

# HUB PORTUALE ravenna



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico centro settentrionale



APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI,  
NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E  
RIUTILIZZO MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE  
AL P.R.P VIGENTE 2007 - I FASE - PORTO DI RAVENNA

## PROGETTO ESECUTIVO

**oggetto** STUDI PER LA CONOSCENZA DEL CONTESTO  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA  
RELAZIONE GEOTECNICA DELLE CASSE DI COLMATA ED AREE LOGISTICHE

**file**  
1114-E-SIN-GTC-RT-02-0.doc

**codice**  
1114-E-SIN-GTC-RT-02-0

**scala**  
-

Revisione	data	causale	redatto	verificato	approvato
0	28/07/2021	Emissione per approvazione	P. Smorqon	P. Pampanin	L. De Angelis

responsabile delle Integrazioni Specialistiche: **Ing. Lucia de Angelis**

responsabile del Procedimento: **Ing. Matteo Graziani**

committente

contraente generale



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico centro settentrionale

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale  
Via Antico Squero, 31  
48122 Ravenna



**Consorzio Stabile  
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.  
Piazza del Popolo 18  
00187 Roma



**Dredging  
International**

DEME - Dredging International NV  
Haven 1025 - Scheldedijk 30  
2070 Zwijndrecht - Belgium

progettisti



Technital S.p.A.  
Via Carlo Cattaneo, 20  
37121 Verona

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Filippo Busola**



F&M Ingegneria SpA  
Via Belvedere 8/10  
30035 Mirano (VE)

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Tommaso Tassi**



SISPI srl  
Via Filangieri 11  
80121 Napoli

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Marco Di Stefano**

## PROGETTO ESECUTIVO

### GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA

#### Relazione geotecnica – casse di colmata ed aree logistiche

---

28 Giugno 2021

---

PROGETTISTI

RTP:  **TEGENTRAL**

**F&M**  
ingegneria

**SISPI**  
engineering

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>OGGETTO E SCOPO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.</b>	<b>ELABORATI PROGETTO DEFINITIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.</b>	<b>ELABORATI ALTRI PROGETTI.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>DOCUMENTI PROGETTO ESECUTIVO.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>PROPRIETÀ FISICHE.....</b>	<b>9</b>
3.1.1	IDENTIFICAZIONE DEI TERRENI .....	9
3.1.2	DENSITA' RELATIVA .....	10
<b>3.2</b>	<b>CARATTERISTICHE DI RESISTENZA A TAGLIO .....</b>	<b>10</b>
3.2.1	TERRENI COESIVI .....	10
3.2.1.1	RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI NON DRENATE.....	10
3.2.1.2	RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI DRENATE .....	11
3.2.2	TERRENI INCOERENTI.....	11
<b>3.3</b>	<b>CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA' .....</b>	<b>11</b>
3.3.1	MODULI ALLE PICCOLE DEFORMAZIONI .....	11
3.3.1.1	MODULI OPERATIVI.....	12
<b>4</b>	<b>PROFILO STRATIGRAFICO .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>QUOTE DI FALDA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>17</b>
4.2.1	UNITA' R.....	17
4.2.2	DEPOSITO DI PALUDE (UNITA' P).....	20
4.2.3	DEPOSITO SABBIOSO (UNITA' S) .....	22
4.2.4	DEPOSITO COESIVO (UNITA' M).....	25
<b>4.3</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>28</b>
4.3.1	MODELLO GEOTECNICO CASSA NADEP .....	28
4.3.2	MODELLO GEOTECNICO CASSA CENTRO DIREZIONALE .....	28
4.3.3	MODELLO GEOTECNICO AREE LOGISTICHE L1-L2 NORD .....	29
4.3.4	MODELLO GEOTECNICO AREE LOGISTICHE L1-L2 SUD .....	29
4.3.5	MODELLO GEOTECNICO AREA LOGISTICA S3 .....	29
	<b>ALLEGATO 1: ELABORAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>30</b>



## 1 OGGETTO E SCOPO

L’Affidamento a Contraente Generale, ai sensi dell’articolo 194 del D. Lgs., 18 aprile 2016, n.50 e ss.mm.ii. ha per oggetto l’esecuzione di tutte le opere e provviste occorrenti per eseguire e dare completamente ultimati i lavori di: approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo materiale estratto in attuazione al PRP vigente 2007.

Le opere oggetto di affidamento consistono nella realizzazione del nuovo Terminal Container e in un primo step di approfondimento dei fondali, oltre al conseguente adeguamento strutturale di parte delle banchine esistenti. Il presente progetto prevede un intervento di nuova realizzazione (banchine del nuovo Terminal Container, situato sulla destra presso la penisola Trattaroli), alcuni interventi di rinforzo e adeguamento strutturale (Banchine Bunge Nord e Sud, Al-ma, Lloyd, Trattaroli Nord e Sud, Ifa, Docks Piomboni lato Nord e adeguamento del primo tratto della banchina Futuro CTS). Sono previsti, inoltre, ingenti lavori di dragaggio e di movimento terra.



Figura 1-1: Foto area dell'area portuale di Ravenna estratta da Google Earth, 2020. Sono segnati i poligoni delle macro-aree di progetto.

La presente relazione tratta la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dagli interventi previsti nell’ambito della gestione dei fanghi di dragaggio. Il materiale escavato dal canale Candiano e Baiona sarà collocato inizialmente all’interno delle casse di colmata, adeguatamente predisposte, in seguito verrà posto nelle aree di destino finale dette aree logistiche.

Il progetto prevede quattro casse di colmata:

- Cassa di colmata Centro Direzionale ;
- 3 casse di colmata NADEP: "cassa NADEP lato via Trieste", "cassa NADEP centrale", "cassa NADEP interna";

e tre aree logistiche:

- Area Logistica 1;
- Area Logistica 2;
- Area Logistica S3.

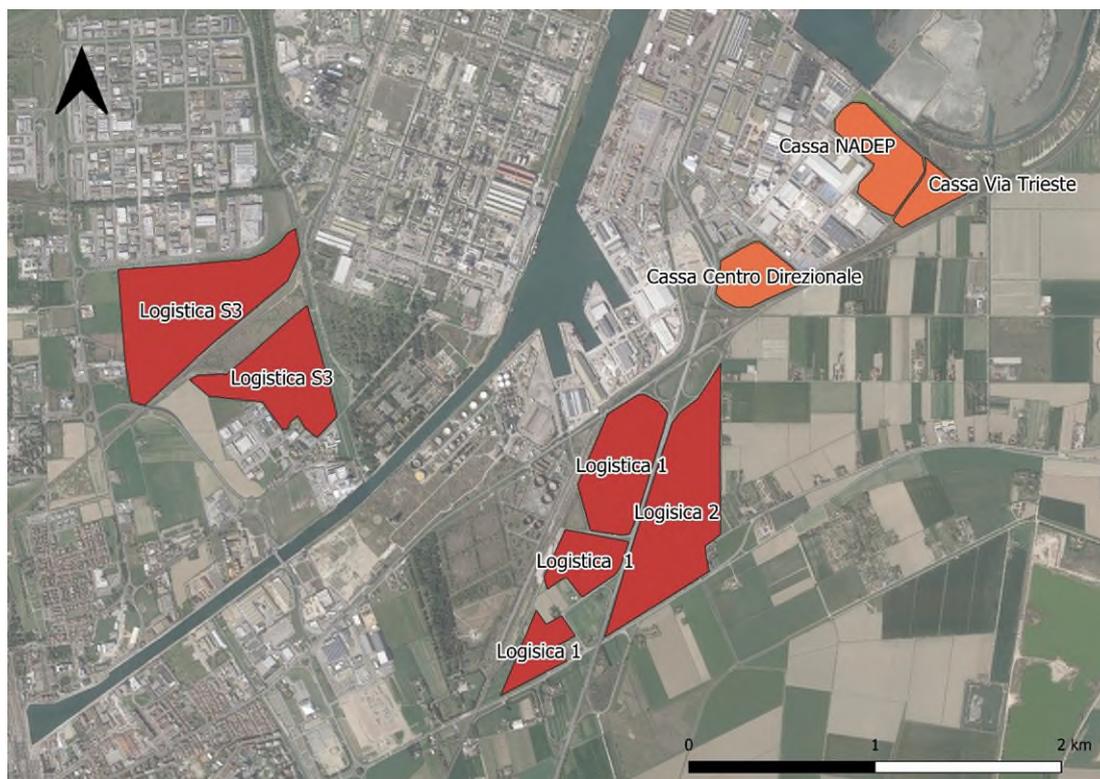


Figura 1-2 Ubicazione dell'area delle casse di colmata e le aree logistica.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- [2] Circolare 02/01/2019 n.7 C.S.LL.PP. recante le istruzioni per l’applicazione dell’”Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- [3] EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical Design
- [4] EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- [5] AGI (1997) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Associazione Geotecnica Italiana
- [6] AGI (1994) Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio. Associazione Geotecnica Italiana
- [7] AGI (2005) Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida. Associazione Geotecnica Italiana
- [8] ASG (2016) Linee guida per indagini geofisiche. Associazione Italiana di Geofisica

### 2.2. ELABORATI PROGETTO DEFINITIVO

- [9] “Relazione Geologica” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 1 / 11/2019 – Cod.1114.GEO.A
- [10] “Relazione Geologica” – Allegati 1÷9 - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 1 / 11/2019 – Cod.1114.GEO.A
- [11] “Relazione generale di caratterizzazione geotecnica” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 2 / 11/2019 – Cod.1114.GEO.C
- [12] “Caratterizzazione casse di colmata Nadep Centrale e Nadep Interna” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 2 / 11/2019 – Cod.1114.SED.Ca
- [13] “Caratterizzazione sito di destinazione Comparto S3” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 2 / 11/2019 – Cod.1114.SED.D
- [14] “Compatibilità sito di destinazione Logistica 1” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 2 / 11/2019 – Cod.1114.SED.F
- [15] “Autorizzazione ex art. 208 D.Lg. 152/2006 per il recupero del materiale presente nelle casse di colmata Nadep” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 1 / 11/2019 – Cod.1114.SED.H
- [16] “Stato di fatto - Rilievo planoaltimetrico, sottoservizi, fasce di rispetto - planimetria” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 3 / 11/2019 – Cod.1114.URB.L2.05
- [17] “Stato di fatto - Rilievo planoaltimetrico, dentrologico, sottoservizi, fasce di rispetto - planimetria” - Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in

penisola Trattaroli e riutilizzo del materiale estratto in attuazione al P.R.P vigente 2007, I Fase – Progetto Definitivo – Rev. 3 / 11/2019 – Cod.1114.URB.S3.04

## 2.2. ELABORATI ALTRI PROGETTI

- [18] Progetto definitivo - Istanza ex art. 208 D. Lgs. 152/2006 per autorizzazione dell'attività di recupero dei fanghi di dragaggio in cassa di colmata Centro Direzionale - Rev. 2 / 01/2020
- [19] Progetto definitivo - Istanza ex art. 208 D. Lgs. 152/2006 per autorizzazione dell'attività di recupero dei fanghi di dragaggio in cassa di colmata Via Trieste- Rev. 0 / 06/2019
- [20] "Relazione geologica e geotecnica" Progetto definitivo - Piano urbanistico attuativo Comparto 1 - Poc Logistica - Rev. 0 / 01/2020 - Cod. 19.10\_PD\_S.08

## 2.3. BIBLIOGRAFIA

- [21] Bolton M., (1986) Geotechnique 36, No 1, 65-78
- [22] Colombo P, Colleselli F., (2004) Elementi di Geotecnica Terza edizione Ed. Zanichelli
- [23] Fardis M., Carvalho E., Elnashai A., Faccioli E., Pinto P., (2005) "Designers' Guide to EN 1998-1 and EN 1998-5 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. General rules, seismic actions, design rules for buildings, foundations and retaining structures" – Ed. Thomas Telford
- [24] Jamiolkowski M., Lo Presti, D.C.F. (2003). "Geotechnical characterization of Holocene and Pleistocene Messina sand and gravel deposits" Charact. and Engng Properties of Natural Soils, Singapore, The Netherlands 2:1087-1120
- [25] Jamiolkowski M., R.Lancellotta (1985). Design parameters for soft clays
- [26] Jamiolkowski M., Baldi G., Bellotti R., Ghionna V.N., Pasqualini E. (1985) "Penetration resistance and liquefaction of sands" Proc. 11th ICSMFE, S.Francisco, CA
- [27] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of 1st International Symposium on Penetration Testing ISOPT I, Orlando FLA
- [28] Lunne T., Christoffersen H.P., Tjelta T.I. (1985) "Engineering use of piezocone data in North Sea clays" Proc. XI ICSMFE, S.Francisco CA
- [29] Mayne P.W., Rix G.J. (1993) "Gmax – qc relationship for clays" Geotechnical Testing Journal GTJODJ vol. 16, n. 1
- [30] Mayne P.W., Peuchen.J (2018) "Evaluation of CPTU Nkt cone factor for undrained strength of clays" Delft University of Technology, Netherlands
- [31] Mayne P.W. (2006) "Undisturbed sand strength from seismic cone tests" The 2nd James K. Mitchell Lecture, Geomech. and Geoengng, 1(4):239-258
- [32] Robertson P.K. (2010) "Soil behaviour type from CPT: an update" Proceedings of the 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach CA
- [33] Schnaid F., Lehane B.M., Fahey M. (2004) "In situ test characterisation of unusual geomaterials" Proc. 2nd Int. Conf. on Site Charact., Milpress, Porto 1:49-74
- [34] Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proc. ESOPT-I
- [35] Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, New York
- [36] Terzaghi (1955). "Evaluation of coefficients of subgrade reaction", Géotechnique, n. 4, pp. 297-326
- [37] Yoshida Y., Motonori I. (1988) "Empirical formulae of SPT Blow-counts for gravely soils" Proc. ISOPT I, Orlando FLA

## 2.2 DOCUMENTI PROGETTO ESECUTIVO

- [38] "Relazione geologica", 1114-E-SIN-GEO-RT-01-01
- [39] "Relazione geotecnica - Banchine", 1114-E-SIN-GTC-RT-01-01

- [40] “Relazione sismica”, 1114-E-SIN-GEF-RT-01-01
- [41] “Planimetria ubicazione indagini – banchine”, 1114-E-SIN-GEO-PL-01-01
- [42] “Planimetria ubicazione indagini – Casse di colmata Nadep, via Trieste e Centro Direzionale”, 1114-E-SIN-GEO-PL-02-01
- [43] “Planimetria ubicazione indagini – Aree logistiche”, 1114-E-SIN-GEO-PL-03-01
- [44] “Profili geologici longitudinali – banchine”, 1114-E-SIN-GEO-SZ-01-01
- [45] “Sezioni geologiche trasversali – banchine”, 1114-E-SIN-GEO-SZ-02-01
- [46] “Profili geologici - Casse di colmata Nadep, via Trieste e Centro Direzionale” 1114-E-SIN-GEO-SZ-03-01
- [47] “Profilo geologico – Aree logistiche”, 1114-E-SIN-GEO-SZ-04-01
- [48] “Profili geotecnici longitudinali – banchine”, 1114-E-SIN-GTC-SZ-01-01
- [49] “Sezioni geotecniche trasversali – banchine”, 1114-E-SIN-GTC-SZ-02-01
- [50] “Profili geotecnici - Casse di colmata Nadep, via Trieste e Centro Direzionale”, 1114-E-SIN-GTC-SZ-03-01
- [51] “Profilo geotecnico – Aree logistiche”, 1114-E-SIN-GTC-SZ-04-01
- [52] “Relazione indagini geognostiche “1114-E-SIN-GEO-RE-11-1
- [53] “Allegato 1 - Stratigrafie Sondaggi e prove in foro” 1114-E-SIN-GEO-AL-11-1
- [54] “Allegato 2 - Prove CPTU e SCPTU” 1114-E-SIN-GEO-AL-12-1
- [55] “Allegato 3 - Indagini geofisiche” 1114-E-SIN-GEO-AL-13-1
- [56] “Allegato 4 - Prove di laboratorio geotecnico” 1114-E-SIN-GEO-AL-14-0
- [57] “Relazione indagini geognostiche integrative - Trattaroli sud - e Allegati” 1114-E-SIN-GEO-RE-12-1
- [58] “Relazione indagini geognostiche integrative - Cassa di colmata - e Allegati” 1114-E-SIN-GEO-RE-13-1

### 3 CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI

Per l'identificazione e la caratterizzazione dei terreni dell'area portuale di Ravenna si è fatto ricorso alle indagini in sito, alle prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati e alle prove geofisiche.

Tutti i risultati sono stati analizzati allo scopo di definire i modelli geotecnici di riferimento del sottosuolo per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle opere in progetto.

Si riportano di seguito i criteri utilizzati per l'interpretazione delle indagini e le correlazioni adottate per interpretare i risultati delle prove in sito con riferimento alle prove penetrometriche statiche con piezocono (CTPU).

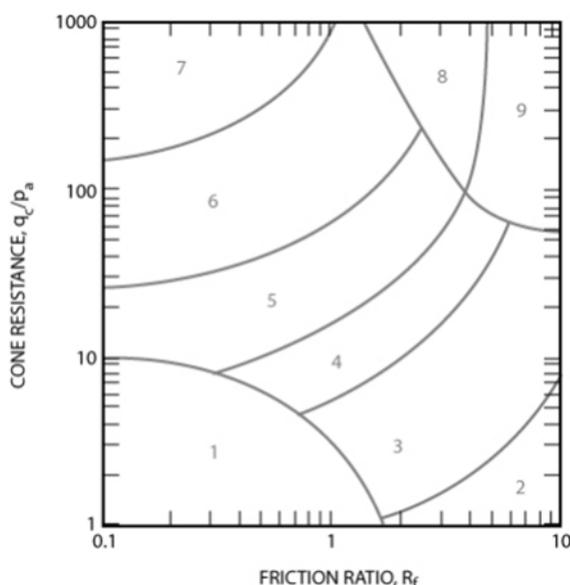
La prova penetrometrica statica di tipo elettrico prevede di far avanzare nel terreno verticalmente, a velocità costante ( $v \approx 2$  cm/s), una punta conica di dimensioni standard (diametro 35,7mm e angolo di apertura 60°) misurando la pressione alla punta e lo sforzo tangenziale laterale in modo fra loro indipendente con trasduttori elettrici che inviano un segnale ad una centralina posta in superficie. La punta elettrica del penetrometro per prove CPTU è inoltre munita di un setto poroso cosicché è possibile misurare le pressioni interstiziali generate durante l'avanzamento. La prova consente inoltre la stima dei moduli elastici del terreno e della coesione non drenata nei terreni a grana fine. In modo indiretto, la prova consente anche il riconoscimento della stratigrafia del deposito con precisione centimetrica.

#### 3.1 PROPRIETÀ FISICHE

##### 3.1.1 IDENTIFICAZIONE DEI TERRENI

Con riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche è possibile ricostruire il profilo stratigrafico dei terreni in funzione dell'indice di classificazione  $I_c$  adottando il diagramma di Robertson (2010) riportato in Figura 3-1.

