

PROJECT
Progetto **CENTRALE TEODORA**
Porto Corsini - RAVENNA

Security Index
Indice Sicurezza

Riservato Aziendale

TITLE
Titolo **EDIFICIO STOCCAGGIO DI AMMONIACA**
RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

CLIENT
Cliente **ENEL PRODUZIONE S.p.A**



JOB no. Document no.

CLIENT SUBMITTAL Inoltro al Cliente	<input type="checkbox"/> FOR APPROVAL Per Approvazione	<input type="checkbox"/> FOR INFORMATION ONLY Per Informazione	<input type="checkbox"/> NOT REQUESTED Non Richiesto
--	---	---	---

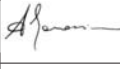


SYSTEM Sistema 00B	DOCUMENT TYPE Tipo Documento TK	DISCIPLINE Disciplina C	FILE File PBPCX12974 00
------------------------------	---	-----------------------------------	-----------------------------------

REV	DESCRIPTION OF REVISIONS / Descrizione delle revisioni
00	PRIMA EMISSIONE



COMMESSA JOB	DATA Date	IDENTIFICATIVO DOCUMENT CODE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
249	19/03/21	R.249-11.00	C. Riva	G. Sedani	A. Garassino

via Elia Lombardini, 10 - 20143 Milano
phone: +39 02-38.24.82.30 - e-mail: geo.consulet@consulet.it

00	19.03.21	SP										
			CONSULET								FAVATA	IT-A456441 Perugini S.
REV	Date Data	Scope Scopo	Prepared by Preparato	Co-operations Collaborazioni							Approved by Approvato	Issued by Emesso

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 2 <i>di</i> 55

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	5
2.1	DOCUMENTI.....	5
2.2	NORMATIVE.....	6
3.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFICA DEI TERRENI.....	7
3.1	INDAGINI A DISPOSIZIONE	7
3.2	LITOLOGIE PRESENTI.....	8
3.3	LIVELLO PIEZOMETRICO.....	9
3.4	INTERPRETAZIONE DEI DATI RICAVALI DALLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
3.4.1	Interpretazione delle prove SPT	9
3.4.2	INTERPRETAZIONE DELLA PROVA CPTU	18
3.4.3	Interpretazione delle prove di laboratorio	34
3.4.4	Confronto dei risultati ottenuti dalle diverse prove.....	40
3.5	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO	46
4.	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI DA PROVE GEOFISICHE.....	47
4.1	VELOCITA' DELLE ONDE S	47
4.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA.....	48
4.3	COEFFICIENTI SISMICI DI RIFERIMENTO.....	48
4.4	SUSCETTIBILITA' A LIQUEFAZIONE.....	49
5.	RILEVATO FONDAZIONALE	50
6.	CONCLUSIONI	52
	BIBLIOGRAFIA	54

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 3 of 55 <i>di</i>

1. INTRODUZIONE

Il presente documento è redatto al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni di fondazione dell'impianto di stoccaggio dell'ammoniaca in progetto all'interno dell'area della centrale "Teodora", nel comune di Ravenna (RA).

Come visibile in figura 1.1 l'area in esame è situata nelle immediate vicinanze del mare, più precisamente in località Porto Corsini.

Il piazzale di centrale si trova mediamente alla quota di circa +1 m s.l.m.; per questo motivo, a protezione da eventuali inondazioni, il piano finito dell'edificio in progetto verrà innalzato e portato alla quota di +1.80 m s.l.m. mediante la realizzazione di un rilevato in materiale di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa, di caratteristiche adeguate a fungere da appoggio alle fondazioni.

Oggetto della presente relazione è quindi la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione sulla base dell'elaborazione dei dati ricavati da indagini geognostiche pregresse e recenti; verranno qui inoltre fornite utili indicazioni sui materiali da utilizzare e sulle modalità realizzative del rilevato fondazionale.

Tutte le considerazioni e le valutazioni esposte nelle pagine a seguire sono state condotte in osservanza a quanto contenuto nell'aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (approvato con D.M. 17.01.2018, pubblicato sulla G.U. il 20.02.2018) ed alla successiva Circolare Esplicativa.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 4 of 55 <i>Pagina</i> 4 di 55

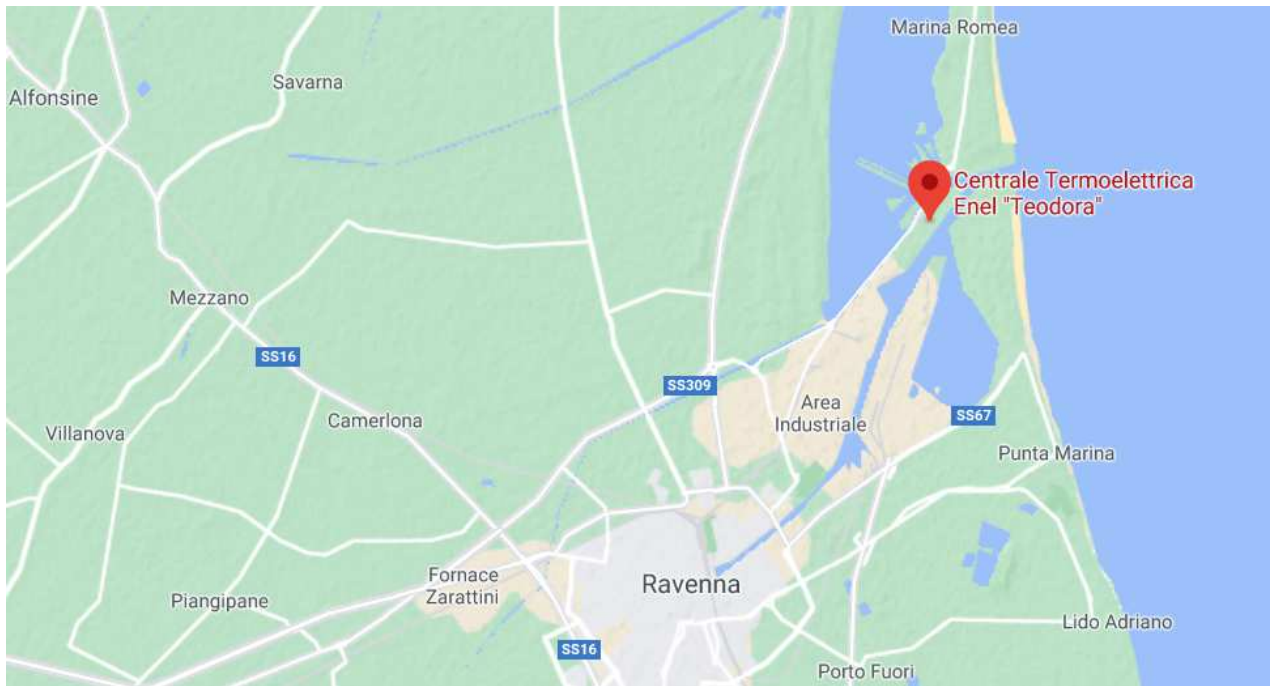


Figura 1.1 – Inquadramento geografico della centrale

Stoccaggio
ammoniac

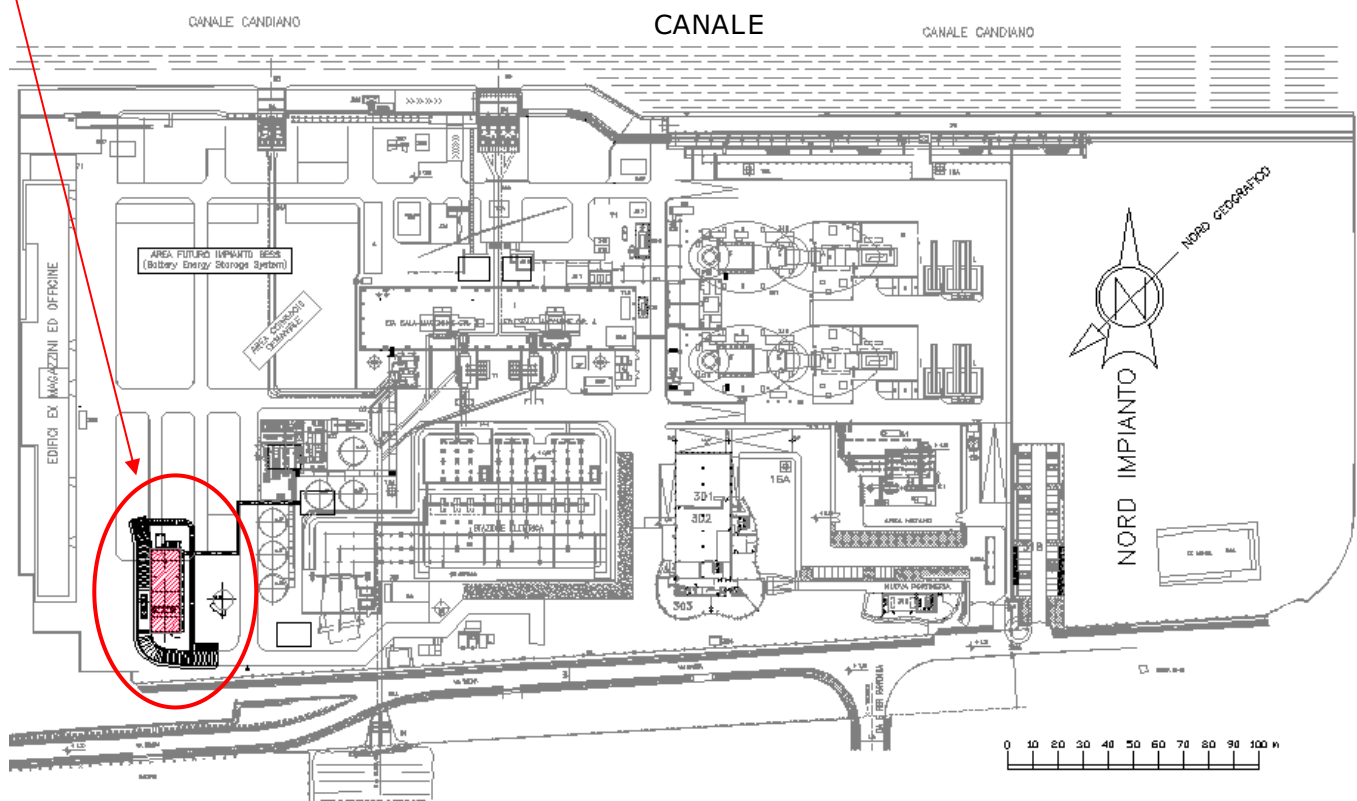


Figura 1.2 – Posizione dell'area di intervento internamente alla centrale

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.
 This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 5 of <i>Pagina</i> di 55

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Nel corso della presente relazione si farà riferimento ai documenti ed alle norme seguenti.

2.1 DOCUMENTI

- Rif.[1] **ITALGEO** – 1995 – ITR0001
Centrale di Porto Corsini – Trasformazione in ciclo combinato. Caratterizzazione geotecnica dei terreni.
- Rif.[2] **ITALGEO** – 1995 – ITD0001
Centrale di Porto Corsini – Trasformazione in ciclo combinato. Planimetria generale.
- Rif.[3] **ITALGEO** – 1995 – ITD0003 e ITD0005
Centrale di Porto Corsini – Trasformazione in ciclo combinato. Profilo stratigrafico B-B' e profilo stratigrafico D-D'.
- Rif.[4] **CoSTAG – S.In.Ge.A** – Marzo 2021 - Cod. PBPCX1297100
Centrale di Porto Corsini (RA). Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione sulle Indagini Geognostiche di sito
- Rif.[5] **CoSTAG – S.In.Ge.A** – Marzo 2021 - Cod. PBPCX1297200
Centrale di Porto Corsini (RA). Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione sulle Prove di laboratorio.
- Rif.[6] **ENEL** – Luglio 2020 – cod. PBITX10005
Chemicals auxiliaries of SCR ammonia solution storage. Power plant Teodora, Porto Corsini (RA). General layout
- Rif.[7] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12973
Centrale Elettrica Teodora, Ravenna - Edificio stoccaggio di ammoniaca. Relazione geologica.
- Rif.[8] **CONSULET SERVIZI S.r.l.** – 2021 – PBPCX12975
Centrale Teodora, Porto Corsini – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Sezione stratigrafica A-A'.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 6 <i>di</i> 55


Rif.[9]

CONSULET SERVIZI S.r.l. – 2021 – PBPCX12976

Centrale Teodora, Porto Corsini – Edificio stoccaggio di ammoniaca. Rilevato
fondazionale. Preparazione e materiali.

2.2 NORMATIVE

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 17 Gennaio 2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni (NTC)».
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 7 of <i>Pagina</i> di 55

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFICA DEI TERRENI

Il modello geotecnico e stratigrafico rappresentativo dei terreni di fondazione è qui ricostruito a partire dai dati ricavati dalle recenti indagini geognostiche condotte nel 2021; verranno altresì considerati per un confronto i risultati anche di indagini pregresse eseguite in vicinanza e ritenuti di particolare interesse.

3.1 INDAGINI A DISPOSIZIONE

Nella sottostante figura 3.1 sono ubicate planimetricamente le indagini considerate per la caratterizzazione del terreno di fondazione dell'edificio di stoccaggio ammoniaca.

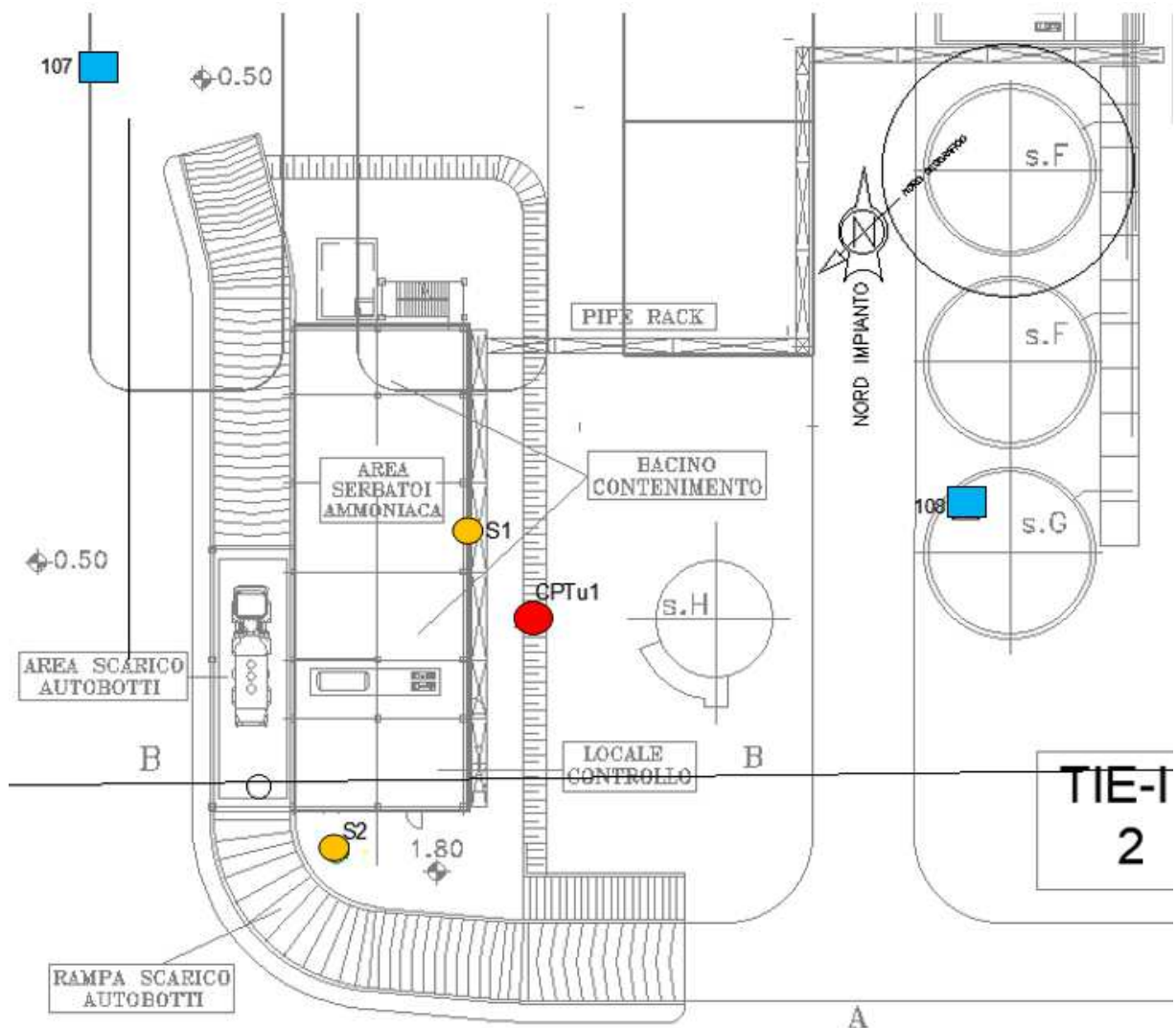



Figura 3.1 – Ubicazione delle indagini considerate per la caratterizzazione dei terreni

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 8 of 55 <i>di</i>

Si tratta delle seguenti prove ed attività:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo, con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT all'interno dei fori di sondaggio; la profondità raggiunta è di 30 metri da p.c. in S1 e di 20 m da p.c. in S2;
- prova sismica di tipo down-hole nel foro del sondaggio S1;
- prove di laboratorio condotte su campioni rimaneggiati e indisturbati prelevati durante i carotaggi;
- n°1 prova penetrometrica statica CPTu, spinta fino alla profondità di 30 metri da p.c.

I risultati delle prove sopramenzionate sono contenuti nel documento di Rif. [4], che riassume tutti i dati raccolti durante l'indagine in campagna, e nel documento di Rif. [5] per quanto riguarda invece le prove di laboratorio.

In aggiunta a quanto sin qui elencato, si è tenuto conto, per un confronto, anche delle indagini pregresse, e nello specifico di quanto contenuto nella relazione di caratterizzazione geotecnica di Rif.[1], con particolare attenzione, data la vicinanza all'area di intervento, alle prove CPT 107 e 108, documentate negli elaborati grafici di Rif. [2] e Rif.[3].


3.2 LITOLOGIE PRESENTI

Con rimando ai documenti da Rif. [1] a Rif. [5], sulla base delle indagini geognostiche considerate, si individuano nell'area di interesse le seguenti litologie:

RIPORTO: Materiale di riporto, di natura sabbioso-ghiaiosa, debolmente limosa. Il suo spessore è di circa 70÷80 cm.

LIVELLO L1: Limo argilloso, da debolmente sabbioso a sabbioso.
E' rinvenuto da sotto lo strato di riporto fino alla profondità di 2.5÷3.2 m dal piano campagna attuale.

LIVELLO L2: Sabbia fine, limosa, localmente debolmente argillosa. Estremamente sciolta in corrispondenza del sondaggio S1.
Lo strato ha uno spessore di circa 6 m e si riscontra mediamente fino alla profondità di 8.5÷9.0 m dal p.c.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 9 di 55

LIVELLO L3: Limo da con argilla ad argilloso, debolmente sabbioso. La componente sabbiosa risulta particolarmente significativa oltre i 26 m di profondità, come riscontrato nella prova CPTu.

Questo strato ha uno spessore di 18÷19 m ed ha base alla profondità di 27÷27.5 m dal p.c.

LIVELLO L4: Argilla debolmente limosa, intercalata a straterelli sabbiosi. La presenza di livelli sabbiosi è desunta dalle sole prove CPTU, recenti e pregresse; in particolare da queste ultime si rileva una prevalente componente sabbiosa sino a circa 32 m di profondità, non confermata però nel sondaggio S1 del 2021.

Il livello è stato riscontrato nelle indagini del 2021 da 27÷27.5 m dal p.c. fino a fondo foro (30 m da p.c.).

3.3 LIVELLO PIEZOMETRICO

Durante la campagna geognostica condotta nel 2021 è stata riscontrata presenza di acqua di falda in entrambi i sondaggi, alla profondità di -1.5 m dal piano campagna.


Trovandosi il piazzale di centrale alla quota media di +1.0 m s.l.m. è verosimile ipotizzare che in condizioni indisturbate il livello piezometrico sia più superficiale e che si attesti mediamente a -1 m dal piano campagna attuale. Considerata inoltre la vicinanza del mare, si ritiene doveroso tenere conto anche di eventuali innalzamenti di quest'ultimo e, di conseguenza, si consiglia di considerare la falda di progetto almeno alla quota di + 0.50 (- 0,50 da p.c.) o superiore.

3.4 INTERPRETAZIONE DEI DATI RICAVATI DALLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nelle pagine a seguire si procederà ad una caratterizzazione dei parametri geotecnici attribuibili ai terreni, basata sulle informazioni acquisite tramite le indagini geognostiche elencate nel paragrafo 3.1.

3.4.1 Interpretazione delle prove SPT

Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici, al loro interno, sono state eseguite, a differenti profondità e con intervallo approssimativamente regolare, prove di resistenza alla penetrazione di tipo Standard (prove penetrometriche dinamiche tipo SPT).

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 10 of 55 <i>di</i>

I risultati di queste prove sono stati elaborati mediante una serie di correlazioni empiriche, riportate nel prosieguo, per la caratterizzazione geotecnica dei depositi incontrati e precedentemente descritti al paragrafo 3.2.

La figura 3.4.1.1 riporta i valori N_{SPT} ottenuti dalle prove effettuate nei fori dei sondaggi S1 e S2; i valori sono diagrammati in funzione della profondità, con riferimento al piano campagna attuale.

Dove i terreni investigati hanno comportamento prevalentemente coesivo, i valori delle N_{SPT} precedentemente illustrati sono stati elaborati mediante una serie di correlazioni empiriche finalizzate alla stima della coesione non drenata e del modulo edometrico.

Inoltre, per il solo livello L2, di natura sabbiosa, sono stati determinati densità relativa, angolo di attrito e modulo elastico.

Tutte le correlazioni utilizzate sono di seguito esplicitate.

