggio dell'etilene insieme alle strutture connesse.

La principale differenza osservata è l'assenza degli strati sabbioso-ghiaiosi C/C', come evidenziato nel sondaggio S1 – area omogenea 2; in esso è stato ritrovato invece, un livello di limo argilloso con caratteristiche geomeccaniche analoghe a quelle dello strato A, che nell'area 1 si trova solo superficialmente.

Le due aree omogenee sono distinte in figura 9.1 seguente. Le successioni stratigrafiche di seguito descritte, sono riportate nelle figure 9.2 e 9.3.

STRATIGRAFIA DI PROGETTO n. 1

LIVELLO R: *materiale di riporto prevalentemente granulare, eterogeneo.* Ha spessore variabile da p.c. (5.74 m s.l.m. ÷ 8.27 m s.l.m.) alla quota di +0.80 m s.l.m..

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3;$$

$$\phi = 30^\circ.$$

Nota: il livello R è assente nell'area identificata come 1A, dove si trova invece uno strato vegetale di spessore 25 cm.

LIVELLO A: *limo argilloso, debolmente sabbioso, con tracce di essiccamento e/o di ossidazione.* Lo spessore è variabile tra 1.45 m e 3.3 m.

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 80 \text{ kPa};$$

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	93	142



$$\begin{aligned}\phi &= 23^\circ; \\ M &= 7 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

LIVELLO B: *argilla grigia, limosa, piuttosto plastica.* Lo spessore varia tra 16.70 m e 18.60 m.

$$\begin{aligned}\gamma &= 18.5 \text{ kN/m}^3; \\ c_u &= -\frac{38}{20} \cdot z + 20 \text{ [kPa]}; \\ \phi &= 23^\circ; \\ M &= -\frac{6}{20} \cdot z + 4 \text{ [MPa]}.\end{aligned}$$

LIVELLO C/C': *sabbia da media a grossolana (C) e ghiaia eterometrica in matrice sabbiosa-argillosa (C').* Presenta uno spessore variabile tra 6.60 m e 10.50 m.

$$\begin{aligned}\text{C:} \quad \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3; \\ \text{Dr} &= 40 \%; \\ \phi &= 30^\circ; \\ E &= 27 \text{ MPa.} \\ \text{C':} \quad \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3; \\ \text{Dr} &= 60 \%; \\ \phi &= 37^\circ; \\ E &= 38 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

LIVELLO D/D': *argilla limosa grigia (D) con lenti di limo argilloso sabbioso (D').* Lo spessore è di 18.0 m.

$$\begin{aligned}\text{D:} \quad \gamma &= 19.5 \text{ kN/m}^3; \\ c_u &= 90 \text{ kPa}; \\ \phi &= 22^\circ; \\ M &= 13 \text{ MPa.} \\ \text{D':} \quad \gamma &= 19.5 \text{ kN/m}^3;\end{aligned}$$

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	94	142



$$c_u = 100 \text{ kPa};$$

$$\phi = 23^\circ;$$

$$M = 15 \text{ MPa}.$$

LIVELLO E/E': *Alternanze di limo sabbioso debolmente argilloso (E) ed argilla limosa sabbiosa (E'). Spessore non determinato.*

$$E: \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 160 \text{ kPa};$$

$$\phi = 24^\circ;$$

$$M = 17 \text{ MPa}.$$

$$E': \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = > 200 \text{ kPa};$$

$$\phi = 21^\circ;$$

$$M = 30 \text{ MPa}.$$

La profondità della falda di progetto è stata assunta a 1.30 m da p.c.; la quota risulta quindi variabile in funzione del livello del p.c..

STRATIGRAFIA DI PROGETTO n. 2

LIVELLO R: *materiale di riporto prevalentemente granulare, eterogeneo, con spessore di 6.90 m.*

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3;$$

$$\phi = 30^\circ.$$

LIVELLO A: *limo argilloso, debolmente sabbioso, con tracce di essiccamento e/o di ossidazione. È presente in due strati aventi spessori rispettivamente pari a 0.70 m e a 7.80 m.*

$$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 80 \text{ kPa};$$

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	95	142



$$M = 7 \text{ MPa.}$$

LIVELLO B: *argilla grigia, limosa, piuttosto plastica. Spessore 5.40 m.*

$$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 40 \text{ kPa};$$

$$\phi = 23^\circ;$$

$$M = 6 \text{ MPa.}$$

LIVELLO D/D': *argilla limosa grigia (D) con lenti di limo argilloso sabbioso (D'). Ha uno spessore di 19.4 m.*

$$D: \quad \gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 90 \text{ kPa};$$

$$\phi = 22^\circ;$$

$$M = 13 \text{ MPa.}$$

$$D': \quad \gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 100 \text{ kPa};$$

$$\phi = 23^\circ;$$

$$M = 15 \text{ MPa.}$$

LIVELLO E/E': *Alternanze di limo sabbioso debolmente argilloso (E) ed argilla limosa sabbiosa (E'). Spessore non determinato.*

$$E: \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = 160 \text{ kPa};$$

$$\phi = 24^\circ;$$

$$M = 17 \text{ MPa.}$$

$$E': \quad \gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$c_u = > 200 \text{ kPa};$$

$$\phi = 21^\circ;$$

$$M = 30 \text{ MPa.}$$

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	96	142



Il livello di falda è stato assunto a -2.10 m da p.c., corrispondenti a 7.80 m s.l.m..

In esse:

γ = Peso di volume;

c_u = Coesione non drenata;

ϕ = Angolo d'attrito interno;

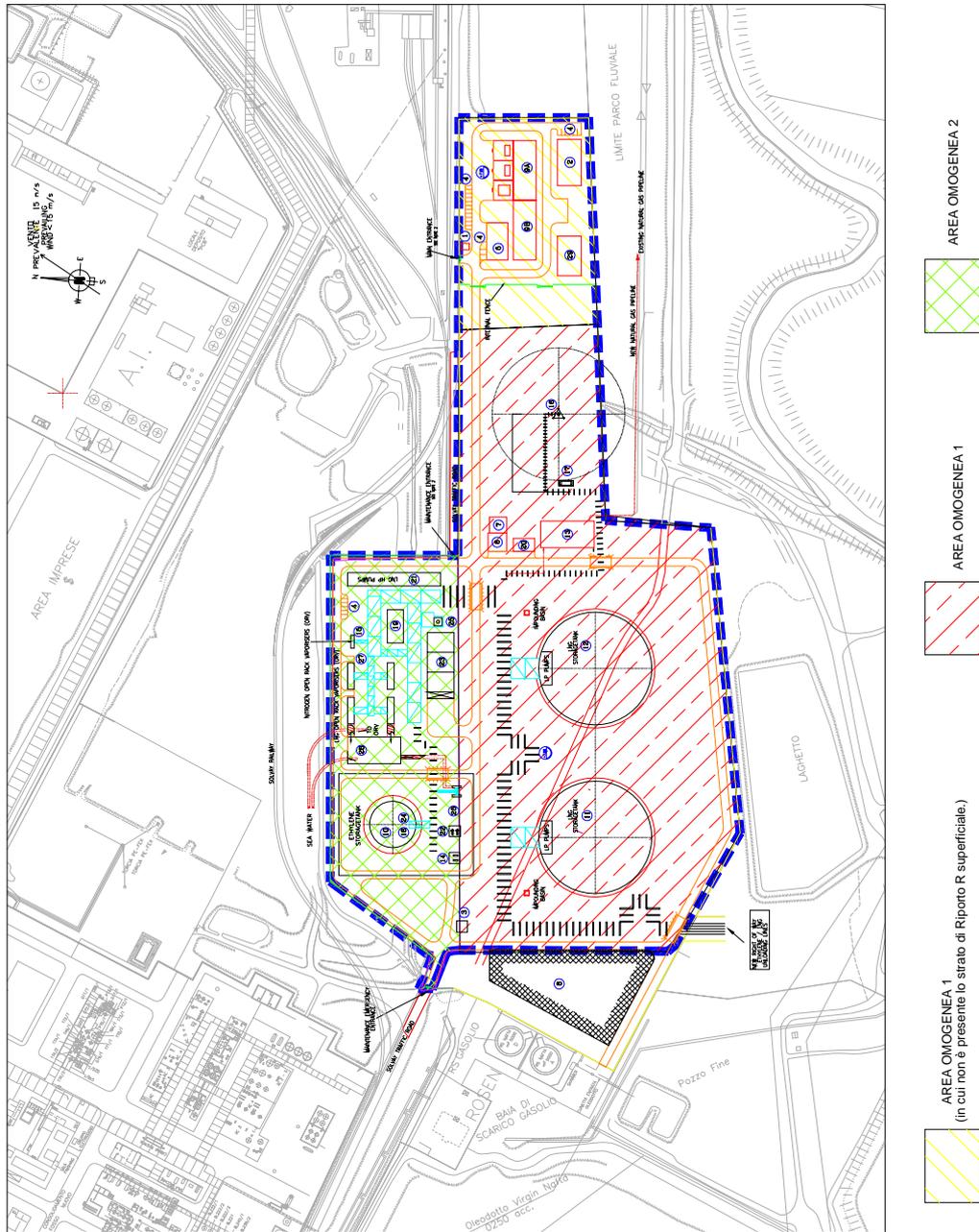
M = Modulo di compressione;

Dr = Densità relativa;

E = Modulo di Young;

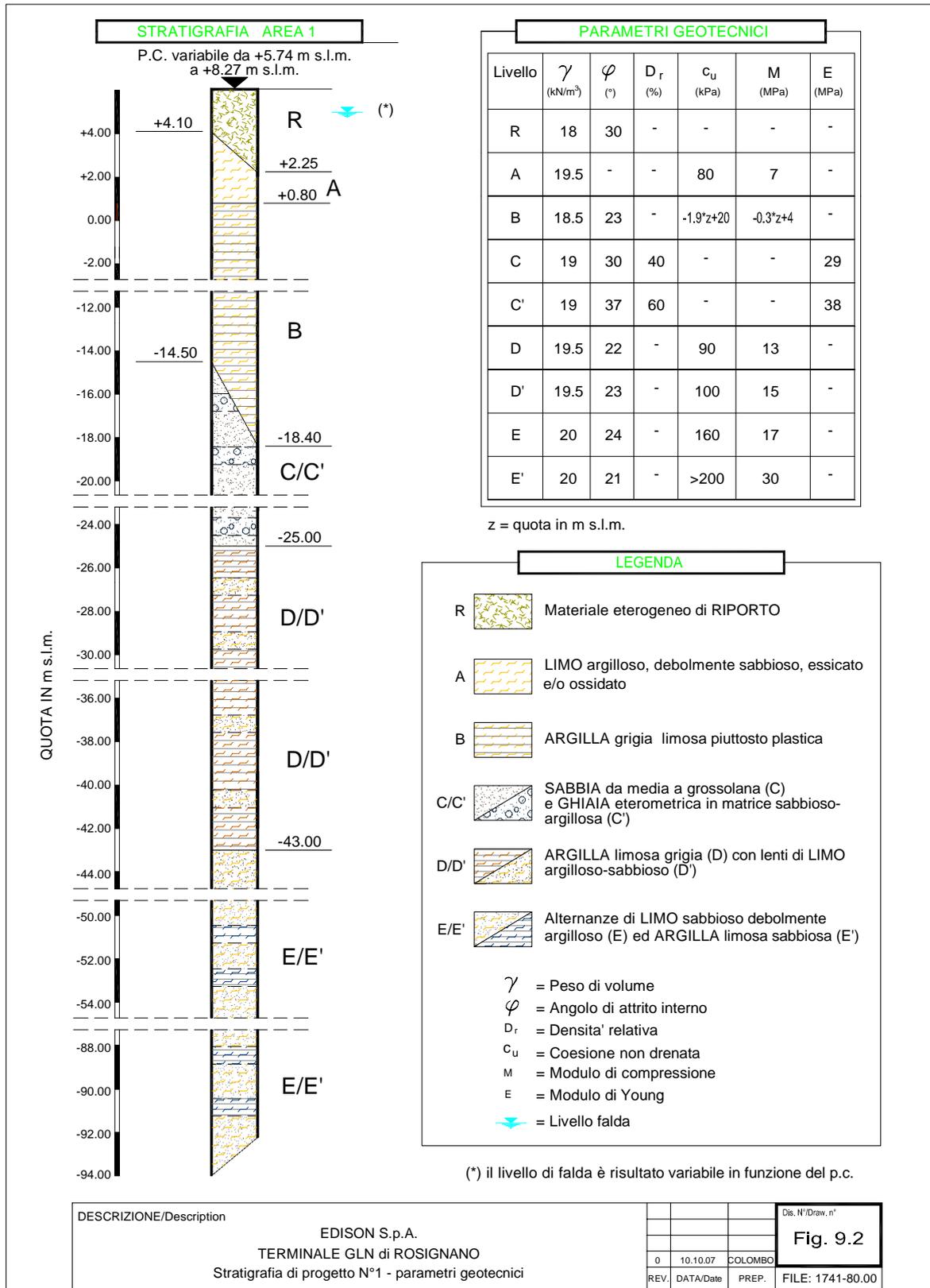
z = quota in m s.l.m..

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	97	142

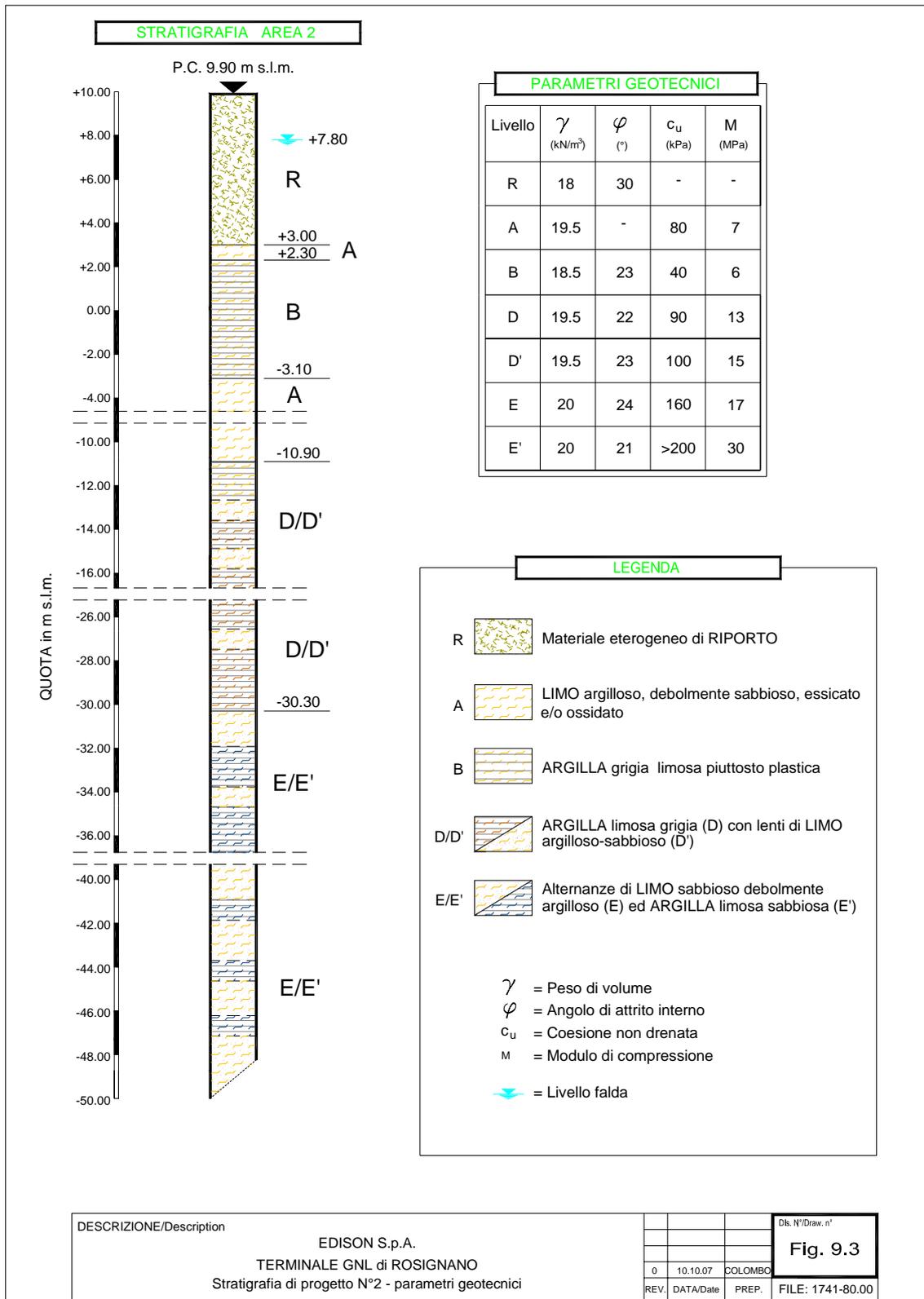


DESCRIZIONE/Description	EDISON S.p.A. TERMINALE GLN di ROSIGNANO SUDDIVISIONE IN AEREE OMOGENEE			Dis. N°/Draw. n°
				Fig.9.1
0	OTT. 07	A.C.		
REV.	DATA/Date	PREP.	FILE: 1741-80.00	

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	98	142



DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	99	142



DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	100	142



10. INDAGINE GEOFISICA

I risultati dell'indagine sismica condotta nell'area del costruendo impianto LNG sono riportati e ampiamente commentati nella relazione tecnica citata [Doc. Rif. 5].

