



Regione PUGLIA



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



Autorità Portuale di Taranto



Convenzione Sogesid S.p.A. - Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare
Regione Puglia - Autorità Portuale di Taranto del 19 Luglio 2011

INTERVENTI PER IL DRAGAGGIO DI 2,3 Mm³ DI SEDIMENTI IN AREA MOLO POLISETTORIALE E PER LA REALIZZAZIONE DI UN PRIMO LOTTO DELLA CASSA DI COLMATA FUNZIONALE ALL'AMPLIAMENTO DEL V SPORGENTE DEL PORTO DI TARANTO PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato						Elaborato		
RELAZIONE GEOTECNICA						ED 008		
Redatto da						GRUPPO DI LAVORO		
						Ing. G. ALFANO - Ing. R. GRADO <small>(Opere Civili, Idraulica e Impiantistica)</small> Geol. P. MARTINES - Geol. V. SPECCHIO <small>(Geologia)</small> Ing. F. LEO <small>(Geotecnica, Sismica e Strutture)</small> Ing. A. LUCIANO <small>(Impianti Trattamento)</small> Ing. M. TARTAGLINI <small>(Opere Marittime)</small> Ing. B. FERRARO <small>(Computi metrici)</small> Dott. C. CORSI - Biol. S. RANIA <small>(Caratterizzazione Ambientale dei Sedimenti)</small> Arch. K. ELIA - Arch. E. CONFORTI - Dott.ssa F. MONCADA - Geom. M. TEMPESTA <small>(Elaborazioni grafiche)</small>		
Il DIRETTORE TECNICO Ing. Carlo MESSINA						Il Responsabile del Procedimento		
Responsabile Servizio Operativo Bonifiche e Rifiuti :								
Ing. Enrico BRUGIOTTI								
Project Manager :								
Ing. Giuseppe ALFANO								
Cod. Commessa		Codice				Nome file		
PUG102		PD	ED	0	0	8	0 ^{rev.}	
						PUG102PDED008_0		
						Data : Ottobre 2012		
Rev.	Data	Descrizione modifica				verificato		approvato
0	ott/2012	1 ^a Emissione						

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO.....	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	8
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
4.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	10
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	12
6	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	16
7	CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI.....	17
7.1.1	Prove di laboratorio	17
7.1.2	caratteristiche di resistenza e deformabilità da prove penetrometriche dinamiche (spt).....	18
7.1.3	caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità da prove penetrometriche statiche (cpte-u).....	19
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	21
9	CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI	95
10	VERIFICHE DI STABILITÀ DEI MOLI	103
10.1	VERIFICHE MOLO POLISETTORIALE.....	108
10.1.1	Ipotesi di dragaggio a ridosso scanno basamento cassoni a quota -15.5 m da l.m.m.	108
10.1.2	dragaggio a quota -15.5 m e -16.5 m da l.m.m. con fascia di rispetto	110
10.2	VERIFICHE V SPORGENTE	113
10.2.1	Ipotesi di dragaggio a ridosso scanno basamento cassoni a quota -15.5 m da l.m.m.	113
10.2.2	dragaggio a quota -15.5 m e -16.5 m da l.m.m. con fascia di rispetto	115
11	SISTEMA DI PROTEZIONE E CONFINAMENTO IN PROSSIMITÀ DEI MOLI.....	118
11.1	MATERASSINO REATTIVO E MATERASSO DI PROTEZIONE.....	118

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1: Area intervento di dragaggio - Darsena Polisettoriale	6
Figura 3-2: Area intervento Cassa di colmata.....	7
Figura 4-1: Colonna stratigrafica del SIN di Taranto	8
Figura 5-1: Ubicazione sondaggi a terra V sporgente e a mare Est V Sporgente	12
Figura 5-2: Ubicazione campionamenti ambientali con vibrocarotiere – Darsena polisettoriale.....	13
Figura 5-3: Ubicazione sondaggi Ex Yard Belleli	14
Figura 5.4: Ubicazione indagini integrative a mare area cassa di colmata.....	15
Figura 7-1: Abaco per la stima dell'angolo di attrito residuo in funzione del contenuto di argilla.....	17
Figura 7-2: Grafico per la valutazione del coefficiente di permeabilità orizzontale k_h dal valore t_{50} della prova di dissipazione (Robertson et al., 1992).....	20
Figura 8-1: Terreni di riporto - R – Valori di N_{SPT}	23
Figura 8-2: Terreni di riporto – R - Valori di Densità relativa.....	24
Figura 8-3: Terreni di riporto – R - Valori dell'angolo di attrito.....	25
Figura 8-4: Terreni di riporto – R - Valori del modulo elastico	26
Tabella 8.5 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Polisettoriale.....	31
Tabella 8.6 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – campionamenti fondale con vibrocarotiere - Polisettoriale	32
Tabella 8.7 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – Cassa di colmata	33
Tabella 8.8 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Campionamenti integrativi del fondale – Cassa di colmata.....	33
Figura 8-9: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria.....	34
Figura 8-10: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria.....	35
Figura 8-11: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria.....	36
Figura 8-12: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Peso secco, Peso specifico dei granuli	37
Figura 8-13: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori di N_{SPT}	38
Figura 8-14: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori di Densità relativa.....	39
Figura 8-15: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori dell'angolo di attrito residuo	40
Figura 8-16: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori dell'angolo di attrito.....	41
Figura 8-17: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Prove CPTU - Resistenza alla punta	42
Figura 8-18: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori del modulo elastico operativo	43
Figura 8-19: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Andamento del modulo a taglio iniziale	44
Figura 8-20: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Andamento del modulo elastico iniziale	45
Tabella 8.21 – DLA – Valori dei coefficienti di permeabilità da prove di laboratorio e da prove in sito	50
Tabella 8.22– DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a terra ex Yard Belleli	52
Tabella 8.23 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a terra V Sporgente.....	55
Tabella 8.24 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Est V Sporgente.....	56
Tabella 8.25 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Polisettoriale	58
Tabella 8.26 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata – campioni indisturbati	59
Tabella 8.27 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata – campioni rimaneggiati.....	60
Figura 8-28: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria	61
Figura 8-29: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria	62
Figura 8-30: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria	63
Figura 8-31: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria	64
Figura 8-32: Depositi limoso argillosi - DLA - Peso di volume naturale, Peso di volume secco, Peso specifico dei granuli	65
Figura 8-33: Depositi limoso argillosi - DLA - Contenuto d'acqua naturale.....	66
Figura 8-34: Depositi limoso argillosi - DLA - Carta di plasticità di Casagrande	67
Figura 8-35: Depositi limoso argillosi - DLA – Risultati prove TxCU – TxCD.....	68

Figura 8-36: Depositi limoso argillosi - DLA – Risultati prove TxCU – TxCD – Involuppi di rottura.....	69
Figura 8-37: Depositi limoso argillosi - DLA – Prove CPTU – Resistenza alla punta	70
Figura 8-38: Depositi limoso argillosi - DLA – Resistenza al taglio non drenata.....	71
Figura 8-39: Depositi limoso argillosi - DLA - Coefficiente di permeabilità	72
Figura 8-40: Depositi limoso argillosi - DLA – Caratteristiche di deformabilità, Coefficiente di consolidazione, Rapporto di sovraconsolidazione	73
Figura 8-41: Depositi limoso argillosi - DLA – Valori di N_{SPT}	74
Figura 8-42: Depositi limoso argillosi - DLA – Andamento del modulo a taglio iniziale.....	75
Figura 8-43: Depositi limoso argillosi - DLA – Andamento del modulo elastico iniziale	76
Tabella 8.44 – DA – Valori dei coefficienti di permeabilità da prove di laboratorio e da prove in sito	79
Tabella 8.45 – DA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata	81
Figura 8-46: Depositi argillosi - DA – Granulometria	82
Figura 8-47: Depositi argillosi - DA - Peso di volume naturale, Peso di volume secco, Peso specifico dei granuli.	83
Figura 8-48: Depositi argillosi - DA - Contenuto d'acqua naturale	84
Figura 8-49: Depositi argillosi - DA - Carta di plasticità di Casagrande	85
Figura 8-50: Depositi argillosi - DA – Risultati prove TxCU e TD.....	87
Figura 8-51: Depositi argillosi - DA – Prove CPTU – Resistenza alla punta.....	88
Figura 8-52: Depositi argillosi - DA – Resistenza al taglio non drenata	89
Figura 8-53: Depositi argillosi - DA - Coefficiente di permeabilità	90
Figura 8-54: Depositi argillosi - DA – Coefficiente di consolidazione C_v	91
Figura 8-55: Depositi argillosi - DA – Modulo edometrico	92
Figura 8-56: Depositi argillosi - DA – Andamento del modulo a taglio iniziale	93
Figura 8-57: Depositi argillosi - DA – Andamento del modulo elastico iniziale	94
Figura 10-1: Planimetria ubicazione sezioni di calcolo	103
Figura 10-2: Sezione di calcolo Molo Polisettoriale (Sezione 7).....	104
Figura 10-3: Sezione di calcolo Molo V Sporgente (Sezione 12).....	104
Figura 11-1: Varo della combinazione prevista materassino reattivo e materasso di protezione	118
Figura 11-2: Movimentazione del materassino reattivo	119
Figura 11-3: Dettagli materassino reattivo.....	120
Figura 11-4: Materasso in geogriglia	121
Figura 11-5: Sezione del Molo Polisettoriale	122
Figura 11-6: Sezione Molo V Sporgente	122
Figura 11-7: planimetria di applicazione della protezione.....	123

1 INTRODUZIONE

La presente relazione geotecnica si inquadra nell'ambito degli interventi finalizzati alla riqualificazione ambientale delle aree ricadenti nel SIN Taranto ed al contestuale sviluppo infrastrutturale prioritario dell'area portuale di Taranto e per lo sviluppo dei traffici containerizzati nel porto.

Nel caso in esame gli interventi sono finalizzati:

- al dragaggio dei sedimenti del fondale in corrispondenza del Molo Polisettoriale fino alla quota di -16.5 m, in modo da consentire l'attracco di navi di tonnellaggio fino a 100.000 t.
- alla realizzazione della cassa di colmata per l'ampliamento del V sporgente, necessaria per il conferimento di parte dei sedimenti dragati, mediante confinamento, lato mare, con palancoato composito.

L'area oggetto di intervento si trova all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Taranto, individuato con legge n. 426 del 9/12/1998 e perimetrato con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 10/01/2000 ed in particolare nell'area del Porto di Taranto compresa tra il Molo Polisettoriale e il V sporgente denominata "Darsena Polisettoriale".

L'approfondimento dei fondali al Molo Polisettoriale fino a 16,5 m, e l'ampliamento del V Sporgente inoltre rientrano tra gli interventi particolarmente urgenti programmati dall'Autorità Portuale e previsti nel nuovo P.R.P. esaminato dal Consiglio Superiore LL.PP. nell'adunanza del 23 luglio 2008, aggiornato in base alle osservazioni e prescrizioni del voto 322/07 espresso dalla suddetta adunanza ripresentato in data 26 maggio 2009 ed approvato, con prescrizioni, nell'adunanza del 24 marzo 2010 voto n.48/10.

Nel presente studio si inquadrano le problematiche geotecniche connesse con la realizzazione degli interventi, sulla base dei risultati delle indagini geognostiche eseguite sia in area marina che in area portuale. Le indagini hanno permesso sia di ricostruire i rapporti stratigrafici presenti nell'area in esame, sia di ottenere informazioni circa le caratteristiche fisiche e meccaniche dei sedimenti necessarie al dimensionamento e alle verifiche delle opere di confinamento della cassa di colmata nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008.

Sono state quindi eseguite le verifiche di stabilità globale dei moli Polisettoriale e V Sporgente, sempre con riferimento alle NTC 2008, al fine di stabilire la necessità di una fascia di rispetto che garantisca la stabilità delle opere a seguito delle operazioni di dragaggio.

In corrispondenza della fascia di rispetto saranno posti in opera tappetini attivi con potere adsorbente nei confronti dei contaminanti presenti nei sedimenti al fine di garantire una protezione ambientale del fondale. Nell'ambito del presente lavoro vengono quindi esposti i principi che regolano il funzionamento dei tappetini e le tipologie adottate.

2 BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Bazaara, A.R.S.S. (1967) - "Use of the Standard Penetration Test for estimating settlement of shallow foundations on sand", PhD Thesis, University of Illinois, USA
- Bishop W. A. (1955) - "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes" Geotechnique
- Colombo P., Colleselli F. (2000) - "Elementi di geotecnica", Zanichelli
- Cestari F. (2009) - "Prove geotecniche in sito", Geo Graph - Segrate
- Lancellotta R. (1997) - "Geotecnica" Zanichelli
- Lunne T, Robertson P.K., Powell J. (1997) - "Cone Penetration Testing Geotechnical Practice", Blackie academic & professional.
- MANUALE DI INGEGNERIA CIVILE, 2001- Volume terzo
- Pasqualini, E. (novembre 1983) - "Standard Penetration Test" – Politecnico di Torino. Atti dell'Istituto di scienza delle Costruzioni

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di intervento è situata all'interno del perimetro del Sito di Interesse Nazionale di Taranto, individuato con legge n. 426 del 9/12/1998 e definito con D.M. dell'Ambiente del 10/01/2000.

Esso ricopre una superficie complessiva di circa 115.000 ha di cui 83.000 ha di area marina. Quest'ultima interessa l'intera area portuale che si estende verso Sud-Est a partire dal Molo Polisettoriale e comprende Mar Piccolo, Mar Grande e Salina Grande.

Nel particolare l'area del Porto di Taranto compresa tra il Molo Polisettoriale e il V sporgente, denominata "Darsena Polisettoriale", in cui è previsto l'intervento di dragaggio dei fondali è rappresentata in Figura 3-1, mentre in Figura 3-2 viene riportato l'inquadramento dell'area in cui è prevista la realizzazione della cassa di colmata.

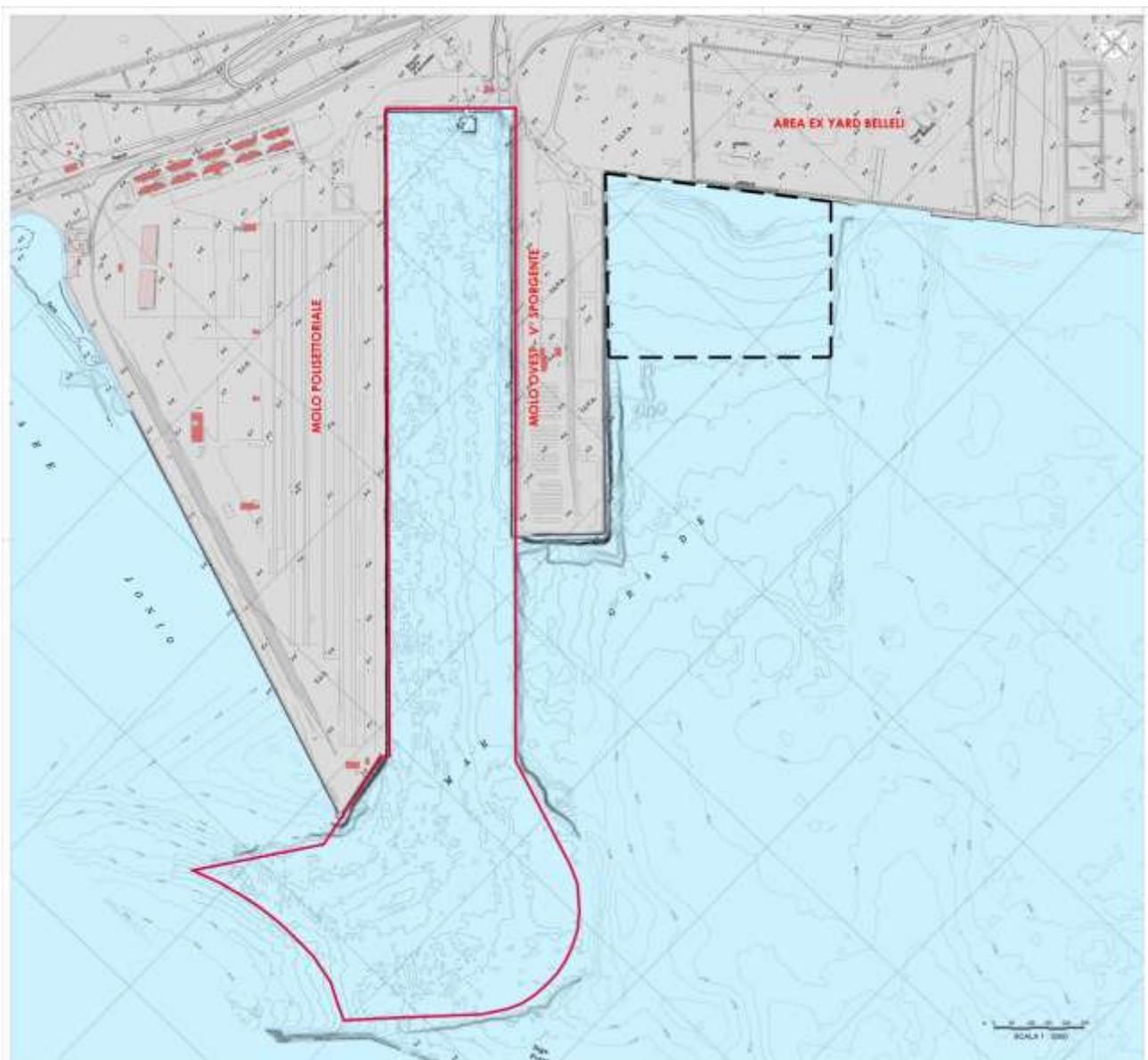


Figura 3-1: Area intervento di dragaggio - Darsena Polisettoriale

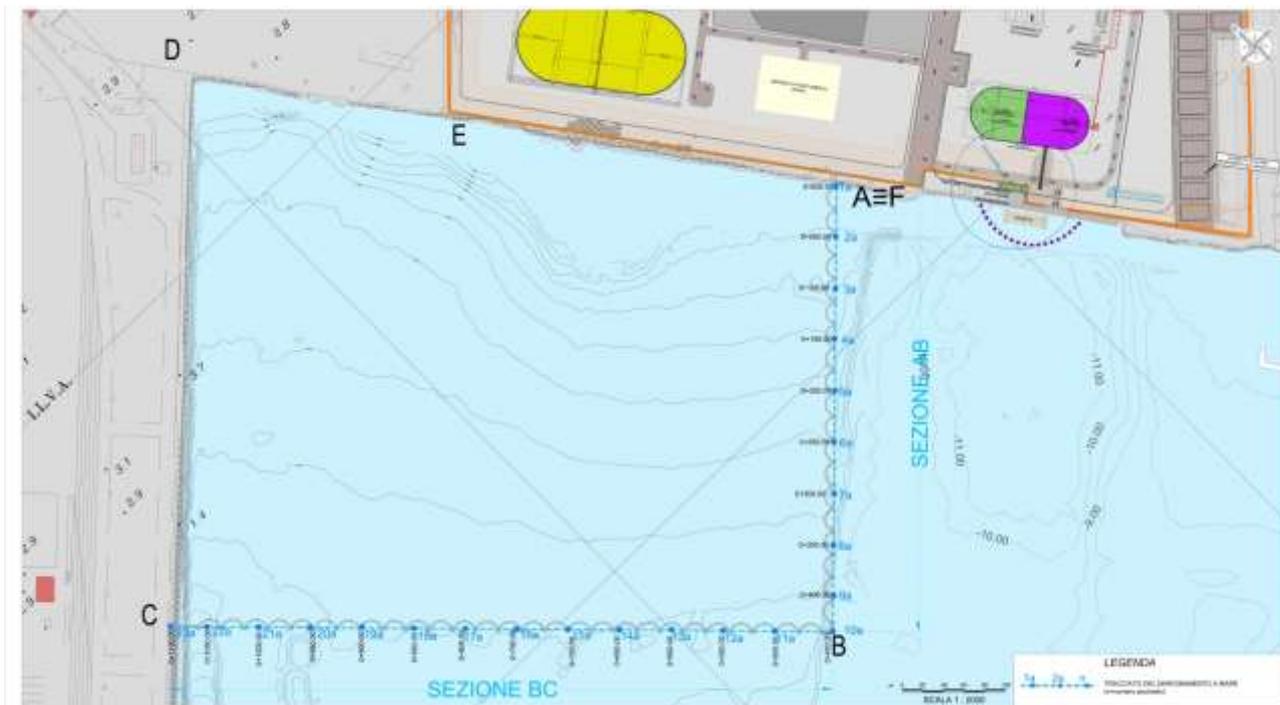


Figura 3-2: Area intervento Cassa di colmata

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio interessato è posto nell'area delle Murge di Taranto e si presenta con un andamento morfologico per la maggior parte pianeggiante caratterizzato dalla sovrapposizione in trasgressione, da una sequenza sedimentaria di età pleistocenica. Essa poggia, in discordanza angolare su un substrato mesozoico prevalentemente carbonatico, diffusamente affiorante nell'entroterra a quote più elevate.

In particolare la successione stratigrafica dal basso verso l'alto è rappresentata dalle seguenti unità:

- Calcari di Altamura (*Senoniano*)
- Calcareniti di Gravina (*Pliocene sup.*)
- Argille subappennine (Pleistocene inf-Calabriano)
- Calcareniti di M.te Castiglione (*Post-Calabriano*)
- Depositi ghiaiosi e sabbiosi marini (*Pleistocene*)
- Depositi lagunari e palustri
- Depositi costieri/Alluvioni attuali.

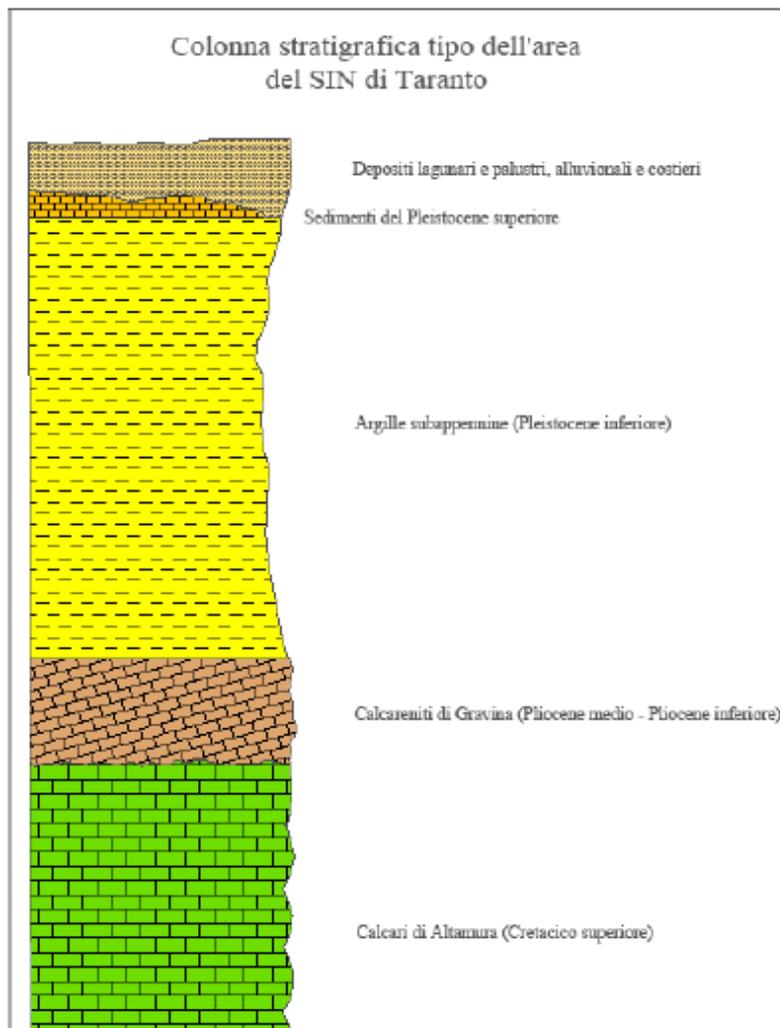


Figura 4-1: Colonna stratigrafica del SIN di Taranto

Calcari di Altamura. Sono il basamento delle sequenze sedimentarie plio-pleistoceniche che affiorano estesamente a Nord dell'area in oggetto. Si presentano intensamente fratturati con una taglia granulometrica fine e sono ben stratificati in livelli di spessore variabile da pochi cm a oltre il metro. Essi sono rappresentati localmente da calcari detritici di colore variabile dal bianco al grigio scuro, con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e dolomie grigiastre. A questi si associano, a livelli o entro “tasche”, termini residuali limo argillosi (“terre rosse”) sia di deposizione primaria (con geometrie lenticolari di esigua estensione caratterizzati da spessori che di raro superano il metro) sia di riempimento delle principali discontinuità strutturali della massa rocciosa. La genesi di tali discontinuità (fratture e fessure) è ascrivibile a cause tettono-strutturali e chimiche (“dissoluzione carsica”).

L'intersezione di queste discontinuità strutturali con quelle di origine litogenetica (“giunti di stratificazione”) determina lo smembramento dell'ammasso roccioso in blocchi, dalle geometrie più o meno regolari con volumetrie comprese tra pochi centimetri cubici e svariati decimetri cubici.

Laddove più intensa è la fratturazione, le acque vadose “acidulate” hanno svolto, nel tempo, una sensibile azione “aggressiva” nei confronti dei carbonati, sino a generare morfologie carsiche, che si palesano in cavità sotterranee anche di notevole dimensione.

Queste si sviluppano prevalentemente lungo assetti sub-orizzontali e sono organizzate in sistemi interconnessi geometricamente estesi. Collegate tra loro da una rete fessurativa, sono, a volte, in comunicazione diretta con l'ambiente esterno, sia tramite fratture beanti sia con apparati maggiormente evoluti, quali doline e inghiottitoi.

Il fenomeno carsico, particolarmente sviluppato nell'area delle Murge, presenta meccanismi evolutivi assai complessi, in diretto rapporto con facies carbonatiche dei litotipi e il loro assetto tettono-strutturale. Particolarmente sensibili sono i litotipi carbonatici porosi (calcari biancastri) interessati da giunti di stratificazione e intensa fratturazione. Infatti, la direttrice principale di sviluppo della rete carsica segue, in prevalenza, quella del sistema primario di fratturazione regionale, orientato da N-NO a S-SE. I Calcari di Altamura risultano permeabili per fratturazione e carsismo; il loro effettivo valore di conducibilità idraulica è in stretta dipendenza con la frequenza, le dimensioni e la distribuzione spaziale delle discontinuità e con la diffusione del fenomeno carsico ipogeo, tuttavia, in generale, è possibile attribuire ai calcari un valore di conducibilità idraulica da elevata a molto elevata.

Va considerato, però, che in questo litotipo è frequente la presenza di materiale limo argilloso (“terre rosse”) di riempimento secondario delle fratture. Ciò determina una diminuzione locale della conducibilità idraulica. Quest'ultima è, inoltre, drasticamente ridotta in corrispondenza di sacche e livelli di “terre rosse” più o meno continui che sovente occupano i vuoti carsici e i giunti di stratificazione.

Calcareniti di Gravina. Sono di età Pliocenica e affiorano a Sud dell'area studiata. Si tratta di tipi litologici “trasgressivi” sul Calcare di Altamura e sono costituite da calcareniti organogene, variamente cementate, porose di colore bianco-giallognole e con clastici derivati dalla degradazione dei calcari cretacei nonché da frammenti fossiliferi; alla base della formazione, in trasgressione, si riscontra un conglomerato a ciottoli calcarei con matrice carbonatica di colore rossastro.

Argille subappennine (Bradano). Sono di età calabriana e affiorano lungo le incisioni delle lame e lungo la costa del Mar Piccolo e poggiano, senza soluzione di continuità, sulle Calcareniti di Gravina. Sono depositi prevalentemente marnosi, a volte con una componente siltosabbiosa di

colore grigio-azzurro.

Tali depositi risultano praticamente impermeabili e costituiscono, verosimilmente, il livello di base che sostiene la falda superficiale.

Calcareniti di M.te Castiglione. Aggregano le calcareniti a grana grossolana e compatte e i calcari grossolani tipo "panchina" di colore grigio-giallastro, di età post-calabrianiana.

Stratigraficamente succedono alle Argille del Bradano. Sono caratterizzate da un valore medio di conducibilità idraulica che aumenta in corrispondenza degli strati porosi ricchi di macrofossili e decresce in quelli a granulometria fine o maggiormente cementati.

Depositi ghiaiosi e sabbiosi marini. Sono depositi del Pleistocene che affiorano a sud dell'area in esame con spessori variabili da 1 a 10 m; sono costituiti da sabbie grossolane di colore giallastro nelle porzioni superiori e da conglomerati poligenici rossastri, con intercalazioni sabbiose, nelle porzioni più basse.

Depositi lagunari e palustri. Sono depositi di età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene, sono costituiti da limi gialli o neri con abbondante sostanza organica (frustoli vegetali) presenti nella zona di retro spiaggia. Il loro spessore è modesto. Da un punto di vista idrogeologico è possibile attribuire loro una conducibilità idraulica da bassa a molto bassa.

Depositi costieri. Sono di età olocenica, sono costituiti da sabbie grigie o giallo-rossastre, talora grossolane con stratificazione incrociata. Lo spessore è piuttosto modesto. Questo litotipo include anche le dune costiere presenti lungo la fascia litorale.

Alluvioni attuali. Sono costituite da sabbie, ghiaie e ciottoli eterometrici in matrice sabbiosa e sabbiosa-limosa (Olocene).

4.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Sulla base delle caratteristiche litologiche delle formazioni precedentemente descritte è possibile distinguere:

- terreni a permeabilità primaria per porosità;
- terreni a permeabilità secondaria per fratturazione e carsismo;
- terreni impermeabili.

Alla prima categoria appartengono i depositi incoerenti di spiaggia, quelli terrazzati e le formazioni calcarenitiche. Ai depositi sabbiosi poco cementati è possibile attribuire un valore di conducibilità idraulica da medio ad alto. Le calcareniti sono invece caratterizzate da un valore medio di conducibilità idraulica che aumenta in corrispondenza degli strati ricchi di macrofossili e decresce in quelli a granulometria fine o maggiormente cementati.

I terreni permeabili per fratturazione e carsismo sono rappresentati dai Calcari di Altamura. Il valore della permeabilità è in stretta dipendenza con la frequenza, le dimensioni e la distribuzione spaziale delle discontinuità e con la diffusione del fenomeno carsico ipogeo. La conducibilità idraulica che è possibile attribuire ai calcari è elevata. Va considerato, però, che in questo litotipo è frequente la presenza di materiale limo-argilloso ("terre rosse") di riempimento secondario delle fratture. Ciò determina una diminuzione locale della conducibilità idraulica. Quest'ultima è, inoltre, drasticamente ridotta in corrispondenza di sacche e livelli di "terre rosse" più o meno continui che sovente occupano i vuoti carsici ed i giunti di stratificazione.

Praticamente impermeabili si possono considerare le Argille del Bradano ed i depositi limosi

superficiali ai quali è possibile attribuire una conducibilità idraulica da bassa a molto bassa.