COESIONE NON DRENATA

La resistenza al taglio non drenata (C_u) è stata ricavata con la seguente correlazione, proposta da *Terzaghi & Peck* nel 1967:

$$C_u(kPa) = (0.067 \cdot N_{SPT}) \cdot p_a$$

dove:


p_a = pressione atmosferica (100 kPa).

MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

I valori del modulo di compressione a deformazione laterale impedita (M) sono stati stimati partendo dalla correlazione di *Begemann* (1974) per terreni limosi:

$$M(MPa) = 40 + 3 \cdot (N_{SPT} - 6) \cdot 0.1 \quad \text{se } N_{SPT} > 15;$$

$$M(MPa) = 3 \cdot (N_{SPT} + 6) \cdot 0.1 \quad \text{se } N_{SPT} < 15;$$

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 11 di 55

DENSITÀ RELATIVA (PER IL SOLO LIVELLO L2)

La densità relativa (D_r) è stata ricavata con la seguente correlazione, proposta da *Bazaraa* nel 1969:

$$D_R (\%) = \left[0.2236 * \sqrt{\frac{N_{SPT}}{a + (b * \sigma')}} \right] * 100$$

dove:

N_{SPT} = numero colpi / 30 cm;

σ' = pressione verticale efficace esistente in sito (kg/cm^2);

a, b = parametri dipendenti dalla pressione verticale efficace.

a = 1 ; b = 0.2 quando $\sigma' \leq 1.5$ (kg/cm^2);

a = 3.25 ; b = 0.05 quando $\sigma' > 1.5$ (kg/cm^2).

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (PER IL SOLO LIVELLO L2)

I valori dell'angolo di attrito (Φ) sono stati stimati partendo dalle correlazioni di *Shioi & Fukuni (1982)* per sabbie fini/limose:

$$\begin{aligned} \phi (\text{°}) &= (15 * N_{SPT})^{0.5} + 15 && \text{se } (15 * N_{SPT})^{0.5} + 15 \leq 46 \\ \phi &= 46 \text{°} && \text{se } (15 * N_{SPT})^{0.5} + 15 > 46 \end{aligned}$$

MODULO DI YOUNG (PER IL SOLO LIVELLO L2)

La valutazione del Modulo di Young (E) è stata condotta mediante la relazione di *Webb (1970)* per sabbia satura:

$$E(\text{MPa}) = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

dove:

$$s_1 = 0.478$$

$$s_2 = 7.17$$

Le figure dalla 3.4.1.2 alla 3.4.1.6 illustrano l'andamento dei parametri geotecnici stimati mediante le formule precedentemente descritte.



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **12** of
di **55**

PROVA PENETROMETRICADINAMICA SPT

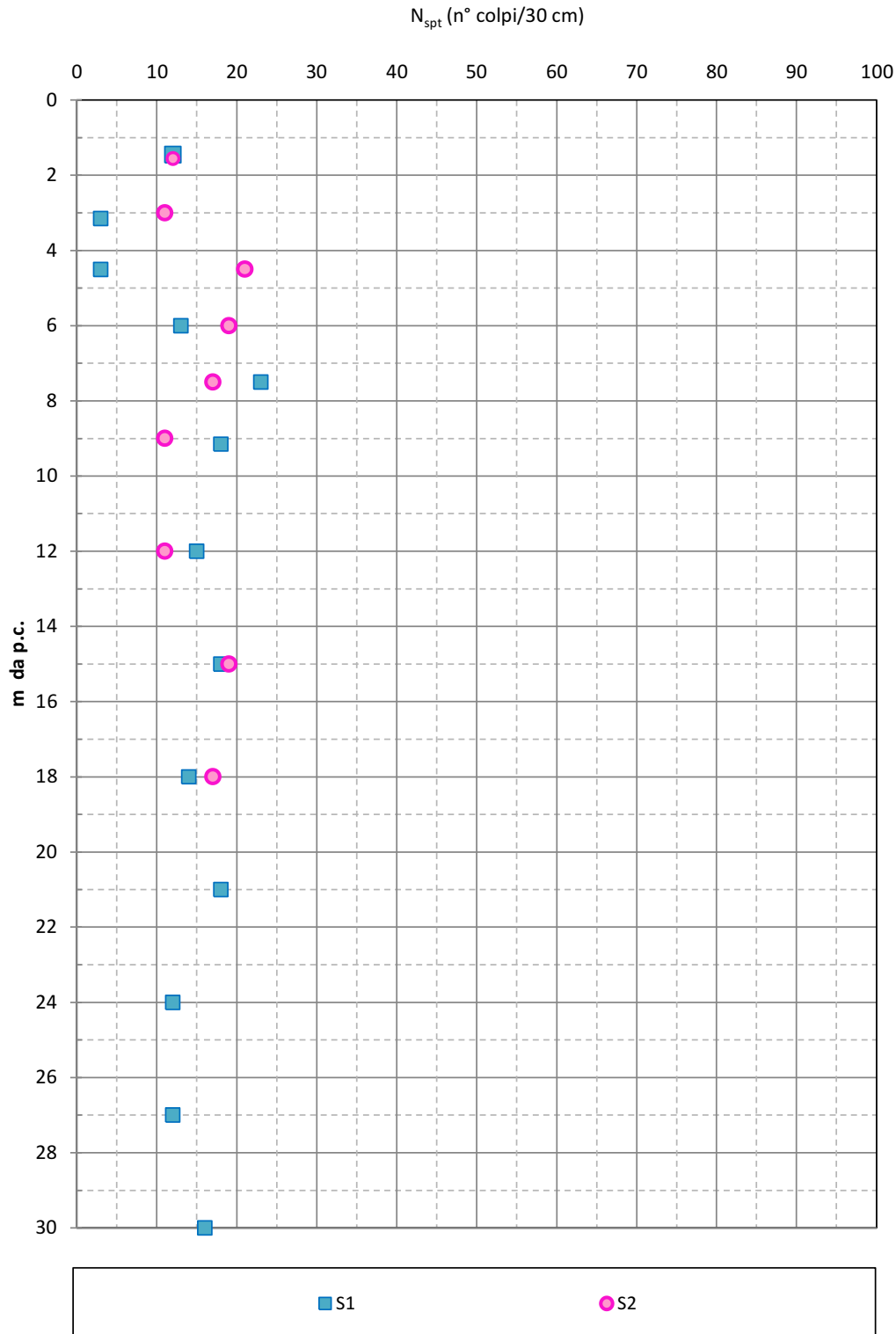
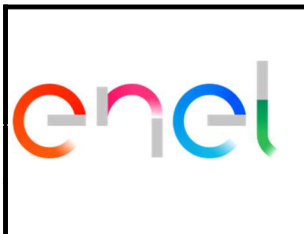


Figura 3.4.1.1 – Valori di N_{SPT} misurati



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **13** of di **55**

COESIONE NON DRENATA da SPT

$$\text{TERZAGHI \& PECK } C_u \text{ (kPa)} = (0.067 * N_{\text{spt}}) \text{ Pa}$$
$$\text{Pa} = 100 \text{ kPa}$$

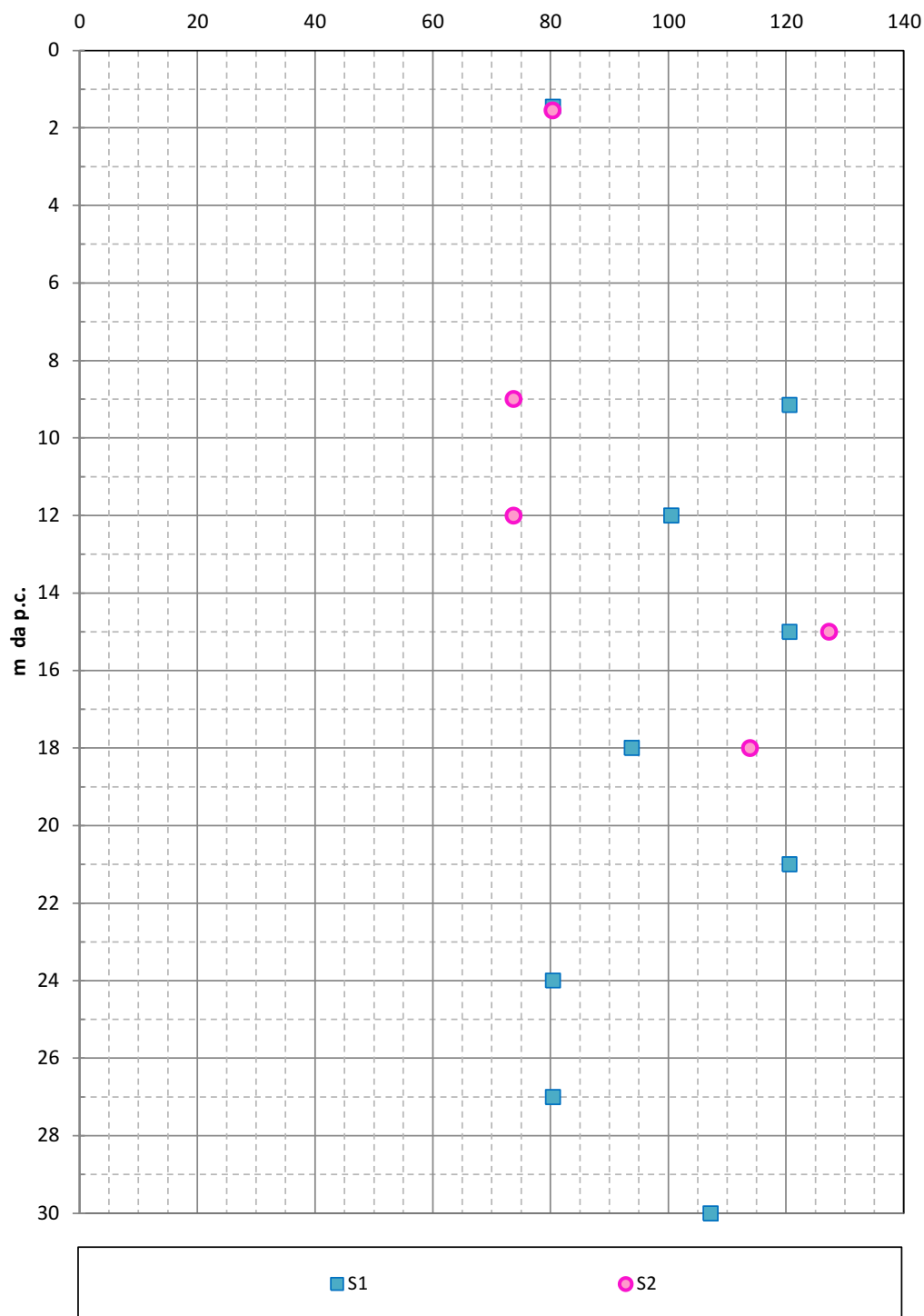


Figura 3.4.1.2 – Coesione non drenata da N_{SPT}



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **14** of di **55**

MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICa da SPT

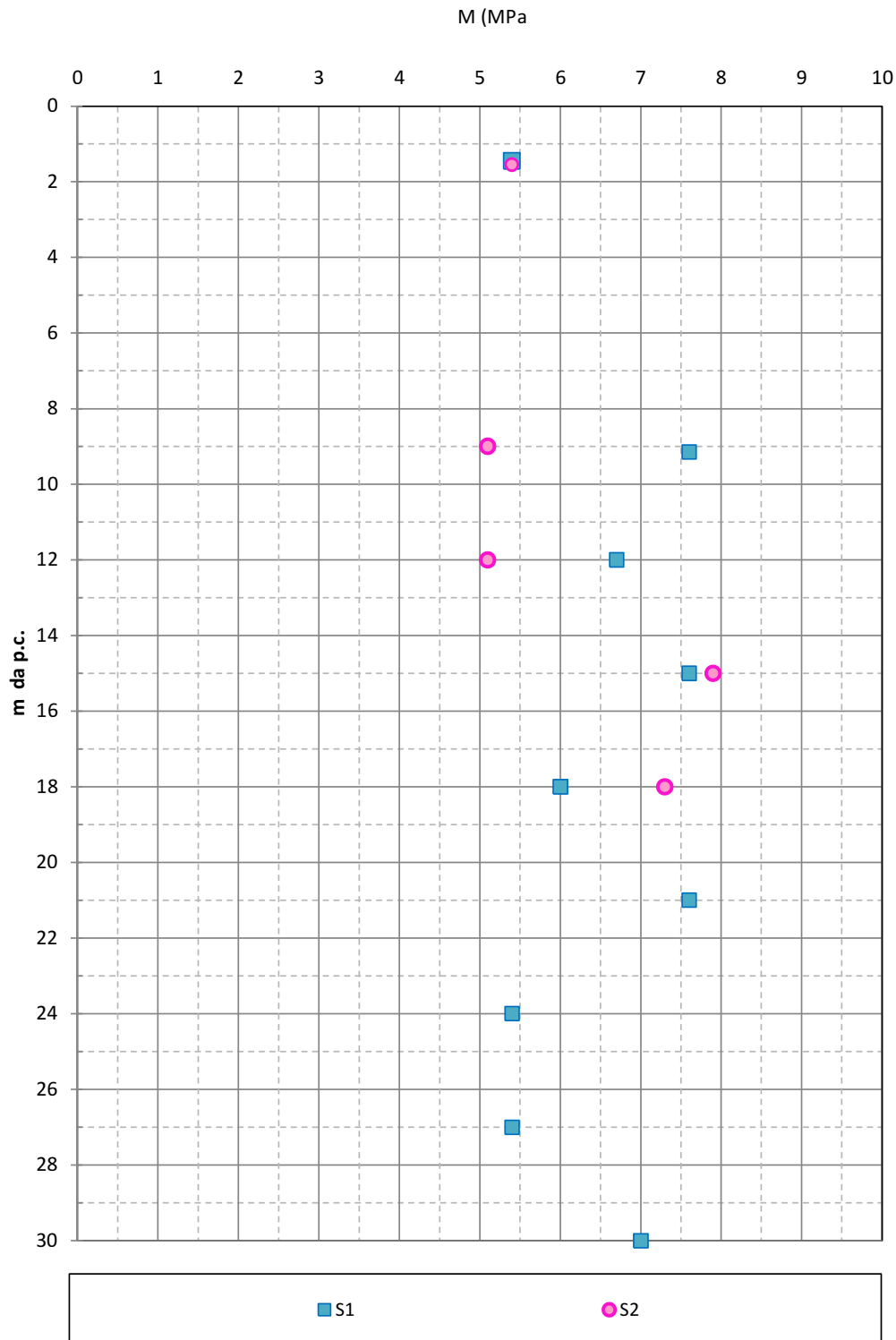


Figura 3.4.1.3 – Modulo Edometrico da N_{SPT}



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.

PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **15** of
di **55**

DENSITA' RELATIVA da SPT

$$\text{BAZARA } \Delta \text{Dr (\%)} = 0.2236 * [N_{\text{spt}} / a + (b * \sigma')^{0.5}] * 100$$

$$a = 1; b = 0.2 \text{ se } \sigma' \leq 15 \text{ t/m}^2;$$

$$a = 3.25; b = 0.05 \text{ se } \sigma' > 15 \text{ t/m}^2$$

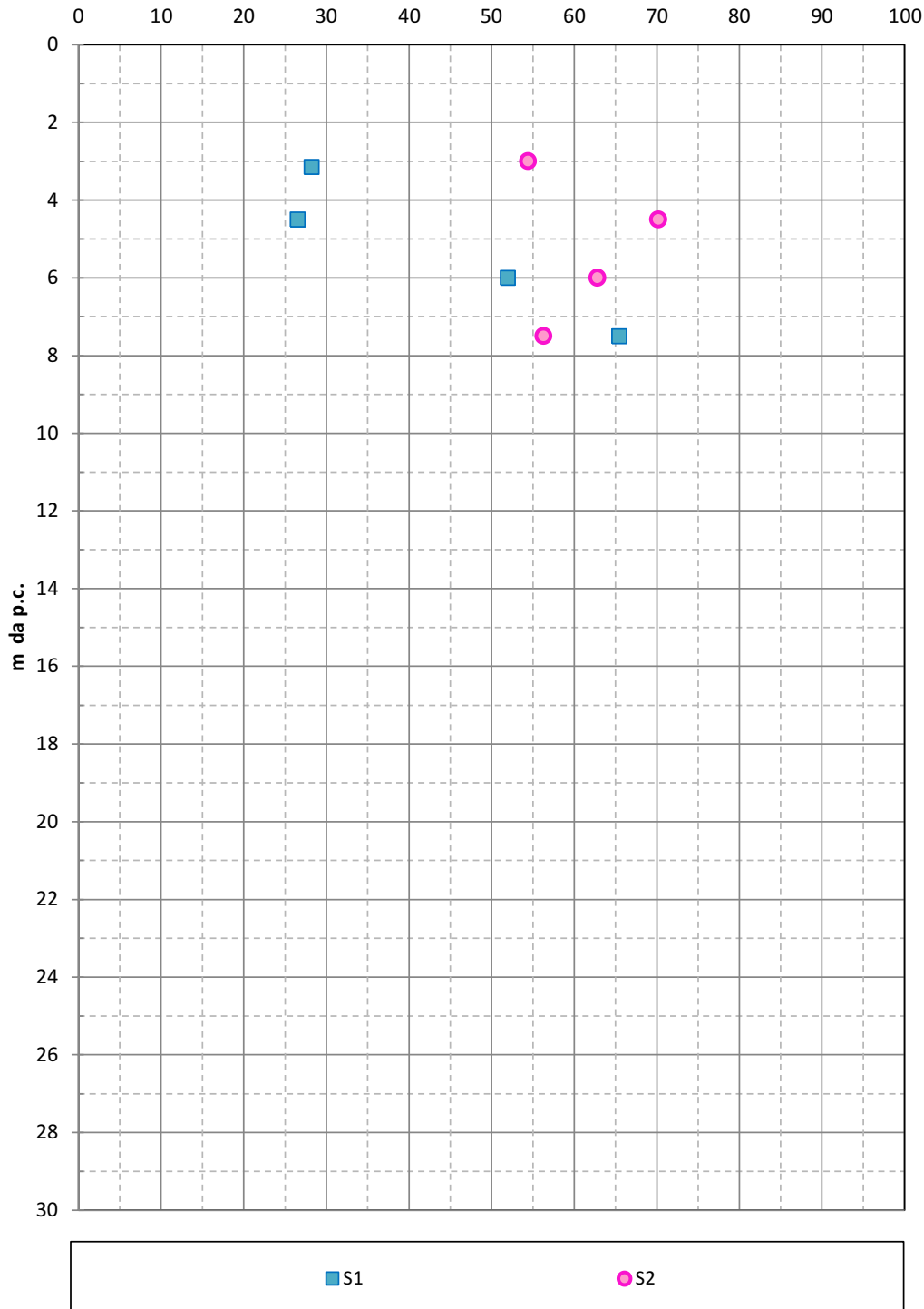



Figura 3.4.1.4 -Densità relativa da N_{SPT}

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 16 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 55

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO da SPT

$$\text{SHIOI \& FUKUNI } f (^{\circ}) = [15 \cdot N_{\text{spt}}]^{0.5} + 15$$

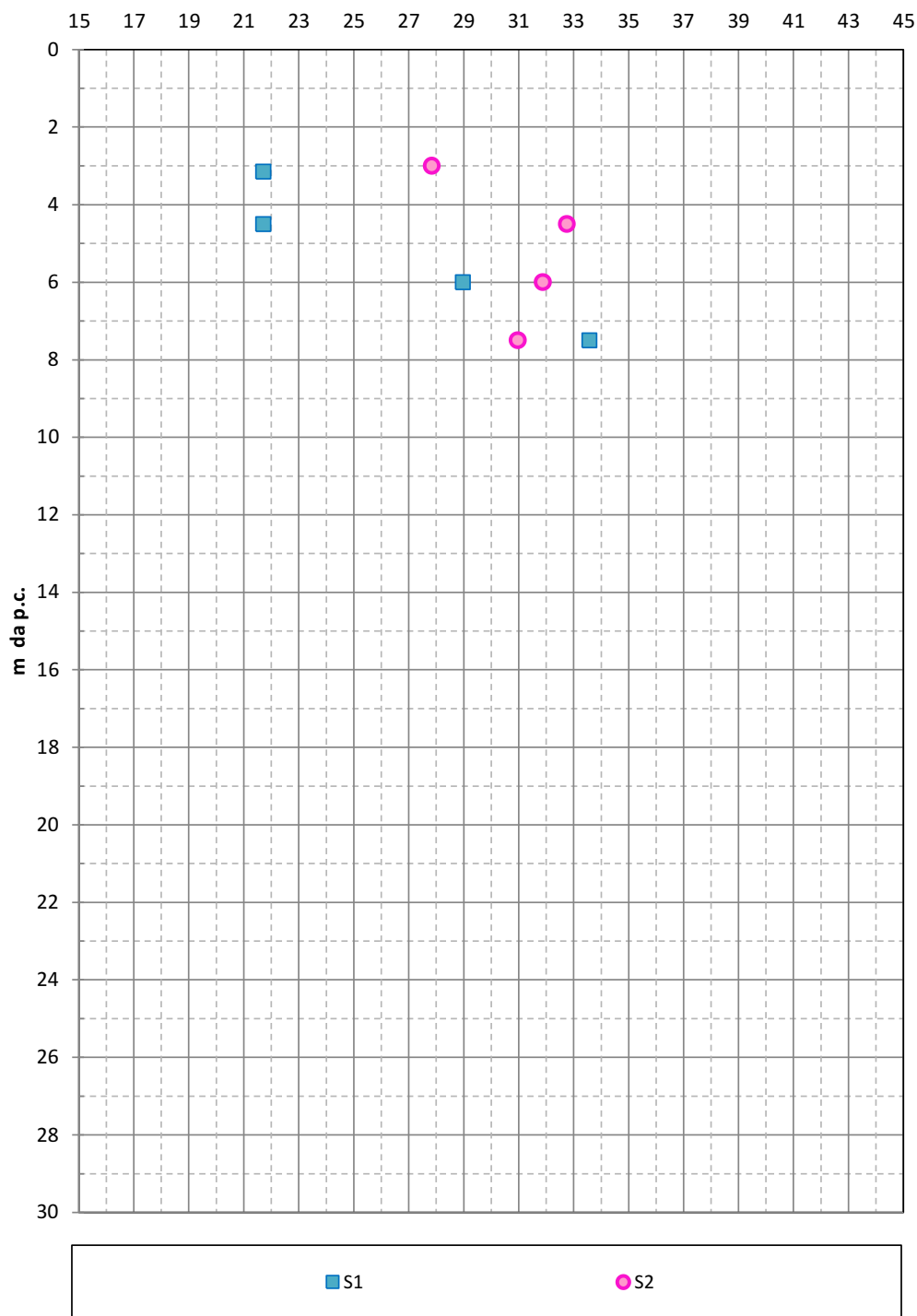


Figura 3.4.1.5 – Angolo di attrito da N_{SPT}



PORTO CORSINI (RA)

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

Document
Documento n.

