



Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)
Viale Belvedere, 8/10
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711
Fax +39 041 4355 933
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132
3800 BC Amersfoort
The Netherlands
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115
Fax +44 (0)207 222 2659
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087
Fax +39 049 8707 868
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)
Via Tiepolo, 8
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31
Fax +39 0422 8895 89
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA
AMBIENTALE**

EMISSIONE

PROGETTO PRELIMINARE

TITOLO

B - GEOLOGIA E GEOTECNICA
Relazione geotecnica

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

B003

DATA: 08/11/2019	SCALA: -	FILE: 1233_PP-B-003_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO L. Masiero	DISEGNO R. Bullo	VERIFICA L.Masiero	APPROVAZIONE T. Tassi

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

Indice generale

1	PREMESSA	3
2	QUADRO NORMATIVO	4
2.1	LEGGI, DECRETI E CIRCOLARI	4
2.2	RACCOMANDAZIONI E SPECIFICHE	4
3	INDAGINI ESEGUITE	5
3.1	INDAGINI PREGRESSE	5
3.2	INDAGINI INTEGRATIVE (2019)	8
4	TEORIE DI BASE	11
4.1	PROVE SPT – FORMAZIONI GRANULARI	11
4.1.1	DENSITÀ RELATIVA	11
4.1.2	PROPRIETÀ MECCANICHE	12
4.1.3	PROPRIETÀ DEFORMATIVE	12
4.2	PROVE CPTU – FORMAZIONI GRANULARI	12
4.2.1	PROPRIETÀ MECCANICHE	12
4.2.2	PROPRIETÀ DEFORMATIVE	13
4.3	PROVE CPTU – FORMAZIONI COESIVE	13
4.3.1	DENSITÀ	13
4.3.2	PROPRIETÀ MECCANICHE	13
4.3.3	PROPRIETÀ DEFORMATIVE	13
4.4	PROVE CPTU – PARAMETRO IC	14
4.5	ELABORAZIONI DELLE PROVE	15
4.5.1	WBS1	15
4.5.2	WBS2A	16
4.5.3	WBS2B	19
4.5.4	WBS3	23
4.5.5	WBS4A	26
4.5.6	WBS4B	29
4.5.7	WBS5A	32
4.5.8	WBS6	35
4.5.9	SONDAGGI ESTERNI ALLE WBS	38
5	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	41

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
---	--	---

Indice delle figure

Figura 1.1 – Stato di fatto del Porto di Livorno con inquadramento dell’are di intervento	3
Figura 3.1 – Indagini pregresse.....	6
Figura 3.2 – Sondaggio S9.....	7
Figura 3.3 – Sondaggi C3 e C4	7
Figura 3.4 – Planimetria sondaggi e individuazione dei sondaggi integrativi utilizzati per la determinazione dei parametri del terreno.....	9
Figura 3.5 – Legenda della planimetria sondaggi integrativi	10
Tabella 3-1 – Indagini integrative. ID=Identificativo; S=Sondaggio; CPTU=Prova penerometrica	10
Figura 5.1 – Modello Geotecnico di riferimento	41

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

1 PREMESSA

La presente relazione riporta la rielaborazione delle prove geotecniche effettuate nell'area di intervento per lo sviluppo del Progetto Preliminare delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, nel porto di Livorno.



Figura 1.1 – Stato di fatto del Porto di Livorno con inquadramento dell'are di intervento

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

2 QUADRO NORMATIVO

La presente relazione geotecnica è stata redatta in conformità alle seguenti direttive:

2.1 Leggi, Decreti e Circolari

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC '18).
- Circolare del Consiglio Superiore dei LL. PP. 21 Gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

Le caratterizzazioni geotecnica e sismiche dei terreni interessati dal tracciato sono state realizzate in conformità a dette Norme, come anche tutte le verifiche geotecniche presenti in progetto.

2.2 Raccomandazioni e specifiche

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana – “Linee guida - aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” (2005);

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
--	---	--

3 INDAGINI ESEGUITE

3.1 Indagini pregresse

Per la definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dell'area, ci si è avvalsi anche di campagne di indagini e di studi pregressi, condotti in occasione della progettazione delle due vasche di contenimento dei materiali di risulta dei dragaggi realizzate/in corso di realizzazione a fianco della diga di sottoflutto del porto di Livorno (diga del Marzocco).

Campagna maggio-luglio 2001 (Indicazione negli elaborati con la sigla Sn):

- n. 13 sondaggi a carotaggio continuo - sono stati eseguiti dalla Ditta Ichongeo ed impostati come di seguito: n. 5 ad una profondità di 30.00 m. da p.c. e n. 8 ad una profondità di 25.00 m. da p.c.;
- n. 9 sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti dalla Ditta Mecasol tutti in mare, n. 5 all'interno della vasca, n. 4 in mare aperto ed impostati come di seguito: n. 1 ad una profondità di 35.00 m. da s.l.m.m.; n. 4 ad una profondità di 30.00 m. s.l.m.m. e n. 4 ad una profondità di 25.00 m. s.l.m.m.

Campagna maggio 2003 (Indicazione negli elaborati con la sigla Sa; Sb; Sc):

- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti dalla Ditta Ichongeo ad una profondità di 30.00 da p.c.;

Campagna di indagini indirette di tipo geofisico ottobre-dicembre 2007

- n. 28 Profili di indagini geoelettriche e sismostratigrafiche SBM (Sub Bottom Profiler) eseguite a mare;
- n. 2 ERT Profili di indagini geoelettriche a terra;
- n. 5 Punti di indagine MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) ubicati lungo le linee geoelettriche ERT;
- n. 43 Punti di indagine sismica passiva a singola stazione ubicati lungo le linee geoelettriche ERT.

Campagna febbraio-giugno 2008

Sono stati eseguiti n° 10 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 8 (da S1 a S8) sono stati eseguiti lungo il perimetro della prima vasca di colmata fino a profondità variabili da 25 m a 51 m dal p.c. dalla Ditta ICHNOGEO di San Miniato dal febbraio al maggio 2008; i restanti 2 (S9 e S10) sono stati eseguiti a mare fino a profondità di -15 m s.l.m.m. dalla Ditta TETIDE di Fano nel giugno 2008.

Campagna geognostica 2010

- n°9 Carotaggi in mare, eseguiti dalla GeoPolaris, mediante M/N Blue Dream e il carotiere "Self-sheathing Hydraulic Sampling Bottom Device" (S.H.S.B.D) lungo l'asse delle opere di delimitazione della seconda vasca di colmata (C1÷C9 - specchio costiero tra la foce del canale Scolmatore a nord e la prima vasca di colmata a sud);
- n.2 sondaggi geotecnici verticali, a rotazione e a carotaggio continuo, dislocati in punti particolarmente significativi sull'argine della prima vasca di colmata con prelievo di 13 campioni indisturbati (SERVIZI GEOTECNICI);
- n.6 prove CPTU

In tutte le campagne di indagini sono state inoltre eseguite prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

Nelle figure seguenti sono sintetizzati i sondaggi e le indagini di campo eseguite nel corso delle seguenti campagne:

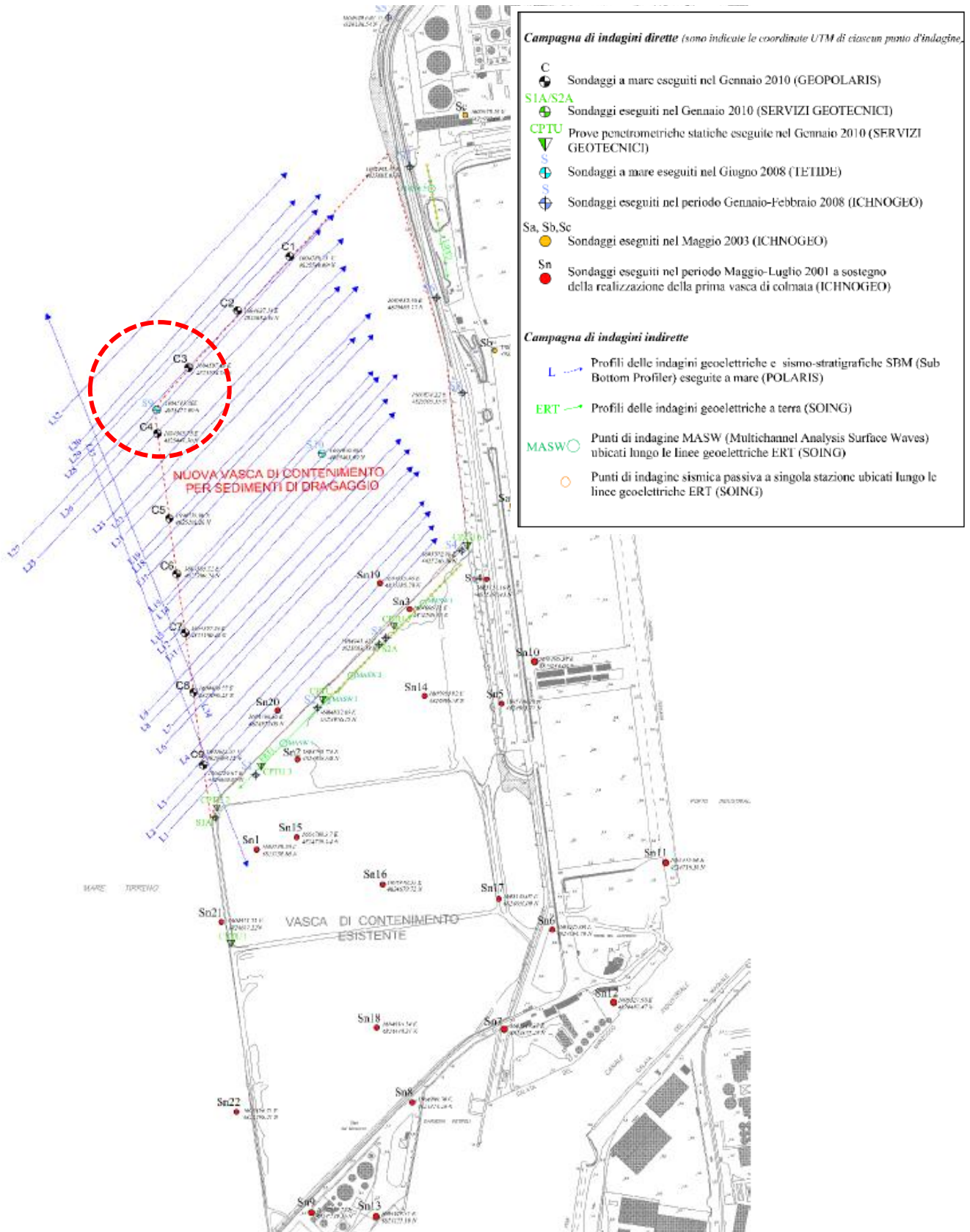


Figura 3.1 – Indagini pregresse

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

Per la definizione dei terreni in prossimità della paratia area 1a, prevista nel progetto in oggetto, si è rivalso dei sondaggi S9 e C3-C4. Si riportano le informazioni reperite:

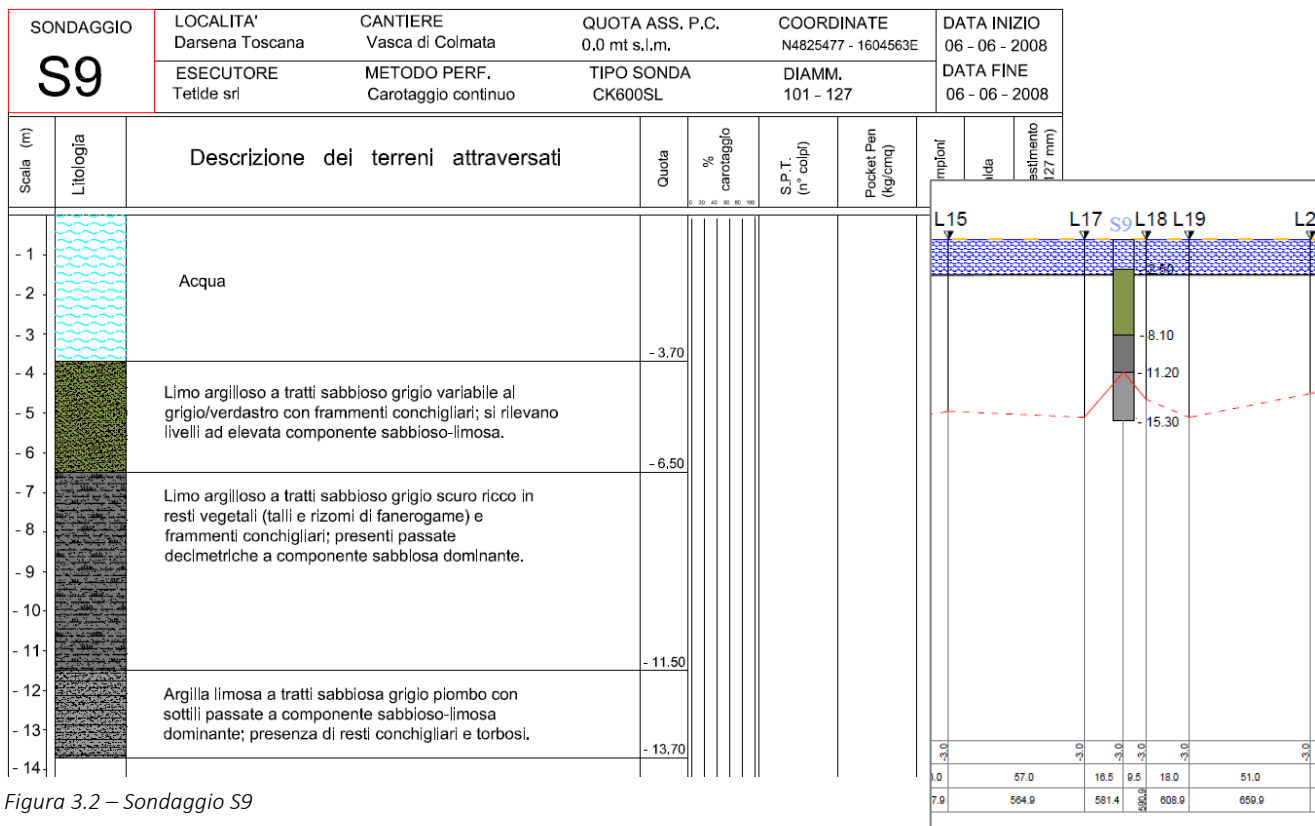


Figura 3.2 – Sondaggio S9

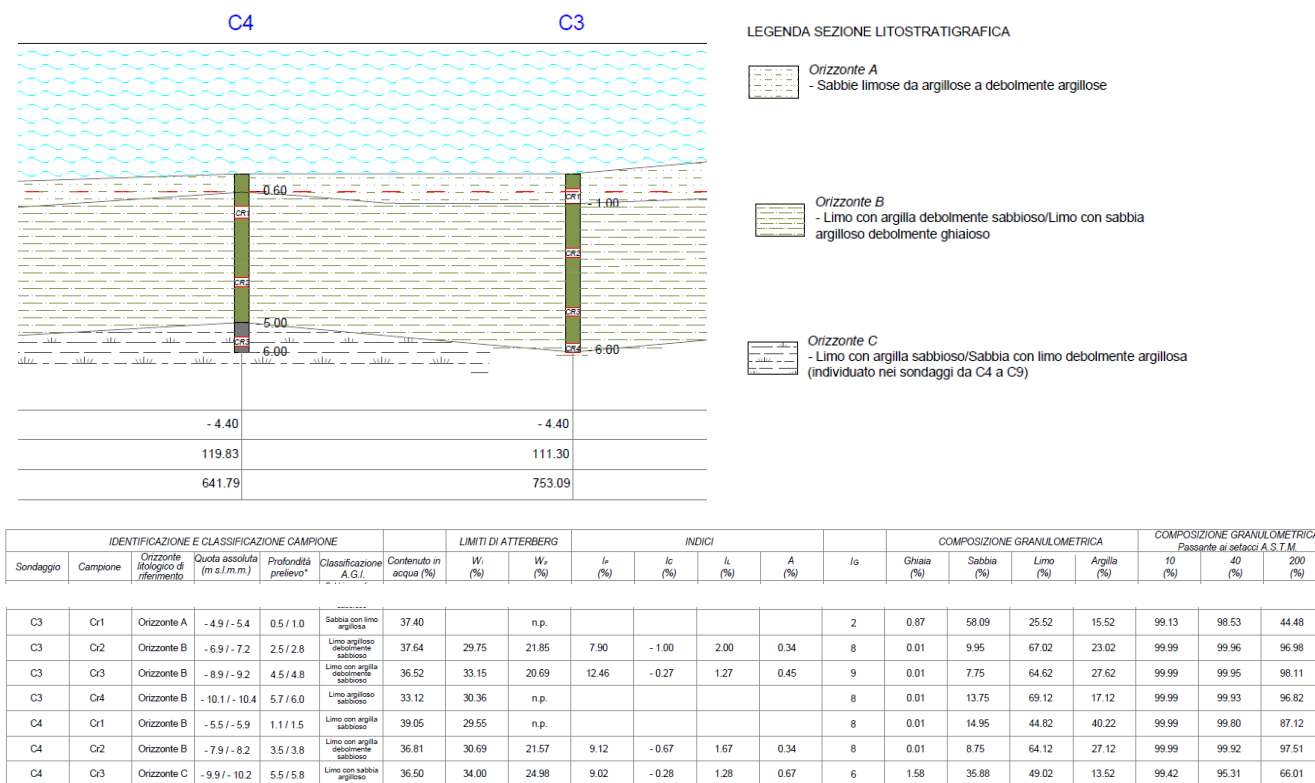


Figura 3.3 – Sondaggi C3 e C4

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
--	---	--

3.2 Indagini integrative (2019)

Al fine di individuare i parametri del terreno dell'area di interesse si è individuata una campagna di indagini costituita da prove in sito e di laboratorio. Le attività, eseguite dalla RTI formata Geotec SpA (Mandataria), Sonedile Srl, Geoter Srl e GET Srl (Mandanti), sono descritte come segue:

- Indagine batimetrica e geofisica a mare. Tali attività sono state eseguite dallo Scrivente RTI, in collaborazione con il Soggetto Ausiliario Drafin Sub Survey di Genova nelle date di seguito specificate:
 - Indagini batimetriche con multibeam 15-21/07/2019
 - indagine morfologica con side scan sonar 24-27/07/2019
 - indagine geofisica sub bottom profiler 17-20/09/2019
- Indagine a mare condotta con l'utilizzo di campionatore "vibrocorer". La Società Labromare Srl di Livorno, in veste di subappaltatore ufficiale, nelle date comprese tra il 23/07/2019 e 27/07/2019 (prima fase) e 17-18/09/2019 (seconda fase), ha eseguito n° 45 vibrocarotaggi. Sono state eseguite, più in particolare, le analisi della stratigrafia delle carote effettuate con conservazione delle carote in cassette catalogatrici, la formazione di campioni e confezionamento delle relative aliquote da inviare ad accertamento analitico di tipo geotecnico e ambientale e l'effettuazione di prove speditive con scissometro o penetrometro tascabile.
- Sondaggi geognostici ed ambientali a mare da piattaforma. sondaggi geognostici ed ambientali sono stati eseguiti dalle Società del RTI Geotec SpA e Sonedile Srl, facendo lavorare rispettivamente n°2 squadre operative composte da un Geologo Senior, un sondatore specializzato e due aiuto sondatore. Sono stati eseguiti:
 - N° 24 Sondaggi geotecnici
 - N° 7 Sondaggi ambientali

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove in foro tipo Lefranc, SPT, pressiometriche, e prelievo di campioni di tipo indisturbato, rimaneggiato ed ambientale.