Mediante le prove down-hole, eseguite nei fori di sondaggio fino alla profondità di 30 m da p.c., sono state ricavate le seguenti caratteristiche dei terreni:

- velocità di propagazione delle onde compressive (V_p);
- velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s);
- valori dei moduli di taglio dinamici: G – modulo di taglio ed E – modulo di Young;
- velocità di propagazione delle onde di taglio normalizzata entro i primi 30 m, ovvero valore di V_{S30} richiesto dalla normativa vigente nell'ambito della progettazione sismica.

Mediante il metodo dell'analisi spettrale da microtremori (metodod ReMi), sono stati ricavati:

- il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio V_s ;
- le velocità di propagazione delle onde di taglio normalizzata entro i primi 30 m, ovvero il valore di V_{S30} richiesto dalla normativa vigente nell'ambito della progettazione sismica.

Le figure 10.1 ÷ 10.12 mostrano rispettivamente, per ciascuna delle 3 prove down-hole eseguite, l'andamento delle velocità V_p , V_s , i valori dei moduli G ed E tutti in funzione della profondità da p.c.. Nelle tabelle 10.I ÷ 10.III sono riportati i valori di V_p , V_s , G ed E calcolati.

Dal confronto tra i risultati ottenuti, si osserva che l'andamento delle velocità V_p e V_s (e di conseguenza i valori G ed E da esse ricavati), sono piuttosto simili nelle prove DH5 e DH8, eseguite rispettivamente nei fori S5 ed S8.

Le velocità d'intervallo sono relativamente elevate entro i primi 5 m di profondità, quindi decrescono tra 5 m e 11 m, rimanendo abbastanza costanti tra 11 m e 21÷23 m; tornano nuovamente a crescere tra 23÷25 m fino alla massima profondità indagata.

Il profilo delle V_p e delle V_s risulta differente nella prova DH1 eseguita nel foro S1: i valori di velocità di intervallo sono generalmente crescenti fino alla profondità di 19 m da p.c., quindi

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	101	142



decregono raggiungendo il minimo alla profondità di 25 m per poi tornare ad aumentare fino alla massima profondità indagata.

Quanto osservato trova conferma nel fatto che i profili stratigrafici riportati dai carotaggi S5 ed S8 sono tra loro molto simili e piuttosto diversi da quanto emerso in corrispondenza del sondaggio S1.

I valori di V_{S30} calcolati a partire dai dati delle prove down-hole e dalle prove sismiche di tipo ReMi sono riassunti nella tabella 10.IV: in tutti i casi esaminati i terreni rientrano nella *classe C* della classificazione proposta dalla nuova normativa sismica. Appartengono a questa classe i “depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

I valori di velocità di propagazione delle onde sismiche misurati con le prove in sito differiscono in alcuni casi da quelli ricavati con le prove di laboratorio.

In particolare si osserva che le velocità delle onde di compressione V_p da prove down-hole hanno valori inferiori a quelli di laboratorio, fino al 65%. La differenza è da imputarsi al diverso grado di saturazione del provino rispetto alle condizioni in sito. In laboratorio, i provini vengono sottoposti al processo di saturazione, alla consolidazione e di seguito alla determinazione delle velocità V_p e V_s mediante bender elements. In sito il grado di saturazione dei materiali può essere anche molto diverso da quello creato in laboratorio, per l'eventuale presenza di bolle d'aria, sacche di gas ecc, che influenzano sensibilmente i valori di velocità delle onde di compressione.

Per quanto riguarda invece i valori di velocità V_s registrati in sito e quelli misurati in laboratorio, lo scostamento risulta variabile dal 10% ad oltre il 200 %; tali differenze sono dovute principalmente a disturbi che può aver subito il campione in fase di prelievo, ma anche al forte grado di eterogeneità dei materiali in sito ed alla difficoltà di considerare il singolo provino rappresentativo di uno spessore di 2 m in sito sul quale sono stati misurati valori delle velocità misurati nel corso delle prove down-hole.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	102	142

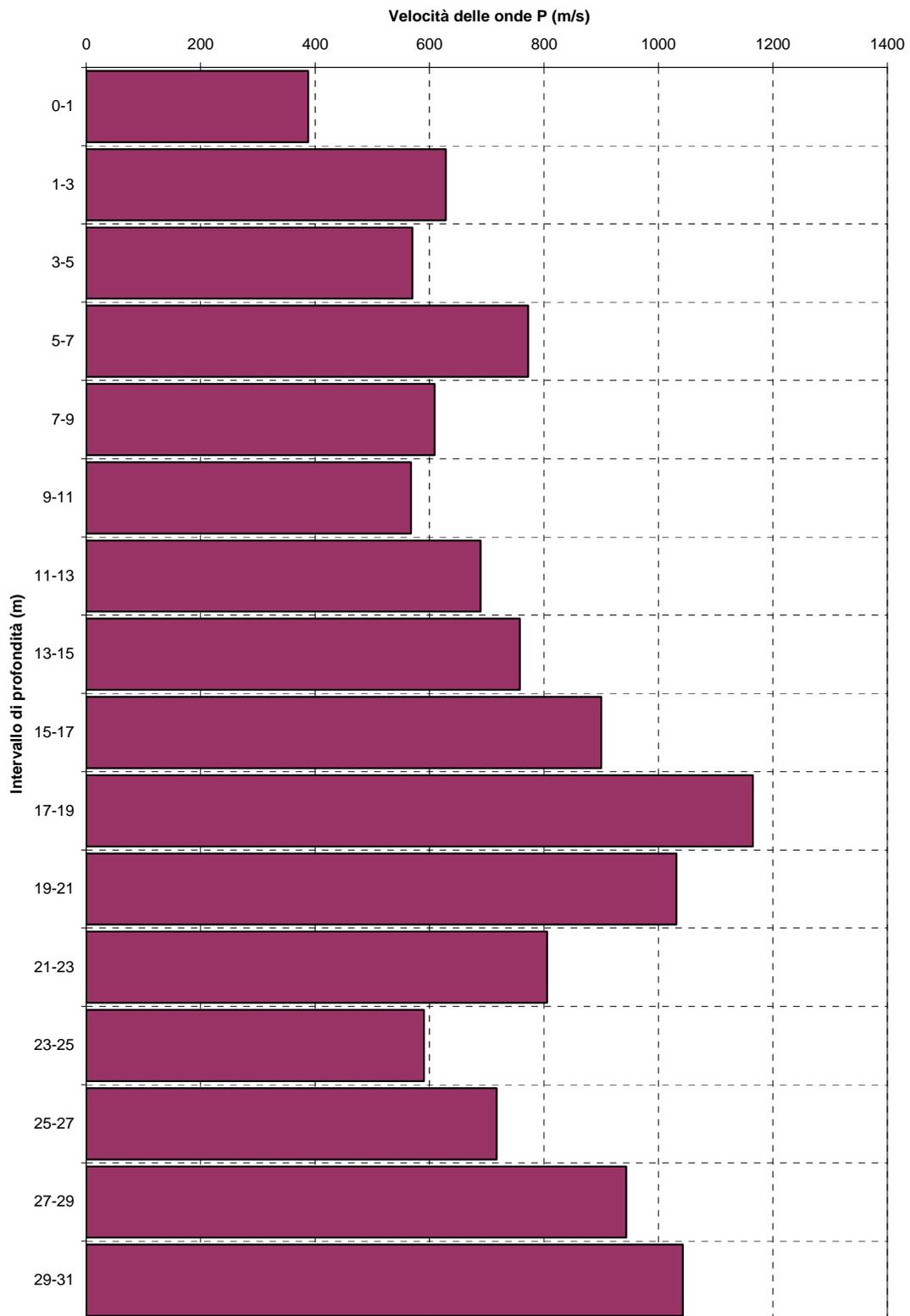


Figura 10.1 – Down-hole DH1. Velocità d'intervallo delle onde P.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	103	142

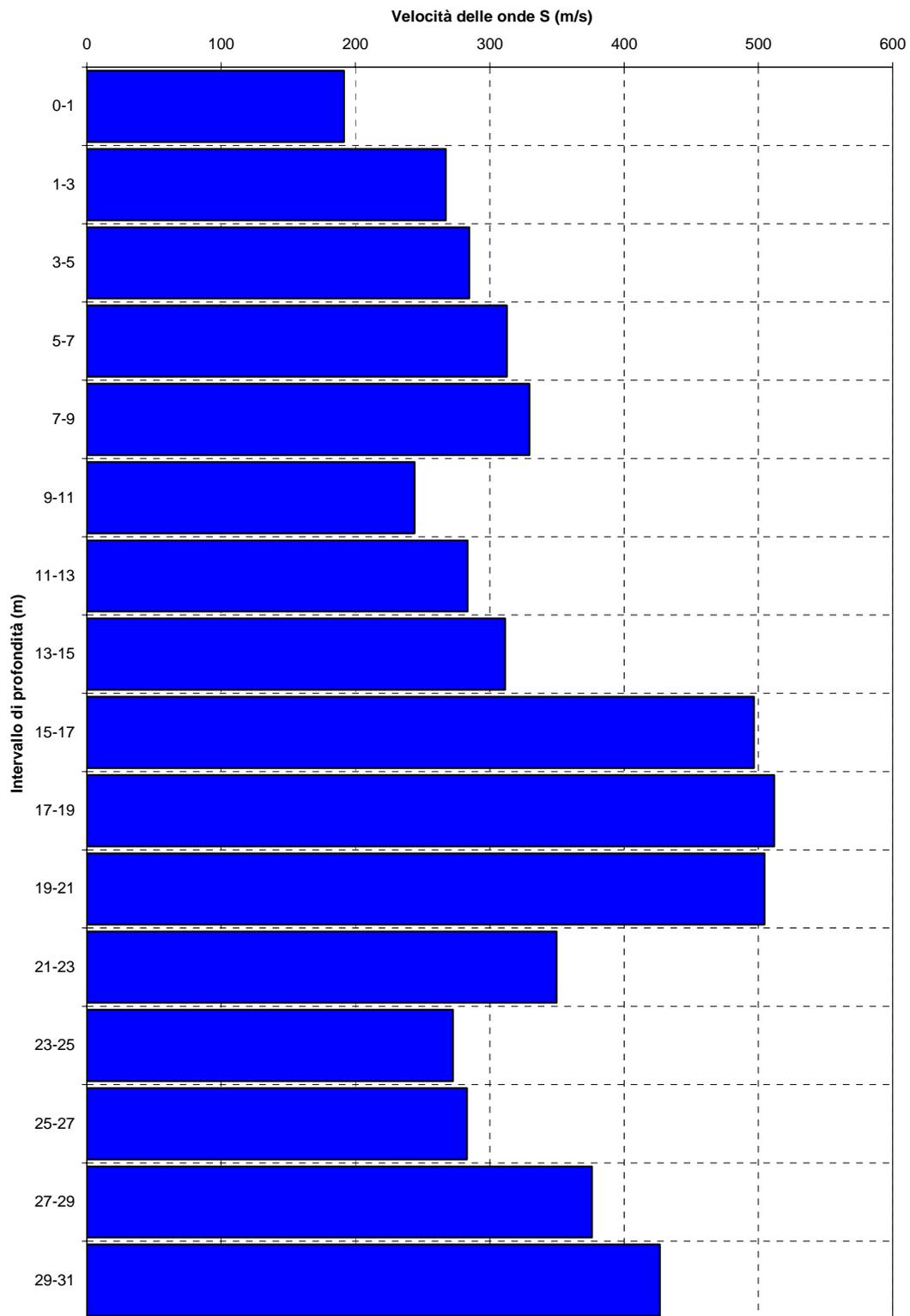


Figura 10.2 – Down-hole DH1. Velocità d’intervallo delle onde S.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	104	142

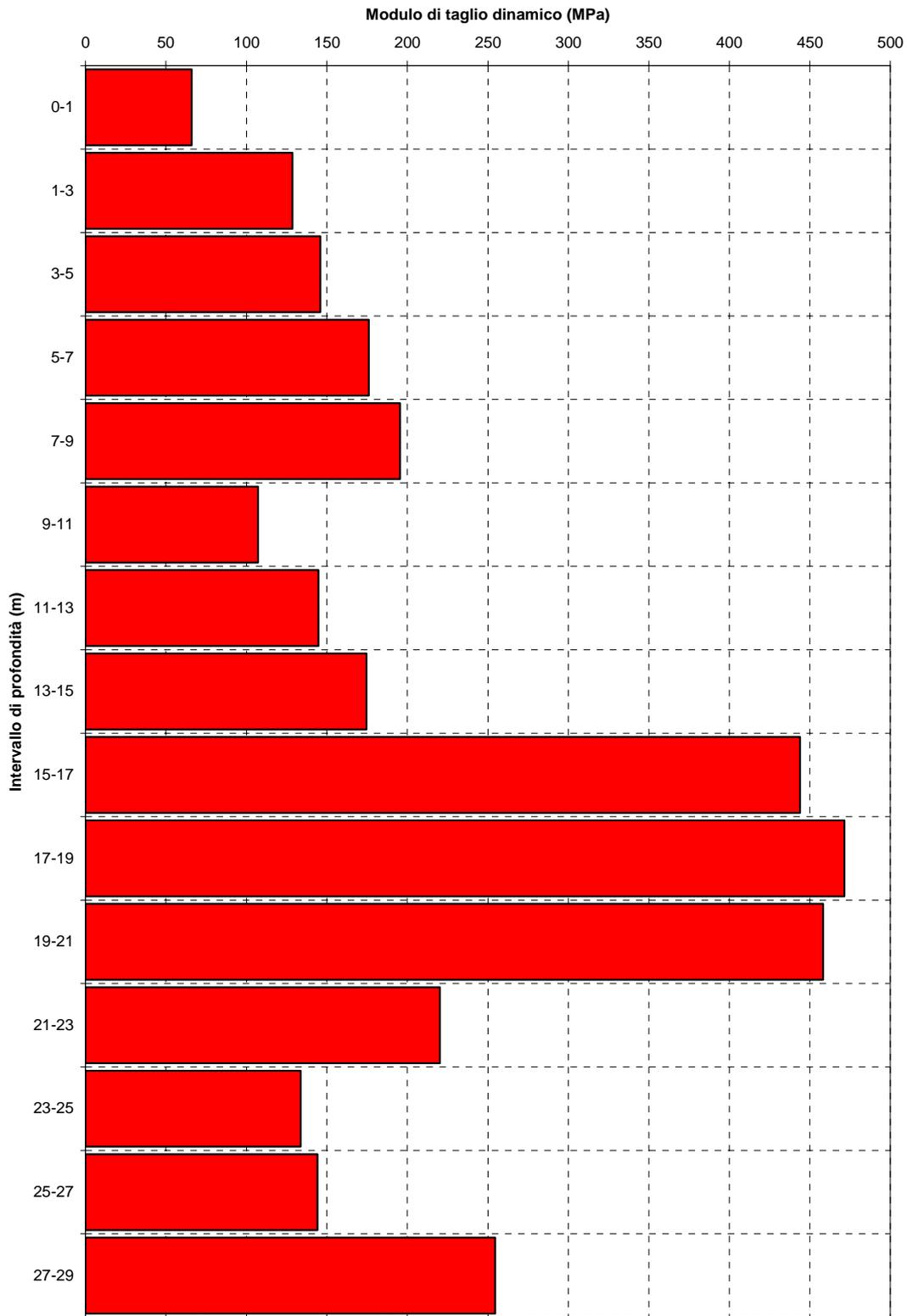


Figura 10.3 – Down-hole DH1. Modulo di taglio dinamico (G).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	105	142