PBPCX12974

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **17** of
di **55**

MODULO DI YOUNG da SPT

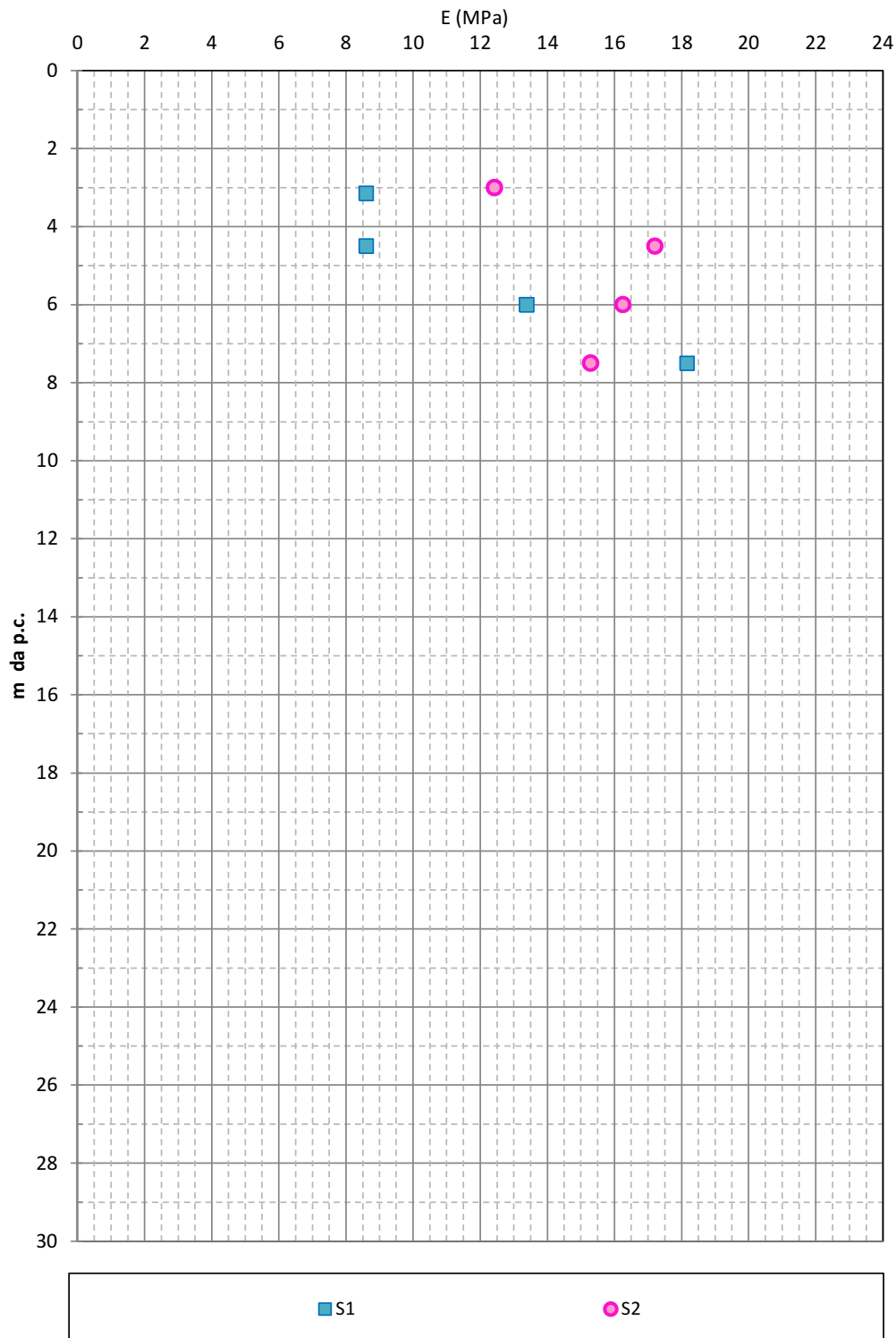



Figura 3.4.1.6 – Modulo di Young da N_{SPT}

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 18 of <i>Pagina</i> di 55

3.4.2 INTERPRETAZIONE DELLA PROVA CPTU

La prova penetrometrica statica con piezocono (CPTu) è stata condotta fino alla profondità di 30 metri da p.c; la prova è stata anche interessata dall'esecuzione di un preforo fino alla profondità di 1.3 m circa per superare lo strato superficiale di terreno, per non compromettere la saturazione della pietra porosa.

Nel corso della prova sono stati registrati in maniera continua i valori di resistenza alla punta, di attrito laterale e della pressione interstiziale, riportati graficamente nelle figure 3.4.2.1, 3.4.2.2 e 3.4.2.3.

La distinzione tra i materiali granulari e quelli coesivi è stata effettuata sia mediante la carta proposta da Robertson nel 1990, sia sulla base dell'indice di comportamento meccanico I_c , definito da Robertson e Wride (1998), unitamente alle considerazioni di Ku, Juang e Ou (2010).

Entrambi i metodi consentono di distinguere diverse classi litologiche di appartenenza in funzione della Resistenza alla punta normalizzata Q_t e del rapporto delle resistenze normalizzato F_r , definiti come segue:

$$Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0};$$

$$F_r = f_s / (q_t - \sigma_{v0}) 100;$$

dove:

q_t = resistenza alla punta corretta [kPa] = $q_c + (1-a) u$;

q_c = resistenza alla punta misurata [kPa]

a = coefficiente correttivo dipendente dal tipo di punta usata = 0.75;

u = pressione interstiziale misurata [kPa];


f_s = attrito laterale misurato [kPa].

La valutazione secondo Robertson 1990 è stata condotta graficamente, visualizzando i punti corrispondenti ai valori Q_t - F_r su una carta litologica suddivisa in 9 aree, rappresentative di altrettante classi di terreno.

La carta contenente i dati desunti da tutte le CPTU eseguite è riprodotta nelle figure dalla 3.4.2.4 alla 3.4.2.6, in cui sono stati distinti i livelli stratigrafici (L1-L2-L3-L4) descritti nel precedente paragrafo 3.2.

La seconda classificazione parte dalla valutazione dell'indice di comportamento meccanico I_c di Robertson e Wride, definito dalla seguente espressione:

*Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.
This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.*

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 19 of 55 <i>di</i>

$$I_{c,RW} = \sqrt{(3.47 - \text{Log} Q_t)^2 + (\text{Log} F_r + 1.22)^2}$$

Secondo quanto affermato da *Ku, Juang e Ou (2010)*, la classificazione dei terreni in coesivi o granulari può essere effettuata sulla base di un valore limite per il suddetto indice, ovvero:

$$I_{c,RW} < 2.67 \quad \text{terreni granulari}$$

$$I_{c,RW} > 2.67 \quad \text{terreni coesivi}$$

In figura 3.4.2.7 è mostrato l'andamento dei valori di $I_{c,RW}$ calcolati in funzione della profondità per ciascuna CPTU esaminata.

Oltre al già citato limite che divide i materiali a comportamento granulare da quelli coesivi ($I_{c,RW} = 2.67$), nel grafico sono stati raffigurati altri due valori di riferimento ($I_{c,RW} = 2.05$ e $I_{c,RW} = 2.95$) che definiscono rispettivamente il comportamento di materiali limoso-sabbiosi (granulari con componente coesiva) e limoso argillosi (coesivi con componente granulare).

Dall'osservazione delle figure sin qui menzionate si evince che:

- l'area in esame è costituita da terreni prevalentemente coesivi; tale caratteristica viene rilevata, oltre che dai grafici di classificazione del comportamento, anche dalle sovrappressioni generate dall'infissione della punta penetrometrica, misurate nel corso delle prove CPTu, vicine ai valori di pressione idrostatica solo nei primi 9 m di profondità (il livello L2 è sabbioso), come visibile nella figura 3.4.2.3.
- lo "strato L1" è secondo la carta di Robertson 1990 limoso argilloso, mentre la componente sabbiosa è rilevata più chiaramente dall'indice $I_{c,RW}$;
- lo "strato L2" è classificabile come sabbia e sabbia limosa;
- lo "strato 3" risulta costituito da limi argillosi e argille limose, di elevata sensibilità;
- lo "strato 4", a prescindere da sottili intercalazioni sabbiose, è anch'esso costituito da limi argillosi e argille limose, ma leggermente sovraconsolidati.

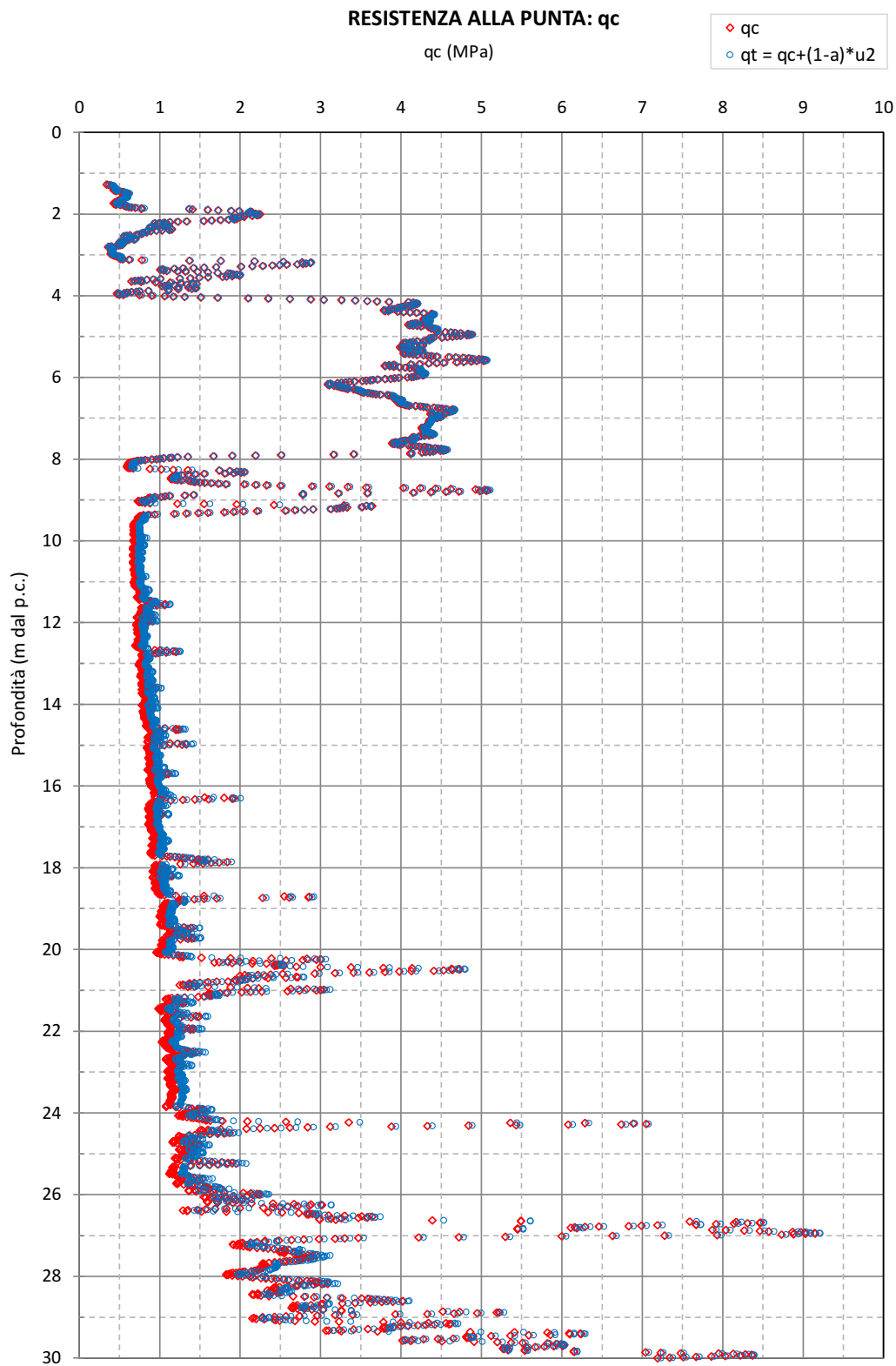


Figura 3.4.1 – Valori di resistenza alla punta misurata (qc) e corretta (qt) da CPTu



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.

PBPCX12974

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **21** of
di **55**

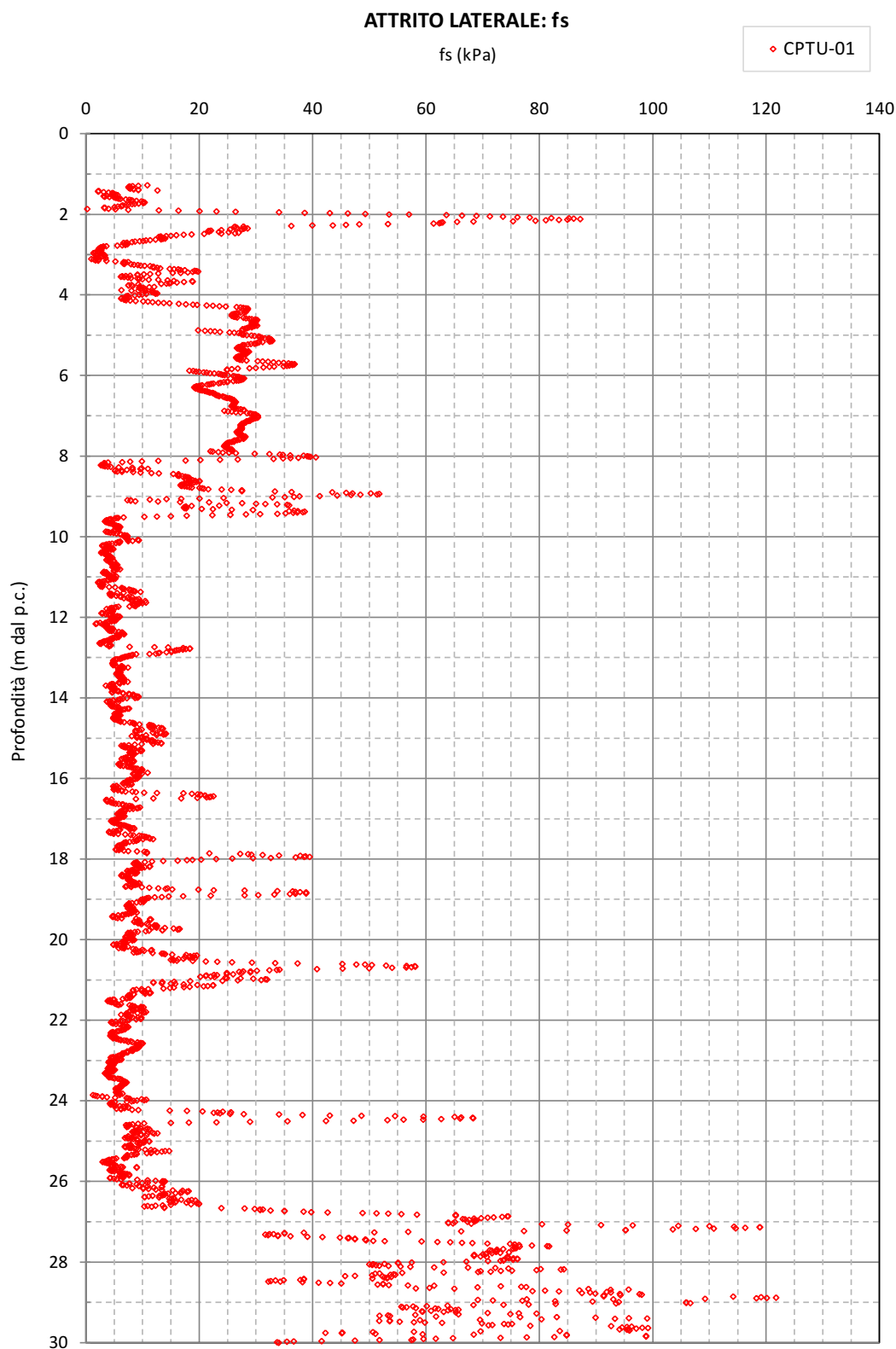


Figura 3.4.2 – Valori di attrito laterale da CPTu

Pressione interstiziale Vs idr ostatica

U (kPa)

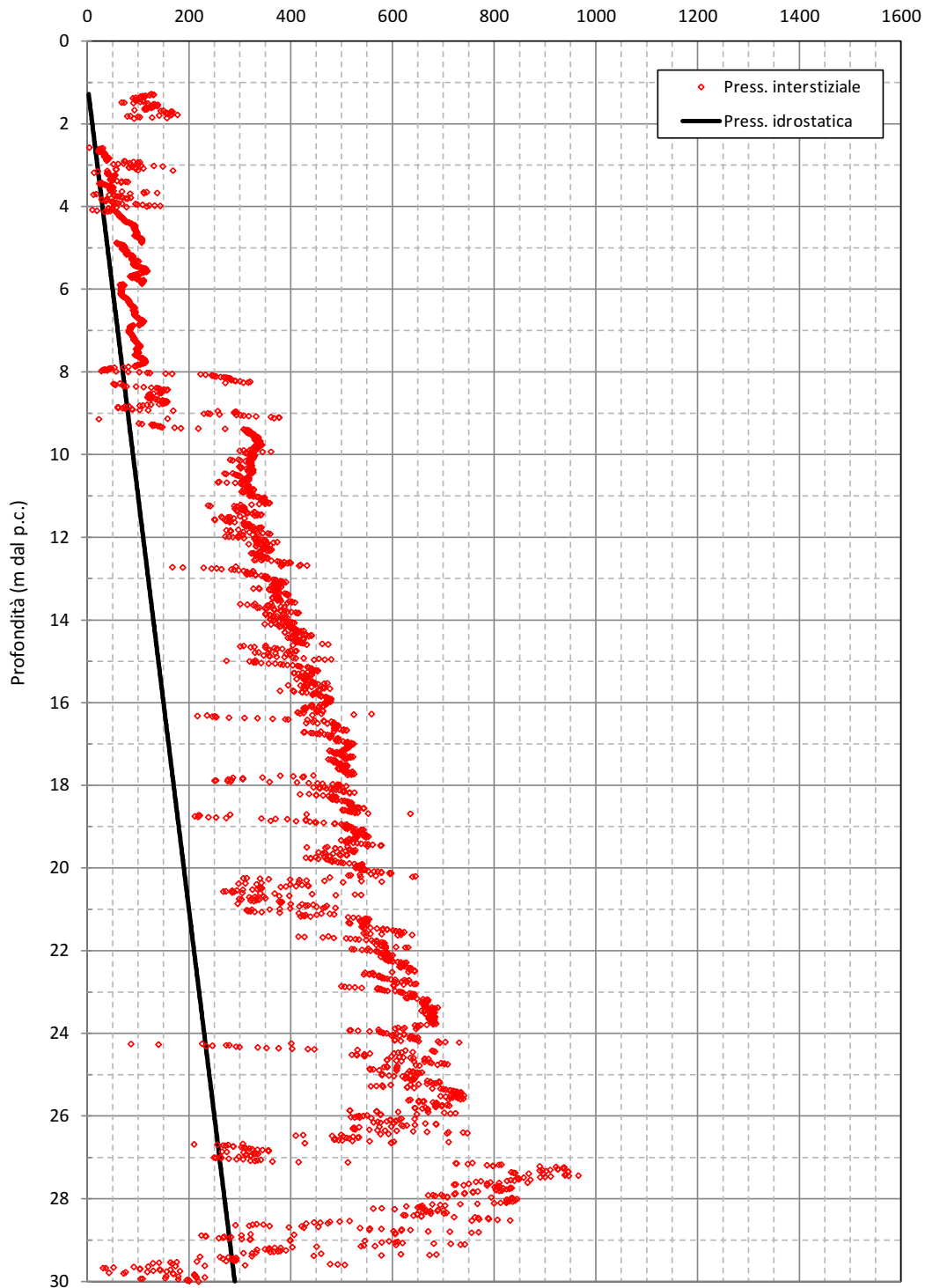

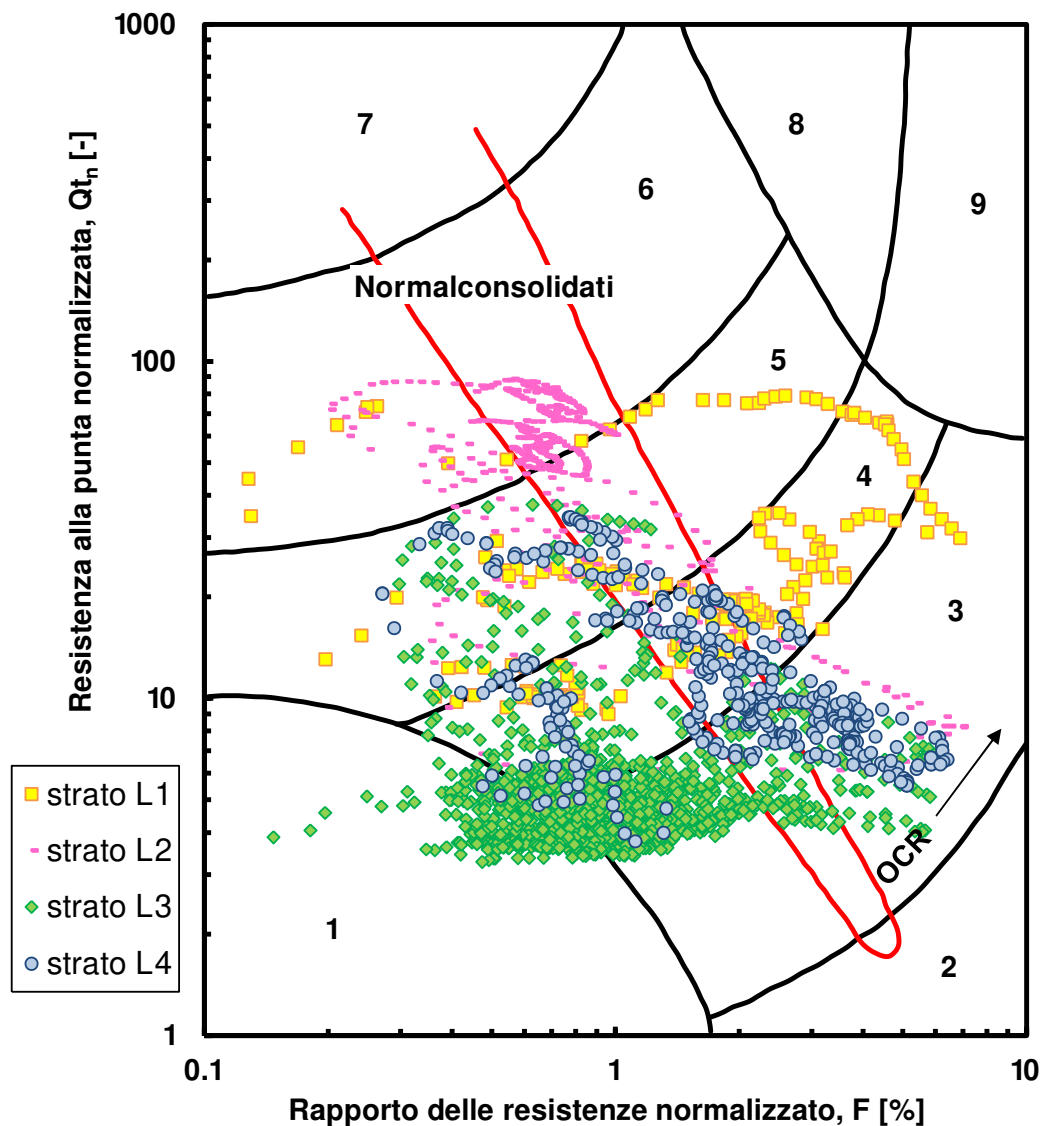


Figura 3.4.3 – Valori di pressione interstiziale da CPTu

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 23 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 55