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \log(Q))^2 + (\log(F) + 1,22)^2}$$



Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive, fine grained
2	Organic soils - clay
3	Clay - silty clay to clay
4	Silt mixtures - clayey silt to silty clay
5	Sand mixtures - silty sand to sandy silt
6	Sands - clean sand to silty sand
7	Gravelly sand to dense sand
8	Very stiff sand to clayey sand*
9	Very stiff fine grained*

\* Heavily overconsolidated or cemented

$P_a$  = atmospheric pressure = 100 kPa ~ 1 tsf

Figura 3-1 Diagramma classificazione Robertson (2010)

dove:

- $Q_{tn} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{p_a} \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$  è la resistenza alla punta corretta adimensionalizzata;
- $q_t$  è la resistenza alla punta corretta ricavata dall'espressione:
- $q_t = q_c + u_2(1 - a)$  essendo

essendo

- $a = A_n/A_c$  è il rapporto tra la sezione della cella di carico  $A_n$  e la sezione (proiettata) del cono  $A_c$  funzione del penetrometro utilizzato e nel caso in oggetto assunto pari a 0.8;
- $u_2$  è la pressione interstiziale a tergo del cono;
- $\sigma_{v0}$  è la pressione verticale totale geostatica alla profondità della punta;
- $\sigma'_{v0}$  è la pressione verticale efficace geostatica alla profondità della punta;
- $F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \cdot 100$

### 3.1.2 DENSITA' RELATIVA

I valori di densità relativa  $D_r$  dei terreni granulari sono stati valutati in funzione dei risultati delle prove penetrometriche statiche, mediante la correlazione proposta da Jamiolkowski et al. (2003) idonea per sabbie normalconsolidate:

$$D_r = \frac{1}{C_2} \ln \left( \frac{q_c/p_a}{C_0 \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{C_1}} \right)$$

dove:

- $q_c$  è la resistenza alla punta;
- $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace;
- $p_a$  è la pressione atmosferica pari a 101kPa;
- $C_0, C_1, C_2$  sono costanti del terreno che dipendono dalla composizione granulometria e che nel caso di terreni normalconsolidati valgono rispettivamente 17.68, 0.50 e 3.10.

## 3.2 CARATTERISTICHE DI RESISTENZA A TAGLIO

### 3.2.1 TERRENI COESIVI

#### 3.2.1.1 RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI NON DRENATE

Per i terreni coesivi si sono utilizzate diverse correlazioni basate sui risultati delle prove in sito o fornite dalla letteratura e di uso consolidato nella prassi.

La coesione non drenata  $c_u$  può essere stimata in base ai risultati delle prove penetrometriche secondo la relazione proposta da Mayne (2018):

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

dove:

- $q_t$  è la resistenza alla punta corretta del penetrometro statico
- $\sigma_{v0}$  è la tensione verticale
- $N_{kt}$  è il fattore di capacità portante

Il fattore  $N_{kt}$  presenta una alta variabilità funzione della storia geologica del deposito con valori compresi tra 11 e 20 per terreni normalconsolidati e fino a 25 per terreni sovraconsolidati. In conformità a quanto già fatto

per il PD doc.rif.[11] tale parametro è stato calibrato in funzione dei valori di resistenza non drenata ricavati dalle prove di laboratorio (triassiali UU) eseguite sui campioni indisturbati.

Il fattore  $N_{kt}$  così valutato risulta compreso tra 17 e 23.

Alla luce di tali risultati la resistenza a taglio in condizioni non drenate è stata valutata adottando un fattore di capacità portante  $N_{kt} = 20$ .

L'interpretazione della coesione non drenata dedotta dalle prove CPTU è stata inoltre confrontata con la formulazione di Skempton valida per terreni argillosi normalconsolidati:

$$c_u = \sigma'_{v0} \times (0.11 + 0.0037 \times IP)$$

dove:

- $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace
- $IP$  è l'indice di plasticità che con riferimento alle prove di laboratorio è stato assunto mediamente pari a 20

### 3.2.1.2 RESISTENZA A TAGLIO IN CONDIZIONI DRENATE

In assenza di prove dirette per la resistenza al taglio in condizioni drenate dei terreni coesivi si è fatto riferimento anche ai risultati delle prove di taglio diretto, delle prove triassiali consolidate isotropicamente drenate (CID) e non drenate (CIU) condotte sui campioni prelevati nei sondaggi condotti sulle banchine.

### 3.2.2 TERRENI INCOERENTI

Per quanto concerne i terreni l'angolo di resistenza al taglio è stato valutato con i risultati delle prove CPTU con le relazioni proposte da Mayne (2006) idonee per la caratterizzazione di terreni di natura incoerente:

$$\phi' = 17.6 + 11 \log \left( \frac{q_c - \sigma_{v0}}{\sqrt{\sigma'_{v0} \times p_a}} \right)$$

Inoltre sono a disposizione i risultati delle prove di taglio diretto e delle prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (CIU) condotte sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

## 3.3 CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITA'

### 3.3.1 MODULI ALLE PICCOLE DEFORMAZIONI

Il modulo di taglio alle piccole deformazioni per i terreni coesivi è stato stimato dai risultati delle prove penetrometriche statiche CPTU adottando la relazione proposta da Mayne e Rix (1993) espressa come:

$$G_0 = 406 q_c^{0.695} e_0^{-1.130}$$

dove:

- $G_0$  è il modulo elastico di taglio alle piccole deformazioni;
- $q_c$  è la resistenza alla punta;
- $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale nel caso in esame assunto pari a 0.8 sulla base delle prove di laboratorio condotte sui campioni di terreno prelevate nel corso dei sondaggi.

Per i terreni incoerenti, la stima del modulo di taglio alle piccole deformazioni è stata valutata adottando la relazione proposta da Schnaid (2004):

$$G_0 = 110^3 \sqrt[3]{q_c \sigma'_{v0} p_a}$$

dove:

- $p_a$  è la pressione atmosferica

Il modulo  $G_0$  è stato inoltre valutato in base alla velocità delle onde di taglio  $V_s$ :

$$G_0 = \frac{\gamma}{g} (V_s)^2$$

dove:

- $\gamma$  è il peso di volume del terreno

I valori di progetto sono stati definiti dando maggior peso alle misure in sito rispetto ai risultati delle prove di laboratori, meno conservativi.

### 3.3.1.1 MODULI OPERATIVI

La scelta dei moduli operativi per il dimensionamento delle opere deve tener conto del comportamento non lineare dei terreni al crescere delle deformazioni (vedi Figura 3-4).

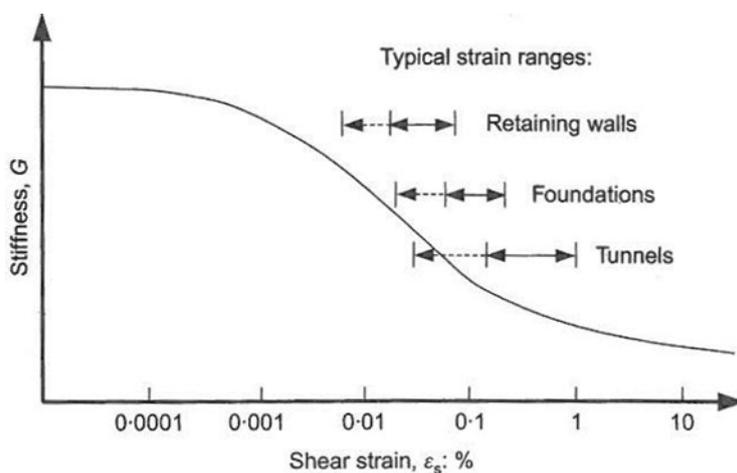


Figura 3-4: Variazione tipica del modulo di rigidezza in funzione della deformazione unitaria Mari (1993).

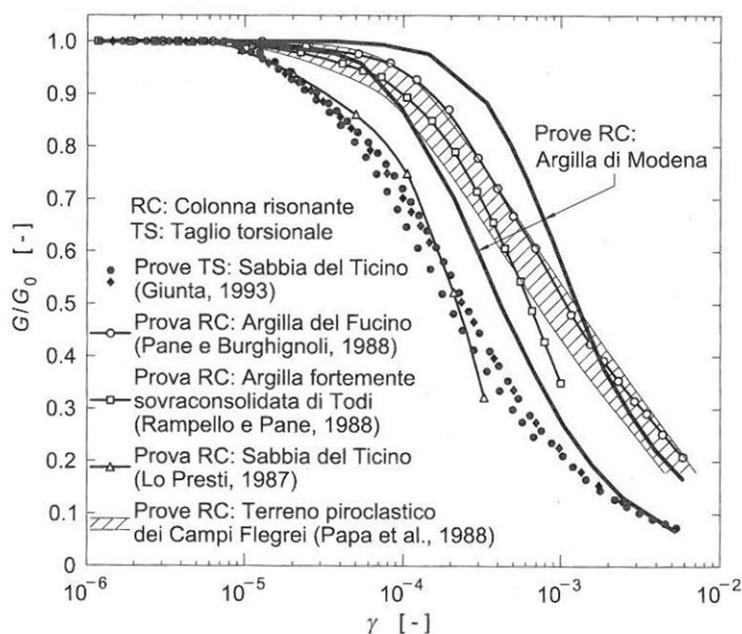


Figura 3-5: Dipendenza del modulo di taglio dal livello deformativo Lancellotta (2012)

Per il calcolo dei cedimenti si ritiene di far riferimento ad un modulo di deformabilità confinato  $M$  che tenga conto di deformazioni elevate.

Per i terreni coesivi il modulo  $M$  è stato valutato mediante la relazione proposta da Robertson (2009):

$$M = \alpha_M \times (q_t - \sigma_{v0})$$

dove:

- $\alpha_M = 14$  per  $Q_{tn} > 14$
- $\alpha_M = Q_{tn}$  per  $Q_{tn} \leq 14$

I valori ottenuti sono stati confrontati con i risultati delle prove edometriche condotte sui campioni prelevati in corrispondenza delle banchine.

Nel caso di terreni granulari il modulo  $M$  è stato determinato adottando la correlazione proposta da Lunne & Christophersen (1983) valida per sabbie normalconsolidate:

$$M = 4 \times q_c \quad \text{per valori di } q_c < 10 \text{ MPa}$$

$$M = 2 \times q_c + 20 \quad \text{per valori di } 10 \text{ MPa} < q_c < 50 \text{ MPa}$$

## 4 PROFILO STRATIGRAFICO

L'interpretazione delle indagini geognostiche disponibili condotte in sito e i risultati delle prove di laboratorio hanno consentito di definire l'andamento del profilo stratigrafico dei terreni nella zona trattata.

Delle Casse di colmata e Aree Logistiche sono stati definiti i seguenti modelli geotecnici di riferimento:

- CASSA NADEP
- CASSA CENTRO DIREZIONALE
- AREA LOGISTICA 1 E 2 NORD
- AREA LOGISTICA 1 E 2 SUD
- AREA LOGISTICA S3

Allo stato attuale le casse di colmata sono delimitate da argini che presentano una sezione trapezoidale di altezza di circa 6÷8 m sul p.c. costituiti da materiale eterogeneo prevalentemente sabbioso, da sabbie sciolte a sabbie addensate di colore variabile da nocciola grigia nerastra con livelli ossidati e livelli di ghiaia con clasti millimetrici e centimetrici (A01- A02 della campagna di sondaggi eseguita nel 2019). Nel solo sondaggio S9/20 è riconoscibile un nucleo formato da livelli di limi e argille compatti, sugli altri sondaggi il materiale risulta, invece, più eterogeneo e il nucleo non è sempre identificabile; la presenza del nucleo negli argini, perciò, non sembra essere continua. Il materiale di riempimento è costituito da fanghi di dragaggio.

Nella zona delle Casse di colmata, dall'esame dei profili rilevati emerge una successione litologia regolare dei terreni di fondazione distinta dal differente spessore dei singoli strati di terreno.

Lo strato superficiale (Unità R) è costituito terreni a granulometria variabile prevalentemente sabbie limose e/o di riporto presenti con spessore variabile sino ad una profondità di -2.0÷-3.0 m s.l.m. Successivamente e fino alla profondità di circa -4.0 m s.l.m. è stata rilevata la presenza di terreni argillosi e torbosi costituenti i depositi di palustri superficiali (unità P) di spessore variabile sino ad un massimo di 2m, caratterizzati da valori di resistenza alla punta  $q_c$  compresa tra 0.5MPa e 0.15MPa. Da -4.0 m s.l.m. sino a una profondità variabile di -9.0 ÷ -13.0 m s.l.m. si rileva la presenza delle sabbie fini di cordone litorale (Unità S). Tali terreni sono costituiti in prevalenza da sabbie intercalate a terreni livelli limosi di spessore decimetrico e presentano valori della resistenza alla punta  $q_c$  misurata nelle prove penetrometriche statiche compresa tra 2MPa e 10MPa. A seguire e sino alla profondità di -24.0 ÷ -25.0m s.l.m. si incontrano i depositi di prodelta (unità M). La litologia è caratterizzata dalla presenza di limi argillosi, ma si riconosce anche la presenza di livelli sabbiosi più consistenti. ( $q_c$  compresa tra 1.0MPa e 3.5MPa con picchi sino a 10MPa).

Nelle seguenti tabelle si riporta la stratigrafia di riferimento per i modelli geotecnici individuati.

Tabella 4-1: Stratigrafia di riferimento modello geotecnico CASSA NADEP

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	-3.0	4.0
Unità P	-3.0	-4.0	1.0
Unità S	-4.0	-9.0	5.0
Unità M	-9.0	-24.0	15.0

Tabella 4-2: Stratigrafia di riferimento modello geotecnico CASSA CENTRO DIREZIONALE

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	-2.0	3.0
Unità P	-2.0	-4.0	2.0
Unità S	-4.0	-13.0	9.0
Unità M	-13.0	-25.0	12.0

La successione stratigrafica delle aree logistiche è variabile: nella zona Nord delle aree L1 e L2 al di sotto dello strato superficiale (Unità R) che assume uno spessore pari a circa 0.5 ÷ 1.0 m, il banco di sabbia (Unità S) è coperto da circa 3.0 m di depositi palustri ed alluvionali (Unità P); nella zona Sud delle aree L1 e L2 lo strato sabbioso è coperto da circa 5.0 m di terreni incoerenti costituiti da sabbie fini e sabbie limose compatte appartenenti a depositi di canale, argine o rotta fluviale (considerati appartenenti all' Unità S); mentre nella zona dell'area S3 il banco di sabbia è coperto solo dallo strato superficiale. Al banco sabbioso, che si spinge sino a una profondità variabile di -12.0 ÷ -15.0 m s.l.m., si incontrano i depositi di prodelta (unità M).

Nelle seguenti tabelle si riporta la stratigrafia di riferimento per i modelli geotecnici individuati.

Tabella 4-3: Stratigrafia di riferimento modello geotecnico AREA LOGISTICA 1/2 NORD

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	+0.0	1.0
Unità P	+0.0	-3.0	3.0
Unità S	-3.0	-15.0	12.0
Unità M	-15.0	-23.0	8.0

Tabella 4-4: Stratigrafia di riferimento modello geotecnico AREA LOGISTICA 1/2 SUD

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+1.0	+0.0	1.0
Unità S	+0.0	-5.0	5.0
Unità S	-5.0	-15.0	10.0
Unità M	-15.0	-23.0	8.0

Tabella 4-5: Stratigrafia di riferimento modello geotecnico AREA S3

Terreno	Z <sub>in</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>fin</sub> [m s.l.m.]	Spessore [m]
Unità R	+0.5	+0.0	0.5
Unità S	+0.0	-12.0	12.0
Unità M	-12.0	-22.0	10.0

## 4.1 QUOTE DI FALDA

Come riportato nella relazione geologica di cui al doc.rif.[9], nel territorio in oggetto è presente una falda superficiale freatica alimentata dall'infiltrazione diretta delle precipitazioni, dalla irrigazione e dalle perdite del reticolo idrografico.

Essa è principalmente contenuta nei terreni granulari, ossia sabbie e sabbie limose presenti fino a circa 15m di profondità e corrispondenti all'unità "S".

Il livello impermeabile dei limi ed argille del prodelta separa verso l'alto una falda libera all'interno delle sabbie e invece verso il basso un sistema di acquiferi multistrato con falde in pressione costituite da orizzonti permeabili sabbiosi (unità "T" e parte granulare delle unità "A") isolati da livelli argillosi (parte fine delle unità "A").

L'esame delle informazioni dirette desunte dalle letture piezometriche, eseguite nei sondaggi attrezzati a piezometro, mette in evidenza un livello piezometrico medio alla quota del piano campagna nella zona delle casse di colmata, mentre nella zona delle aree logistiche il livello piezometrico medio è ad una profondità di circa 1 ÷ 2 m dal piano campagna.

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si riporta la caratterizzazione geotecnica dei depositi presenti nell'area in oggetto.

### 4.2.1 UNITA' R

Nell'unità R sono compresi i terreni superficiali a granulometria variabile prevalentemente sabbie limose e/o i terreni di riporto.

Di seguito vengono riassunti i risultati delle indagini e prove a disposizione con riferimento alle campagne di indagini integrative condotte per il PE.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche fisiche e di classificazione dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi soggetti a prove di laboratorio appartenenti all'Unità R.

Tabella 4-6: Unità R - Caratteristiche fisiche e di classificazione da prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Proprietà fisiche				
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	W <sub>n</sub>	LL	LP	IP	γ <sub>n</sub>
		[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]
S7/20	CI 1	12,0	12,6	23	ND	NP	ND	20
S7/20	CR 4	10,0	10,3	27	ND	NP	ND	
S8/20	CR 3	6,0	6,3	24	31	20	11	
S9/20	CR 3	6,0	6,4	32	48	23	25	
S10/20	CR 3	7,0	7,4	30	34	18	16	
S11/20	CR 3	7,0	7,3	27	34	22	12	
S12/20	CR 3	7,0	7,3	25	32	20	12	

dove:

- W<sub>n</sub> = contenuto natura di acqua
- LL = limite di liquidità
- LP = limite di plasticità
- IP = indice di plasticità
- γ<sub>n</sub> = peso di volume del terreno

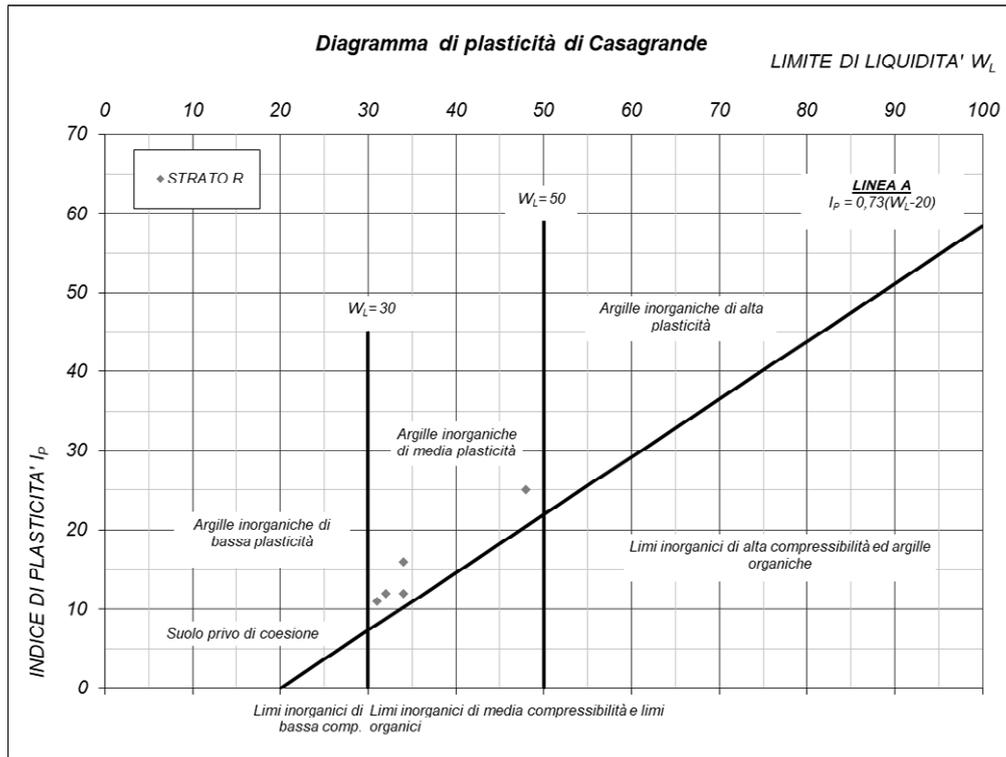


Figura 4-1: Unità R - Diagramma di plasticità di Casagrande (Indagini PE)

In Figura 4-2 si riportano le curve granulometriche indicanti la composizione granulometrica dei campioni di terreno.