Prove CPTU e dilatometriche (tipo Marchetti) eseguite da piattaforma. prove penetrometriche sono state eseguite, dalla Società Mandante Geoter Srl di Roma, a partire dal 04/08/2019 al 10/10/2019, alternandosi, sulla piattaforma, con le Imprese associate che eseguivano le i sondaggi geognostici ed ambientali. In particolare sono state eseguite n° 9 CPTU di prima fase ed allegate al presente report.
- Analisi e prove di laboratorio geotecnico su campioni di terreno indisturbati. Le analisi allegate al presente report sono state eseguite dalla mandante dello scrivente RTI GET Srl di Genova, in collaborazione con il Soggetto Ausiliario Istituto Geotecnico Sperimentale con sede a Seriate (BG). Più in particolare sono state eseguite ed allegate n°80 analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione finalizzate alla "Deperimetrazione SIN" e caratterizzazione ambientale.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

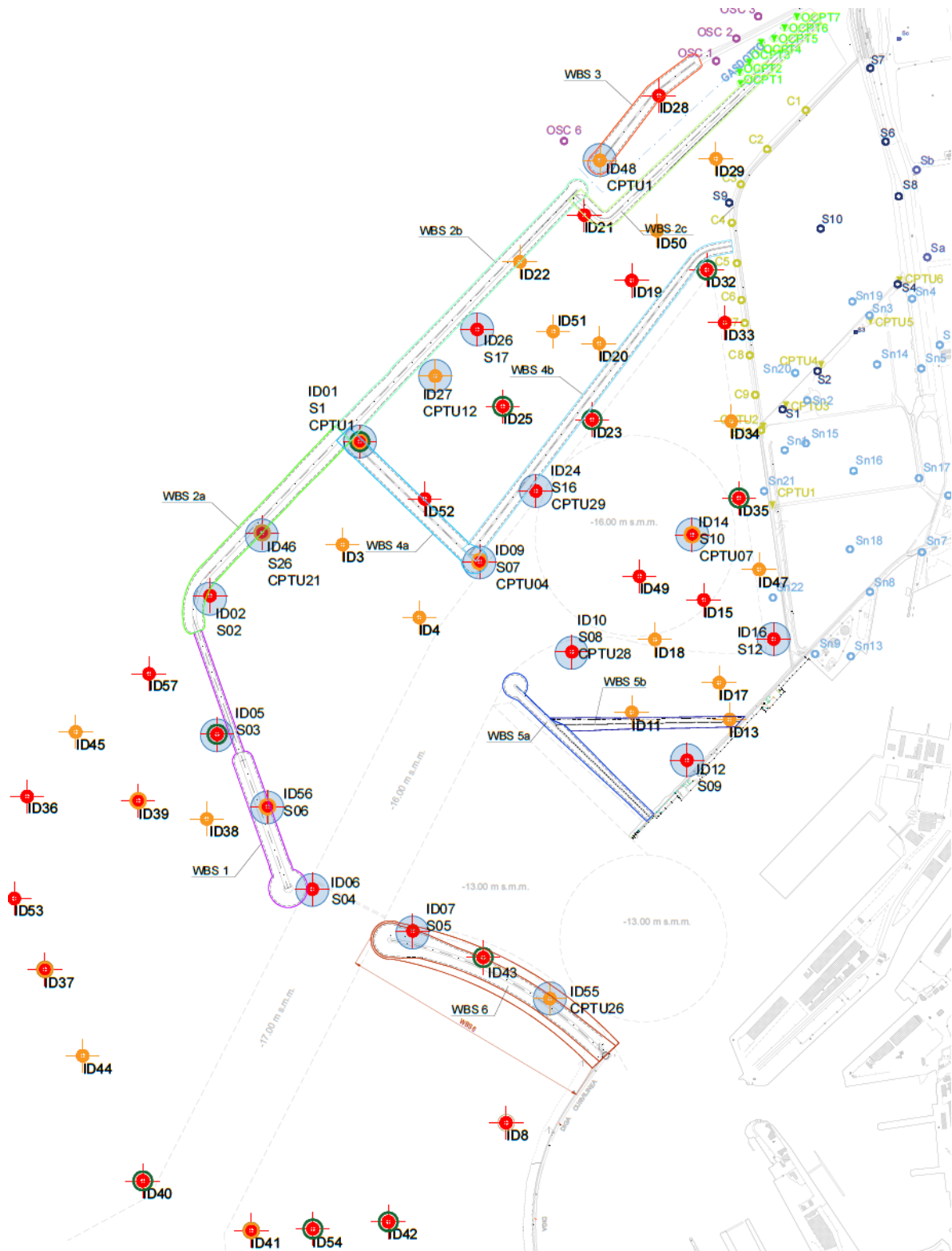


Figura 3.4 – Planimetria sondaggi e individuazione dei sondaggi integrativi utilizzati per la determinazione dei parametri del terreno

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

Legenda

Indagini pregresse

- Sondaggi a carotaggio continuo. Indagine 2001
- Sondaggi a carotaggio continuo. Indagine 2003
- Sondaggi a carotaggio continuo. Indagine 2008
- Sondaggi a carotaggio continuo. Indagine 2010
- Sondaggi a carotaggio continuo. Indagine 2009/2010 foce Scolmatore
- CPTU indagine 2009/2010
- CPTU indagine 2004
- CPTU indagine 2008
- CPTU indagine 2009/2010 foce Scolmatore
- Profili delle indagini geoelettriche e sismo-stratigrafiche SBP
- Profili delle indagini geoelettriche a terra
- Punti di indagine MASW
- Punti di indagine sismica passiva a singola stazione

Indagini integrative

- Punto di sondaggio
- Punto di prova penetrometrica
- Punto di sondaggio, di prova penetrometrica e di prova dilatometrica
- Punto di prova dilatometrica
- Punto di sondaggio e di prova dilatometrica
- Punto di sondaggio e di prova penetrometrica
- Indagini integrative eseguite in fase 1:
S: esecuzione sondaggio
CPTU: esecuzione prova penetrometrica

Figura 3.5 – Legenda della planimetria sondaggi integrativi

La planimetria riporta tutte le indagini integrative da svolgere, mentre nella tabella seguente sono presenti solo quelle eseguite (individuate nella planimetria con cerchi pieni celesti).

SONDAGGI	Profondità SPT	Profondità CPTU
ID01-S01-CPTU1	-8,30	-7,80
ID02-S02	-7,00	
ID05-S03	-8,50	
ID06-S04	-12,40	
ID07-S05	-9,50	
ID09-S07-CPTU4	-9,00	-9,30
ID10-S08-CPTU28	-7,50	-7,60
ID14-S10-CPTU7	-5,50	-5,30
ID16-S12	-4,00	
ID24-S16-CPTU29	-7,80	-7,90
ID26-S17	-8,00	
ID46-S26-CPTU21	-9,50	-9,40
IDS56-S06	-12,00	
ID12-S09	-4,00	
ID27-CPTU12		-8,00
ID48-CPTU23		-6,00
ID55-CPTU26		-6,90

Tabella 3-1 – Indagini integrative. ID=Identificativo; S=Sondaggio; CPTU=Prova penerometrica

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

4 TEORIE DI BASE

4.1 Prove SPT – Formazioni granulari

4.1.1 Densità relativa

La densità relativa delle formazioni granulari è determinata sulla base dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT, utilizzando le correlazioni riportate nel seguito.

Skempton (1986)

In base al valore di N_{SPT} è possibile determinare lo stato di addensamento dei terreni incoerenti (Dr) mediante l'espressione:

$$Dr(\%) = \sqrt{\frac{(N1)_{60}}{A}} 100$$

essendo:

$$(N1)_{60} = C_N N_{SPT} \frac{ER}{60}$$

dove:

- ER : rendimento energetico del sistema di battitura che secondo Skempton (1986) può essere assunto uguale a 60 per l'Italia;
- N_{SPT} : numero di colpi misurati con la prova standard SPT;
- $(N1)_{60}$: valore di N riferito ad un valore unitario della pressione;
- $C_N = \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_{v0}}}$: coefficiente di correzione secondo la relazione di Liao e Withman (1986);
- p_a : pressione atmosferica;
- σ'_{v0} : tensione efficace alla profondità di riferimento;
- A : costante che dipende dalla storia tensionale, dalla granulometria e dall'età del deposito. È pari a 55 per sabbie fini, a 60 per sabbie medie e a 65 per sabbie grosse.

Gibbs & Holtz (1957)

Il metodo di Gibbs & Holtz è valido per sabbie da fini a grossolane, per qualsiasi valore della pressione efficace, in depositi normalconsolidati.

La densità relativa vale:

$$Dr(\%) = 21 \sqrt{\frac{N'_{SPT}}{\sigma + 0.7}} 100$$

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
--	---	--

Schultze & Mezembach (1961)

Il metodo di Schultze & Mezembach è valido per sabbie da fini a ghiaiose, per qualunque valore della pressione efficace, in depositi normalconsolidati.

La densità relativa vale:

$$Dr(\%) = e^{0.478 \ln(N'_{SPT}) - 0.262 \ln(\sigma) + 2.84}$$

Dr(%)	Classificazione
<15	Molto sciolto
15 - 35	Sciolto
35 - 65	Medio
65 - 85	Denso
>85	Molto denso

4.1.2 Proprietà Meccaniche

L'angolo di attrito φ è determinato dalla rielaborazione delle prove penetrometriche SPT, utilizzando le correlazioni proposte da vari autori a partire da valori di N_{SPT} . Di seguito si riportano una tabella contenente le principali correlazioni utilizzate.

AUTORE	FORMULA	TERRENO
Shoi & Fukuni Road Bridge Specification	$\varphi = \sqrt{15N'_{SPT}} + 15 = 24^\circ$	Sabbie fini o limose
Japanese Railway National	$\varphi = 0.3N'_{SPT} + 27 = 29^\circ$	Da sabbie medio-grosse fino a sabbie ghiaiose

4.1.3 Proprietà deformative

Il metodo utilizzato è quello di Jamiolkowski (1988) che porta alla determinazione del modulo E pari a:

$$E = (10.5 - 3.5 \cdot D_R) \cdot N_{SPT}$$

4.2 Prove CPTU – Formazioni granulari

4.2.1 Proprietà Meccaniche

Per confronto, l'angolo d'attrito è stato valutato a partire dalle prove CPTU mediante la correlazione di Caquot:

$$\varphi = 9.8 + 4.96 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}}\right)$$

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
--	---	--

4.2.2 Proprietà deformative

I parametri di deformabilità degli orizzonti granulari sono ricavati dall'elaborazione delle prove penetrometriche statiche CPTU. Il modulo secante E50 mediante la formula di Schmertmann:

$$E = 2.5 \cdot q_c$$

4.3 Prove CPTU – Formazioni coesive

4.3.1 Densità

La densità è stata valutata a partire dalle prove CPT mediante la correlazione di Jamiolkowski et al. (1985):

$$Dr(\%) = -98 + 66 \cdot \log\left(\frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_{v0}}}\right)$$

dove:

- q_c : resistenza di punta del penetrometro statico espressa in kg/cm²;
- σ'_{v0} : tensione efficace alla profondità di riferimento espressa in kg/cm².

4.3.2 Proprietà meccaniche

I parametri di resistenza meccanica degli orizzonti coesivi sono stati determinati dall'interpretazione delle CPTU. Si è calcolato cu elaborando i risultati delle prove in sito CPTU tramite la seguente relazione:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_c}$$

dove:

- c_u : resistenza al taglio non drenata;
- q_c : resistenza di punta misurata nel corso della prova;
- σ_{v0} : pressione verticale totale;

$$N_c = 15 \div 25.$$

4.3.3 Proprietà deformative

Il modulo edometrico M è stato stimato mediante la correlazione di Mitchell & Gardner:

$$M = \alpha \cdot q_c$$

dove:

$$\alpha = \begin{cases} 8 & q_c < 700 \text{ kPa} \\ 5 & 700 \text{ kPa} < q_c < 2000 \text{ kPa} \\ 2.5 & q_c > 2000 \text{ kPa} \end{cases}$$

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: PARTE GENERALE 1233_PP-B-003_0.docx
--	---	--

4.4 Prove CPTU – Parametro I_c

La prova penetrometrica è stata rielaborata secondo il metodo Robertson (1990), ricostruendo il diagramma logaritmico avente in ascissa il rapporto d'attrito normalizzato adimensionale F e in ordinata la resistenza di punta normalizzata adimensionale Q :

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \quad Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{\sigma_{v0}}$$

dove:

q_c : resistenza di punta del penetrometro;

f_s : resistenza d'attrito laterale.

Il diagramma è diviso in 9 zone, a cui corrispondono altrettante classi di terreno. Dal parametro I_c è possibile ricavare, in funzione della profondità, la classe di appartenenza del terreno e, di conseguenza, stabilire la natura coesiva o granulare dei vari orizzonti litostratigrafici.

Zona	Indice I_c del terreno	Descrizione
1	$\sqrt{(\log F + 1)^2 + \log(Q + 0.28)^2} = 1.28$	Terreni sensitivi
2	$I_c > 3.60$	Terreni organici - torbe
3	$2.95 < I_c < 3.60$	Argille - argille limose
4	$2.60 < I_c < 2.95$	Limi argillosi - argille limose
5	$2.05 < I_c < 2.60$	Sabbie limose - limi sabbiosi
6	$1.31 < I_c < 2.05$	Sabbie - sabbie limose
7	$I_c < 1.31$	Sabbie - sabbie con ghiaia
8	$\log Q = 2 \log^2 F - 4 \log F + 3.72$	Sabbie cementate – sabbie argillose (fortemente sovraconsolidate o cementate)
9	$\log Q = 2 \log^2 F - 4 \log F + 3.72$	Terreni a grana fine (fortemente sovraconsolidati o cementati)

Per identificare le categorie di terreni è sufficiente esprimere l'indice I_c secondo la formula valida per le classi 2 ÷ 7:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

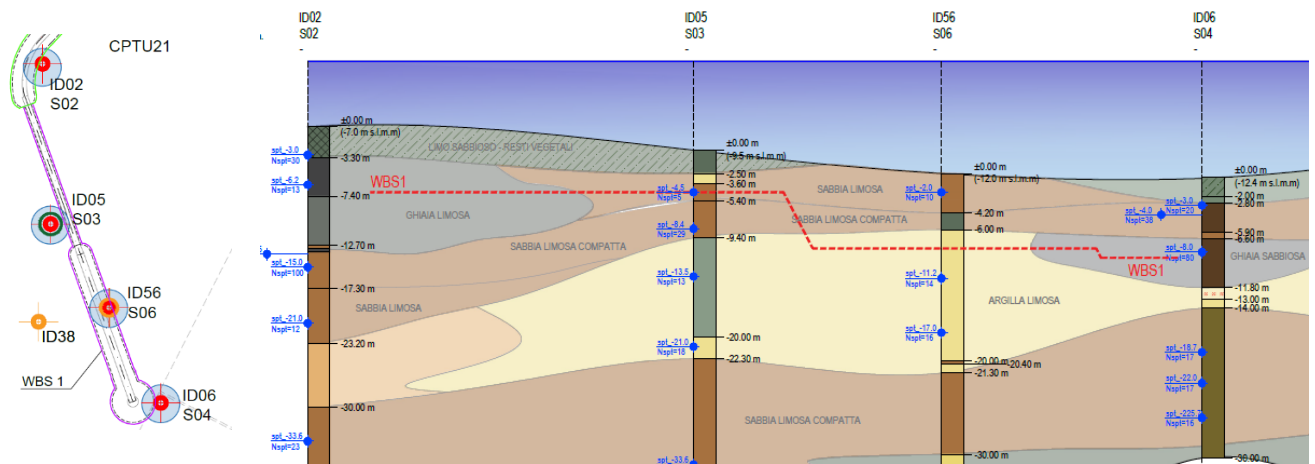
1233_PP-B-003_0.docx

4.5 Elaborazioni delle prove

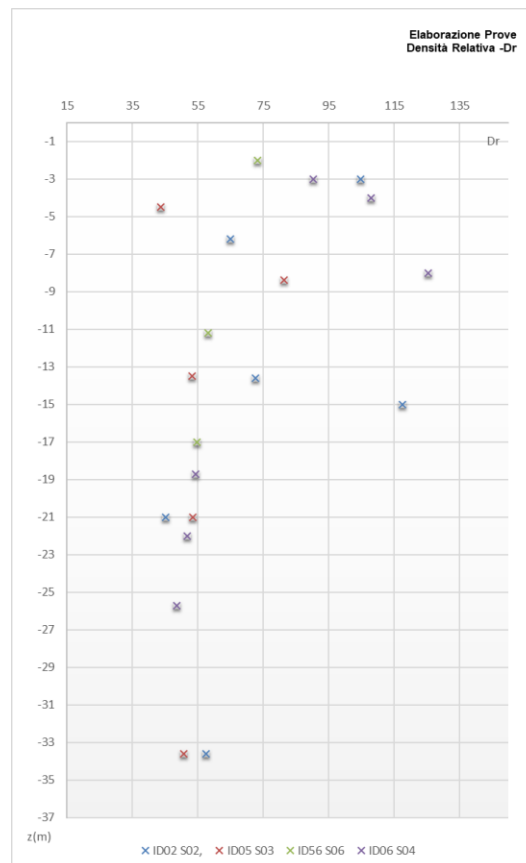
L'elaborazione delle prove vengono individuate per singola WBS in modo da determinare con più precisione le sezione stratigrafiche alla base dei modelli di calcolo (visibili nell'elaborato 1233-PP-B-105_sezioni geotecniche e sondaggi).

4.5.1 WBS1

I parametri per la determinazione del terreno della WBS1 vengono stabiliti a partire dai sondaggi ID02, ID05, ID56 e ID06 come mostrato in figura seguente. Da segnalare uno strato di argilla limosa tra i -18 m s.l.m.m. e i 33 m s.l.m.m. circa e uno strato di sabbia limosa compatta più in profondità.



- Densità e CPTU



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

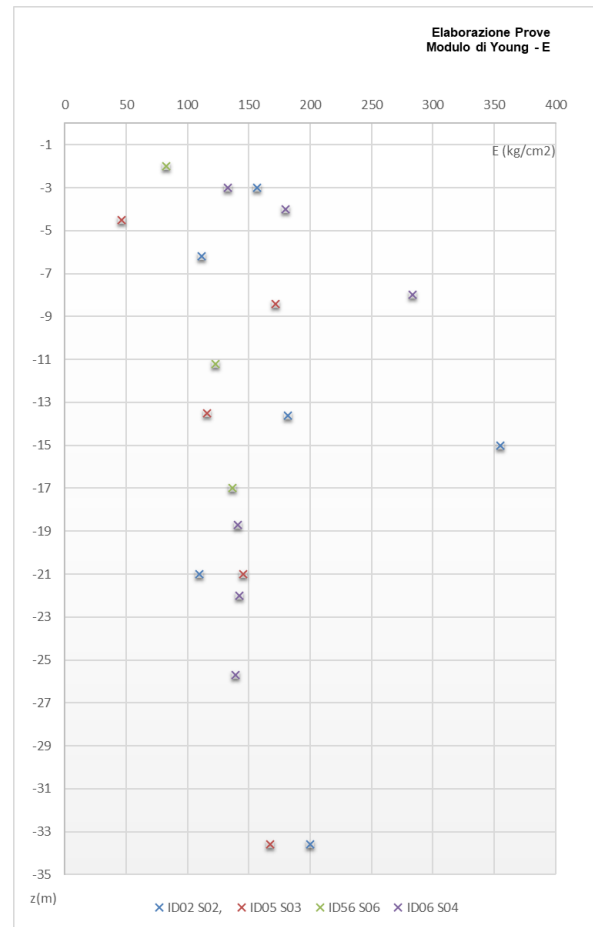
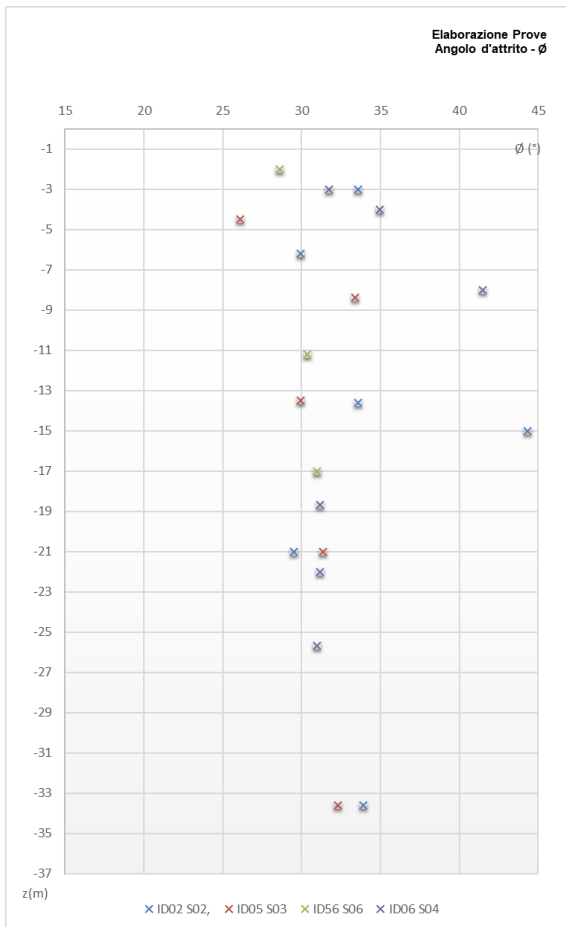
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

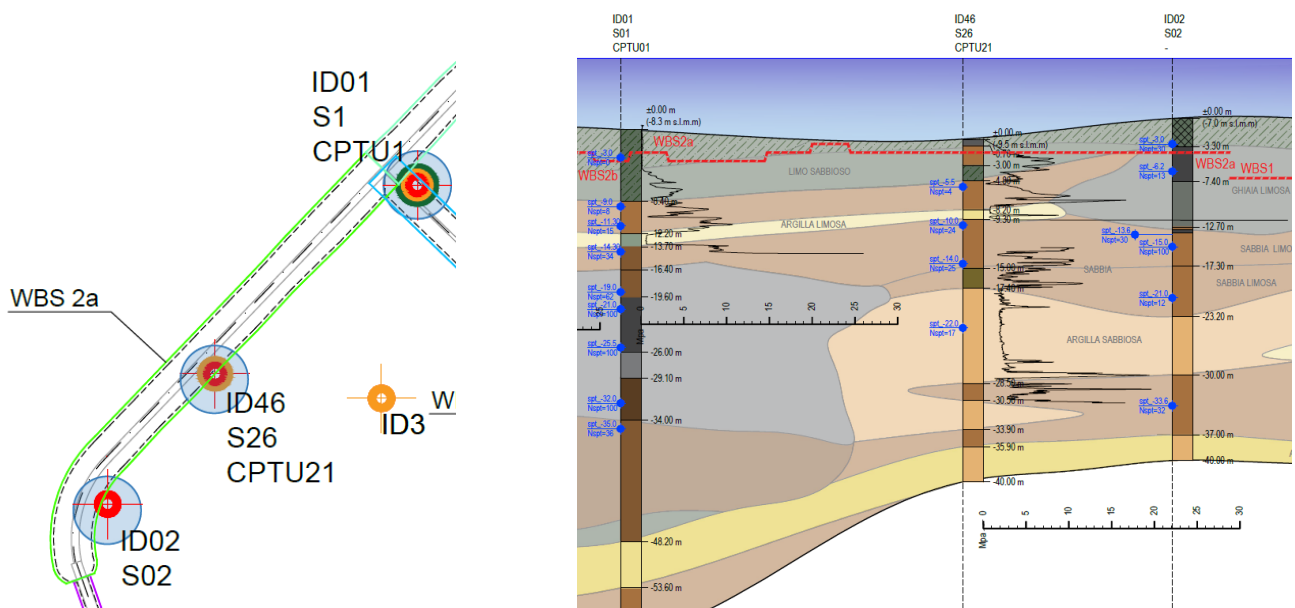
1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari



4.5.2 WBS2a

I parametri per la determinazione del terreno della WBS2a vengono stabiliti a partire dai sondaggi ID01, ID46, ID02 come mostrato in figura seguente.