Classificazione dei terreni da CPTu (Robertson, 1990)



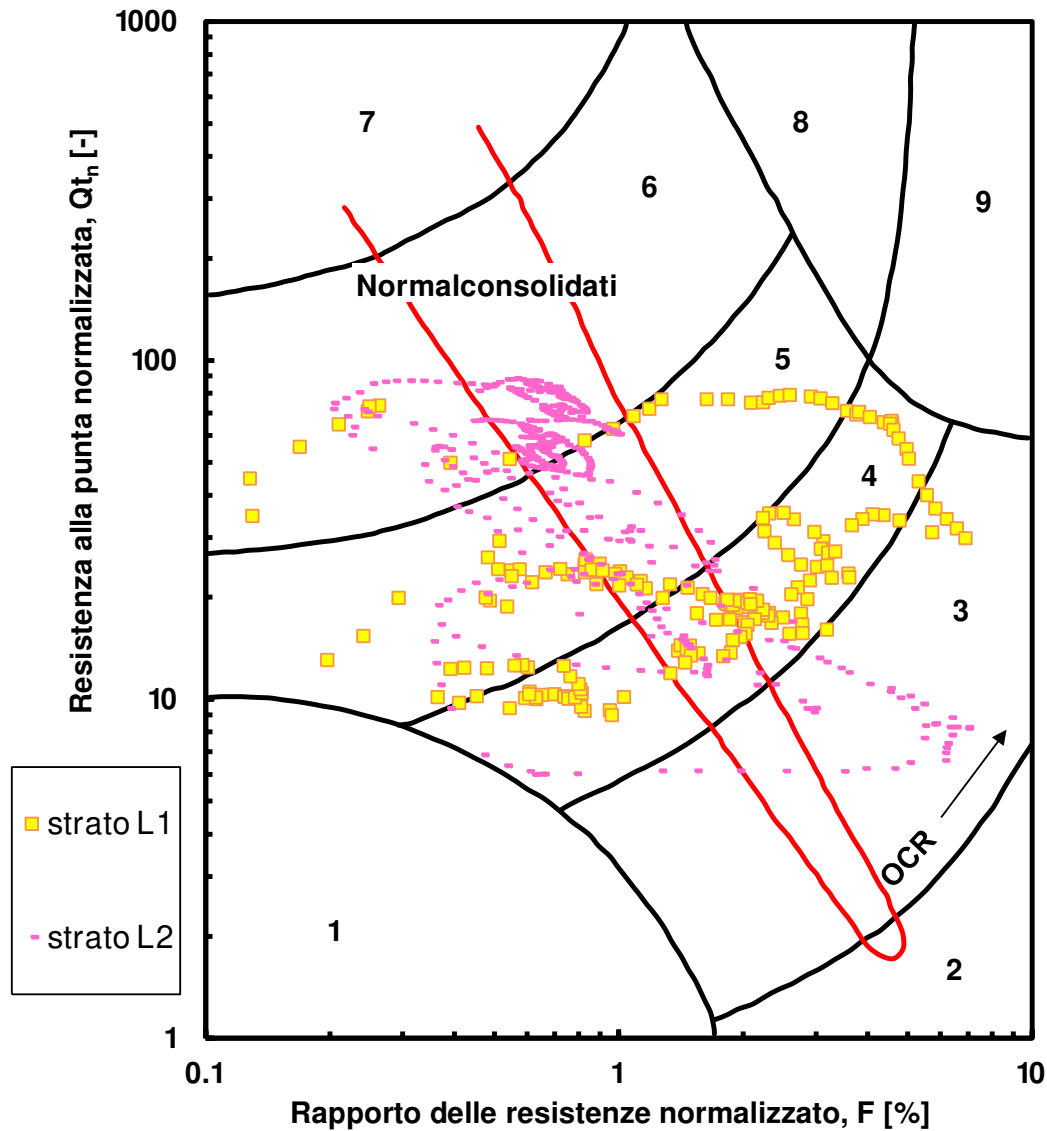
1. Sensitive, fine grained;
2. Organic soils - peats;
3. Clays; clay to silty clay;
4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay;
5. Sand mixtures - silty sand to sand silty;
6. Sands - clean sands to silty sands;
7. Gravelly sand to sand;
8. Very stiff sand to clayey sand (*);
9. Very stiff fine grained (*).

(*) heavily overconsolidated or cemented

Figura 3.4.2.4– Classificazione dei terreni secondo Robertson 1990
(per maggiori dettagli sugli strati si rimanda ai paragrafi 3.2 e 3.5)

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21
		Sheet Pagina 24 of di 55


Classificazione dei terreni da CPTu (Robertson, 1990)



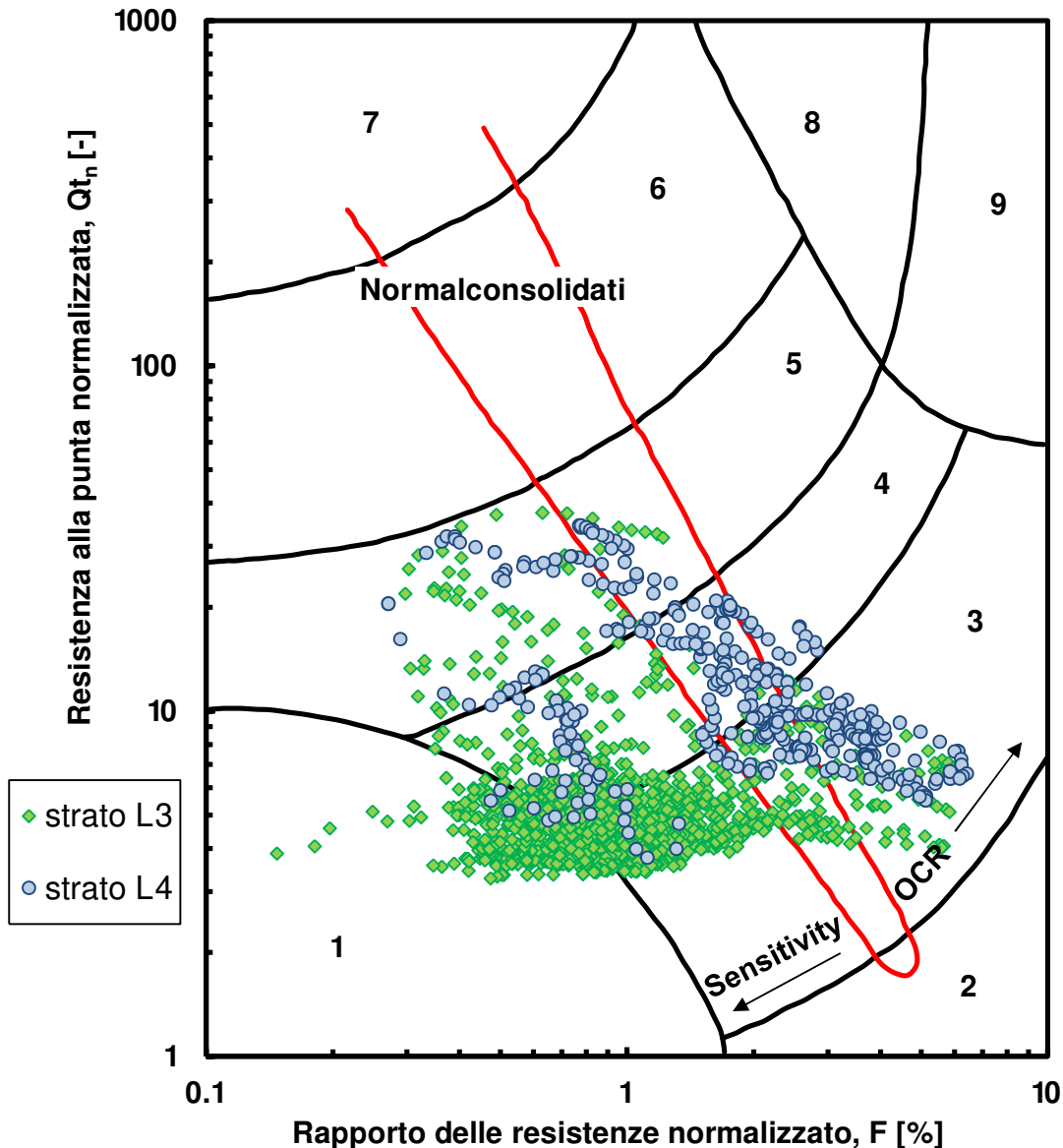
1. Sensitive, fine grained;
2. Organic soils - peats;
3. Clays, clay to silty clay;
4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay;
5. Sand mixtures - silty sand to sand silty;
6. Sands - clean sands to silty sands;
7. Gravelly sand to sand;
8. Very stiff sand to clayey sand (*);
9. Very stiff fine grained (*).

(*) heavily overconsolidated or cemented

Figura 3.4.2.5 – Classificazione dei terreni secondo Robertson 1990 – dettaglio strati L1 e L2

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21
		Sheet Pagina 25 of di 55

Classificazione dei terreni da CPTu (Robertson, 1990)



1. Sensitive, fine grained;
2. Organic soils - peats;
3. Clays, clay to silty clay;
4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay;
5. Sand mixtures - silty sand to sand silty;
6. Sands - clean sands to silty sands;
7. Gravelly sand to sand;
8. Very stiff sand to clayey sand (*);
9. Very stiff fine grained (*).

(*) heavily overconsolidated or cemented

Figura 3.4.2.6 – Classificazione dei terreni secondo Robertson 1990 – dettaglio strati L3 e L4

INDICE DI COMPORTAMENTO MECCANICO

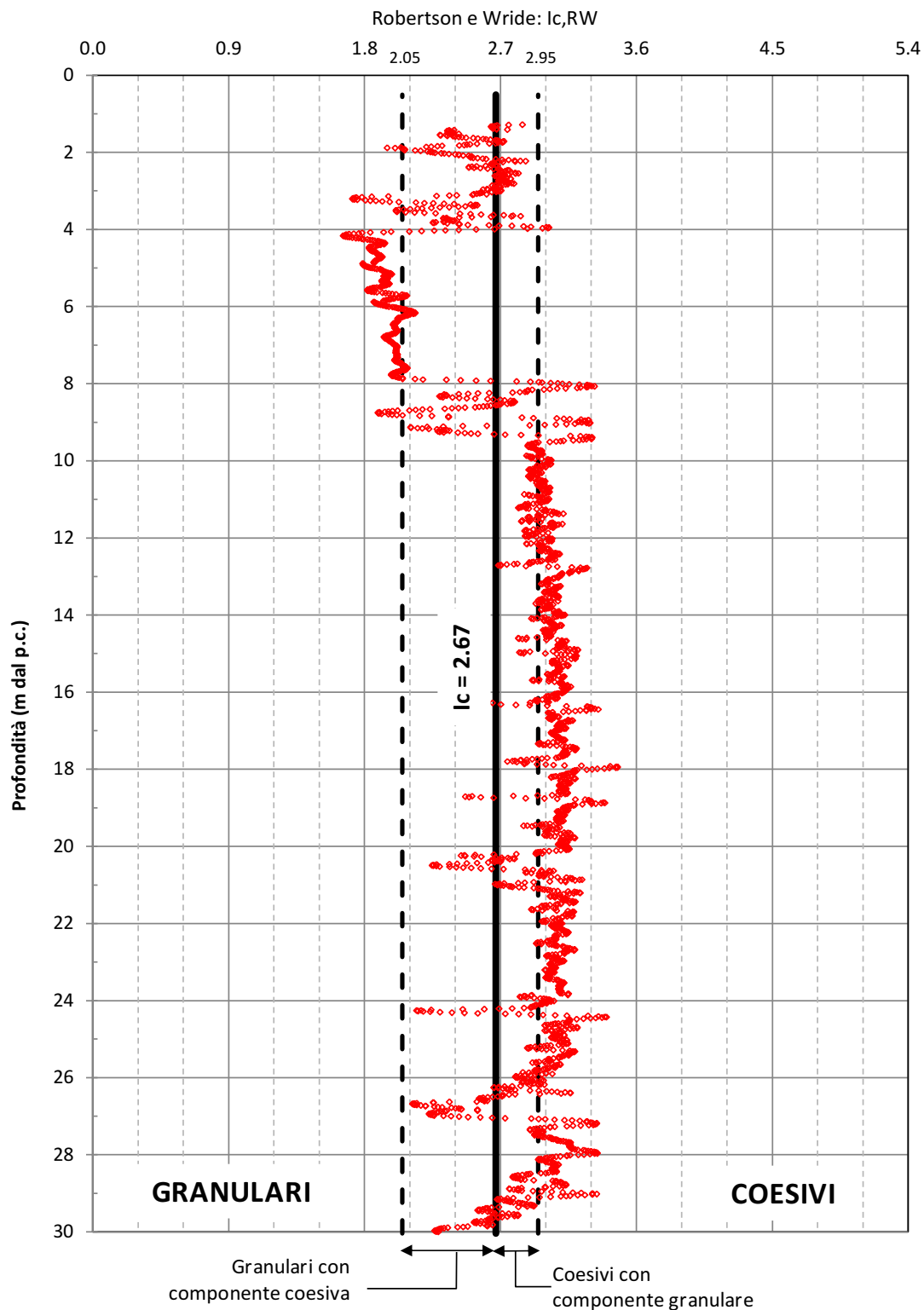



Figura 3.4.2.7 – Indice di comportamento da CPTu

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 27 of <i>Pagina</i> di 55

I dati misurati tramite le prove CPTu sono stati elaborati mediante una serie di correlazioni empiriche, riportate di seguito, finalizzate alla definizione dei parametri geotecnici dei terreni.

DENSITÀ RELATIVA (PER IL SOLO LIVELLO L2)

Per il calcolo della densità relativa D_R a partire dai valori di q_c è stata utilizzata la correlazione proposta da *Jamiolkowski* (1988):

$$D_R(\%) = 68 \cdot \left[\text{LOG} \left(\frac{q_c}{\sqrt{P_a \cdot \sigma'_v}} \right) - 1 \right]$$

dove:

- q_c = resistenza alla punta misurata (kPa);
- σ'_v = pressione verticale efficace in sito (kPa);
- P_a = pressione atmosferica = 100 kPa

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (PER IL SOLO LIVELLO L2)

A partire dai valori di q_c , è stato determinato il valore dell'angolo di attrito interno φ utilizzando la formula di *Durgunoglu & Mitchell* (1975):

$$\varphi(^{\circ}) = 14.4 + 4.8 \cdot \log_e q_c - \log_e \sigma'_v$$

dove:

- q_c = resistenza alla punta misurata (kg/cm²);
- σ'_v = pressione verticale efficace in sito (kg/cm²);


MODULO ELASTICO (PER IL SOLO LIVELLO L2)

Per la definizione del modulo di Young E per i terreni granulari è stato fatto riferimento a quanto proposto da *Webb* (1970) per sabbie sature:

$$E(\text{MPa}) = h_1 \cdot q_c + h_2$$

$$h_1 = 2.50$$

$$h_2 = 7.17$$

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 28 of <i>Pagina</i> <i>di</i> 55

MODULO DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

Il modulo di compressibilità M è stato ricavato prendendo in considerazione la seguente relazione, proposta da *Mitchell & Garder (1975)*, valido per le argille sabbiose:

$$M(\text{MPa}) = \alpha \cdot q_c$$

dove:

α = valore che dipende dal tipo di terreno e dal valore di q_c ; in questo caso $\alpha = 4$.

COESIONE NON DRENATA (c_u)

Per la determinazione della coesione non drenata c_u sulla base dei valori di N_{SPT} si è fatto riferimento alla relazione proposta da *Baligh & Campanella (1975)*:

$$c_u(\text{kPa}) = \frac{q_t - \sigma_v}{N_k}$$

dove:

q_t = resistenza alla punta corretta;

σ_v = pressione verticale totale in sito (kPa);

N_k = costante empirica, in questo caso assunta pari a 17.

Nelle figure da 3.4.2.8 a 3.4.2.12 sono riportati in grafico i valori dei parametri geotecnici calcolati con le formule precedentemente descritte.

Nella figura 3.4.2.12, oltre ai valori di c_u , sono indicate anche le linee di riferimento per la normal consolidazione:

- $c_u = 0.22 \cdot \sigma'_{v0}$ (disegnata in grigio)
- $c_u = (0.23 \pm 0.04) \cdot \sigma'_{v0}$ (intervallo di Ladd&Foot, linee disegnate in nero).

Facendo un confronto tra i valori di coesione non drenata stimati e le curve sopra esplicitate si evince che:

- il livello L1, il più superficiale, è sovraconsolidato verosimilmente per essiccazione
- il livello L3 è complessivamente normal consolidato
- il livello L4 potrebbe essere sovraconsolidato, ma la sua valutazione è inficiata dalla presenza di intercalazioni sabbiose.



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21
Sheet 29 of 55
Pagina di

DENSITA' RELATIVA per depositi granulari

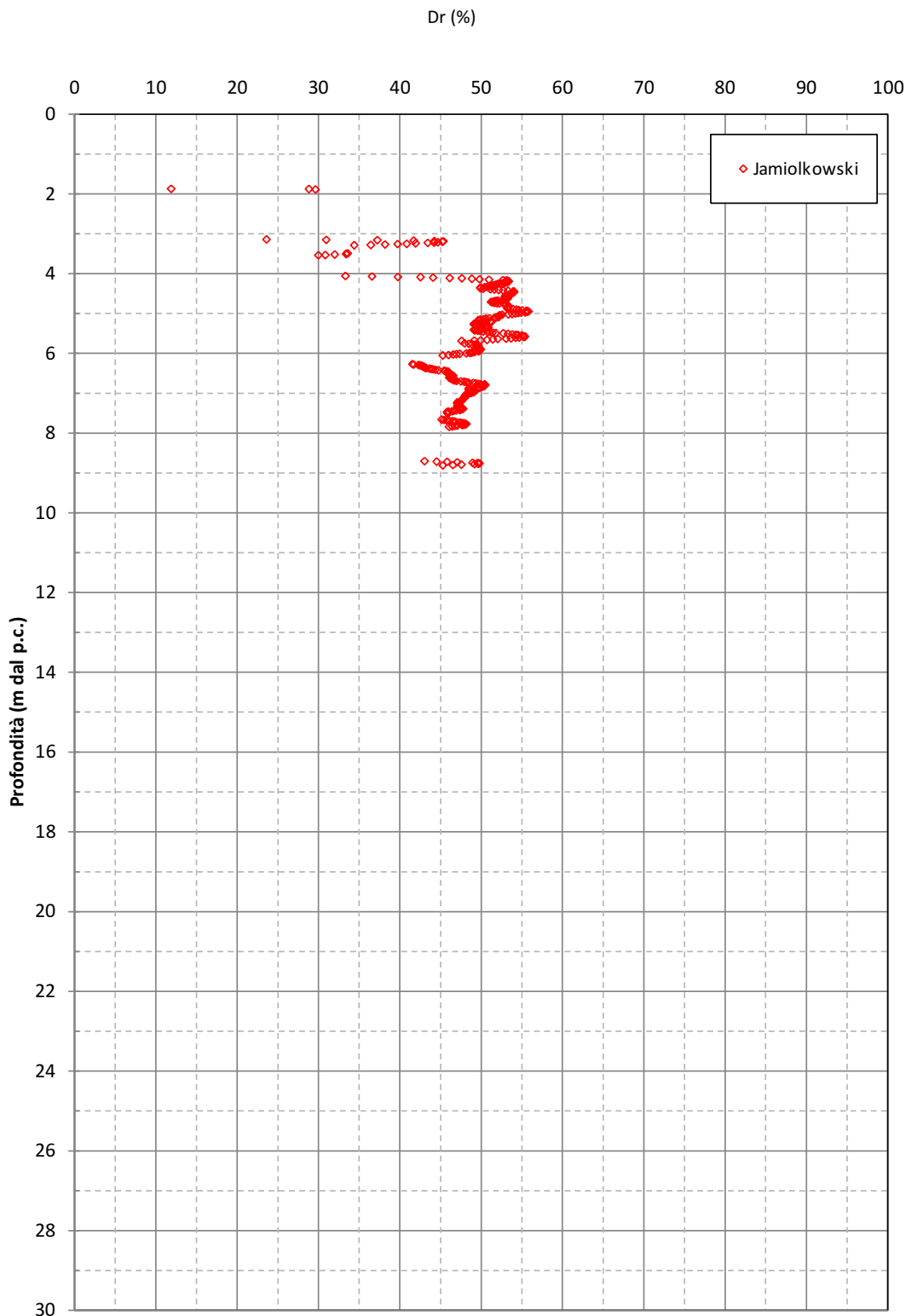
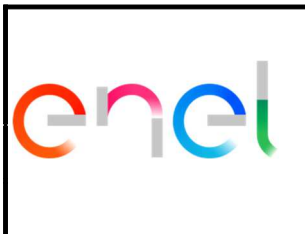


Figura 3.4.2.8 – Valori di densità relativa da CPTu



PORTO CORSINI (RA)

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Document
Documento n.