L'elevata permeabilità dei litotipi prevalenti in affioramento (calcare e calcarenite) determina una notevole infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica. Ciò dà origine ad una cospicua circolazione di acqua in falda. Sulla base della successione litostratigrafia individuata è possibile distinguere una falda profonda ospitata nel basamento carbonatico mesozoico (Calcari di Altamura) e nelle Calcareniti di Gravina ed una falda superficiale, talora articolata su più livelli, che interessa i depositi olocenici e del Pleistocene superiore. La falda superficiale è sostenuta dalle Argille del Bradano.

L'acquifero carbonatico profondo costituisce la circolazione idrica più importante dell'intera regione. Questa falda, la cui area di alimentazione coinvolge tutto il settore meridionale delle Murge, è in genere freatica, nelle zone costiere può risultare, però, confinata al tetto per la presenza della formazione delle Argille del Bradano.

La circolazione idrica profonda alimenta alcune sorgenti subaeree e sottomarine ("citri") poste in prossimità della costa tarantina e classificabili come sorgenti di trabocco per sbarramento o ascendenti. Tra queste, quella più prossima al sito d'interesse, è la sorgente Tara posta a circa 8 km a NO di Taranto che da origine al fiume omonimo. La presenza di un alto strutturale posto in corrispondenza dell'abitato di Statte, che rappresenta uno spartiacque idrogeologico con allineamento N-S, individua due aree di deflusso. Quella posta ad est dello spartiacque fa confluire la falda profonda verso il Mare Piccolo, mentre l'area di deflusso posta ad ovest convoglia il deflusso verso la sorgente Tara.

L'acqua della falda profonda manifesta un contenuto salino crescente con la profondità ed approssimandosi alla linea di costa, ciò è dovuto al fenomeno dell'intrusione marina; la falda infatti è sostenuta proprio dalle acque del cuneo salino.

La presenza delle Argille del Bradano, aventi uno spessore di parecchie decine di metri, garantisce una sufficiente protezione della falda profonda.

L'acquifero carbonatico è pertanto, in corrispondenza della costa, poco vulnerabile.

Le falda superficiale, di qualità più scadente rispetto a quella profonda, è alimentata dalle precipitazioni meteoriche che interessano direttamente gli affioramenti delle rocce serbatoi. La distribuzione della falda superficiale è legata alla presenza della coltre impermeabile (Argille del Bradano) che si frappone fra il basamento calcareo ed i terreni più superficiali (Calcarenite di Monte Castiglione, depositi terrazzati e costieri); il deflusso è orientato verso la linea di costa.

La circolazione idrica superficiale da origine a modeste sorgenti per lo più ubicate lungo le lame e le gravine che incidono i terreni saturi.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In corrispondenza dell'area oggetto degli interventi previsti sono state eseguite le seguenti campagne di indagini geognostiche.

In corrispondenza del V Sporgente (Ottobre 2011) sono stati eseguiti:

- N. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6) eseguiti sul piano di banchina in corrispondenza del V Sporgente, fino alla profondità massima di 20.5 m dal piano di banchina;
- Prelievo di n. 6 campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio;
- Esecuzione di n. 6 prove penetrometriche dinamiche (SPT) nel corso delle perforazioni.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Figura 5-1.

In corrispondenza dello specchio marino ad Est del V Sporgente sono stati eseguiti:

- N. 16 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (SM1÷ SM16) realizzati a mare fino alla profondità massima di 26 m da l.m.m.;
- Prelievo di N. 15 campioni indisturbati, all'interno dei sondaggi, sottoposti a prove geotecniche di laboratorio;
- Esecuzione di n. 33 prove penetrometriche dinamiche (SPT) nel corso delle perforazioni.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Figura 5-1.

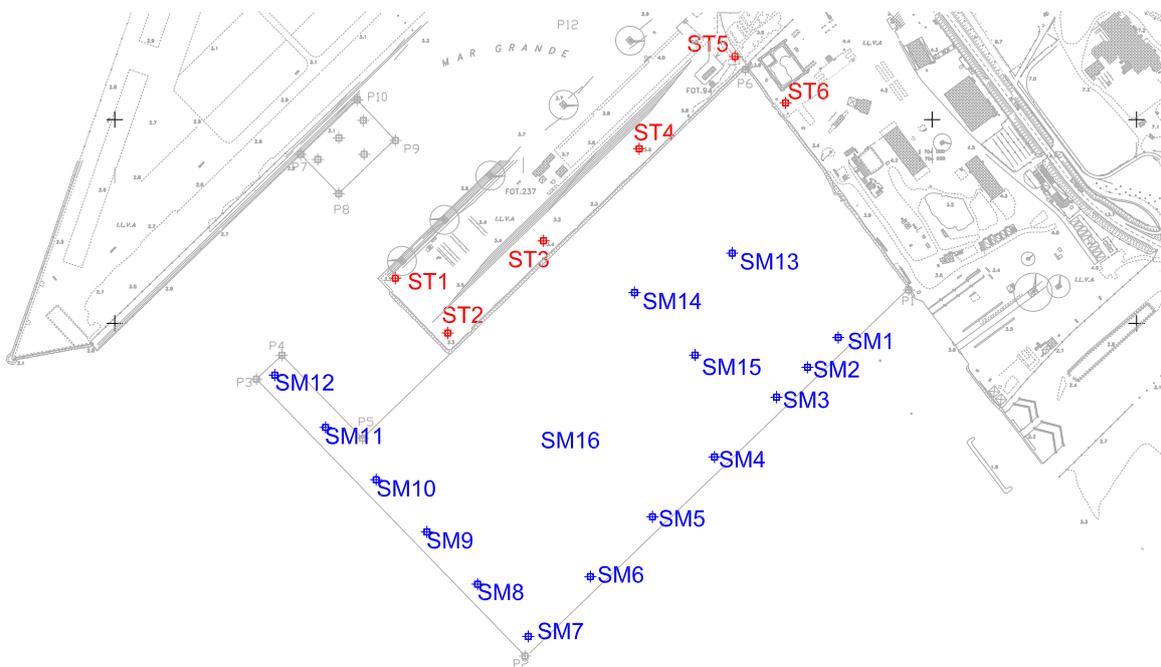


Figura 5-1: Ubicazione sondaggi a terra V sporgente e a mare Est V Sporgente

In corrispondenza del Molo Polisettoriale è stata eseguita una campagna di indagini di cui, disponibili al presente studio, sono le seguenti indagini:

- N. 14 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (BH1 ÷ BH14), di cui n. 4 a mare nello specchio marino antistante il molo (BH1, BH4, BH7, BH10) di lunghezza massima di 50 m da l.m.m. e gli altri sul piano di banchina di lunghezza massima di 40 m dal piano di banchina;
- Prelievo di N. 32 campioni indisturbati, all'interno dei sondaggi marini, sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.
- Prelievo di N. 10 campioni rimaneggiati, all'interno dei sondaggi marini, sottoposti a prove geotecniche di laboratorio;
- Esecuzione di n. 26 prove penetrometriche dinamiche (SPT) nel corso delle perforazioni.

In corrispondenza della darsena polisettoriale sono stati eseguiti N. 7 campionamenti del fondale (S001 ÷ S007) per i primi 3 metri di profondità, mediante vibrocarotiere, per la determinazione delle caratteristiche chimiche e fisiche. I risultati delle determinazioni fisiche sono stati elaborati ai fini del presente studio.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Figura 5-2

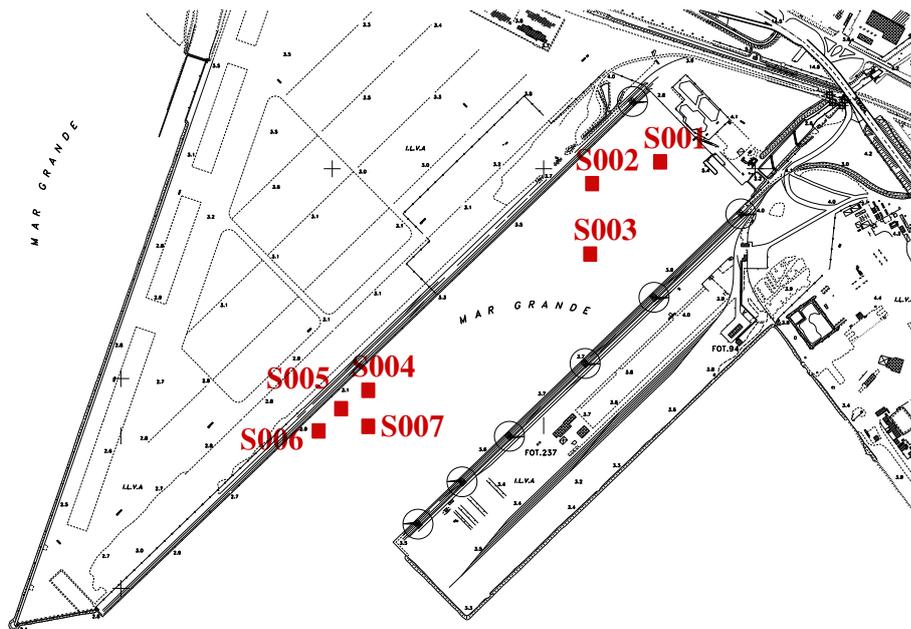


Figura 5-2: Ubicazione campionamenti ambientali con vibrocarotiere – Darsena polisettoriale

Nell'area ex Yard Belleli sono stati eseguiti:

- N. 16 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (BH1, BH2, BH3(E), BH3(D), BH4(E), BH4(D), BH5(E), BH5(D), BH6, BH7, BH8, BH9, BH10, BH11, BH12, BH13, BH14);
- Prelievo di N. 31 campioni indisturbati, sottoposti a prove geotecniche di laboratorio;
- N. 29 prove Lefranc nel corso dei sondaggi.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Figura 5-3.

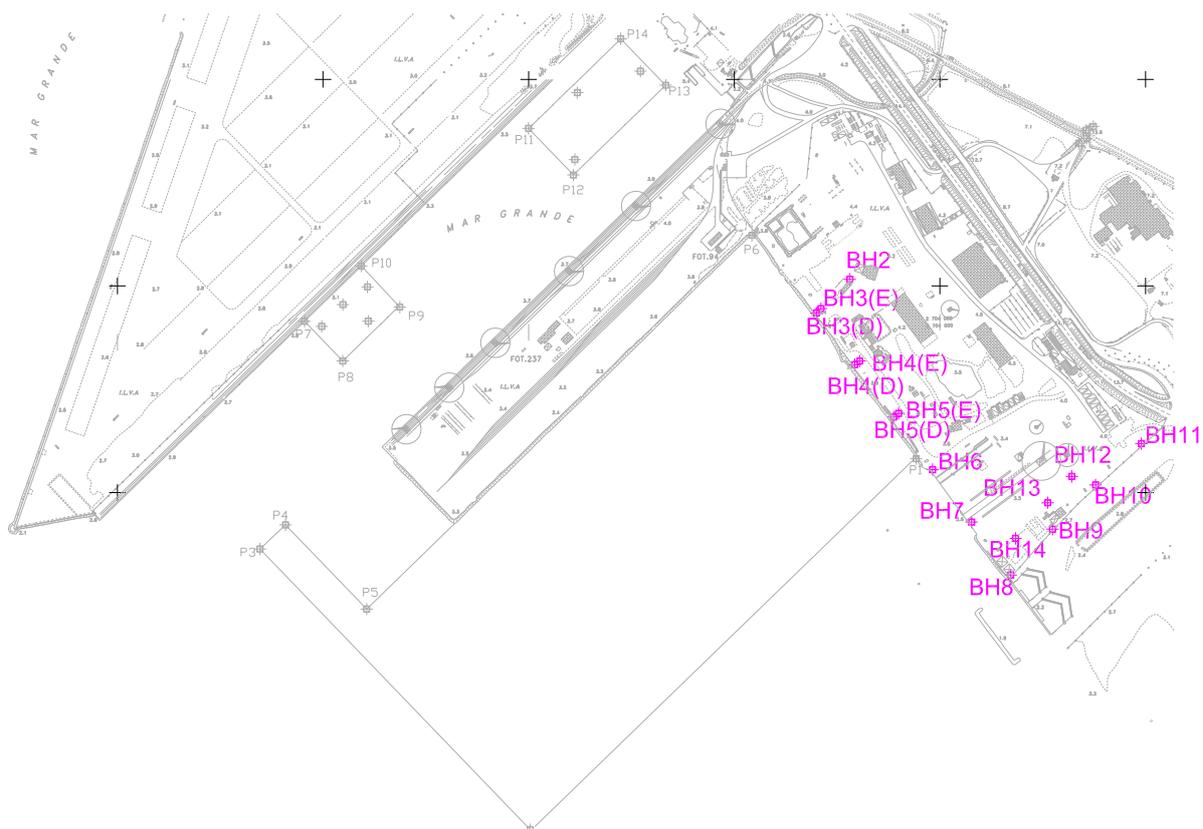


Figura 5-3: Ubicazione sondaggi Ex Yard Belleli

Nei mesi di Settembre-Ottobre 2012, nell'area marina ad Est del V sporgente, in corrispondenza dell'area destinata alla cassa di colmata in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini integrative:

- N. 4 sondaggi a rotazione e a carotaggio continuo (SN1, SN2, SN3, SN4) della lunghezza massima di 35 m dal l.m.m;
- Prelievo di N. 18 campioni indisturbati di terreno sottoposti a prove di laboratorio;
- Prelievo di N. 12 campioni rimaneggiati all'interno dei fori di sondaggio per la determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti limosi incoerenti superficiali;
- Prelievo di n. 3 campioni rimaneggiati di fondale per la determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti limosi incoerenti superficiali;
- N. 9 prove penetrometriche statiche con misura delle pressioni interstiziali (CPTEU1, CPTEU2, CPTEU3, CPTEU4, CPTEU5, CPTEU6, CPTEU7, CPTEU8, CPTEU9) di lunghezza massima di 30 m da l.m.m;
- Esecuzione di N. 3 prove di dissipazione nel corso delle prove CPTU.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nella planimetria di Figura 5.4.

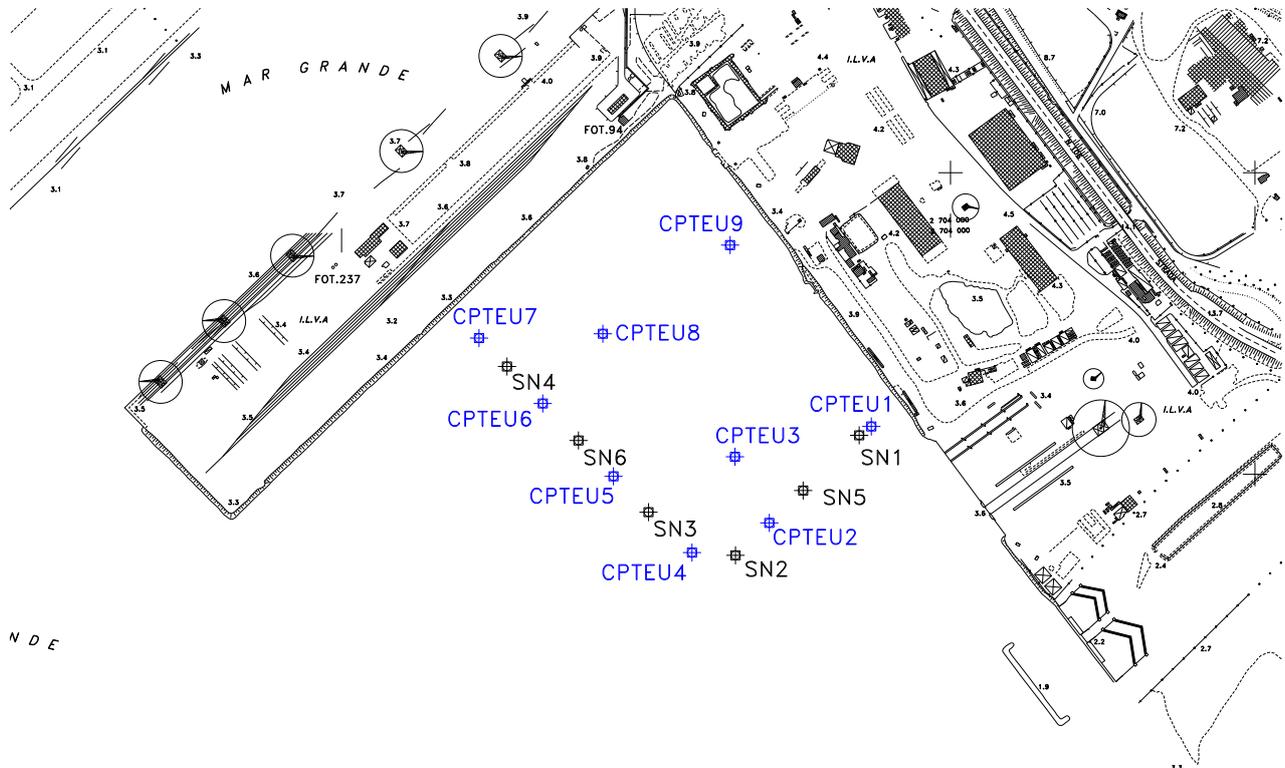


Figura 5.4: Ubicazione indagini integrative a mare area cassa di colmata

6 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

La sequenza stratigrafica individuata sulla base dei dati disponibili può essere sintetizzata, partendo dal piano di banchina, nel modo seguente:

- Terreni di riporto (R): Presenti in corrispondenza delle banchine, costituiscono i terreni di riempimento dei cassoni o di riempimento della piattaforma dei moli. Sono costituiti da terreni a granulometria variabile da limoso-sabbiosa a ghiaiosa (Molo Polisettoriale), materiale costituito ciottoli e blocchi sub-angolari di varie dimensioni di natura calcarea e scorie di loppa in matrice sabbioso-ghiaiosa (V Sporgente e Ex Yard Belleli).
- Depositi limoso sabbiosi (DLS): costituiscono i depositi presenti sul fondale. Si presentano a granulometria variabile da limosa a limoso sabbiosa. I sedimenti a granulometria limosa si presentano incoerenti, con componente nerastra diffusa; non è stato possibile ottenere campioni indisturbati nel corso delle campagne geognostiche. I sedimenti a componente limoso-sabbiosa si presentano da incoerenti a consistenti e con presenza diffusa di componente organica. Talora si incontrano livelli diffusi a granulometria sabbiosa. Lo spessore dei depositi incontrato nel corso delle indagini geogostiche è variabile da 2 m a 14 m.
- Depositi limoso argillosi (DLA): si presentano a grana limoso-argillosa, con presenza di strati centimetrici limoso-sabbiosi. Si presentano da debolmente consistenti a consistenti e di colore grigio-azzurro. Lo spessore dei depositi incontrato nel corso delle indagini geogostiche è variabile da 2 m a 6 m.
- Depositi argillosi (DA): Sono costituiti da termini argillosi con componente limosa decrescente con la profondità. Si presentano di colorazione grigio-azzurra, molto compatti e consistenti.

7 CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti nei paragrafi seguenti tengono conto della eterogeneità granulometrica dei terreni indagati, emersa dai carotaggi geognostici, e si basano sulle prove geotecniche in sito ed in laboratorio eseguite sui materiali e consistite in:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU e prove di dissipazione;
- prove di laboratorio di classificazione, di resistenza e di deformabilità sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nei fori di sondaggio.

7.1.1 PROVE DI LABORATORIO

7.1.1.1 Classificazione dei terreni

La classificazione dei terreni a grana fine è stato condotta in modo convenzionale facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- fusi granulometrici;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- contenuti d'acqua naturale;
- indice dei vuoti iniziale.

7.1.1.2 caratteristiche di resistenza al taglio

I parametri di resistenza al taglio sono stati valutati facendo riferimento alle prove triassiali consolidate non drenate TxCU, alle prove di taglio diretto ed alle prove triassiali non consolidate non drenate TxUU eseguite in laboratorio.

Una stima del valore dell'angolo di attrito residuo del terreno è stata condotta facendo riferimento a correlazioni sperimentali che legano il valore di ϕ'_R al contenuto di argilla, riportate negli abachi delle figure seguenti. Nel caso in esame è stato fatto riferimento alla relazione di Skempton (1964).

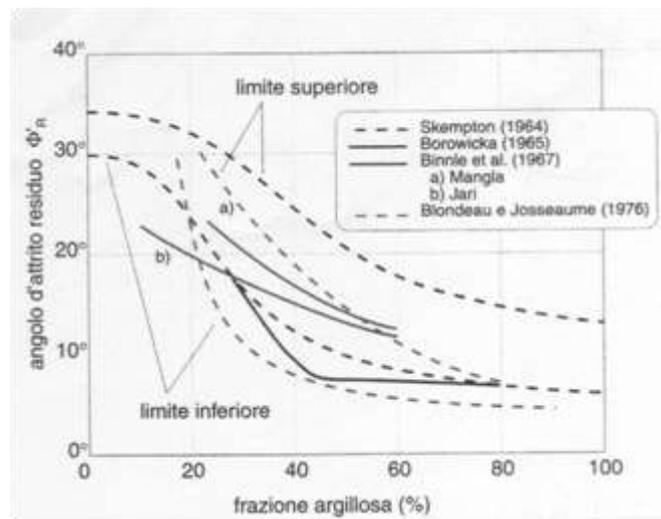


Figura 7-1: Abaco per la stima dell'angolo di attrito residuo in funzione del contenuto di argilla

7.1.1.3 caratteristiche di deformabilità e di permeabilità

Per la definizione delle caratteristiche di deformabilità e di permeabilità da prove di laboratorio si è fatto riferimento ai risultati delle prove edometriche, in corrispondenza di pressioni verticali efficaci pari a quella geostatica, ovvero in corrispondenza di indici dei vuoti pari a quelli iniziali e_0 .

Sempre dalle prove di compressione edometrica sono ricavati i coefficienti permeabilità ed i coefficienti di consolidazione primaria c_v , applicabili a problemi di flusso in direzione verticale, utilizzabili, ove appropriato, nell'ambito di teorie di consolidazione convenzionali.

7.1.2 CARATTERISTICHE DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ DA PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)

7.1.2.1 Caratteristiche di resistenza

Al fine di ricavare le caratteristiche di resistenza al taglio dei depositi a granulometria prevalentemente sabbiosa da prove SPT, si è fatto riferimento ad espressioni empiriche disponibili in letteratura che forniscono la correlazione tra il numero di colpi N_{SPT} , la densità relativa, la pressione geostatica verticale efficace σ'_{vo} e l'angolo di attrito ϕ' .

Nel caso in esame si è fatto riferimento alle seguenti correlazioni:

De Mello (1971)	$\phi' = 19 - 0.38\sigma + 8.73 \text{Log}(N_{SPT})$	Valida per le sabbie; inattendibile per profondità < 2 m da p.c. e per valori di $\phi' > 38^\circ$.
Shmertmann (1975)	$\phi' = 31.5 + 0.115N_{SPT}$	Valida per le sabbie medie uniformi e per le sabbie fini ben gradate

Per la stima dei valori di densità relativa dei terreni, è stato fatto riferimento alla correlazione di Bazaara [1967], secondo cui:

$$Dr = [N'_{SPT}/(20+0.8\sigma'_{vo})]^{0.5} \quad \text{per } \sigma'_{vo} < 73.2 \text{ kPa}$$

$$Dr = [N'_{SPT}/(65+0.2\sigma'_{vo})]^{0.5} \quad \text{per } \sigma'_{vo} > 73.2 \text{ kPa}$$

7.1.2.2 Caratteristiche di deformabilità

I valori del modulo elastico operativo possono essere ricavati a partire dai risultati delle prove SPT, facendo ricorso a relazioni sperimentali in base al tipo di terreno attraversato del tipo:

$$E_{op} = S_1 N_{SPT} + S_2 \text{ (MPa)}$$

Nel caso in esame, una relazione rappresentativa dei depositi indagati è quella di Webb (1970) per sabbia argillosa, che prevede:

$$S_1 = 0.316 \text{ e } S_2 = 1.58.$$

Nel caso dei terreni di riporto si fa riferimento alla relazione di D'Appolonia (1970) per sabbie e ghiaie, secondo cui:

$$S_1 = 0.756 \text{ e } S_2 = 18.75.$$

7.1.3 CARATTERISTICHE DI RESISTENZA, DEFORMABILITÀ E PERMEABILITÀ DA PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPTU-U)

7.1.3.1 Caratteristiche di resistenza

La resistenza al taglio non drenata c_u , associabile a quella caratteristica di prove triassiali di compressione e carico, consolidate alle tensioni efficaci geostatiche, può essere stimata sulla base delle seguenti espressioni (vedi ad esempio Lunne et al., 1985, Lunne et al., 1997).

$$c_u \approx \frac{q_t - u_2}{N_{KE}} \Rightarrow \text{prove CPTU}$$

essendo:

$$N_{KE} = 18 \cdot 15.45 \cdot B_q \quad (\text{per } B_q < 1.15)$$

σ_{vo} = pressione verticale totale

q_c = resistenza di punta

$$B_q = \frac{u_2 - u_o}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (-)$$

$$q_t = q_c + (1 - \alpha) \cdot u_2$$

$\alpha = 0.8$ = rapporto delle aree

u_2 = pressione interstiziale durante l'avanzamento del penetrometro misurata dietro il cono

u_o = pressione idrostatica

σ_{vo} = pressione verticale totale geostatica.

7.1.3.2 Caratteristiche di deformabilità

Una stima dei moduli di elasticità iniziali G_{o1} da prove CPT può essere fatta utilizzando la correlazione empirica proposta da Rix & Stokoe (1991) secondo la quale:

$$G_{o1} = 291 \cdot q_c \cdot \left[\frac{q_c}{(\sigma'_{vo} \cdot p_a)^{0.5}} \right]^{-0.75}$$

essendo p_a la pressione atmosferica di riferimento.

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci medie generiche p' , possono essere ricavati dalle seguenti espressioni:

$$G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o} \right)^{0.5} \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

Una stima del modulo edometrico a partire dai risultati della prova CPT può essere condotta con

riferimento alla relazione proposta da Kulhawy & Mayne (1990):

$$M = 8.25(q_t - \sigma_{v0})$$

7.1.3.3 Coefficienti di consolidazione e di permeabilità

A partire dai risultati di prove di dissipazione eseguite nel corso delle prove CPTU, può essere stimato il coefficiente di consolidazione facendo ricorso alla teoria della cavità espansa, secondo cui:

$$c = T_{50} r^2 / t_{50}$$

In cui:

T_{50} = fattore tempo;

t_{50} = tempo corrispondente al 50% della dissipazione della pressione dei pori in eccesso;

r = raggio del cono (modello cilindrico).

Una stima del coefficiente di permeabilità da prove di dissipazione può essere condotta facendo riferimento al grafico proposto da Robertson et al. (1992), riportato nella seguente figura, che consente la valutazione del coefficiente di permeabilità orizzontale k_h dal valore t_{50} della prova di dissipazione.

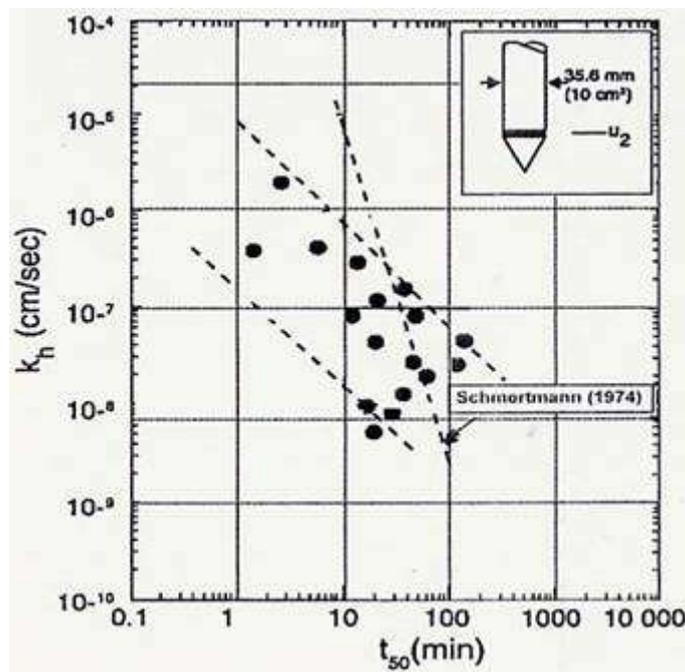


Figura 7-2: Grafico per la valutazione del coefficiente di permeabilità orizzontale k_h dal valore t_{50} della prova di dissipazione (Robertson et al., 1992)

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

8.1 TERRENI DI RIPORTO - R

La formazione in esame è costituita dai terreni di riempimento dei cassoni o di riempimento della piattaforma dei moli, a granulometria e composizione variabile. In particolare, i carotaggi eseguiti sui moli hanno permesso di individuare due tipologie principali di riporti:

- V Sporgente ed ex Yard Belleli: ciottoli e blocchi sub-angolari di varie dimensioni di natura calcarea e scorie di loppa in matrice sabbioso-ghiaiosa.
- Molo Polisettoriale: terreni a granulometria variabile da limoso-sabbiosa a ghiaiosa.

Nel corso delle indagini geognostiche è stato possibile eseguire prove SPT e due prove di permeabilità in foro.

8.1.1 Caratteristiche di resistenza al taglio

Le prove SPT eseguiti nei fori di sondaggio, hanno fornito valori di N_{SPT} compresi tra i seguenti valori (Figura 8-1):

- Sondaggi V Sporgente: $N_{SPT}=60$ – Rifiuto;
- Sondaggi Molo Polisettoriale: $N_{SPT}=12$ – Rifiuto;

I valori di densità relativa sono risultati variabili nei seguenti intervalli (Figura 8-2):

- Sondaggi V Sporgente: $D_r=96 - 100\%$ (i valori più elevati di N_{SPT} sono dovuti principalmente alla presenza di ciottoli).
- Sondaggi Molo Polisettoriale: $D_r=37 - 100\%$.

A partire dai risultati delle prove SPT, valori dell'angolo di attrito rappresentativi del deposito possono assumersi nei seguenti intervalli (Shmertmann, 1975 - Figura 8-3):

- Sondaggi V Sporgente: $\varphi'=42^\circ - 43^\circ$; ai fini della progettazione si assume un valore dell'angolo di attrito maggiormente cautelativo rispetto ai risultati ottenuti e pari a $\varphi'=40^\circ$.
- Sondaggi Molo Polisettoriale: $\varphi'=36^\circ - 43^\circ$. Ai fini della progettazione si assume un intervallo di valori cautelativo: $\varphi'=36^\circ - 40^\circ$.

In corrispondenza dell'area ex Yard Belleli, dati bibliografici caratterizzano i materiali di riporto con i seguenti valori di angolo di attrito:

- Ex Yard Belleli: $\varphi'=36 - 43^\circ$. Ai fini della progettazione si assume un intervallo di valori cautelativo: $\varphi'=36^\circ - 40^\circ$.

8.1.2 Caratteristiche di deformabilità

Dai risultati delle prove SPT, sono stati determinati valori dei moduli di elasticità compresi rispettivamente nei seguenti intervalli di valori (D'Appolonia, 1970) (Figura 8-4):

- Sondaggi V Sporgente: $E=75 - 95$ MPa. Può assumersi un valore rappresentativo pari ad $E=80$ MPa.