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

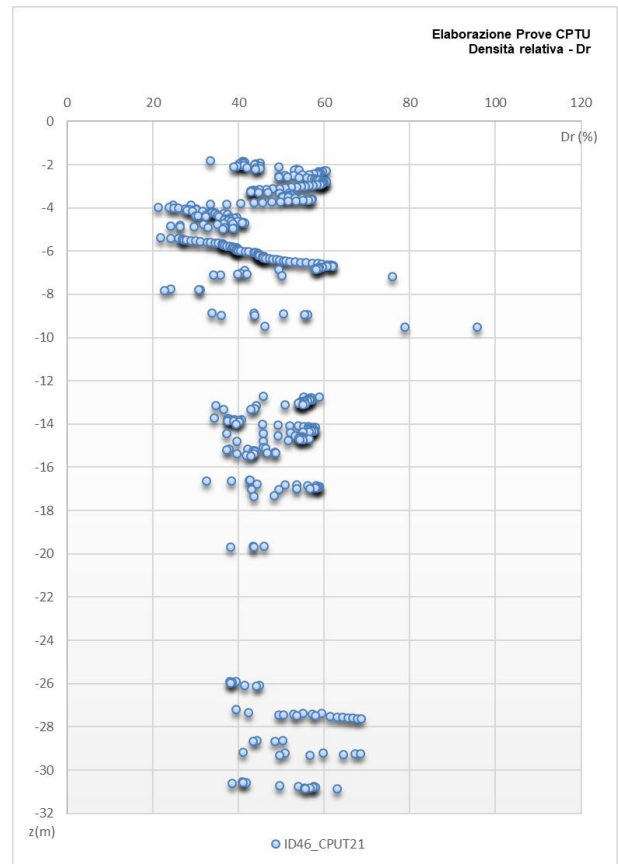
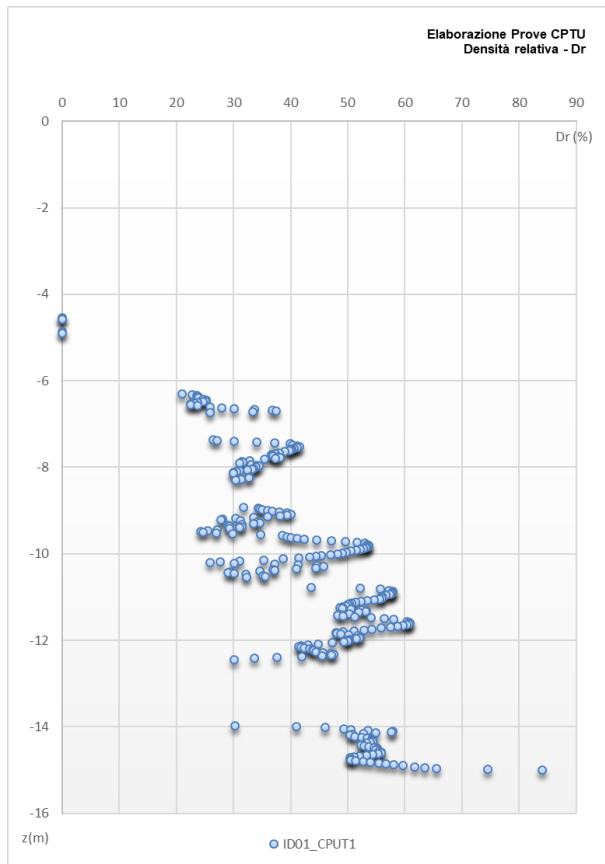
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

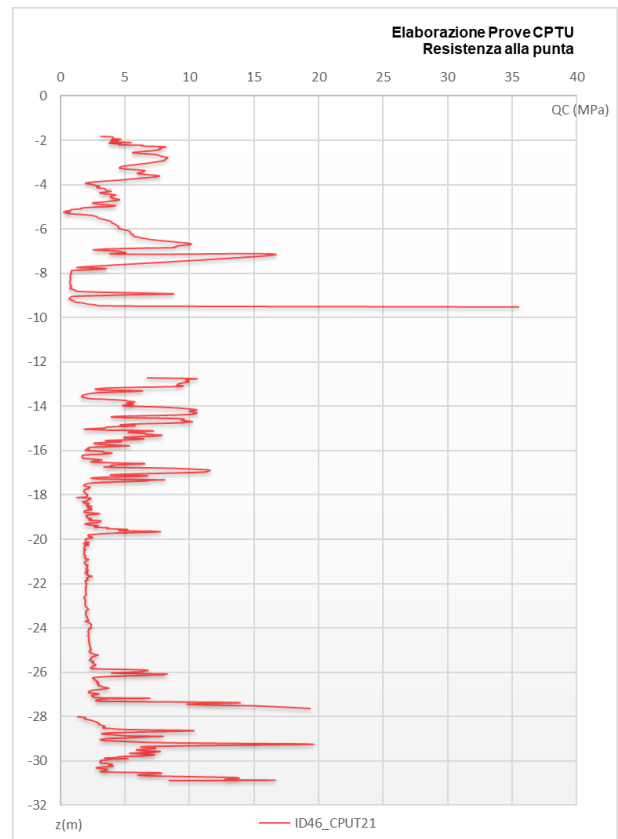
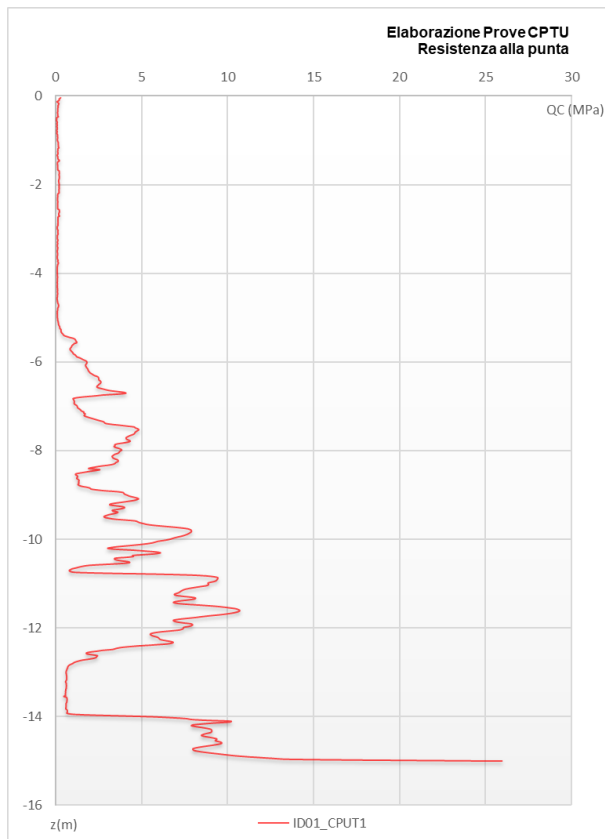
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Densità ID01 (a sinistra) e ID46 (a destra)



- Resistenza di punta ID01 (a sinistra) e ID46 (a destra)



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

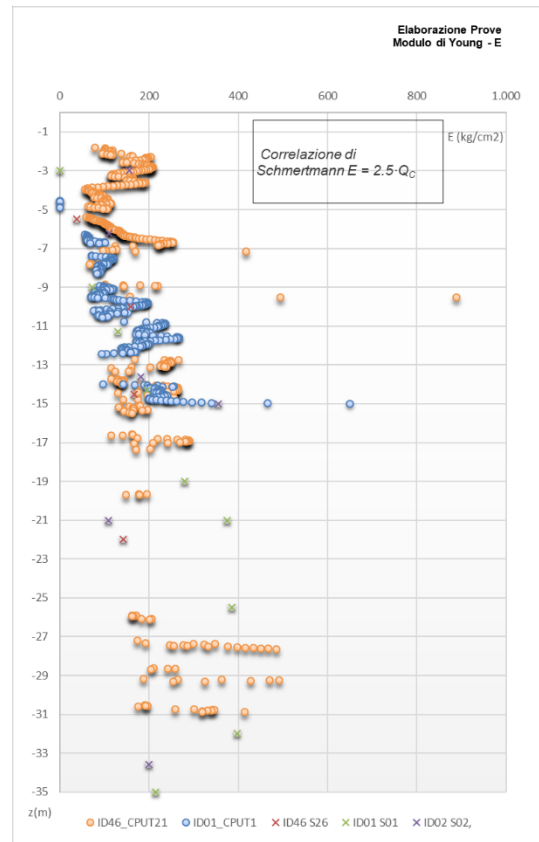
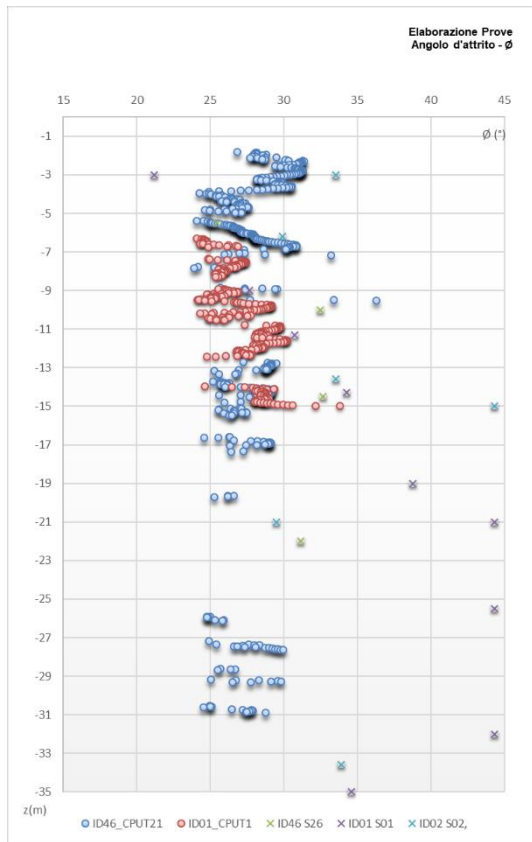
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

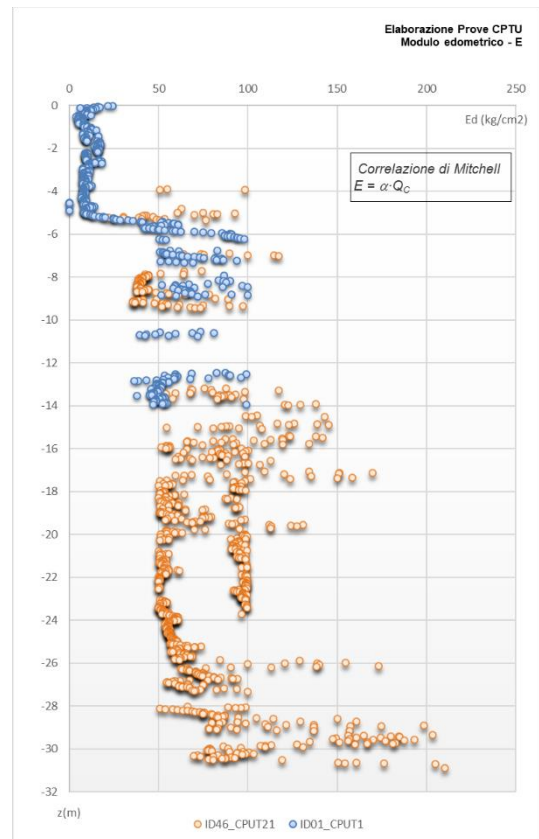
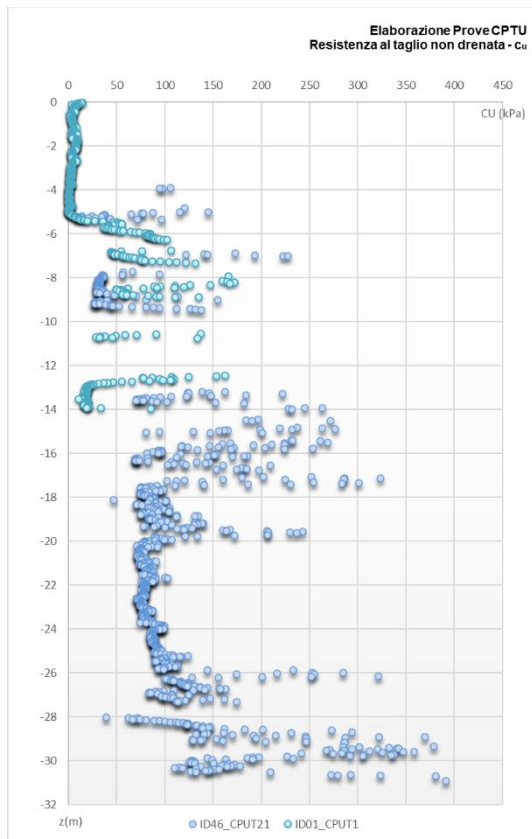
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari



- Formazioni coesive



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

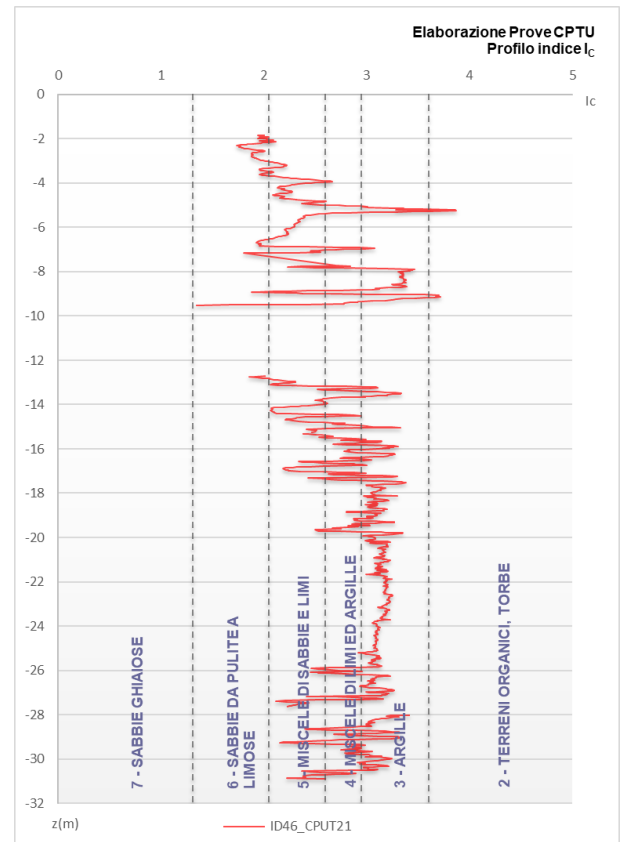
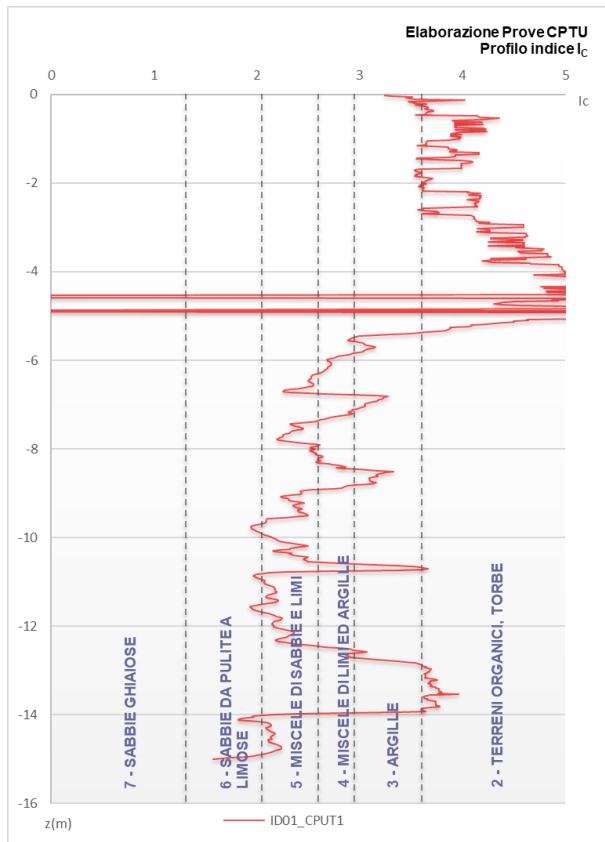
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

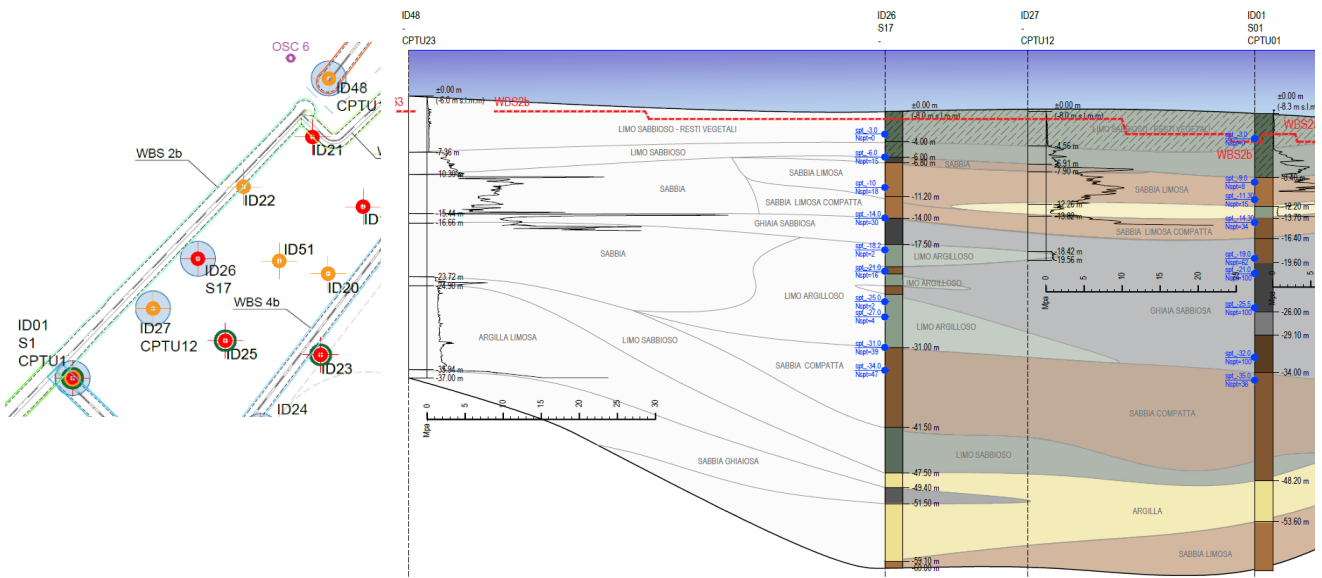
1233_PP-B-003_0.docx

- Indice Ic ID01 (a sinistra) e ID46 (a destra)



4.5.3 WBS2b

I parametri per la determinazione del terreno della WBS2b vengono stabiliti a partire dai sondaggi ID01, ID26, ID27 e ID48 come mostrato in figura seguente. Il terreno si presenta inizialmente con scarse caratteristiche nei primi 4 metri circa, a causa della presenza di resti vegetali. Tra l'ID26 e ID01 è presente uno strato di ghiaia a matrice sabbiosa molto rigida, da quota -25 e i -42 m s.l.m.m circa.