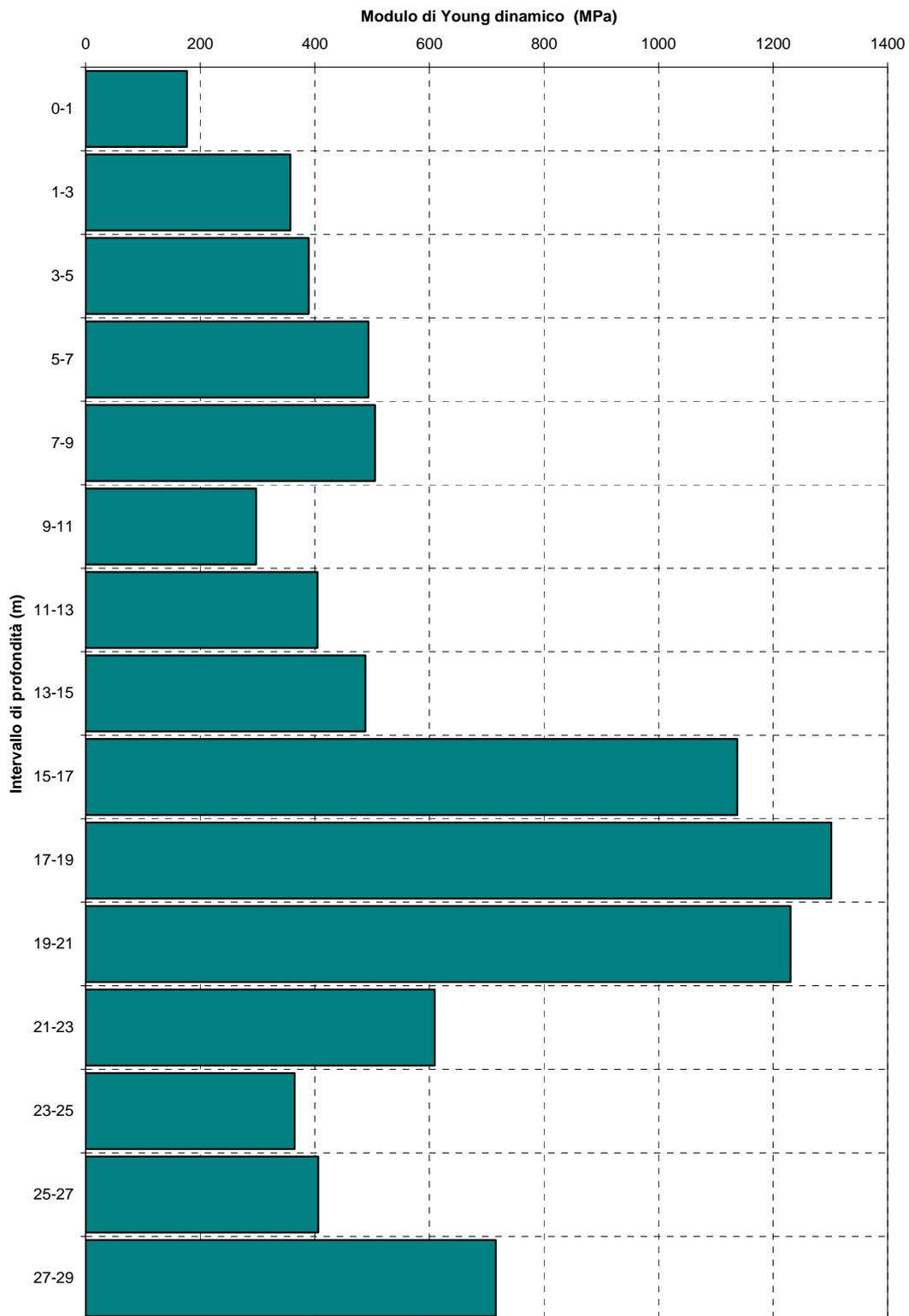


Figura 10.4 – Down-hole DH1. Modulo di Young dinamico (E).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	106	142

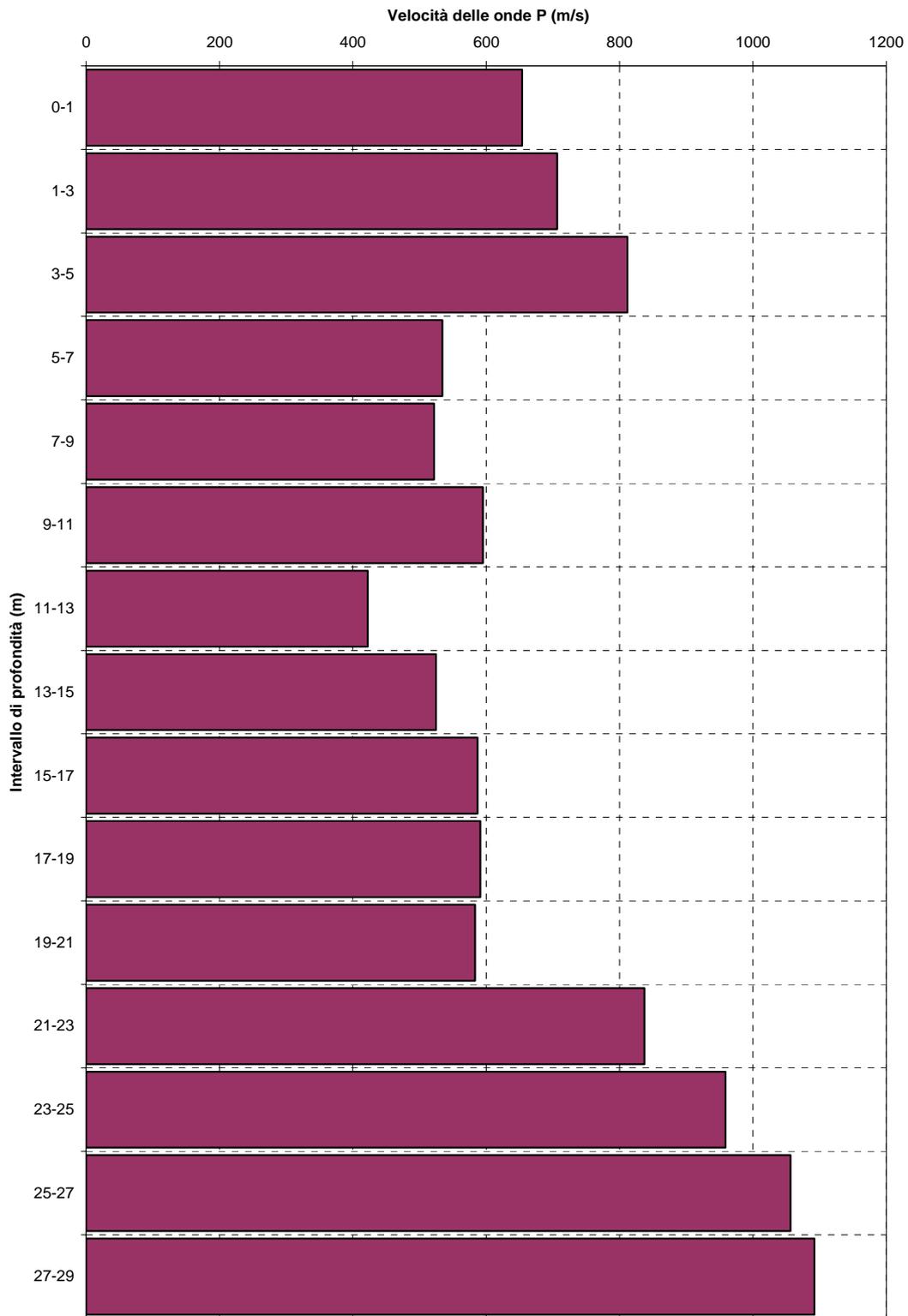


Figura 10.5 – Down-hole DH5. Velocità d’intervallo delle onde P.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	107	142

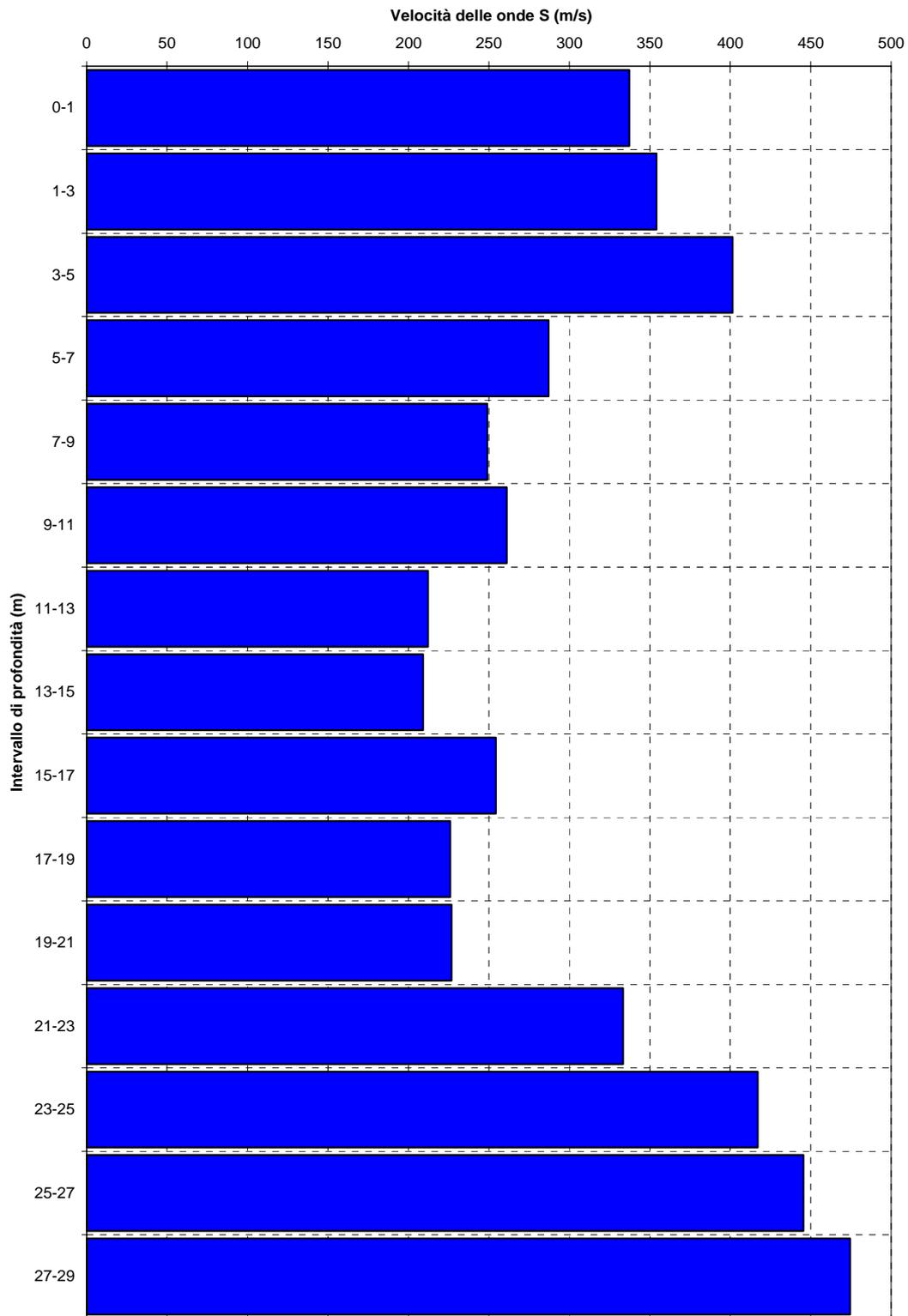


Figura 10.6 – Down-hole DH5. Velocità d'intervallo delle onde S.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	108	142

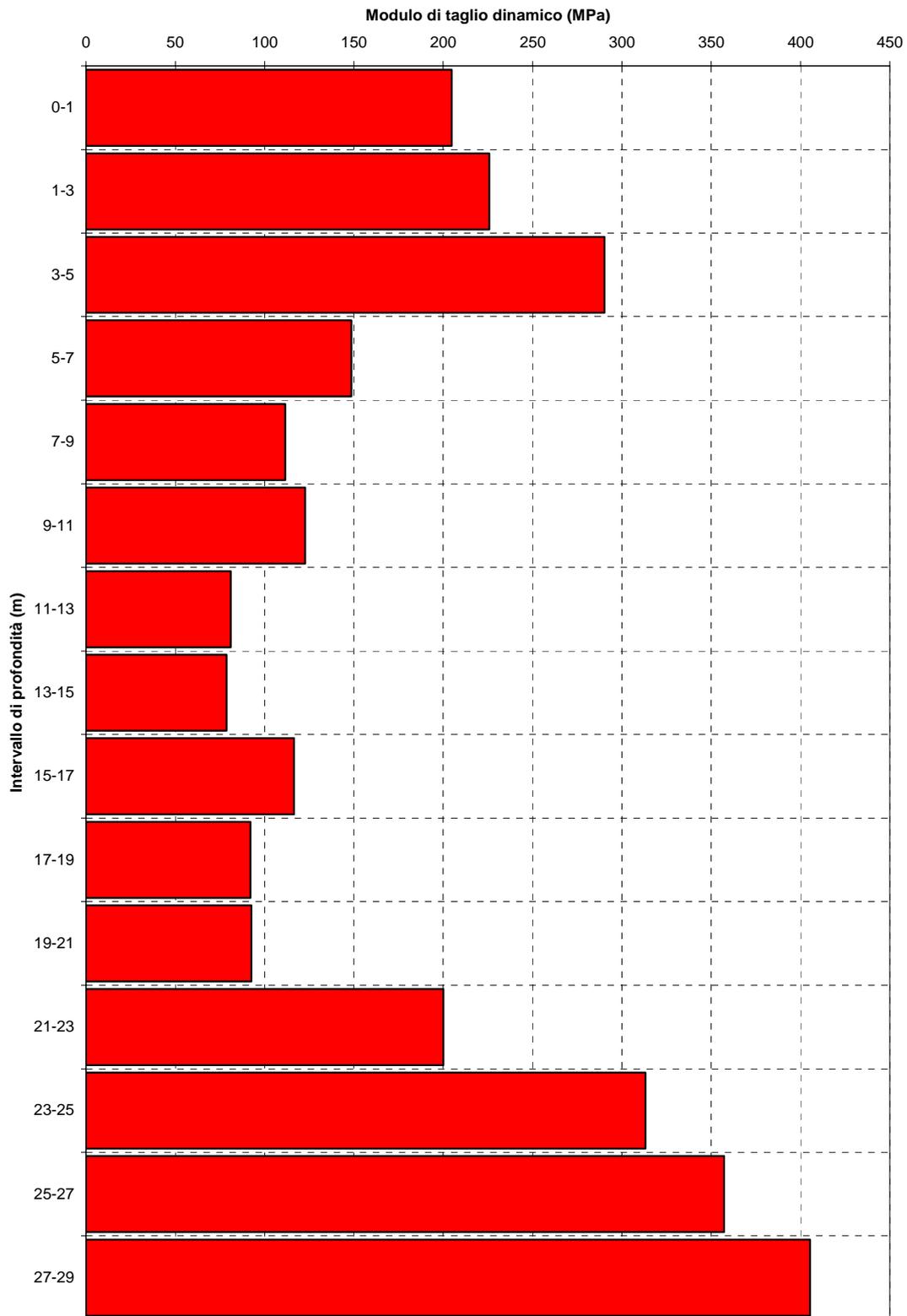


Figura 10.7 – Down-hole DH5. Modulo di taglio dinamico (G).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	109	142