- Sondaggi Molo Polisettoriale: E=30 - 95 MPa. Può assumersi un valore rappresentativo pari ad E=40 MPa.

In corrispondenza dell'area ex Yard Belleli, dati bibliografici caratterizzano i materiali di riporto con i seguenti valori di modulo elastico:

- Ex Yard Belleli: E=50 – 70 MPa.

8.1.3 Coefficienti di permeabilità

Le prova di permeabilità in foro eseguita nel terreno in oggetto ha fornito un coefficiente di permeabilità medio pari a 2.4×10^{-4} m/s (vedi tabella seguente).

Prove Lefranc		
Sondaggio	Profondità prova (m)	K (m/s)
BH7	9,5	4,50E-04
BH10	6,2	2,70E-05

8.1.3.1 Sintesi delle caratteristiche geotecniche

TERRENI DI RIPORTO (R)	
Parametri geotecnici caratteristici	
γ (kN/m ³)	19 – 22 (Valori di letteratura)
c' (kPa)	0
ϕ' (°)	Sondaggi V Sporgente: 40° Sondaggi Molo Polisettoriale: 36 – 40° Ex Yard Belleli: 36 – 40° (da dati bibliografici)
E (MPa)	Sondaggi V Sporgente: 80 MPa Sondaggi Molo Polisettoriale: 40 MPa Ex Yard Belleli: 50 - 70 (dati bibliografici)
K (m/s)	2.4×10^{-4}

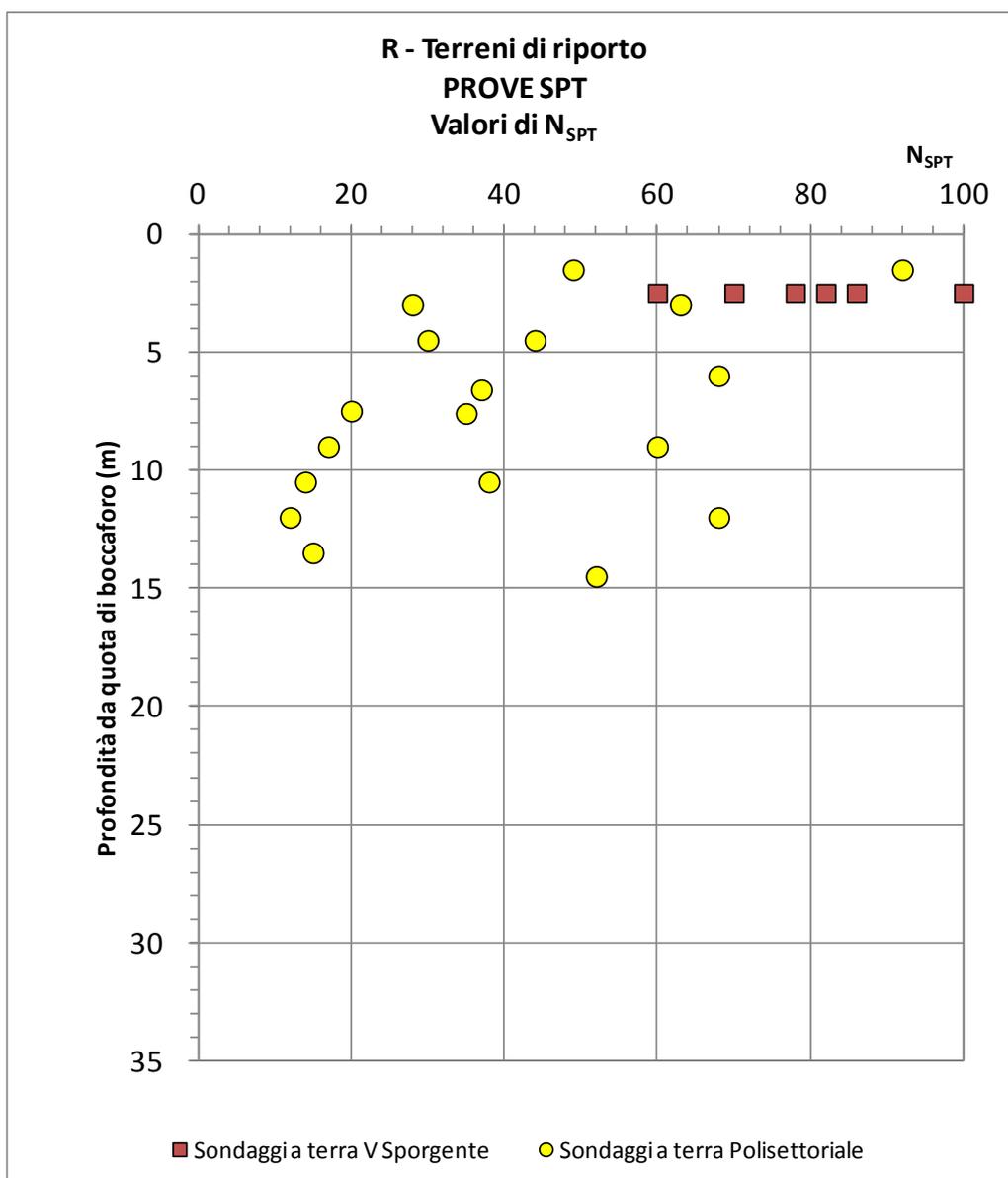


Figura 8-1: Terreni di riporto - R – Valori di N_{SPT}

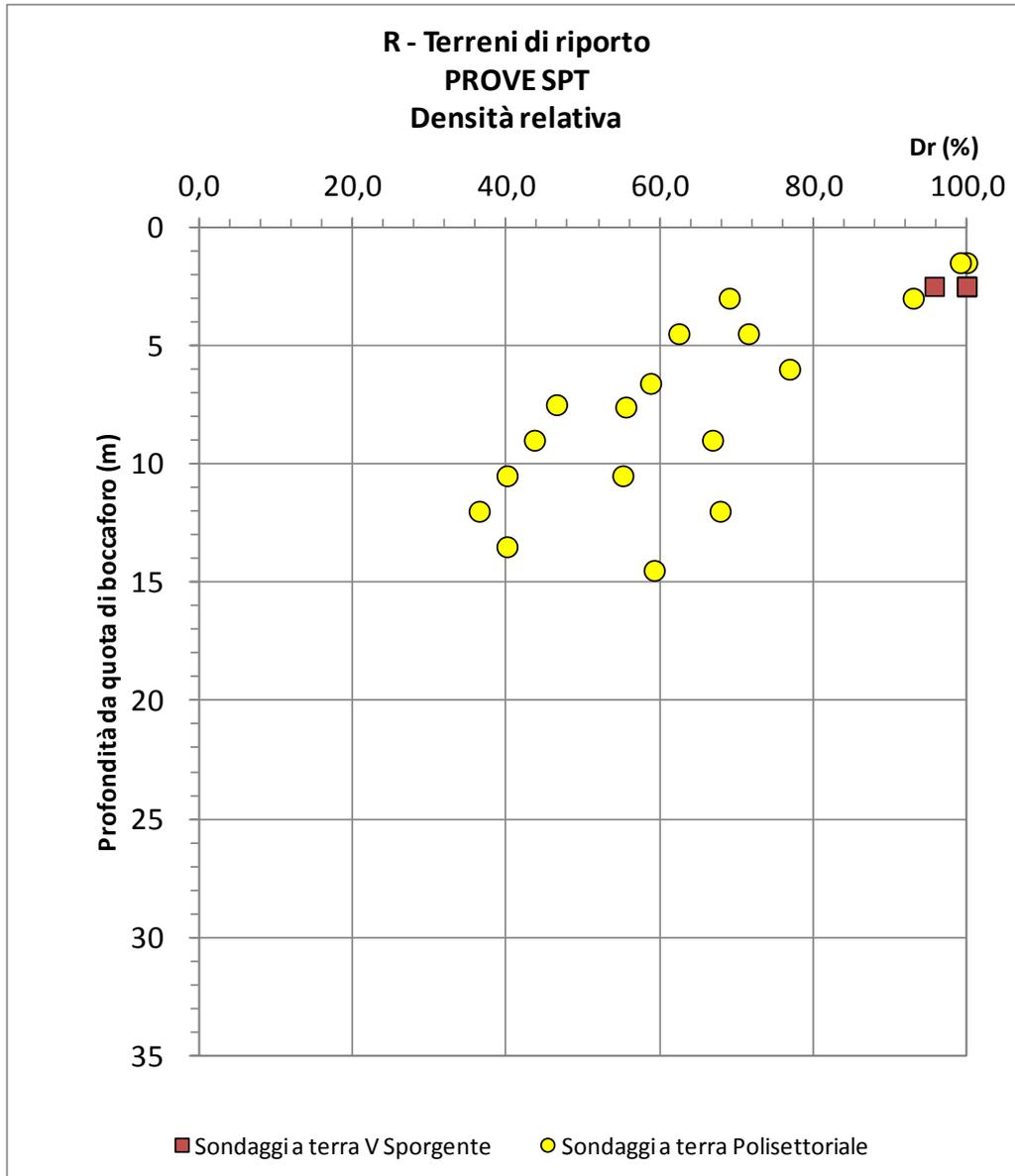


Figura 8-2: Terreni di riporto – R - Valori di Densità relativa

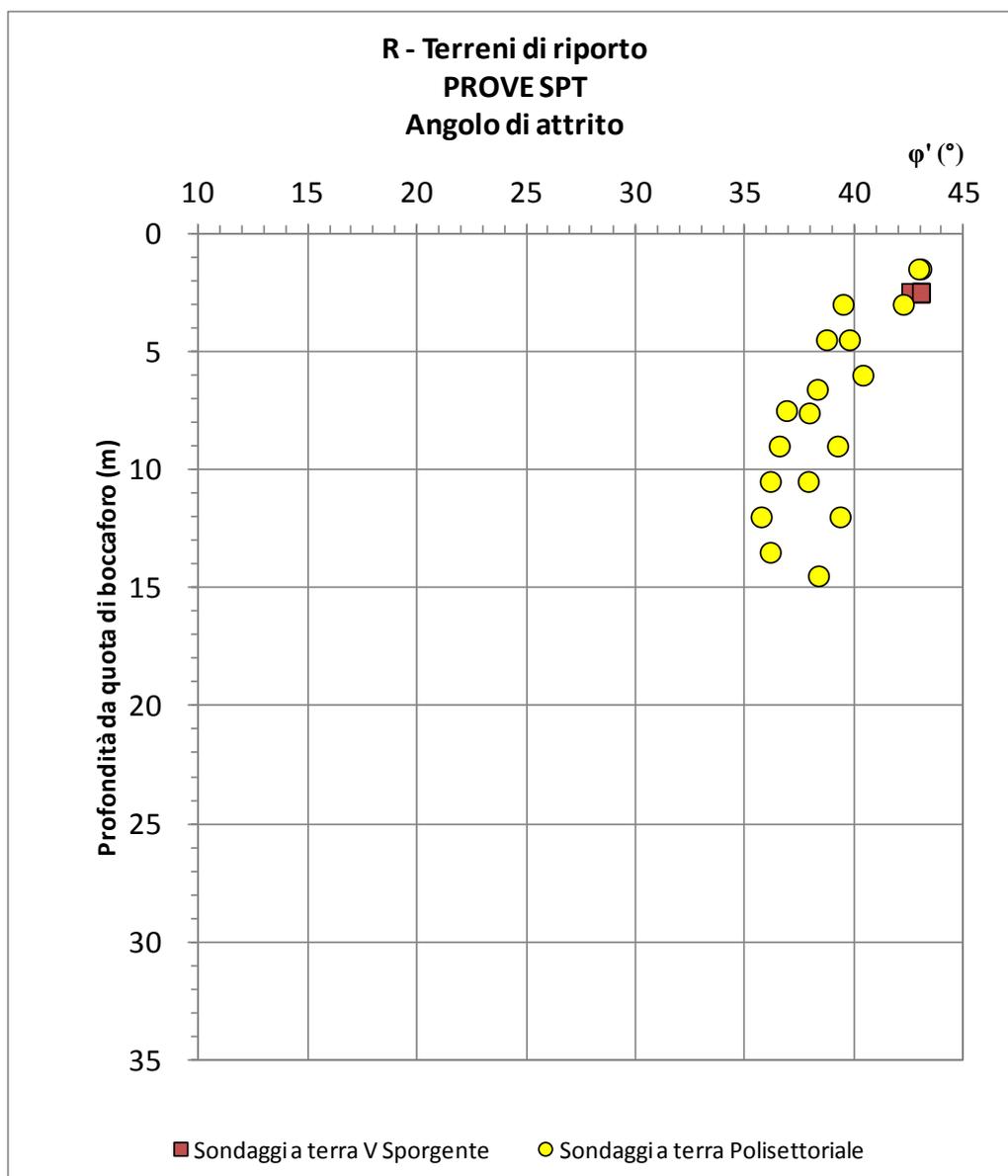


Figura 8-3: Terreni di riporto – R - Valori dell'angolo di attrito

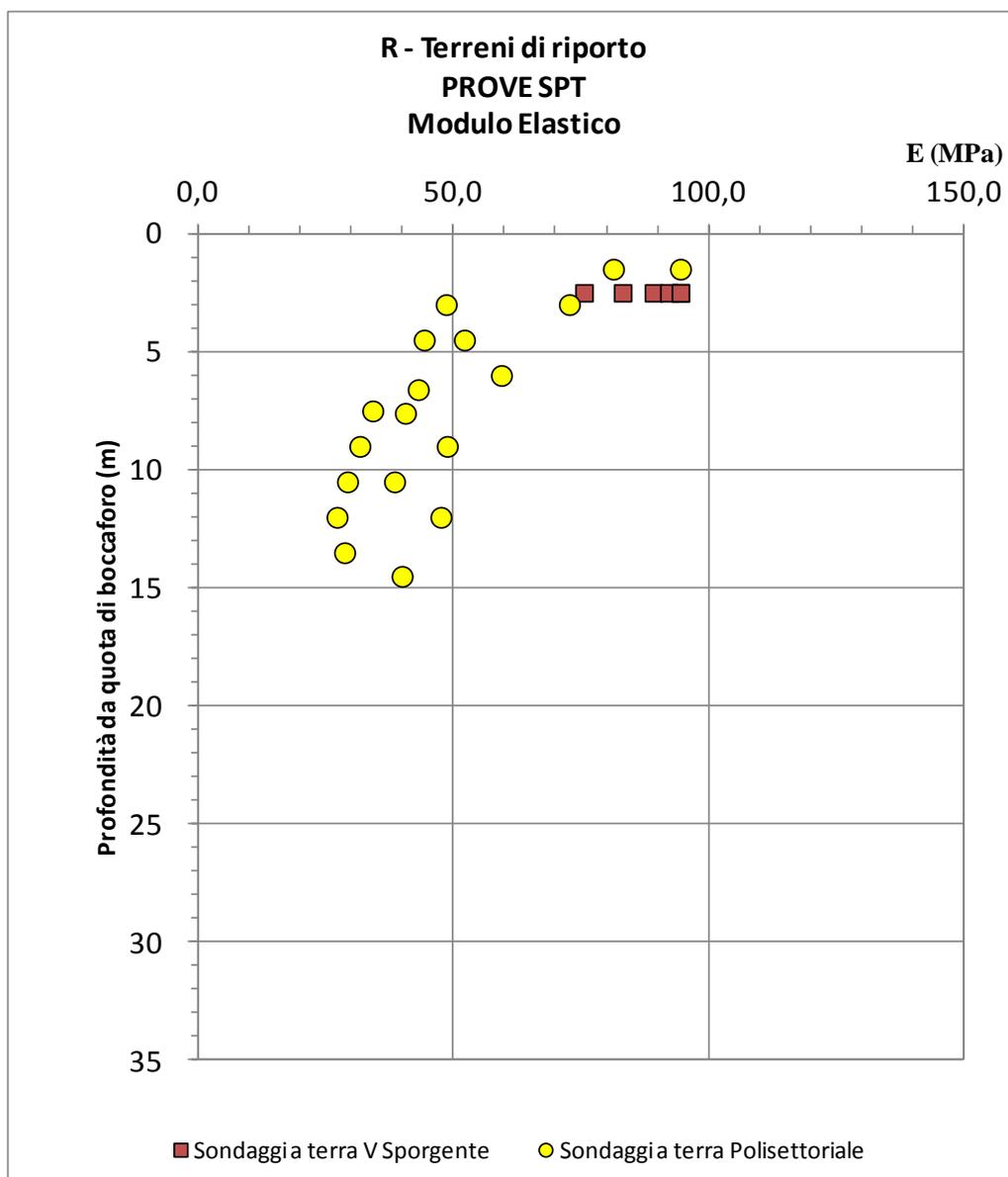


Figura 8-4: Terreni di riporto – R - Valori del modulo elastico

8.2 DEPOSITI LIMOSO-SABBIOSI - DLS

Nel corso dei sondaggi geognostici non è stato possibile ottenere campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove e determinazioni in laboratorio.

Con riferimento alle campagne geognostiche pregresse è stato possibile prelevare n. 10 campioni rimaneggiati in corrispondenza dei sondaggi eseguiti a mare in prossimità del molo Polisettoriale. Per la determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche si è fatto riferimento anche ai risultati delle prove condotte su campioni di fondale prelevati con vibrocarotiere entro i primi 3 m di profondità.

Nel corso della campagna di indagini geognostiche integrative a mare in corrispondenza della cassa di colmata in progetto è stato possibile prelevare n. 7 campioni rimaneggiati di terreno nel corso dell'esecuzione dei fori di sondaggio e n. 3 campionamenti del fondale, i quali sono stati sottoposti alla determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche.

Nel corso delle indagini geognostiche pregresse sono state eseguite n. 36 prove SPT nei fori di sondaggio in mare (sondaggi eseguiti in area marina Est V Sporgente ed in area marina antistante Molo Polisettoriale).

8.2.1.1 Caratteristiche fisiche e granulometriche

Dalle analisi eseguite sui campioni rimaneggiati prelevati, i depositi hanno presentato contenuti granulometrici variabili nei seguenti intervalli (Figura 8-9, Figura 8-10, Figura 8-11):

ghiaia = 0% ÷ 80%.

sabbia = 4% ÷ 83%

limo = 9 ÷ 67%

argilla = 5 ÷ 53%

argilla+limo = 2 ÷ 96%.

Il peso specifico dei granuli (γ_s) determinato su n. 39 campioni risulta variabile da a 2.1 a 2.8 g/cm³ (Figura 8-12).

Il peso secco (γ_d) determinato su n. 30 campioni risulta variabile da a 10.2 a 18.8 kN/m³ (Figura 8-12).

8.2.1.2 Caratteristiche di resistenza al taglio

Le prove SPT eseguiti nei fori di sondaggio marini, hanno fornito valori di N_{SPT} compresi tra 0 e 84. I risultati ottenuti mostrano la variabilità di consistenza dei sedimenti incontrati nel corso delle prove. In particolare, i valori di N_{SPT} nulli o prossimi allo zero mostrano come in alcune verticali di indagine tali sedimenti si siano presentati completamente sciolti ed incoerenti. Al contrario i valori maggiori di N_{SPT} misurati nel corso delle prove dimostrano come in alcuni fori di sondaggio i sedimenti presentino una consistenza maggiore o presentino, dal punto di vista granulometrico, maggior frazione sabbioso-ghiaiosa.

Alla luce di tali risultati i valori di densità relativa sono risultati dispersi e variabili nel seguente intervallo (Figura 8-14):

$D_r = 0\% - 100\%$

A seguito dell'interpretazione dei risultati delle prove SPT sono risultati valori dell'angolo di attrito compresi nel seguente intervallo (Figura 8-16):

$$\varphi' = 20^\circ - 31^\circ.$$

Mediante correlazioni empiriche che legano il valore dell'angolo di attrito al contenuto di argilla è possibile ottenere una stima dell'angolo di attrito residuo del terreno. Nel caso in esame è stato fatto riferimento alla correlazione di Skempton (1964), che ha permesso di stimare valori dell'angolo di attrito residuo compresi nel seguente intervallo (Figura 8-16):

$$\varphi'_R = 15 - 32^\circ$$

A seguito dell'eterogeneità dei sedimenti e della dispersione dei risultati, ai fini della progettazione delle opere, a favore di sicurezza sarà opportuno fare riferimento ad un intervallo di valori conservativo dell'angolo di attrito:

$$\varphi' = 15^\circ - 22^\circ.$$

8.2.1.3 Caratteristiche di deformabilità

Dai risultati delle prove SPT, sono stati determinati valori dei moduli di elasticità operativi compresi nei seguenti intervalli di valori (Figura 8-18):

$E_{op} = 1.5 - 31$ MPa (i valori massimi in corrispondenza della base del deposito o in livelli a maggior consistenza o a maggior presenza di componente sabbiosa-ghiaiosa).

Le prove CPTU integrative eseguite nel deposito, hanno fornito valori della resistenza alla punta variabili nel seguente intervallo (Figura 8-17):

$Q_c = 0 - 7$ MPa (Valori più elevati sono stati misurati in strati a maggior consistenza o a maggior presenza di componente sabbiosa-ghiaiosa).

Dai risultati delle prove CPTU (relazione di Kulhawy - Mayne, 1990) sono stati stimati valori del modulo elastico operativo compresi tra:

$E_{op} = 1 - 19$ MPa (i valori maggiori sono risultati nell'ambito di strati a maggior consistenza o a maggior presenza di componente sabbiosa-ghiaiosa).

A causa dell'eterogeneità dei sedimenti e della dispersione dei risultati, in via cautelativa, ai fini della progettazione delle opere, si possono assumere per il deposito valori conservativi del modulo elastico operativo e compresi nel seguente intervallo:

$$E_{op} = 2 - 5 \text{ MPa}$$

Dai risultati delle prove CPTU, mediante l'applicazione della relazione di Rix e Stokoe, sono stati determinati valori dei moduli al taglio e di elasticità iniziali, compresi rispettivamente nei seguenti intervalli di valori:

$$G_{01} = 3 - 70 \text{ MPa (Figura 8-19);}$$

$$E_{01} = 9 - 190 \text{ MPa (Figura 8-20).}$$

Dall'analisi dell'andamento dei valori dei moduli elastici e al taglio con la profondità, si sono stimati i valori dei moduli di riferimento, in corrispondenza di una tensione verticale efficace media di riferimento rappresentativa dello strato pari a 40 KPa:

$$G_{01,ref} = 37.5 \text{ MPa}$$

$$E_{01,ref} = 100 \text{ MPa}$$

Tuttavia, facendo riferimento ad un approccio più conservativo ai fini della progettazione, si può assumere un andamento minimo dei moduli, secondo cui in corrispondenza di una tensione verticale efficace media di riferimento rappresentativa dello strato pari a 40 KPa, risultano valori dei moduli di riferimento pari a:

$$G_{01,ref \text{ min}} = 25 \text{ MPa}$$

$$E_{01,ref \text{ min}} = 67.5 \text{ MPa}$$

I valori dei moduli di riferimento e della pressione efficace litostatica corrispondente, permettono quindi di stimare i valori dei moduli alle pressioni efficaci medie generiche, mediante le seguenti relazioni:

$$G_0, E_0 = G_{01,ref}, E_{01,ref} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0,ref}} \right)^m$$

8.2.1.4 Coefficienti di permeabilità

Nel corso dei sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza dell'ex Yard Belleli, è stata eseguita una prova Lefranc che ha fornito il seguente valore del coefficiente di permeabilità:

Prove Lefranc		
Sondaggio	Profondità prova (m)	K (m/s)
BH1	5,8	9,68E-06

8.2.1.5 Sintesi delle caratteristiche geotecniche

DEPOSITI LIMOSO SABBIOSI - DLS	
Parametri geotecnici caratteristici	
γ (KN/m ³)	13 – 15 (valori di letteratura)
c' (kPa)	0
ϕ' (°)	15 – 22 (valori cautelativi)
G_0 (MPa)	Andamento medio: $G_{o,ref} = 37.5$ MPa – $z_{ref}=15$ m da l.m. ($\sigma_{vo}'_{media} = 40$ kPa). Andamento minimo (cautelativo): $G_{o,ref} = 25$ MPa – $z_{ref}=15$ m da l.m. ($\sigma_{vo}'_{media} = 40$ kPa)
E_0 (MPa)	Andamento medio: $E_{o,ref} = 100$ MPa – $z_{ref}=15$ m da l.m. ($\sigma_{vo}'_{media} = 40$ kPa). Andamento minimo (cautelativo): $E_{o,ref} = 67.5$ MPa – $z_{ref}=15$ m da l.m. ($\sigma_{vo}'_{media} = 40$ kPa).
E_{op} (MPa)	2 – 5 (valori cautelativi)
K (m/s)	9.7×10^{-6}

Tabella 8.5 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Polisettoriale

INFORMAZIONI GENERALI						CARATTERISTICHE FISICHE	GRANULOMETRIA						
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal p.c.)	Profondità finale (m dal p.c.)	Profondità falda in foro (m dal p.c.)	γ_s (g/cm ³)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	L+A (%)	D60 (mm)	D50 (mm)
BH1	R1	rimaneggiato	19,00	19,45	0,00	2,71	7,7	30,4	39,5	22,4		6,88E-02	3,98E-02
BH1	R2	rimaneggiato	20,00	20,45	0,00	2,73	0,7	3,5	45,8	50,0		9,85E-03	4,99E-03
BH4	R1	rimaneggiato	19,00	19,45	0,00		80,2	18,3			1,5	5,42E+00	4,59E+00
BH4	R2	rimaneggiato	20,00	20,45	0,00		59,4	34,6			6,0	5,27E+00	3,45E+00
BH4	R4	rimaneggiato	21,00	21,45	0,00		13,4	65,3			21,3	4,59E-01	2,75E-01
BH7	R1	rimaneggiato	17,5	17,9	0,00		66,90	22,50			10,60	6,59E+00	4,99E+00
BH7	R2	rimaneggiato	18,5	18,7	0,00		39,70	49,10			11,20	1,97E+00	1,20E+00
BH10	R1	rimaneggiato	17	17,45	0,00		45,70	38,60			15,70	3,65E+00	1,04E+00
BH10	R2	rimaneggiato	18,5	18	0,00		30,20	51,60			18,20	1,09E+00	5,55E-01
BH10	R3	rimaneggiato	19,5	19,95	0,00		40,50	57,80			1,70	2,04E+00	1,38E+00

Tabella 8.6 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – campionamenti fondale con vibrocarotiere - Polisettoriale

INFORMAZIONI GENERALI			CARATTERISTICHE FISICHE		GRANULOMETRIA			
Sondaggio	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	γ_d (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)
S 001	0	0,5	1,22	2,72	0,00	21,17	54,76	24,07
S 001	0,5	1	1,10	2,75	0,15	82,68	12,01	5,17
S 001	1	1,5	1,08	2,64	0,00	11,35	57,05	31,60
S 001	1,5	2	1,21	2,68	8,69	59,35	21,55	10,41
S 001	2	2,5	1,42	2,66	0,00	16,95	53,10	29,95
S 002	0	0,5	1,22	2,62	0,00	44,26	41,27	14,47
S 002	0,5	1	1,55	2,75	21,07	44,67	24,39	9,87
S 002	1	1,5	1,08	2,71	9,86	56,23	22,35	11,56
S 002	1,5	2	1,11	2,74	0,00	18,80	52,80	28,40
S 002	2	2,5	1,88	2,60	20,14	39,54	25,99	14,33
S 002	2,5	3	1,65	2,48	58,43	27,79	9,24	4,54
S 003	0	0,5	1,20	2,47	0,00	30,83	50,82	18,35
S 003	0,5	1	1,20	2,40	0,00	27,12	54,94	17,94
S 003	1	1,5	1,08	2,46	0,69	27,37	51,16	20,78
S 003	1,5	2	1,07	2,70	0,00	40,95	42,36	16,69
S 003	2	2,5	1,03	2,48	0,20	15,87	57,23	26,70
S 003	2,5	3	1,02	2,57	0,68	23,13	50,64	25,55
S 004	0	0,5	1,15	2,63	0,30	4,10	57,64	37,96
S 008	0	0,5	1,24	2,84	0,00	8,13	38,54	53,33
S 008	0,5	1	1,11	2,60	3,70	22,55	49,12	24,63
S 008	1	1,5	1,10	2,70	0,27	7,92	59,25	32,57
S 008	1,5	2	1,08	2,13	0,77	16,07	55,44	27,71
S 008	2	2,5	1,11	2,15	1,58	23,94	49,69	24,80
S 008	2,5	3	1,07	2,66	0,37	37,95	44,77	16,91
S 009	0	0,5	1,09	2,45	0,00	31,59	51,51	16,90
S 009	0,5	1	1,31	2,46	0,30	24,44	55,93	19,33
S 009	1	1,5	1,19	2,17	0,05	26,76	58,15	15,03
S 009	1,5	2	1,41	2,66	0,00	22,65	63,11	14,24
S 009	2	2,5	1,22	2,73	0,00	20,74	64,47	14,79
S 009	2,5	3	1,29	2,83	0,11	23,05	63,79	13,04

Tabella 8.7 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – Cassa di colmata

INFORMAZIONI GENERALI				CARATTERISTICHE FISICHE						GRANULOMETRIA			
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità (m dal l.m.)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	ip	LR	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)
SN1	CR1	rimaneggiato	18	2,72	45,90	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,30	9,00	64,20	26,50
SN2	CR1	rimaneggiato	19,2	2,72	45,00	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,10	6,40	66,80	26,70
SN2	CR2	rimaneggiato	21	2,72	39,40	N.R.	N.R.	-	N.R.	1,30	5,10	66,00	27,70
SN3	CR1	rimaneggiato	23	2,72	36,90	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,10	6,80	67,40	25,60
SN4	CR1	rimaneggiato	20,2	2,71	43,60	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,60	13,30	65,50	20,50
SN5	CR1	rimaneggiato	20	2,72	34,10	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,20	6,10	62,70	31,00
SN6	CR1	rimaneggiato	24,2	2,71	27,30	N.R.	N.R.	-	N.R.	3,00	23,60	54,50	18,90

Tabella 8.8 – DLS - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Campionamenti integrativi del fondale – Cassa di colmata

INFORMAZIONI GENERALI			GRANULOMETRIA			
Sondaggio	Campione	Profondità (m dal fondale)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)
T093	campionamento fondale	0,00	0,00	19,80	54,50	25,80
T100	campionamento fondale	0,00	0,00	20,80	53,40	25,80
T110	campionamento fondale	0,00	0,00	21,90	52,90	25,20