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

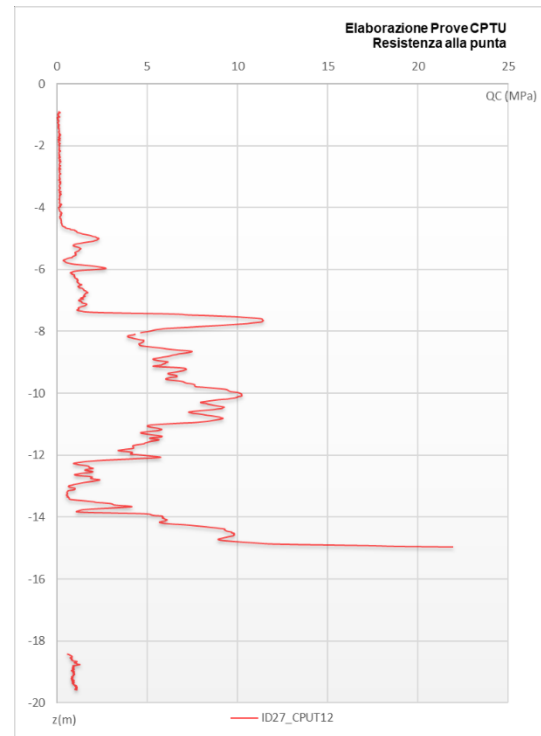
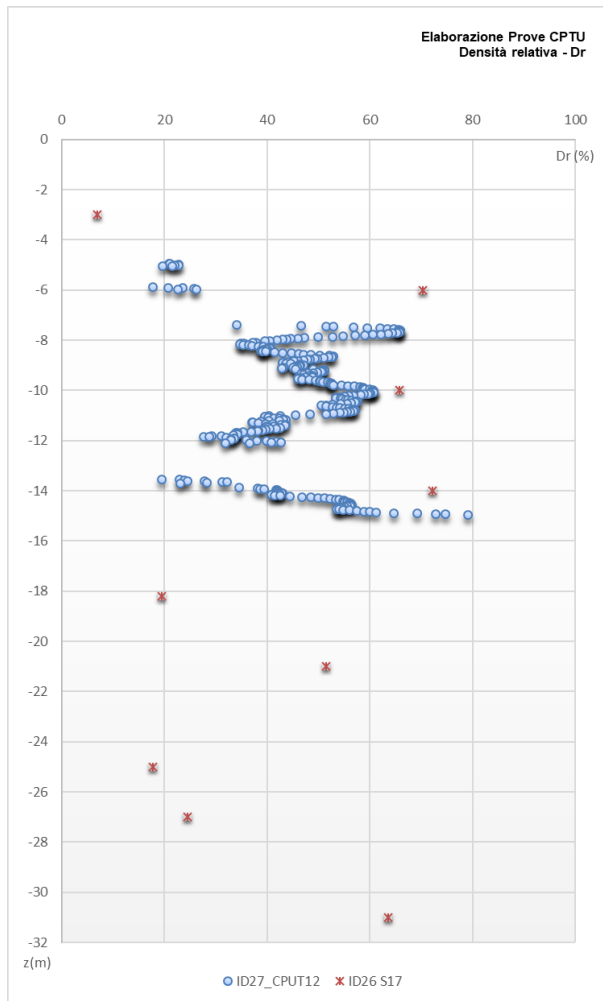
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Densità ID26-ID27 e Resistenza di punta ID27



La resistenza di punta Q_c , la densità relativa Dr e il parametro l_c della ID01 sono riportate nella WBS 2a mentre gli stessi parametri per la ID48 sono visibili nella WBS3.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

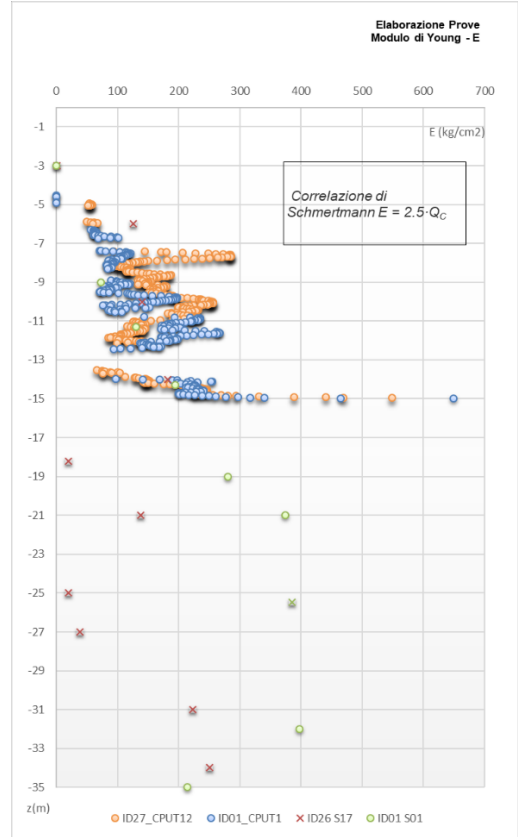
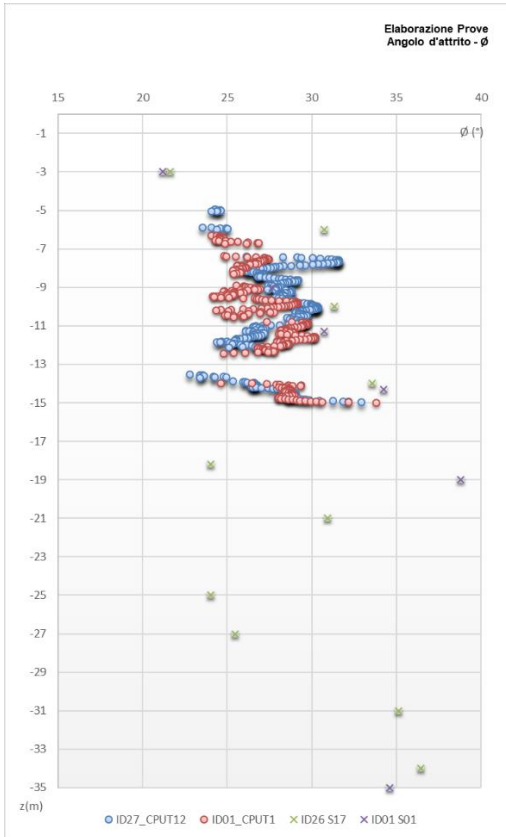
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

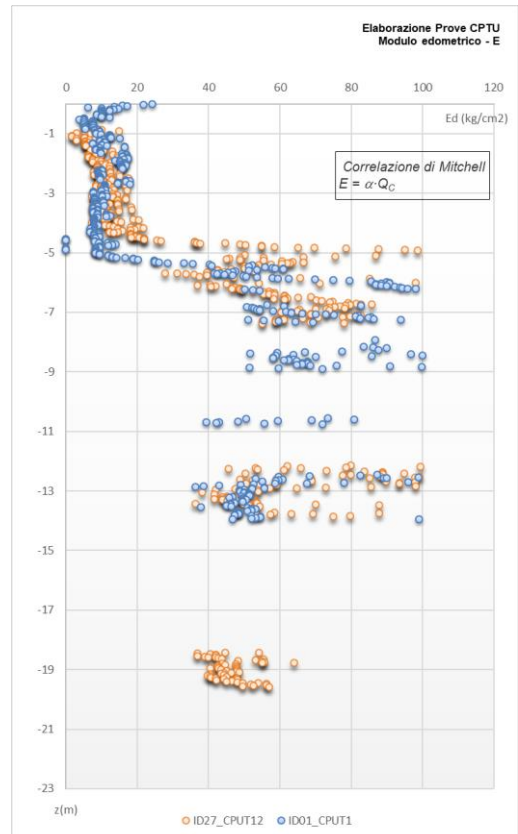
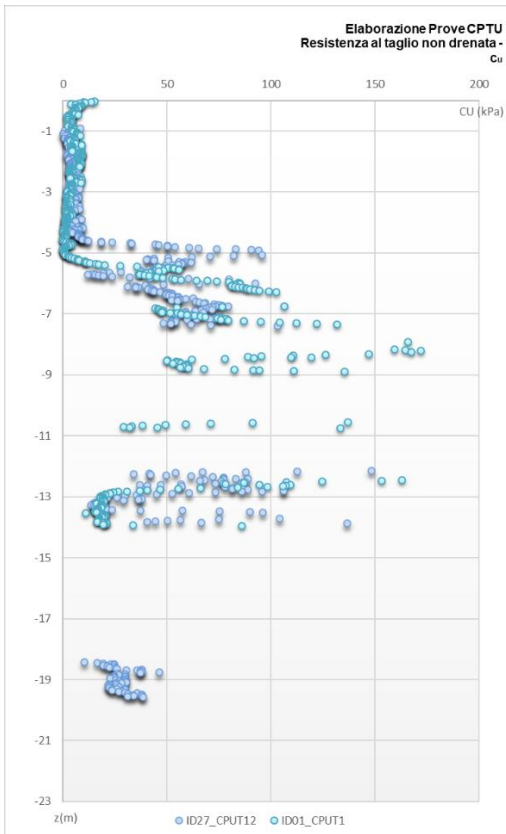
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari



- Formazioni coesive



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

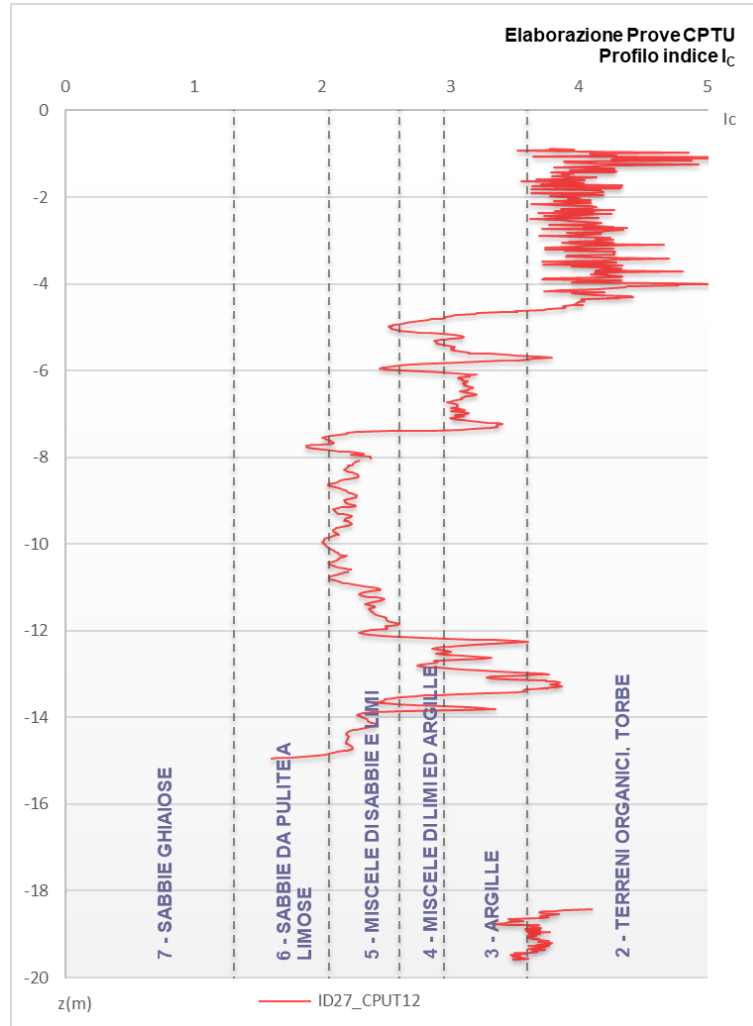
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Indice I_c



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

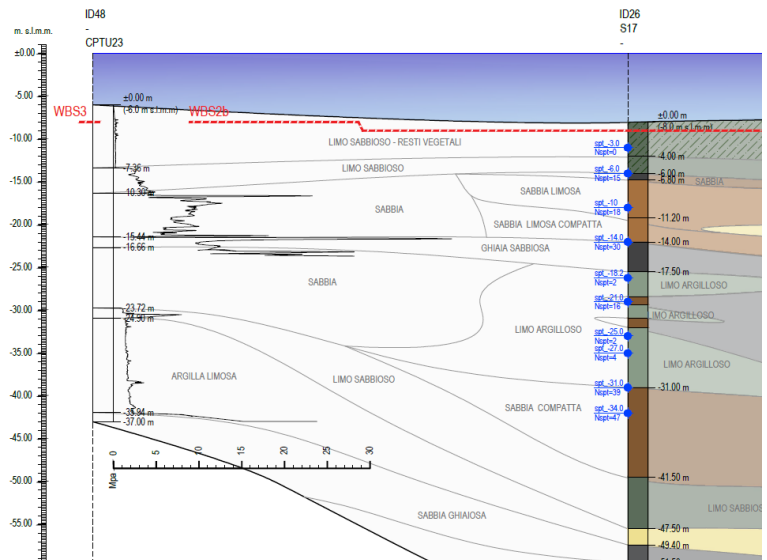
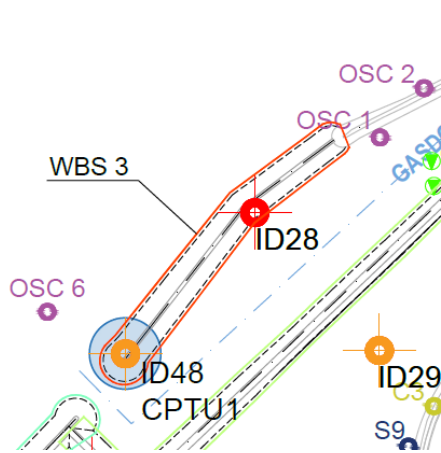
Elaborato:

PARTE GENERALE

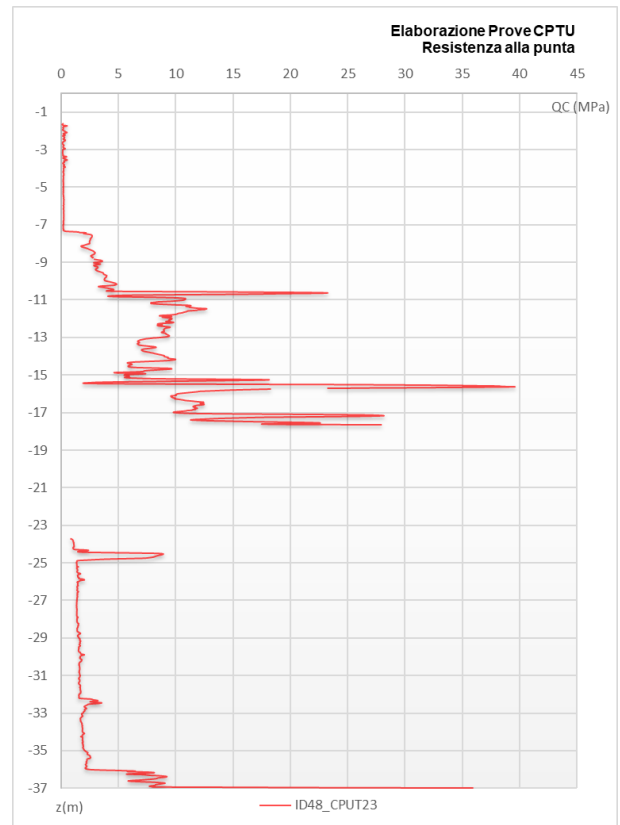
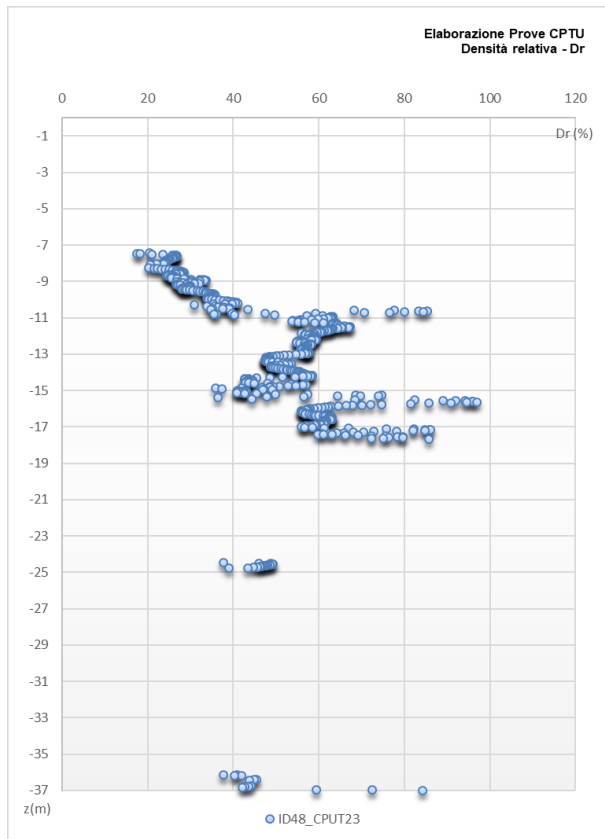
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.4 WBS3

I parametri per la determinazione del terreno della WBS3 vengono stabiliti a partire dal sondaggio ID48 come mostrato in figura seguente. Il terreno si presenta inizialmente con scarse caratteristiche nei primi metri per via della presenza di resti vegetali per poi addensarsi in profondità con la presenza di sabbia fino a -24 m circa e successivamente di argilla limosa.