PBPCX12974

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **30** of
di **55**

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO per depositi granulari

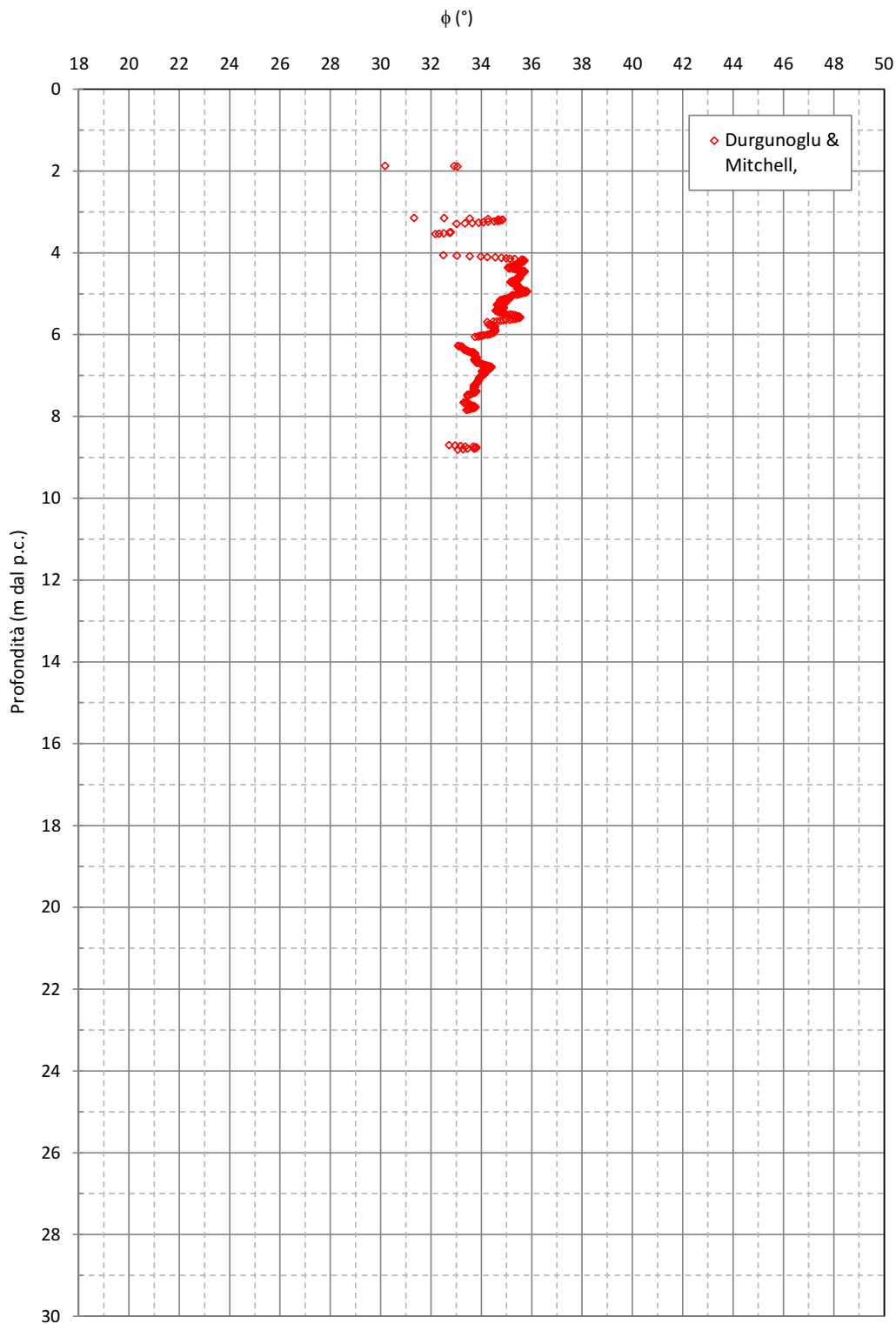
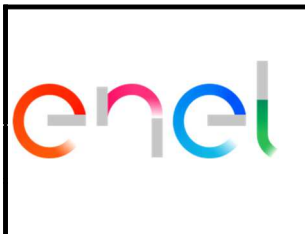


Figura 3.4.2.9 – Valori di angolo di attrito interno da CPTu



PORTO CORSINI (RA)

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

Document
Documento n.
PBPCX12974
REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **31** of
di **55**

MODULO DI YOUNG per depositi granulari - da CPT

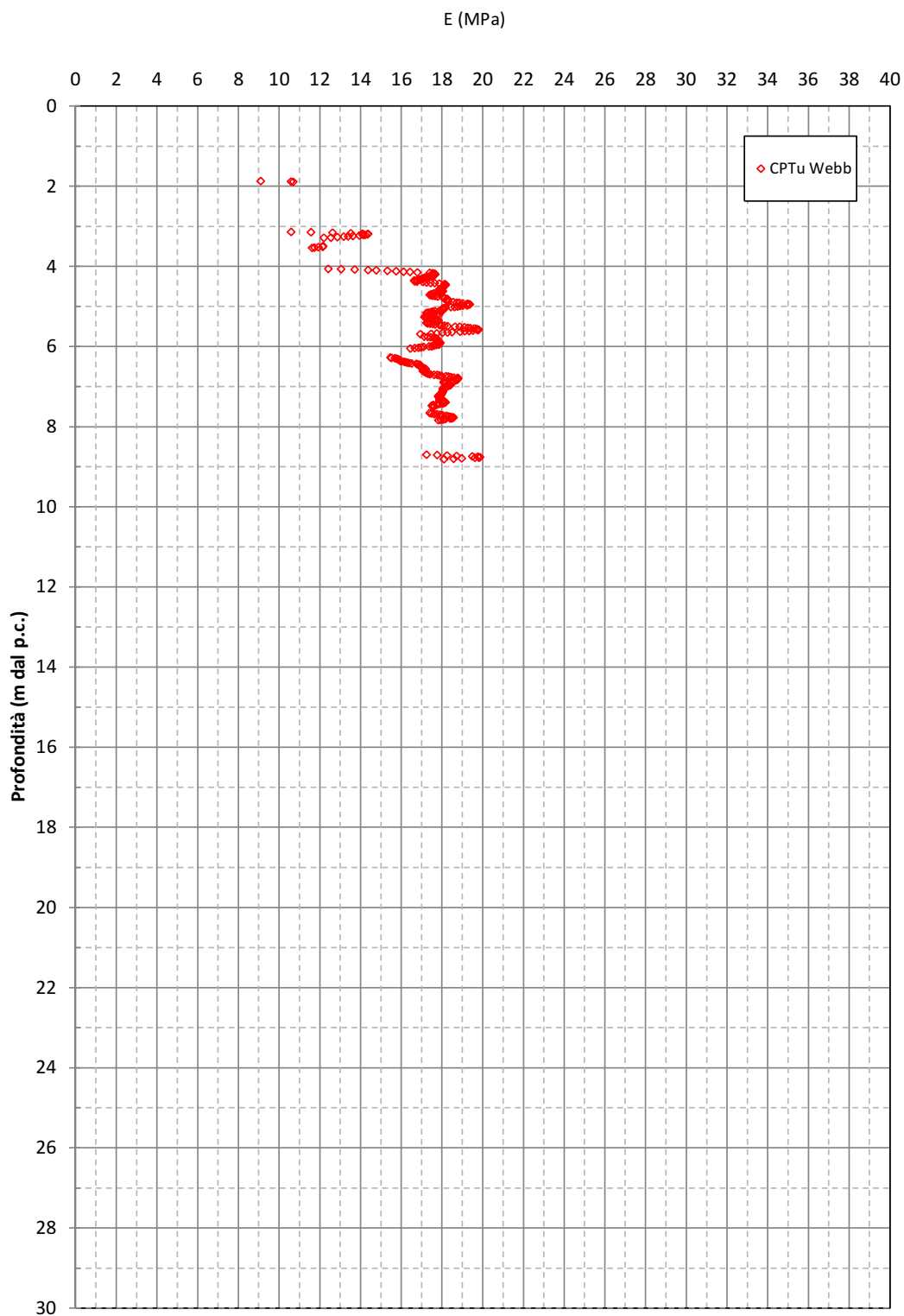
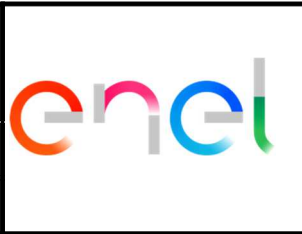


Figura 3.4.2.10 – Valori di modulo elastico da CPTu



PORTO CORSINI (RA)

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Document
Documento n.
PBPCX12974

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **32** of di **55**

MODULO EDOMETRICO per depositi coesivi

Mitchell & Garder M (MPa) = $a Q_c$

$\alpha = 4$

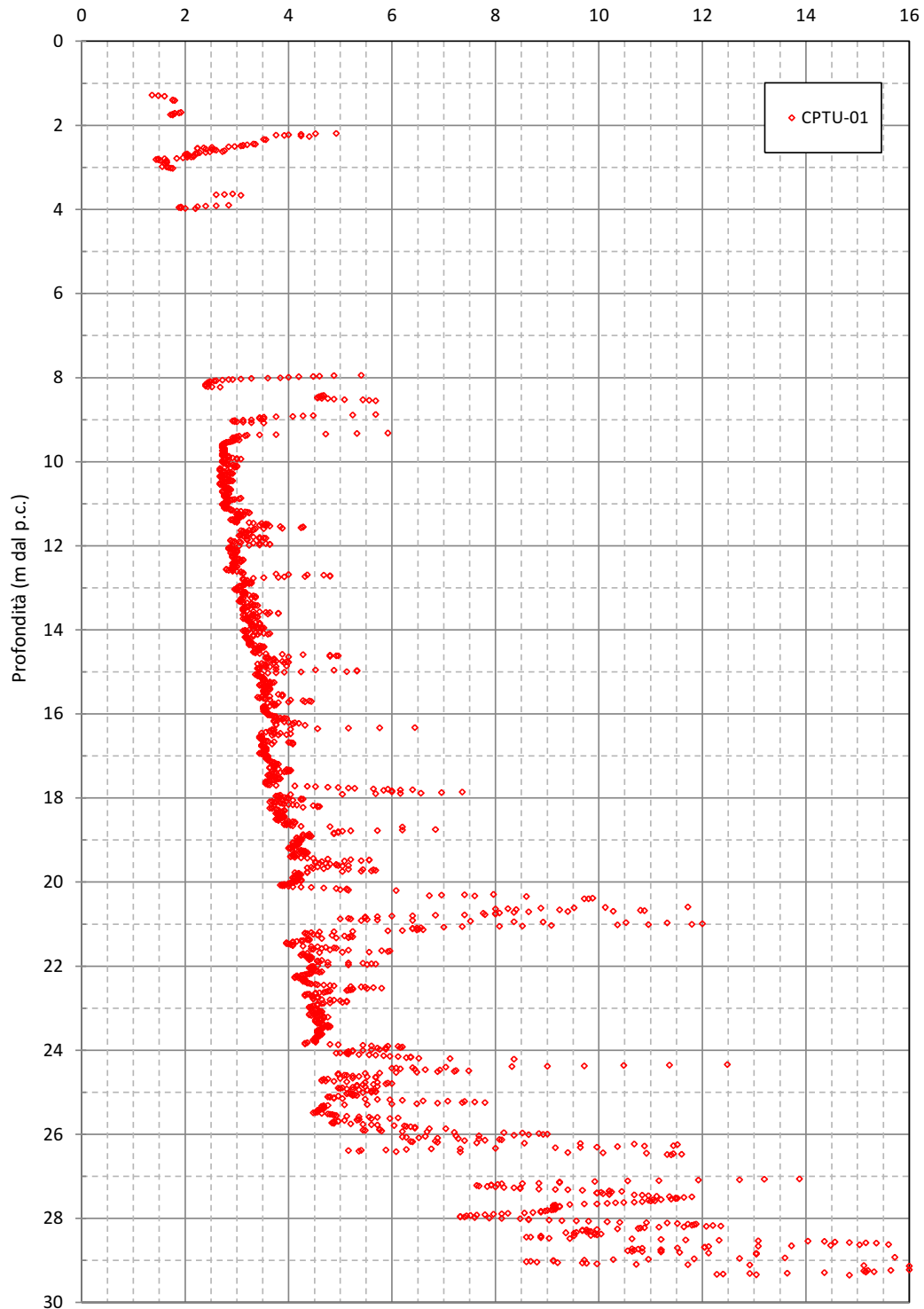


Figura 3.4.2.11 – Valori di modulo di compressione edometrica da CPTu

COESIONE NON DRENATA per depositi coesivi

$$C_u \text{ (kPa)} = (q_t - \sigma) / N_k$$

$$N_k = 17$$

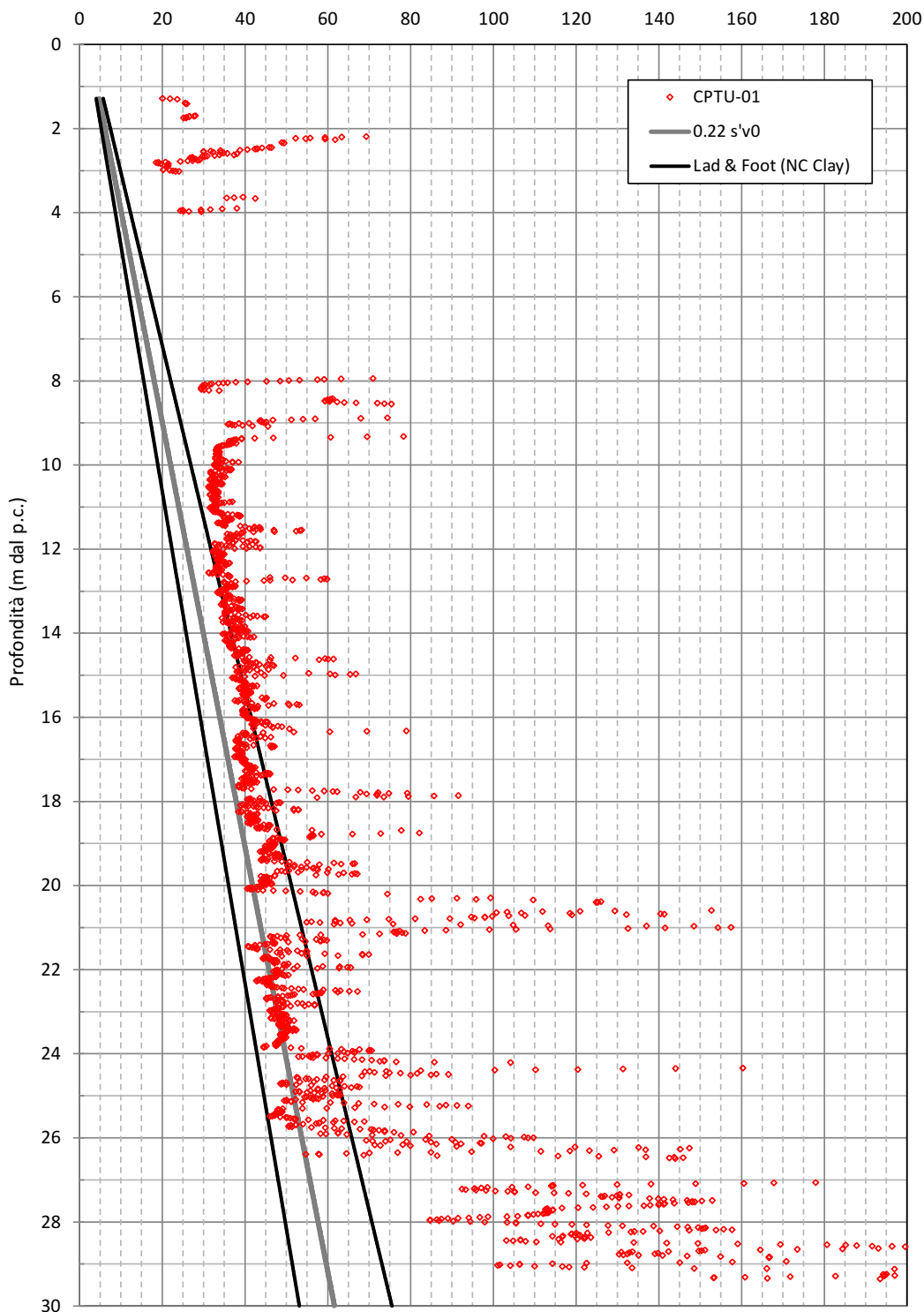



Figura 3.4.2.12 – Valori di coesione non drenata da CPTu

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet <i>Pagina</i> 34 of <i>di</i> 55

3.4.3 Interpretazione delle prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici S1 e S2 sono stati prelevati un totale di n°12 campioni, di cui 6 indisturbati, a differenti profondità. Questi campioni sono stati utilizzati in laboratorio per:

- la descrizione e l'analisi granulometrica;
- la definizione delle caratteristiche fisiche generali, tra cui peso di volume naturale e contenuto d'acqua;
- la determinazione dei limiti di Atterberg e dell'indice di plasticità;
- l'esecuzione di una prova triassiale UU e di n°4 prove triassiali CIU
- n°2 prove edometriche.

Nella figura 3.4.3.1 sono raffigurati gli esiti delle analisi granulometriche mentre nelle figure dalla 3.4.3.2 alla 3.4.3.4 sono visibili i valori del peso di volume naturale, dei limiti di Atterberg, del contenuto d'acqua e dell'indice plastico.

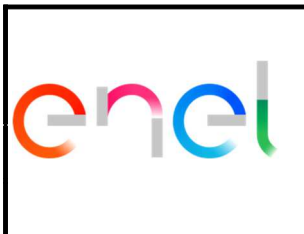
Infine, nella tabella 3.4.3.I si riassumono i risultati delle prove triassiali e delle edometriche effettuate sui campioni indisturbati.

➔ Dall'osservazione della figura 3.4.3.1 si evince che le analisi granulometriche confermano la natura limoso argillosa del livello L1 e quella sabbiosa, ma con consistente componente limosa, dello strato L2. E' altresì confermata la descrizione del livello L3, limoso-argilloso.

Non è invece stato investigato lo strato L4, riscontrato oltre i 26 m dal piano campagna.

➔ Dalla figura 3.4.3.3 emerge che per il livello L3 il valore dell'indice liquido (LL) è sempre prossimo a quello del contenuto d'acqua naturale (w): ciò indica che si tratterebbe di terreni scarsamente consistenti (l'indice di consistenza calcolato è effettivamente basso e dell'ordine di 0.1÷0.5). Tenendo conto anche dell'indice di plasticità, i materiali del livello L3 possono essere classificati con la definizione di "argille inorganiche di media plasticità" (si veda il diagramma di Casagrande in figura 3.4.3.5).