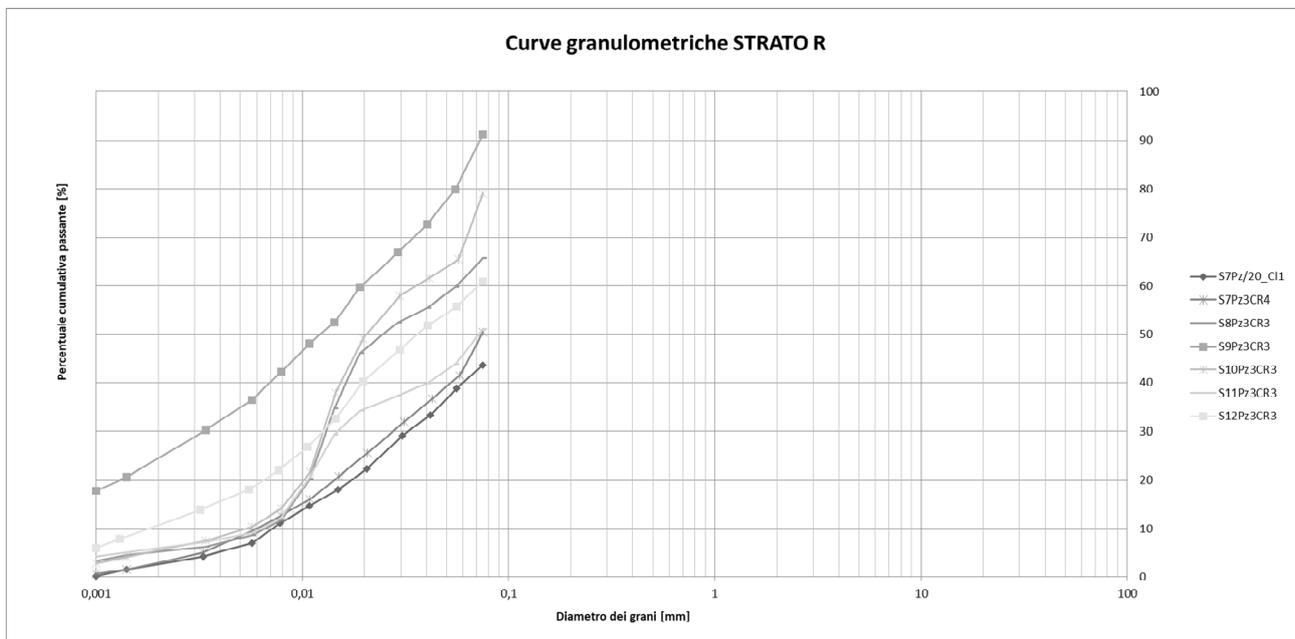


Figura 4-2: Unità R - Curve granulometriche (Indagini PE)

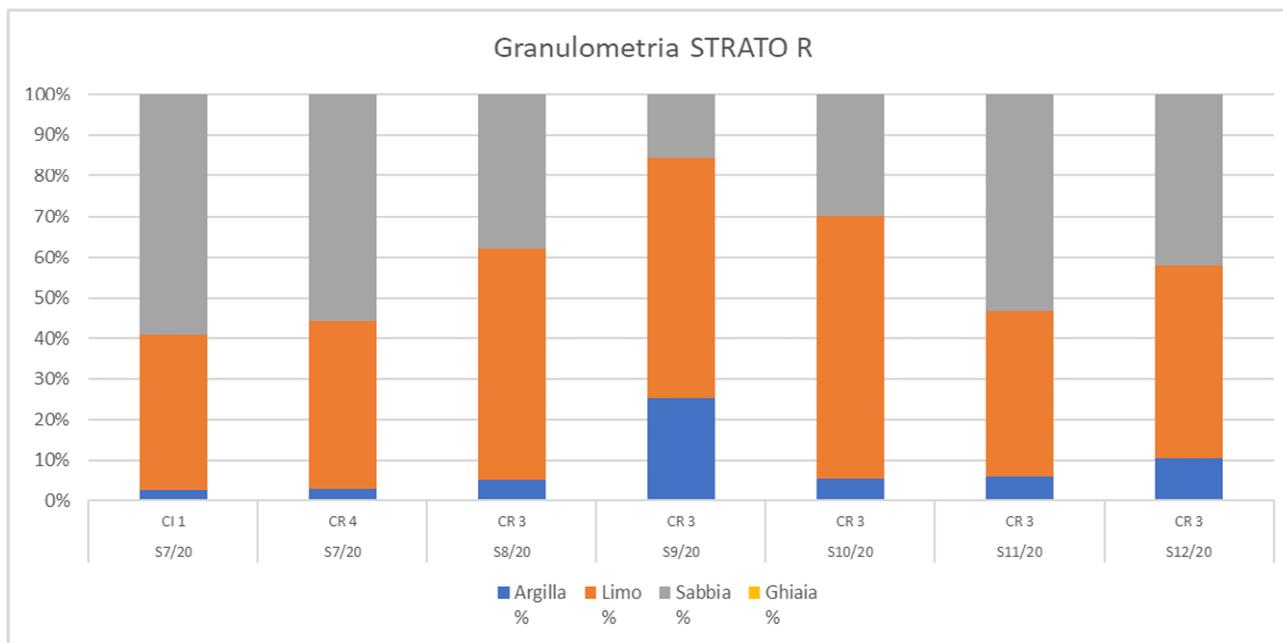


Figura 4-3: Unità R - Granulometria dei terreni (Indagini PE)

È a disposizione anche una prova di taglio diretto.

Tabella 4-7: Unità R - Risultati prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Prova di Taglio	
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	c'	φ'
		[m]	[m]	[kPa]	[°]
S7/20	CI 1	12,0	12,6	8	36

Le prove Lefranc, eseguite all'interno dei fori dei sondaggi, hanno permesso di ricavare un valore del coefficiente di permeabilità k variabile da 1.03 E-06 a 1.22 E-06.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità valutate mediante correlazioni delle prove penetrometriche statiche (CPTU e SCPTU) sono riportate nell'allegato 1.

#### 4.2.2 DEPOSITO DI PALUDE (UNITA' P)

I depositi di Palude sono materiali fini, di natura limoso-argillosa e limoso-sabbiosa, con resti vegetali appartenenti agli ambienti palustri della Pialassa, caratterizzati da uno spessore medio nell'area in oggetto sino a circa 3m.

La presenza di tali materiali non è sistematica come rilevato in corrispondenza della zona Sud dell'area logistica L1 dell'area logistica S3 in cui tali terreni non sono stati individuati.

Di seguito vengono riassunti i risultati delle indagini e prove a disposizione con riferimento alle campagne di indagini integrative condotte per il PE.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche fisiche e di classificazione dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi soggetti a prove di laboratorio appartenenti all'Unità P.

Tabella 4-8: Unità P - Caratteristiche fisiche e di classificazione da prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Proprietà fisiche				
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	W <sub>n</sub>	LL	LP	IP	γ <sub>n</sub>
		[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]
S7/20	CI 2	13,5	14,1	27	ND	NP	ND	19
S7/20	CR 5	13,0	13,3	31	38	21	17	
S8/20	CR 5	11,0	11,3	29	36	21	15	
S9/20	CR 4	9,5	9,8	27	36	19	17	
S11/20	CR 4	10,0	10,3	30	57	29	28	

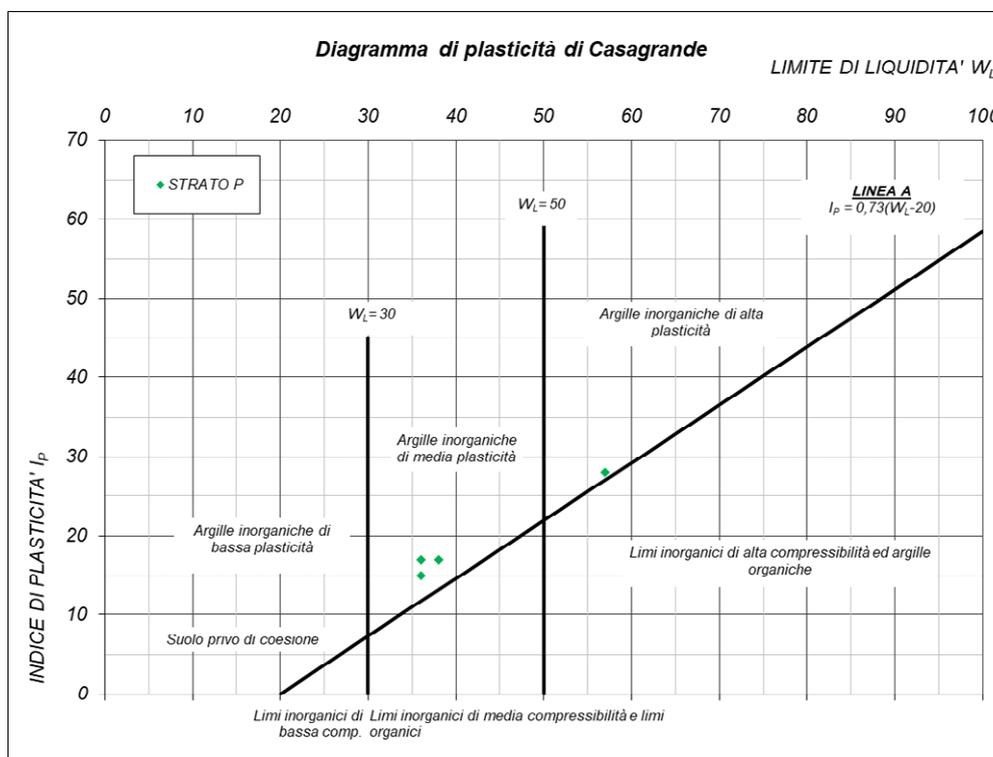


Figura 4-4: Unità P - Diagramma di plasticità di Casagrande (Indagini PE)

In Figura 4-5/ Figura 4-2 si riportano le curve granulometriche indicanti la composizione granulometrica dei campioni di terreno.

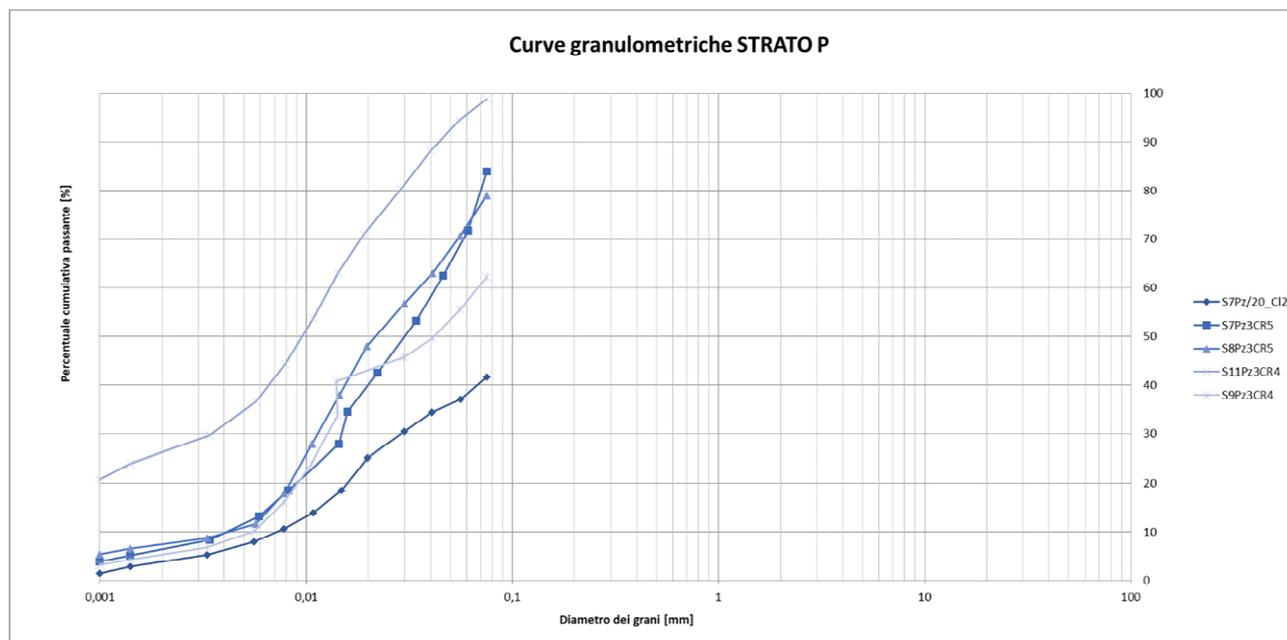


Figura 4-5: Unità P - Curve granulometriche (Indagini PE)

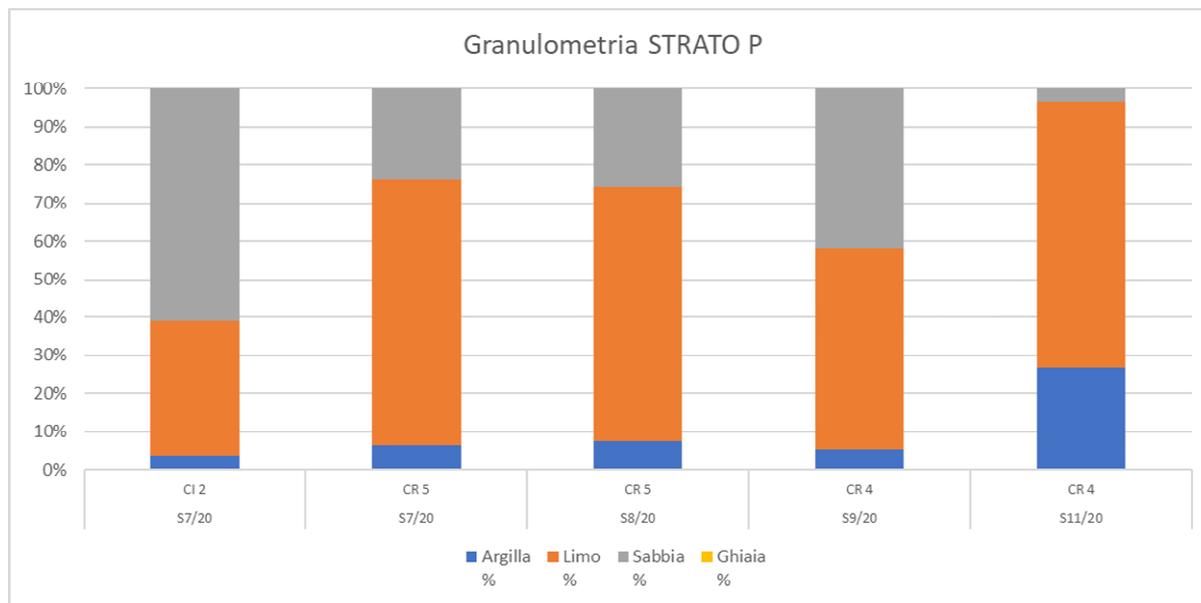


Figura 4-6: Unità P - Granulometria dei terreni (Indagini PE)

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità valutate mediante correlazioni delle prove penetrometriche statiche (CPTU e SCPTU) sono riportate nell'allegato 1.

#### 4.2.3 DEPOSITO SABBIOSO (UNITA' S)

I depositi di cordone litorale sono costituiti in prevalenza da sabbie intercalate a terreni limosi di spessore decimetrico, caratterizzati da uno spessore medio pari a 5 m nell'area delle Casse Nadep, pari a 9 m nell'area della Cassa Direzionale, sino a spessori pari a 12 m come rilevato in corrispondenza delle Aree Logistiche.

Di seguito vengono riassunti i risultati delle indagini e prove a disposizione con riferimento alle campagne di indagini integrative condotte per il PE.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche fisiche e di classificazione dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi soggetti a prove di laboratorio appartenenti all'Unità S.

Tabella 4-9: Unità S - Caratteristiche fisiche e di classificazione da prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Proprietà fisiche				
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	W <sub>n</sub>	LL	LP	IP	γ <sub>n</sub>
		[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]
S7/20	CR 6	16,0	16,3	23	ND	NP	ND	
S8/20	CI 1	12,0	12,6	23	ND	NP	ND	20
S8/20	CR 6	13,5	13,8	26	ND	NP	ND	
S9/20	CI 1	12,0	12,6	27	ND	NP	ND	19
S9/20	CR 5	11,0	11,4	25	ND	NP	ND	
S9/20	CR 6	13,5	13,9	21	ND	NP	ND	
S10/20	CI 1	10,5	11,1	33	ND	NP	ND	19
S10/20	CR 4	10,0	10,4	19	ND	NP	ND	
S10/20	CR 5	13,0	13,4	27	ND	NP	ND	
S11/20	CI 1	12,0	12,6	31	ND	NP	ND	19
S11/20	CI 2	13,5	14,1	23	ND	NP	ND	20
S11/20	CR 5	13,0	13,3	29	ND	NP	ND	
S11/20	CR 6	16,0	16,3	26	ND	NP	ND	
S11/20	CR 7	19,0	19,3	22	ND	NP	ND	
S12/20	CI 1	12,0	12,6	25	ND	NP	ND	19
S12/20	CR 4	10,0	10,3	27	ND	NP	ND	
S12/20	CR 5	13,0	13,5	26	ND	NP	ND	

In Figura 4-7 si riportano le curve granulometriche indicanti la composizione granulometrica dei campioni di terreno.

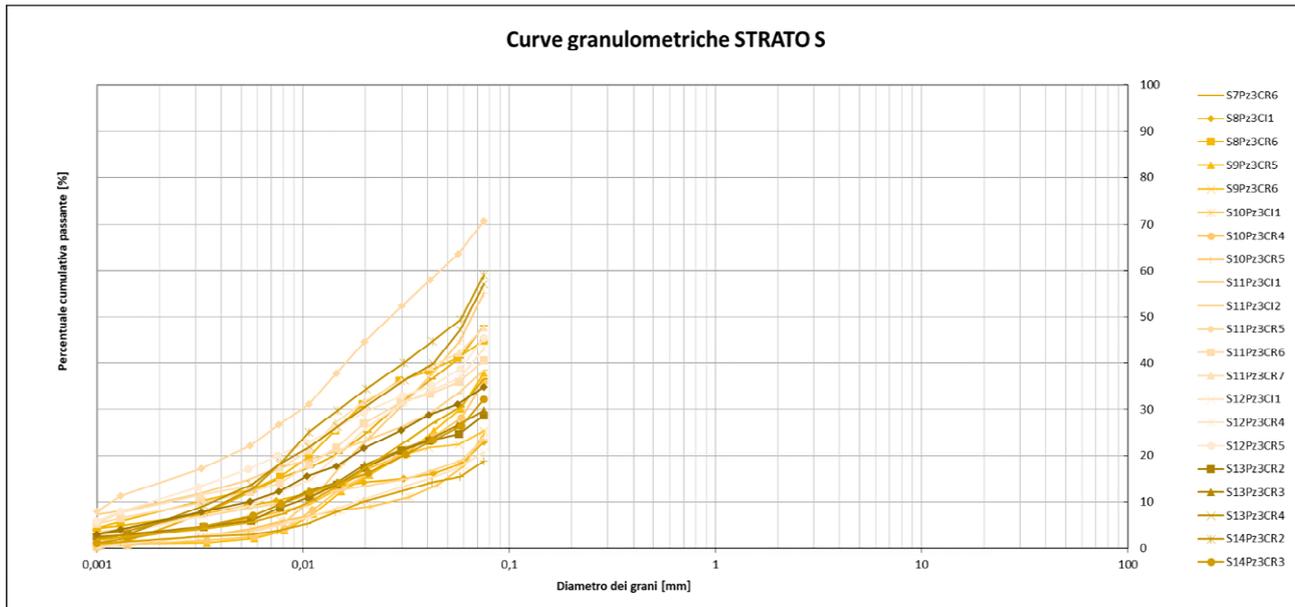


Figura 4-7: Unità S - Curve granulometriche (Indagini PE)

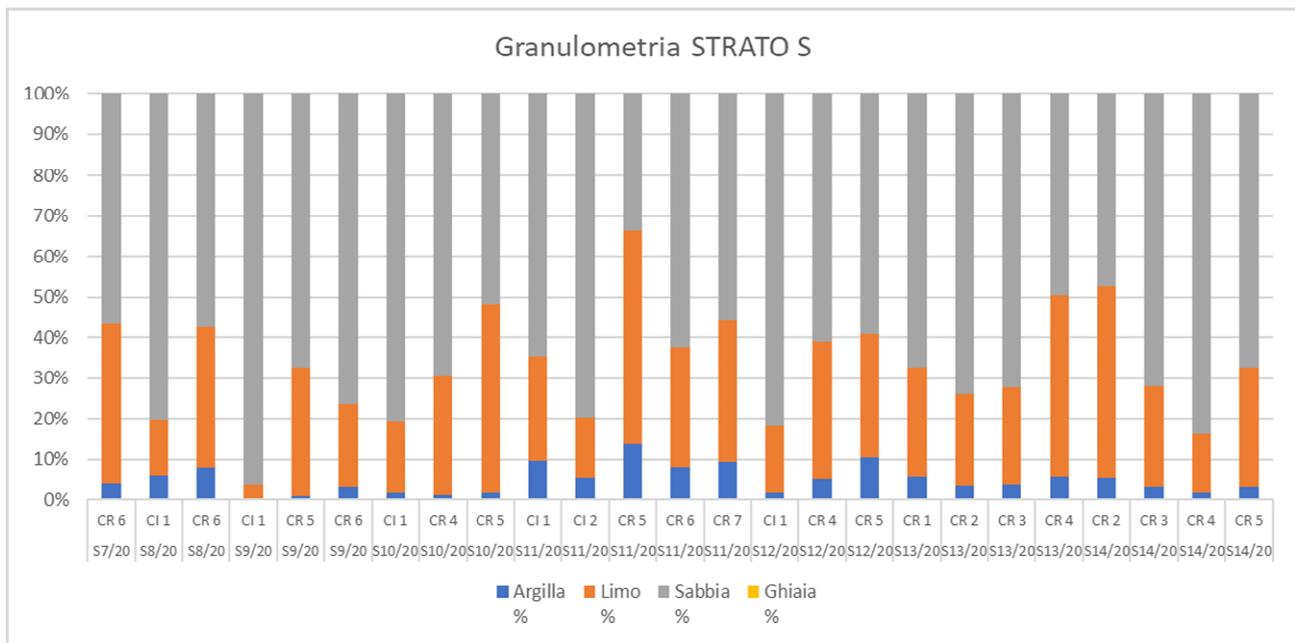


Figura 4-8: Unità S - Granulometria dei terreni (Indagini PE)

Sono a disposizione anche una prova di taglio diretto e tre prove triassiali consolidate non drenate.