- Densità e Resistenza di punta



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

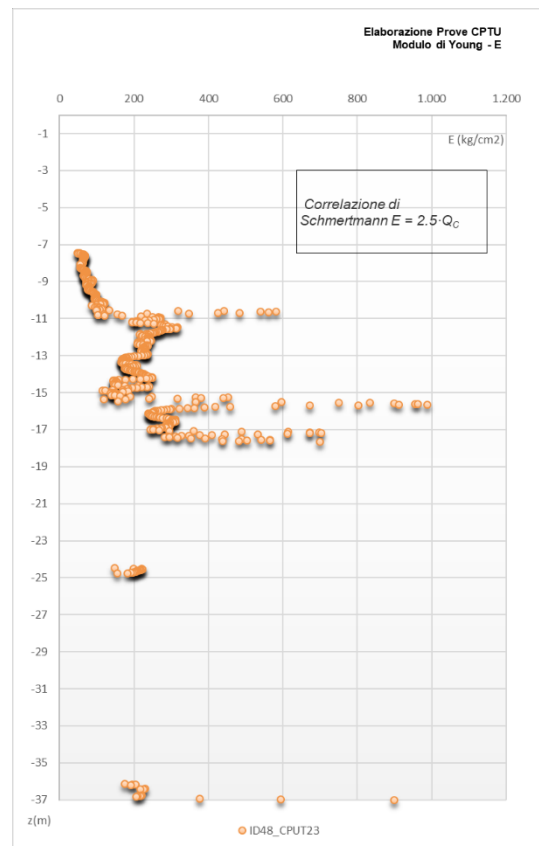
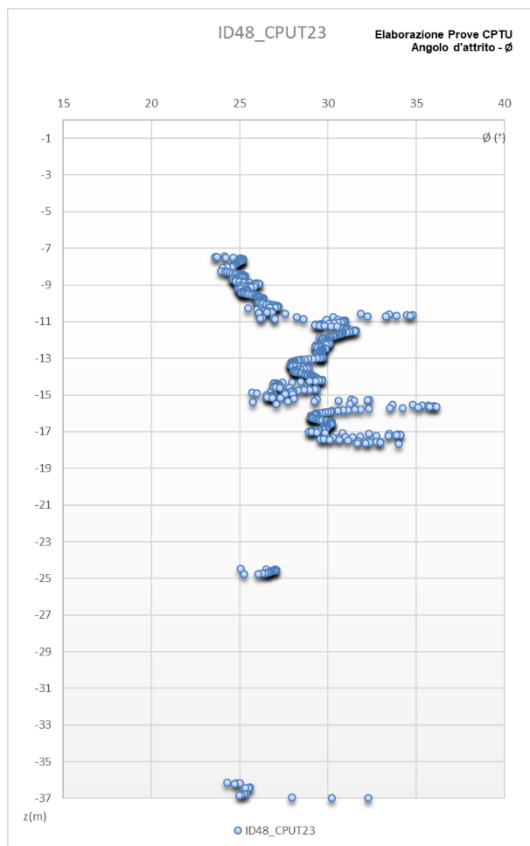
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

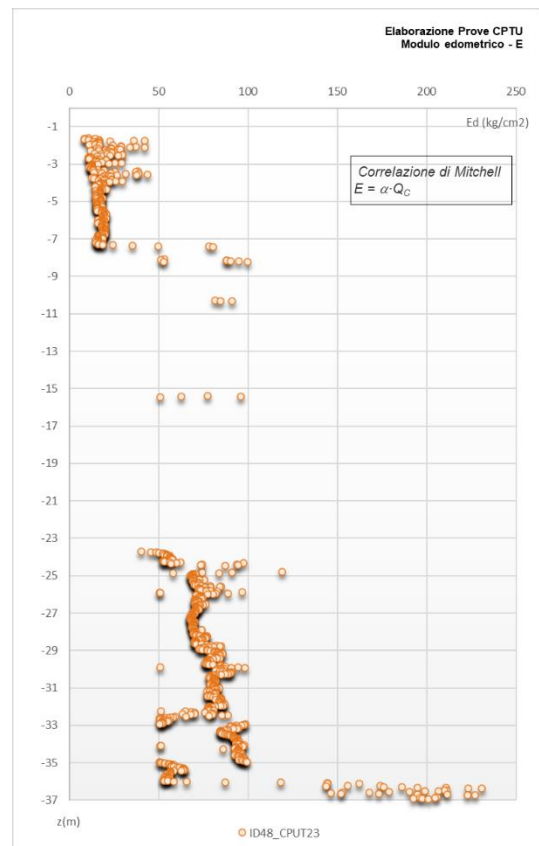
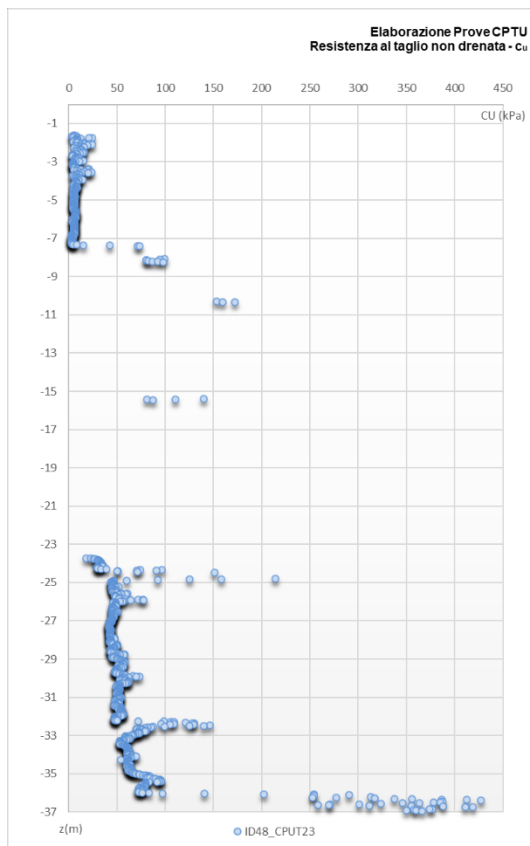
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari



- Formazioni coesive



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

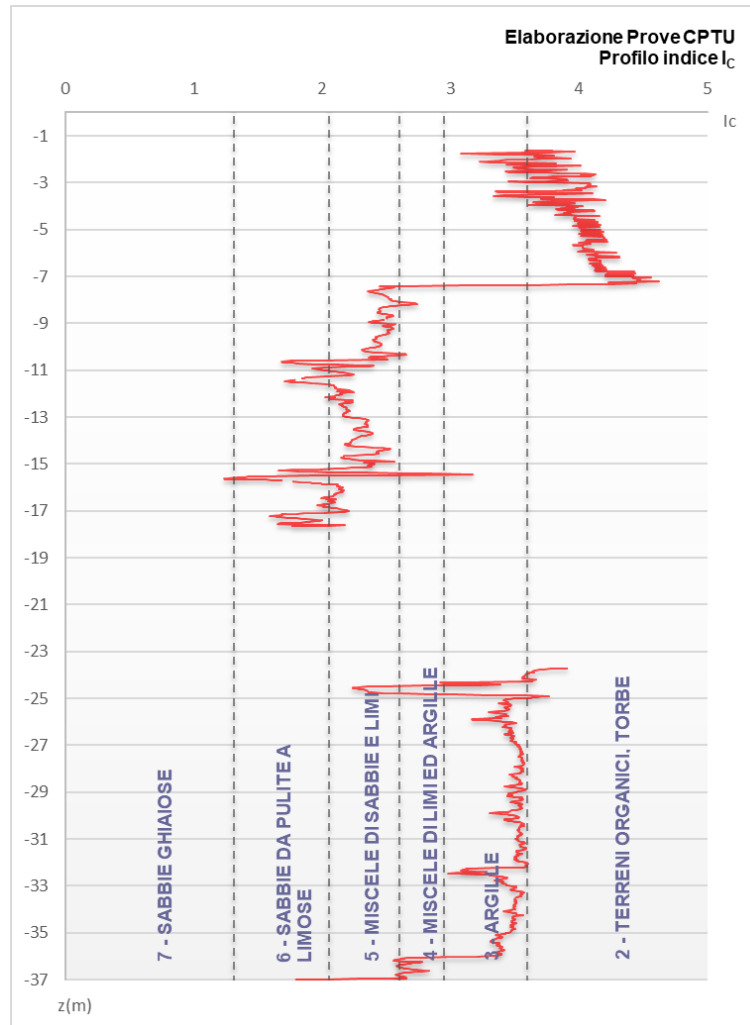
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

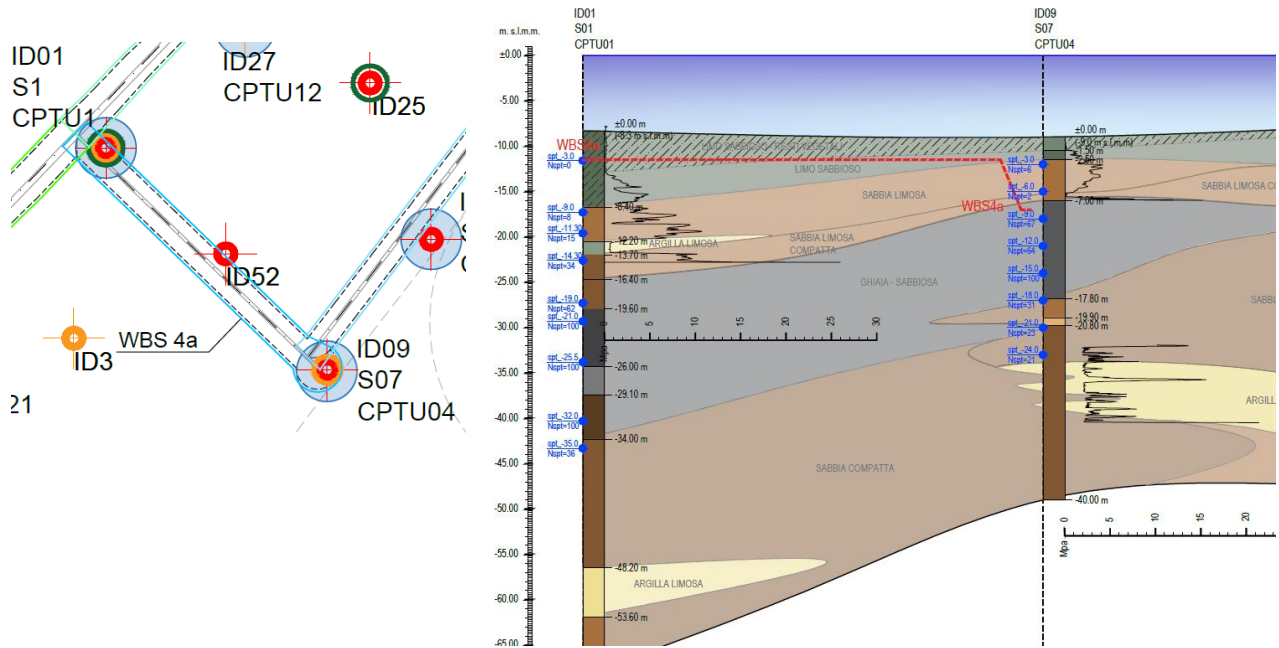
Elaborato:

PARTE GENERALE

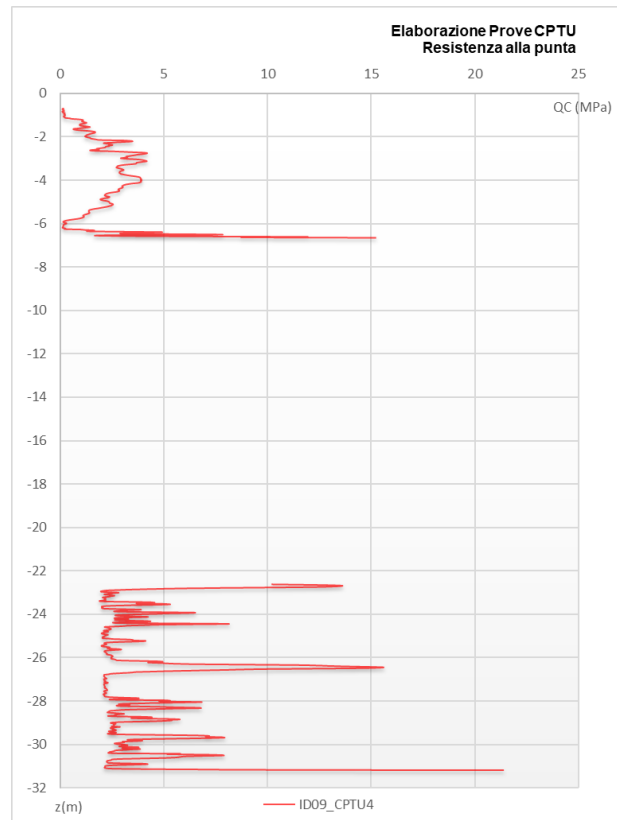
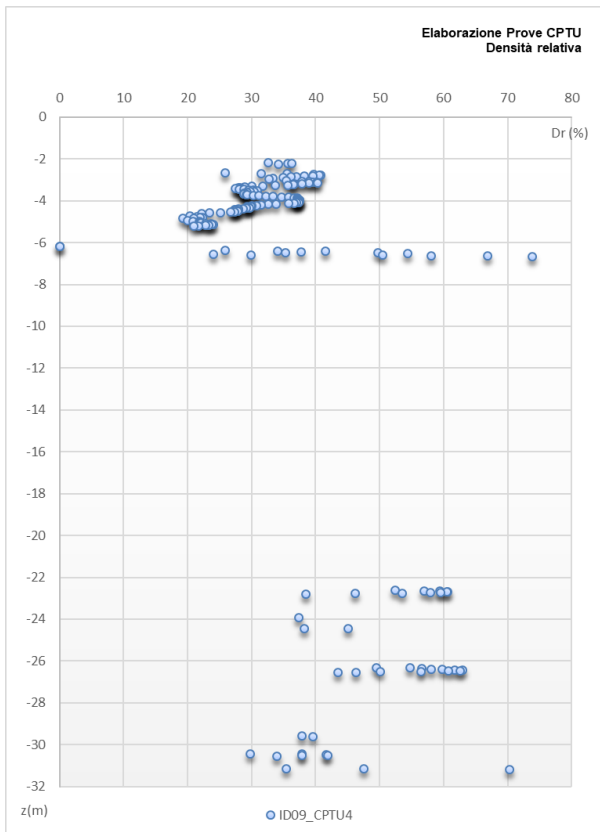
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.5 WBS4a

I parametri per la determinazione del terreno della WBS4a vengono individuati a partire dal sondaggio ID01 e ID09 come mostrato in figura seguente. Il terreno presenta caratteristiche di rigidità elevata data la presenza di strati sabbiosi e di uno strato ghiaioso a matrice sabbiosa.



- Densità e Resistenza di punta della ID09



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

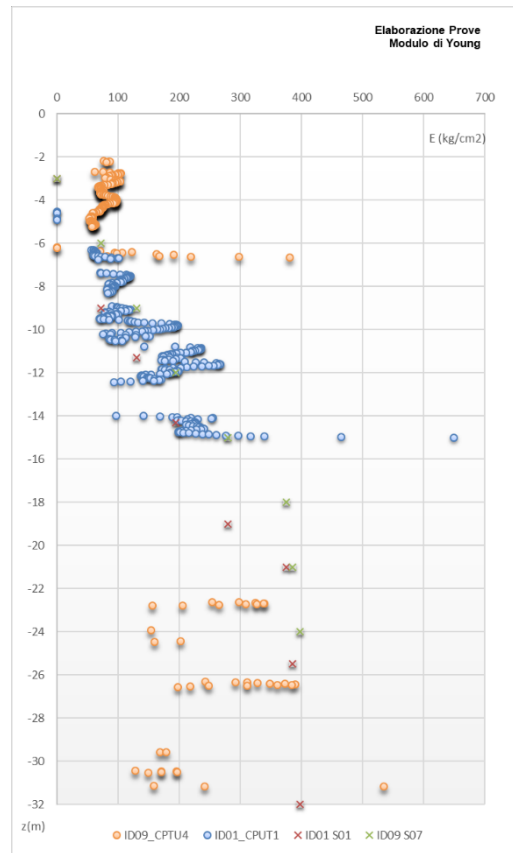
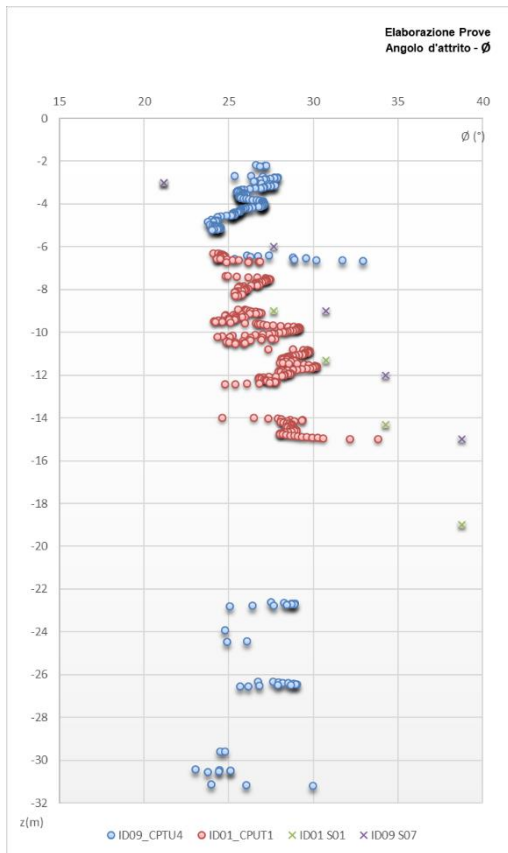
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

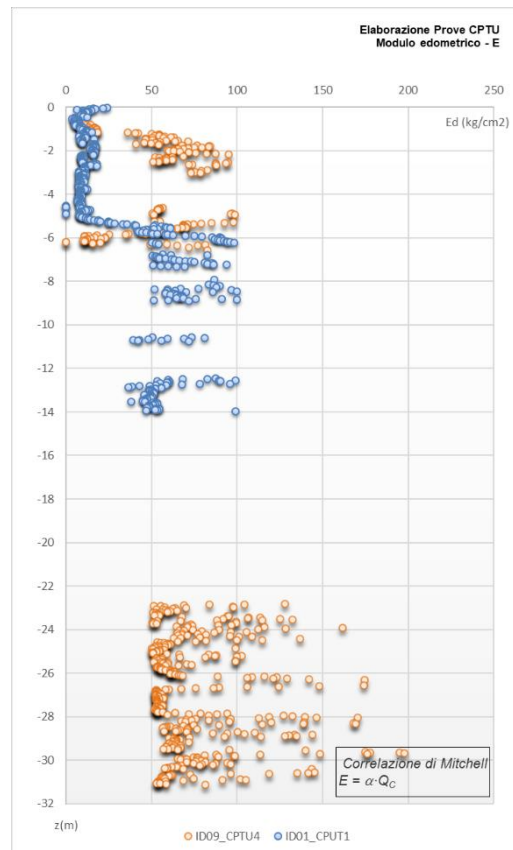
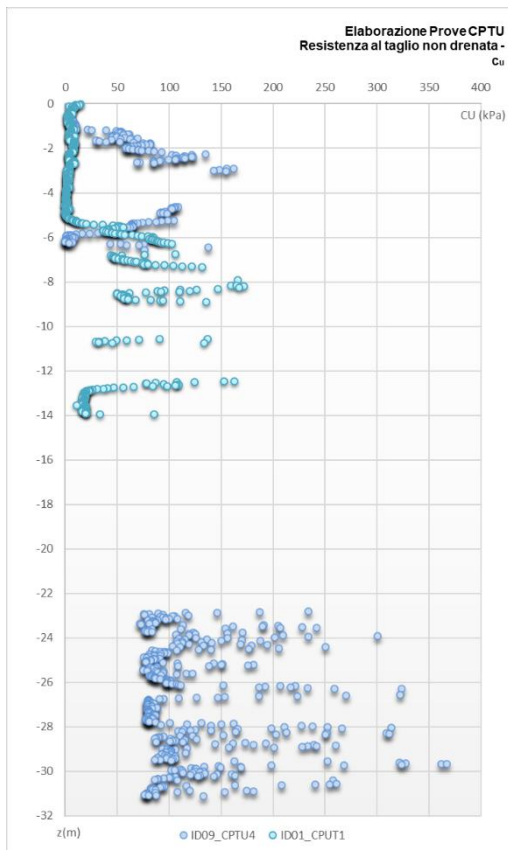
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari ID01-ID09



- Formazioni coesive ID01-ID09



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

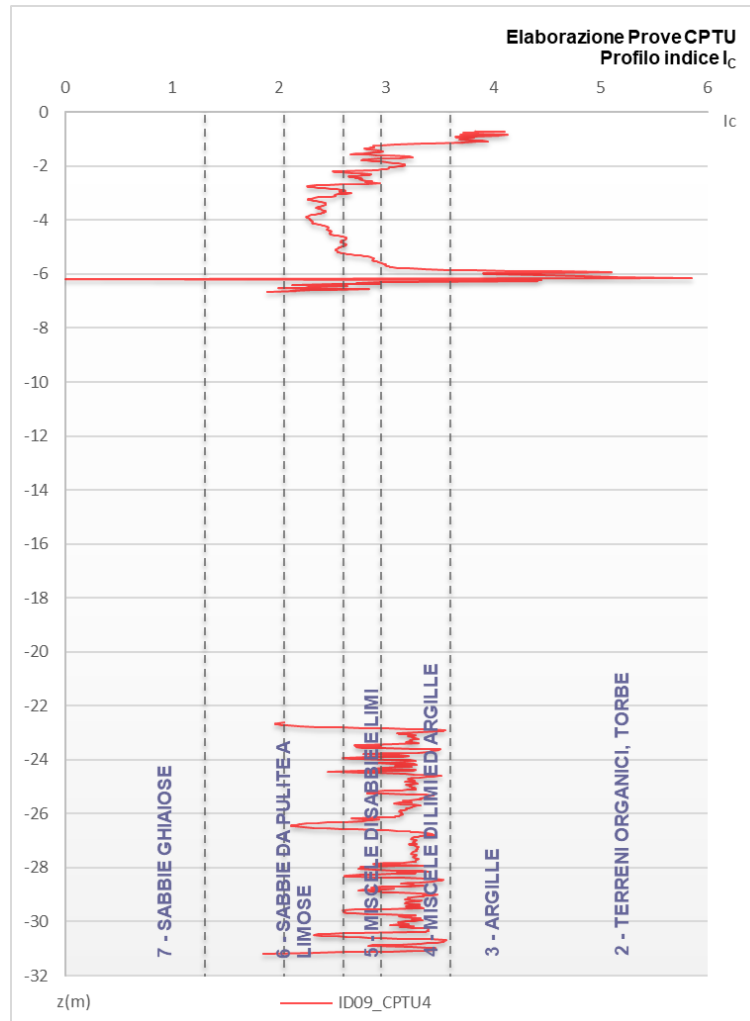
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c



I parametri della ID01 (D_r , Q_c e I_c) sono rappresentate precedentemente nella WBS2a