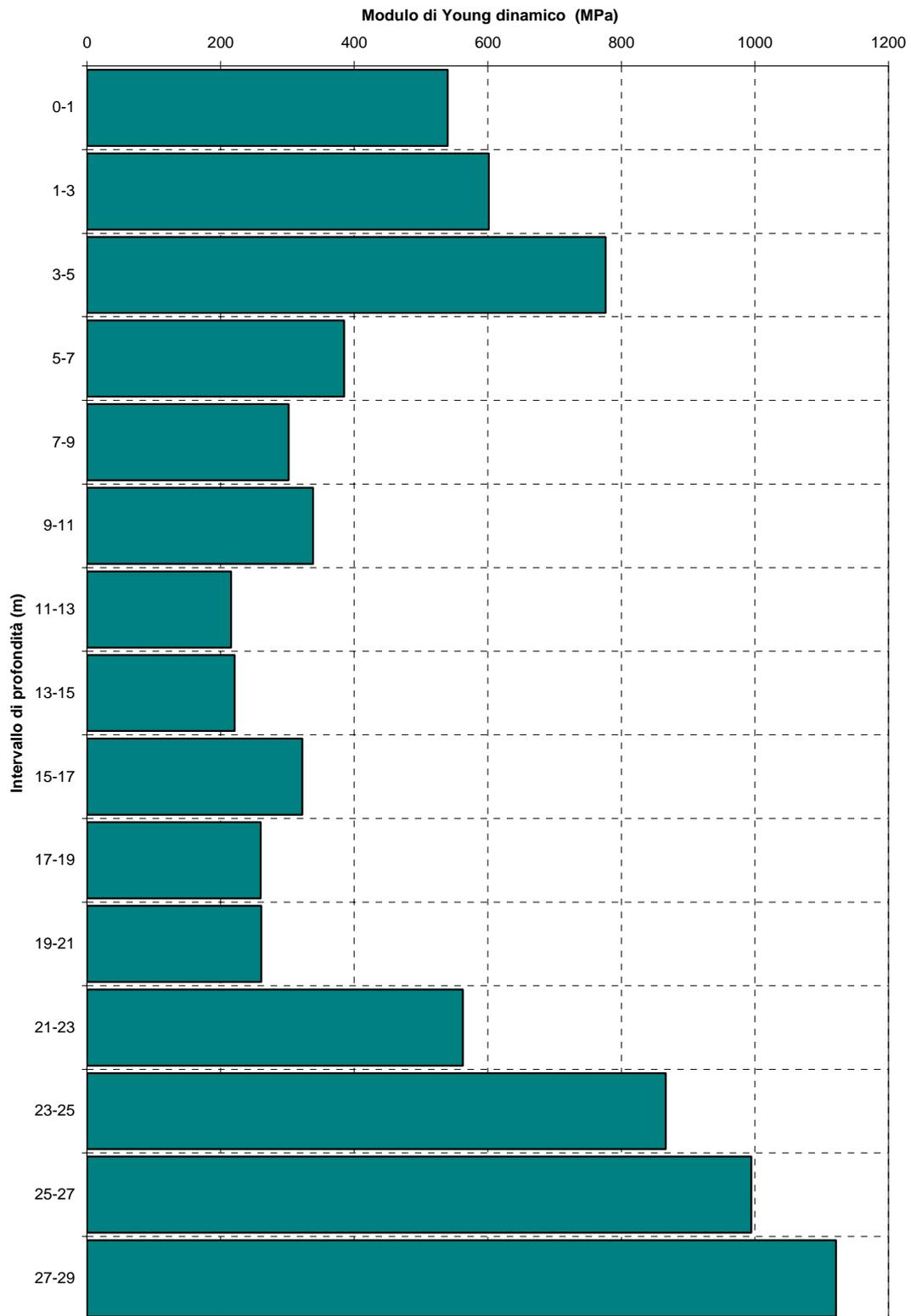


Figura 10.8 – Down-hole DH5. Modulo di Young dinamico (E).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	110	142

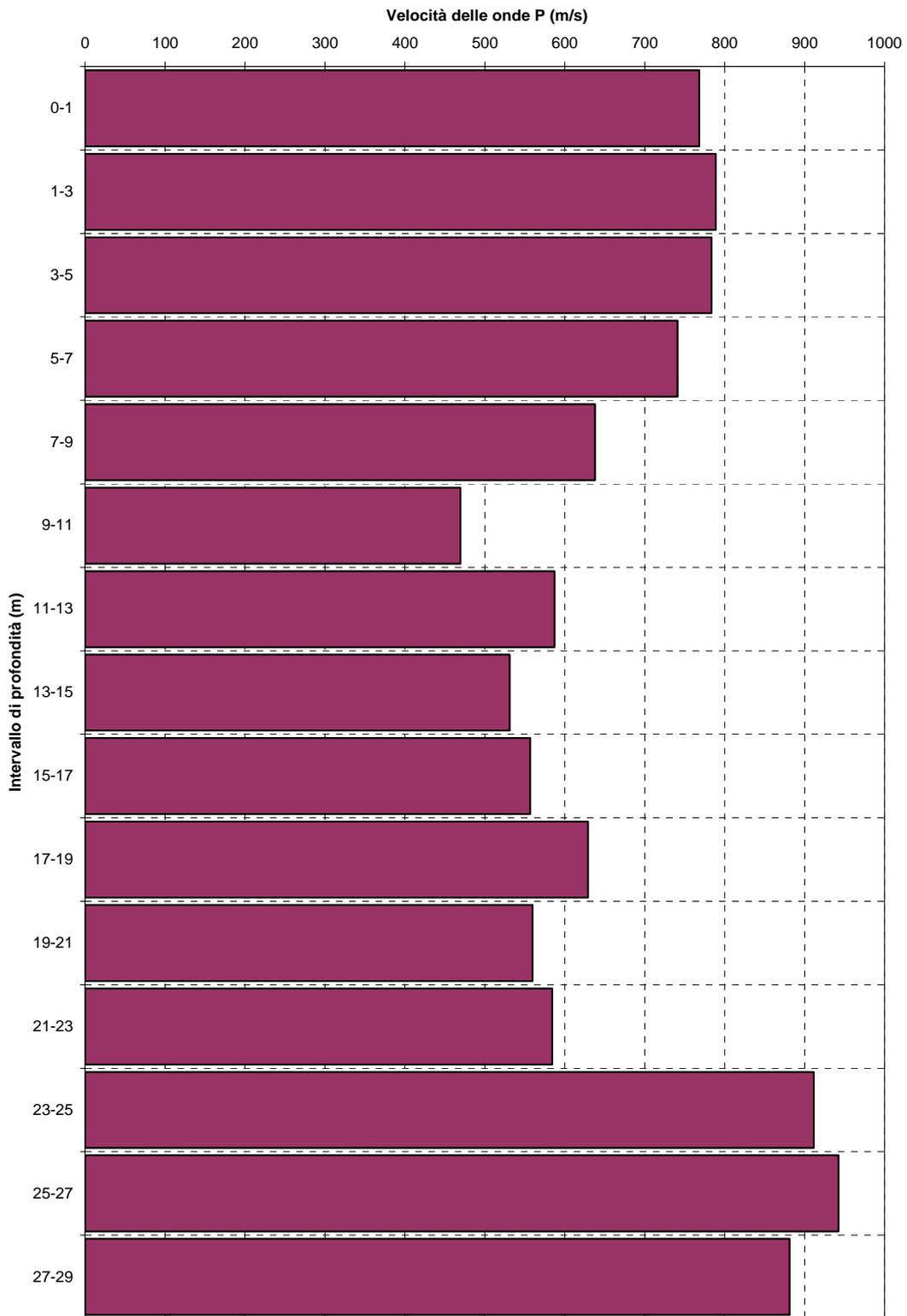


Figura 10.9 – Down-hole DH8. Velocità d'intervallo delle onde P.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	111	142

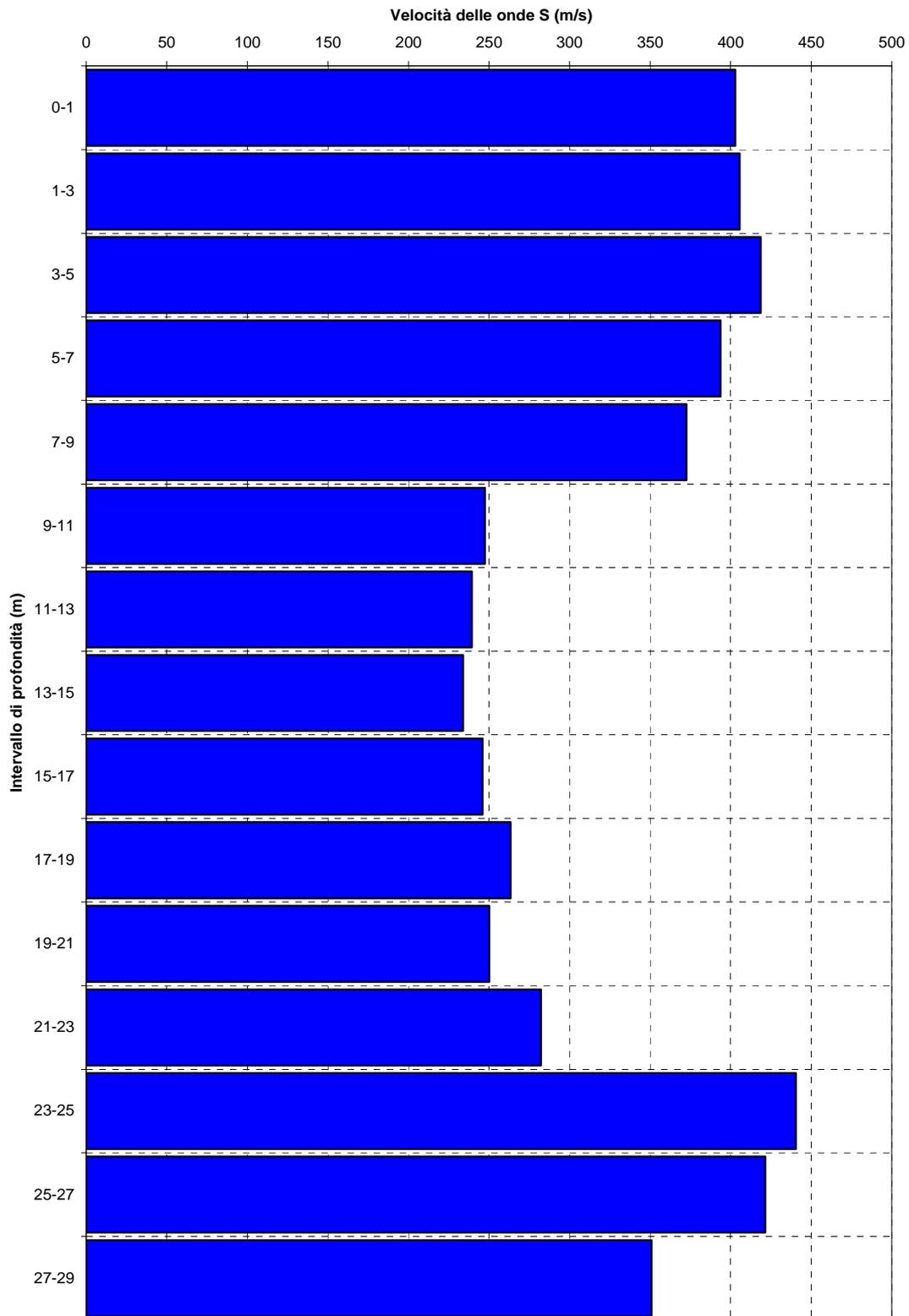


Figura 10.10 – Down-hole DH8. Velocità d'intervallo delle onde S.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	112	142

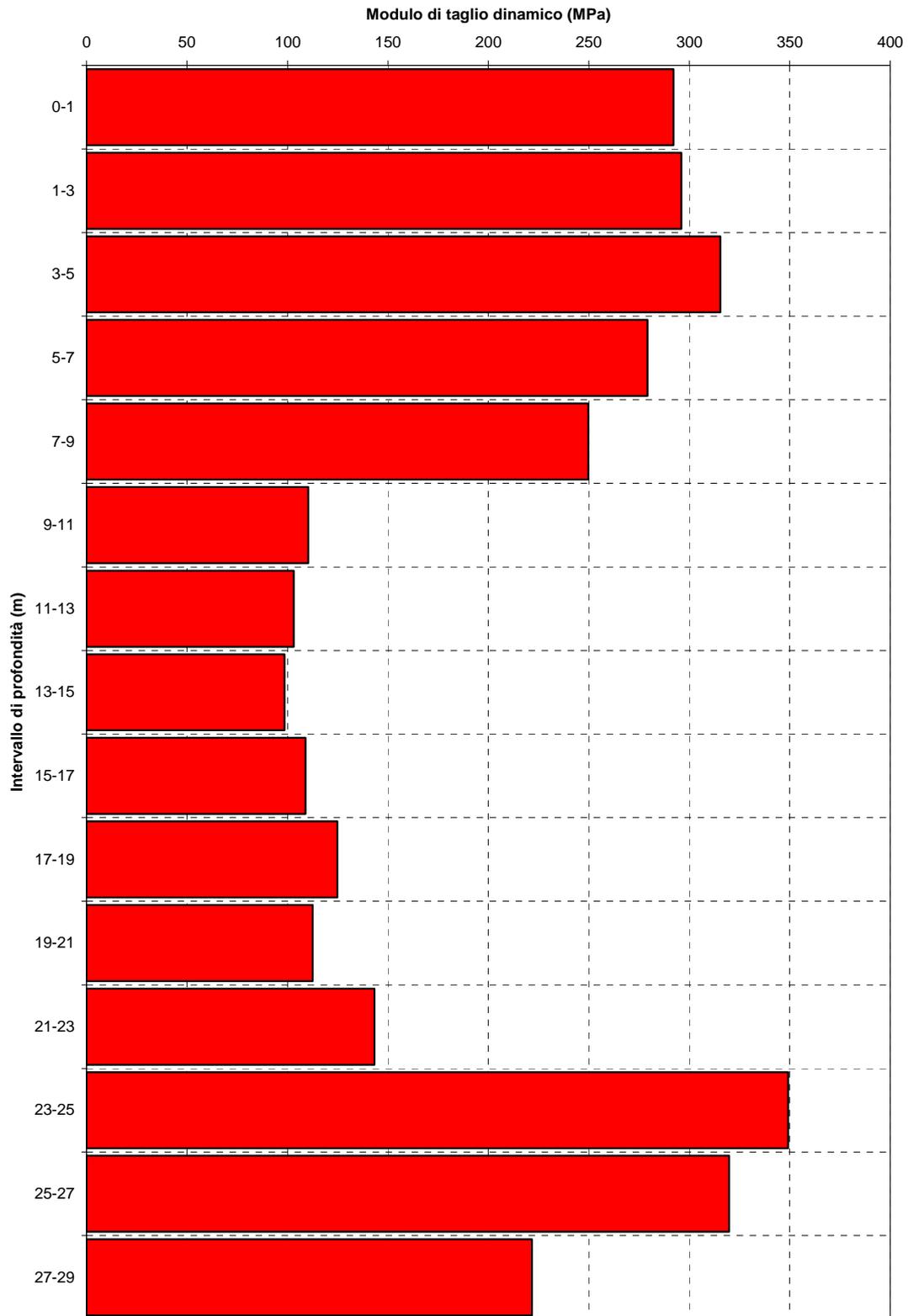


Figura 10.11 – Down-hole DH8. Modulo di taglio dinamico (G).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	113	142