Tabella 4-10: Unità S - Risultati prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Prova di Taglio		Prova triassiale C.U.	
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	c'	φ'	c'	φ'
		[m]	[m]	[kPa]	[°]	[kPa]	[°]
S9/20	CI 1	12,0	12,6			2	37
S10/20	CI 1	10,5	11,1	8	37		
S11/20	CI 1	12	12,6			5	35

S12/20	CI 1	12	12,6			4	39
--------	------	----	------	--	--	---	----

Le prove Lefranc, eseguite all'interno dei fori dei sondaggi, hanno permesso di ricavare un valore del coefficiente di permeabilità  $k$  variabile da  $1.14 \text{ E-}06$  a  $6.99 \text{ E-}08$ .

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità valutate mediante correlazioni delle prove penetrometriche statiche (CPTU e SCPTU) sono riportate nell'allegato 1.

#### 4.2.4 DEPOSITO COESIVO (UNITA' M)

I depositi di prodelta sono caratterizzati dalla presenza di limi argillosi ma si riscontra la presenza di livelli sabbiosi all'aumentare della profondità.

Di seguito vengono riassunti i risultati delle indagini e prove a disposizione con riferimento alle campagne di indagini integrative condotte per il PE.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche fisiche e di classificazione dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi soggetti a prove di laboratorio appartenenti all'Unità M.

Tabella 4-11: Unità M - Caratteristiche fisiche e di classificazione da prove di laboratorio (Indagini PE)

Sondaggio	Campione	Profondità da quota sondaggio		Proprietà fisiche				
		Z <sub>in</sub>	Z <sub>fin</sub>	W <sub>n</sub>	LL	LP	IP	γ <sub>n</sub>
		[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]
S7/20	CR 7	19,0	19,3	34	50	26	24	
S7/20	CR 8	22,0	22,3	39	44	25	19	
S10/20	CI 2	13,5	13,5	33	50	26	24	18
S10/20	CR 6	16,0	16,4	37	47	25	22	
S10/20	CR 7	19,0	19,4	31	44	27	17	
S10/20	CR 8	22,0	22,4	38	52	29	23	
S11/20	CR 8	22,0	22,3	40	52	26	26	

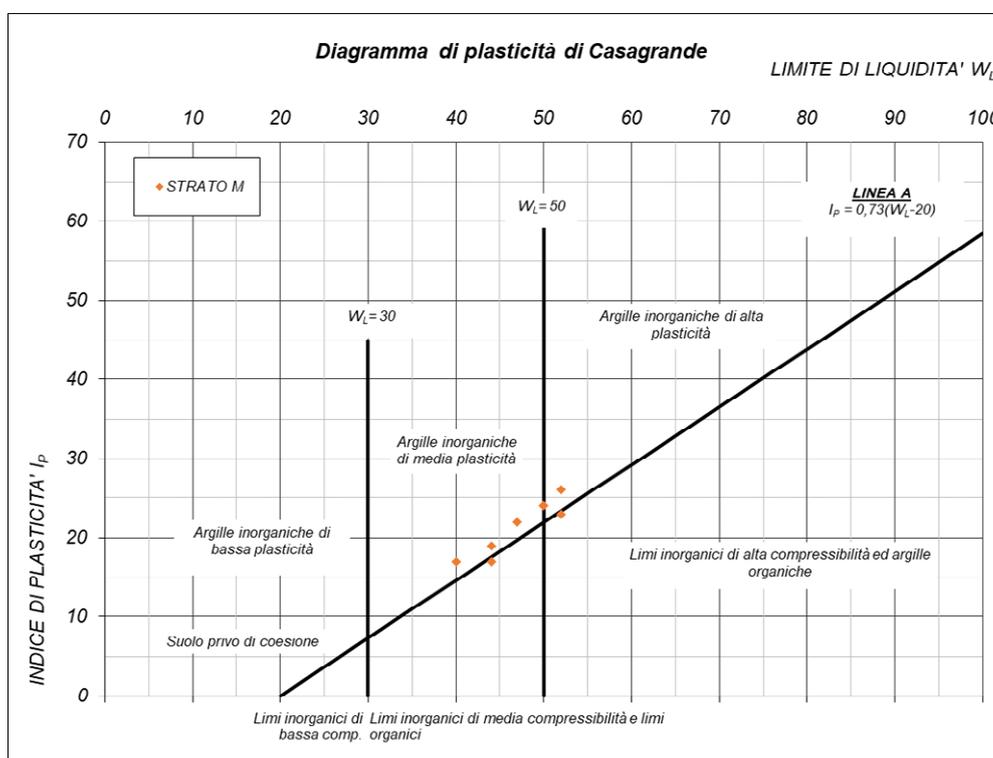


Figura 4-9: Unità M - Diagramma di plasticità di Casagrande (Indagini PE)

In Figura 4-10 si riportano le curve granulometriche indicanti la composizione granulometrica dei campioni di terreno.

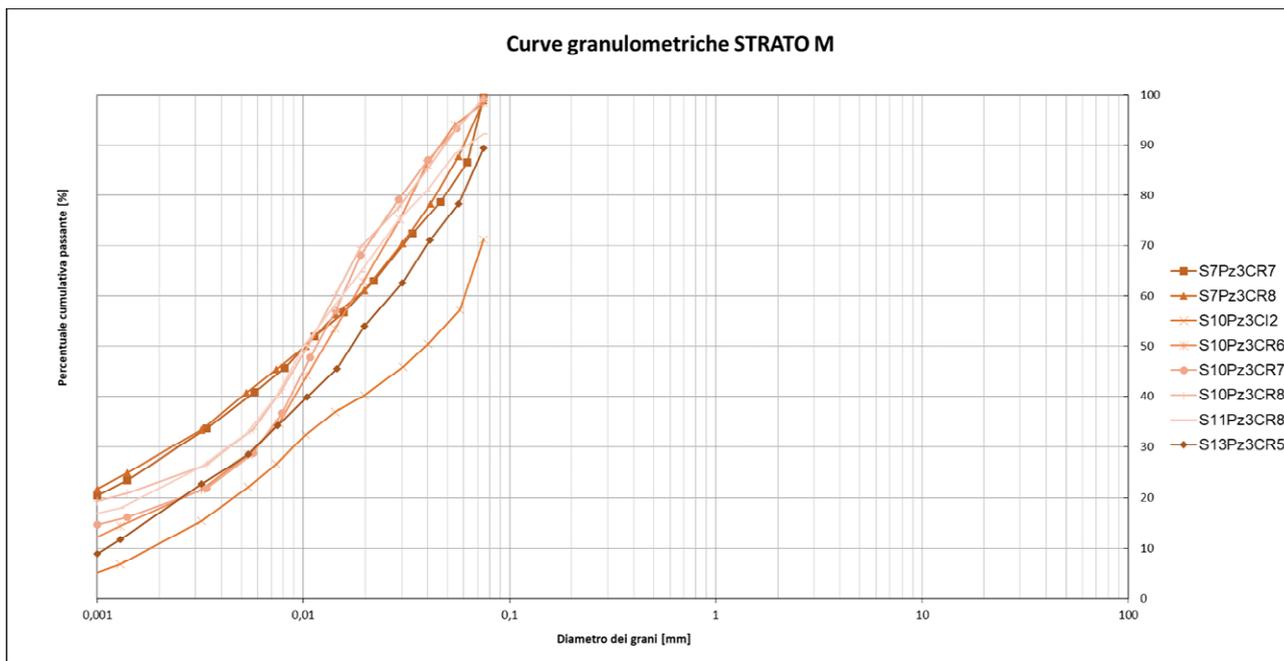


Figura 4-10: Unità M - Curve granulometriche (Indagini PE)

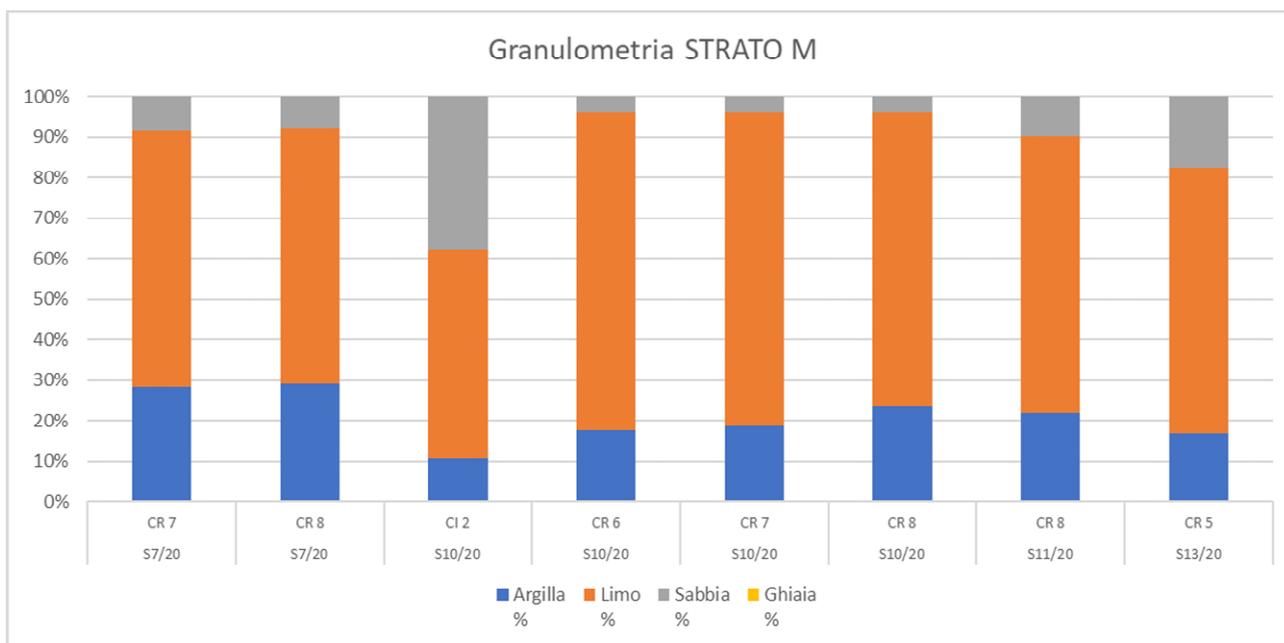


Figura 4-11: Unità M - Granulometria dei terreni (Indagini PE)

La prova Lefranc, eseguita all'interno dei fori dei sondaggi, ha permesso di ricavare un valore del coefficiente di permeabilità  $k$  pari a  $1.54 \text{ E-}08$ .

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità valutate mediante correlazioni delle prove penetrometriche statiche (CPTU e SCPTU) sono riportate nell'allegato 1.



### 4.3 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Si riportano nelle seguenti tabelle i modelli geotecnici di riferimento per le aree omogenee individuate. Nelle zone dove non sono disponibili dati sono stati assunti i valori validi per le aree vicine.

#### 4.3.1 MODELLO GEOTECNICO CASSA NADEP

Tabella 4-12: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici caratteristici - Modello Geotecnico Cassa NadeP

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_r$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	1	-3	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	-3	-4	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-4	-9	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-9	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	98	4	8

dove:

- $\gamma/\gamma'$  peso di volume del terreno / peso di volume immerso del terreno
- $\nu$  coefficiente di Poisson
- OCR grado di sovraconsolidazione
- $e_0$  indice dei vuoti iniziale
- $C_c$  indice di compressione
- $C_R$  indice di rigonfiamento
- $c_v$  coefficiente di consolidazione verticale
- $D_r$  densità relativa
- $\phi'_k$  valore caratteristico angolo di resistenza al taglio efficace
- $c'_k$  valore caratteristico coesione in condizioni drenate efficace
- $c_{u,k}$  valore caratteristico coesione in condizioni non drenate
- $V_s$  velocità di propagazione delle onde di taglio
- $G_0$  modulo di taglio alle piccole deformazioni
- $r$  rapporto tra il modulo in condizioni di compressione vergine e in condizioni di ricomprensione
- $M$  modulo di deformabilità confinato per la stima dei cedimenti per fondazioni di tipo superficiale

#### 4.3.2 MODELLO GEOTECNICO CASSA CENTRO DIREZIONALE

Tabella 4-13: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici caratteristici - Modello Geotecnico Cassa Centro Direzionale

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_r$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	1	-2	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	-2	-4	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-4	-13	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-13	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	98	4	8

#### 4.3.3 MODELLO GEOTECNICO AREE LOGISTICHE L1-L2 NORD

Tabella 4-14: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici caratteristici - Modello Geotecnico aree logistiche L1-L2 Nord

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	e <sub>0</sub> [-]	C <sub>c</sub> [-]	C <sub>R</sub> [-]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	D <sub>R</sub> [%]	$\phi'_k$ [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	c <sub>u,k</sub> [kPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	0	-3	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-3	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

#### 4.3.4 MODELLO GEOTECNICO AREE LOGISTICHE L1-L2 SUD

Tabella 4-15: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici caratteristici - Modello Geotecnico aree logistiche L1-L2 Sud

Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	e <sub>0</sub> [-]	C <sub>c</sub> [-]	C <sub>R</sub> [-]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	D <sub>R</sub> [%]	$\phi'_k$ [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	c <sub>u,k</sub> [kPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
S	Incoerente	0	-5	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
S	Incoerente	-5	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

#### 4.3.5 MODELLO GEOTECNICO AREA LOGISTICA S3

Tabella 4-16: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici caratteristici - Modello Geotecnico area logistica S3