➔ Da ultimo, i terreni indagati sono risultati complessivamente plastici, ma con indice Ip modesto e generalmente inferiore a 20 (si veda la figura 3.4.3.4)



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **35** of di **55**

ANALISI GRANULOMETRICA

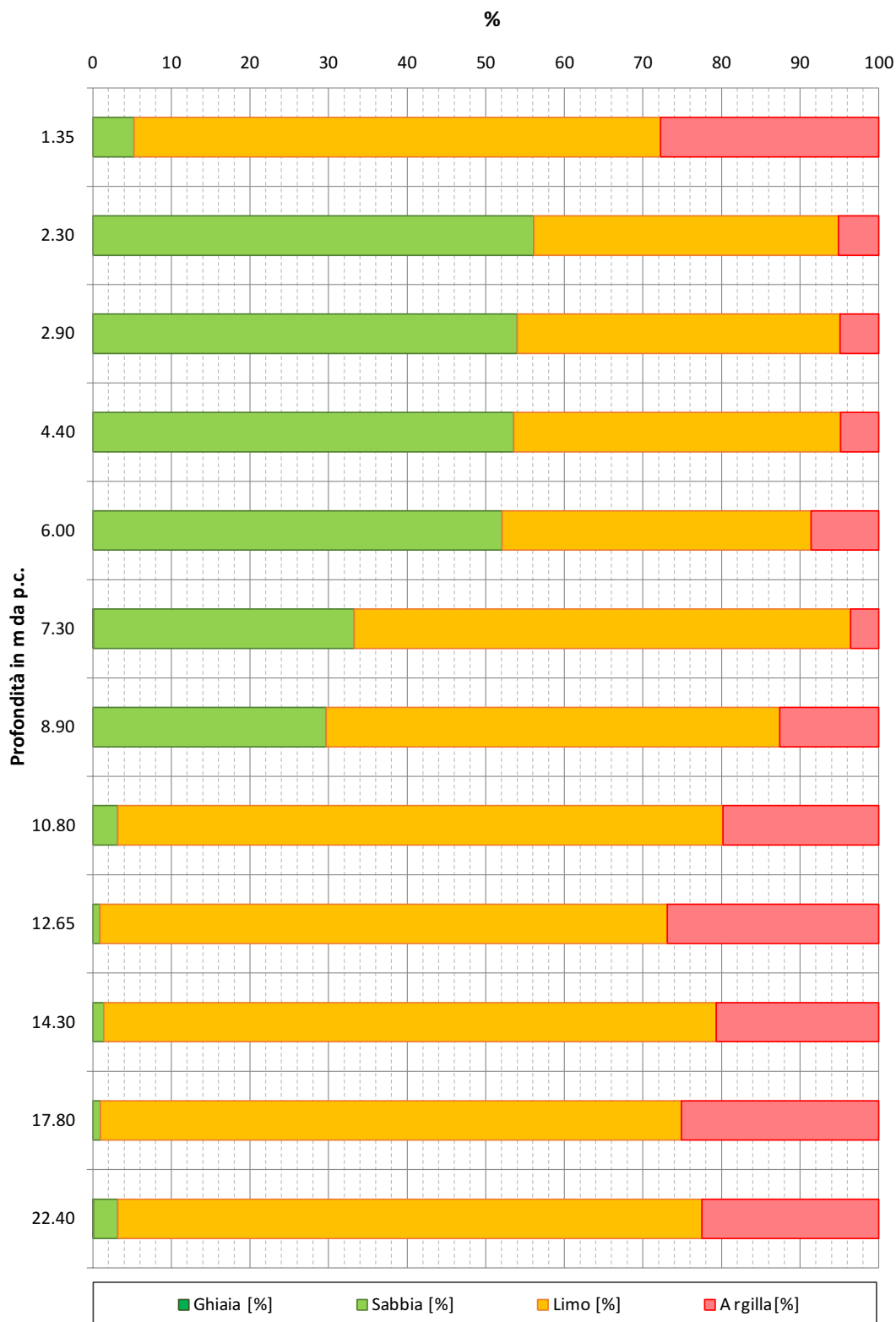


Figura 3.4.3.1 – Analisi granulometriche



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.

PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21

Sheet
Pagina **36** of
di **55**

PESO DI VOLUME NATURALE

γ (kN/m³)

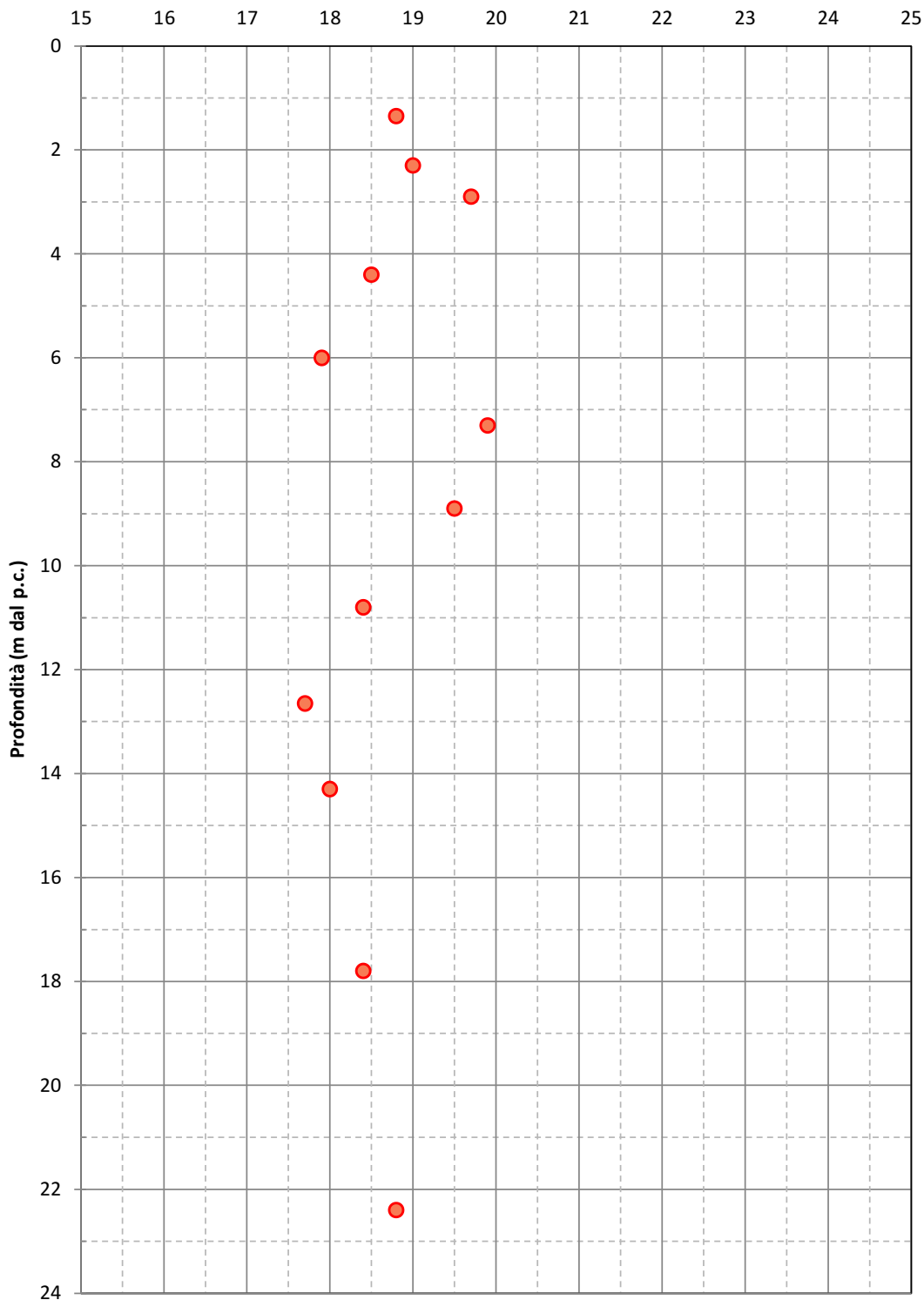


Figura 3.4.3.2 – Peso di volume naturale del terreno

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 37 of Pagina di 55

LIMITI DI ATTERBERG E UMIDITA' NATURALE

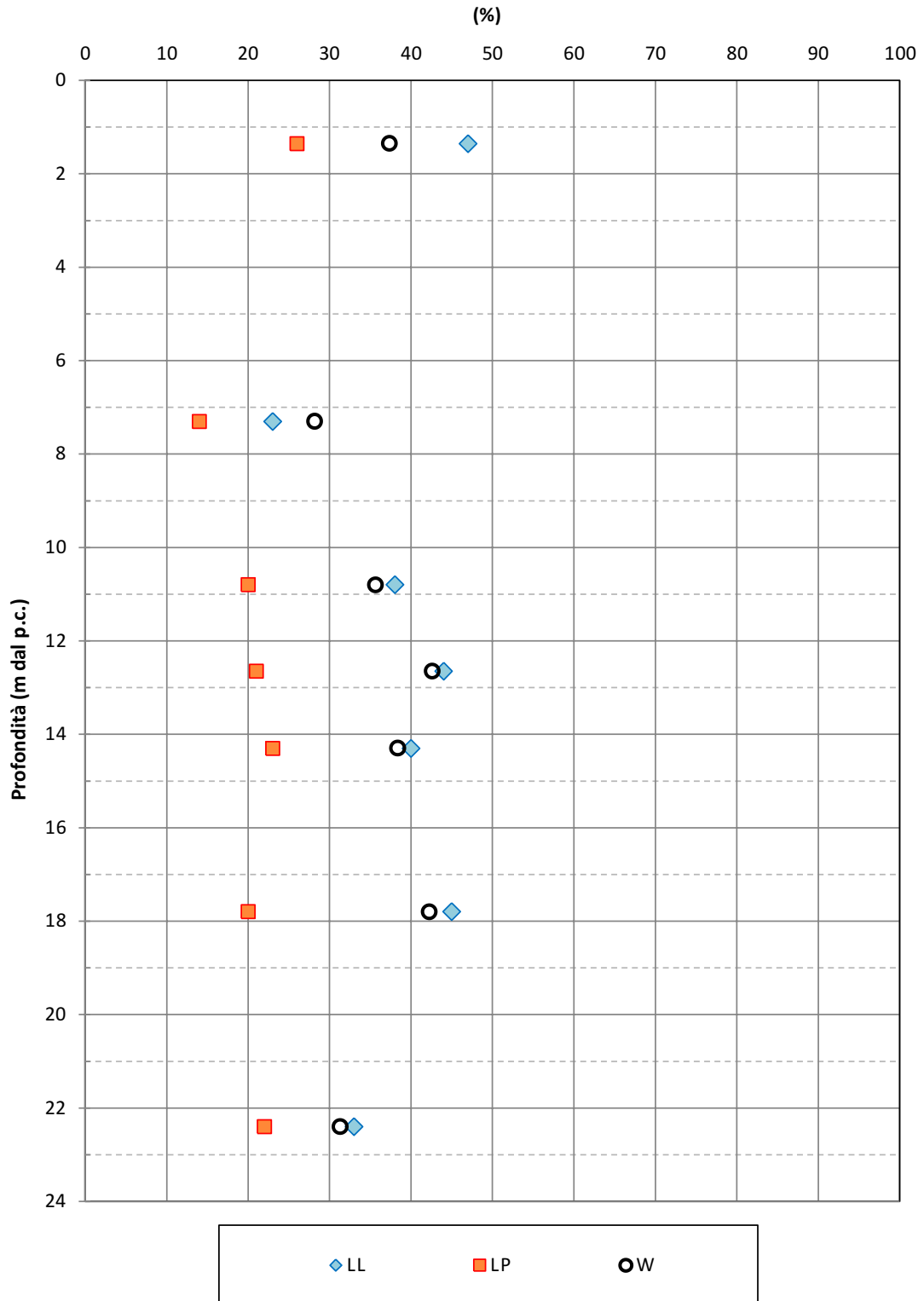


Figura 3.4.3.3 – Limiti di Atterberg e umidità naturale



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **38** of
di **55**

INDICE DI PLASTICITA'

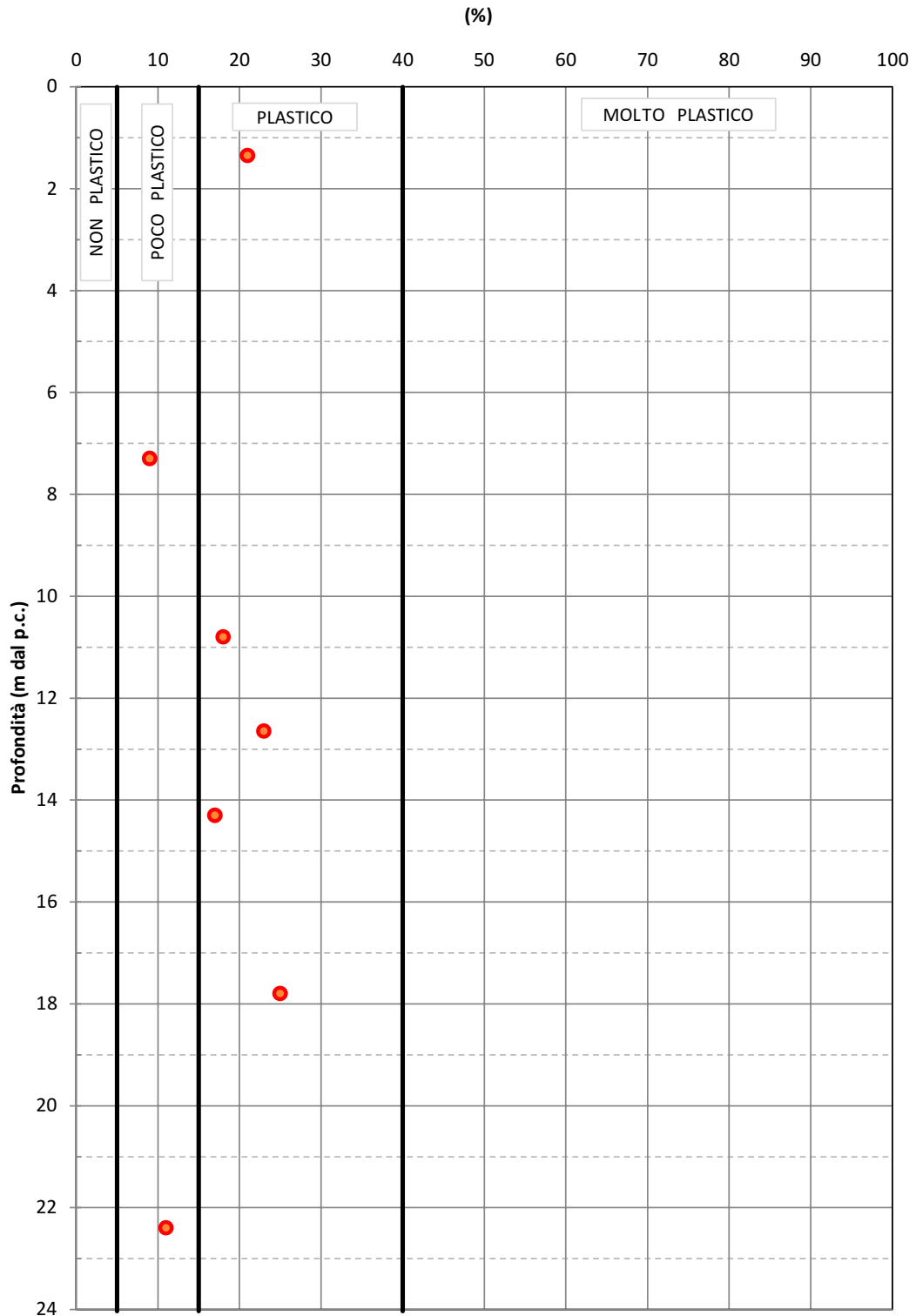
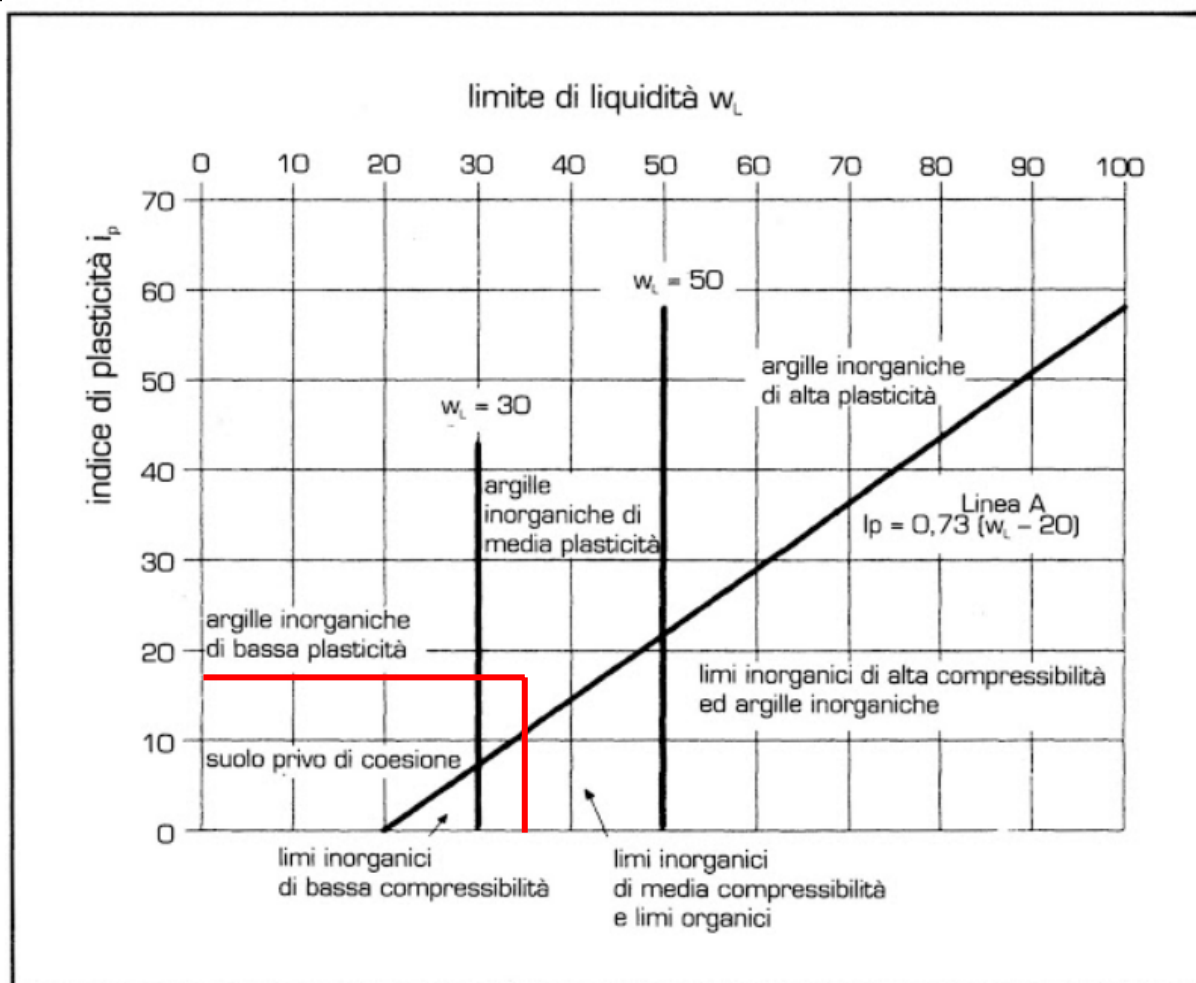



Figura 3.4.3.4 - Indice plastico


Figura 3.4.3.5 – Diagramma di plasticità di Casagrande

Campione	Profondità	Edometrica	Triassiale UU	Triassiale CIU	
	m da p.c.	M (kPa)	Cu (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)
S1-CI1	2.5 - 3.2	1	48	-	-
S1-CI2	8.5 - 9.2	-	-	13.02	30.7
S1-osterberg	22 - 22.7	-	-	19.21	59.9
S2-CI1	2.0 - 2.6	-	-	32.49	49.2
S2-CI3	14 - 14.6	2.8	-	9.17	37.9

Tabella 3.4.3.I – Risultati prove edometriche e triassiali (UU e CIU)

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 40 of 55 <i>di</i>

3.4.4 Confronto dei risultati ottenuti dalle diverse prove

Le figure che seguono riportano i valori dei parametri geotecnici calcolati e ricavati sia dalle diverse prove in sito sia da quelle di laboratorio; tutti questi dati sono messi a confronto in funzione della quota rispetto al l.m.m..

Come si può vedere dall'andamento dei grafici sovrapposti, i valori delle varie grandezze/parametri, ricavati da differenti prove, attraverso differenti correlazioni portano a risultati abbastanza simili per i terreni sabbiosi del livello L2, mentre discrepanze più rilevanti si hanno per i terreni coesivi. Nel complesso, dal confronto si evince che:

- l'interpretazione della prova CPTu ha portato alla definizione di valori di angolo di attrito e modulo elastico leggermente superiori rispetto a quelli ottenuti mediante SPT → questi ultimi, trattandosi di sabbie limose, appaiono più corretti;
- le prove SPT sovrastimano la coesione non drenata e i moduli edometrici → per la definizione di questi parametri si ritengono più attendibili i risultati della CPTu

Nella stratigrafia riprodotta nel paragrafo 3.5 si riportano per ciascun parametro unicamente i valori complessivamente ritenuti più idonei a fungere da riferimento di progetto.