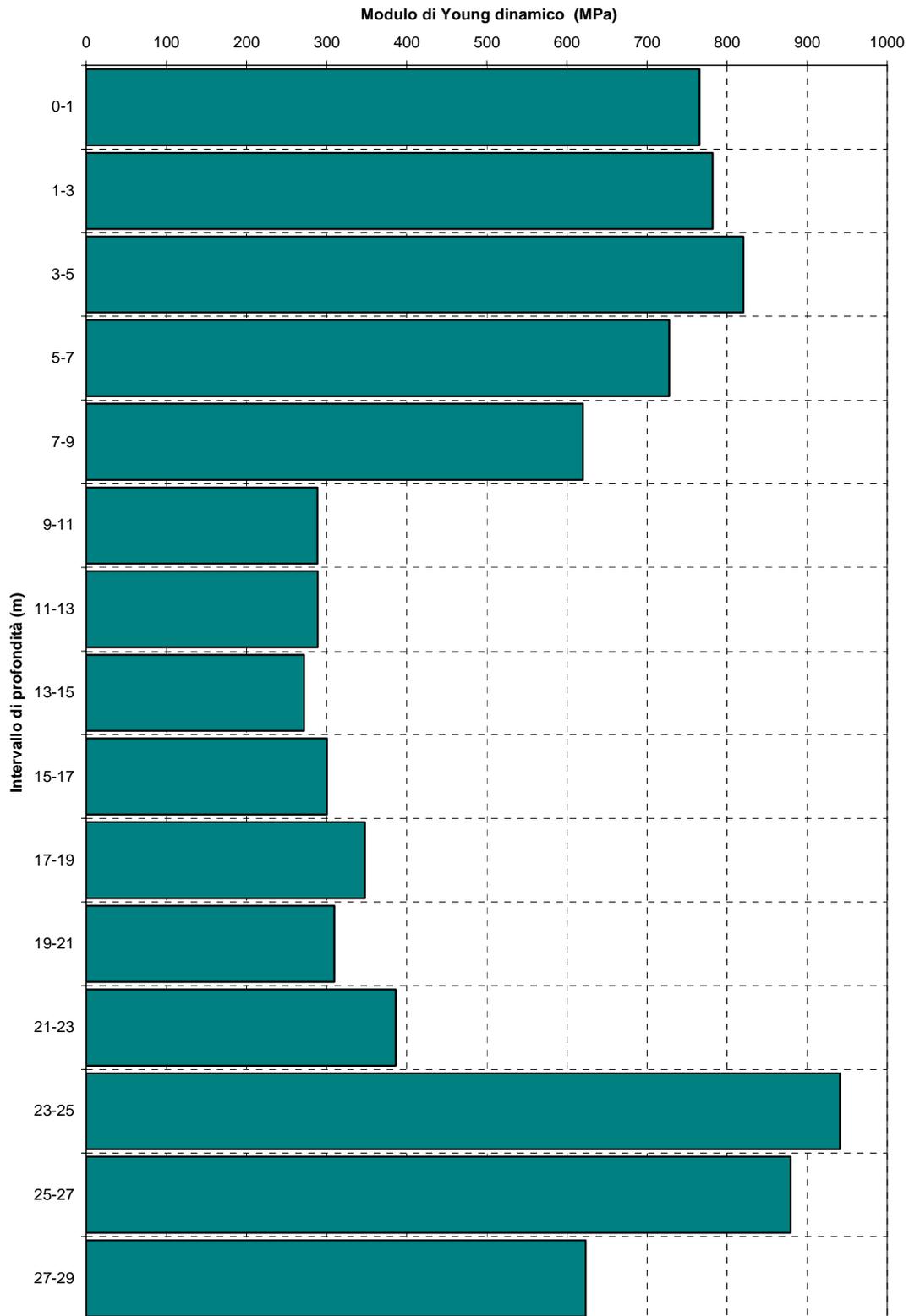


Figura 10.12 – Down-hole DH8. Modulo di Young dinamico (E).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	114	142



Intervallo di profondità (m)	Velocità media		Rapporto di Poisson ν (-)	Modulo di taglio* G (MPa)	Modulo di Young* E (MPa)
	Vp (m/s)	Vs (m/s)			
0-1	388	191	0.34	65.97	176.71
1-3	629	267	0.39	128.62	357.46
3-5	570	285	0.33	145.91	389.23
5-7	772	313	0.40	176.09	493.72
7-9	609	329	0.29	195.41	505.29
9-11	568	244	0.39	107.26	297.43
11-13	689	284	0.40	144.70	404.61
13-15	758	311	0.40	174.61	488.32
15-17	900	497	0.28	443.89	1137.45
17-19	1165	512	0.38	471.48	1301.68
19-21	1031	505	0.34	458.24	1230.51
21-23	805	350	0.38	220.23	609.49
23-25	590	273	0.36	133.72	364.92
25-27	717	283	0.41	144.19	405.96
27-29	944	376	0.41	254.52	715.54
29-31	1043	427	0.40	327.71	917.22

* **Nota:** I moduli ottenuti da prove sismiche sono di tipo dinamico

Tabella 10.I – Risultati della prova down-hole DH1

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	115	142



Intervallo di profondità (m)	Velocità media		Rapporto di Poisson	Modulo di taglio*	Modulo di Young*
	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ν (-)	G (MPa)	E (MPa)
0-1	654	337	0.32	204.75	540.01
1-3	707	354	0.33	225.81	601.65
3-5	812	402	0.34	290.18	776.50
5-7	534	287	0.30	148.44	385.04
7-9	522	249	0.35	111.52	301.73
9-11	595	261	0.38	122.61	338.64
11-13	422	212	0.33	81.02	215.70
13-15	525	209	0.41	78.64	221.09
15-17	587	254	0.38	116.43	322.38
17-19	591	226	0.41	91.98	260.19
19-21	584	227	0.41	92.51	261.09
21-23	837	333	0.41	200.13	562.68
23-25	959	417	0.38	313.16	866.40
25-27	1056	445	0.39	357.24	994.42
27-29	1092	474	0.38	405.26	1121.49

* **Nota:** I moduli ottenuti da prove sismiche sono di tipo dinamico

Tabella 10.II – Risultati della prova down-hole DH5

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	116	142



Intervallo di profondità (m)	Velocità media		Rapporto di Poisson ν (-)	Modulo di taglio* G (MPa)	Modulo di Young* E (MPa)
	Vp (m/s)	Vs (m/s)			
0-1	768	403	0.31	292.18	765.77
1-3	789	406	0.32	296.05	781.91
3-5	784	419	0.30	315.47	820.43
5-7	741	394	0.30	279.21	727.77
7-9	638	373	0.24	249.79	620.08
9-11	470	248	0.31	110.32	288.53
11-13	587	239	0.40	103.17	288.94
13-15	531	234	0.38	98.53	271.89
15-17	557	246	0.38	109.01	300.58
17-19	629	263	0.39	124.83	347.97
19-21	560	250	0.38	112.58	309.64
21-23	584	282	0.35	143.36	386.47
23-25	911	440	0.35	349.18	941.13
25-27	942	422	0.37	319.82	879.47
27-29	881	351	0.41	221.73	623.37

* **Nota:** I moduli ottenuti da prove sismiche sono di tipo dinamico

Tabella 10.III – Risultati della prova down-hole DH8

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	117	142



prova	V _{s30} [m/s]
DH1	320.5
DH5	299.2
DH8	321.2
sismica ReMi A-A'	337.9
sismica ReMi B-B'	313.2
sismica ReMi C-C	301.3
sismica ReMi D-D'	283.1
sismica ReMi E-E	281.5

Tabella 10.IV – Valori di V_{s30} da prove sismiche down-hole e stese sismiche con metodo ReMi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	118	142



11. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione può essere definito come una temporanea riduzione o perdita della capacità di resistenza al taglio di un terreno saturo che, in particolari condizioni, assume un comportamento pseudo-liquido.

Il verificarsi del fenomeno è dovuto all'occorrenza di uno sforzo ciclico, quale quello indotto da un'azione sismica, che provoca l'aumento delle pressioni interstiziali fino alla pressione di confinamento in condizioni statiche ed alla conseguente riduzione ed annullamento della consistenza del terreno.

Perché si verifichi la liquefazione è necessario che il deposito in questione sia costituito da sabbie, caratterizzate da granulometria uniforme e valori di densità relativa medio-bassi: la presenza di frazione fine e di ghiaia riducono la probabilità che avvenga la liquefazione.

Ulteriore fattore che influenza il fenomeno è l'entità della pressione di confinamento iniziale (funzione della profondità a cui è situato il livello potenzialmente suscettibile di liquefazione). Studi teorici e dati storici hanno infatti permesso di definire un limite inferiore per i depositi potenzialmente soggetti a liquefazione.

Nel caso in esame, in virtù dell'importanza e della criticità dell'impianto, è stato condotto uno studio del potenziale di liquefazione dei livelli sabbiosi più superficiali, sebbene questi non costituiscano uno strato continuo, ma sono presenti sottoforma di lenti.

In particolare, formazioni contenenti una frazione sabbiosa sono state rinvenute con certezza in corrispondenza dei sondaggi S4, da 13.20 m a 17.90 m da p.c. e S5, da 13.50 m a 15.50 m da p.c.. In essi, il numero di colpi N_{SPT} registrati è pari a 8 e 9 (rispettivamente alle profondità di 13.50 m da p.c. e 16.50 m da p.c.) in S4 e a 6 (alla profondità di 14.0 m da p.c.) in S5.

I materiali sono mostrati nelle foto 11.1 ÷ 11.4 seguenti riprese dalla relazione [1] citata; come riportato nei log stratigrafici (Doc. Rif. [1]), si tratta di “ghiaia medio-fine, poligenica e sabbia più o meno limosa con pezzi di legno sparsi” da 13.20 m a 17.90 m intervallata da “un'alternanza irregolare di argilla limosa, livelli torbosi, livelli lignei, sabbia limosa più o meno ghiaiosa” in S4 e di “ghiaia poligenica da debolmente sabbiosa a limosa argillosa” da 13.50 m a

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	119	142



15.60 m da p.c. inframmezzata da “argilla limosa con frequenti resti lignei e carboniosi alternati da livelletti e plaghe di ghiaia sabbiosa limosa”, in S5.

Tali depositi in entrambi i casi si situano al di sotto di uno strato di riporto (R), ben compatto, avente spessore di qualche metro e natura fortemente eterogenea e di uno livello argilloso – limoso di potenza fino a 10 m. Le curve granulometriche di laboratorio confermano la descrizione basata su dati visivi.

Nel sondaggio S1, le analisi granulometriche eseguite sul campione A prelevato a 12.0 m di profondità, hanno rivelato un contenuto di sabbia pari al 69%: lo spessore della lente coincide circa con la lunghezza del campione estratto (circa 60 – 70 cm) – in foto 5. Il materiale è stato oggetto di una prova triassiale ciclica a liquefazione i cui risultati sono stati descritti nel paragrafo 8.

Infine, si ipotizza la presenza di materiali sabbiosi in superficie in corrispondenza delle prove penetrometriche P6 alla profondità di 0.13 m ÷ 0.20 m da p.c. – al di sopra del livello di falda - e P8 tra 3.70 m e 4.70 m da p.c.; questo strato, di spessore non trascurabile si trova invece appena sotto falda, riscontrato in quel punto alla profondità di 4 m da p.c..



Foto 1

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	120	142



Foto 2



Foto 3

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	121	142



Foto 4



Foto 5

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	122	142



Valutazioni quantitative circa il potenziale di liquefazione dei livelli sopra descritti sono state condotte facendo riferimento a diversi approcci reperibili in letteratura.

Il potenziale di liquefazione può essere determinato a partire da valutazioni che riguardano lo sforzo ciclico normalizzato, indotto dall'azione dinamica del sisma confrontato con i risultati delle prove SPT e CPT a disposizione.

Lo sforzo ciclico normalizzato viene diagrammato in funzione dei valori di N_{SPT} a disposizione opportunamente corretti per tener conto dell'influenza della pressione sovrastante (N'_{SPT}). Il confronto della situazione ottenuta per il terreno in esame, e la situazione valutata in corrispondenza di numerosi siti campione, per differenti sismi di riferimento, permette di valutare se il terreno in oggetto può, in determinate condizioni di sollecitazione dinamica, dare luogo a fenomeni di liquefazione.

Lo sforzo ciclico normalizzato è dato dall'equazione riportata di seguito:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} = \frac{0.65 \cdot a_{max} \cdot \sigma_{v0} \cdot r_d}{\sigma'_{v0} \cdot g} \quad (\text{Seed and Idriss, 1971})$$

dove:

τ_{av} = sforzo di taglio di picco;

a_{max} = accelerazione massima in corrispondenza del piano campagna;

σ'_{v0} = sforzo verticale efficace;

σ_{v0} = sforzo verticale totale;

r_d = fattore di riduzione, assunto pari a 1.

Il valore di N'_{SPT} è stato calcolato come:

$$N'_{SPT} = C_N N_{SPT}$$

essendo:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm;

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	123	142



C_N = coefficiente di correzione assunto pari a:

$$C_N = \frac{1}{(\sigma'_{v0})^n} \quad \text{se } \frac{1}{(\sigma'_{v0})^n} < 1, \text{ con } \sigma'_{v0} \text{ in kg/cm}^2; n = 0.5 \text{ (Liao e Whitman, 1985);}$$

$$C_N = 1 \quad \text{se } \frac{1}{(\sigma'_{v0})^n} > 1$$

L'area oggetto di studio appartiene, secondo la nuova normativa, introdotta con l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, alla categoria 2, per la quale l'accelerazione di riferimento è pari a 0.25g.

Secondo lo studio redatto da Eucentre (Doc. Rif. [6]) in prossimità del sito sono presenti solamente due eventi con magnitudo $M \geq 5.5$ e un evento con magnitudo $M \geq 6.5$.

La figura 11.1 riporta i risultati ottenuti rispetto a due curve di riferimento, relative a terremoti di magnitudo di $M = 5.3$ e $M = 6.0$. La liquefazione risulta possibile nel caso in cui i punti ricadano a sinistra ed al disopra della curva di magnitudo considerata. Al contrario per punti che ricadono a destra ed al disotto della curva di magnitudo in esame, si assume che la liquefazione non possa avvenire.

Allo stesso modo sono disponibili (Baldi e al. , 1985), carte che permettono l'identificazione del potenziale di liquefazione a partire dal confronto tra lo sforzo ciclico normalizzato e i valori di resistenza alla punta q_c , come riportato in figura 11.2.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	124	142

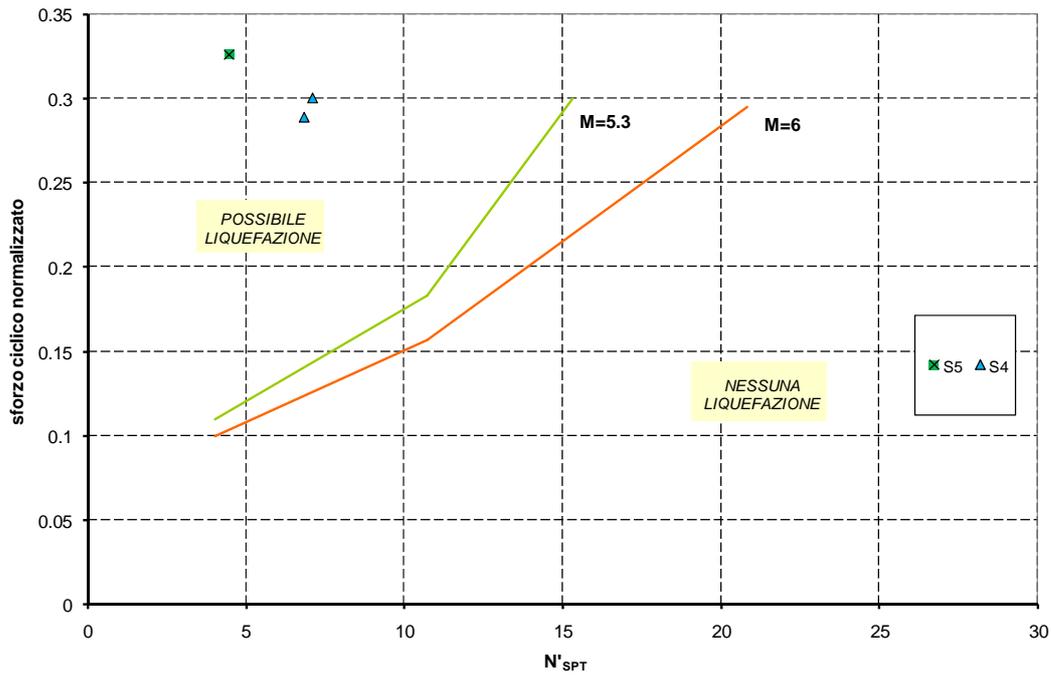


Figura 11.1 – Valutazione del potenziale di liquefazione da N_{SPT} .