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

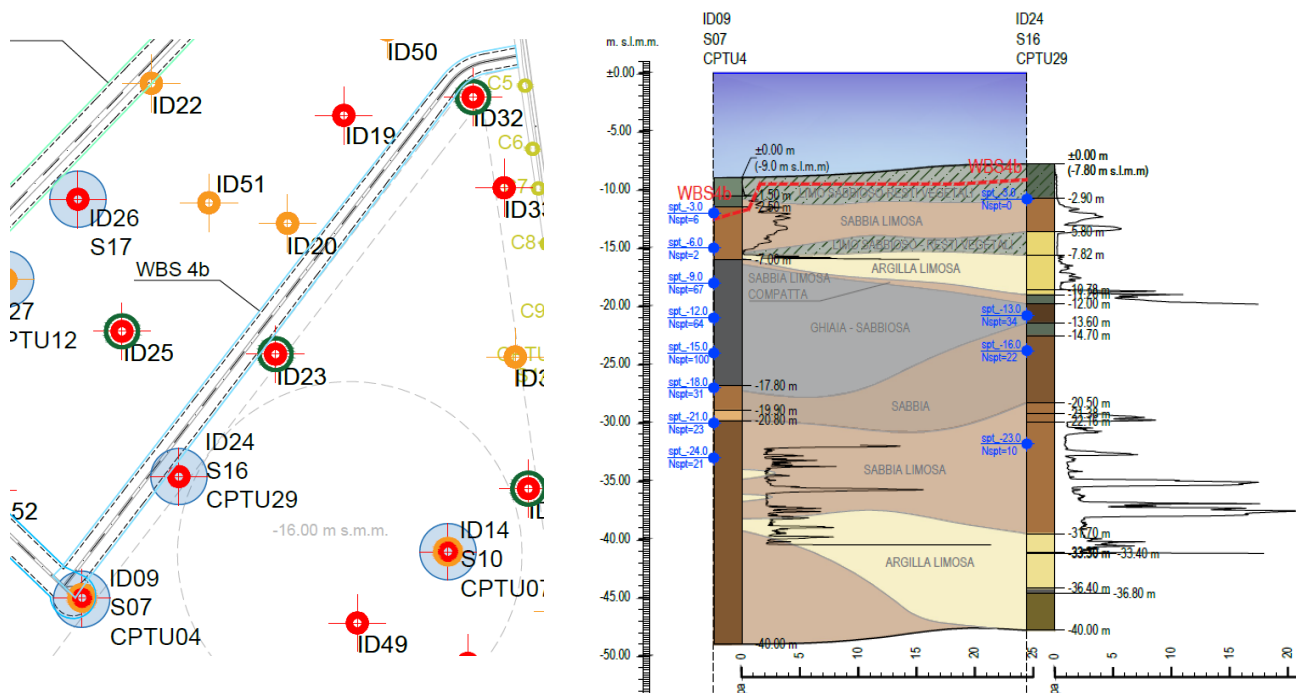
Elaborato:

PARTE GENERALE

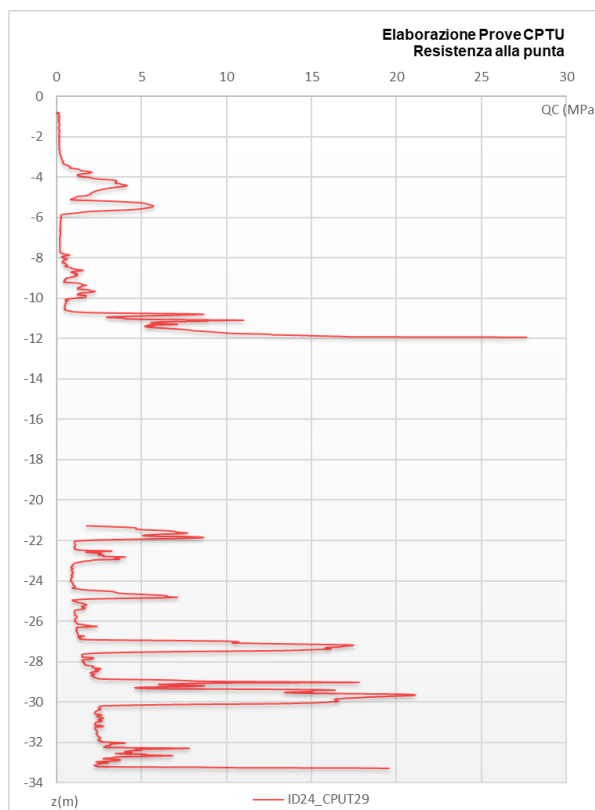
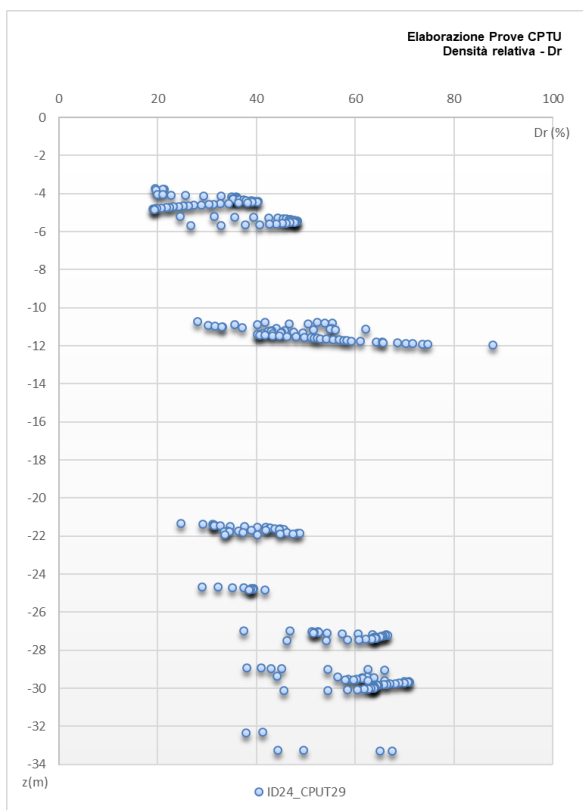
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.6 WBS4b

I parametri per la determinazione del terreno della WBS4b vengono stabiliti a partire dal sondaggio ID09 e ID24 come mostrato in figura seguente. Il terreno presenta caratteristiche di rigidità elevata, in particolare nella ID09, data la presenza di strati sabbiosi e di uno strato ghiaioso a matrice sabbiosa da quota -24.7 a quota -42.3 m s.l.m.m, similamente a quanto avviene nella WBS4a.



- Densità e Resistenza di punta della ID24



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

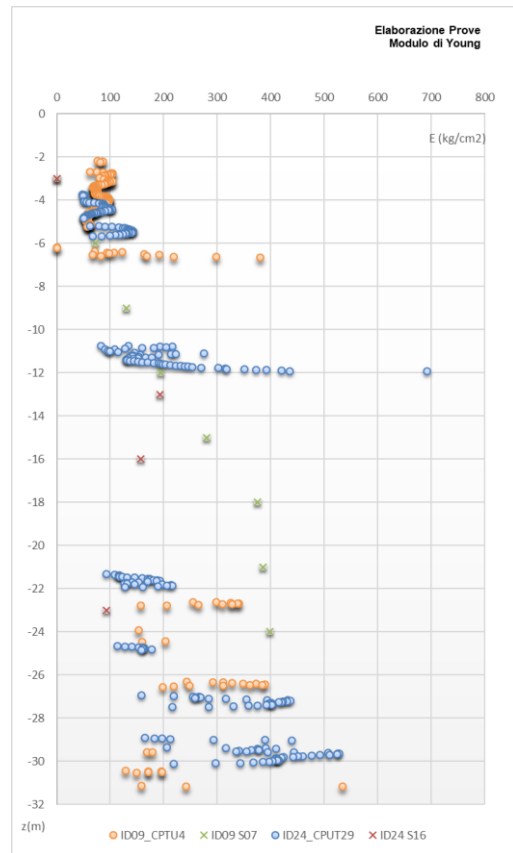
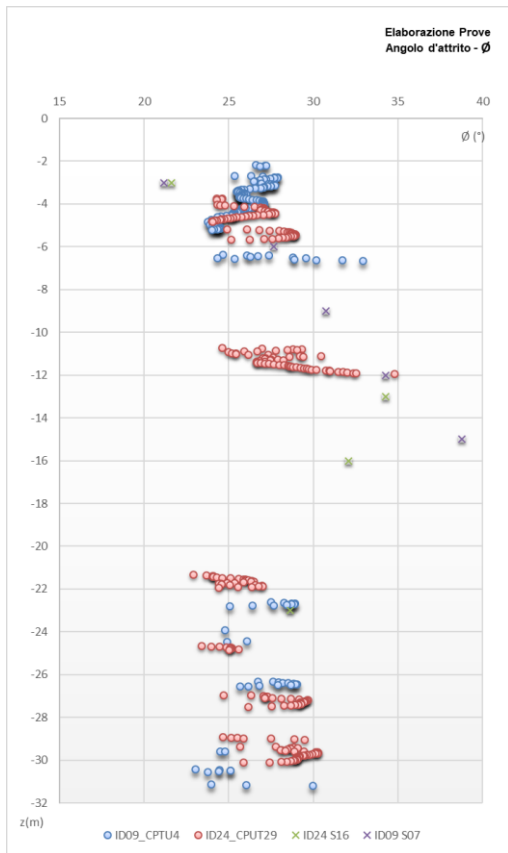
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

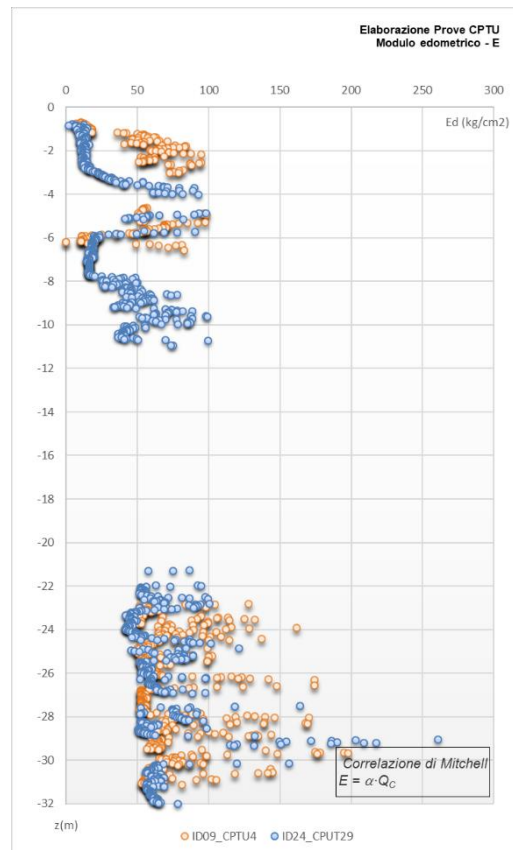
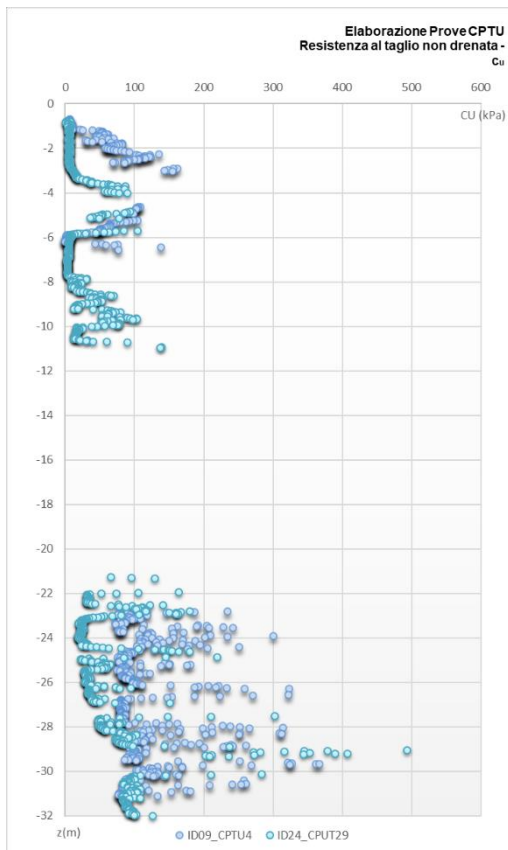
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari ID09-ID24



- Formazioni coesive ID09-ID24



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

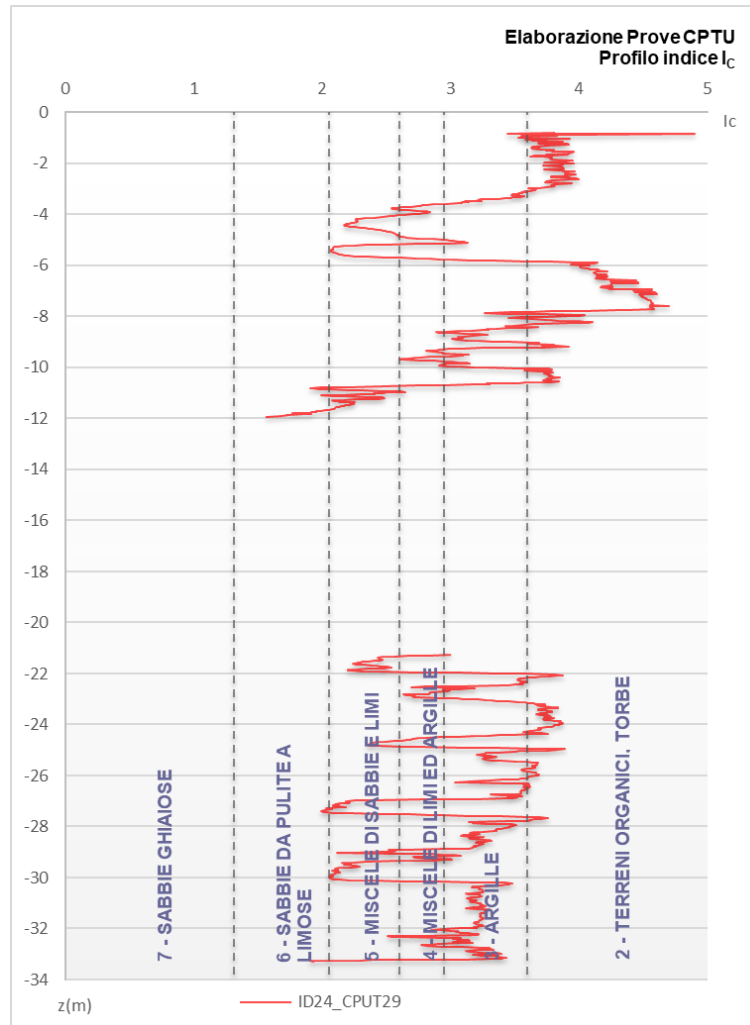
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c della ID24



I parametri della ID09 (D_r , Q_c e I_c) sono rappresentati precedentemente nella WBS4a.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

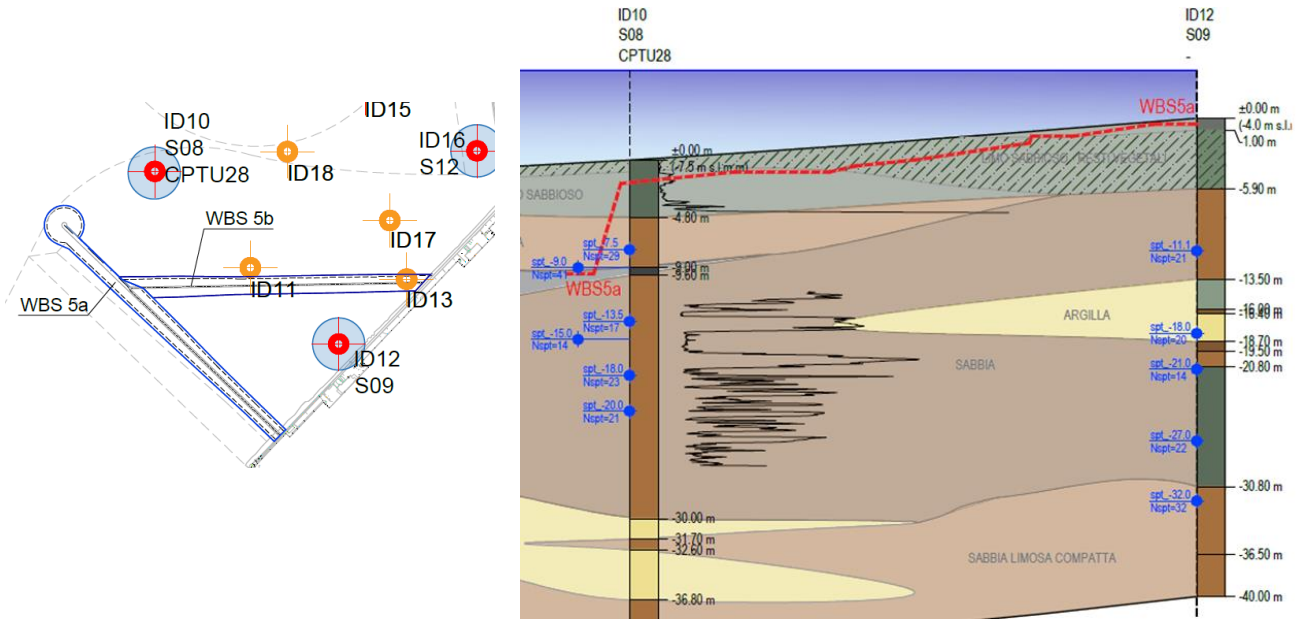
Elaborato:

PARTE GENERALE

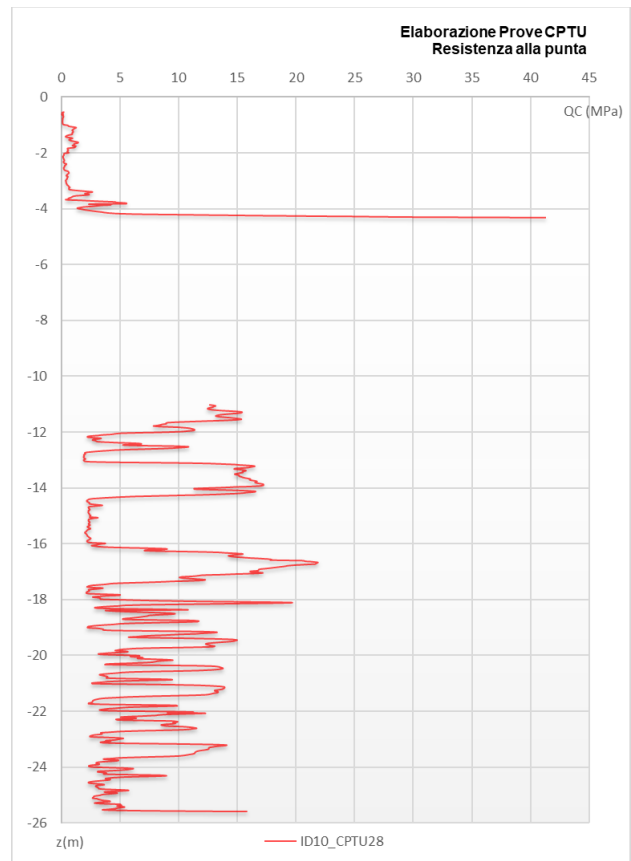
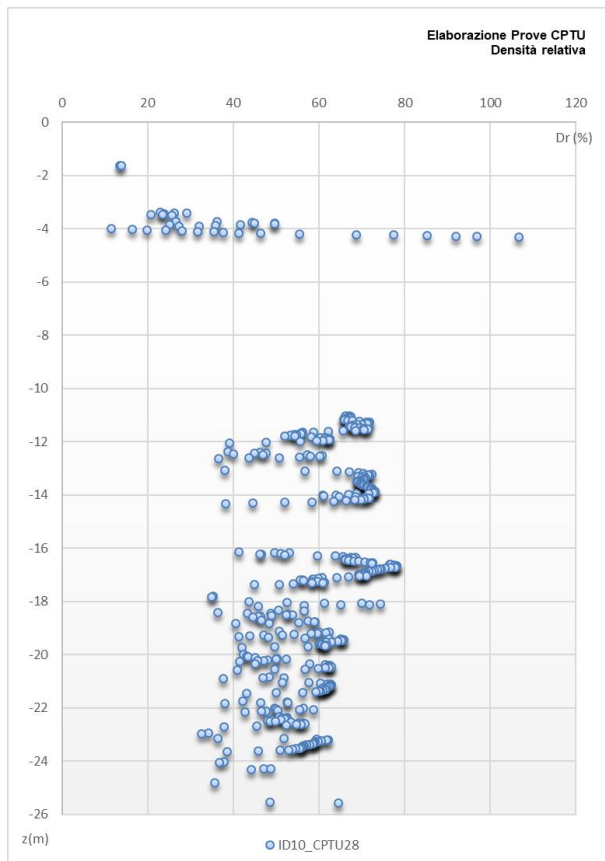
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.7 WBS5a

I parametri per la determinazione del terreno della WBS4b vengono individuati a partire dal sondaggio ID24 e ID09 come mostrato in figura seguente. Il terreno presenta caratteristiche di rigidità elevata, in particolare nella ID09, data la presenza di strati sabbiosi e di uno strato ghiaioso a matrice sabbiosa da quota -24.7 a quota -42.3 m s.l.m.m, similarmemente a quanto avviene nella WBS4a.