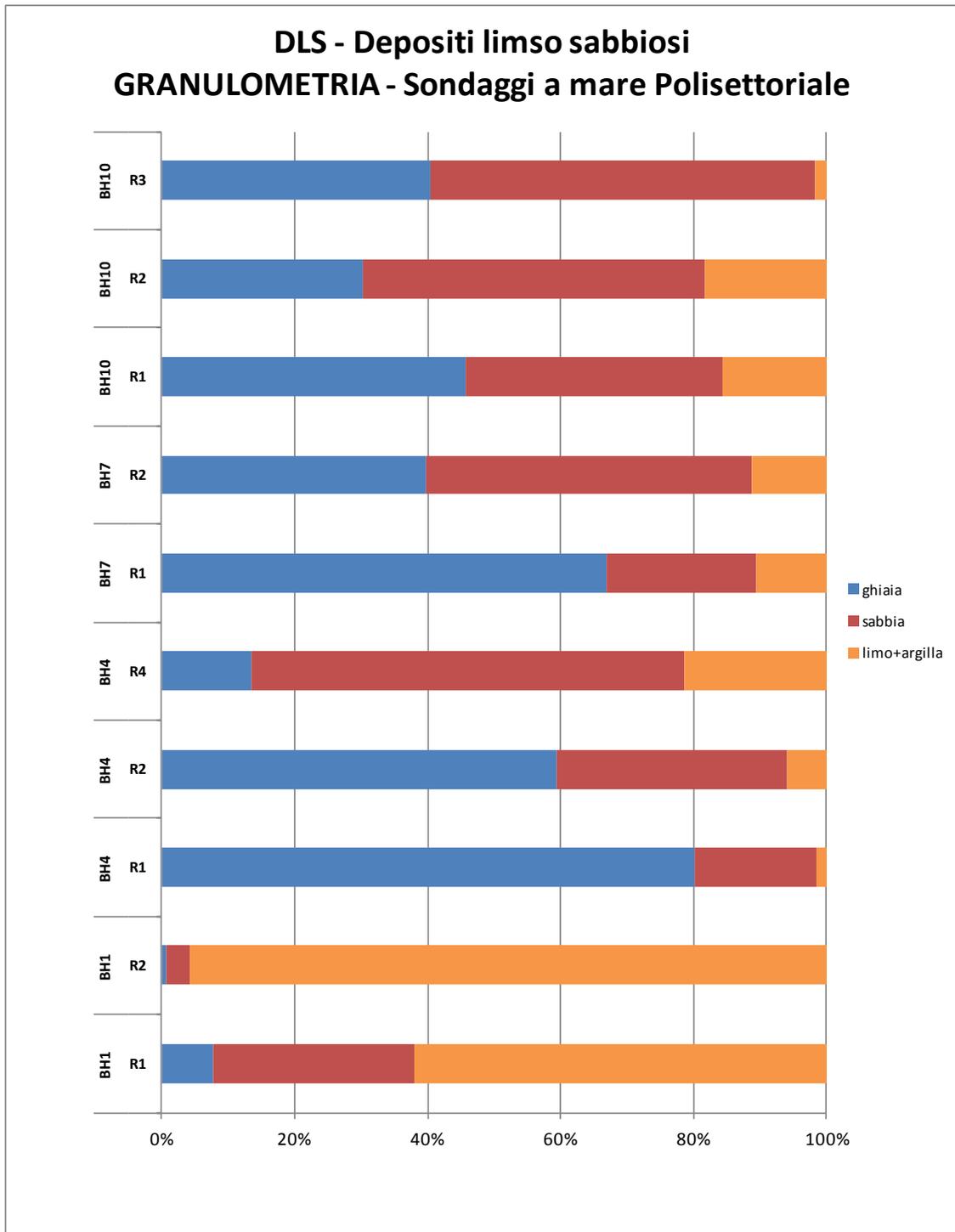


Figura 8-9: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria

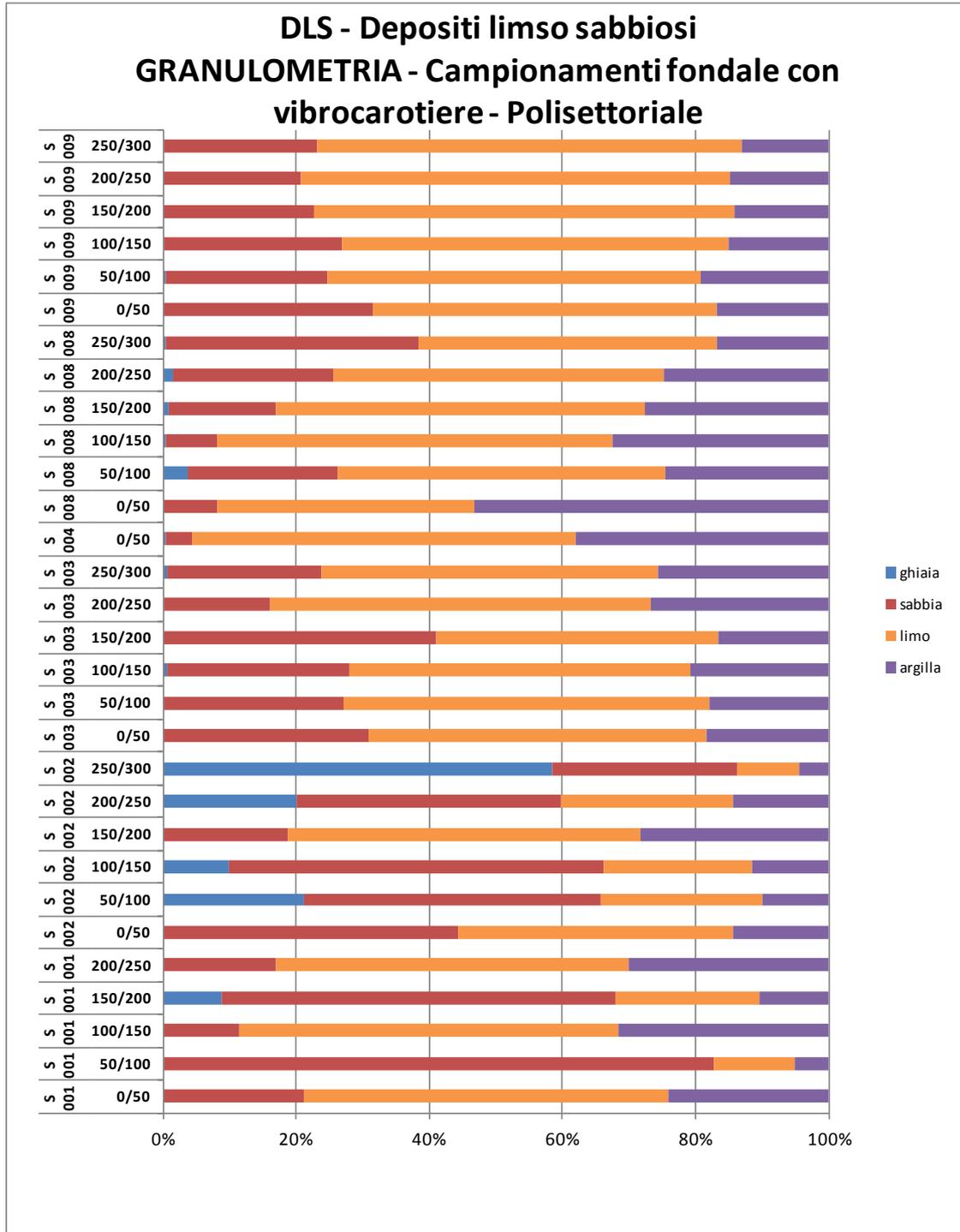


Figura 8-10: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria

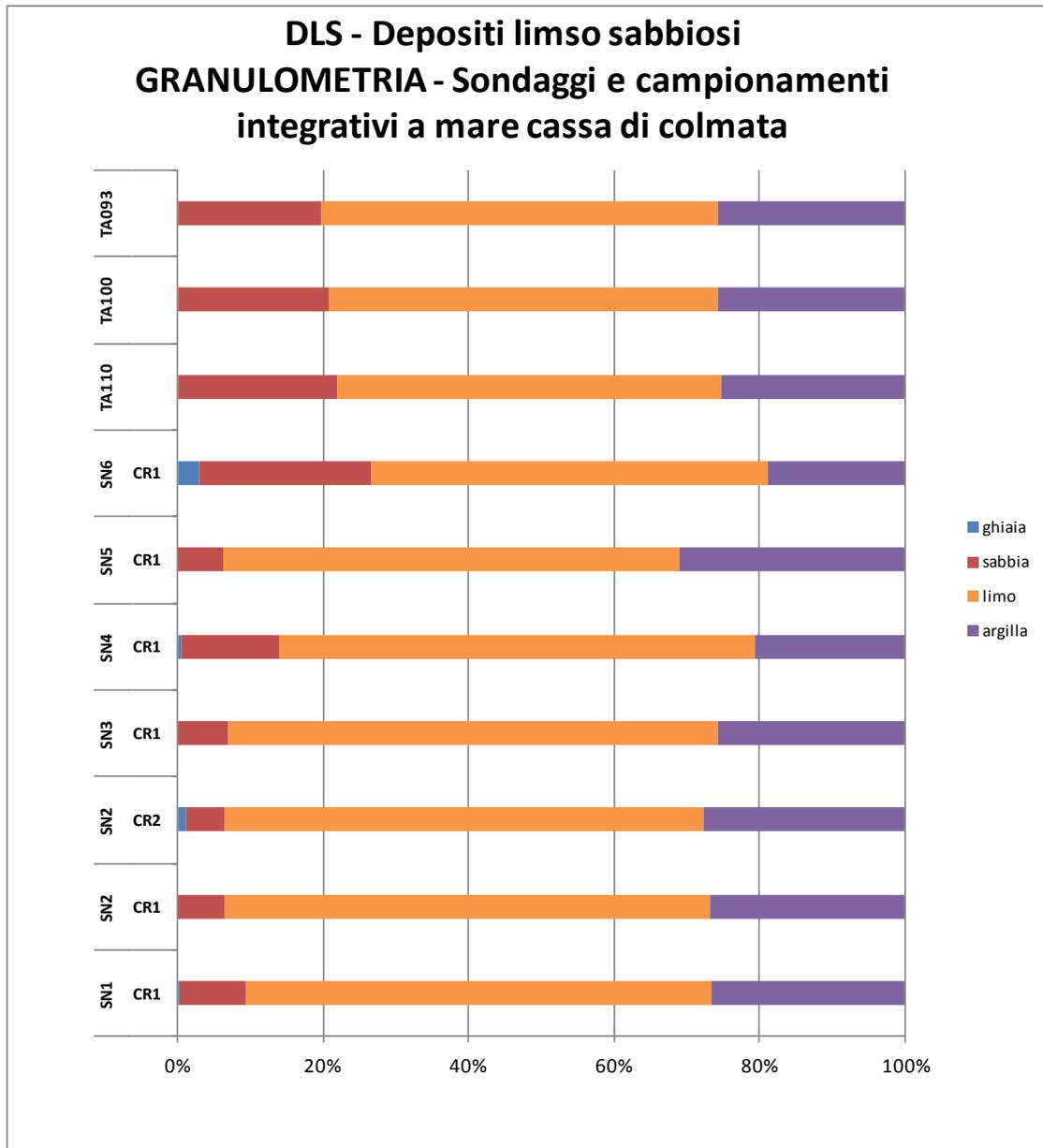


Figura 8-11: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Granulometria

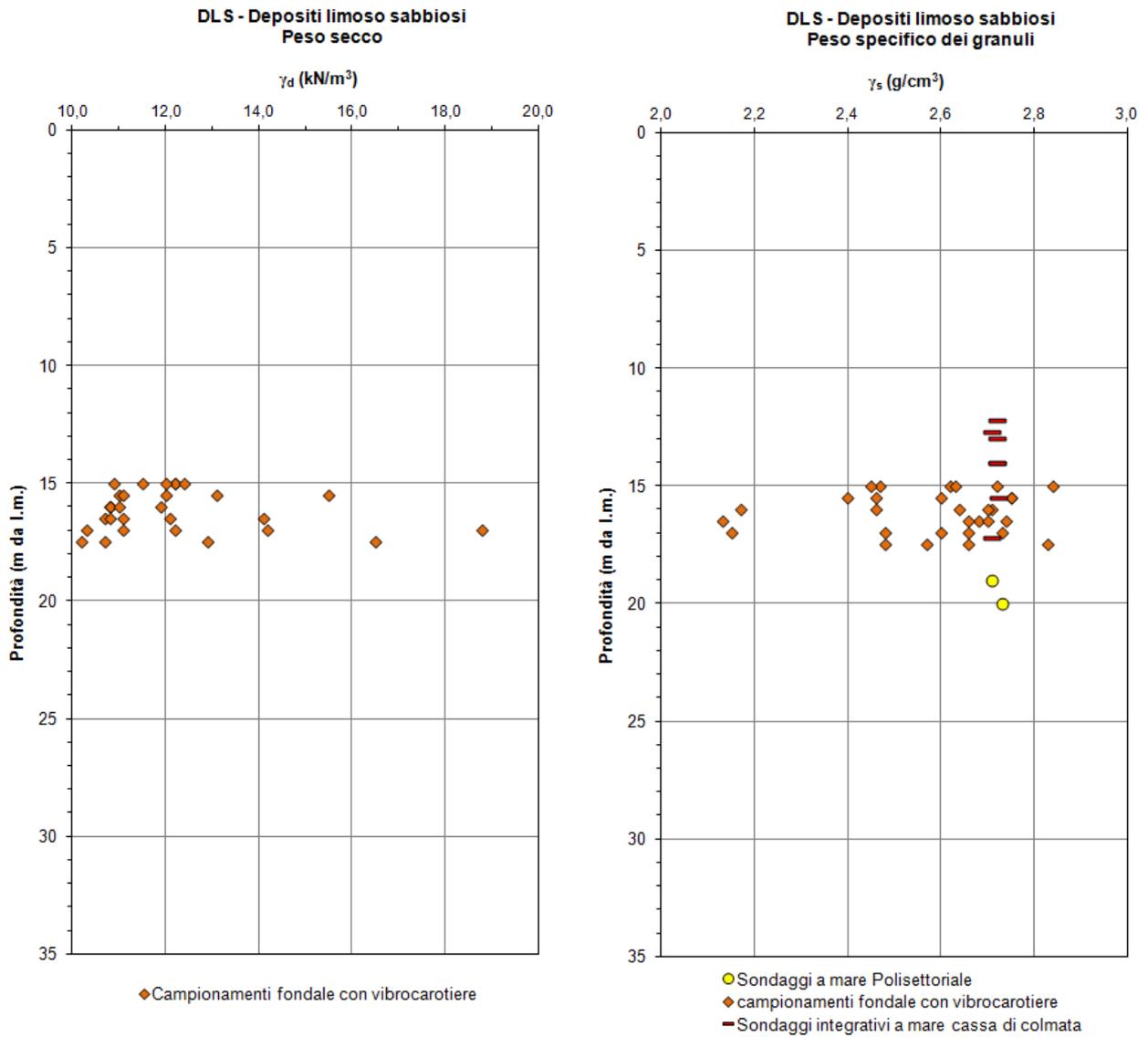


Figura 8-12: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Peso secco, Peso specifico dei granuli

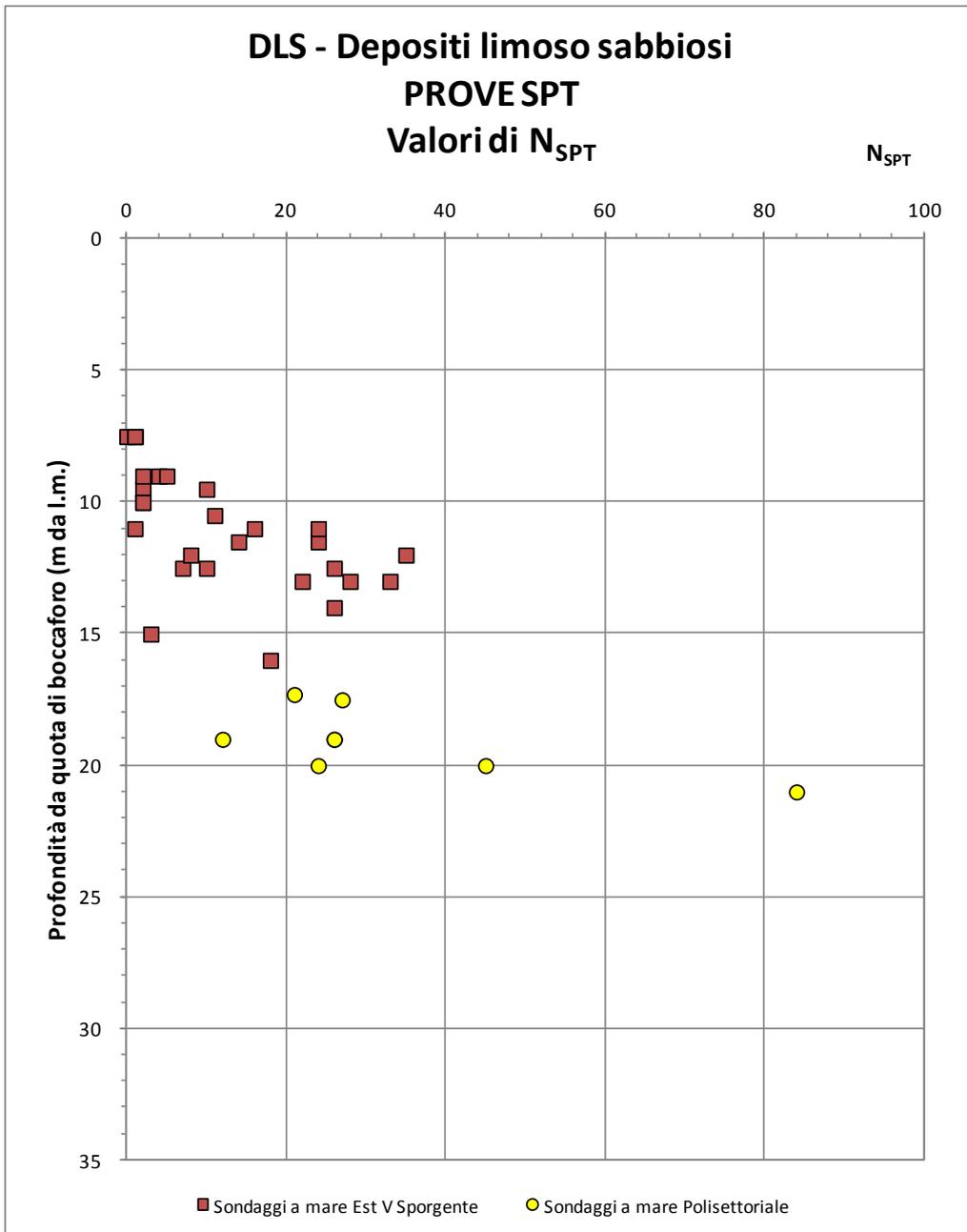


Figura 8-13: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori di N_{SPT}

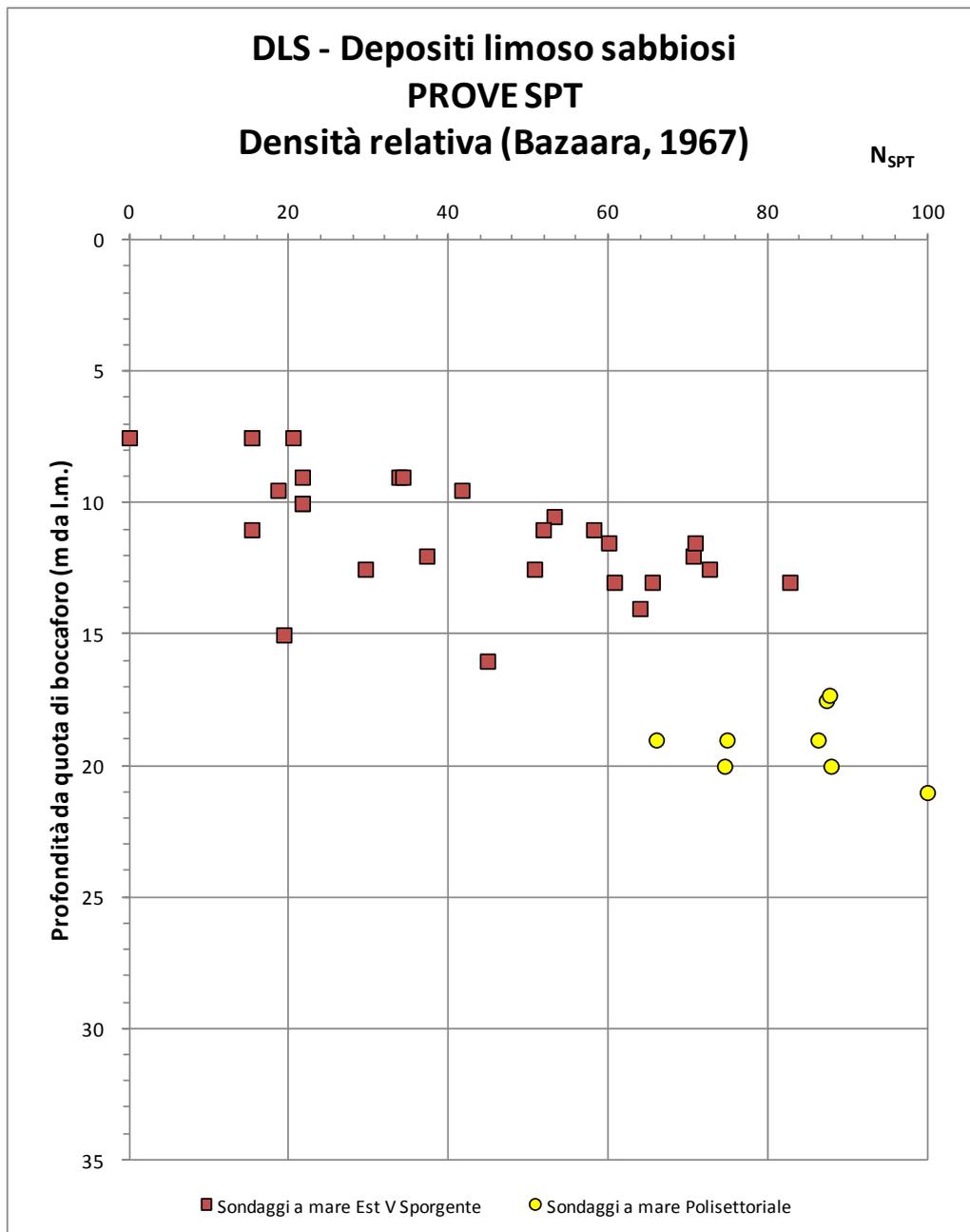


Figura 8-14: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori di Densità relativa

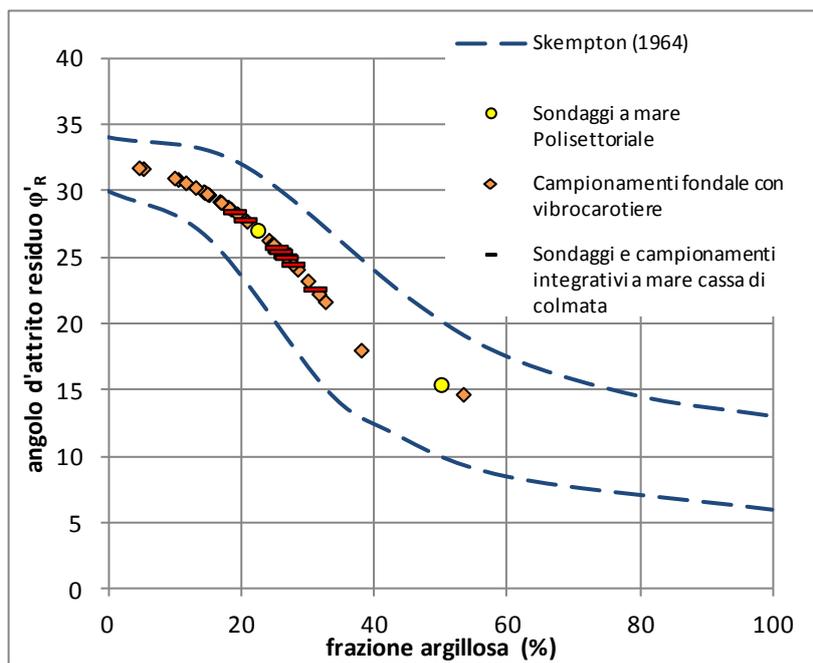


Figura 8-15: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori dell'angolo di attrito residuo

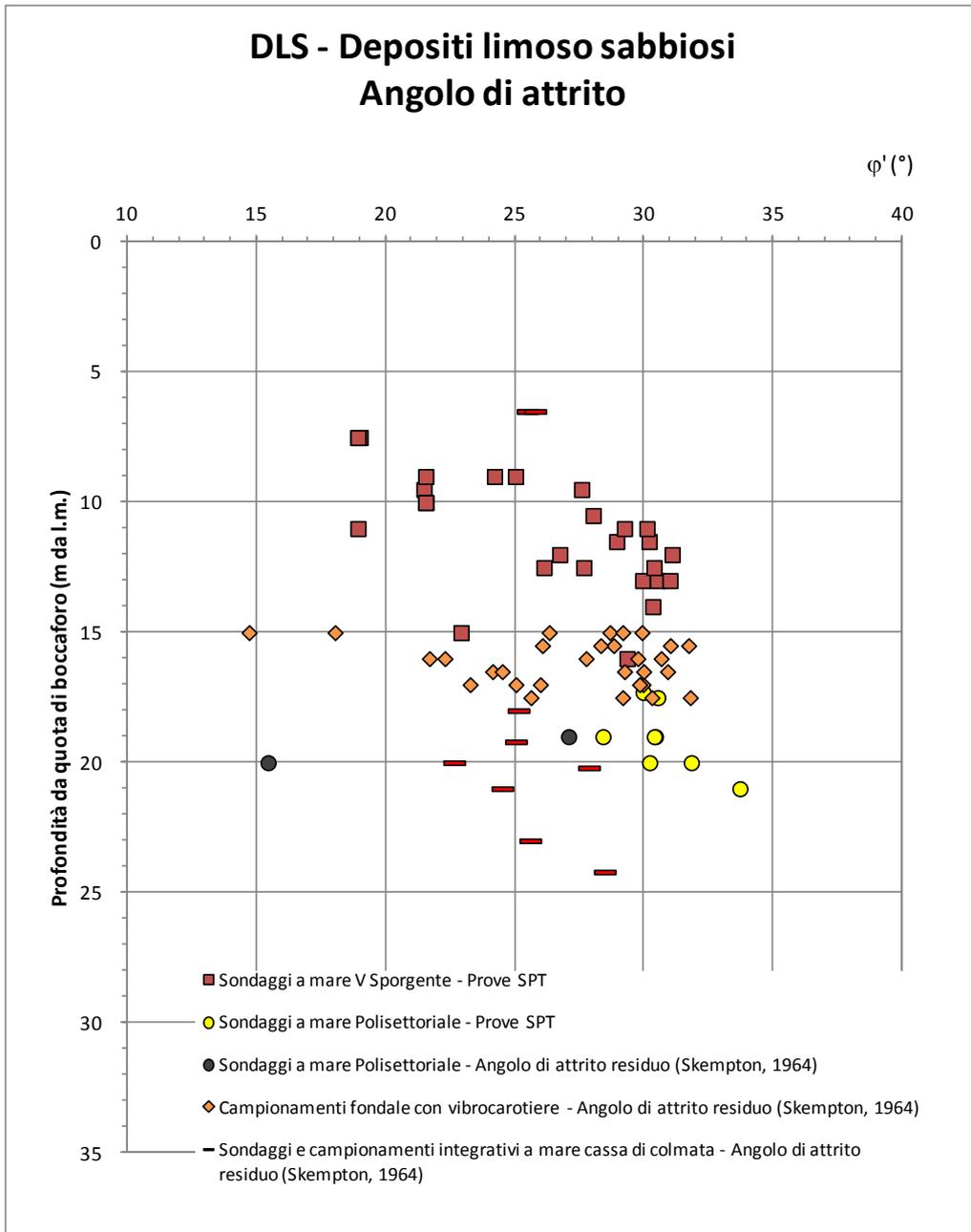


Figura 8-16: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori dell'angolo di attrito

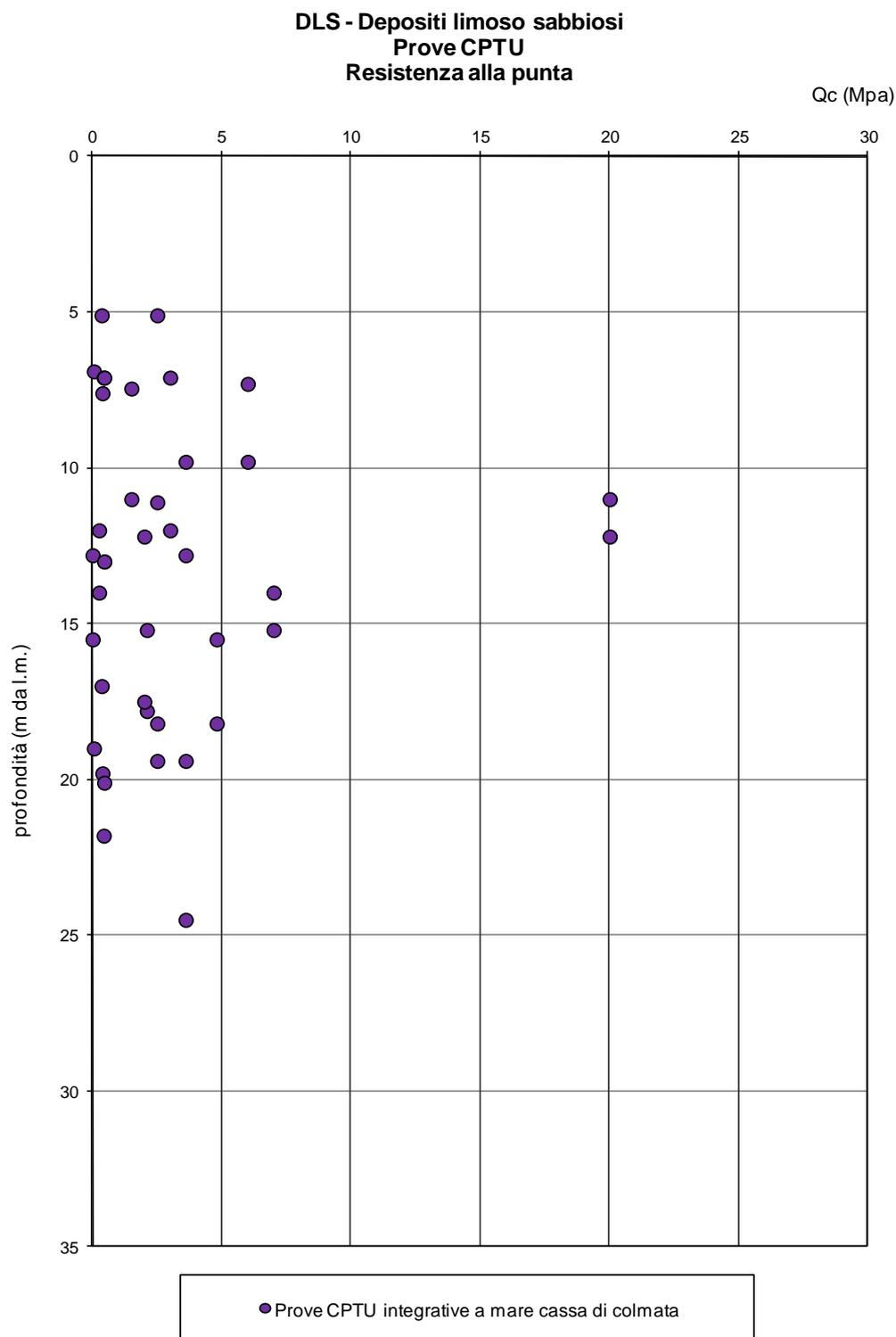


Figura 8-17: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Prove CPTU - Resistenza alla punta