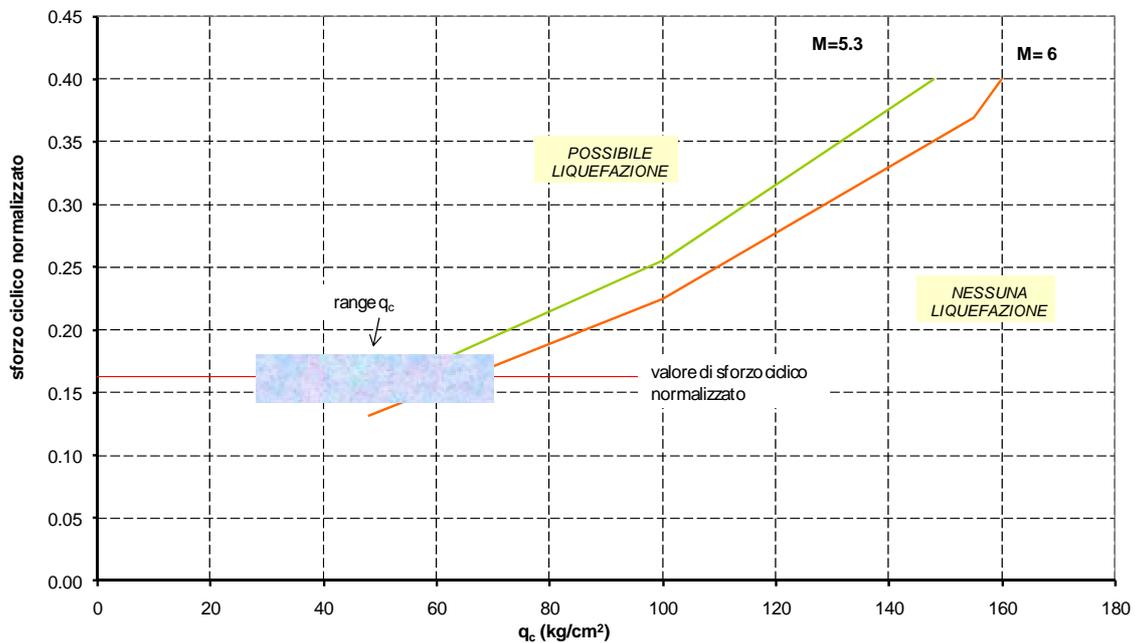


Figura 11.2 – Valutazione del potenziale di liquefazione da q_c .

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	125	142



Prendendo in considerazione la stratigrafia del sito, il discriminante tra l'occorrenza o meno del fenomeno di liquefazione è valutata, secondo Ishihara (1985), sulla base del confronto tra potenza dello strato liquefabile (H_1) e di quello non liquefabile (H_2). Con riferimento ad un'ampia casistica, l'autore ha tracciato nel piano H_1 vs H_2 la curva di separazione delle due zone: possibile liquefazione oppure assenza di liquefazione, come mostrato in figura 11.3.

In essa si riporta il solo punto relativo alla condizione della lente rinvenuta in P8, che ricade nella condizione di non liquefazione. Per tutti gli altri casi, lo spessore degli strati soprastanti è tale da ricadere al di fuori degli spessori H_1 del grafico; si tratterebbe dunque di punti compresi nella zona di NON liquefazione.

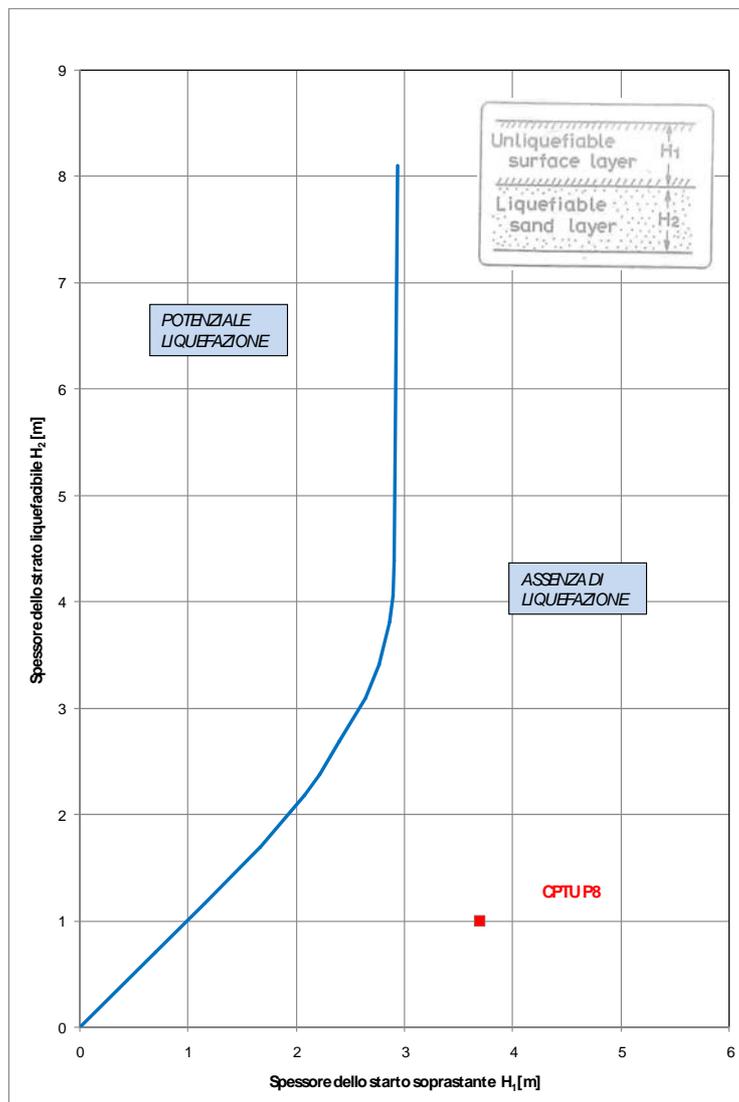


Figura 11.3

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	126	142



Le valutazioni condotte hanno fornito una risposta non univoca al problema di determinare se si possa o meno verificare il fenomeno della liquefazione.

Considerazioni riguardanti la resistenza dei terreni rapportata al possibile evento sismico inducono infatti, a supporre l'esistenza del rischio di liquefazione; d'altra parte, l'eterogeneità granulometrica dei materiali in esame, la profondità a cui essi si trovano ed il fatto che non costituiscano uno strato continuo, fa invece ritenere piuttosto improbabile il verificarsi del fenomeno stesso.

A favore di quest'ultima ipotesi possono essere anche tenuti in considerazione i risultati di un'approfondita analisi condotti in fase di progetto della centrale elettrica attualmente esistente a poche centinaia di metri dal sito in esame.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	127	142



12. CONCLUSIONI

La presente relazione costituisce l'elaborato finale delle attività di caratterizzazione geotecnica dell'area di progetto dell'impianto terminale GNL in comune di Rosignano (LI).

Di seguito vengono riassunti i risultati principali ricavati dalle indagini in sito condotte nei mesi di aprile–giugno 2007 e dalle prove di laboratorio eseguite.

12.1 Stratigrafie di progetto dell'area

Nel sito in esame sono state distinte due aree omogenee dal punto di vista stratigrafico (si veda figura 9.1).

Le principali differenze evidenziate sono:

- l'assenza degli strati granulari C/C' nell'area denominata 2, dove sorgerà il "serbatoio etilene" e gli impianti ad esso connessi;
- il ridotto spessore, sempre nella medesima area, dello strato coesivo con proprietà meccaniche relativamente meno "buone", (strato B).

Partendo dal piano campagna, al di sotto di uno strato di riporto di origine antropica avente spessore fino ad oltre 6 m, si incontrano:

- un primo strato limoso-argilloso con modesto contenuto di sabbia, (strato A), che presenta tracce di essiccamento e/o ossidazione e con un elevato grado di sovraconsolidazione. In area 1 ha uno spessore variabile da 1.40 m a 3.30 m circa; in area 2 si trova sopra e sotto lo strato B con uno spessore rispettivamente di 0.70 m e di circa 7.80 m;
- un secondo livello coesivo, strato B, presente in tutta l'area di impianto ma con potenza differente, e variabile da oltre 19 m (area 1), a poco più di 5 m (area 2); si tratta di argilla limosa piuttosto plastica;
- un livello granulare, C/C', che si colloca tra 20÷25 m e 30÷34 m nella sola area omogenea 1, dove saranno ubicati i serbatoi di stoccaggio del gas naturale, le strutture collegate e gli uffici. È costituito da sabbie medio-grossolane alternato a livelli o lenti di ghiaie sabbiose;

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	128	142



- formazioni coesive, D/D' ed E/E' che si differenziano per la percentuale di argilla in esse contenuta e per le diverse proprietà meccaniche. In particolare, l'alternanza di limi sabbiosi ed argille limose, (E/E'), può essere assunta come strato di base per il progetto in esame.

12.2 Parametri geotecnici

I parametri geotecnici ricavati dall'interpretazione dei dati di prove in sito sono risultati in buon accordo con quelli ottenuti dalle prove di laboratorio; in caso di discordanza si è fatto riferimento a questi ultimi per la caratterizzazione degli strati coesivi.

I terreni coesivi dello strato A, di natura sovraconsolidata, sono caratterizzati da un peso di volume di 19.5 kN/m^3 ; il valore di coesione non drenata è stato assunto pari a 80 kPa, quello del modulo di compressione pari a 7 MPa.

Lo strato B ha caratteristiche piuttosto scarse, se confrontate con quelle degli altri strati in sito; i valori dei parametri geotecnici sono risultati crescenti in funzione della profondità. Per quanto riguarda la coesione c_u , infatti, si passa da valori di circa 20 kPa al tetto dello strato a valori di circa 50 kPa alla base, mentre i valori di modulo M variano da 4 MPa a 9 MPa circa.

I valori del coefficiente di consolidazione primaria, c_v , ricavati da prove di laboratorio e dalla prova di dissipazione condotta in sito sono risultati abbastanza simili, dell'ordine di $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, pertanto i cedimenti si svilupperanno piuttosto lentamente; data la natura normalconsolidata del materiale, sarà da tenere in conto l'occorrenza di cedimenti secondari.

I livelli sabbiosi e ghiaiosi sono caratterizzati da valori dell'angolo d'attrito rispettivamente pari a 30° e 37° ; il modulo di Young medio è risultato di 29 MPa per le sabbie e di 38 MPa per le ghiaie.

Agli strati D/D' sono stati attribuiti valori di peso di volume pari a 19.5 kN/m^3 , valori di c_u caratteristici pari a 90/100 kPa, mentre il modulo di compressione è di 13/15 MPa.

La formazione di base E/E' è caratterizzata da valori elevati sia di coesione non drenata ($c_u \geq 160 \text{ kPa}$) sia di modulo edometrico ($M \geq 17 \text{ MPa}$).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	129	142



Le stratigrafie di progetto ed i parametri geotecnici attribuiti a ciascuno strato sono riportate nelle figure 9.2 e 9.3.

12.3 Livello di falda

Le misure del livello di falda eseguite contestualmente ai sondaggi in sito hanno evidenziato:

- la presenza di una falda “superficiale”, nel riporto, influenzata dai fenomeni atmosferici, il cui livello nel periodo di indagine è risultato attorno a 1.30 m di profondità da p.c.;
- la presenza di una falda “profonda”, confinata nel livello C/C’ che potrebbe presentare fenomeni di artesianesimo. Per meglio comprendere l’entità del fenomeno, dato il ridotto numero di rilevamenti effettuati, si suggerisce un monitoraggio sistematico mediante i piezometri presenti nell’area e l’analisi dei dati storici delle letture curate dalla Solvay S.p.A..

12.4 Prove di laboratorio dinamiche

In relazione all’importanza del progetto, sono state eseguite prove di laboratorio accurate volte alla valutazione del comportamento dei terreni di fondazione, nell’ipotesi di sollecitazioni dinamiche e/o sismiche. I risultati, descritti al paragrafo 8.1 al quale si rimanda, hanno fornito un quadro della risposta dei materiali sottoposti a sforzi ciclici.

In particolare:

- dalle prove triassiali di tipo Property sono state ricavate le curve di decadimento del modulo elastico del materiale in funzione del grado di carico e conseguente deformazione a cui è stato sottoposto il provino;
- le prove triassiali a liquefazione hanno mostrato il comportamento del materiale sottoposto a cicli di carico/scarico, fino al raggiungimento della “rottura”: essendo infatti in presenza quasi totalmente di materiale di tipo coesivo, si è osservata la rottura del materiale per sollecitazione ciclica piuttosto che l’occorrenza del fenomeno di liquefazione vero e proprio;

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	130	142



- le prove di colonna risonante, in cui i provini sono stati sottoposti a sforzi di tipo torsionale, hanno fornito risultati in termini di deformazioni e modulo di taglio caratteristici dei materiali analizzati.

12.5 Potenziale di liquefazione

Non sono presenti problemi di liquefazione degli strati sabbiosi costituenti il livello C/C'.

Per le lenti sabbiose più superficiali, il potenziale di liquefazione è stato valutato con maggiore attenzione; i diversi approcci disponibili in letteratura hanno fornito risultati discordanti; complessivamente però si ritiene che il rischio di liquefazione sia trascurabile in relazione al fatto che le lenti sono caratterizzate da dimensioni veramente modeste, sono costituite da materiale ad elevata eterogeneità granulometrica e sono immerse e tra loro isolate nello strato B, di natura coesiva.

12.6 Indagine geofisica

Mediante le prove sismiche down-hole sono state misurate le velocità di propagazione delle onde sismiche principali e di taglio (P ed S) dei primi 30 m da p.c.; l'andamento dei valori, mostrato nelle figure 10.1 ÷ 10.10 conferma i profili stratigrafici delle 2 aree omogenee individuate.

Nello strato di riporto, i valori delle velocità V_p sono risultati compresi tra 600 m/s e 800 m/s, quelli delle V_s variano tra 350 m/s e 400 m/s; all'interno degli strati coesivi A e B i valori V_p sono pari a 500 m/s ÷ 650 m/s, quelli di V_s variano tra 200 m/s e 250 m/s. Nelle sabbie e ghiaie i valori delle velocità delle onde P sono variabili tra 800 m/s e 1100 m/s mentre quelli relativi alle onde S sono compresi tra 350 m/s e 500 m/s.

I valori delle velocità sismiche mediate sui primi 30 m di profondità sono compresi tra 280 m/s e 320 m/s considerando i risultati delle prove down-hole e delle stese sismiche; sulla base della classificazione proposta dallanuova normativa sismica, i terreni rientrano quindi nella *classe C* che comprende “depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	131	142



Con riferimento alla classificazione sismica, il comune di Rosignano rientra nella *categoria* 2 secondo quanto indicato nell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003; il valore dell'accelerazione di riferimento risulta 0.25g.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	132	142



13. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA**

13.1 **Documenti di riferimento**

- [1] VICENZETTO SRL – *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO - Realizzazione di un nuovo impianto terminale LNG nell'area dello stabilimento Solvay S.p.A. di Rosignano Solvay (LI) – Parte I: Indagine Geognostica – Rev. 0 – Agosto 2007.*
- [2] VICENZETTO SRL – *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO - Realizzazione di un nuovo impianto terminale LNG nell'area dello stabilimento Solvay S.p.A. di Rosignano Solvay (LI) – Parte II: Prove Geotecniche di laboratorio – Rev. 0 – Agosto 2007.*
- [3] VICENZETTO SRL – *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO – Rilievo topografico.*
- [4] GARASSINO SRL - *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO - Nota Tecnica, R.1741/01 – Rev. 0 - 06.07.05.*
- [5] GARASSINO SRL - *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO - Indagine geofisica con metodo Down-hole e metodo ReMi – Relazione Tecnica - R.1741/70 – Rev. 0 - 24.07.07.*
- [6] EUCENTRE - *IMPIANTO GNL di ROSIGNANO – Definizione dell'Input Sismico di Costruzione dell'Impianto LNG a Rosignano Solvay (Livorno) – EUC080/2007U – Rev. 0 – 31.03.07.*

13.2 **Bibliografia**

Baldi, G., Bellotti, R., Ghionna, V., Jamiolkoski, M., Pasqualini, E., (1985): “Theory Penetration Resistance and Liquefaction of Sands”, Proceedings of the Eleventh Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering – A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	133	142



Baligh M.M. (1975): “Theory of deep site static cone penetration resistance” – Research Report R-75-76, MIT, Cambridge.