- Densità e Resistenza di punta della ID10



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

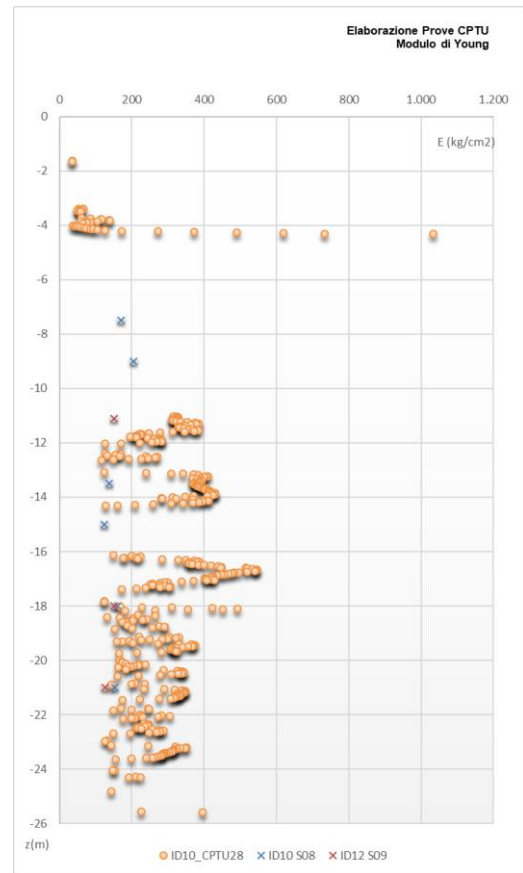
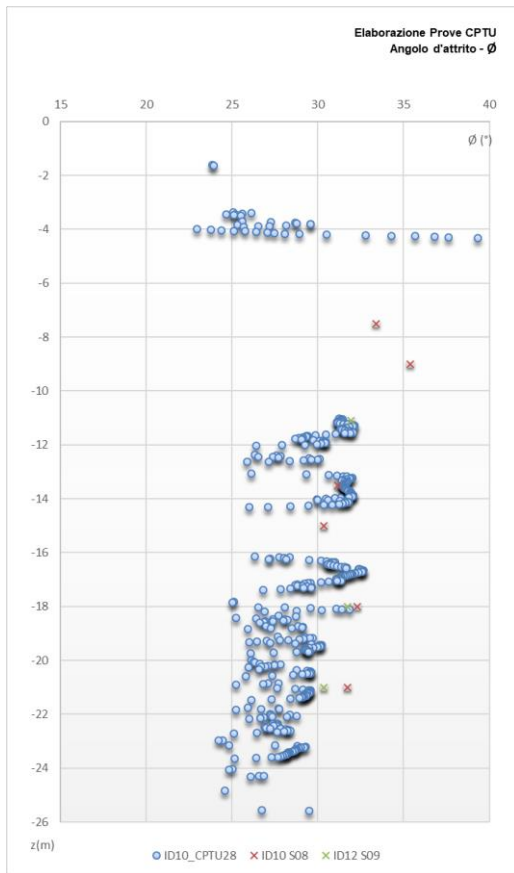
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

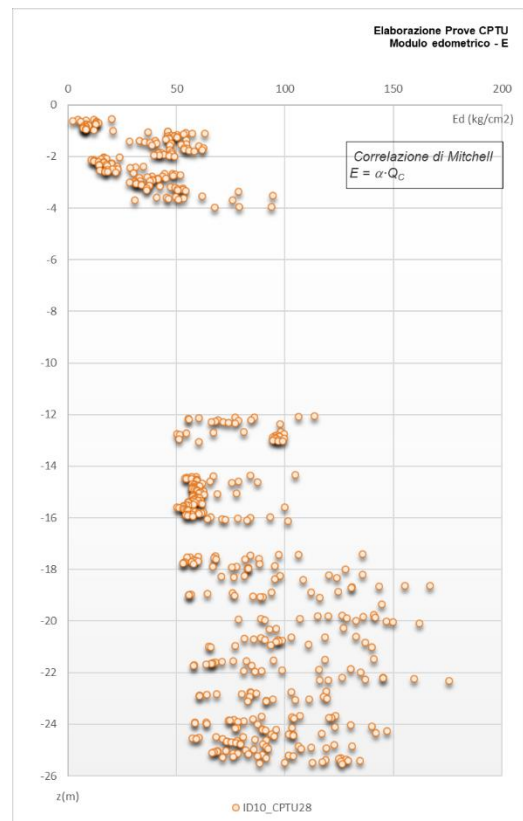
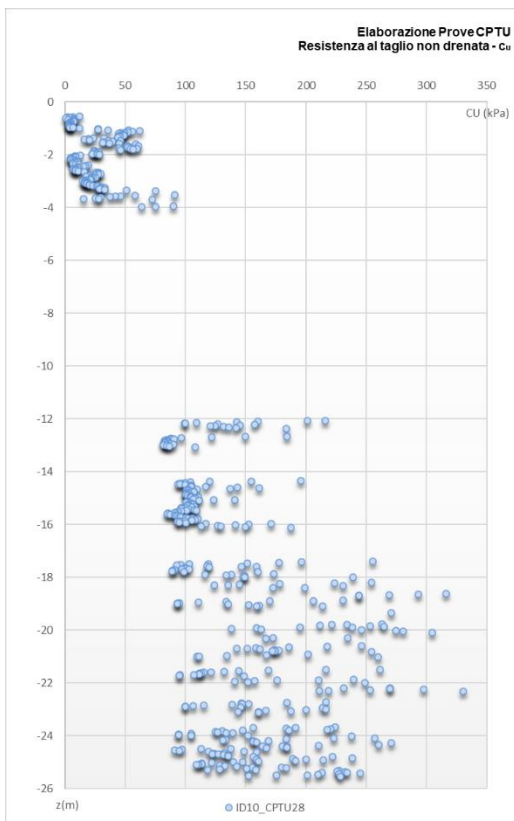
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari ID10-ID12



- Formazioni coesive ID10



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

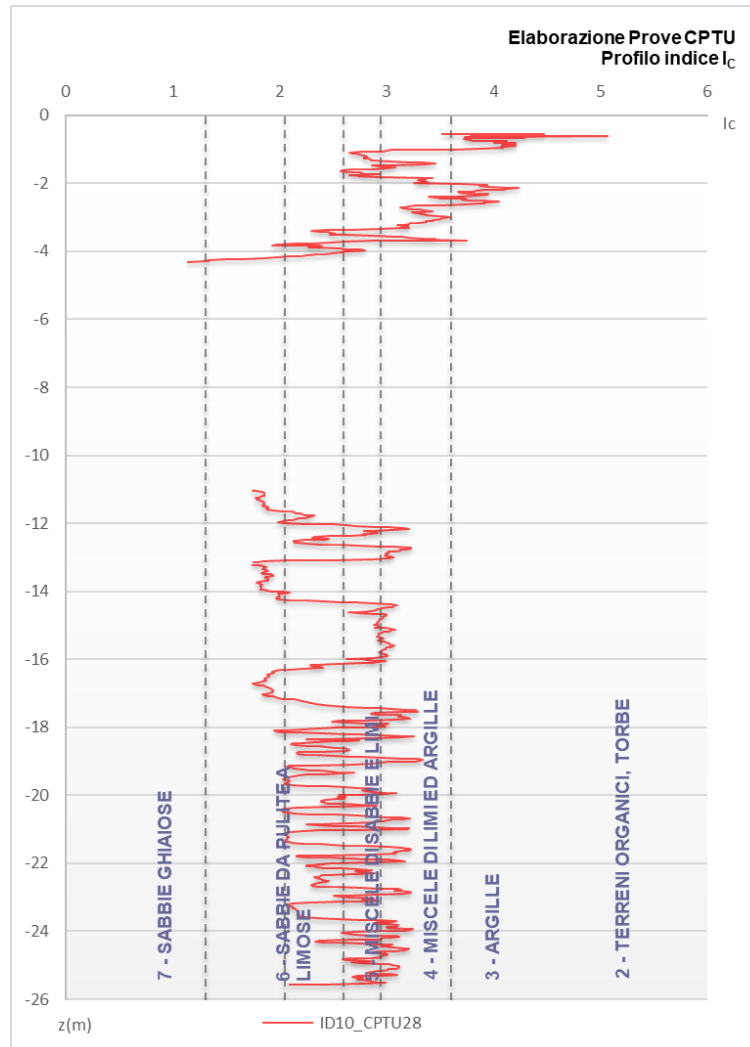
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c della ID10



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

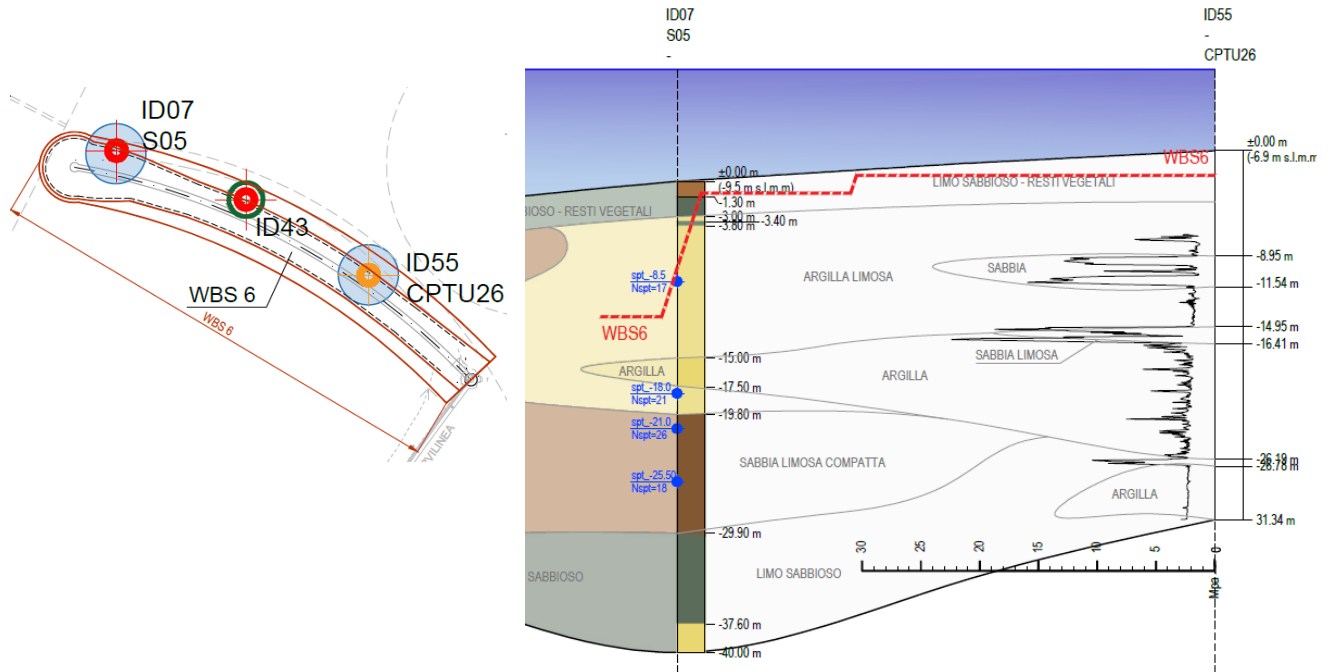
Elaborato:

PARTE GENERALE

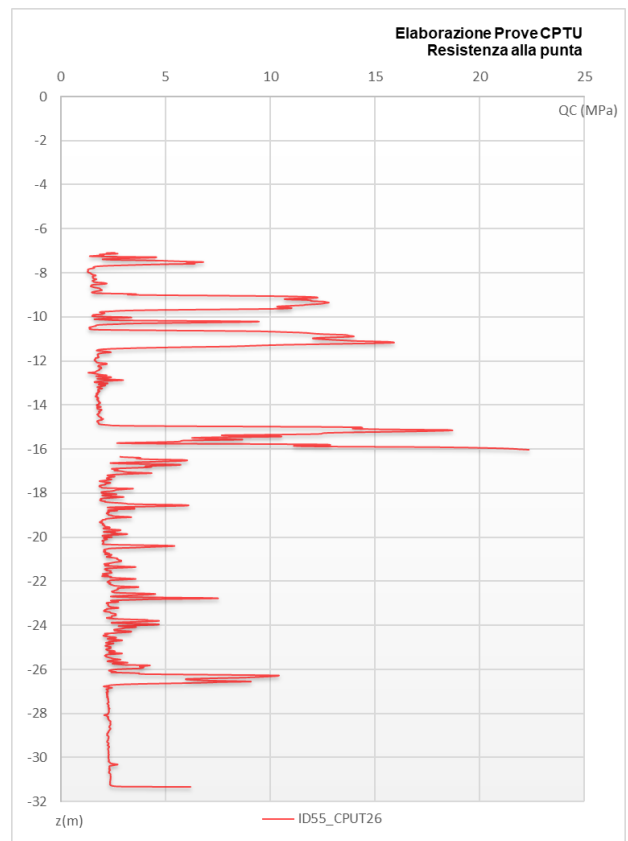
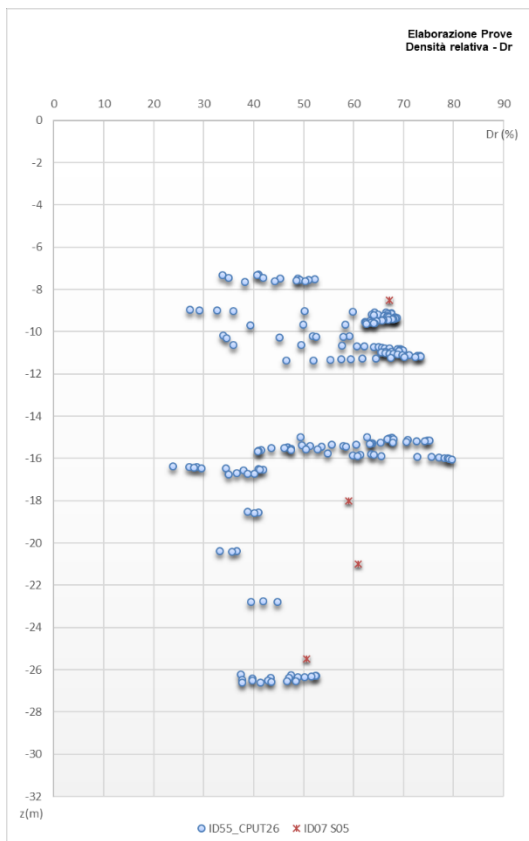
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.8 WBS6

I parametri per la determinazione del terreno della WBS6 vengono individuati a partire dal sondaggio ID07 e ID55 come mostrato in figura seguente. Similmente a quanto avviene nella WBS1 il terreno si presenta per lo più argilloso– argilloso limoso fino a quota -33 m s.l.m.m. circa.



- Densità della ID55-ID07 e Resistenza di punta della ID55



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

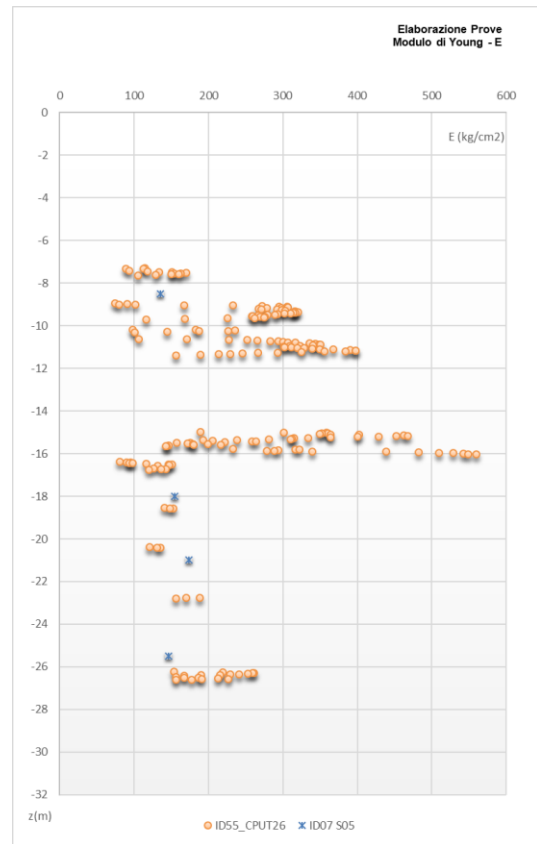
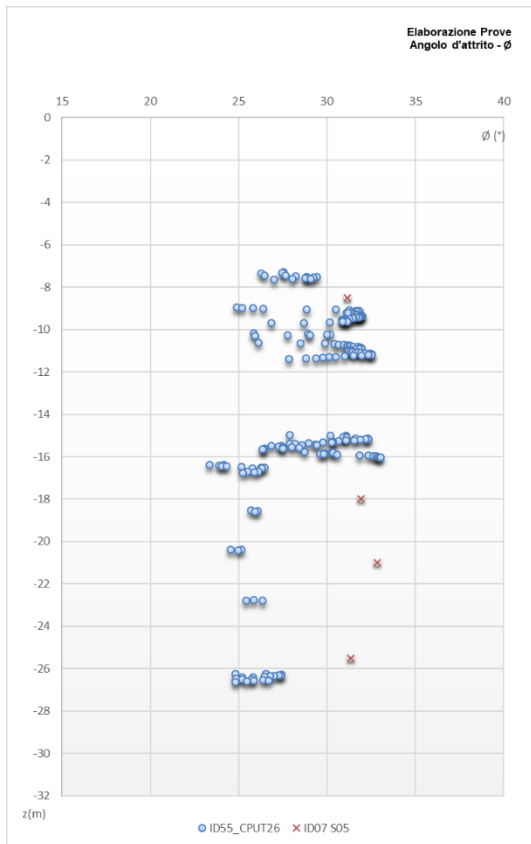
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

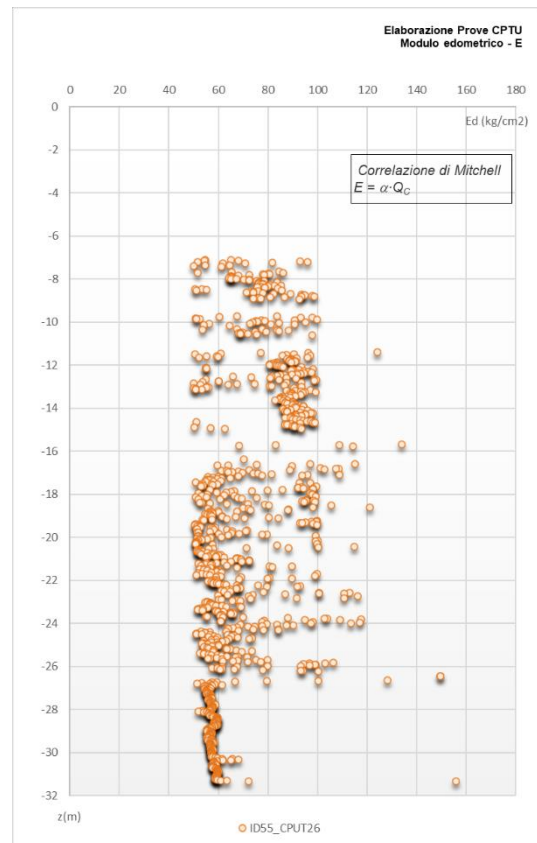
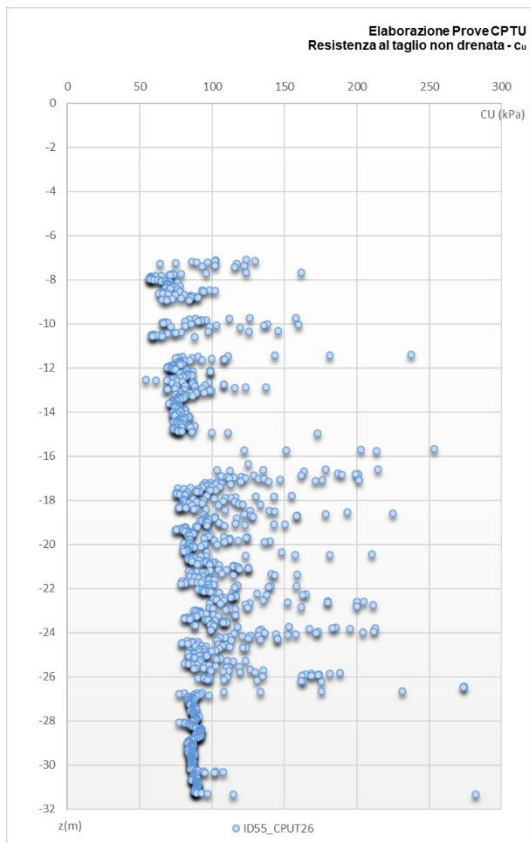
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari ID07-ID55