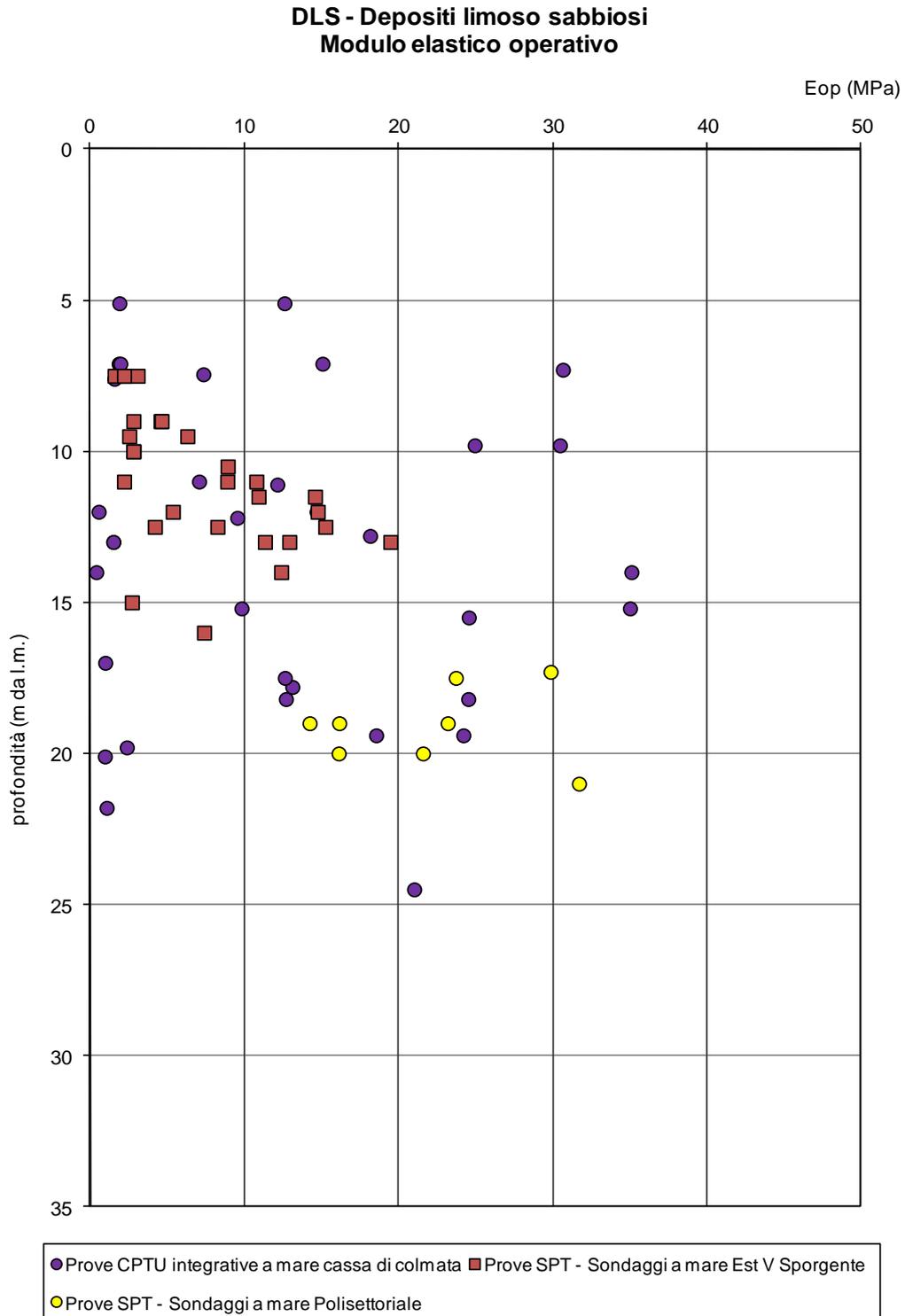


Figura 8-18: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Valori del modulo elastico operativo

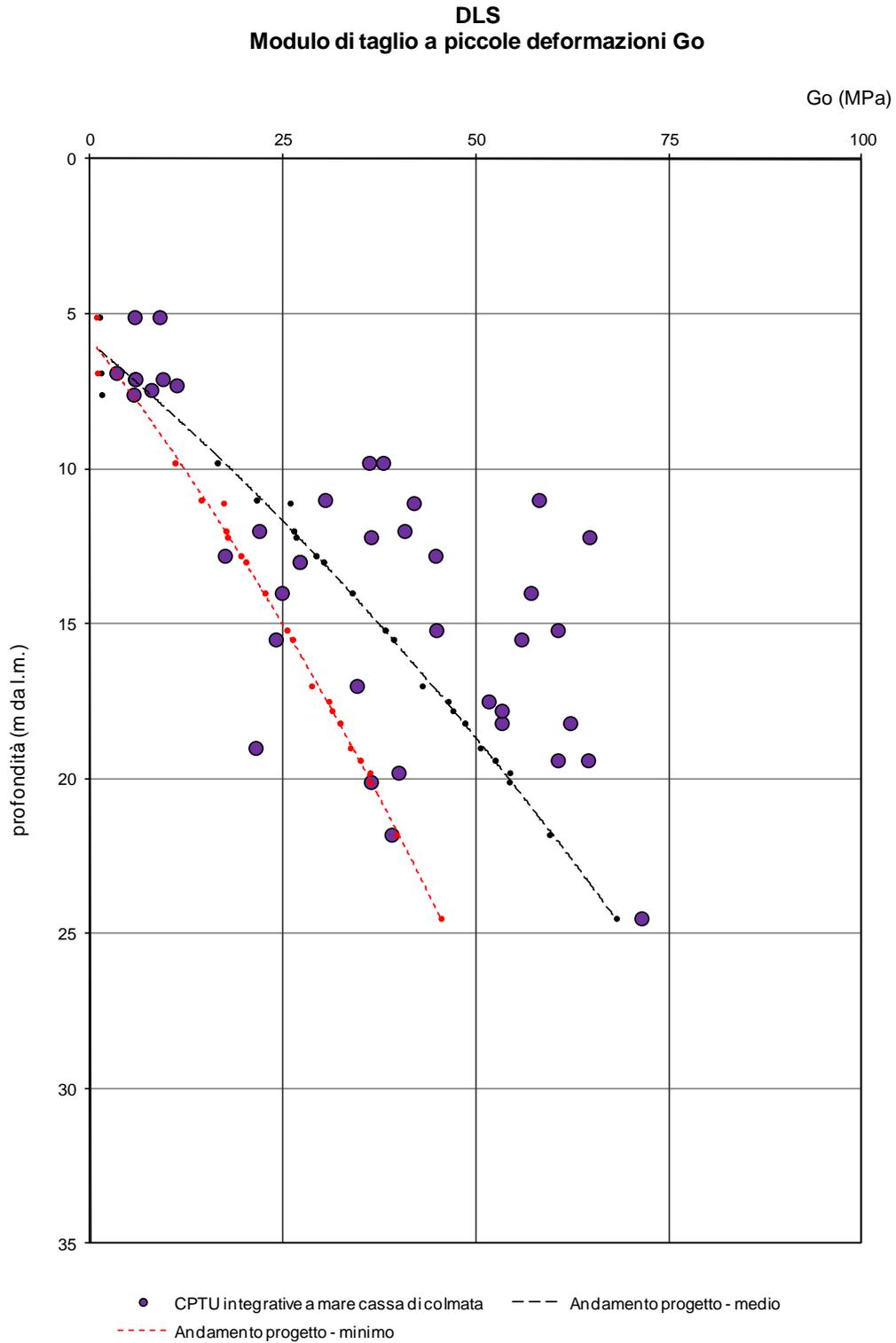


Figura 8-19: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Andamento del modulo a taglio iniziale

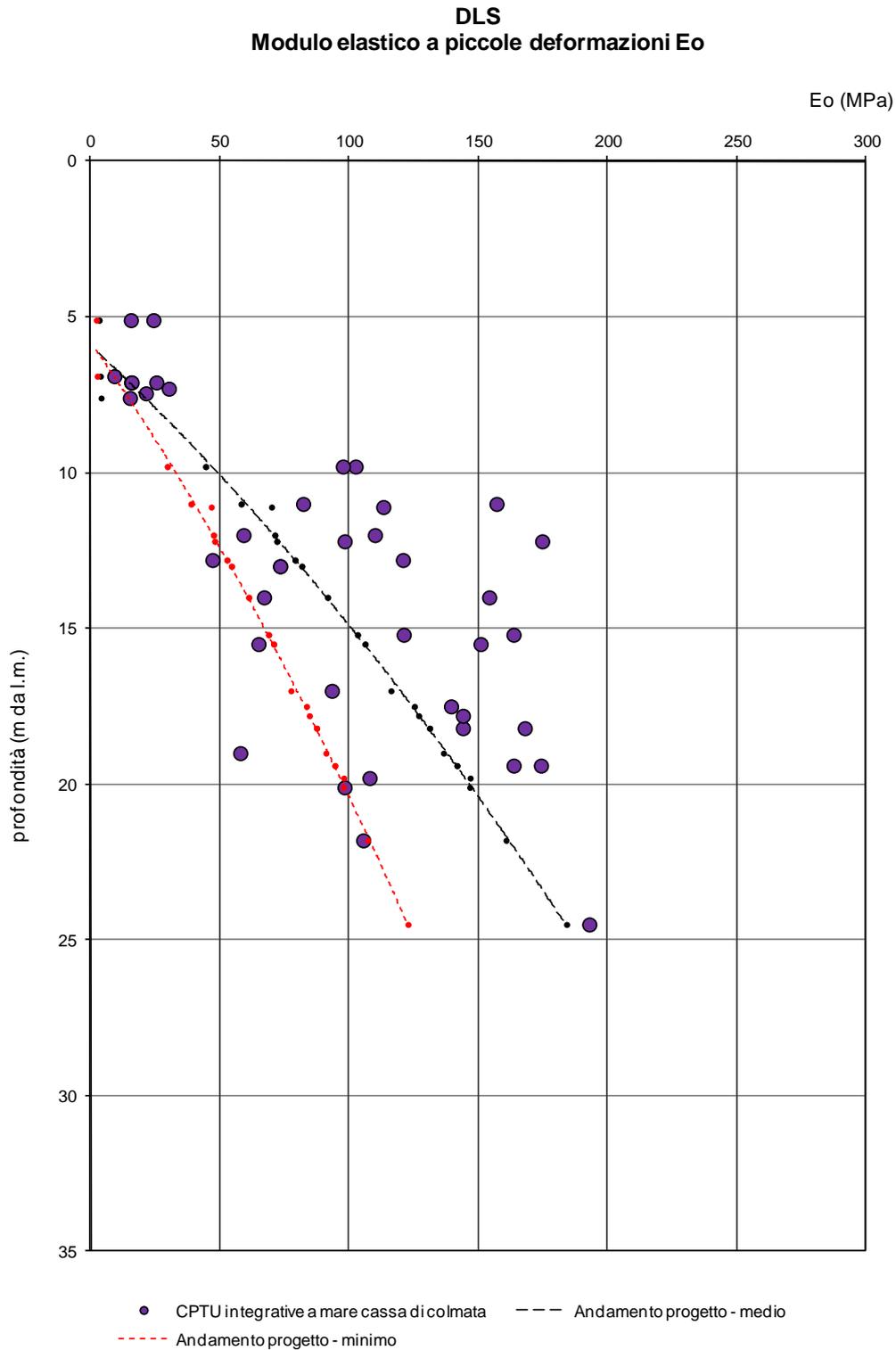


Figura 8-20: Depositi limoso sabbiosi - DLS – Andamento del modulo elastico iniziale

8.3 DEPOSITI LIMOSI-ARGILLOSI - DLA

8.3.1 Caratteristiche fisiche e granulometriche

Dalle analisi eseguite sui campioni prelevati, i depositi hanno presentato contenuti granulometrici variabili nei seguenti intervalli (Figura 8-28, Figura 8-29, Figura 8-30, Figura 8-31):

ghiaia = 0% ÷ 7%.

sabbia = 0% ÷ 70%

limo = 9% ÷ 69%

argilla = 25% ÷ 76%

argilla+limo = 25 ÷ 100%.

Il peso di volume naturale (γ_n) risulta variabile tra 16.3 e 21 kN/m³, mediamente pari a 19.3 kN/m³ (Figura 8-32).

Il contenuto d'acqua naturale (w_n) risulta mediamente pari al 28% (Figura 8-33).

L'indice dei vuoti iniziale (e_o) risulta mediamente pari a 0.8.

Le caratteristiche di plasticità (limite liquido LL e indice di plasticità IP) sono risultate variabili nei seguenti intervalli di valori:

LL = limite liquido = 27% ÷ 98%

IP = indice di plasticità = 5% ÷ 67%.

Facendo riferimento alla “Carta di plasticità di Casagrande”, riportata nella Figura 8-34, i materiali in oggetto possono essere classificati da “limi inorganici di media compressibilità e limi organici” ad “argille inorganiche di media e alta plasticità”.

8.3.2 Caratteristiche di resistenza al taglio

Le prove triassiali TxCU e TxCD eseguite su n. 16 campioni indisturbati di terreno hanno fornito i seguenti valori di coesione e angolo di attrito in condizioni drenate (Figura 8-35):

$c' = 0 - 171$ kPa;

$\varphi' = 14^\circ - 28.5^\circ$.

A valle dell'interpretazione delle indagini che mostrano una dispersione dei risultati a causa dell'eterogeneità del deposito, ai fini della progettazione può farsi riferimento ai seguenti intervalli rappresentativi dell'angolo di attrito e della coesione in condizioni drenate:

$c' = 15 - 50$ kPa

$\varphi' = 22 - 26^\circ$.

Le prove triassiali TxUU e le prove ELL eseguite rispettivamente su n. 25 e su n. 8 campioni indisturbati di terreno, hanno fornito valori della resistenza al taglio non drenata variabile nel seguente intervallo (Figura 8-38):

$C_U = 16 - 420$ KPa.

Le prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nel corso dei sondaggi hanno fornito valori di N_{SPT} compresi tra 20 e 38 (Figura 8-41).

Sulla base delle prove penetrometriche dinamiche è stata condotta una stima della resistenza al

taglio non drenata secondo il criterio NAVFAC per argille limose, la quale è risultata compresa nel seguente intervallo (Figura 8-38):

$$C_U = 64 - 97.$$

Le prove penetrometriche statiche CPTU eseguite nel corso della campagna geognostica integrativa hanno fornito valori della resistenza alla punta compresi nel seguente intervallo:

$$Q_c = 0.5 - 14.7 \text{ MPa (Figura 8-37);}$$

Sulla base delle prove penetrometriche statiche è stato stimato il seguente intervallo rappresentativo di valori della resistenza al taglio non drenata:

$C_U = 12 - 250 \text{ kPa}$, con valori di picco che compresi tra 300 ed 800 kPa nei livelli a maggior consistenza (Figura 8-38).

A seguito dei risultati delle prove, che si sono mostrati dispersi a causa della eterogeneità del deposito, possono ritenersi rappresentativi i seguenti valori cautelativi nei seguenti intervalli di profondità:

$$C_U = 50 \text{ kPa, per } 10 < z < 15 \text{ m}$$

$$C_U = 75 \text{ kPa, per } 15 < z < 25 \text{ m}$$

8.3.3 Caratteristiche di deformabilità

Le prove di compressione edometrica eseguite sui campioni di terreno hanno fornito valori del modulo edometrico compresi nel seguente intervallo:

$$E_{ed} = 700 \div 18500 \text{ kPa (Figura 8-40).}$$

Valori del modulo edometrico da prove CPTU, mediante la relazione di (Kulhawy & Mayne, 1990) sono stati stimati nel seguente intervallo rappresentativo:

$$E_{ed} = 1200 \div 20000 \text{ kPa (Figura 8-40).}$$

Valori superiori ai 50000 kPa sono stati stimati all'interno dei livelli maggiormente consistenti.

A causa della dispersione dei dati a seguito dell'eterogeneità del deposito, si può assumere un andamento cautelativo del modulo con la profondità, secondo la relazione:

$$E_{ed} = 600 z - 5000 \text{ kPa}$$

Dai risultati delle prove CPTU, mediante l'applicazione della relazione di Rix e Stokoe, sono stati determinati valori dei moduli al taglio e di elasticità iniziali, compresi rispettivamente nei seguenti intervalli di valori:

$$G_{01} = 47 - 134 \text{ MPa (Figura 8-42);}$$

$$E_{01} = 127 - 363 \text{ MPa (Figura 8-43).}$$

Dall'analisi dell'andamento dei valori dei moduli elastici e al taglio con la profondità, si sono stimati i valori dei moduli di riferimento, in corrispondenza di una tensione verticale efficace media di riferimento rappresentativa dello strato pari a 115 kPa:

$$G_{01,ref} = 75 \text{ MPa}$$

$$E_{01,ref} = 200 \text{ MPa}$$

I valori dei moduli di riferimento e della pressione efficace litostatica corrispondente, permettono quindi di stimare i valori dei moduli alle pressioni efficaci medie generiche, mediante le seguenti relazioni:

$$G_0, E_0 = G_{01,ref}, E_{01,ref} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0,ref}} \right)^m$$

8.3.4 Coefficienti di permeabilità e coefficienti di consolidazione primaria

Su n. 31 campioni di terreno indisturbati sono state eseguite prove di permeabilità in cella triassiale a carico costante, che hanno fornito i seguenti valori del coefficiente di permeabilità verticale (Tabella 8.21 e Figura 8-39):

$$K_v = 3.8 \times 10^{-11} - 1.2 \times 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Nel corso delle prove edometriche eseguite su n. 59 campioni, sono stati determinati i seguenti valori del coefficiente di permeabilità verticale (Tabella 8.21 e Figura 8-39):

$$K_v = 9.3 \times 10^{-12} - 2.7 \times 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Il coefficiente di consolidazione primaria risultante dalle suddette prove di compressione edometrica è risultato variabile nel seguente intervallo rappresentativo di valori (Figura 8-40):

$$c_v = 9.3 \times 10^{-9} - 1.3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s.}$$

All'interno dei sondaggi eseguiti in corrispondenza dell'ex Yard Belleli sono state eseguite n. 26 prove Lefranc, che hanno fornito i seguenti valori del coefficiente di permeabilità orizzontale (Tabella 8.21 e Figura 8-39):

$$K_h = 6.5 \times 10^{-10} - 3.99 \times 10^{-7} \text{ m/s.}$$

Una prova di dissipazione eseguita nel corso della prova penetrometrica statica integrativa CPTU1 a quota -21.3 m da l.m. ha fornito i seguenti valori di coefficiente di consolidazione ed il coefficiente permeabilità orizzontale:

$$C = 7 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$K_h = 5 \times 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Data l'anisotropia che caratterizza il deposito si può stimare il coefficiente di permeabilità K medio rappresentativo dello strato mediante la seguente relazione:

$$K = \sqrt{K_h K_v}$$

In cui:

K_h = coefficiente di permeabilità orizzontale (m/s)

K_v = coefficiente di permeabilità verticale (m/s).

Facendo riferimento ai risultati delle prove riportati in sintesi nella Tabella 8.21, risulta un coefficiente di permeabilità medio del deposito pari a:

$$K=7.07 \times 10^{-10} \text{ m/s}$$

Il deposito risulta pertanto caratterizzato da un valore di coefficiente di permeabilità sufficiente a garantire le prestazioni di tenuta idraulica nel caso di ammorsamento di diaframmi all'interno dello strato.

Tabella 8.21 – DLA – Valori dei coefficienti di permeabilità da prove di laboratorio e da prove in sito

DLA - Coefficiente di permeabilità verticale da prove di laboratorio					
Sondaggio	Campione	Profondità iniziale (m dal p.c. per sondaggi a terra/m da l.m. per sondaggi a mare)	Profondità finale (m dal p.c. per sondaggi a terra/m da l.m. per sondaggi a mare)	PROVA EDOMETRICA	PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE
				K_v (m/s)	K_v (m/s)
BH3bis	2	19,00	19,50	1,60E-11	8,92E-11
BH3bis	3	22,50	23,00	1,73E-11	6,46E-11
BH3bis	4	24,50	25,00	6,70E-11	1,22E-10
BH4D	3	19,00	19,50	3,50E-11	6,72E-11
BH4D	4	22,50	23,00	1,70E-11	4,21E-11
BH4D	5	24,50	25,00	9,26E-12	5,82E-11
BH5 bis	1	19,00	19,50	5,77E-11	8,60E-11
BH5 bis	2	21,00	21,50	3,88E-11	8,27E-11
BH5 bis	3	23,50	24,00	2,62E-11	7,76E-11
BH6 bis	1	22,00	22,50	1,44E-11	3,82E-11
BH6 bis	2	23,00	23,50	2,27E-11	4,69E-11
BH6 bis	3	26,00	26,40	3,14E-11	5,53E-11
BH6D	3	20,50	21,00	1,10E-11	5,09E-11
BH6D	4	22,50	23,00	3,22E-11	6,01E-11
BH7	2	25,00	25,50	3,40E-11	6,85E-11
BH7	3	29,00	29,50	2,07E-11	7,03E-11
BH8	2	18,00	18,50	3,00E-11	5,66E-11
BH8	3	20,50	21,00	2,61E-11	1,16E-10
BH8	4	24,50	25,00	3,45E-11	6,16E-11
BH8 bis	1	18,00	18,50	1,74E-11	5,99E-11
BH8 bis	2	21,00	21,50	3,11E-11	5,82E-11
BH8 bis	3	24,00	24,50	1,92E-11	5,89E-11
BH10	1	14,50	15,00	3,10E-11	8,87E-11
BH10	3	19,50	20,00	3,12E-11	8,14E-11
BH11	1	11,50	12,00	2,75E-11	6,26E-11
BH11	2	14,00	14,50	3,68E-11	8,14E-11
BH11	3	19,00	19,50	3,11E-11	6,72E-11
BH13	1	19,00	19,50	1,95E-11	5,04E-11
BH14	2	18,00	18,50	1,27E-11	6,59E-11
BH14	3	21,60	22,00	3,47E-11	5,33E-11
BH14	4	24,60	25,00	2,59E-11	4,27E-11
ST1	N.1	15,50	16,00	5,47E-11	-
ST4	N.1	20,00	20,50	4,53E-11	-
ST5	N.1	20,00	20,50	3,17E-11	-
ST5	N.2	20,00	20,50	4,54E-11	-
ST6	N.1	17,50	18,00	2,00E-11	-
ST6	N.2	20,00	20,50	5,79E-11	-
BH1	1	20,45	20,90	5,57E-11	-
BH1	2	24,30	24,67	2,63E-10	-
BH4	1	23,30	23,80	4,62E-11	-
BH7	1	20,40	20,80	2,78E-10	-
BH7	2	24,00	24,45	6,93E-11	-
BH10	1	20,20	20,70	5,61E-11	-
BH10	2	24,90	25,20	1,25E-10	-
SM02	N.1	15,50	16,00	2,39E-10	-
SM03	N.1	19,50	20,00	1,89E-10	-
SM04	N.1	24,00	24,50	8,16E-11	-
SM05	N.1	14,50	15,00	2,40E-10	-
SM06	N.1	13,00	13,50	7,38E-11	-
SM07	N.1	17,50	18,00	4,70E-11	-
SM08	N.1	22,50	23,00	1,66E-10	-
SM09	N.1	25,50	26,00	1,26E-10	-
SM10	N.1	19,50	20,00	5,32E-11	-
SM11	N.1	15,50	16,00	1,53E-10	-
SM12	N.1	15,50	16,00	6,07E-11	-
SM13	N.1	11,00	11,50	1,30E-10	-
SM14	N.1	15,00	15,50	2,68E-10	-
SM15	N.1	13,50	14,00	2,51E-10	-
SM16	N.1	17,00	17,50	1,97E-10	-

DLA - Coefficiente di permeabilità orizzontale da prove Lefranc		
Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K_h (m/s)
BH1	15	3,99E-07
BH1	17,7	1,92E-07
BH3bis	17,8	1,15E-07
BH3bis	20,8	1,06E-07
BH3bis	22,8	8,54E-09
BH4D	14,2	1,80E-07
BH4D	17,3	8,31E-08
BH5BIS	20,8	3,25E-09
BH5BIS	22,8	4,36E-09
BH5BIS	25,8	6,46E-10
BH6	21,8	1,71E-08
BH6	24,8	1,51E-09
BH7	24,7	9,10E-08
BH7	28,5	3,74E-09
BH8	16,5	9,56E-08
BH8	19,5	1,74E-07
BH8	24,2	1,93E-07
BH8BIS	16,5	5,13E-09
BH8BIS	19,7	8,51E-10
BH8BIS	22,3	7,59E-10
BH9	19,5	2,56E-08
BH10	15	5,07E-09
BH10	19,4	2,94E-09
BH11	9,8	2,68E-09
BH11	11,3	2,34E-09
BH11	13,7	1,94E-09

DLA - Coefficiente di permeabilità orizzontale da prove di dissipazione		
Prova	Profondità prova (m da p.c.)	K_h (m/s)
CPTU1	20,13	5,00E-10

K_v medio caratteristico prove laboratorio = 5,00E-11 m/s
 K_h medio caratteristico prove in sito = 1,00E-08 m/s

Coefficiente di permeabilità medio dello strato:

$$K = \sqrt{K_h K_v} = 7,07E-10 \text{ m/s}$$

8.3.4.1.1 Sintesi delle caratteristiche geotecniche

DEPOSITI LIMOSO ARGILLOSI – DLA	
Parametri geotecnici caratteristici	
γ (KN/m ³)	18.5 - 19
c' (kPa)	15 - 50
ϕ' (°)	22 - 26
C_U (kPa)	50 kPa, per 10<z<15 m 75 kPa, per 15<z<25 m
G_0 (MPa)	$G_{0,ref} = 75 \text{ MPa} - z_{ref}=20 \text{ m da l.m.}$ (σ_{vo}' media = 115 kPa)
E_0 (MPa)	$E_{0,ref} = 200 \text{ MPa} - z_{ref}=20 \text{ m da l.m.}$ (σ_{vo}' media = 115 kPa)
E_{ed} (kPa)	600 z – 5000 kPa (con z= profondità in metri)
C_c	0.03 – 0.4
C_v (m ² /sec)	$C_v = 9.3 \times 10^{-9} - 1.3 \times 10^{-7}$ da prove di laboratorio $C = 7 \times 10^{-8}$ da prova di dissipazione
K (m/s)	7.07×10^{-10}

Tabella 8.22– DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a terra ex Yard Belleli

INFORMAZIONI GENERALI					CARATTERISTICHE FISICHE															PROVA TxCIU				PROVA EDOMETRICA							PROVA TxUU	PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE IN CELLA TRIASSIALE	GRANULOMETRIA					Classificazione dei materiali				
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal p.c.)	Profondità finale (m dal p.c.)	Profondità falda in foro (m dal p.c.)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	l _p (%)	l _c	l _l	A	e	n (%)	S (%)	c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	σ (kPa)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	K (m/s)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	L+A (%)	AASHTO (CNR-UNI 10006)	Classificazione sistema unificato	
BH3bis	2	Ind.	19,00	19,50	2,50	363,8	196,3	18,9	14,3	19,1	2,7	32,4	63,8	29,2	34,6	0,9		0,6	0,9	47,6	97,2												1,60E-11		8,92E-11	0,0	3,4	37,3	59,3	96,6	A-7-6	CH
BH3bis	3	Ind.	22,50	23,00	2,50	448,2	245,7	19,7	15,6	19,9	2,7	26,7	56,6	25,2	31,4	1,0		0,6	0,8	43,0	96,7												1,73E-11		6,46E-11	0,0	4,7	43,6	51,7	95,3	A-7-6	CH
BH3bis	4	Ind.	24,50	25,00	2,50	507,4	284,9	20,5	16,7	20,5	2,7	22,7	38,0	19,6	18,4	0,8		0,6	0,6	38,4	98,7	169,00	23,50	100,00	28,50								6,70E-11		1,22E-10	0,0	15,9	55,5	28,6	84,1	A-6	CL
BH4D	3	Ind.	19,00	19,50	2,50	383,1	215,6	19,9	15,7	20,0	2,7	26,7	54,4	23,3	31,1	0,9		0,7	0,7	42,6	98,7												3,50E-11		6,72E-11	0,0	3,6	50,4	46,0	96,4	A-7-6	CH
BH4D	4	Ind.	22,50	23,00	2,50	439,1	236,6	19,3	14,6	19,3	2,7	32,0	67,2	28,0	39,2	0,9		0,8	0,9	46,6	100,0	160,00	13,40	171,00	19,90								1,70E-11		4,21E-11	0,0	3,5	44,3	52,2	96,5	A-7-6	CH
BH4D	5	Ind.	24,50	25,00	2,50	482,6	260,1	19,5	15,1	19,6	2,7	28,9	63,6	29,2	34,4	1,0		0,7	0,8	44,8	97,9												9,26E-12		5,82E-11	0,0	2,5	48,5	49,0	97,5	A-7-6	CH
BH5 bis	1	Ind.	19,00	19,50	2,50	398,5	231,0	20,7	16,9	20,7	2,7	22,7	41,5	20,7	20,8	0,9		0,6	0,6	38,2	100,0	0,43	28,40	0,82	25,70								5,77E-11		8,60E-11	0,0	6,1	60,3	33,6	93,9	A-7-6	CL
BH5 bis	2	Ind.	21,00	21,50	2,50	418,6	231,1	19,7	15,4	19,7	2,7	28,6	42,0	20,8	21,2	0,6		0,6	0,8	43,9	99,9	1,05	20,80	0,72	26,20								3,88E-11		8,27E-11	0,0	6,2	59,8	34,0	93,8	A-7-6	CL
BH5 bis	3	Ind.	23,50	24,00	2,50	463,1	250,6	19,5	15,2	19,6	2,7	28,6	60,6	28,1	32,5	1,0		0,6	0,8	44,6	97,2												2,62E-11		7,76E-11	0,0	3,4	40,7	56,0	96,7	A-7-6	CH