Bazaraa, A.R.S.S. (1967): “Use of Standard Penetration Test for Estimating Settlement of Shallow Foundations on Sand”, Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana, USA.

Briaud, J.-L. (1992): “The pressuremeter”, .A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp. 47-48.

D’Appolonia, D. J., D’Appolonia, E., Brisette, P. F. (1970): “Discussion on Settlement of Spread Footing on Sand” – ASCE J. SMFD 96: SM 2.

Denver, H. (1982): “Modulus of Elasticity for Sand Determined by SPT and CPT”: from A.A. Balkema(1982). – Penetration Testing” – ESOPT II, Amsterdam, page 38.

Gibbs H.J., Holtz W.H. (1957): “Research on Density of Sands by Spoon Penetration Testing” – P.4th Int. Conf. On S.M. and F.E. – da: Balkema A.A. (1982) – “Penetration Testing” – ESOPT II, Amsterdam, pag. 47-50.

Ishihara, K., (1985): “Stability of Natural Deposits During Earthquakes” – Proceedings of the Eleventh Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering – A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.

Jamiolkowski M., Garizio M., (1997): “Determinazione dei parametri geotecnici e in particolare di Ko da prove penetrometriche” – Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria – Dipartimento di Ingegneria Civile.

Mayne, P. W., Kulhway, F. H., and Kay, J. N., “Observations in the Development of Pore Water Stresses During Cone Penetration in Clays”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No 3, Aug. 1990.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	134	142



Mayne, P. W., “Cavity Expansion / Critical- State Theory for Piezocone Penetration in Clays”, submitted for review in 1990.

Schmertmann, J. H. (1978): “Guidelines for Cone Penetration Test Performance and Design”, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C., 145 p..

Seed, H. B., Idriss, I. M. (1983): “Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data” – Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 109(3): 458-482.

Skempton, A. W. (1957): Discussion of “Planning and Design of New Hong Kong Airport”, Proceedings, Institution of Civil Engineers, Vol. 7, pp. 305-307.

Terzaghi, K. and Peck, R. B., “Soil Mechanics in Engineering Practice”, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 1967.

Vermeer, P.A., Leoni, M., (2007): “Modelling and Numerical Simulation of creep in soft soils”, Soft Soil Engineering – Chan & Law (eds) – Taylor & Francis Group, London, ISBN 13 978-0-415-42280-2.

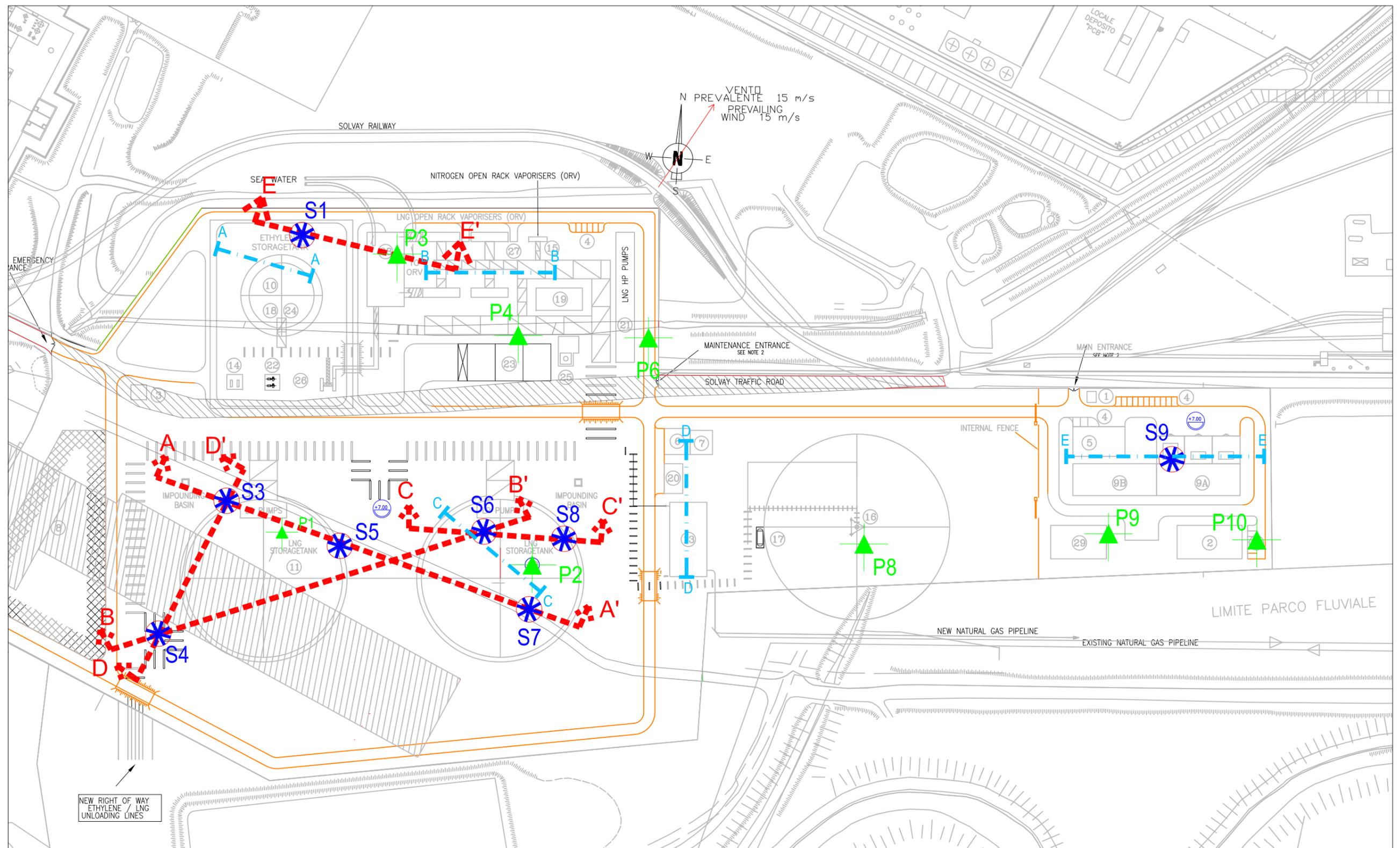
DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	135	142



ALLEGATO 1

UBICAZIONE DELLE INDAGINI E TRACCE DELLE SEZIONI

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	136	142



LEGENDA	
	SONDAGGI GEONOSTICI
	PROVE PENETROMETRICHE
	STESE SISMICHE

DESCRIZIONE/Description		EDISON S.p.A.		TERMINALE GLN di ROSIGNANO		UBICAZIONI INDAGINI E TRACCE DELLE SEZIONI		Dis. N°/Draw. n°	
								ALL-1	
0	26/10/07	J.A.M.							
REV.	DATA/Date	PREP.					FILE: 1741/80		



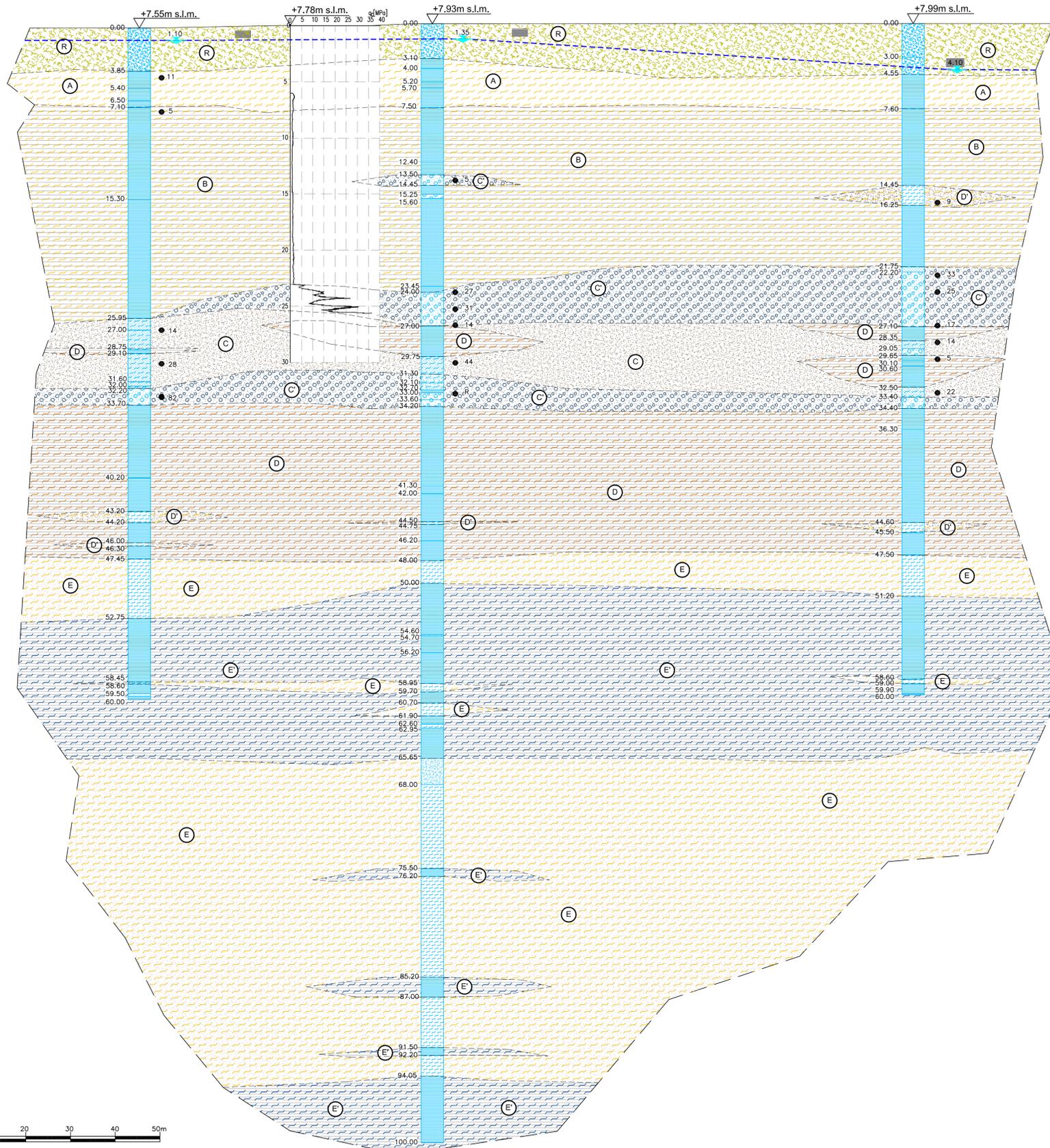
ALLEGATO 2

SEZIONI STRATIGRAFICHE

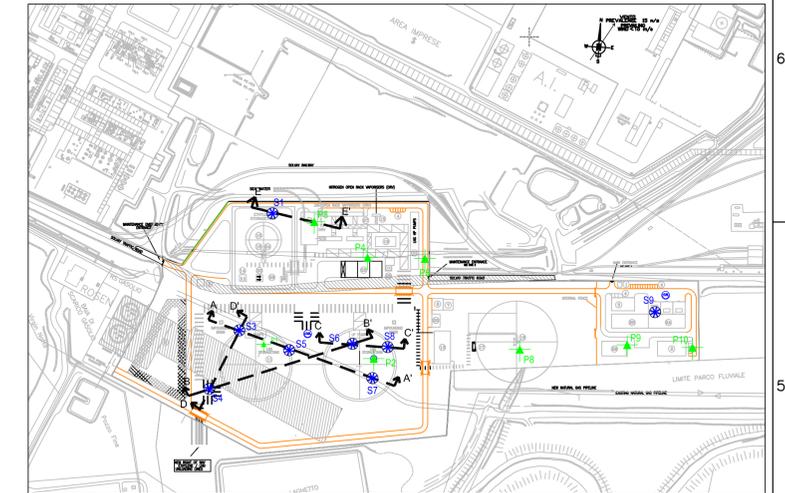
DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
31.10.07	Relazione geotecnica generale	1741	80	00	138	142

SEZIONE A-A'

QUOTA [m s.l.m.]



PIANTA CHIAVE
SCALA 1:4000



LEGENDA

- R Materiale eterogeneo di RIPORTO
- A LIMO argilloso, debolmente sabbioso, essiccato e/o ossidato
- B ARGILLA grigia limosa piuttosto plastica
- C/C' SABBIA da media a grossolana (C) e GHIAIA eterometrica in matrice sabbioso-argillosa (C')
- D/D' ARGILLA limosa grigia (D) con lenti di LIMO argilloso-sabbioso (D')
- E/E' Alternanze di LIMO sabbioso debolmente argilloso (E) ed ARGILLA limosa sabbiosa (E')
- Sondaggio
- Prova penetrometrica statica
- Nspt
- Intersezione con altre sezioni
- Livello falda

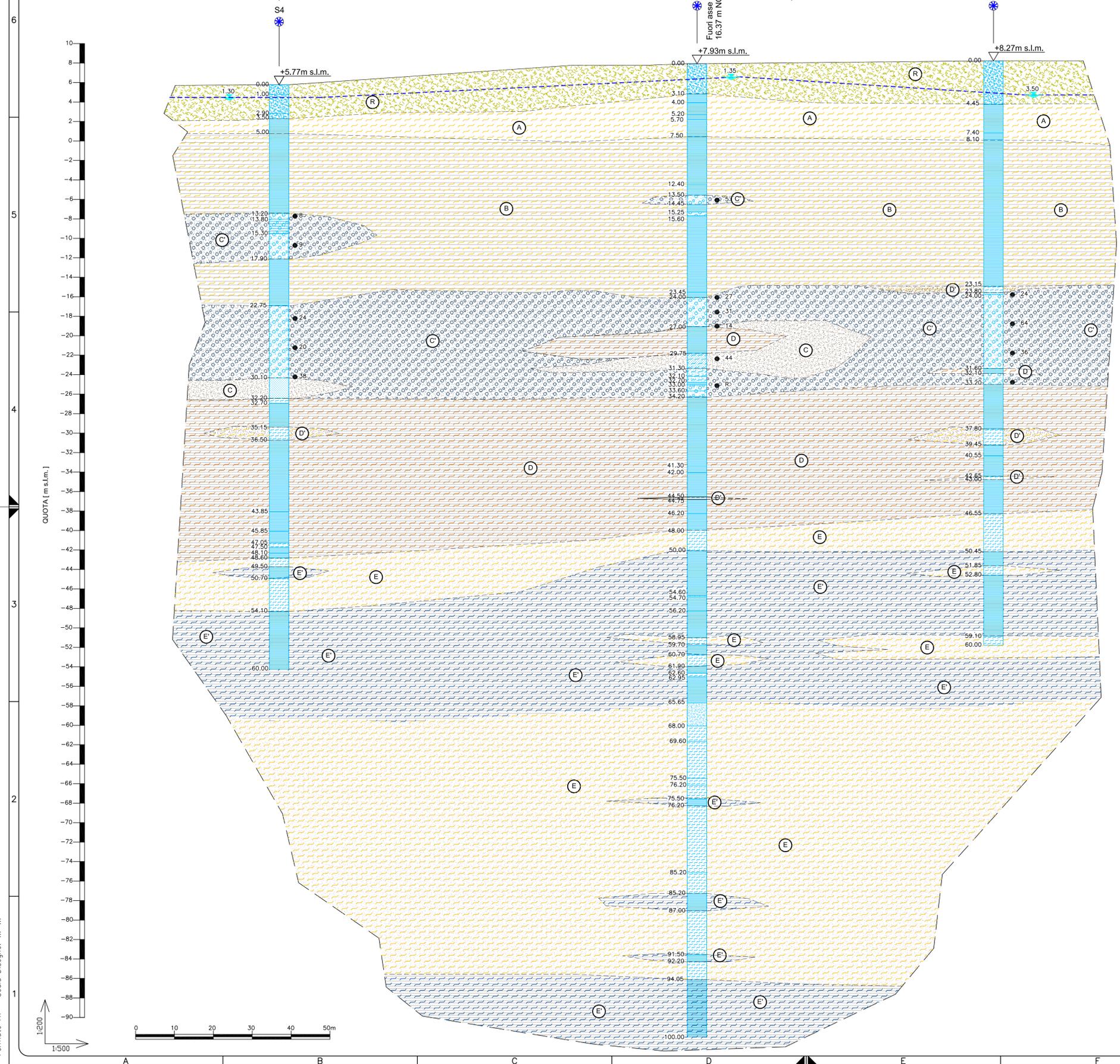
NOTA/E

- Misure in m salvo altrimenti specificato
- Le quote altimetriche sono in m s.l.m.