- Formazioni coesive della ID55



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

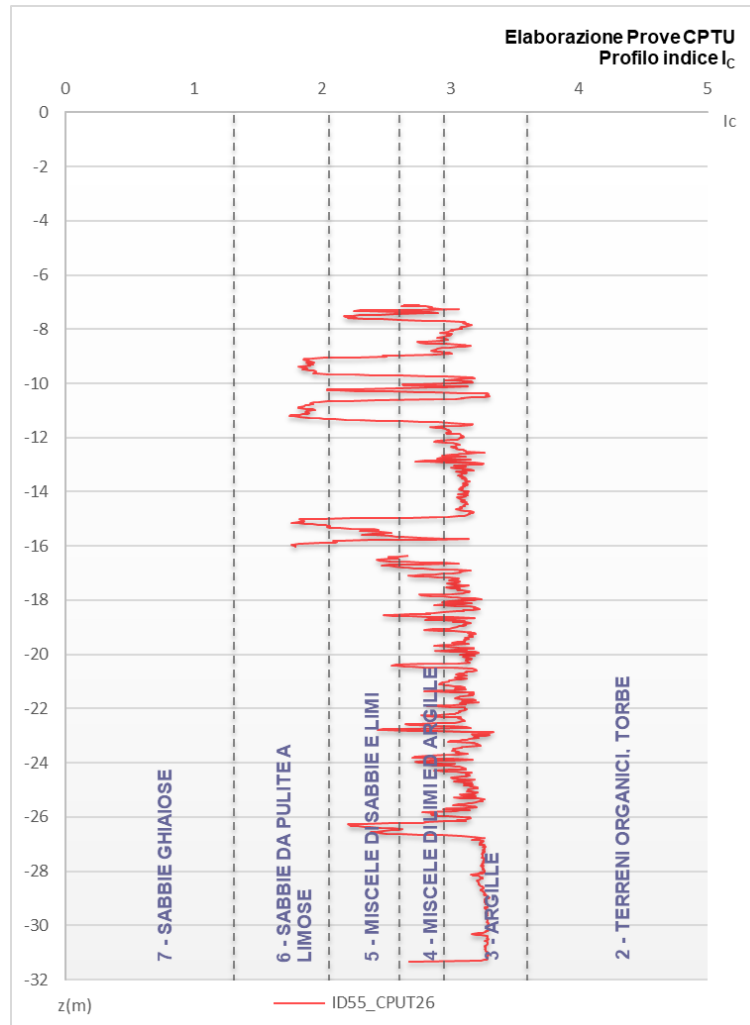
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c della ID55



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

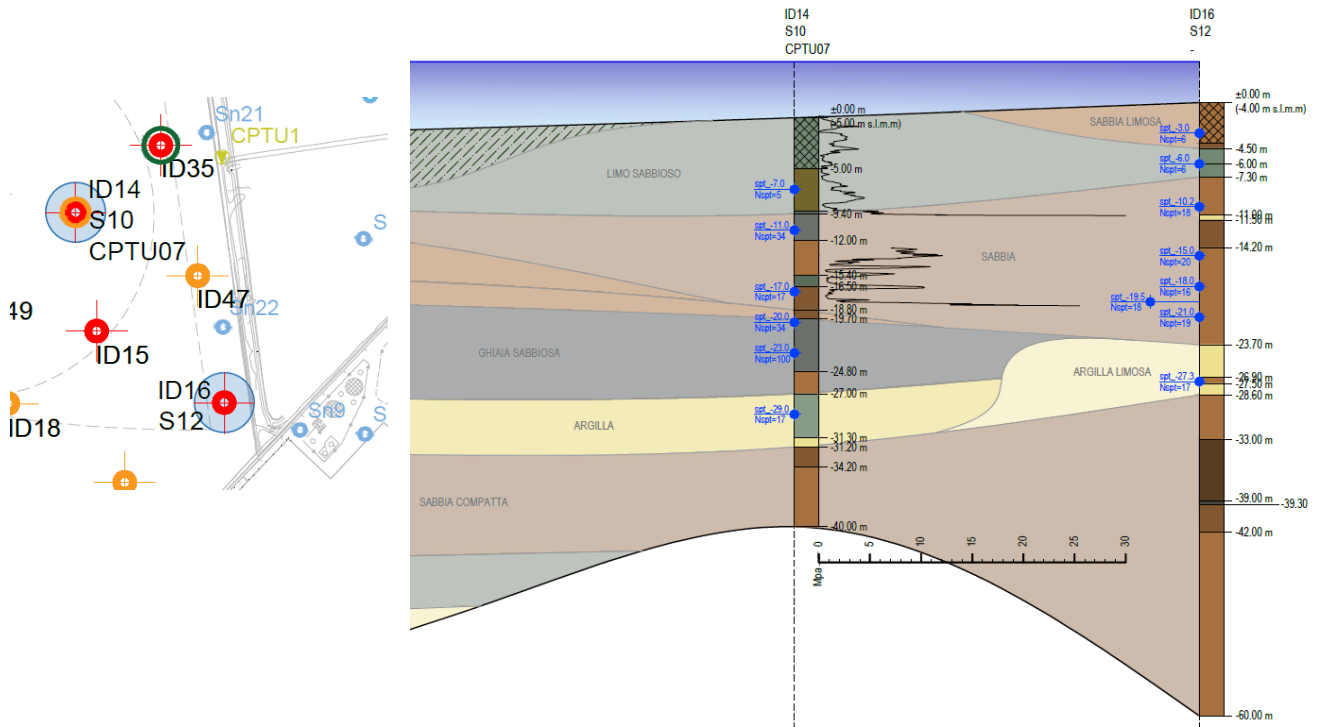
Elaborato:

PARTE GENERALE

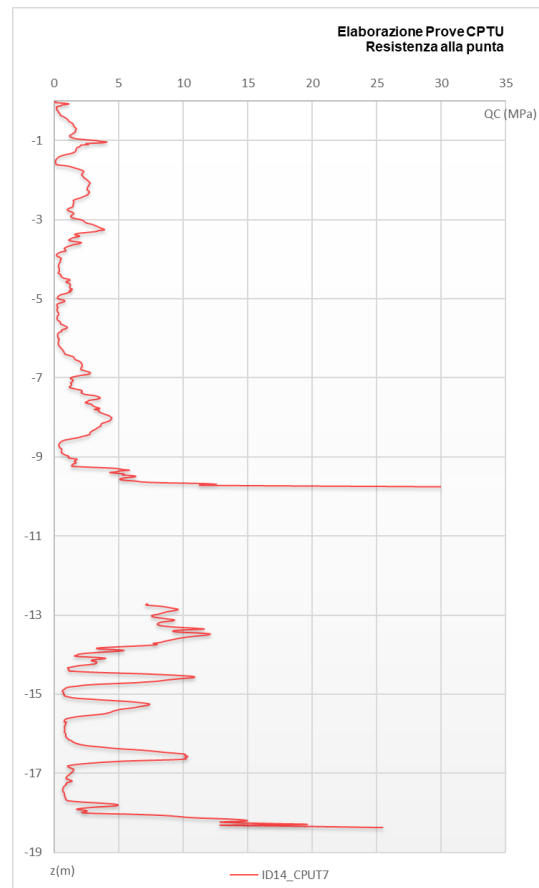
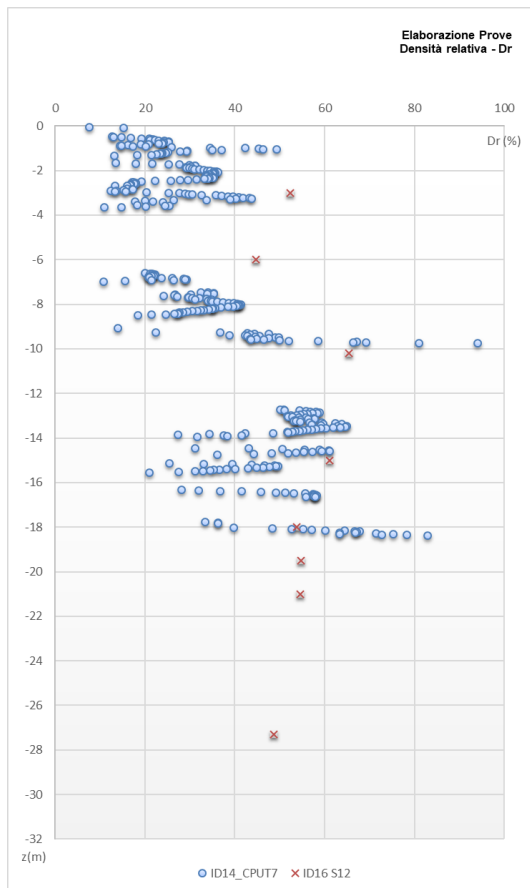
1233_PP-B-003_0.docx

4.5.9 SONDAGGI ESTERNI ALLE WBS

Per una migliore comprensione dell'area oggetto di intervento si riportano le elaborazioni dei sondaggi ID14 e ID16.



- Densità (ID14-ID16) e Resistenza di punta (ID14)



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europea, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

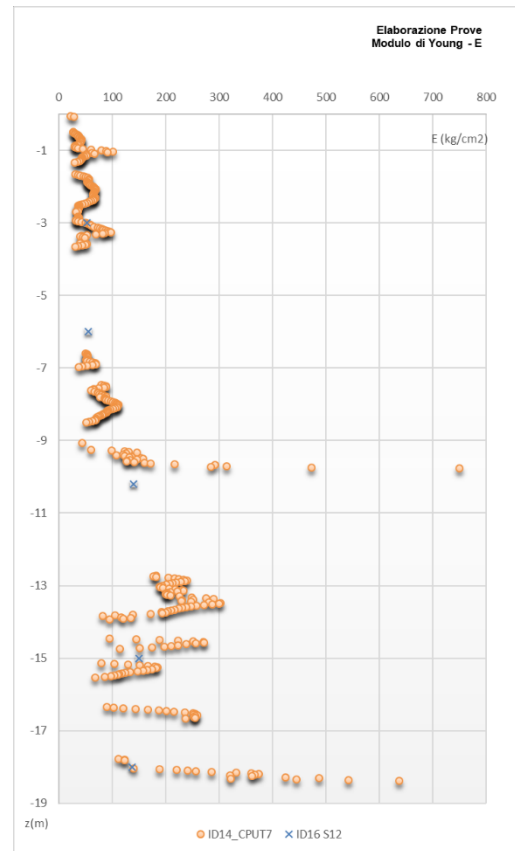
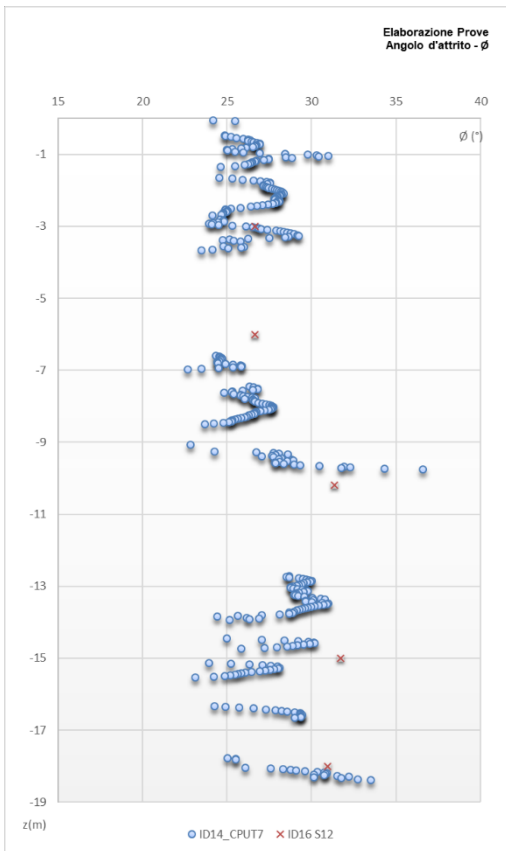
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

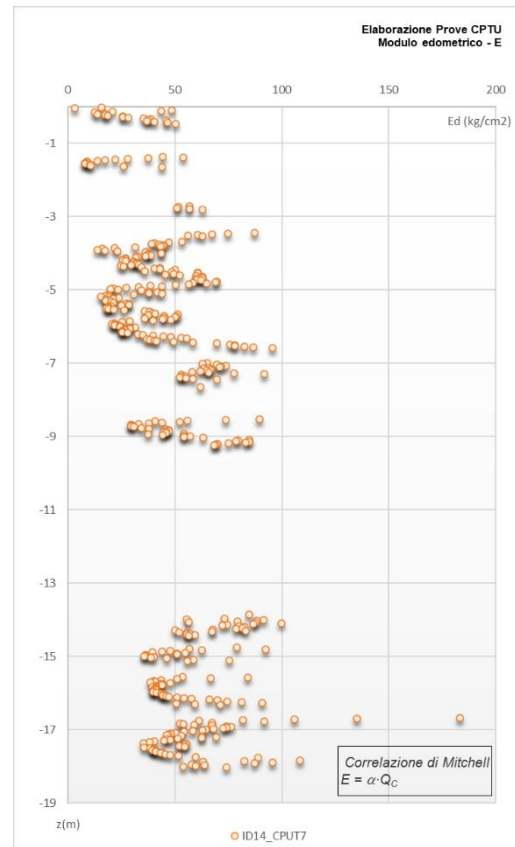
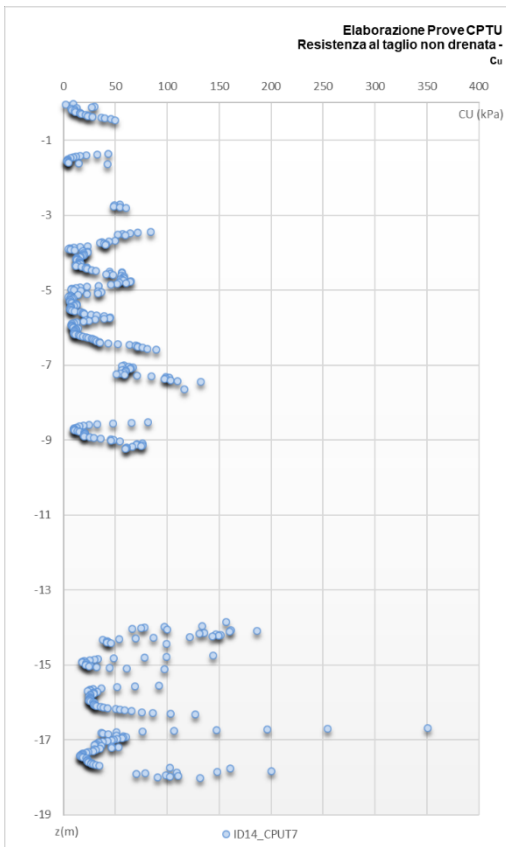
PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Formazioni granulari ID14-ID16



- Formazioni coesive ID14



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

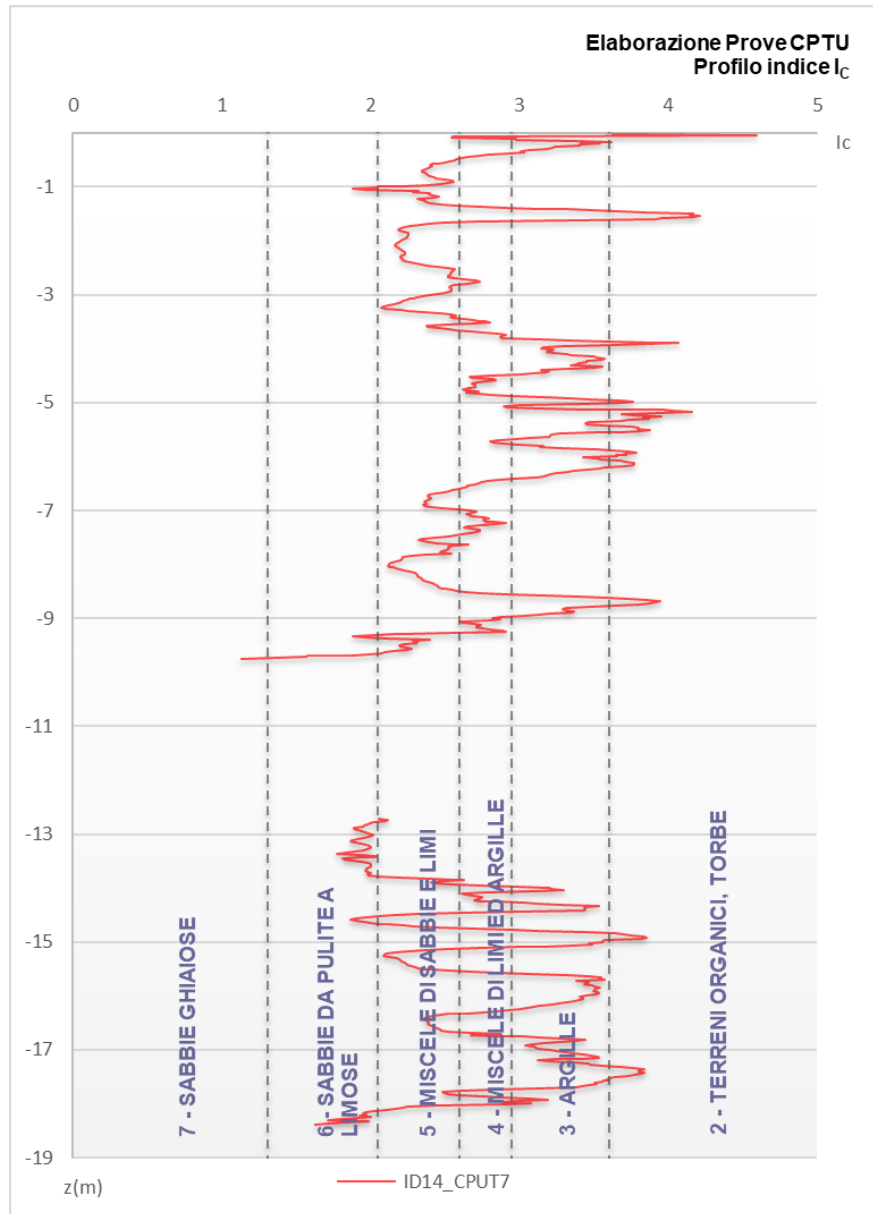
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

- Parametro I_c della ID14



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della piattaforma europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

PARTE GENERALE

1233_PP-B-003_0.docx

5 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Il modello geotecnico di riferimento assunto dall'elaborazioni delle prove presenta i seguenti parametri:

	T	A	L	S	G
A		Argilla c'=10-20 kPa ϕ'=20 cu=70-120 kPa E=100-170 kg/cmq	Argilla-limosa c'=5-15 kPa ϕ'=20-23 cu=20-70 kPa E=40-100 kg/cmq	Argilla Sabbiosa c'=5-10 kPa ϕ'=20-23 cu=60-100 kPa E=50-150 kg/cmq	
L	Limo con resti vegetali ϕ'=20-22 c'= 0 kPa E=10-30 kg/cmq cu=5-10 kPa	Limo argilloso c'=7-15 kPa ϕ'=20-23 E=50-100 kg/cmq cu=70-100 kPa		Limo sabbioso ϕ'=24-27 c'= 0 kPa E=50-150 kg/cmq cu=5-10 kPa	
S			Sabbia limosa ϕ=25-30 c'= 0 kPa E=80-200 kg/cmq	Sabbia ϕ=27-32 c'= 0 kPa E=150-200 kg/cmq	
			Sabbia limosa compatta ϕ=32-34 c'= 0 kPa E=150-250 kg/cmq	Sabbia compatta ϕ=34-36 c'= 0 kPa E=200-300 kg/cmq	
G			Ghiaia Limosa ϕ=30-34 c'= 0 kPa E=100-150 kg/cmq		Ghiaia sabbiosa ϕ=38-42 c'= 0 kPa E=300-500 kg/cmq

LEGENDA:

PARAMETRI DRENATI

PARAMETRI NON DRENATI

Figura 5.1 – Modello Geotecnico di riferimento

Le sezioni geotecniche sono visibili sull'elaborato 1233-PP-B-005