INFORMAZIONI GENERALI					CARATTERISTICHE FISICHE																	PROVA TxCIU				PROVA EDMETRICA							PROVA TxUU	PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE IN CELLA TRIASSIALE		GRANULOMETRIA					Classificazione dei materiali		
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal p.c.)	Profondità finale (m dal p.c.)	Profondità falda in foro (m dal p.c.)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	I _p	I _c	IL	A	e	n (%)	S (%)	c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	σ (kPa)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	K (m/s)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	L+A (%)	AASHTO (CNR-UNI 10006)	Classificazione sistema unificato		
BH6 bis	1	Ind.	22,00	22,50	2,50	453,9	256,4	20,4	16,7	20,6	2,7	22,6	45,0	20,7	24,3	0,9		0,7	0,6	38,9	96,7	49,00	18,35	0,00	26,60								1,44E-11	142		3,82E-11	0,0	8,1	54,8	37,0	91,8	A-7-6	CL
BH6 bis	2	Ind.	23,00	23,50	2,50	476,6	269,1	20,5	16,6	20,6	2,7	23,2	45,8	21,5	24,3	0,9		0,6	0,7	39,5	97,0												2,27E-11			4,69E-11	0,0	5,7	53,8	40,5	94,3	A-7-6	CL
BH6 bis	3	Ind.	26,00	26,40	2,50	516,1	279,1	19,7	15,3	19,7	2,8	29,1	55,9	26,5	29,4	0,9		0,6	0,8	44,5	99,8												3,14E-11			5,53E-11	0,0	4,5	44,1	51,4	95,5	A-7-6	CH
BH6D	3	Ind.	20,50	21,00	2,50	429,5	247,0	20,7	16,9	20,7	2,7	22,7	45,5	19,9	25,6	0,9		0,7	0,6	38,0	100,0	74,00	11,80	49,00	19,80								1,10E-11			5,09E-11	0,0	7,5	57,4	35,1	92,5	A-7-6	CH
BH6D	4	Ind.	22,50	23,00	2,50	459,6	257,1	20,2	16,2	20,3	2,7	24,9	49,5	22,7	26,8	0,9		0,6	0,7	41,0	98,2												3,22E-11			6,01E-11	0,0	3,6	50,7	45,7	96,4	A-7-6	CL
BH7	2	Ind.	25,00	25,50	2,50	520,2	292,7	20,6	16,6	20,5	2,7	23,8	46,0	21,7	24,3	0,9		0,6	0,6	39,0	100,0	125,00	19,30	60,00	28,50								3,40E-11			6,85E-11	0,0	4,6	55,9	39,5	95,4	A-7-6	CL
BH7	3	Ind.	29,00	29,50	2,50	567,5	300,0	19,4	15,2	19,6	2,7	28,2	65,6	29,3	36,3	1,0		0,7	0,8	44,7	95,6												2,07E-11			7,03E-11	0,0	3,3	47,9	48,8	96,7	A-7-6	CH
BH8	2	Ind.	18,00	18,50	2,50	379,6	222,1	20,8	16,9	20,7	2,7	22,6	43,2	19,4	23,8	0,9		0,7	0,6	38,0	100,0	88,00	24,10	57,00	26,70								3,00E-11			5,66E-11	0,0	6,0	59,1	34,9	94,0	A-7-6	CL
BH8	3	Ind.	20,50	21,00	2,50	419,2	236,7	20,2	16,3	20,3	2,7	24,2	51,6	22,3	29,3	0,9		0,7	0,7	40,4	97,6												2,61E-11			1,16E-10	0,0	4,9	52,5	42,6	95,1	A-7-6	CH
BH8	4	Ind.	24,50	25,00	2,50	514,8	292,3	20,8	17,1	20,8	2,7	21,5	44,5	21,1	23,4	1,0		0,7	0,6	37,2	98,8												3,45E-11			6,16E-11	0,0	6,8	58,8	34,4	93,2	A-7-6	CL

INFORMAZIONI GENERALI					CARATTERISTICHE FISICHE																	PROVA TxCIU				PROVA EDOMETRICA							PROVA TxUU	PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE IN CELLA TRIASSIALE		GRANULOMETRIA					Classificazione dei materiali	
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal p.c.)	Profondità finale (m dal p.c.)	Profondità falda in foro (m dal p.c.)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	I _p	I _c	IL	A	e	n (%)	S (%)	c (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	σ (kPa)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	K (m/s)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	L+A (%)	AASHTO (CNR-UNI 10006)	Classificazione sistema unificato	
BH8 bis	1	Ind.	18,00	18,50	2,50	381,4	223,9	20,9	17,2	20,9	27,3	21,2	40,7	21,3	19,4	1,0		0,6	0,6	37,0	98,8												1,74E-11	420	5,99E-11	0,0	8,5	60,3	31,2	91,5	A-7-6	CL
BH8 bis	2	Ind.	21,00	21,50	2,50	429,3	241,8	20,2	16,2	20,3	2,7	24,5	50,8	22,8	28,0	0,9		0,7	0,7	40,6	98,2												3,11E-11		5,82E-11	0,0	4,7	54,4	40,9	95,3	A-7-6	CH
BH8 bis	3	Ind.	24,00	24,50	2,50	509,3	291,8	21,0	17,4	21,0		20,9	42,0	20,2	21,8	1,0		0,7	0,6	36,4	100,0											1,92E-11		5,89E-11	0,0	8,2	58,9	32,9	91,8	A-7-6	CL	
BH10	1	Ind.	14,50	15,00	2,50	306,8	184,3	20,8	17,1	20,9	2,7	21,5	39,0	20,4	18,6	0,9		0,7	0,6	37,2	99,0											3,10E-11		8,87E-11	0,0	8,1	63,5	28,4	91,9	A-6	CL	
BH10	3	Ind.	19,50	20,00	2,50	397,0	224,5	20,1	16,0	20,1	2,7	25,9	50,2	23,1	27,1	0,9		0,7	0,7	41,7	99,1	127,00	13,60	126,00	13,70							3,12E-11		8,14E-11	0,0	5,5	53,0	41,5	94,5	A-7-6	CH	
BH11	1	Ind.	11,50	12,00	2,50	244,4	151,9	20,8	17,1	20,8	2,7	22,0	55,5	26,6	28,9	1,2		0,6	0,6	37,8	99,2											2,75E-11		6,26E-11	0,0	4,8	43,8	51,4	95,2	A-7-6	CH	
BH11	2	Ind.	14,00	14,50	2,50	296,4	178,9	20,8	17,1	20,8	2,7	22,0	55,5	26,6	28,9	1,2		0,6	0,6	37,8	99,2											3,68E-11		8,14E-11	0,0	4,8	43,8	51,4	95,2	A-7-6	CH	
BH11	3	Ind.	19,00	19,50	2,50	385,0	217,5	20,0	15,9	20,1	2,7	25,8	51,5	22,2	29,3	0,9		0,7	0,7	41,7	98,5											3,11E-11		6,72E-11	0,0	3,0	52,5	44,4	96,9			
BH13	1	Ind.	19,00	19,50	2,50	385,0	217,5	20,0	15,9	20,1	2,7	26,1	49,8	22,1	27,7	0,9		0,7	0,7	41,7	99,5	60,00	11,30	80,00	26,60								1,95E-11	210	5,04E-11	0,0	6,7	53,3	40,0	93,3	A-7-6	CH
BH14	2	Ind.	18,00	18,50	2,50	385,1	227,6	21,1	18,0	21,4	2,7	17,3	32,6	17,3	15,3	1,0		0,6	0,5	33,9	91,7											1,27E-11		6,59E-11	6,6	19,6	8,9	24,9	33,8	A-6	CL	
BH14	3	Ind.	21,60	22,00	2,50	444,7	251,7	20,4	16,4	20,5	2,8	24,4	62,5	20,0	42,5	0,9		0,8	0,7	40,2	99,7											3,47E-11		5,33E-11	0,0	5,1	43,8	51,1	94,9	A-7-6	CL	
BH14	4	Ind.	24,60	25,00	2,50	515,8	292,8	20,8	16,8	20,7	2,7	23,6	41,7	20,0	21,7	0,8		0,6	0,6	38,4	100,0											2,59E-11		4,27E-11	0,0	7,9	58,4	33,6	92,0	A-7-6	CL	

Tabella 8.23 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a terra V Sporgente

INFORMAZIONI GENERALI						CARATTERISTICHE FISICHE																PROVA EDOMETRICA						PROVA TxUU	GRANULOMETRIA				
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal p.c.)	Profondità finale (m dal p.c.)	Profondità falda in foro (m dal p.c.)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	l _p	l _c	l _l	A	e	n (%)	S (%)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	L+A (%)
ST1	N.1	Ind.	15,50	16,00	3,00	297,8	170,3	18,9	15,6	20,3	2,7	21,0	40,4	21,6	18,9	1,0			0,7	40,6	81,9	6980,0	0,1	176,5	1,0	3,89E-08	5,47E-11	215	1,9	6,8			91,3
ST4	N.1	Ind.	20,00	20,50	3,00	357,6	185,1	17,7	13,3	18,4	2,6	32,8	60,8	34,3	26,5	1,1			1,0	48,6	91,3	8224,0	0,2	245,2	1,3	3,80E-08	4,53E-11	173,6	0,0	0,7			99,3
ST5	N.1	Ind.	18,00	18,50	3,00	310,3	157,8	17,0	12,3	17,8	2,6	38,1	76,2	36,2	40,1	1,0	0,1		1,1	52,1	91,9	6129,0	0,3	255,0	1,6	1,98E-08	3,17E-11	76,5	0,0	0,5			99,5
ST5	N.2	Ind.	20,00	20,50	3,00	342,4	169,9	16,9	12,2	17,8	2,6	38,8	81,5	38,4	43,1	1,0	0,0		1,1	52,9	90,8	6378,0	0,3	284,4	1,7	2,95E-08	4,54E-11	100,02	0,0	0,4			99,6
ST6	N.1	Ind.	17,50	18,00	3,00	313,6	166,1	17,7	13,5	18,4	2,6	32,2	62,5	29,3	33,2	0,9	0,1		0,9	47,6	93,2	7373,0	0,2	220,7	1,3	1,51E-08	2,00E-11	157,9	0,1	1,2			98,7
ST6	N.2	Ind.	20,00	20,50	3,00	337,0	164,5	16,6	11,7	17,5	2,6	41,0	69,4	36,5	32,9	0,9	0,1		1,2	54,6	89,9	6980,0	0,3	245,2	1,5	4,12E-08	5,79E-11	82,4	0,1	0,4			99,5

Tabella 8.24 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Est V Sporgente

INFORMAZIONI GENERALI									CARATTERISTICHE FISICHE																	PROVA EDOMETRICA						PROVA TxUU	GRANULOMETRIA		
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	Profondità fondale (m da l.m.)	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	Profondità falda in foro (m dal fondale)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	l _p (%)	l _c	l _l	e	n (%)	S (%)	σ (kPa)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_{p} (kPa)	OCR	c _v (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L+A (%)	
SM02	N.1	Ind.	15,50	16,00	5,00	10,50	11,00	0,00	243,9	86,4	18,0	12,9	17,5	2,668	42,7	31,0	25,9	5,1	3,28	1,03	50,8	100,0	98,1	1446,0	0,320	29,4	0,3	3,52E-08	2,39E-10	17,65	0,0	11,5	88,5		
SM03	N.1	Ind.	19,50	20,00	6,50	13,00	13,50	0,00	361,4	110,0	18,3	14,7	18,4	2,664	33,4	41,1	26,3	14,8	0,5	0,48	0,78	43,8	100,0	196,1	4509,0	0,192	245,2	2,2	8,68E-08	1,89E-10	88,26	0,0	2,4	97,6	
SM04	N.1	Ind.	24,00	24,50	7,50	16,50	17,00	0,00	409,8	115,6	16,9	12,0	17,6	2,495	35,9	36,9	30,4	6,5	0,2	0,85	1,03	50,8	86,7	196,1	8875,0	0,094	147,1	1,3	7,39E-08	8,16E-11	24,13	0,1	6,6	93,4	
SM05	N.1	Ind.	14,50	15,00	8,00	6,50	7,00	0,00	280,3	60,8	19,0	15,2	19,1	2,628	26,4	34,3	20,3	14,0	0,5	0,47	0,70	41,2	100,0	98,1	2275,0	0,166	68,7	1,1	5,57E-08	2,40E-10	64	0,0	13,9	86,1	
SM06	N.1	Ind.	13,00	13,50	8,00	5,00	5,50	0,00	242,6	43,6	18,3	14,6	19,9	2,757	25,5	46,9	23,0	23,9	0,9	0,11	0,86	46,2	82,1	49,0	2867,0	0,066	156,9	3,6	2,16E-08	7,38E-11	238,3	0,0	0,8	99,2	
SM07	N.1	Ind.	17,50	18,00	8,00	9,50	10,00	0,00	332,8	85,3	18,8	14,5	19,3	1,970	28,5	26,6	21,9	4,7	1,40	0,84	45,7	91,7	98,1	2421,0	0,160	147,1	1,7	1,16E-08	4,70E-11	53,9	0,8	9,6	89,6		
SM08	N.1	Ind.	22,50	23,00	10,00	12,50	13,00	0,00	409,0	101,7	18,0	12,8	17,9	2,717	40,7	33,4	28,6	4,8	2,54	1,08	52,0	100,0	98,1	2392,0	0,191	117,7	1,2	4,05E-08	1,66E-10	15,7	2,5	14,2	83,3		

INFORMAZIONI GENERALI									CARATTERISTICHE FISICHE																	PROVA EDOMETRICA						PROVA TxUU	GRANULOMETRIA		
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	Profondità fondale (m da l.m.)	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	Profondità falda in foro (m dal fondale)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	l _p	l _c	l _L	e	n (%)	S (%)	σ (kPa)	E _{ed} (kPa)	C _c	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L+A (%)	
SM09	N.1	Ind.	25,50	26,00	10,00	15,50	16,00	0,00	426,4	103,3	16,6	11,7	16,7	2,512	46,0	37,9	31,0	6,9		2,17	1,11	52,6	100,0	98,1	1358,0	0,320	58,8	0,6	1,75E-08	1,26E-10	35,3	0,2	1,8	98,0	
SM10	N.1	Ind.	19,50	20,00	9,00	10,50	11,00	0,00	359,5	88,2	18,2	14,3	19,0	2,597	27,0	58,3	32,5	25,8	1,2		0,79	44,1	89,1	98,1	5769,0	0,065	196,1	2,2	3,13E-08	5,32E-11	111,8	0,0	1,1	98,9	
SM11	N.1	Ind.	15,50	16,00	10,00	5,50	6,00	0,00	310,9	56,0	19,7	16,2	21,0	2,681	17,5						0,62	38,3	75,4	49,0	5055,0	0,033	98,1	1,8	7,88E-08	1,53E-10		2,4	69,7	27,9	
SM12	N.1	Ind.	15,50	16,00	11,00	4,50	5,00	0,00	287,6	39,2	18,3	14,2	19,3	2,760	29,6	49,4	25,4	24,0	0,8	0,17	0,90	47,4	90,7	49,0	1613,0	0,135	117,7	3,0	2,11E-08	6,07E-11	108,85	0,2	1,4	98,4	
SM13	N.1	Ind.	11,00	11,50	3,50	7,50	8,00	0,00	183,8	49,1	16,3	10,9	17,1	2,682	47,8	41,2	29,8	11,4		1,58	1,41	58,5	90,9	49,0	700,0	0,363	29,4	0,6	9,27E-09	1,30E-10	16,67	0,0	10,5	89,5	
SM14	N.1	Ind.	15,00	15,50	6,00	9,00	9,50	0,00	257,3	63,5	16,9	11,4	17,0	2,678	48,6	40,7	31,8	8,9		1,90	1,31	56,7	99,6	98,1	1537,0	0,329	39,2	0,6	4,21E-08	2,68E-10	17,65	0,6	5,7	93,8	
SM15	N.1	Ind.	13,50	14,00	6,00	7,50	8,00	0,00	229,6	51,9	16,7	10,9	16,9	2,703	50,1	39,2	31,3	7,9		2,39	1,44	59,0	94,3	98,1	1199,0	0,432	44,1	0,8	3,07E-08	2,51E-10	17,65	0,6	4,7	94,7	
SM16	N.1	Ind.	17,00	17,50	4,50	12,50	13,00	0,00	299,3	93,7	17,4	11,7	16,6	2,7	53,5	36,0	29,8	6,2		3,8	1,3	55,6	100,0	98,1	1154,0	0,4	39,2	0,4	2,31E-08	1,97E-10	17,65	0,8	5,9	93,4	

Tabella 8.25 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi a mare Polisetoriale

INFORMAZIONI GENERALI									CARATTERISTICHE FISICHE									PROVA TxCIU	PROVA TxCID	PROVA EDMETRICA							PROVA DI COMPRESIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA ELL		GRANULOMETRIA							
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	Profondità fondale (m dal l.m.)	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	Profondità falda in foro (m dal fondale)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	wn (%)	wl (%)	wp (%)	Ip	Ic	c' (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	σ (kPa)	Eed (kPa)	Cc (-)	σ'_p (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	σ_r (kPa)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	D60 (mm)	D50 (mm)
BH1	1	indisturbato	20,45	20,90	18,00	2,45	2,90	0,00	234,3	27,6	20,3	2,73	22,7	69,0	27,6	41,4	1,12	26,8	16,2			176,5-353,0	13346,0	0,071	314,70	11,42	7,57E-08	5,57E-11	183	91,5	0,0	4,8	68,5	26,7	3,01E-02	2,15E-02
BH1	2	indisturbato	24,30	24,67	18,00	6,30	6,67	0,00	311,0	66,1	20,2	2,73	23,3	63,0	26,1	36,9	1,08			55,8	15,6	220,6-441,3	7326,0	0,164	294,20	4,45	1,97E-07	2,63E-10	205	102,5	0,0	4,6	41,7	53,7	7,68E-03	3,97E-03
BH4	1	indisturbato	23,30	23,80	18,00	5,30	5,80	0,00	288,8	53,3	19,6	2,72	23,1	65,2	25,7	39,5	1,07			33,0	20,4	208,4-416,8	11522,0	0,101	384,30	7,21	5,43E-08	4,62E-11	302	151	0,8	15,0	47,5	36,7	2,27E-02	1,20E-02
BH7	1	indisturbato	20,4	20,8	16,50	3,90	4,30	0,00	244,5	38,5	19,40	2,72	28,40	58,60	38,00	20,60	1,47			38,3	26,2	92,2-184,4	15734	0,034	402,90	10,45	4,46E-07	2,78E-10	486	243	1,20	15,20	30,30	53,30	6,96E-03	4,25E-03
BH7	2	indisturbato	24	24,45	16,50	7,50	7,95	0,00	321,8	79,6	20,30	2,73	22,50	73,20	25,30	47,90	1,06					110,8-220,6	18487	0,032	478,90	6,02	1,31E-07	6,93E-11	624	312	1,10	11,30	37,90	49,70	9,10E-03	5,08E-03
BH10	1	indisturbato	20,2	20,7	17,30	2,90	3,40	0,00	232,2	27,7	18,80	2,73	32,30	65,40	30,70	34,70	0,95			43,70	14,50	184,4-367,7	7640	0,023	389,70	14,06	4,37E-08	5,61E-11	230,0	115	0,80	6,20	33,90	59,10	5,25E-03	2,87E-03
BH10	2	indisturbato	24,9	25,2	17,30	7,60	7,90	0,00	319,5	69,0	18,90	2,73	31,80	59,90	37,40	22,50	1,25					220,6-441,3	8446	0,162	479,30	6,95	1,08E-07	1,25E-10	231,0	116	0,50	10,20	46,50	42,80	1,38E-02	7,87E-03
BH10	3	indisturbato	25,6	26	17,30	8,30	8,70	0,00	334,5	76,5	19,00	2,73	27,00	54,00	28,80	25,20	1,07	31,7	15,5										250,0	125	0,40	10,10	28,10	61,40	4,53E-03	2,35E-03

Tabella 8.26 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata – campioni indisturbati

INFORMAZIONI GENERALI									CARATTERISTICHE FISICHE																	PROVA TxUU	GRANULOMETRIA					Classificazione dei materiali	
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	Profondità fondale (m da l.m.)	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	Profondità a falda in foro (m dal fondale)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	I _p (%)	I _c	LR (%)	A	e	n (%)	S (%)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	AASHTO (CNR-UNI 10006)	Classificazione sistema unificato		
SN2	C1	Indisturbato	23,00	23,60	7,00	16,00	16,60	0,00	370,4	137,4	18,4	14,8	19,4	2,7	24,2	67,9	28,9	39,0	1,1	17,79	0,7	0,84	45,5	79,0	92	0,0	4,1	38,6	57,3	A-7-6	CH		
SN4	C1	Indisturbato	26,00	26,50	7,50	18,50	19,00	0,00	455,1	192,6	20,3	16,2	20,2	2,7	25,1	37,4	19,7	17,6	0,7	17,49	0,6	0,67	40,2	100,0	209	0,0	21,1	50,6	28,3	A-6	CL		
SN6	C1	Indisturbato	26,50	27,00	7,00	19,50	20,00	0,00	467,2	199,7	20,1	15,9	20,0	2,7	26,7	42,5	21,1	21,4	0,7	17,98	0,7	0,71	41,6	100,0		0,0	16,1	52,6	31,3	A-7-6	CL		

Tabella 8.27 – DLA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata – campioni rimaneggiati

INFORMAZIONI GENERALI				CARATTERISTICHE FISICHE						GRANULOMETRIA				
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità (m dal p.c.)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	l _p	LR	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	
SN1	CR2	rimaneggiato	19	2,72	21,40	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,00	7,80	59,40	32,80	
SN3	CR2	rimaneggiato	25,2	2,68	34,20	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,00	27,30	64,60	8,10	
SN4	CR2	rimaneggiato	23,2	2,72	45,20	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,70	9,50	60,80	28,90	
SN5	CR2	rimaneggiato	22	2,74	20,60	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,00	5,00	43,10	51,80	
SN6	CR2	rimaneggiato	27,7	2,73	20,60	N.R.	N.R.	-	N.R.	0,00	13,90	54,70	31,40	