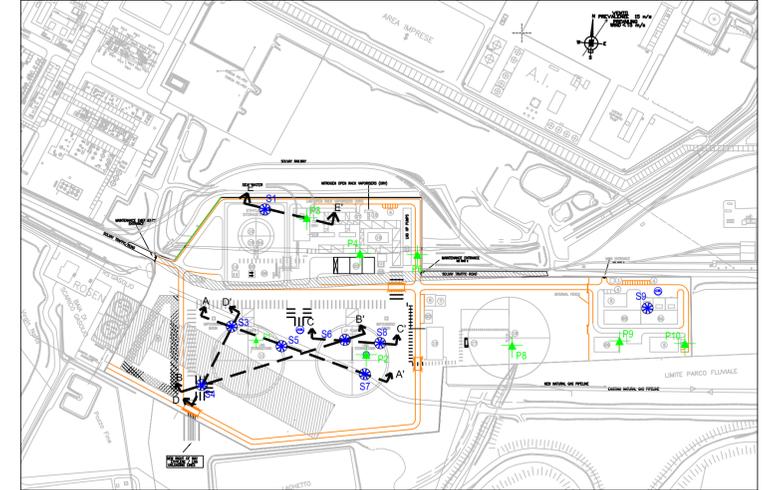
2					
1					
0	PER EMISSIONE		15/10/2007	Giorgi	Citterio
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	APPROVATO	
1			Checked	Approved	
 CODIFICA DOC. / Doc. Number N° Q520SGKC004		IMPIANTO / OPERA Plant TERMINALE GNL ROSIGNANO		COMMITTENTE Client EDISON	
SEZIONE STRATIGRAFICA A-A'					
0	PRIMA EMISSIONE	15/10/07	MOHOUSSA	OLDINI	GARASSINO
REV.	DESCRIZIONE/DESCRIPTION	DATA/DATE	DIS./DRAWN	CONTR./CHECK	APPROV.
 Via Curtatone, 25 - 20122 MILANO (ITALIA) Tel. +39 0255190493 Fax +39 0255181865 E-Mail: garassinor@garassinor.it		ELABORATO/DRAWING N° T1		COMMESSA/JOB: 1741/80	
Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ		FORMATO/ FORMAT A1	SCALA/SCALE VARIE	SCALA GRAFICA/GRAPHIC SCALE	
FILE= 1741-80-00-T1		PLOT 1+1			

Formato A1 - Scala Disegno: ...=...

SEZIONE B-B'



PIANTA CHIAVE
SCALA 1:4000



LEGENDA

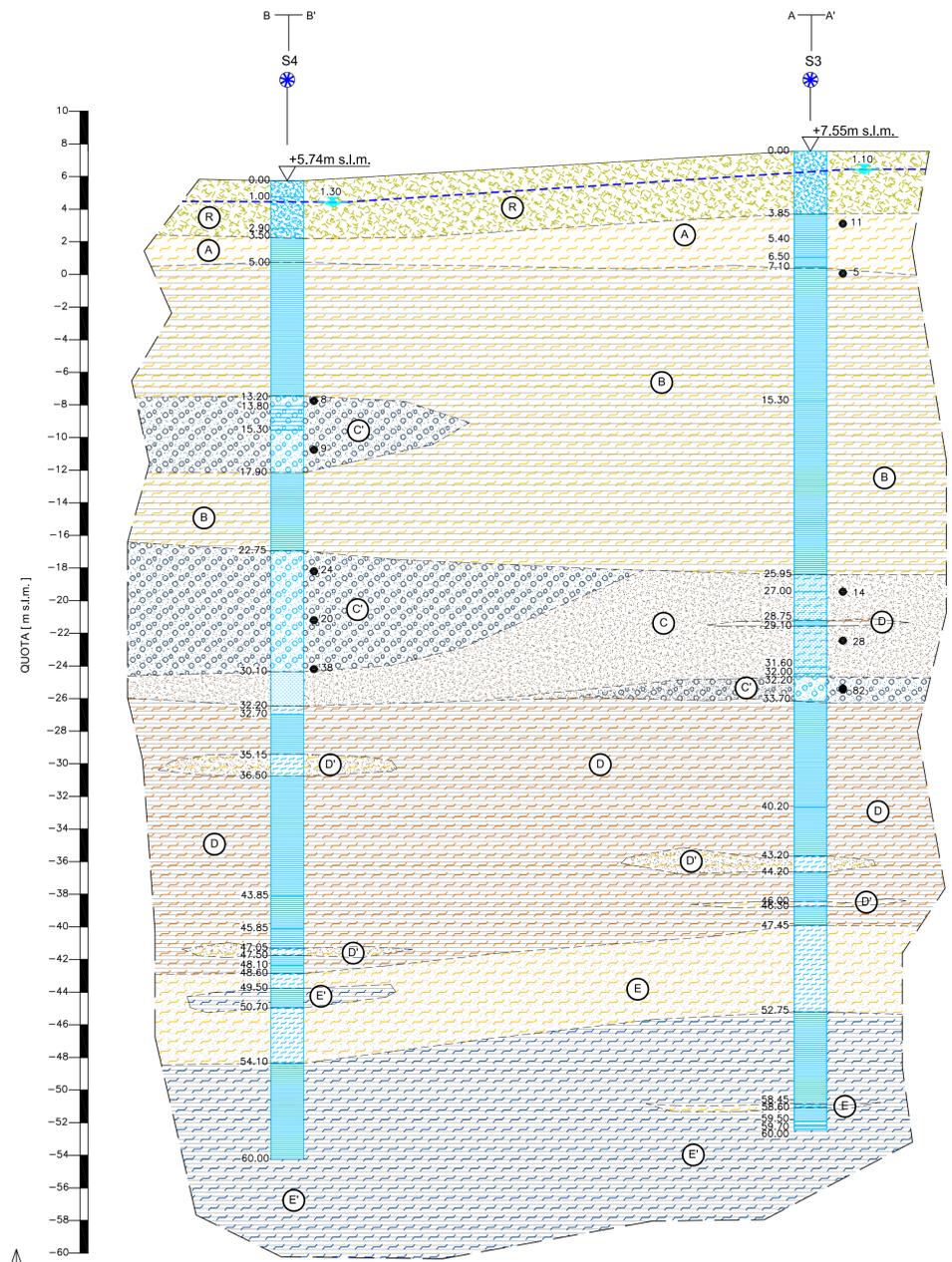
- R Materiale eterogeneo di RIPORTO
- A LIMO argilloso, debolmente sabbioso, essiccato e/o ossidato
- B ARGILLA grigia limosa piuttosto plastica
- C/C' SABBIA da media a grossolana (C) e GHIAIA eterometrica in matrice sabbioso-argillosa (C')
- D/D' ARGILLA limosa grigia (D) con lenti di LIMO argilloso-sabbioso (D')
- E/E' Alternanze di LIMO sabbioso debolmente argilloso (E) ed ARGILLA limosa sabbiosa (E')
- Sondaggio
- Prova penetrometrica statica
- Nspt
- Intersezione con altre sezioni
- Livello falda

NOTA/E

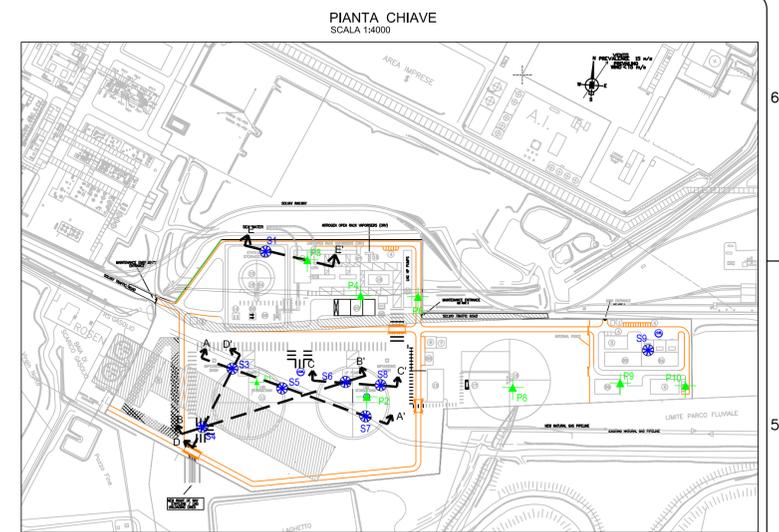
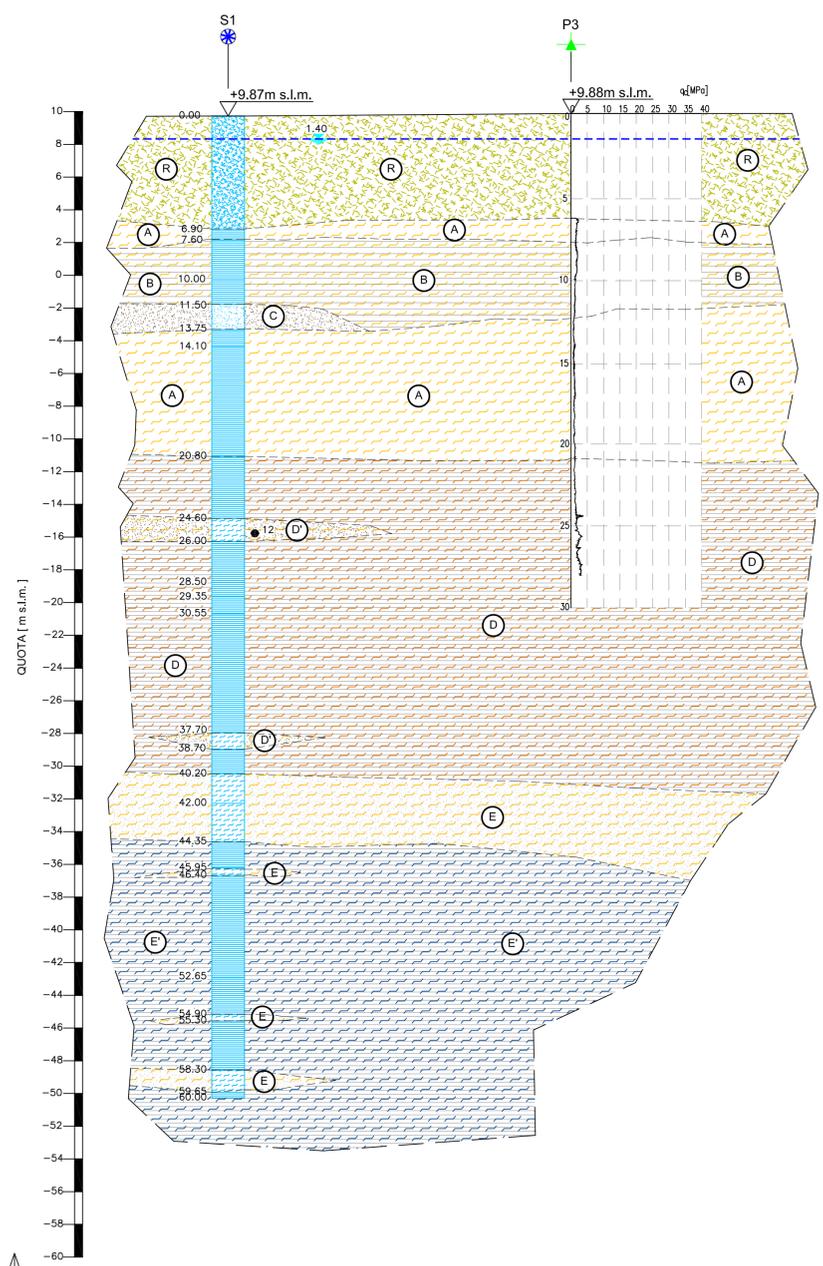
- Misure in m salvo altrimenti specificato
- Le quote altimetriche sono in m s.l.m.

2					
1					
0	PER EMISSIONE		15/10/2007	Giorgi	Citterio
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	APPROVATO	
1			Checked	Approved	
<p>EDISON CODIFICA DOC. / Doc. Number N° Q520SGKC005</p>		<p>IMPIANTO / OPERA Plant</p> <p>TERMINALE GNL ROSIGNANO</p>		<p>COMMITTENTE Client</p> <p>EDISON</p>	
<p>SEZIONE STRATIGRAFICA B-B'</p>					
0	PRIMA EMISSIONE	15/10/07	MOHOUSSA	OLDINI	GARASSINO
REV.	DESCRIZIONE/DESCRIPTION	DATA/DATE	DIS./DRAWN	CONTR./CHECK	APPROV.
<p>GARASSINO s.r.l. Via Curtatone, 25 - 20122 MILANO (ITALIA) Tel. +39 0255190493 Fax +39 0255181865 E-Mail: garassino@garassino.it</p> <p>Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ</p>		<p>ELABORATO/DRAWING N° T2</p>		<p>COMMESSA/JOB: 1741/80</p>	
<p>FORMATO/ FORMAT</p> <p>A1</p>		<p>SCALA/SCALE</p> <p>VARIE</p>		<p>SCALA GRAFICA/GRAPHIC SCALE</p>	
<p>FILE= 1741-80-00-T2</p>			<p>PLOT 1+1</p>		

SEZIONE D-D'



SEZIONE E-E'



LEGENDA

- R Materiale eterogeneo di RIPORTO
- A LIMO argilloso, debolmente sabbioso, essiccato e/o ossidato
- B ARGILLA grigia limosa piuttosto plastica
- C/C' SABBIA da media a grossolana (C) e GHIAIA eterometrica in matrice sabbioso-argillosa (C')
- D/D' ARGILLA limosa grigia (D) con lenti di LIMO argilloso-sabbioso (D')
- E/E' Alternanze di LIMO sabbioso debolmente argilloso (E) ed ARGILLA limosa sabbiosa (E')
- Sondaggio
- Prova penetrometrica statica
- Nspt
- Intersezione con altre sezioni
- Livello falda

NOTA/E

- Misure in m salvo altrimenti specificato
- Le quote altimetriche sono in m s.l.m.

2					
1					
0	PER EMISSIONE		15/10/2007	Giorgi	Citterio
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	APPROVATO	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
EDISON		IMPIANTO / OPERA Plant		COMMITTENTE Client	
CODIFICA DOC. / Doc. Number N° Q.520SGKC007		TERMINALE GNL ROSIGNANO		EDISON	
SEZIONI STRATIGRAFICHE D-D' E E-E'					
0	PRIMA EMISSIONE	15/10/07	MOHOUSSA	OLDINI	GARASSINO
REV.	DESCRIZIONE/DESCRIPTION	DATA/DATE	DIS./DRAWN	CONTR./CHECK	APPROV.
GARASSINO s.r.l. Via Curtatone, 25 - 20122 MILANO (ITALIA) Tel. +39 0255190493 Fax +39 0255181865 E-Mail: garassinor@garassinor.it		ELABORATO/DRAWING N°		T4	
Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ		FORMATO/ FORMAT		SCALA/SCALE	
		A1		VARIE	
		FILE= 1741-80-00-T4		SCALA GRAFICA/GRAPHIC SCALE	
				PLOT 1+1	

Formato A1 - Scala Disegno: ... = ...