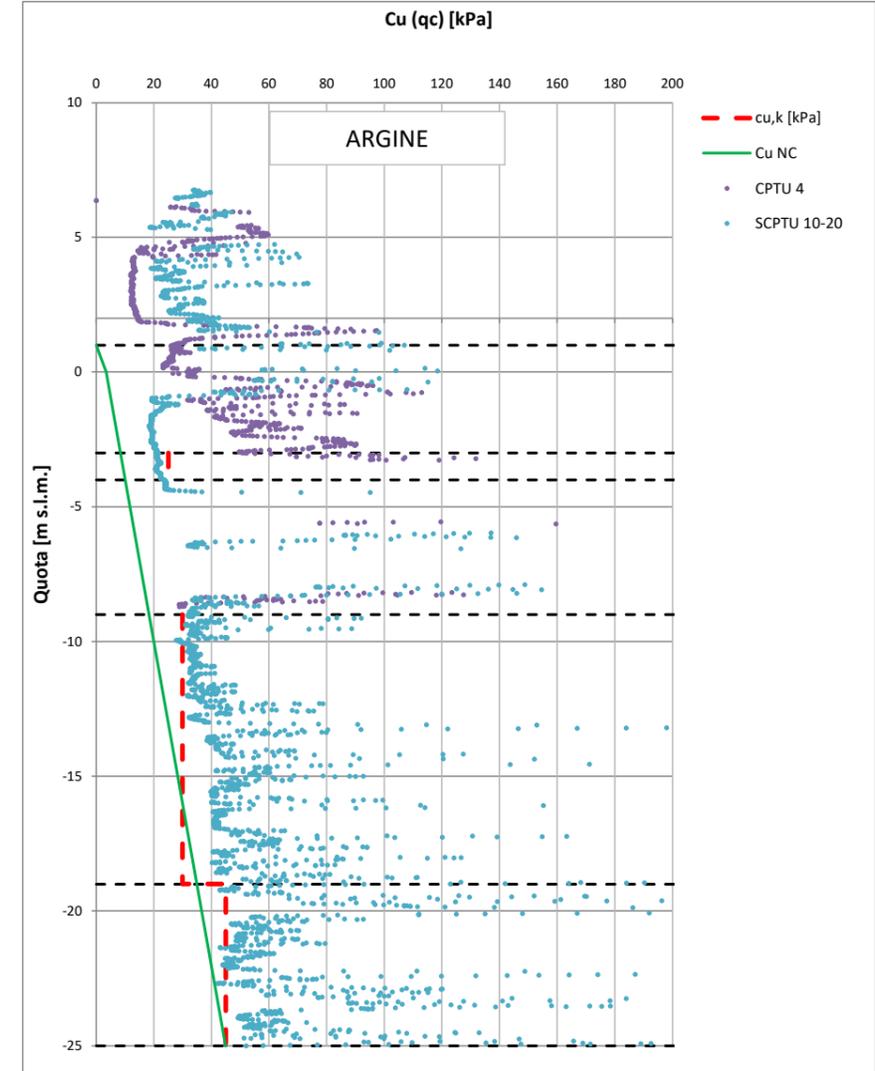
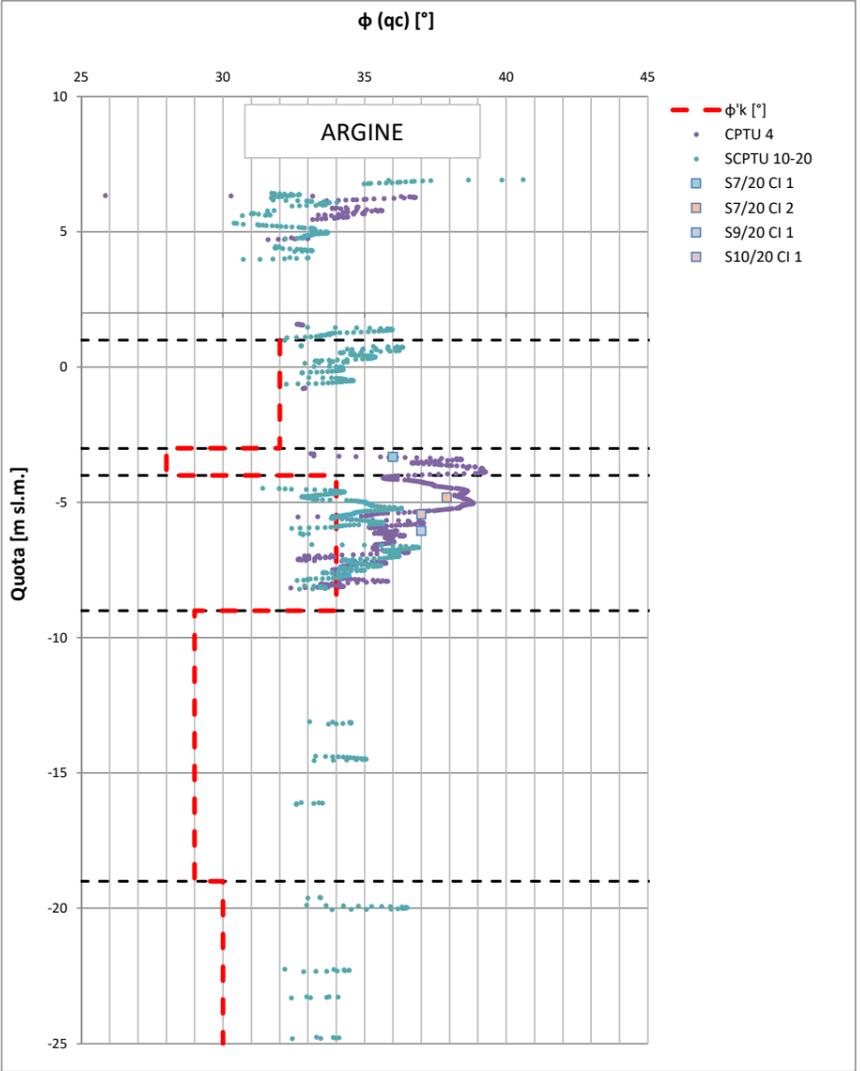
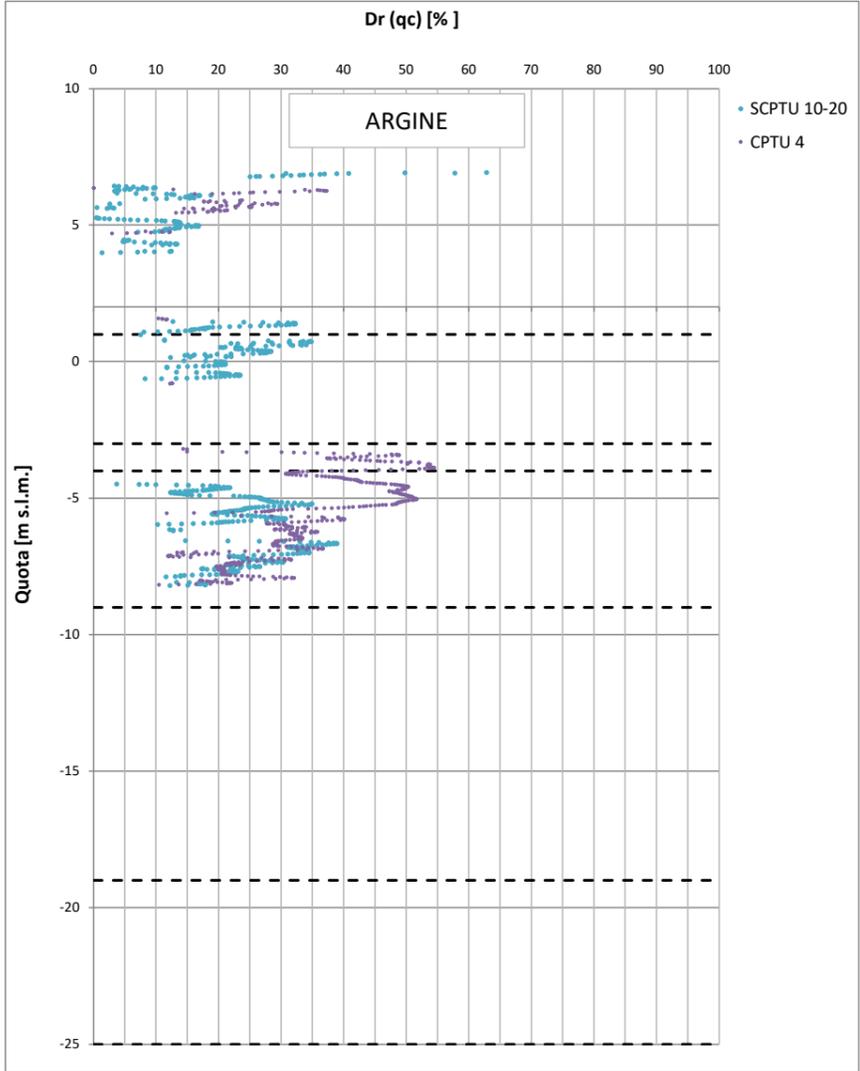
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	e <sub>0</sub> [-]	C <sub>c</sub> [-]	C <sub>R</sub> [-]	c <sub>v</sub> [m <sup>2</sup> /s]	D <sub>R</sub> [%]	$\phi'_k$ [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	c <sub>u,k</sub> [kPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	0,5	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	30	-	-	125	30	2	10
S	Incoerente	0	-12	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
M	Coesivo	-12	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	62	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

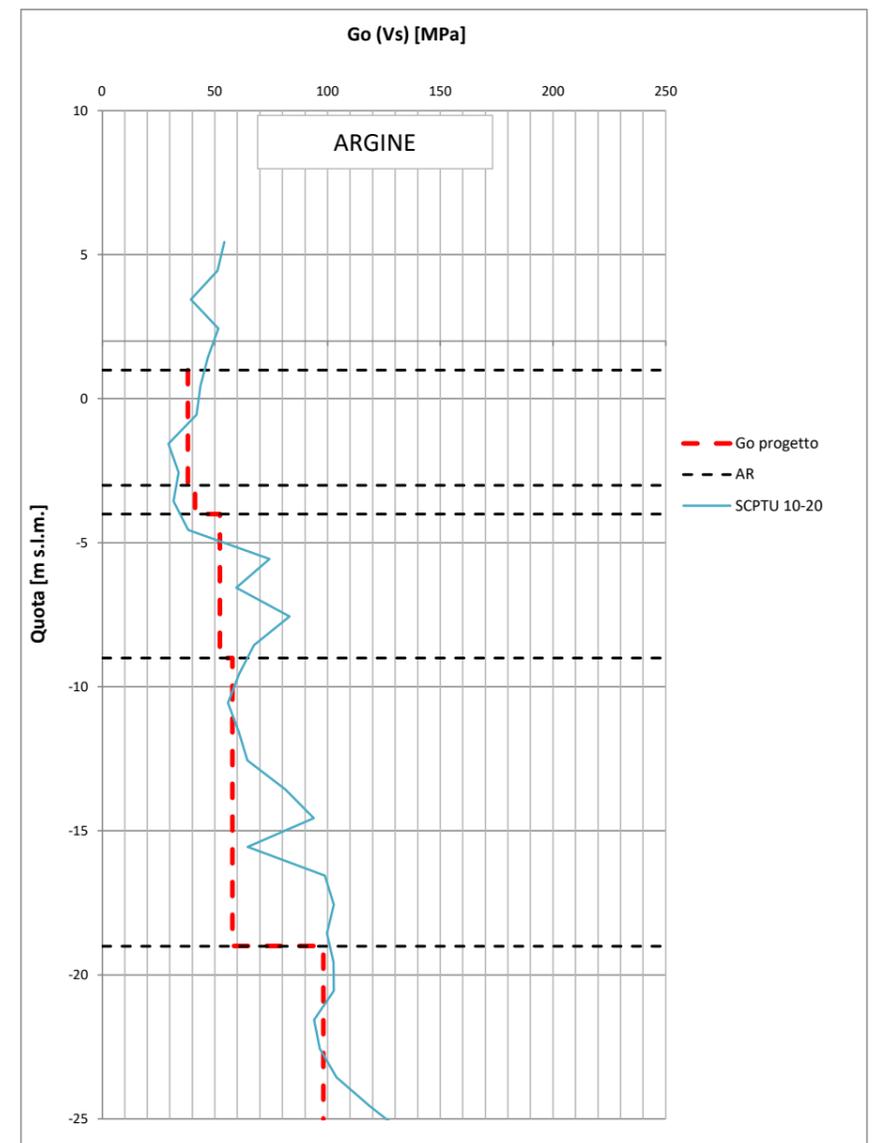
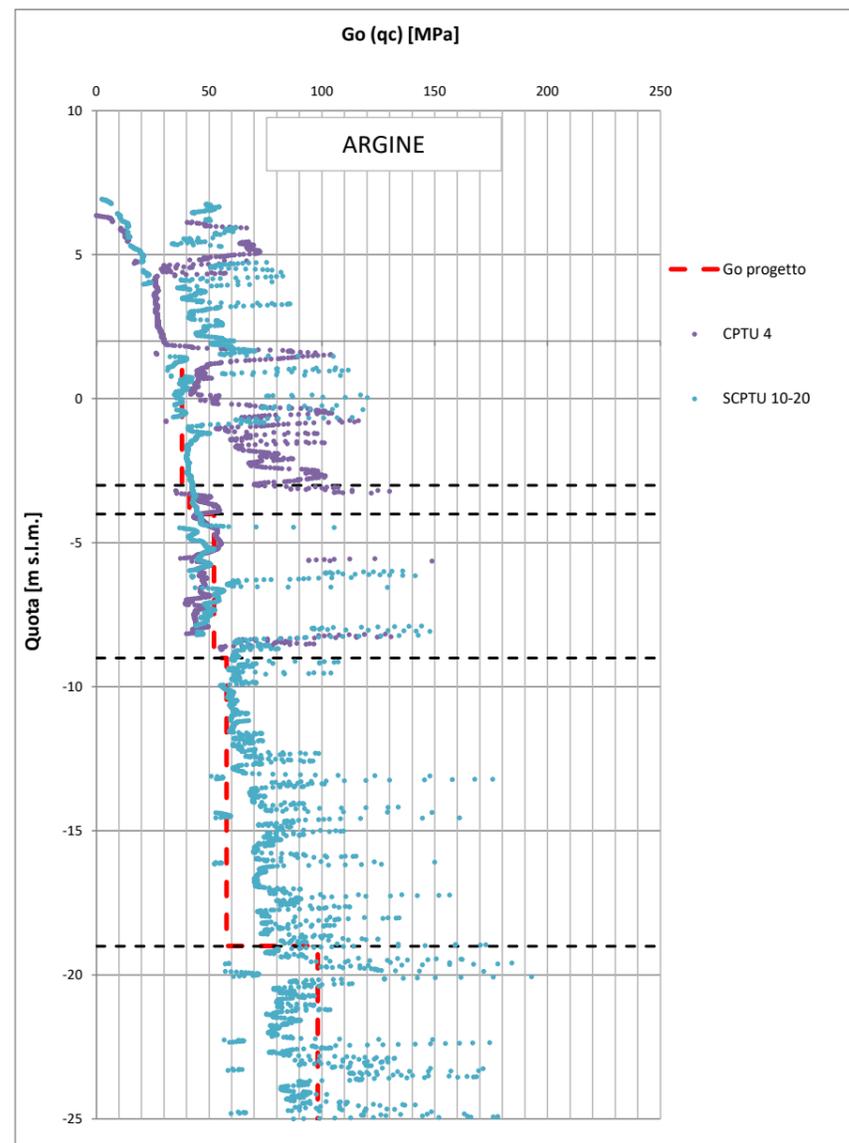
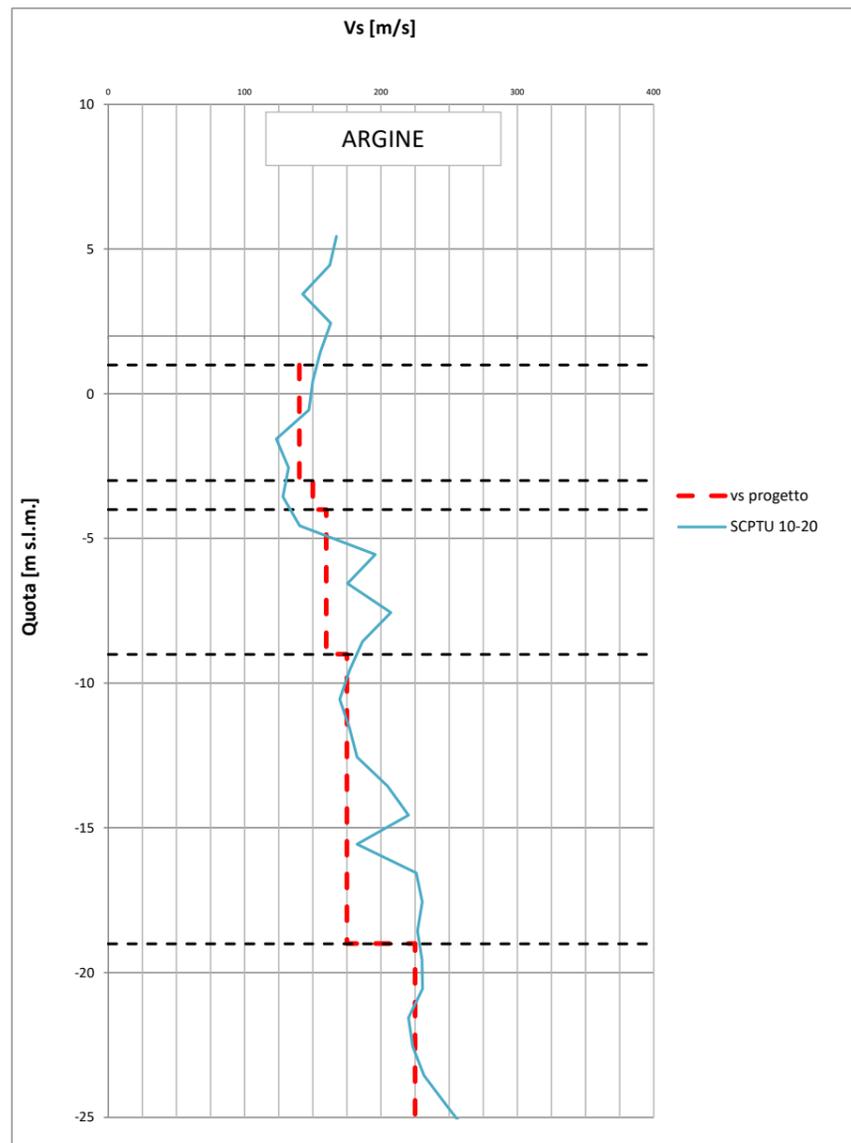
## ALLEGATO 1: ELABORAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE

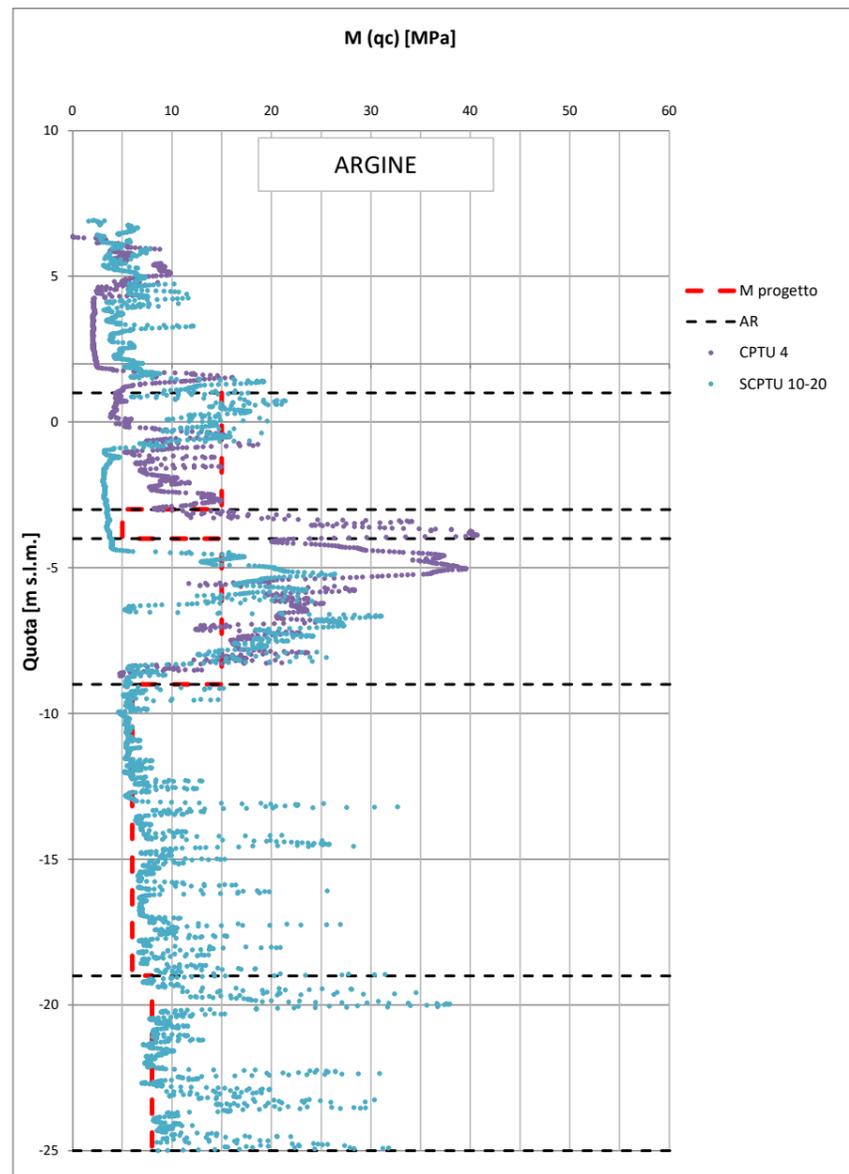
OPERA	Cassa NADEP
INDAGINI PD	-
INDAGINI PE	CPTU 1÷4/20 - SCPTU 10/20

Cassa NADEP																		
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_R$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	1	-3	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	-3	-4	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-4	-9	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-9	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	98	4	8