DENSITA' RELATIVA per depositi granulari

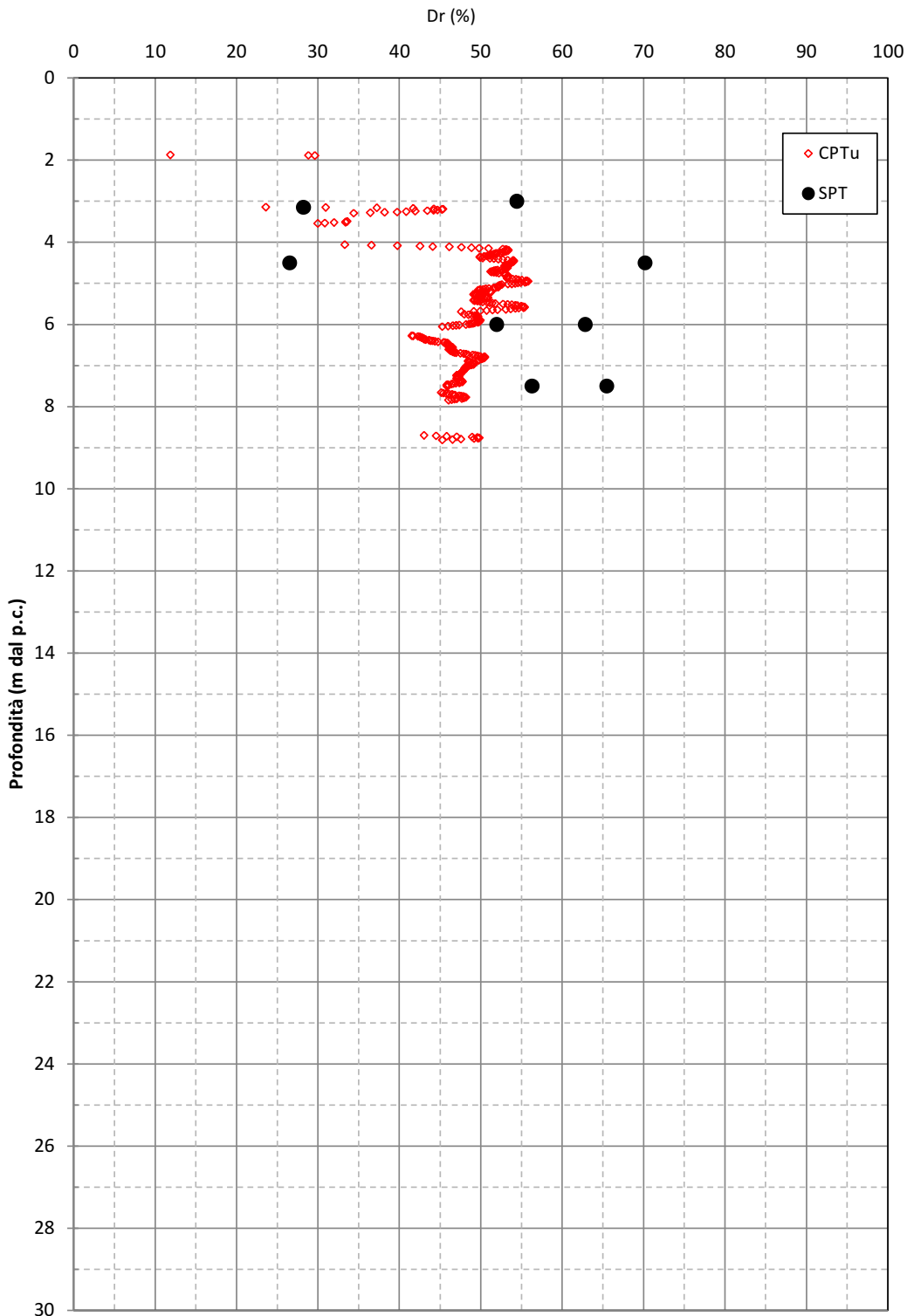
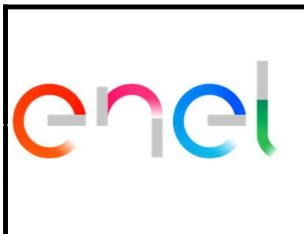


Figura 3.4.4.1 – Densità relativa da SPT e CPTu



PORTO CORSINI (RA)

Document
Documento n.
PBPCX12974

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REV. 00 20.01.21
Sheet
Pagina **42** of di **55**

ANGOLO DI ATTRITO INTERNO per depositi granulari

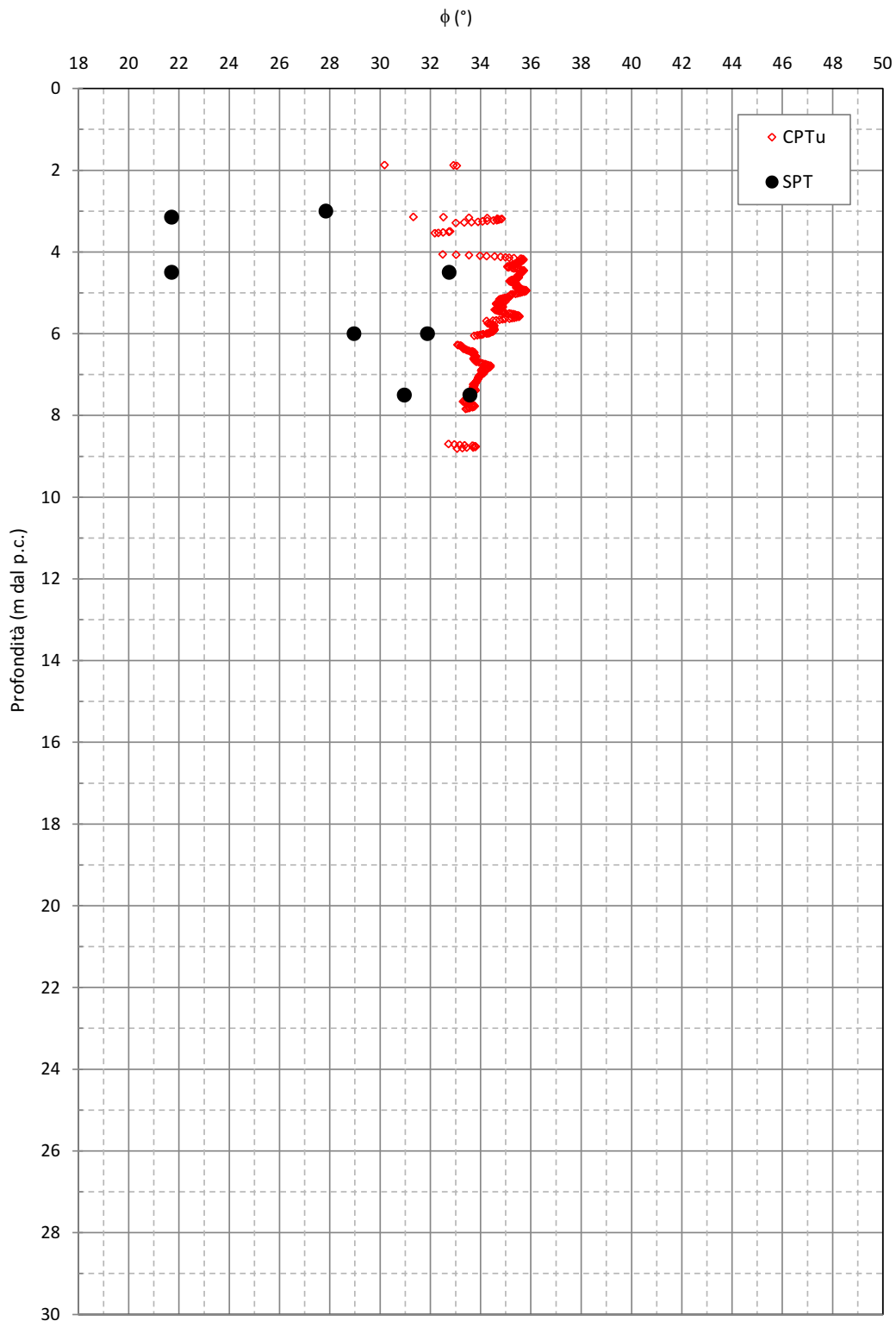


Figura 3.4.4.2 - Angolo d'attrito da SPT e CPTu

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 43 of Pagina di 55

MODULO DI YOUNG per depositi granulari i

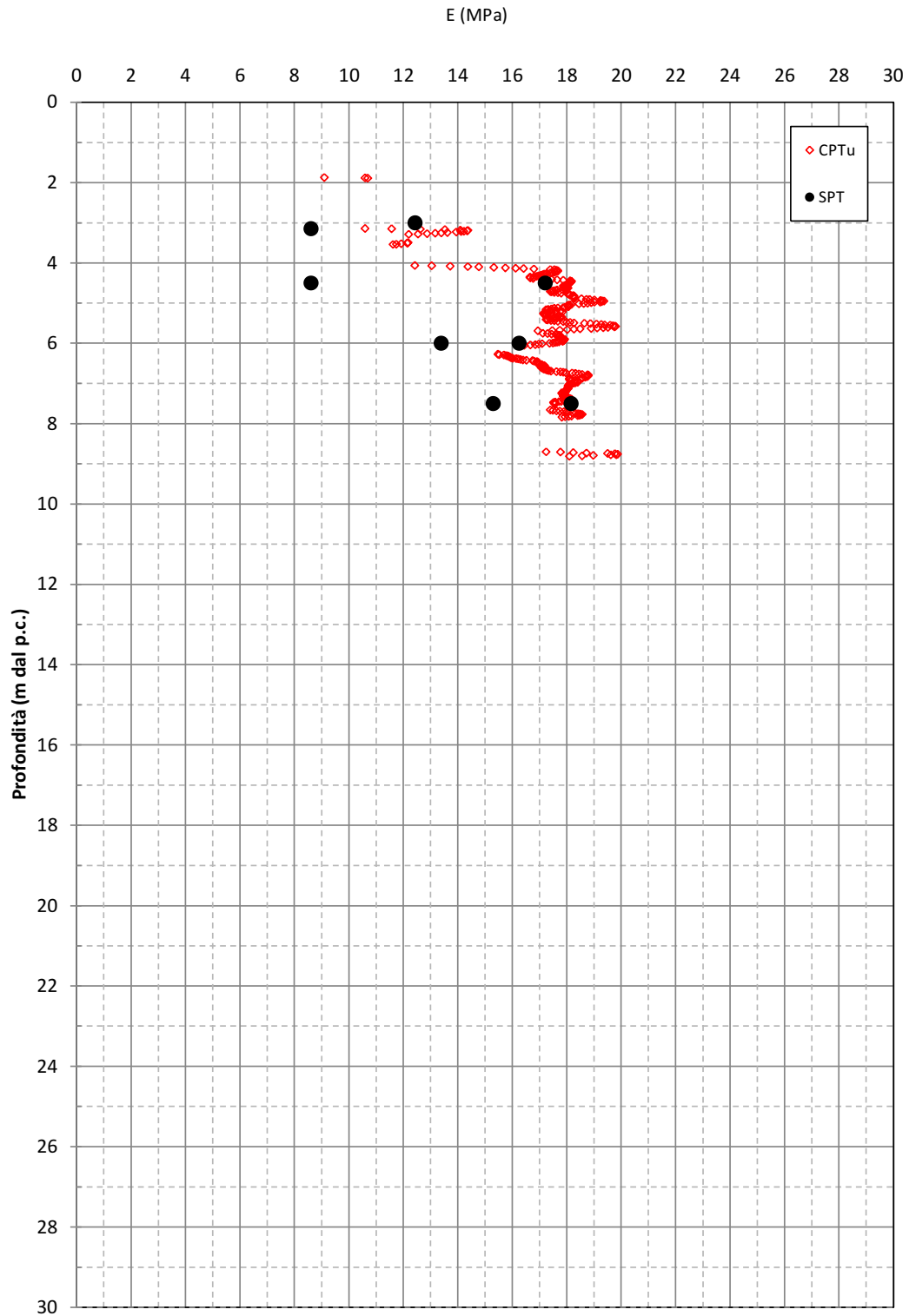


Figura 3.4.4.3 – Modulo elastico da SPT e CPTu

COESIONE NON DRENATA per depositi coesivi

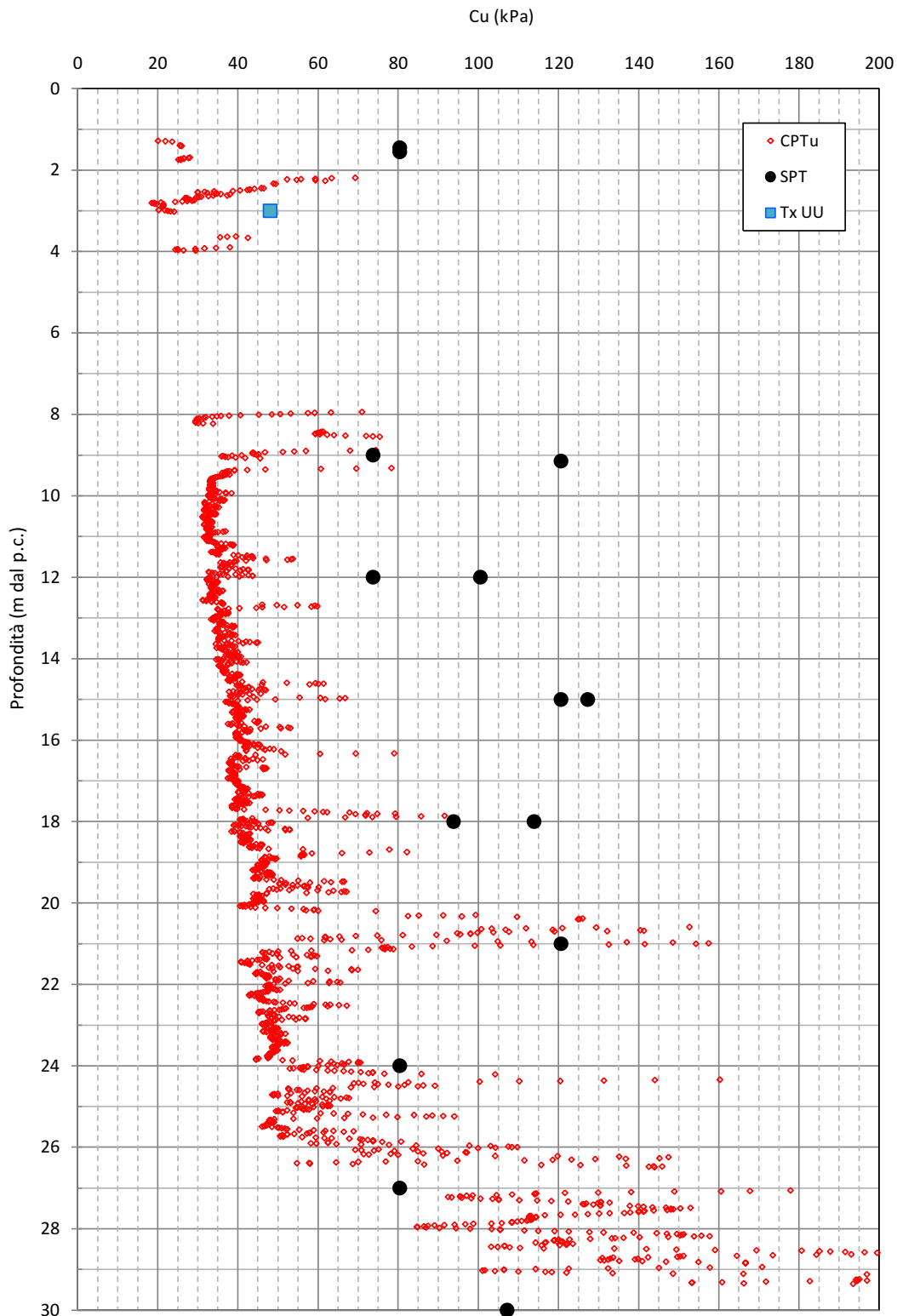


Figura 3.4.4.4 – Coesione non drenata da SPT, CPTu e laboratorio

MODULO EDOMETRICO per depositi coesivi

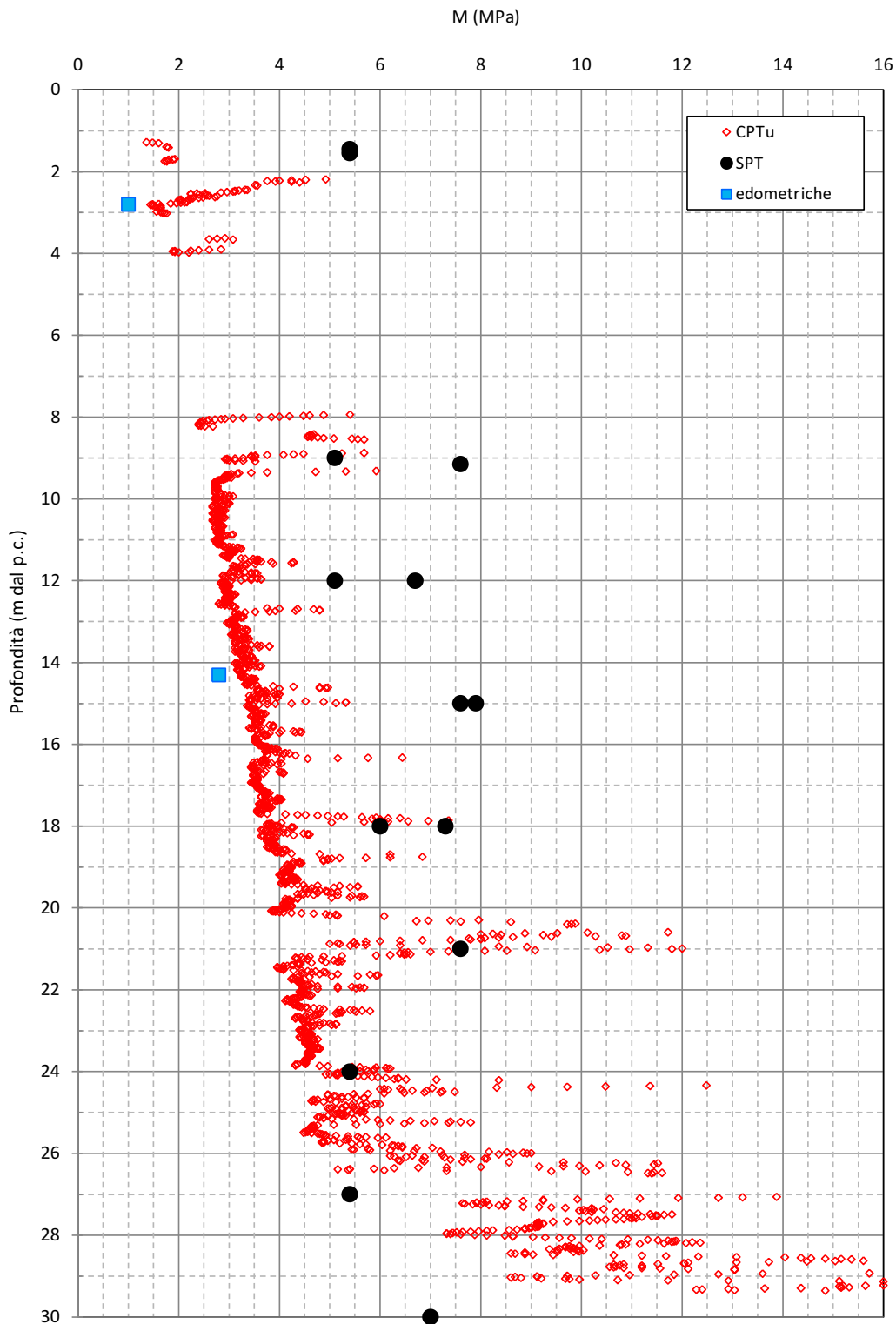


Figura 3.4.4.5 – Modulo edometrico da SPT, CPTu e laboratorio

3.5 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Con rimando a quanto descritto nei precedenti paragrafi, all'area di fondazione dell'edificio di stoccaggio dell'ammoniaca viene attribuita la seguente stratigrafia di progetto.

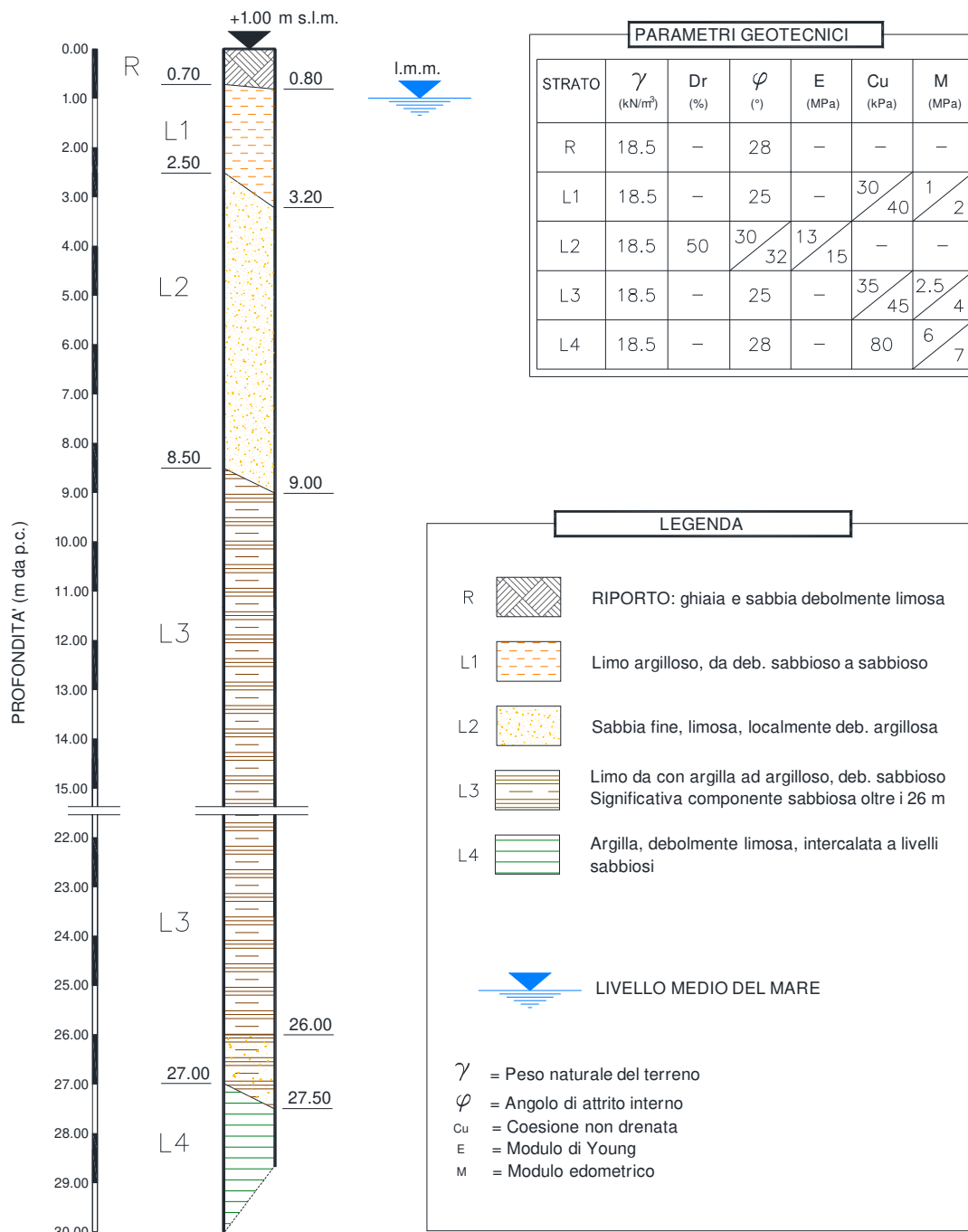



Figura 3.5.1 – Stratigrafia di riferimento per le aree di intervento

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 47 of <i>Pagina</i> di 55

4. CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI DA PROVE GEOFISICHE

La caratterizzazione sismica dei terreni su cui verrà realizzata l'opera in progetto è stata condotta sulla base dell'indagine geofisica del 2021, consistita in una prova down-hole eseguita nel foro del sondaggio S1 (Rif.[4]).