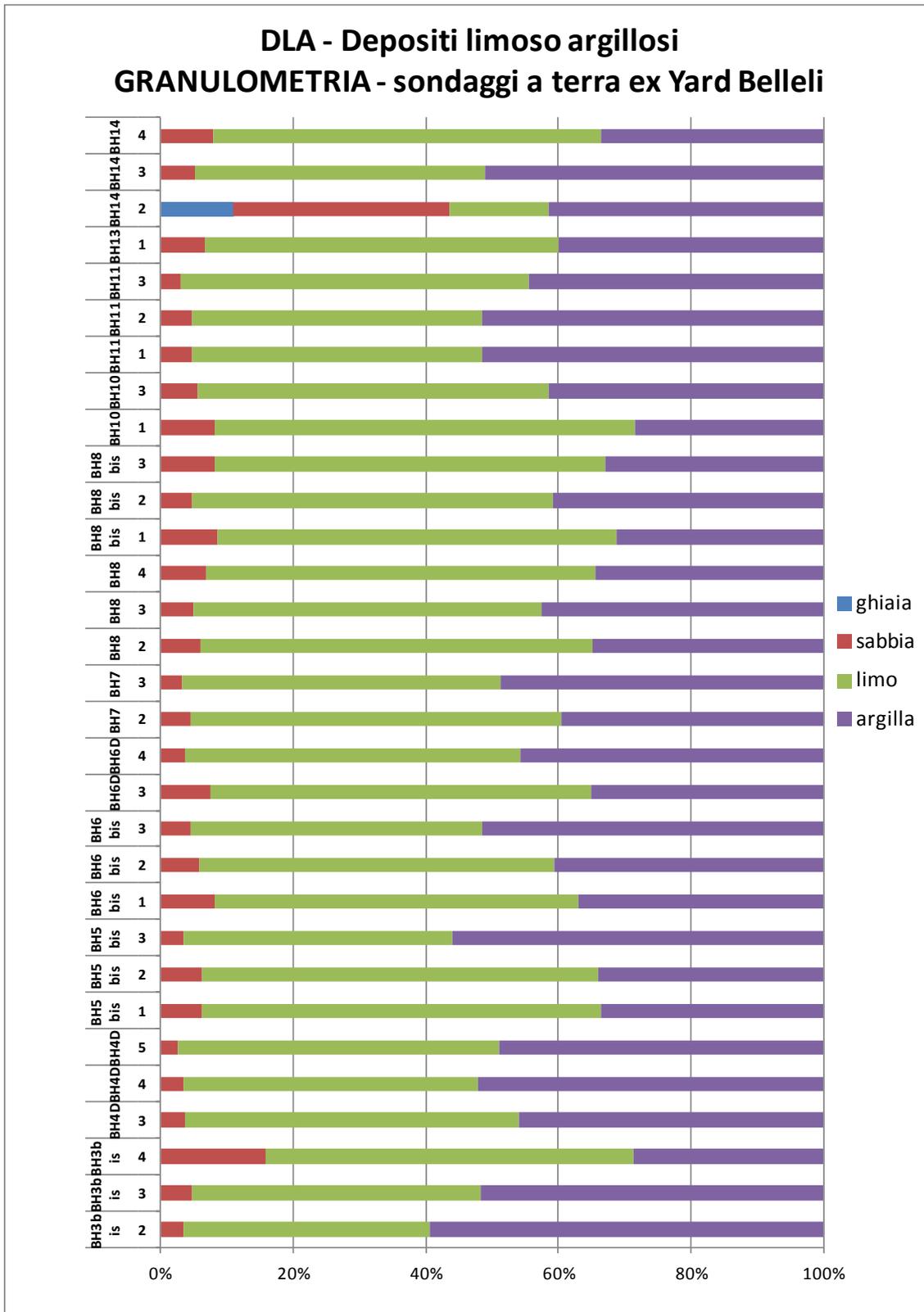


Figura 8-28: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria

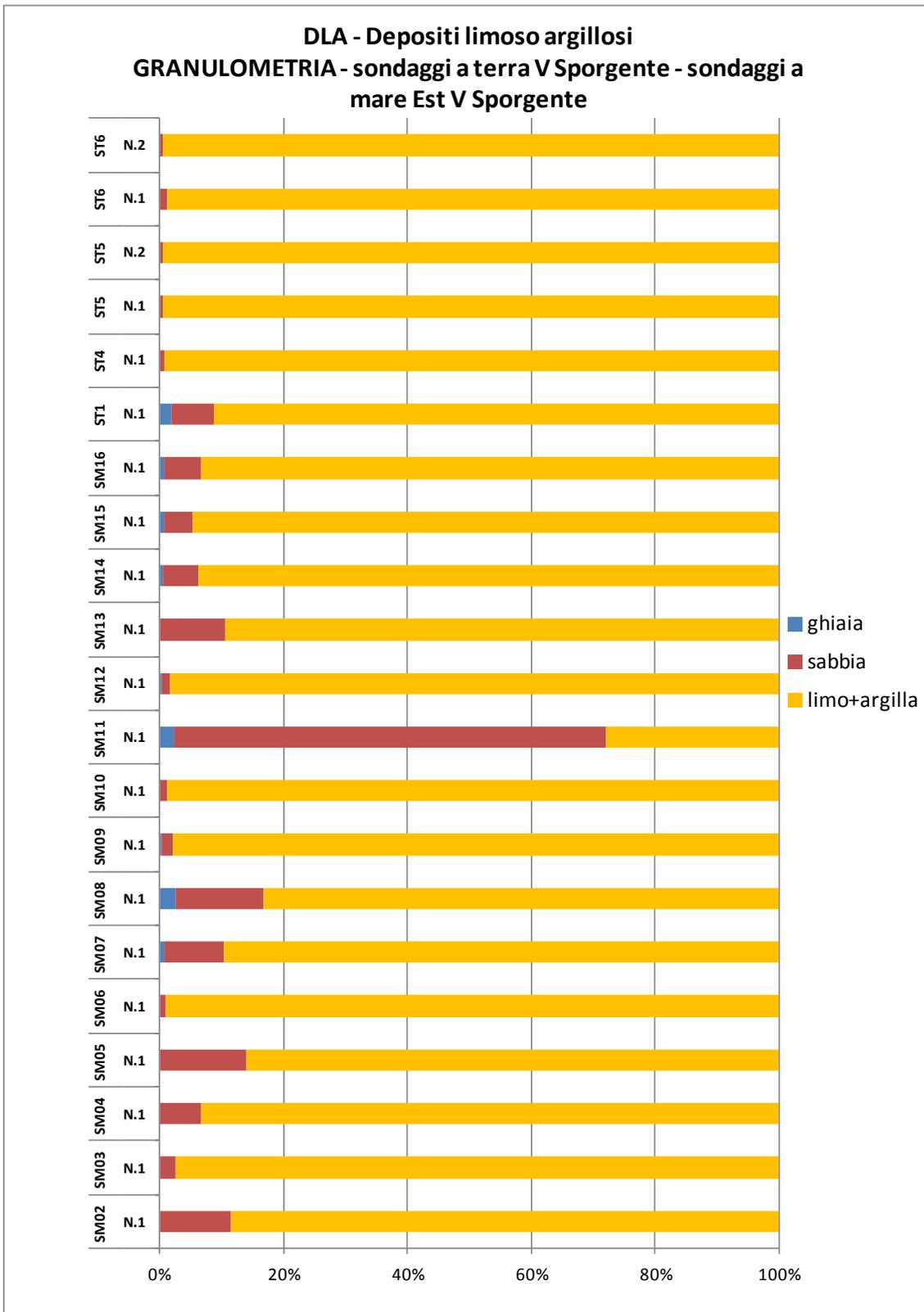


Figura 8-29: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria

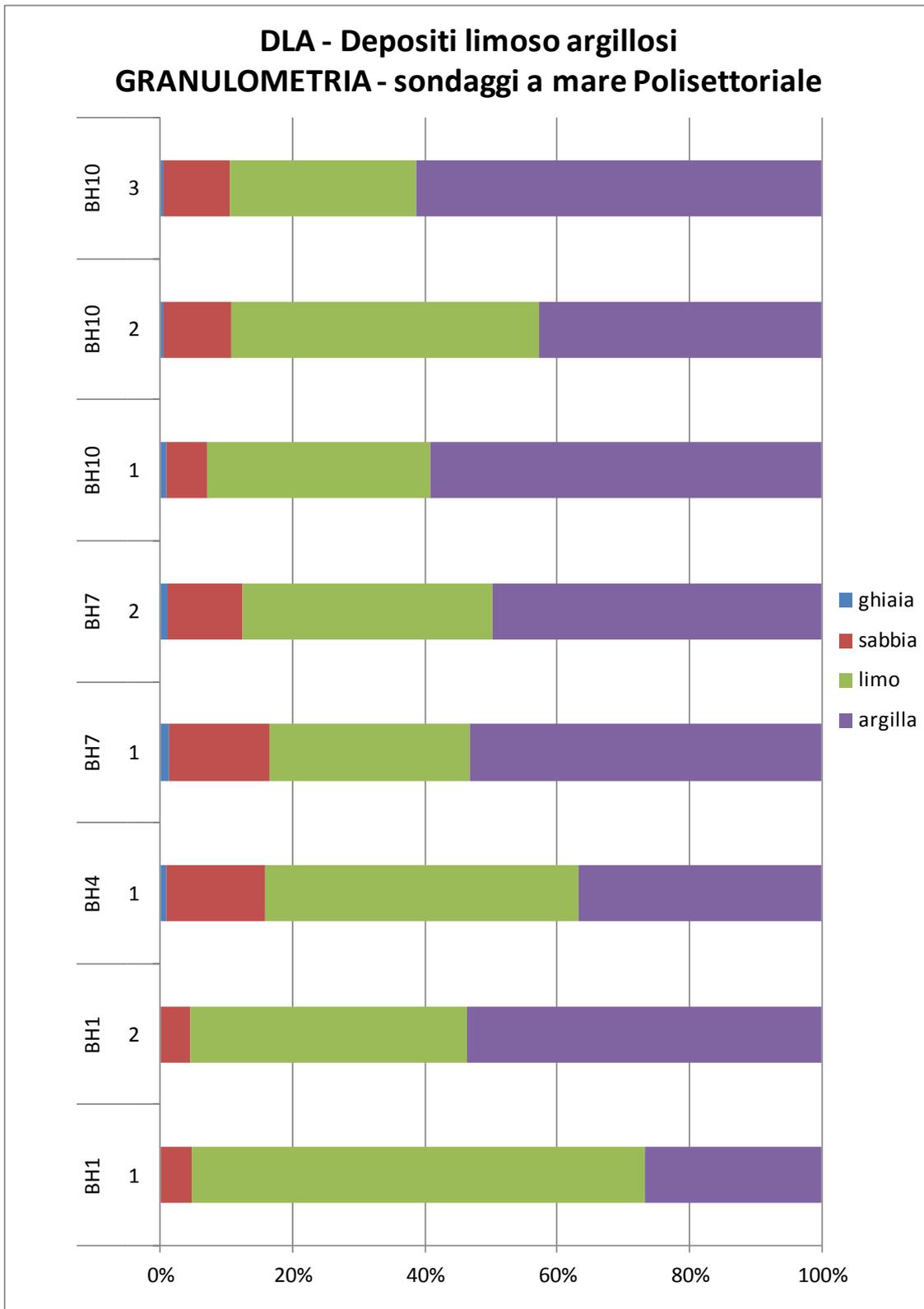


Figura 8-30: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria

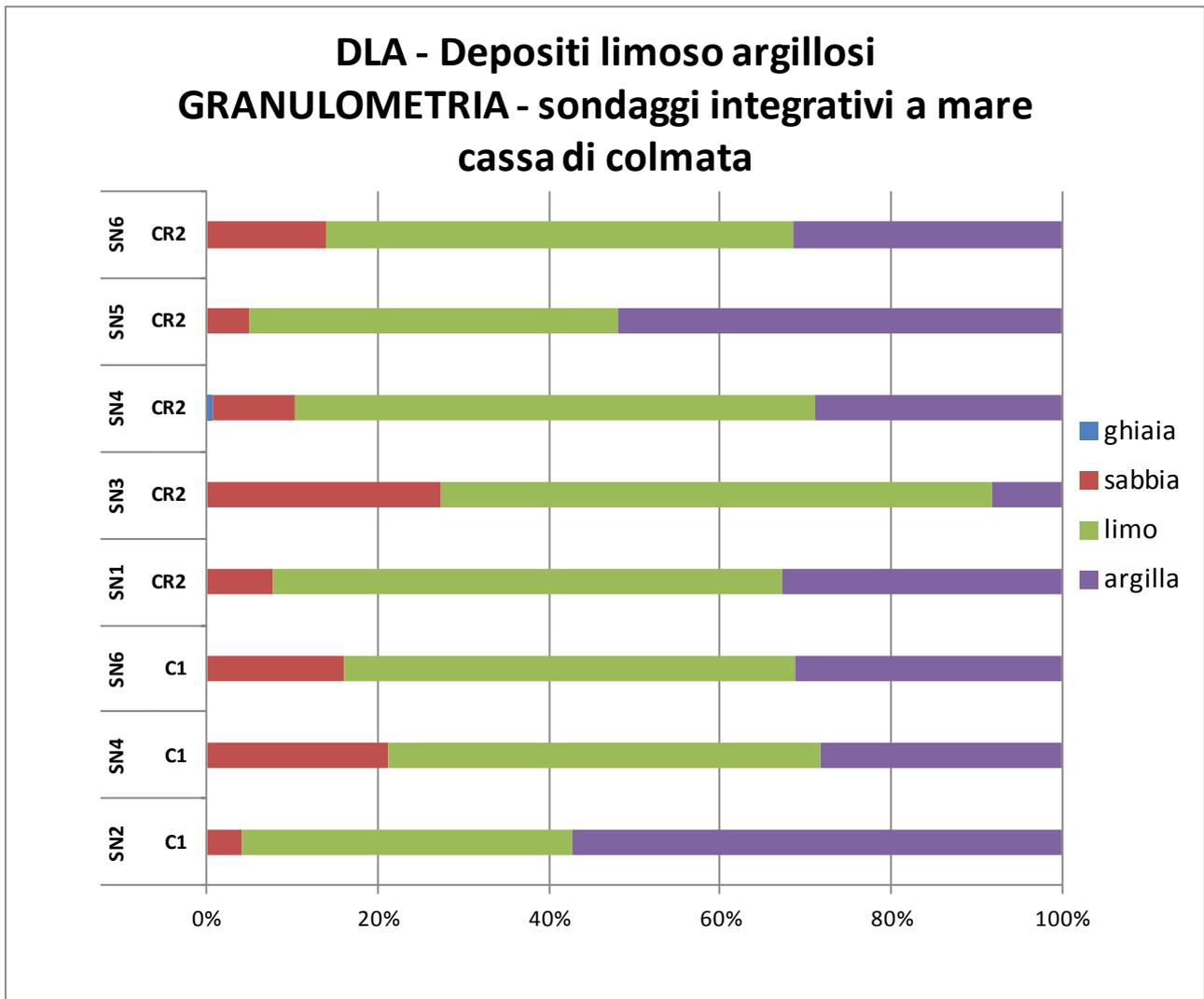


Figura 8-31: Depositi limoso argillosi - DLA – Granulometria

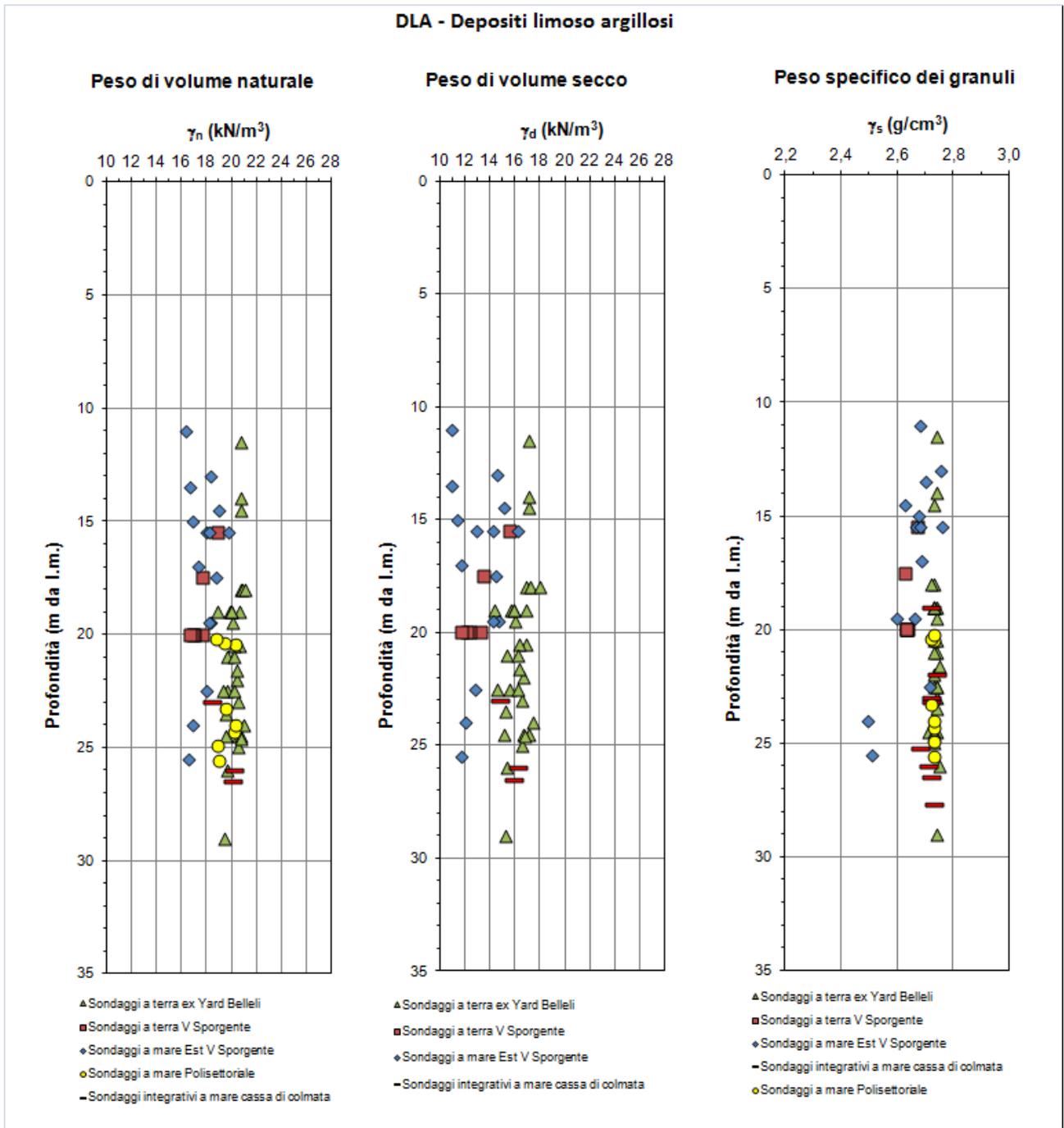


Figura 8-32: Depositi limoso argillosi - DLA - Peso di volume naturale, Peso di volume secco, Peso specifico dei granuli

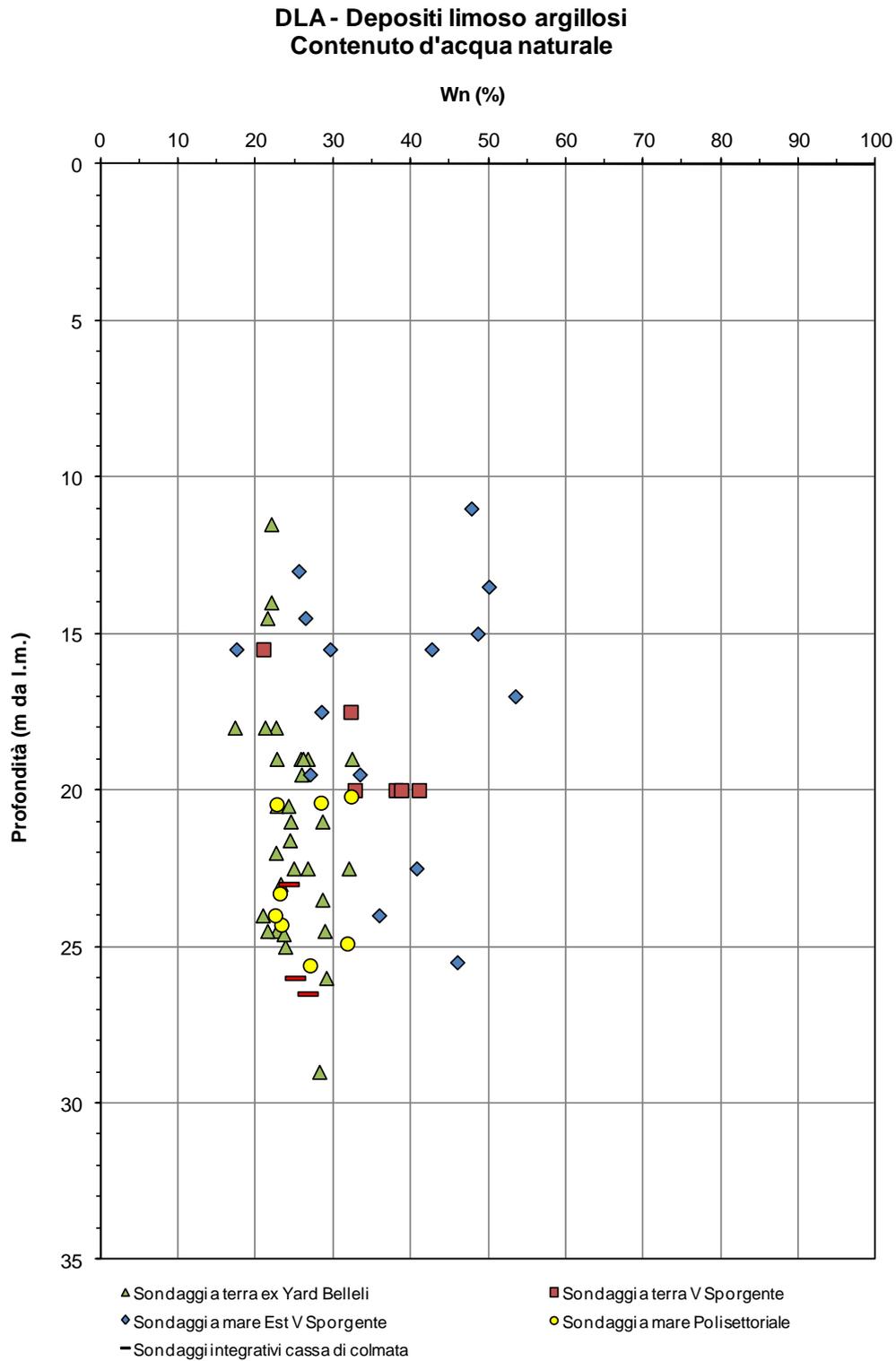


Figura 8-33: Depositi limoso argillosi - DLA - Contenuto d'acqua naturale

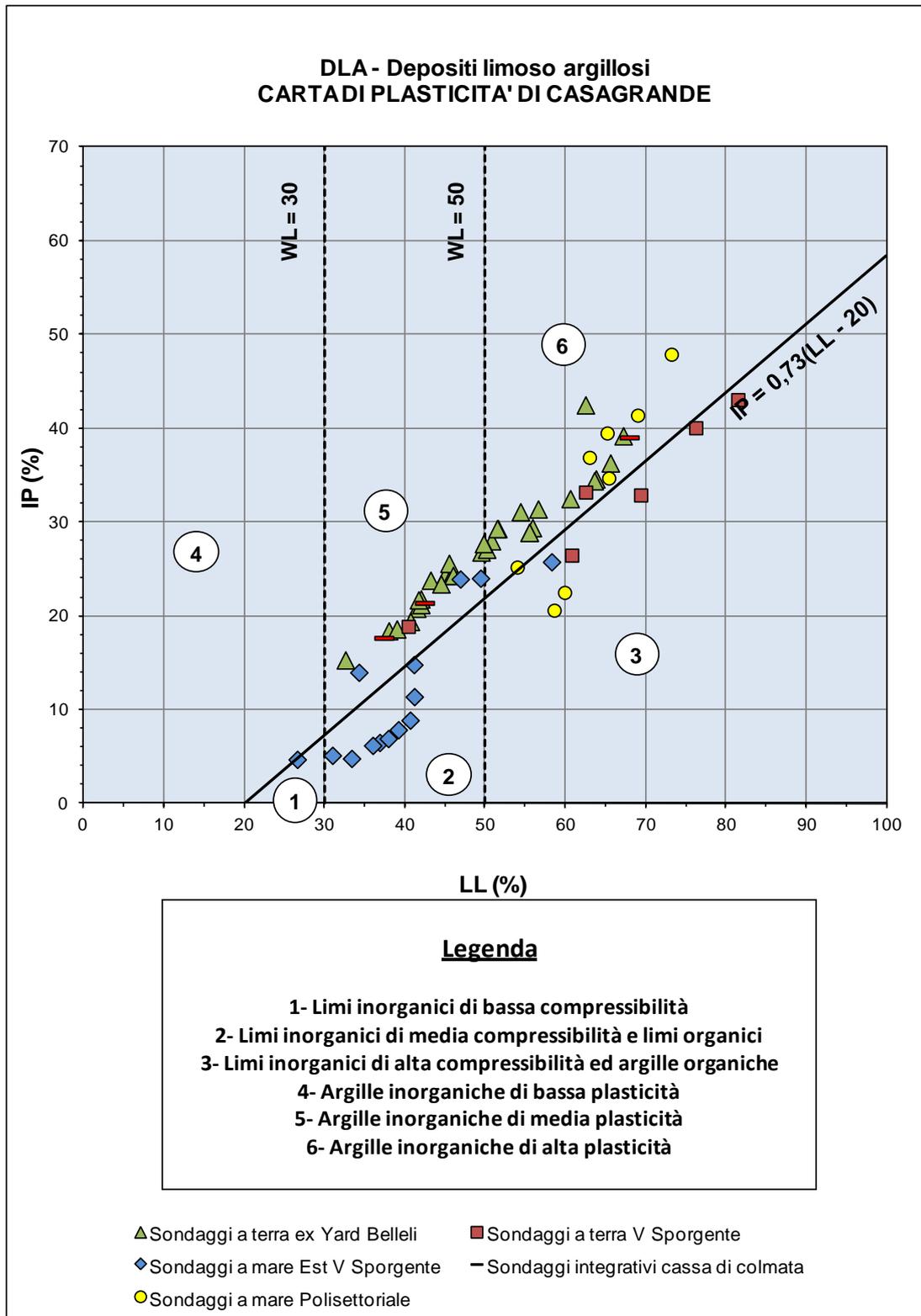


Figura 8-34: Depositi limoso argillosi - DLA - Carta di plasticità di Casagrande

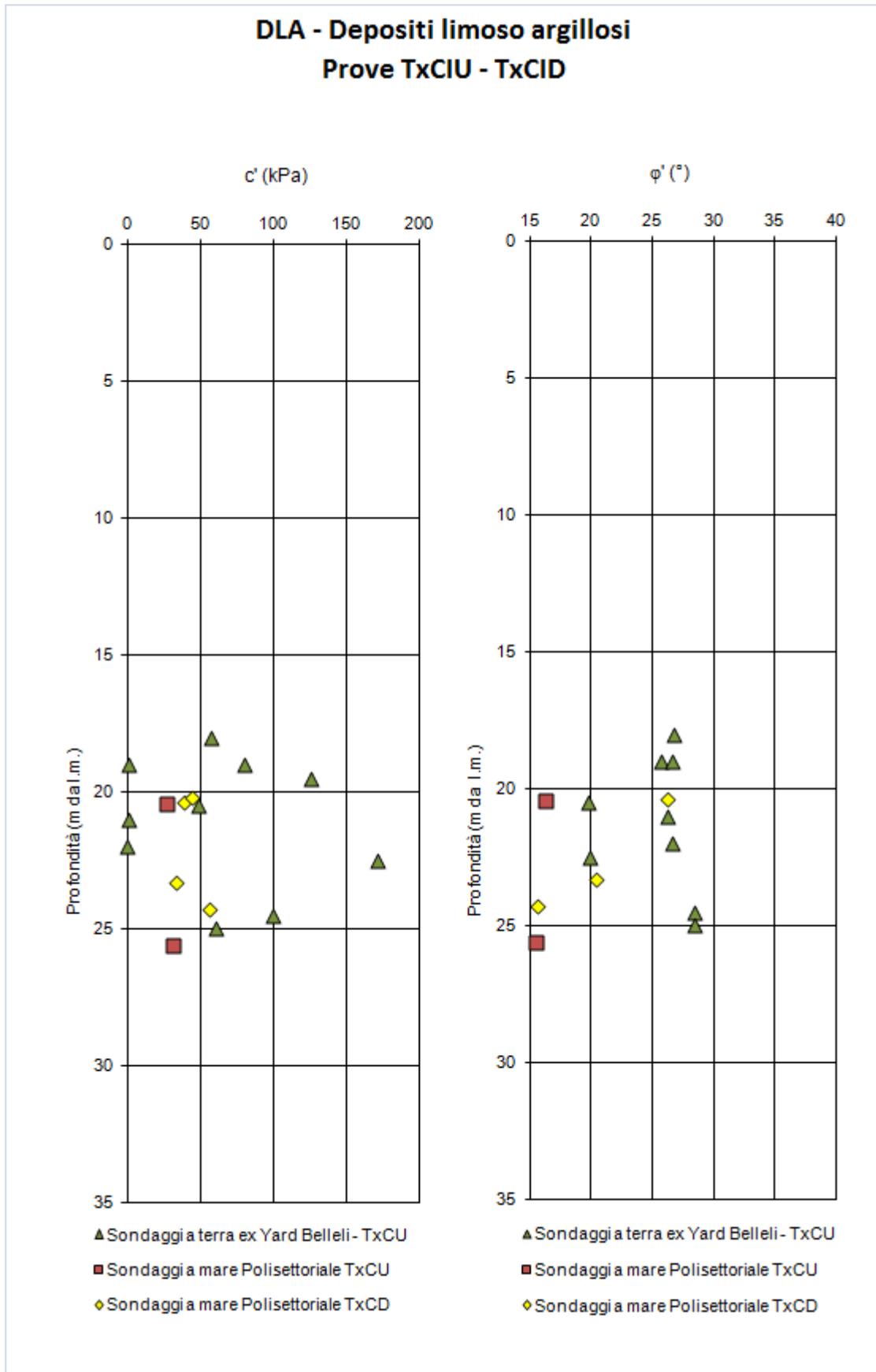


Figura 8-35: Depositi limoso argillosi - DLA – Risultati prove TxCU – TxCD

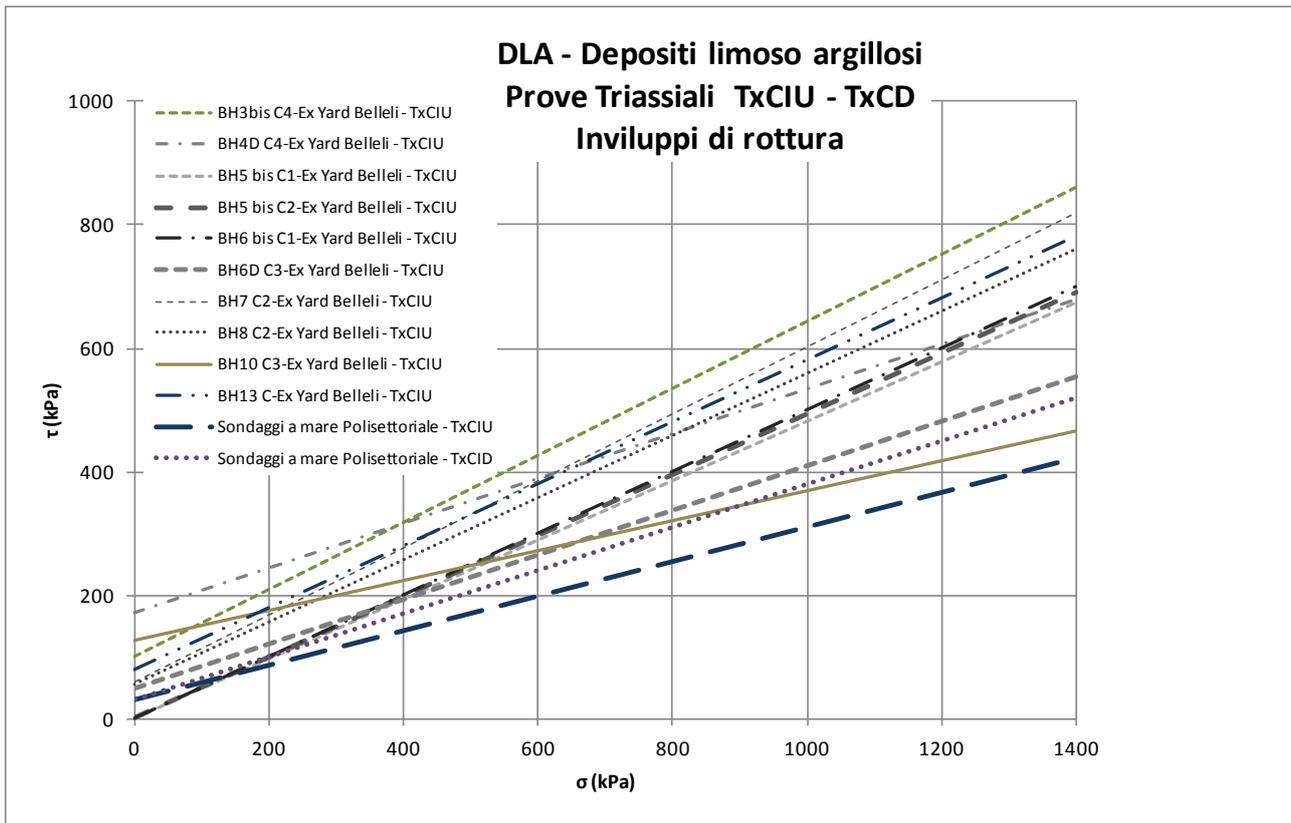


Figura 8-36: Depositi limoso argillosi - DLA – Risultati prove TxCU – TxCD – Involuppi di rottura

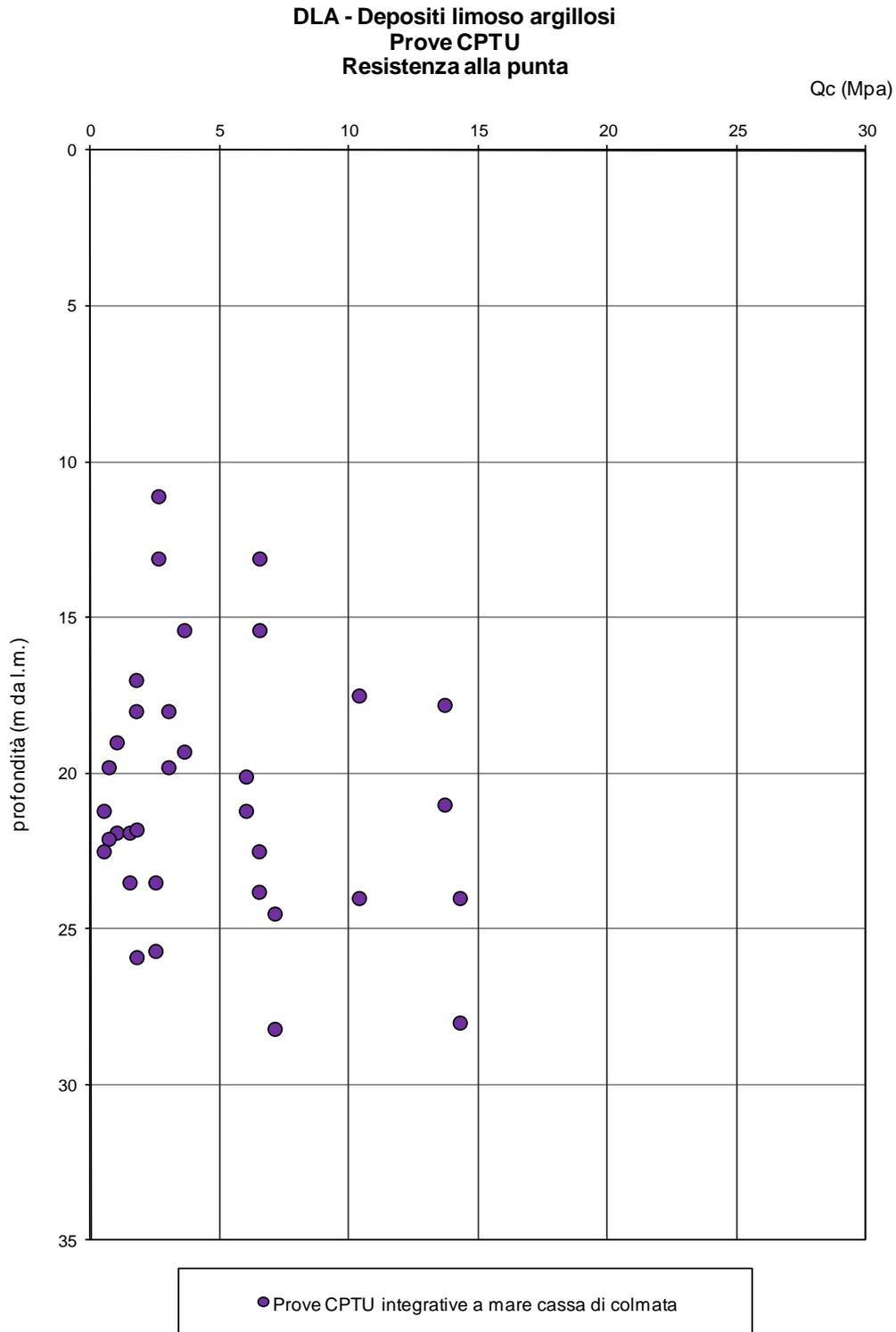


Figura 8-37: Depositi limoso argillosi - DLA – Prove CPTU – Resistenza alla punta