AZIONE SISMICA DI PROGETTO		
SLD	$a_{max}$ [g]	0,10
SLV	$a_{max}$ [g]	0,20



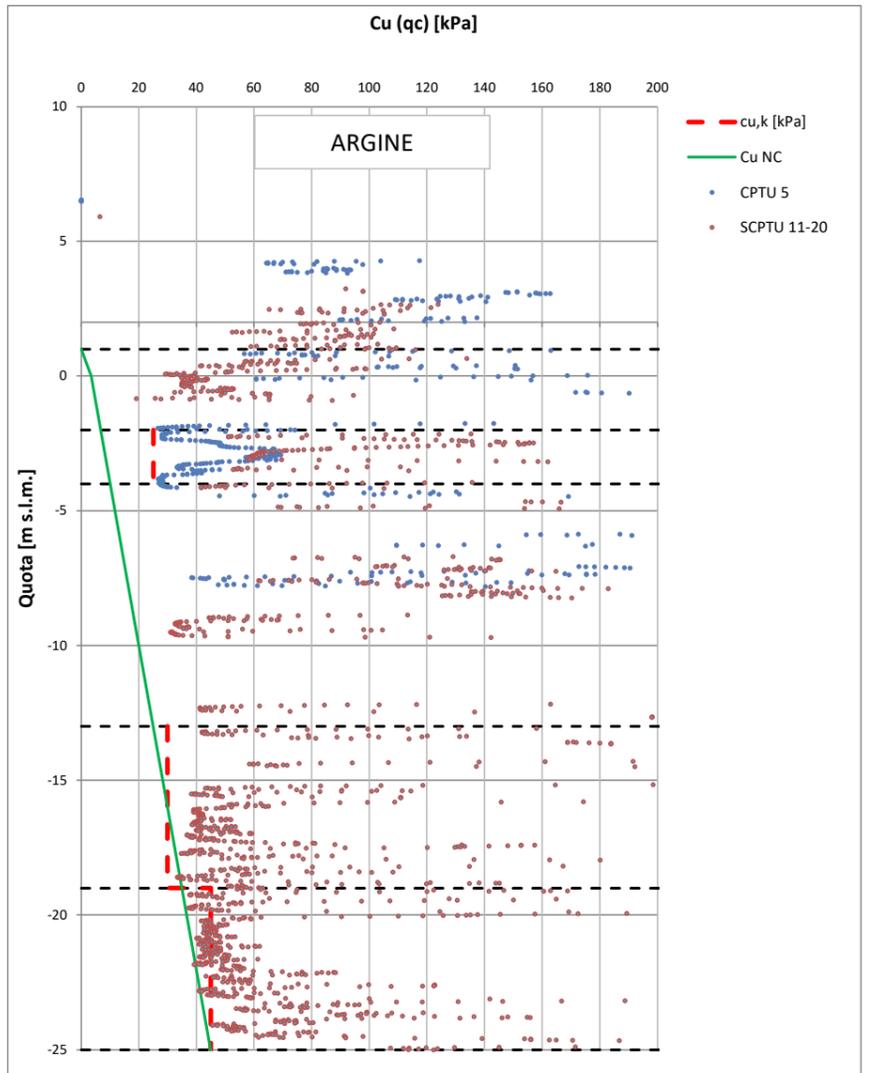
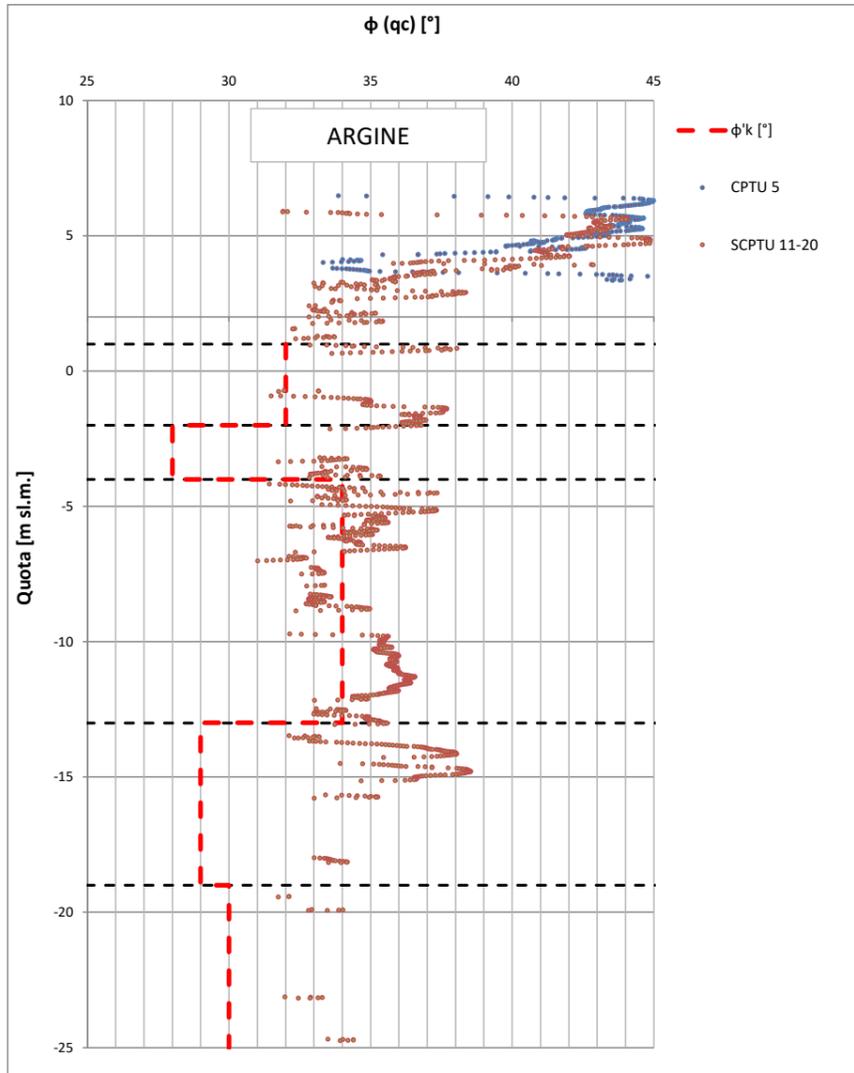
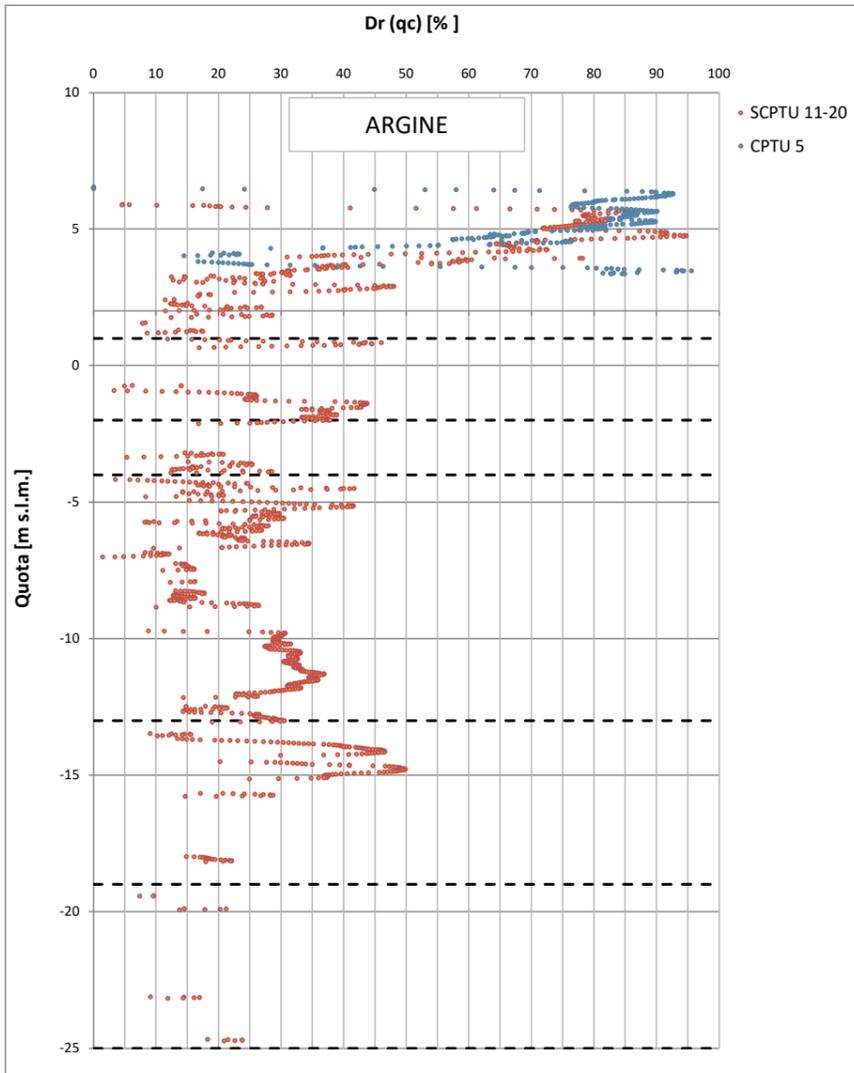


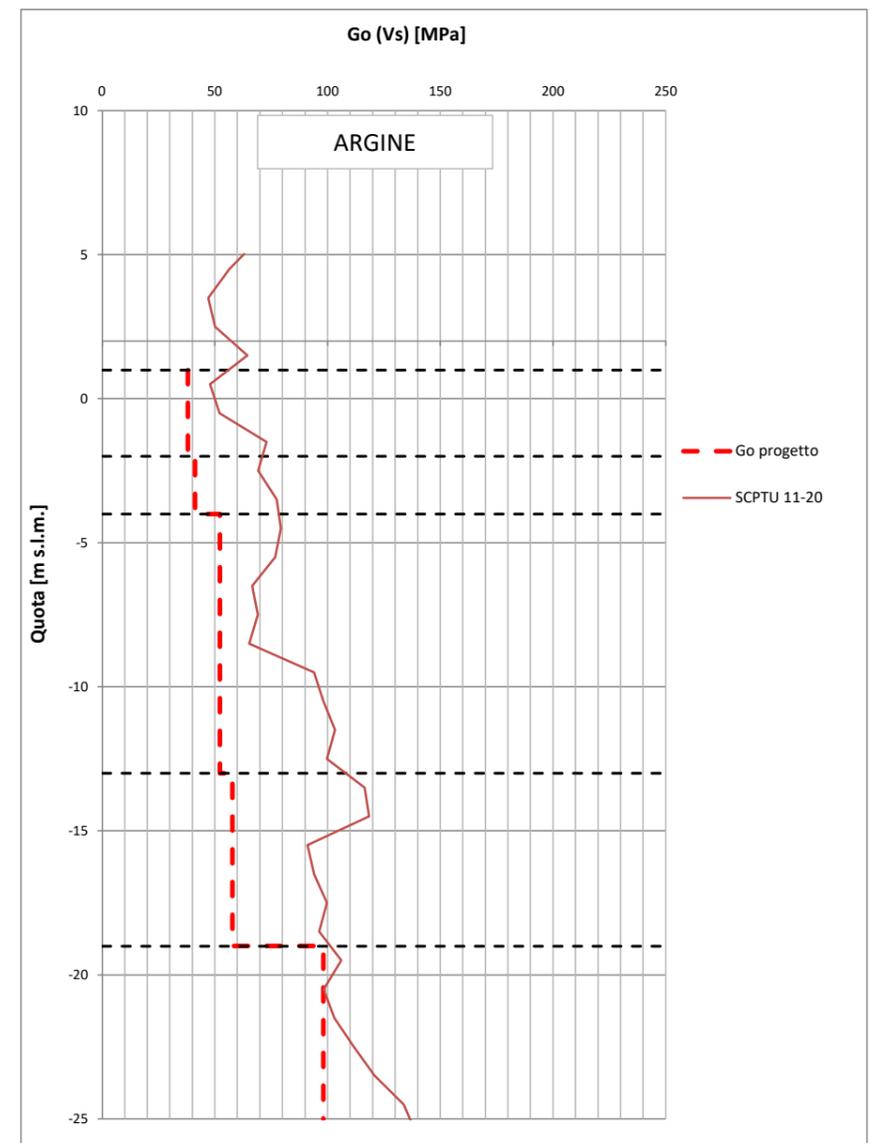
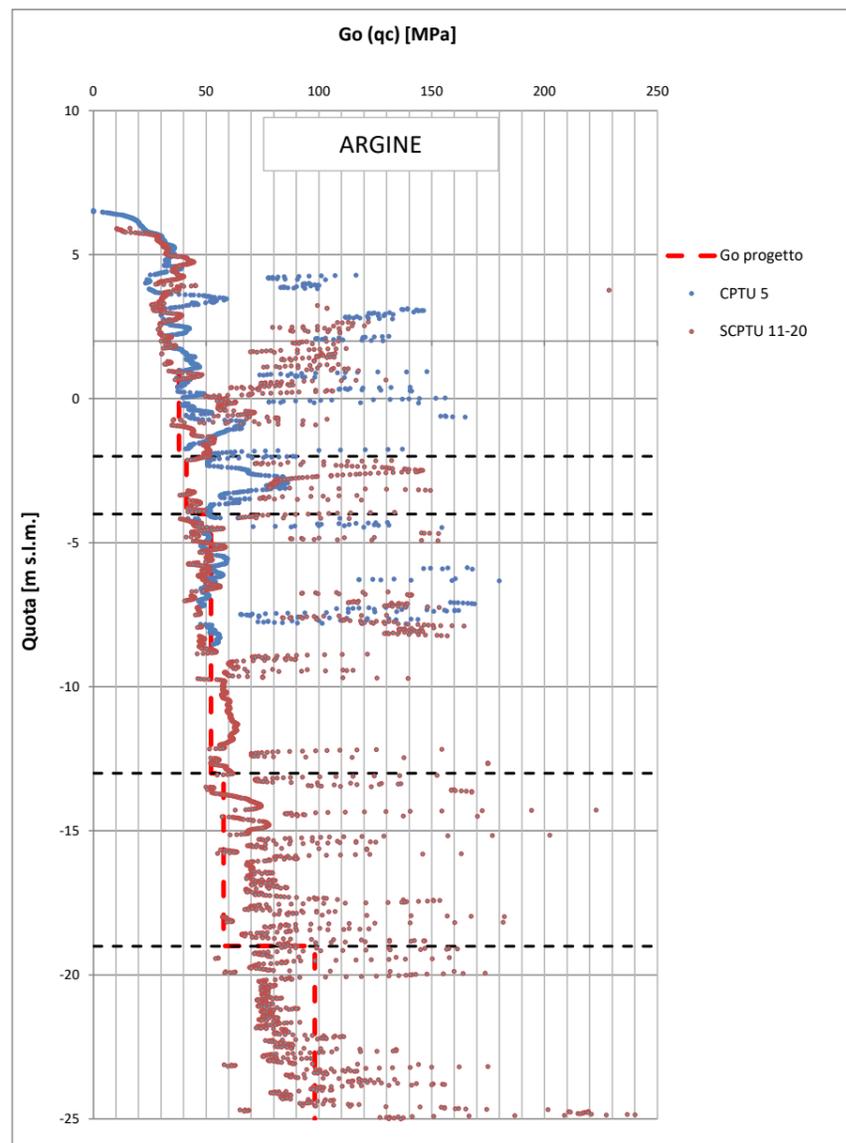
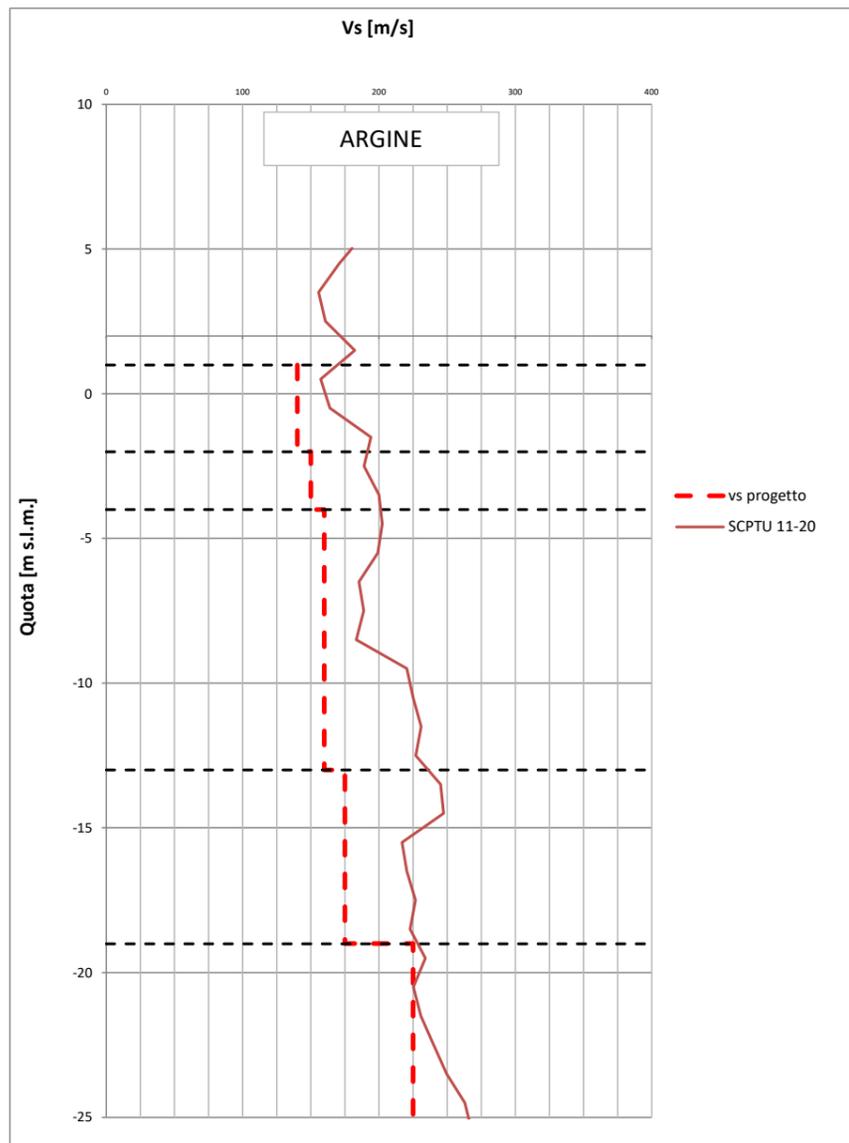


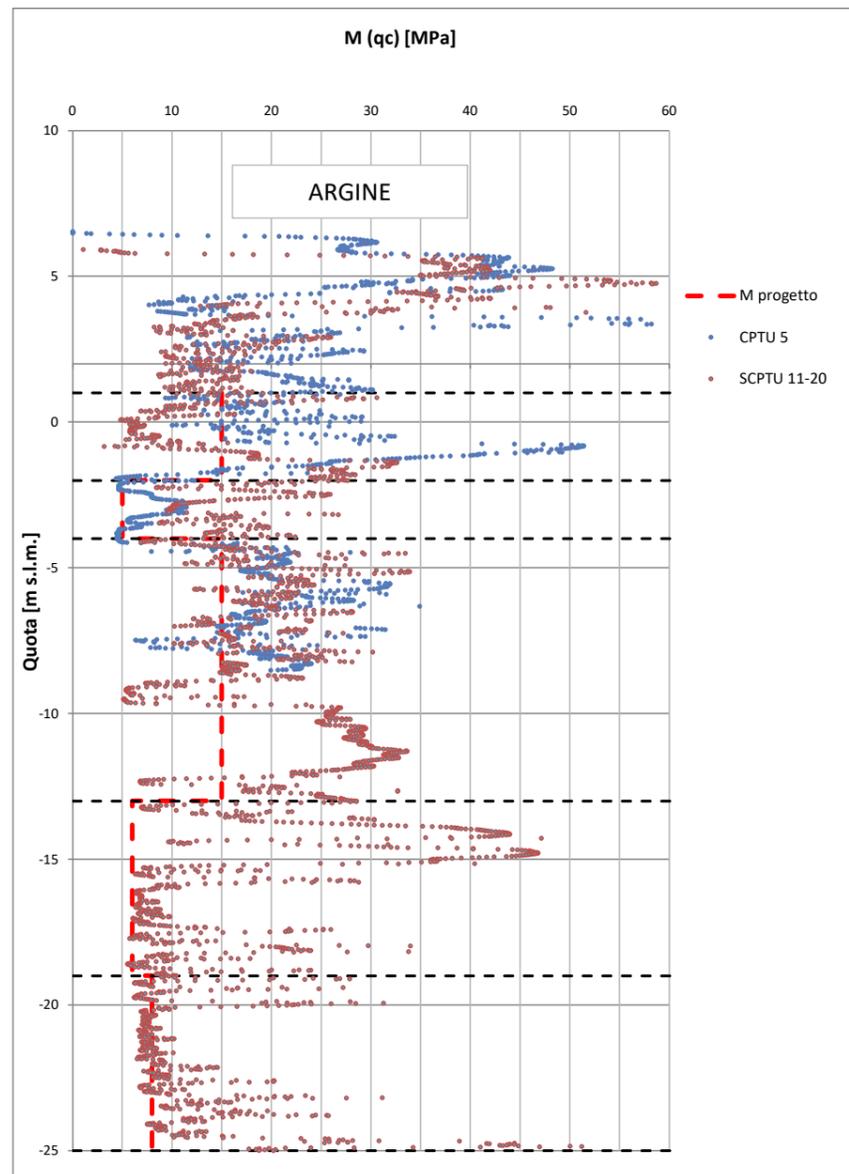
OPERA	Cassa Centro Direzionale
INDAGINI PD	-
INDAGINI PE	CPTU 5/20 - SCPTU 11/20