4.1 VELOCITA' DELLE ONDE S

Il profilo di velocità delle onde S ricavato dalla down-hole è illustrato in funzione della profondità da piano campagna in figura 4.1.1.

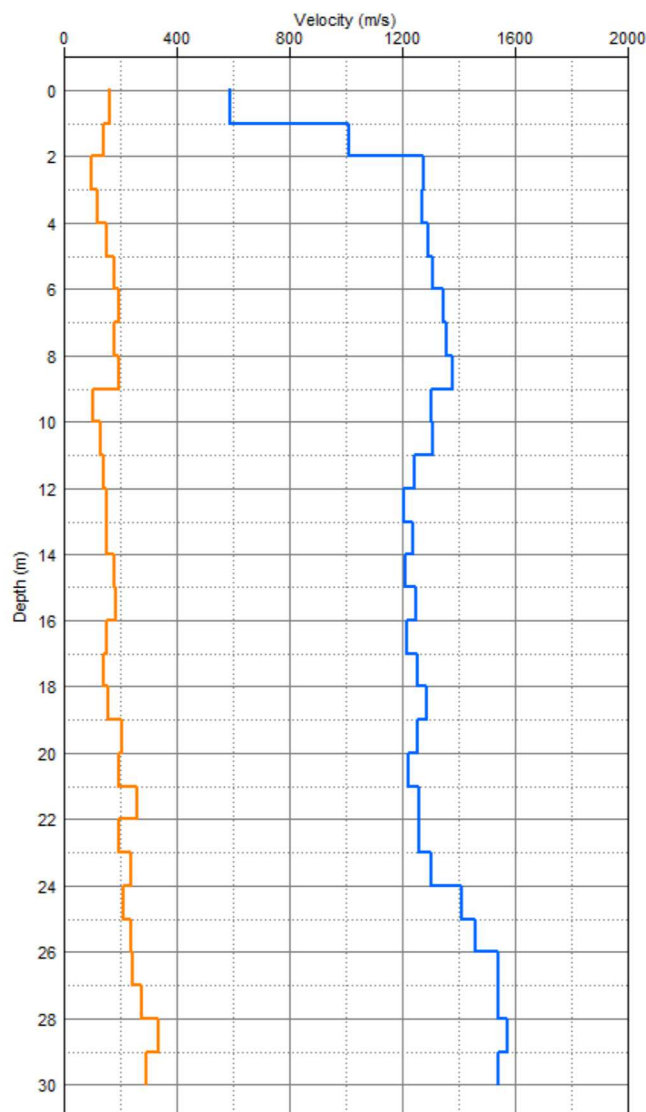



Figura 4.1.1 – Vs (in giallo) e Vp (in blu) misurate mediante prova down-hole (si veda il Rif.[4])

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of <i>Pagina</i> 48 of 55 <i>di</i>

4.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONE TOPOGRAFICA

Ai sensi del paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018, vengono qui determinate la categoria di sottosuolo e la condizione topografica proprie dei terreni sui quali si realizzerà l'intervento in progetto.

In base ai risultati della prova down-hole, la quale dichiara un valore di $V_{s,eq}$ di 171 m/s, i terreni in esame si possono classificare in **categoria D**: "depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s".

Dal punto di vista topografico, invece, l'area in esame è classificabile nella **categoria T1**: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

4.3 COEFFICIENTI SISMICI DI RIFERIMENTO

Il Testo Unico 2018 suddivide il territorio italiano in maglie a cui sono state attribuite accelerazioni sismiche massime su suolo rigido, definite in base alle coordinate assolute del luogo; nello specifico per il sito in esame sono state considerate le seguenti coordinate, corrispondenti ad un punto ricadente entro l'impronta dell'edificio in progetto:

Latitudine: 44.485929°

Longitudine: 12.265662°

Per i terreni di interesse l'accelerazione sismica di progetto, riferita ad un valore di vita nominale (V_N) dell'opera di 50 anni (opere ordinarie) in una classe d'uso IV (opere di importanza strategica: coefficiente $C_u=2$), risulta essere: **$a_g = 0.183 g$** , ove "g" è l'accelerazione di gravità.

Tale accelerazione è quella caratteristica dello stato limite di salvaguardia della vita SLV, avente tempo di ritorno $T_R = 949$ anni, calcolato come segue:


$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = 949 \text{ anni}$$

in cui:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento = 10%;

V_R = periodo di riferimento = $V_R = V_N \cdot C_u = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$.

Il valore del fattore di amplificazione spettrale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale (F_0) corrispondente è pari a 2.545.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet 49 of <i>Pagina</i> di 55

Partendo da questi dati, è pertanto possibile ricavare i valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali per l'analisi geotecnica delle opere:

$$K_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g} \qquad K_v = 0.5 \cdot K_h$$

in cui:

- g = accelerazione di gravità;
- $a_{\max} = S_s S_T a_g$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (con a_g espressa in m/s^2), pari a $3.0544 m/s^2$ (equivalente a **0.3114 g**);
- $S_s = 0.9 \leq 2.4 - 1.5 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.8 = 1.701$ è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, tabellato in normativa in funzione della categoria di suolo (D, come da paragrafo 4.2);
- $S_T = 1.0$ è il coefficiente di amplificazione topografica per categoria tipo T1 (si veda il paragrafo 4.2);
- β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito dipendente dalla categoria del sottosuolo e dal tipo di opera da verificare. In particolare, per $0.1 < a_g < 0.2$, per suoli di categoria D e per analisi di stabilità di fronti di scavo o rilevati (ma anche muri di sostegno) è 0.38.

Sostituendo opportunamente i valori dei vari coefficienti di amplificazione nelle formule sopra indicate, si ottengono i seguenti coefficienti sismici:


- *Per fronti di scavo-rilevati e per muri di sostegno (verifiche scivolamento-schiacciamento)*

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.1183 \qquad K_v = 0.5 \cdot K_h = 0.0592$$

4.4 SUSCETTIBILITA' A LIQUEFAZIONE

L'analisi di suscettibilità al fenomeno della liquefazione è stata condotta nella relazione geologica di Rif. [7], a cui si rimanda per dettagli e approfondimenti.

Da tale verifica risulta che una parte del terreno indagato, nello specifico si tratta dello strato sabbioso L2, è effettivamente potenzialmente liquefacibile al verificarsi del sisma di riferimento.

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21
		Sheet Pagina 50 of di 55

5. RILEVATO FONDAZIONALE

Al fine di mitigare il rischio idraulico, il piano finito dell'edificio di stoccaggio ammoniaca dovrà essere innalzato dall'attuale piano di calpestio sino alla quota di progetto di +1.80 m s.l.m., come indicato nel Rif. [6], mediante un rilevato in terra, adeguatamente costipato.

Le fondazioni del nuovo edificio quindi potrebbero poggiare direttamente proprio sul materiale di riporto che verrà utilizzato per la realizzazione del suddetto rilevato, che dovrà pertanto avere caratteristiche tali sia da garantire la necessaria capacità portante alla fondazione, sia da limitare lo sviluppo dei cedimenti nel tempo.

La costruzione del rilevato dovrà avvenire per strati, di spessore massimo 30 cm, al fine di permettere una loro adeguata costipazione mediante il passaggio di rulli.

Il grado di costipazione da raggiungere per il corpo del rilevato deve essere pari al 96% dello standard o al 93% del proctor modificato; per lo strato di finitura si richiede, invece, il raggiungimento del 95% del proctor modificato (si veda la figura 5.1, stralciata dal Rif. [9]).

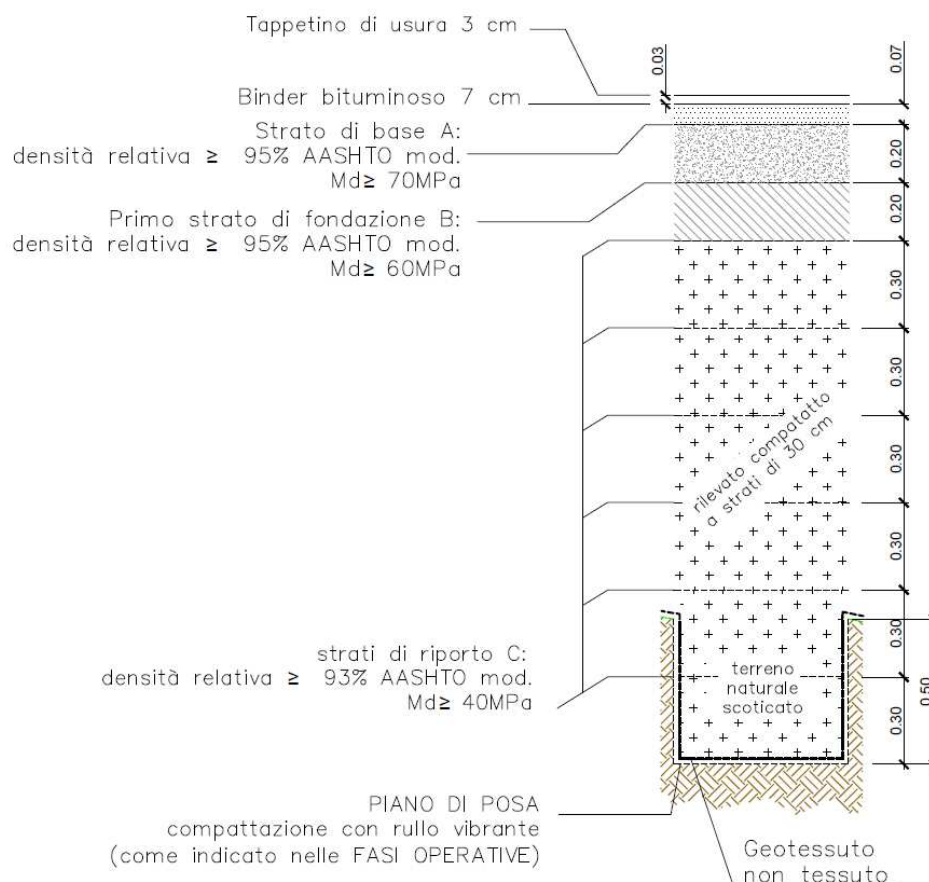



Figura 5.1 – Tipologico degli strati con indicazione sul grado di costipazione

Questo documento è proprietà di Enel E&C. E' severamente proibito riprodurre anche in parte il documento o divulgare ad altri le informazioni contenute senza la preventiva autorizzazione scritta.

This document is property of Enel E&C. It is strictly forbidden to reproduce this document, wholly or partially, and to provide any related information to others without previous written consent.

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of Pagina 51 di 55

Nella figura sottostante è riportato un esempio di fuso granulometrico idoneo a definire la pezzatura del materiale di riporto da utilizzare per lo strato di base (A) del pacchetto di finitura. Per il corpo del rilevato (strati C) e per il primo strato di fondazione/finitura (strato B), invece, sarà possibile l'utilizzo di terreni appartenenti al gruppo A1-a o A1-b della Classificazione dei terreni HRB-AASHTO.

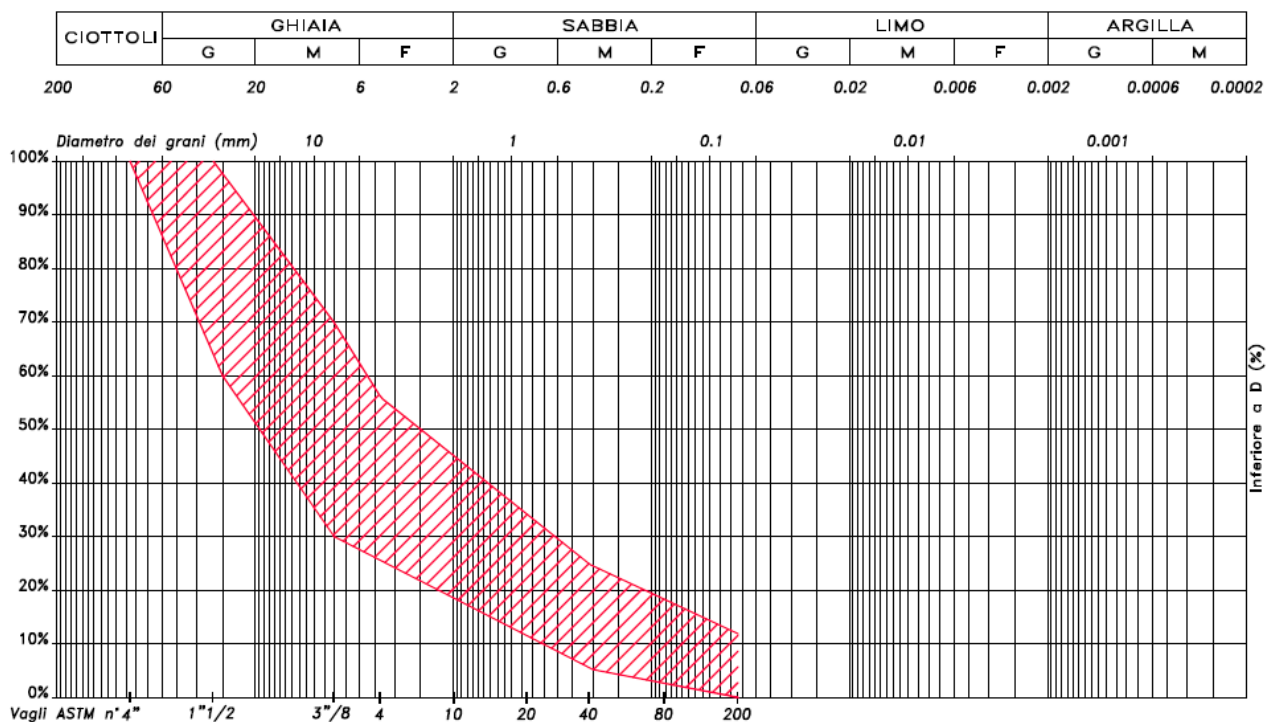



Figura 5.2 – Fuso granulometrico per lo strato di base del bacchetto di finitura

Si rimanda al Rif. [9] per maggiori dettagli in merito.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet <i>Pagina</i> 52 of <i>di</i> 55

6. CONCLUSIONI

I terreni dell'area a nord-est della centrale Teodora di Ravenna, in località porto Corsini, sono stati qui oggetto di studio per un progetto di costruzione di un nuovo edificio di stoccaggio dell'ammoniaca.

Le considerazioni riportate ai capitoli precedenti si basano soprattutto su quanto contenuto nei documenti di riferimento Rif. [4] e Rif. [5] che a loro volta descrivono i risultati ottenuti da indagini geognostiche e geofisiche condotte nel 2021 su terreni limitrofi a quelli su cui verrà fondato l'edificio in progetto. Si è tenuto altresì conto anche delle indagini pregresse ritenute più significative (si vedano i documenti da Rif. [1] a Rif. [3]).

A prescindere dal materiale che andrà a costituire il nuovo rilevato fondazionale, necessario per innalzare il piano finito a quota +1.80 m s.l.m., sulla base dei documenti sopra citati è quindi stata desunta la stratigrafia di progetto per i terreni in esame, qui schematizzata in Figura 3.5.1.


Al disotto di un primo strato di riporto inferiore al metro e prevalentemente costituito da sabbie e ghiaie in matrice limosa, si individua un livello (L1), dello spessore di 2 m circa, limoso-argilloso e localmente sabbioso, passante in profondità a sabbia fine-limosa, da sciolta a scarsamente addensata (livello L2).

A profondità comprese tra 9 e 26 m da piano campagna, sono stati riscontrati terreni limoso-argillosi, normalconsolidati e di plasticità medio-bassa, che si fanno più sabbiosi tra 26 e 27 m di profondità.

Infine, dalla profondità di -27 m da p.c. sino a fondo foro, nella verticale del sondaggio S1 è stata individuata argilla debolmente limosa, in contrasto con quanto rinvenuto dalle CPT recenti e pregresse. Dalle CPT pregresse si rileva infatti una prevalente componente sabbiosa sino a circa 32 m di profondità, solo parzialmente confermata dalla CPTu del 2021.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica, i terreni sono risultati appartenere alla Categoria di suolo D.

Sulla base dei dati a disposizione, inoltre, è risultato che il terreno di fondazione, e nello specifico il "Livello L2", è potenzialmente liquefacibile al verificarsi del sisma di riferimento, come risulta dall'analisi del potenziale di liquefazione condotta nella relazione geologica di Rif.[7]. lo spessore di terreno liquefacibile è da considerare di 6÷7 m ed un eventuale intervento di miglioramento dovrà interessare almeno i terreni da -2m a -10 m dal p.c..

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet <i>Pagina</i> 53 of <i>di</i> 55

Infine, con rimando al Rif. [9] sono state fornite indicazioni sul materiale con cui andrà realizzato il nuovo rilevato fondazionale e sulle modalità operative che dovranno essere seguite per garantire l'esecuzione di un lavoro a regola d'arte.

A questo proposito si raccomanda in fase di progettazione delle fondazioni di tenere debitamente conto del probabile sviluppo di cedimenti differenziali anche significativi (dovuti al discontinuo grado di addensamento dello strato sabbioso L2) e che buona parte del cedimento potrà svilupparsi nel tempo (cedimenti di consolidazione dei livelli L1 ed L3).

Sarà inoltre da considerare il fenomeno della subsidenza che, come più dettagliatamente spiegato nella relazione geologica di Rif.[7], interessa ampie aree dell'Emilia Romagna e, tra queste, anche quella di intervento. Nello specifico, da ricerca bibliografica, risulta che nell'area di interesse la subsidenza sia stata, nel periodo di tempo intercorso tra il 1978 e il 2002, di 15 ÷ 17 mm/anno e che tale velocità si sia all'incirca dimezzata negli ultimi 15 anni. Infine, la carta della subsidenza redatta dalla Regione Emilia Romagna riporta per l'area in esame un tasso di subsidenza, valido per il periodo tra il 2011 e il 2016, variabile tra 2.5 e 7.5 mm/anno. Considerando quindi una vita nominale di 50 anni per l'opera, si prevede che questa vedrà nel corso della sua operatività un abbassamento del terreno di fondazione, e di tutto il terreno circostante, di circa 25 cm.

In conclusione, la progettazione delle strutture dovrà tener conto sia dei problemi legati al rischio di liquefazione, sia di quelli legati alla subsidenza.

CONSULET SERVIZI S.r.l.

	PORTO CORSINI (RA)	Document Documento n. PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet of Pagina 54 di 55

BIBLIOGRAFIA

Baligh, et al. (1981) e Campanella, et al. (1982):

"Use of in situ tests in Geotechnical Engineering".ASCE. pp. 18/20

Bazaraa, A. R. S. S. (1969):

"Penetration Testing" – from A. A. Balkema (1982) ESOPT II, Amsterdam, pagg. 47/50.

Begemann (1974):

"Proceedings of the conference on in situ measurement of soil properties" – ASCE - Vol. II.

Durgunoglu, H.T. e Mitchell, J.K. (1975):

"Static Penetration Resistance of soils: I-analysis", proc. ASTTE spec. conf. on in situ measurement of soil parameters, Raligh, vol. I, pp 151-171

Jamiolkowski, M, Ladd, C. C, Germaine, J. T, e Lancellotta, R. (1988):

"New developments in field and laboratory testing of soils" - Proceedings, 11th International Conference on soil mechanics and foundation engineering, vol. 1, San Francisco (1985), pp 57-153

Ku C.S, Juang C.H, Ou C.Y (2010):


"Reliability of CPT Ic as an index for mechanical behaviour classification of soil.", Geotechnique Vol. 60 – n°11, novembre 2010, pag. 861-875.

Ladd C.C., Foot R. (1974):

"A new design procedure for stability of soft clays" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.100, n° 7.

Ladd C.C., Foot R., Ishihara K., Schlosser F., Poulos H.G. (1977):

"Stress deformation and strength characteristics" S.O.A. Report, Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Tokyo, Vol. 2.

	PORTO CORSINI (RA)	Document <i>Documento n.</i> PBPCX12974
	RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	REV. 00 20.01.21 Sheet <i>Pagina</i> 55 of <i>di</i> 55

Mitchell J.K., Gardner W.S. (1975):

"In Situ Measurement of Volume Change Characteristics. State of the Art Report. Proc. Conf. on In Situ Meas. of Soil Prop; Raleigh (USA).

Robertson P.K (1990):

"Soil classification using the cone penetration test." Canadian Geotechnical Journal Vol. 27 - 1990.

Robertson P.K, Campanella R.G, Gillespie D. e Grieg J:

"Use of piezometer cone data", Use of in-situ tests in geotechnical engineering, ASCE, New York (1986)

Robertson P.K., Wride C.E. (1998):

"Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test." Can. Geotech. J. 35, n°3, pag. 442-459.

Shioi, Y. and Fukuni, J. (1982):

"Application of N-Value to Design of foundation in Japan" – from A. A. Balkema (1982). – "Penetration Testing" ESOPT II, Amsterdam.

Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967):

"Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York.

Webb, (1970):

"Proceedings of the conference on in situ measurement of soil properties" Vol. II – ASCE, 1975.

Webb, D.L. (1970):

"Settlements of structures on deep alluvial sandy sediments in Durban South Africa, In-situ investigations in Soils and Rocks", Brit. Geotechn. Soc., London.