Cassa Centro Direzionale																		
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_r$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	1	-2	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	-2	-4	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-4	-13	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-13	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	98	4	8

AZIONE SISMICA DI PROGETTO		
SLD	$a_{max}$ [g]	0,10
SLV	$a_{max}$ [g]	0,20



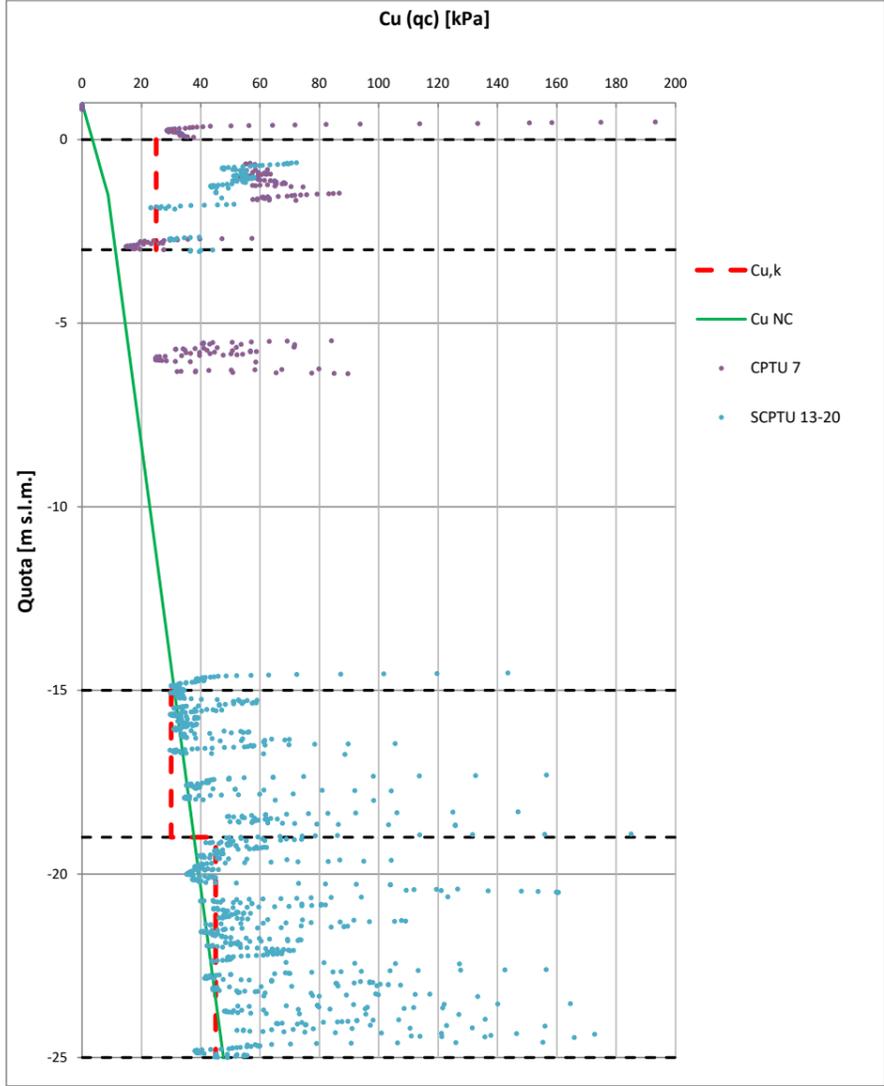
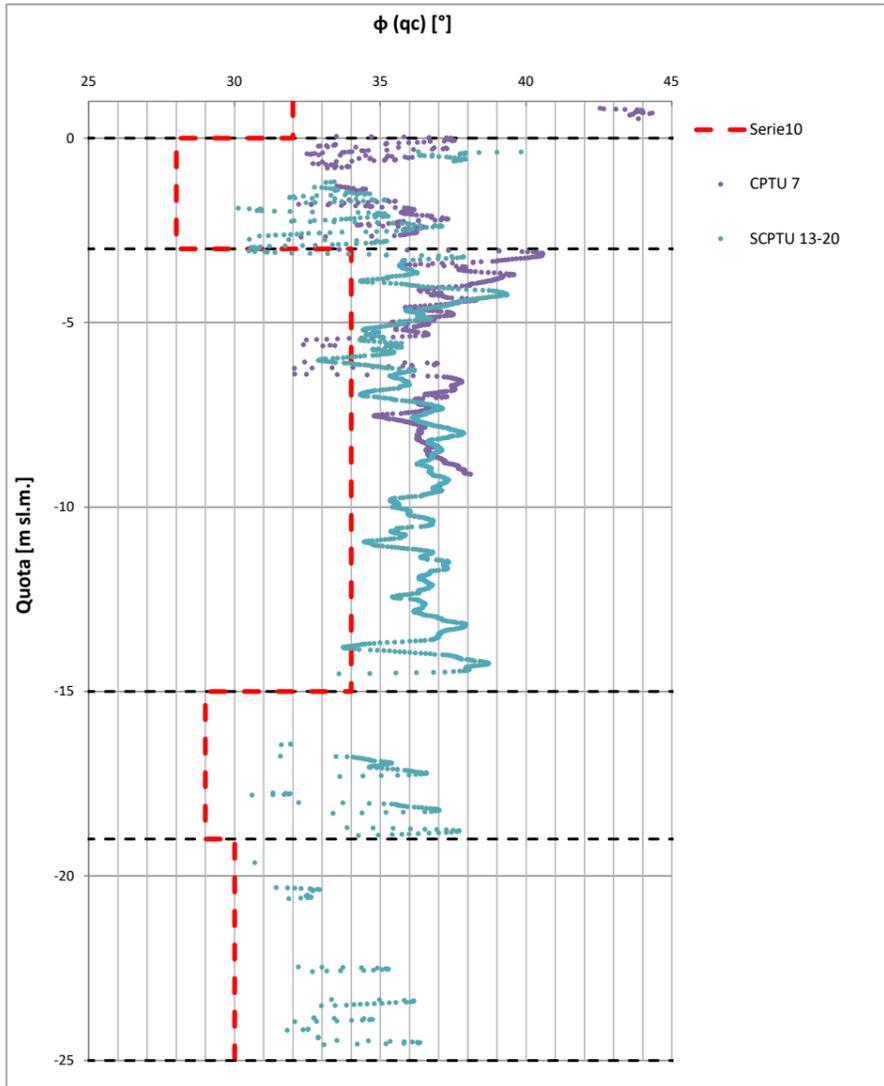
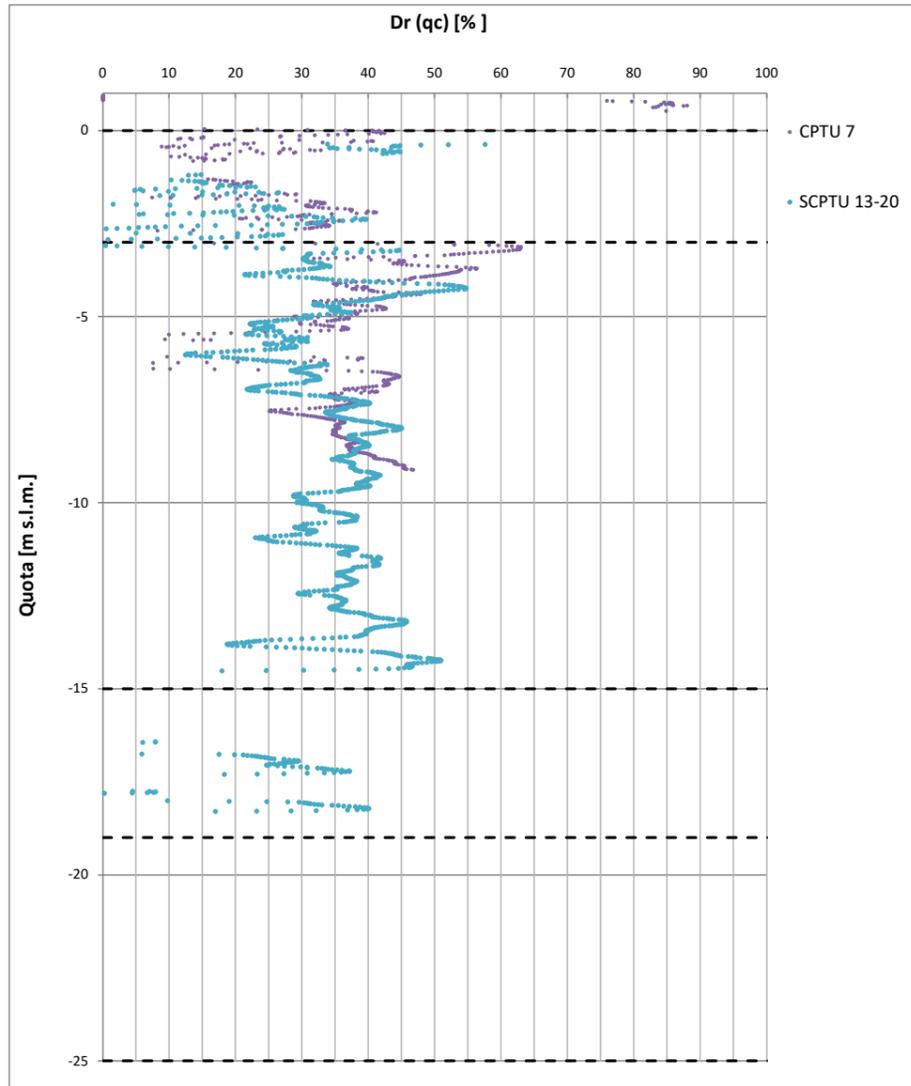


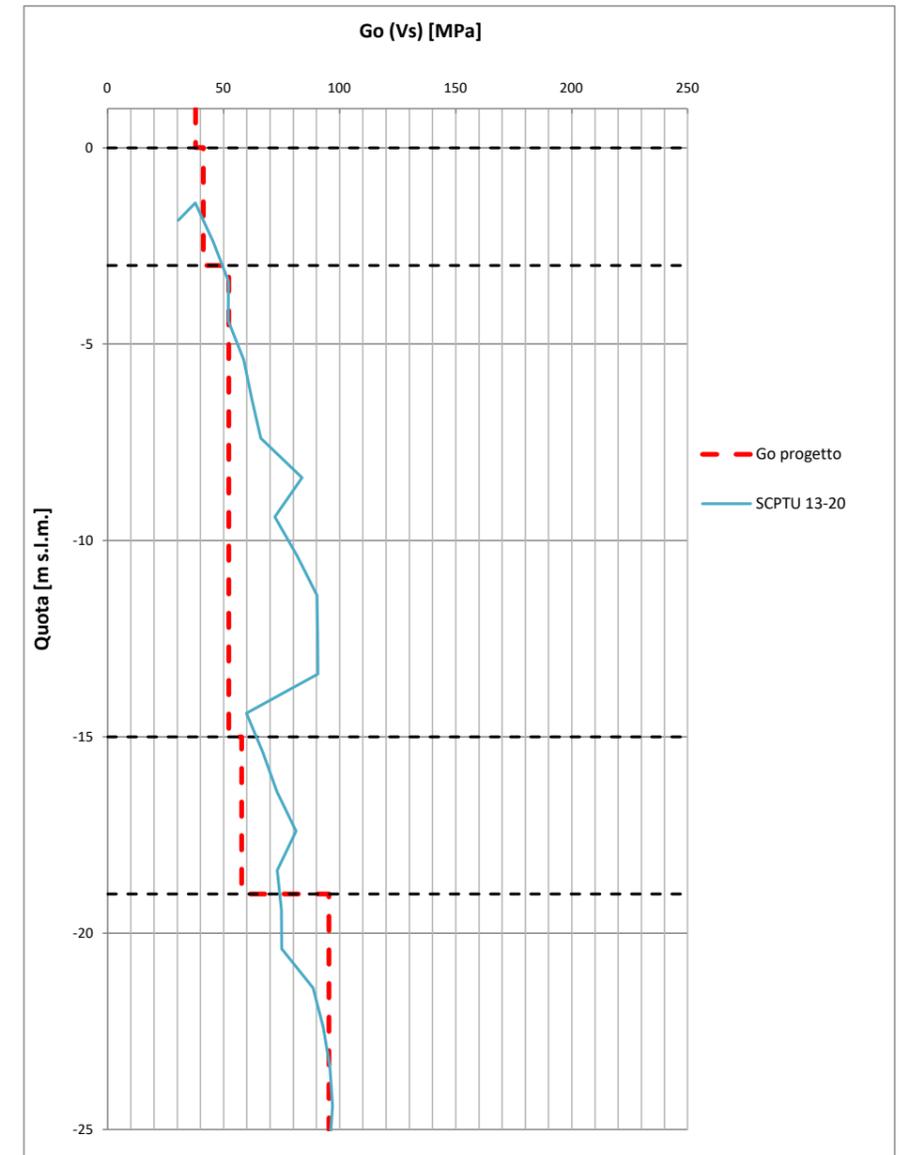
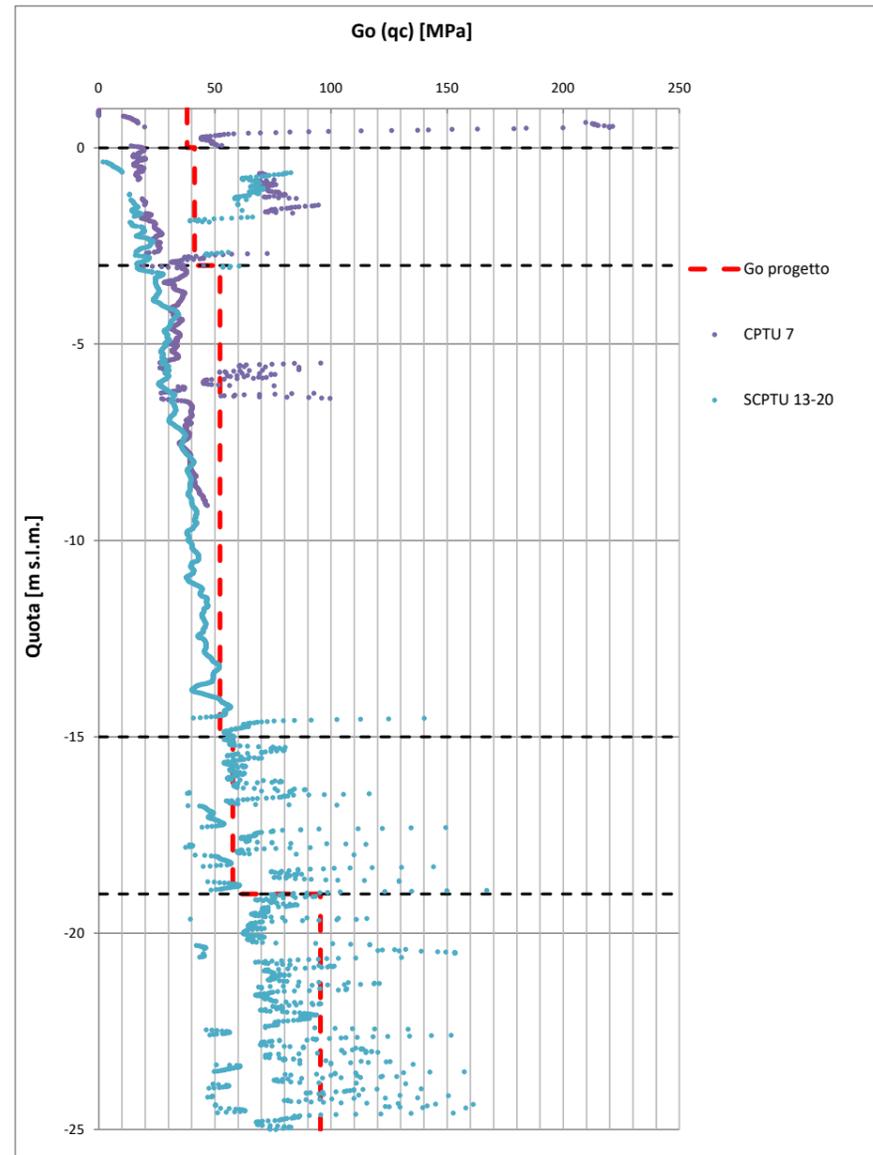
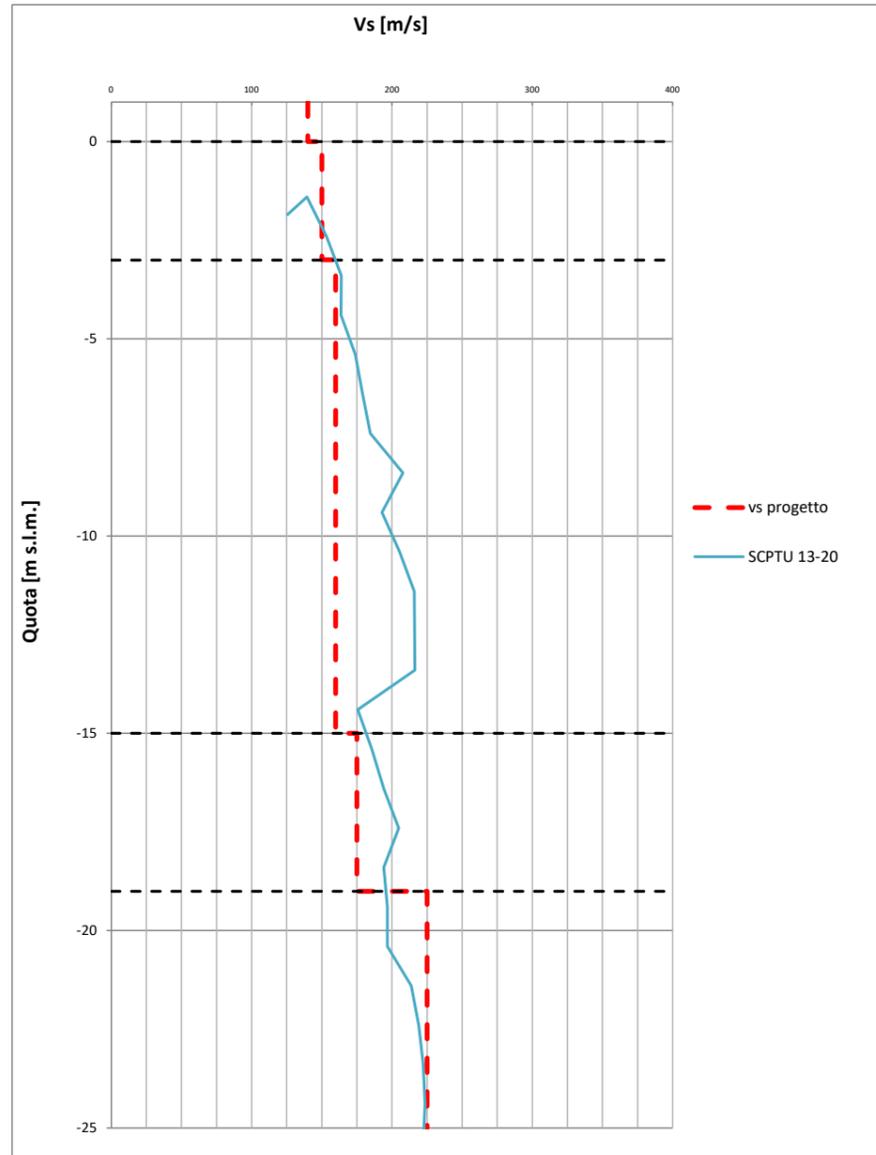


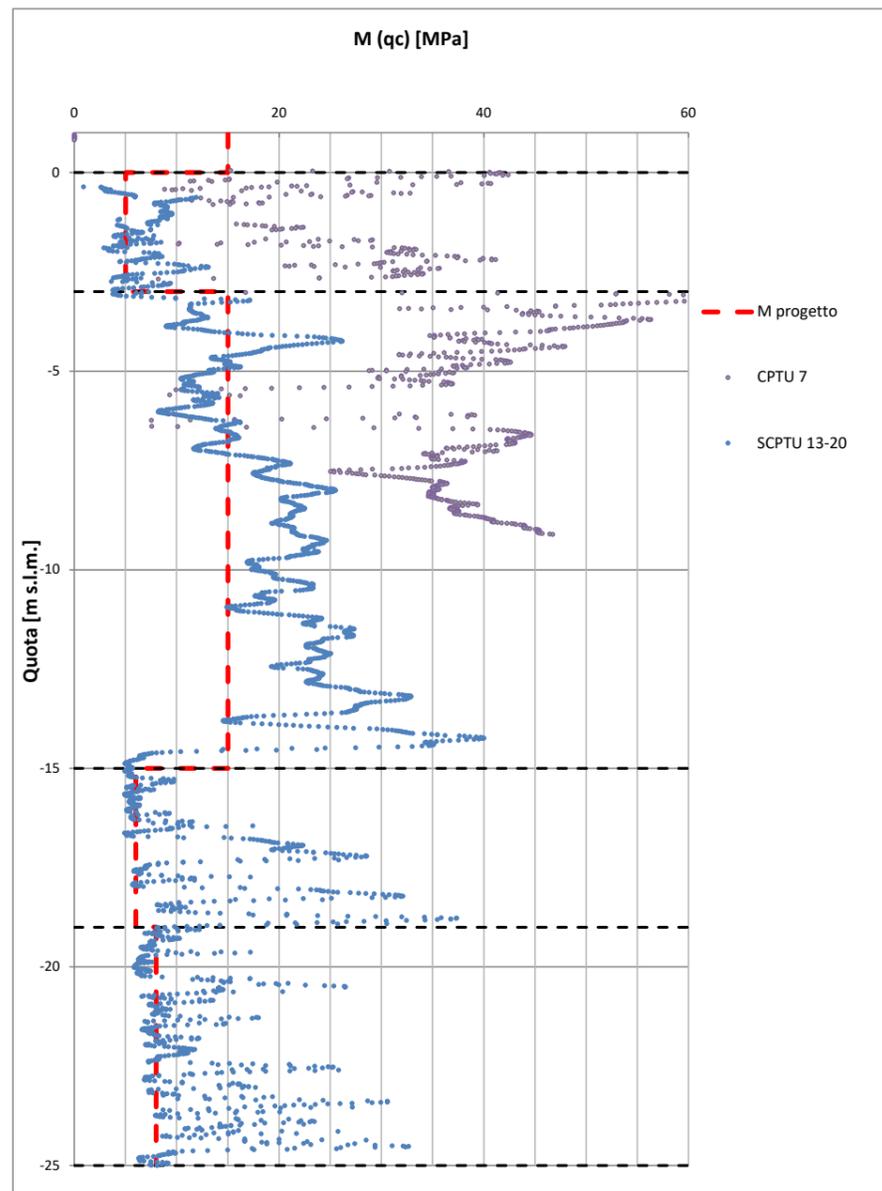
OPERA	Aree logistiche L1-L2 Nord
INDAGINI PD	-
INDAGINI PE	CPTU7/20 - SCPTU 13/20

Aree logistiche L1-L2 Nord																		
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	v [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_R$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	r [-]	M [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
P	Coesivo	0	-3	18/8	0,30	1	-	-	-	-	-	28	2,5	25	150	41	4	5
S	Incoerente	-3	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

AZIONE SISMICA DI PROGETTO		
SLD	$a_{max}$ [g]	0,10
SLV	$a_{max}$ [g]	0,20



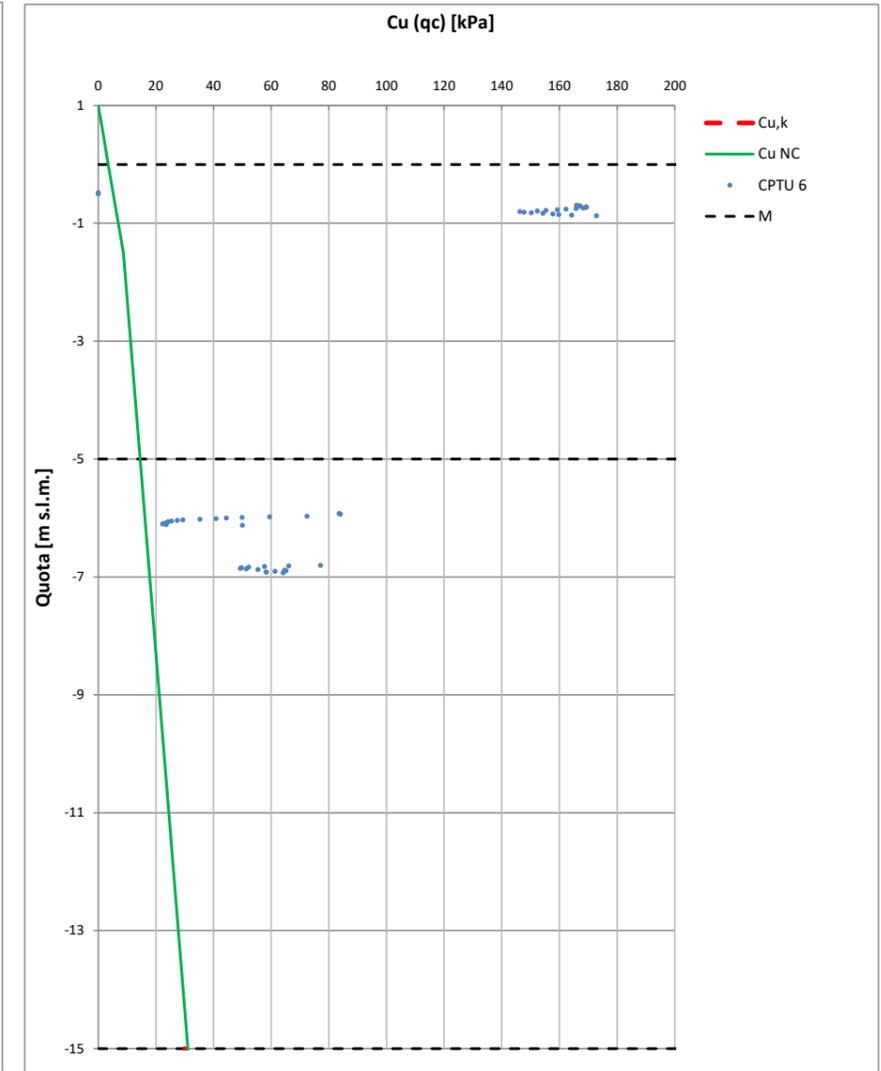
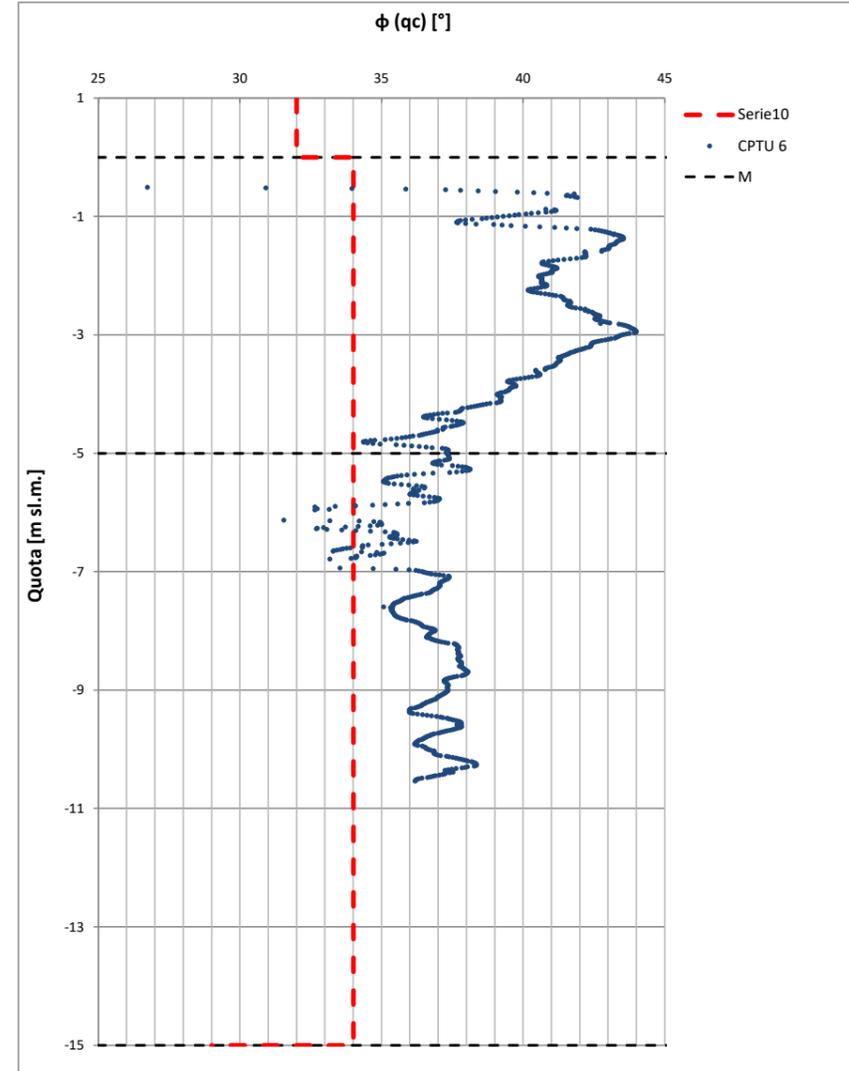
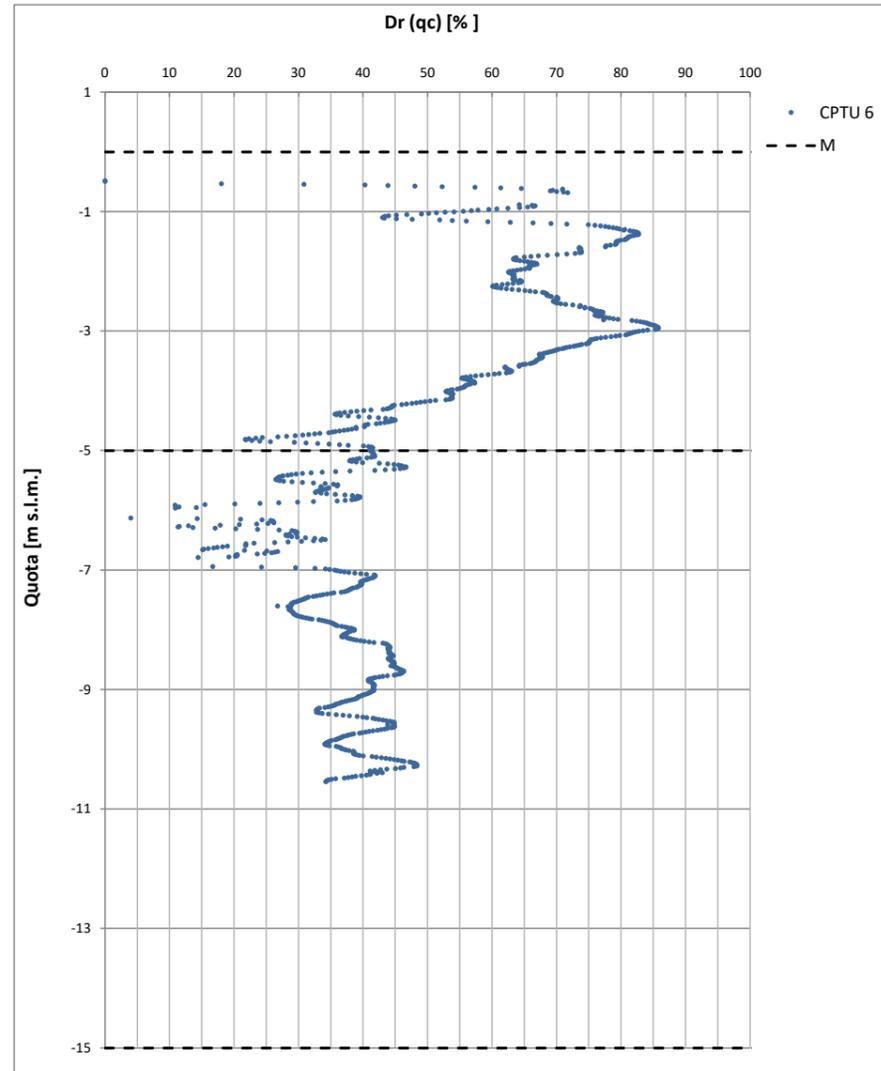


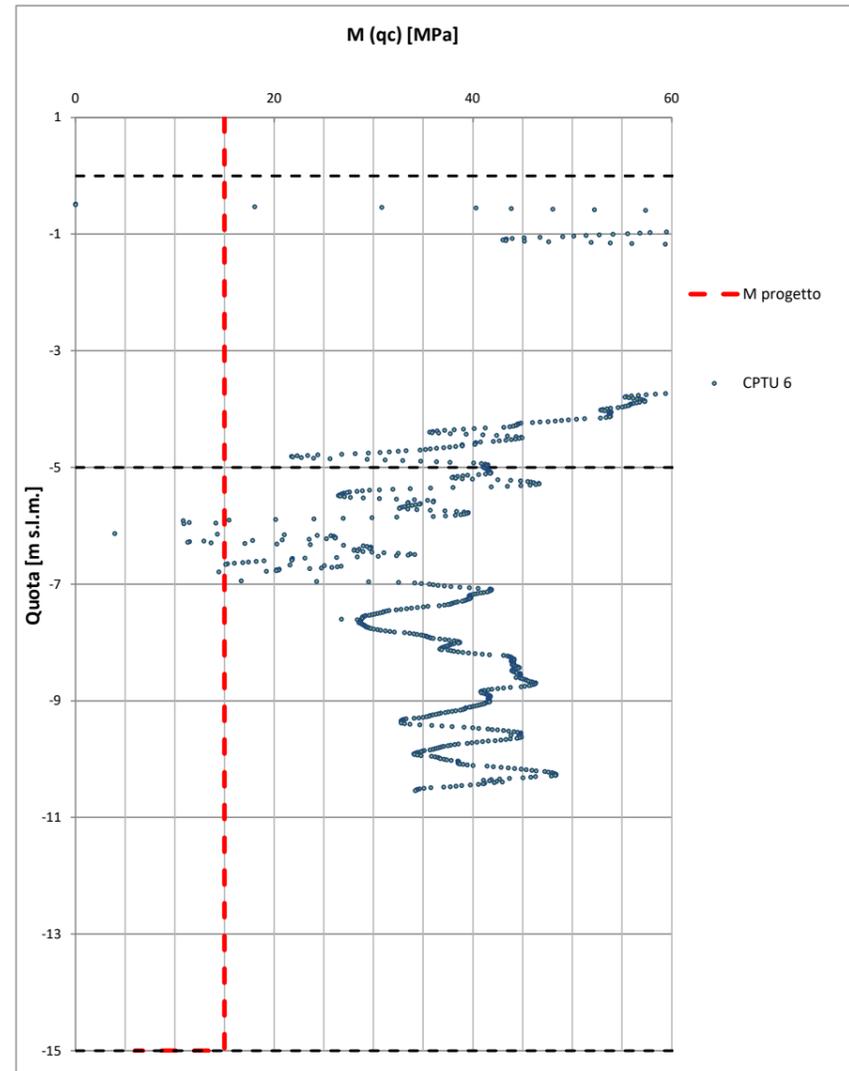
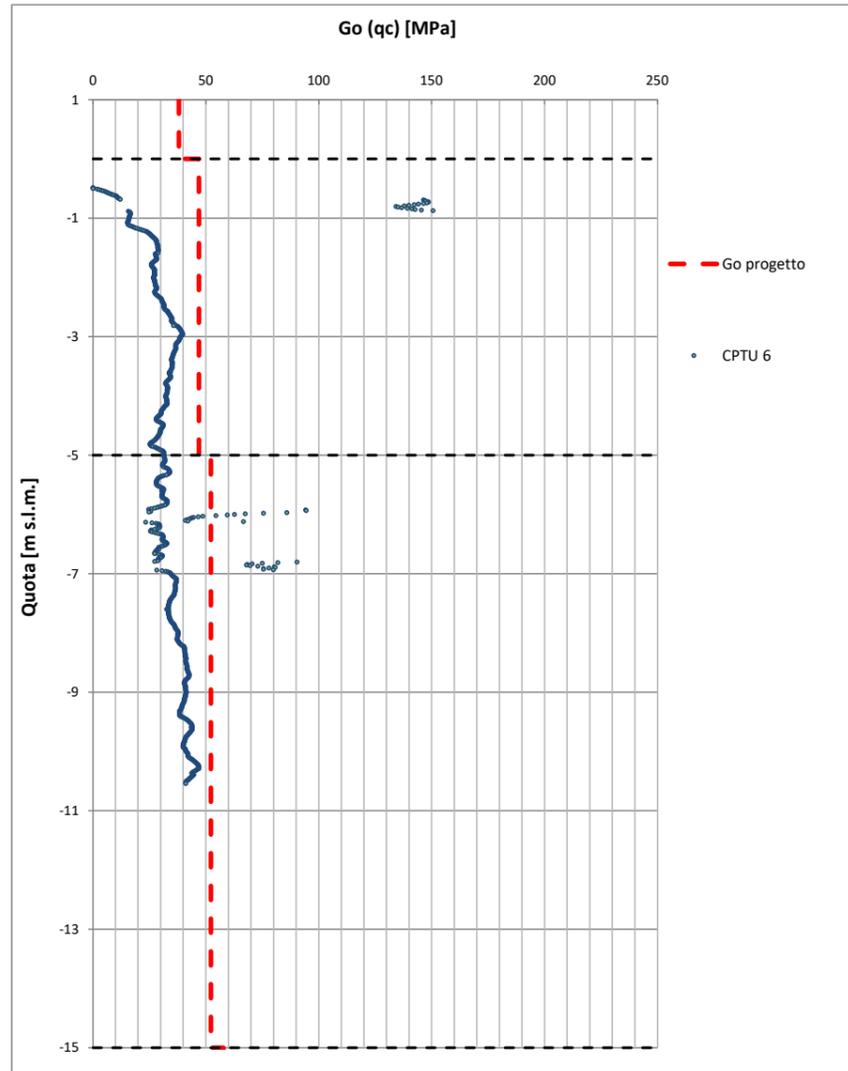


OPERA	Aree Logistiche L1 - L2 Sud
INDAGINI PD	-
INDAGINI PE	CPTu6/20

Aree Logistiche L1 - L2 Sud																		
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_R$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	1	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	32	-	-	140	38	2	15
S	Incoerente	0	-5	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
S	Incoerente	-5	-15	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	52	2	15
M	Coesivo	-15	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	58	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

AZIONE SISMICA DI PROGETTO		
SLD	$a_{max}$ [g]	0,10
SLV	$a_{max}$ [g]	0,20





OPERA	Aree logistiche S3
INDAGINI PD	-
INDAGINI PE	SCPTU 12/20

Aree logistiche S3																		
Unità	Tipologia Terreno	da [m s.l.m.]	a [m s.l.m.]	$\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$e_0$ [-]	$C_c$ [-]	$C_R$ [-]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	$D_r$ [%]	$\phi'_k$ [°]	$c'_k$ [kPa]	$c_{u,k}$ [kPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$r$ [-]	$M$ [MPa]
R	Incoerente	0,5	0	19/9	0,25	-	-	-	-	-	-	30	-	-	125	30	2	10
S	Incoerente	0	-12	20/10	0,25	-	-	-	-	-	40	34	-	-	160	47	2	15
M	Coesivo	-12	-19	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	2,0E-07	-	29	5	30	175	62	4	6
M	Coesivo	-19	-25	18,5/8,5	0,30	1	0,95	0,16	0,04	4,0E-07	-	30	5	45	225	95	4	8

AZIONE SISMICA DI PROGETTO		
SLD	$a_{max}$ [g]	0,10
SLV	$a_{max}$ [g]	0,20