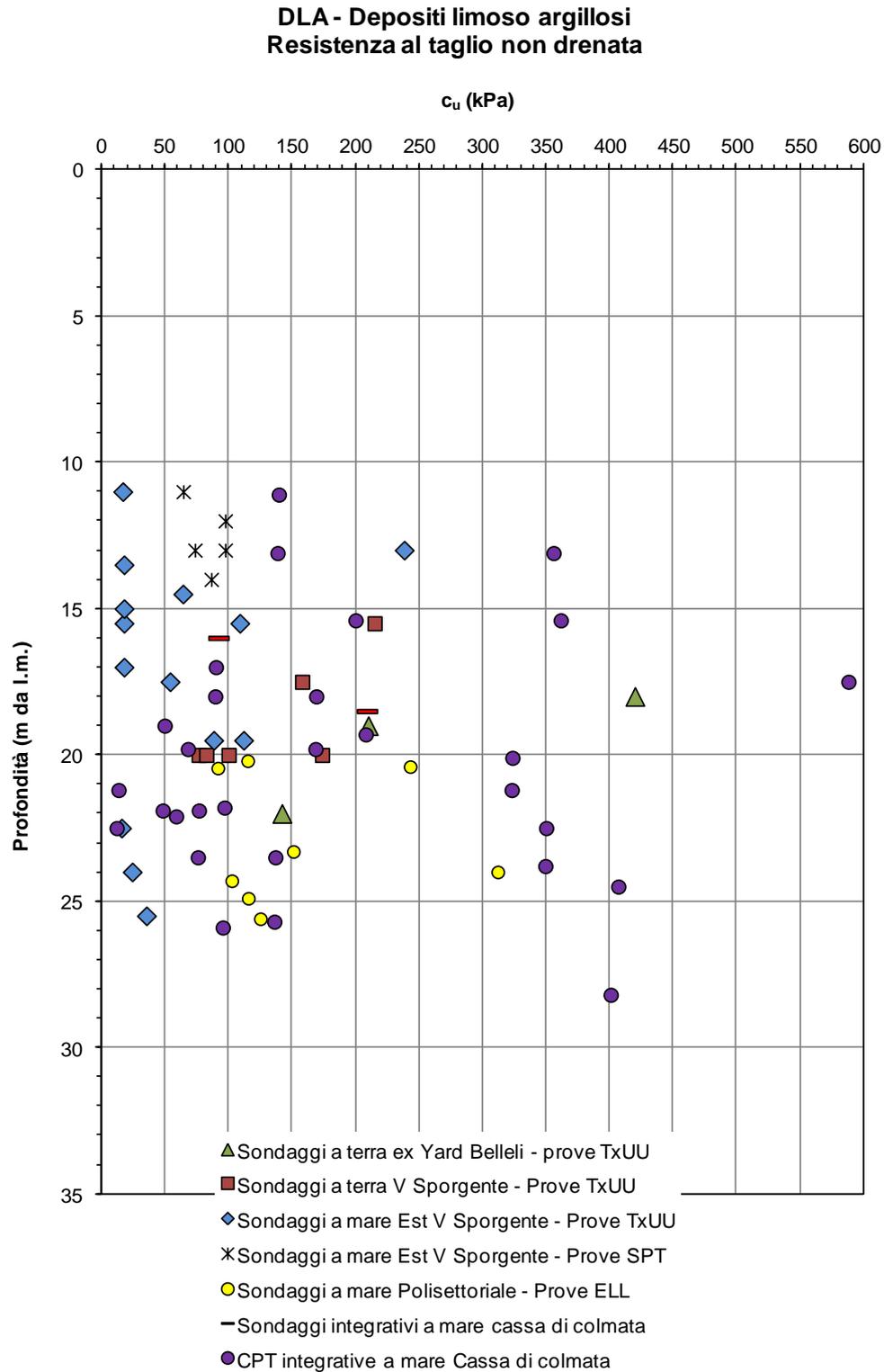


Figura 8-38: Depositi limoso argillosi - DLA – Resistenza al taglio non drenata

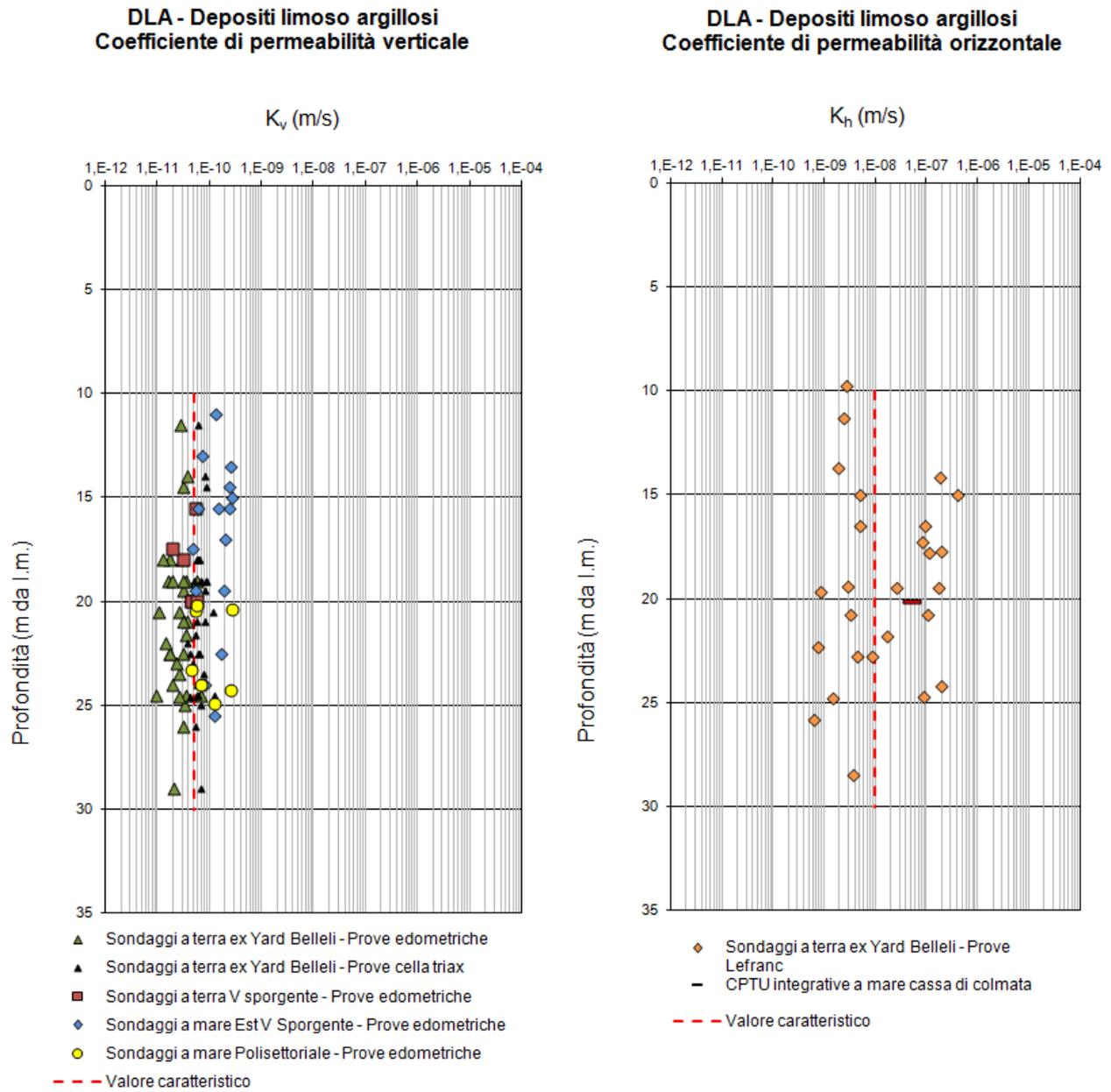


Figura 8-39: Depositi limoso argillosi - DLA - Coefficiente di permeabilità

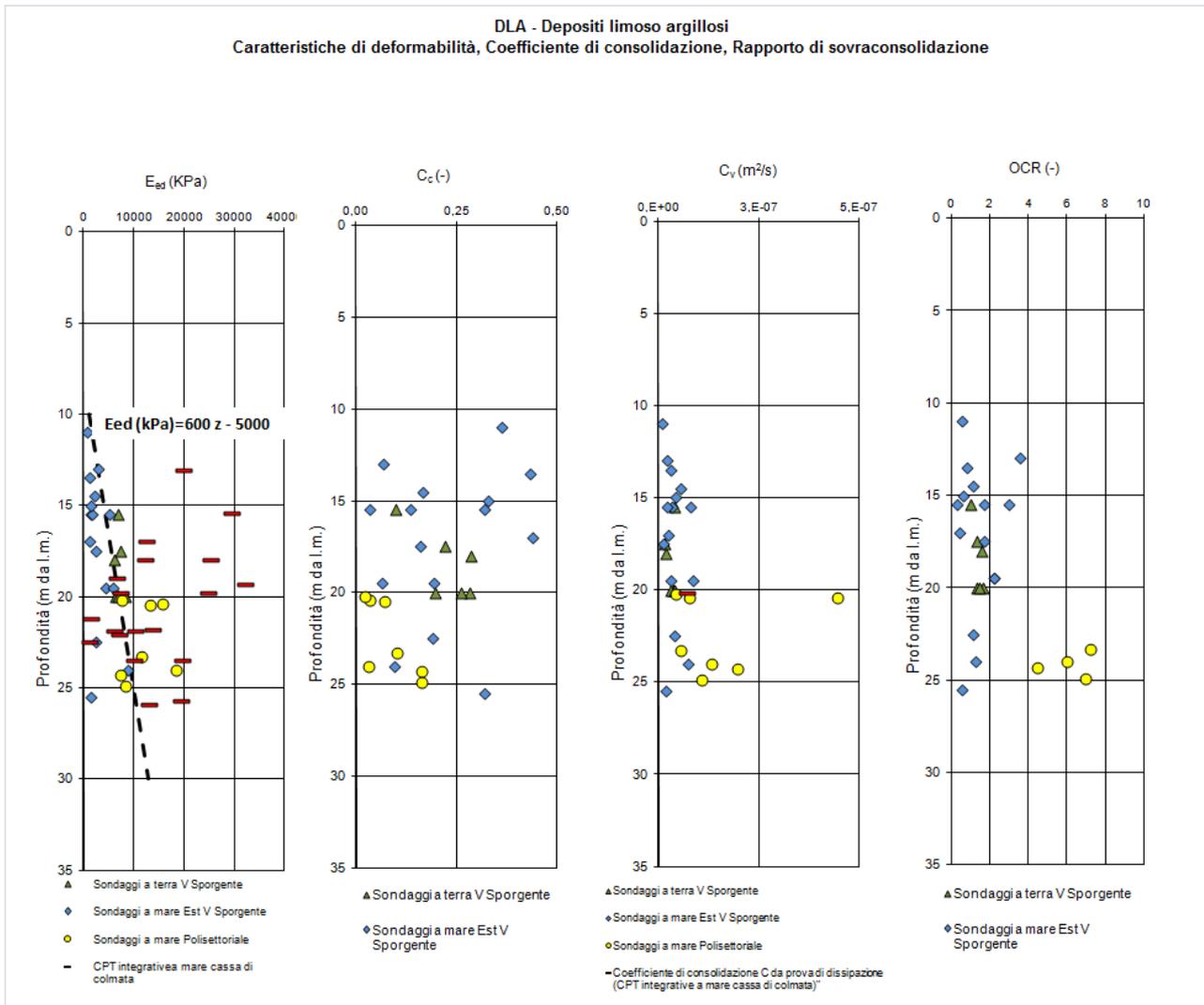


Figura 8-40: Depositi limoso argillosi - DLA – Caratteristiche di deformabilità, Coefficiente di consolidazione, Rapporto di sovraconsolidazione

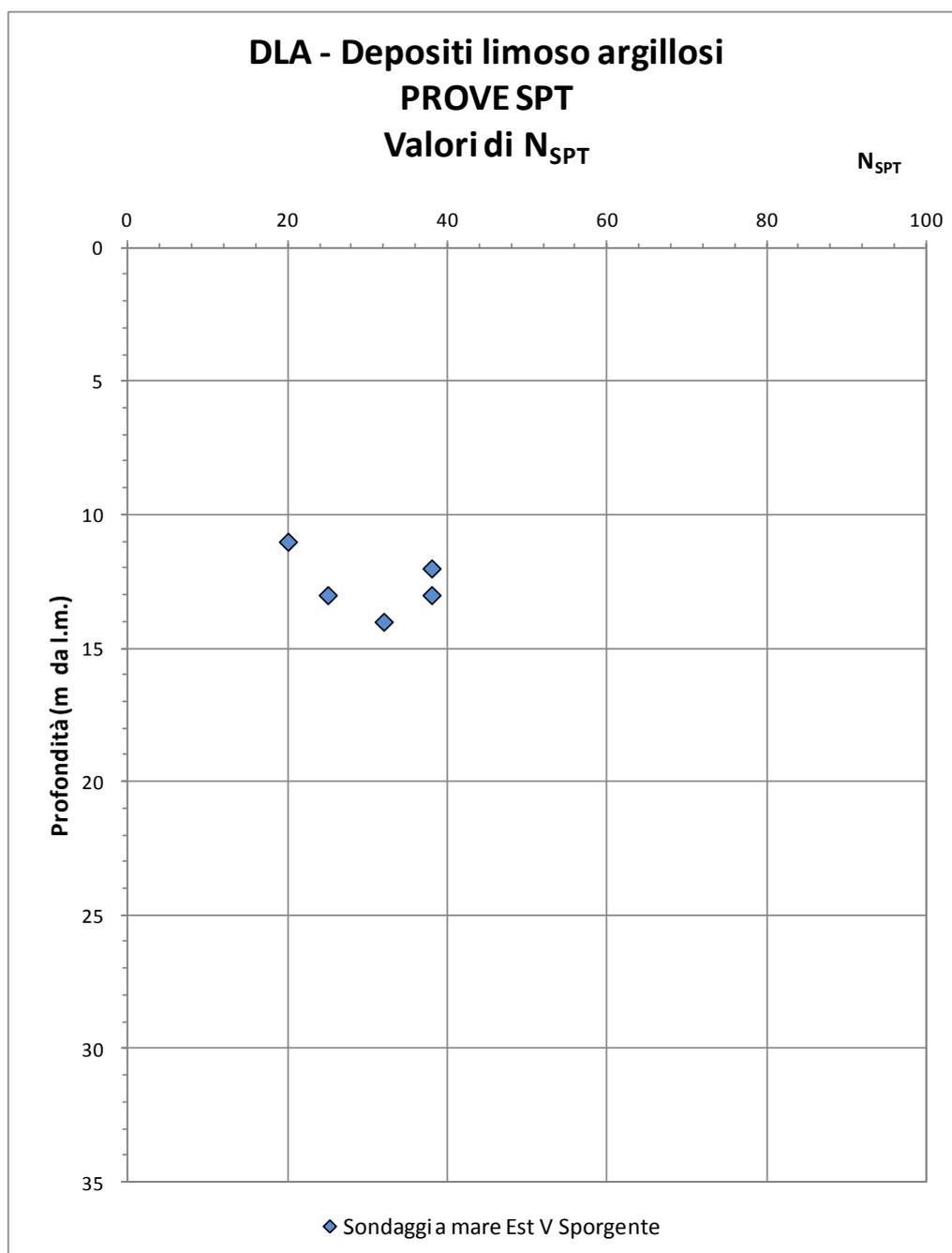


Figura 8-41: Depositi limoso argillosi - DLA – Valori di N_{SPT}

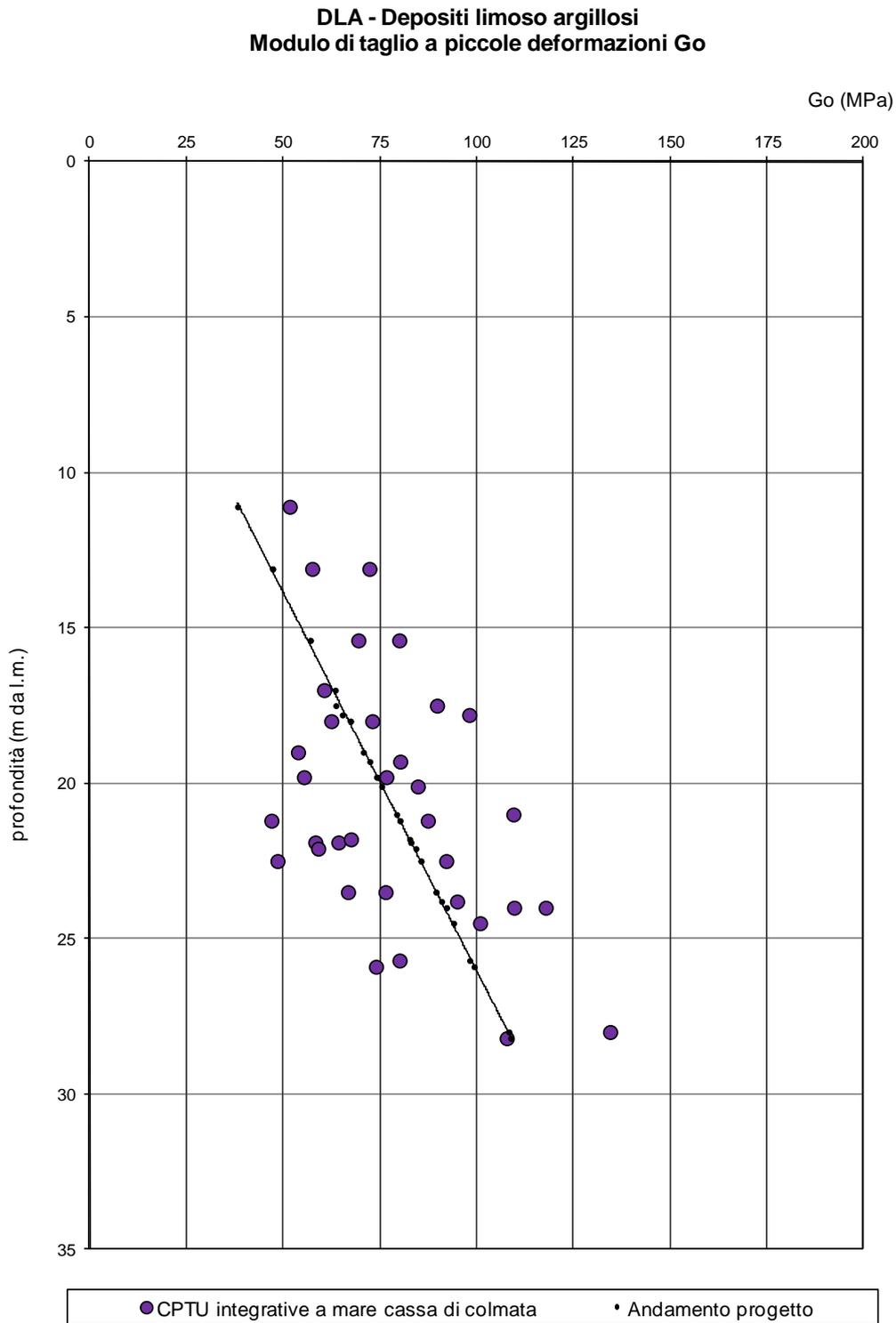


Figura 8-42: Depositi limoso argillosi - DLA – Andamento del modulo a taglio iniziale

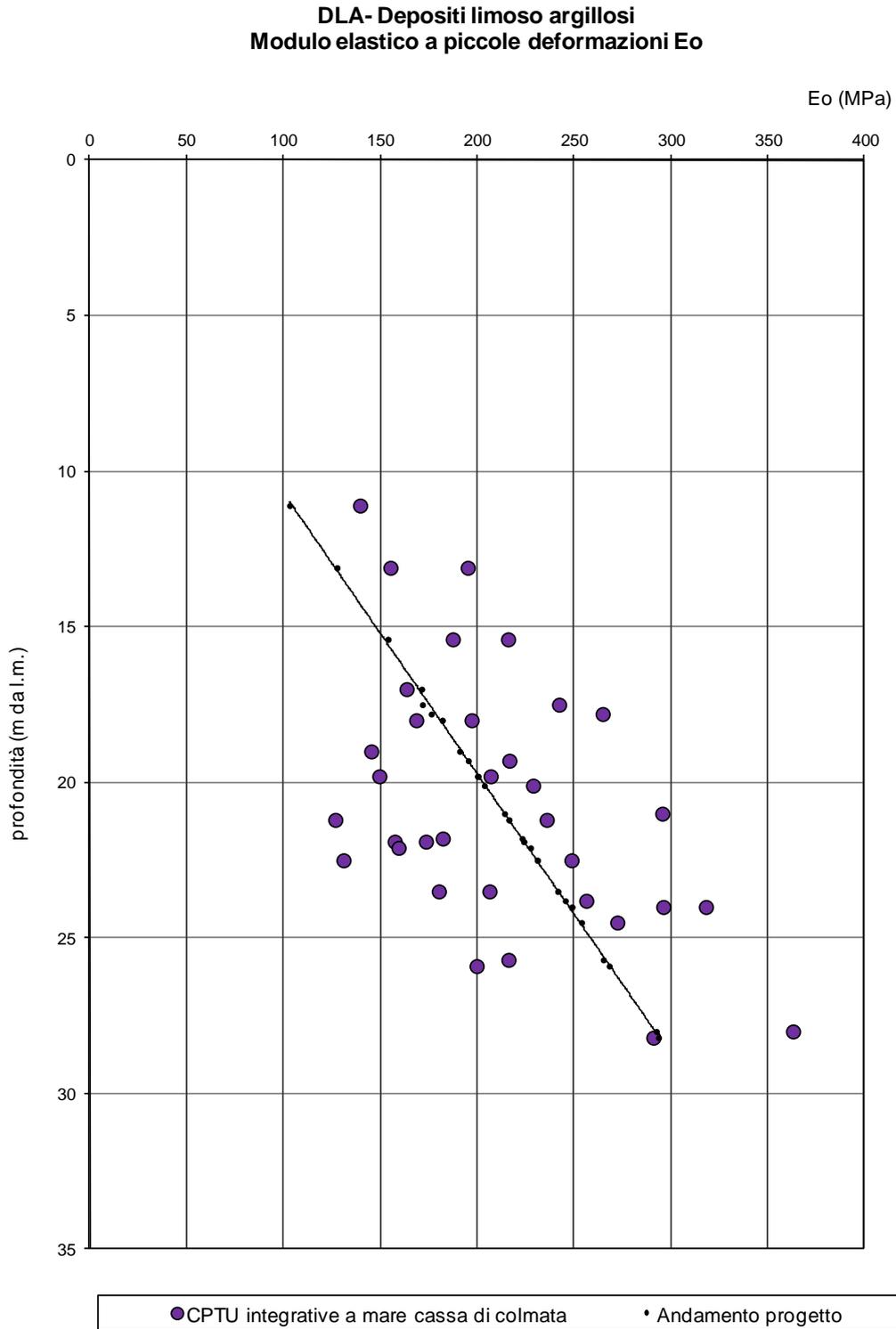


Figura 8-43: Depositi limoso argillosi - DLA – Andamento del modulo elastico iniziale

8.4 DEPOSITI ARGILLOSI - DA

I depositi argillosi, presenti a partire da una profondità media pari a -27.5 m da l.m., interferiranno solamente con le opere previste in corrispondenza ed in prossimità della cassa di colmata.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei depositi argillosi si è fatto pertanto riferimento solamente ai risultati delle indagini integrative eseguite in corrispondenza della cassa di colmata in progetto.

8.4.1 Caratteristiche fisiche e granulometriche

Dalle analisi effettuate sui campioni prelevati nei sondaggi eseguiti in corrispondenza della cassa di colmata in progetto, i depositi hanno presentato contenuti granulometrici variabili nei seguenti intervalli (Figura 8-46):

ghiaia = 0%

sabbia = 4% ÷ 20%

limo = 39% ÷ 57%

argilla = 9% ÷ 64%

argilla+limo = 27 ÷ 57%.

Il peso di volume naturale (γ_n) risulta variabile tra 18.7 e 20.4 kN/m³, mediamente pari a 19.8 kN/m³ (Figura 8-47).

Il contenuto d'acqua naturale (w_n) risulta mediamente pari al 27% (Figura 8-48).

L'indice dei vuoti iniziale (e_o) risulta mediamente pari a 0.76.

Le caratteristiche di plasticità (limite liquido LL e indice di plasticità IP) sono risultate variabili nei seguenti intervalli di valori:

LL = limite liquido = 37% ÷ 67%.

IP = indice di plasticità = 17% ÷ 38%.

Facendo riferimento alla "Carta di plasticità di Casagrande", riportata nella Figura 8-49, i materiali in oggetto possono essere classificati come "argille inorganiche di media e alta plasticità".

8.4.2 Caratteristiche di resistenza al taglio

Nel corso della campagna geognostica integrativa sono state eseguite n. 4 prove triassiali TxCU e n. 8 prove di taglio diretto su campioni indisturbati di terreno, che hanno fornito i seguenti valori di coesione e angolo di attrito in condizioni drenate (Figura 8-50):

$c' = 0 - 90$ kPa,

$\phi' = 17^\circ - 31^\circ$.

Ai fini della progettazione possono assumersi i seguenti valori rappresentativi di coesione e angolo di attrito in condizioni drenate:

$c' = 50$ kPa,

$\phi' = 25^\circ$

Le prove triassiali TxUU eseguite su n. 8 campioni indisturbati di terreno, hanno fornito valori della resistenza al taglio non drenata variabile nel seguente intervallo (Figura 8-52):

$C_U = 83 - 322$ KPa.

Le prove penetrometriche statiche CPTU eseguite nel corso della campagna geognostica integrativa hanno fornito valori della resistenza alla punta compresi nel seguente intervallo (Figura 8-51):

$$Q_c = 3.5 - 27.7 \text{ MPa};$$

Sulla base delle prove penetrometriche statiche è stato stimato il seguente intervallo rappresentativo di valori della resistenza al taglio non drenata:

$$C_U = 194 - 534 \text{ kPa}.$$

Si può assumere, per il deposito, un valore conservativo della resistenza al taglio non drenata pari a:

$$C_U = 200 \text{ kPa}$$

8.4.3 Coefficienti di permeabilità e coefficienti di consolidazione primaria

Nel corso delle prove edometriche eseguite su n. 11 campioni, sono stati determinati i seguenti valori del coefficiente di permeabilità verticale (Figura 8-53):

$$K = 1.25 \times 10^{-11} - 9.08 \times 10^{-11} \text{ m/s}.$$

Il coefficiente di consolidazione primaria risultante dalle suddette prove di compressione edometrica è risultato variabile nel seguente intervallo di valori (Figura 8-54):

$$c_v = 5.67 \times 10^{-9} - 1.71 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}.$$

N. 2 prove di dissipazione eseguite nel corso delle prove penetrometriche statiche integrative CPTU3 - CPTU5, a quota -27.8 m da l.m. e -29.3 m da l.m., hanno fornito rispettivamente i seguenti valori di coefficiente di consolidazione ed il coefficiente permeabilità orizzontale:

$$C = 1.25 \times 10^{-7} - 8.92 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$K_h = 1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-10} \text{ m/s}.$$

Si può stimare il coefficiente di permeabilità K medio rappresentativo dello strato mediante la seguente relazione:

$$K = \sqrt{K_h K_v}$$

In cui:

K_h = coefficiente di permeabilità orizzontale (m/s)

K_v = coefficiente di permeabilità verticale (m/s).

Facendo riferimento ai risultati delle prove riportati in sintesi nella Tabella 8.44, risulta un coefficiente di permeabilità medio del deposito pari a:

$$K = 1.26 \times 10^{-10} \text{ m/s}$$

Il deposito risulta pertanto caratterizzato da un valore di coefficiente di permeabilità sufficiente a garantire le prestazioni di tenuta idraulica nel caso di ammorsamento di diaframmi all'interno dello

strato.

Tabella 8.44 – DA – Valori dei coefficienti di permeabilità da prove di laboratorio e da prove in sito

DA - Coefficiente di permeabilità verticale da prove di laboratorio				
Sondaggio	Campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	PROVA EDOMETRICA
				K_v (m/s)
SN1	C1	22,00	22,60	1,81E-11
SN1	C2	25,00	25,60	1,25E-11
SN1	C3	31,00	31,60	7,32E-11
SN2	C2	25,00	25,60	3,40E-11
SN2	C3	33,00	33,60	4,48E-11
SN3	C2	30,50	31,00	5,12E-11
SN3	C3	34,50	35,00	5,71E-11
SN4	C2	32,00	32,50	4,33E-11
SN4	C3	34,50	35,00	4,82E-11
SN5	C3	31,50	32,00	9,08E-11
SN6	C3	34,50	35,00	2,02E-11

DA - Coefficiente di permeabilità orizzontale da prove di dissipazione		
Prova	Profondità prova (m da p.c.)	K_h (m/s)
CPTU3	27,8	1,00E-09
CPTU5	29,3	1,00E-10

K_v medio caratteristico prove laboratorio = 4,00E-11 m/s
 K_h medio caratteristico prove in sito = 4,00E-10 m/s

Coefficiente di permeabilità medio dello strato:

$$K = \sqrt{K_h K_v} = 1,26E-10 \text{ m/s}$$

8.4.4 Caratteristiche di deformabilità

Valori del modulo edometrico da prove CPTU sono stati stimati nel seguente intervallo rappresentativo:

$$E_{ed} = 28000 \div 82000 \text{ kPa}$$

Valori superiori sono stati stimati all'interno dei livelli maggiormente consistenti.

Dai risultati si può assumere un andamento del modulo crescente con la profondità, secondo la relazione:

$$E_{ed} = 3000 z - 10000 \text{ kPa (Figura 8-55).}$$

Dai risultati delle prove CPTU, mediante l'applicazione della relazione di Rix e Stokoe, sono stati determinati valori dei moduli al taglio e di elasticità iniziali, compresi rispettivamente nei seguenti intervalli di valori rappresentativi:

$$G_{01} = 92 - 123 \text{ MPa (Figura 8-56);}$$

$$E_{01} = 250 - 340 \text{ MPa (Figura 8-57).}$$

Dall'analisi dell'andamento dei valori dei moduli elastici e al taglio con la profondità, si sono stimati i valori dei moduli di riferimento, in corrispondenza di una tensione verticale efficace media di riferimento rappresentativa dello strato pari a 184 kPa:

$$G_{01,ref} = 110 \text{ MPa}$$

$$E_{01,ref} = 297 \text{ MPa}$$

I valori dei moduli di riferimento e della pressione efficace litostatica corrispondente, permettono quindi di stimare i valori dei moduli alle pressioni efficaci medie generiche, mediante le seguenti relazioni:

$$G_0, E_0 = G_{01,ref}, E_{01,ref} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0,ref}} \right)^m$$

8.4.5 Sintesi delle caratteristiche geotecniche

DEPOSITI ARGILLOSI – DA	
Parametri geotecnici caratteristici	
γ (KN/m ³)	19.5 - 20
c' (kPa)	50
ϕ' (°)	25
C_U (kPa)	200
G_0 (MPa)	$G_{0,ref} = 110$ MPa – $z_{ref}=25$ m da l.m. (σ'_{vo} media = 184 kPa)
E_0 (MPa)	$E_{0,ref} = 297$ MPa – $z_{ref}=25$ m da l.m. (σ'_{vo} media = 184 kPa)
E_{cd} (kPa)	$E_{cd} = 3000 z - 10000$ kPa (con z= profondità in metri)
C_v (m ² /sec)	$C_v = 5.67 \times 10^{-9} - 1.7c1 \times 10^{-7}$, da prove di laboratorio $C = 8.92 \times 10^{-8} - 1.25 \times 10^{-7}$, da prove di dissipazione
K (m/s)	1.26×10^{-10}

Tabella 8.45 – DA - Sintesi dei risultati delle prove di laboratorio – Sondaggi integrativi a mare – cassa di colmata

INFORMAZIONI GENERALI								CARATTERISTICHE FISICHE																		PROVA TxCIU		PROVA DI TAGLIO DIRETTO		PROVA EDOMETRICA				PROVA TxUU	GRANULOMETRIA					Classificazione dei materiali	
Sondaggio	Campione	Tipo di campione	Profondità iniziale (m dal l.m.)	Profondità finale (m dal l.m.)	Profondità a fondale (m da l.m.)	Profondità iniziale (m dal fondale)	Profondità finale (m dal fondale)	Profondità a falda in foro (m dal fondale)	σ_{vo} (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (g/cm ³)	w _n (%)	w _l (%)	w _p (%)	I _p (%)	I _c	LR (%)	A	e	n (%)	S (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	σ'_{p} (kPa)	OCR	cv (m ² /sec)	K (m/s)	Cu (kPa)	GH (%)	S (%)	L (%)	A (%)	AASHTO (CNR-UNI 10006)	Classificazione sistema unificato		
SN1	C1	Indisturbato	22,00	22,60	5,00	17,00	17,60	0,00	383,7	160,7	19,3	14,9	19,5	2,7	29,4	67,1	29,0	38,1	1,0	19,54	0,7	0,84	45,7	95,9					2000	12,4	4,67E-08	1,81E-11	322	0,0	4,1	42,4	53,5	A-7-6	CH		
SN1	C2	Indisturbato	25,00	25,60	5,00	20,00	20,60	0,00	444,4	191,4	19,4	15,2	19,6	2,7	28,0	65,4	26,9	38,5	1,0	18,02	0,8	0,80	44,6	95,3	67,0	20,3	22,8	16,9	2000	10,5	3,05E-08	1,25E-11		0,0	4,6	44,4	50,9	A-7-6	CH		
SN1	C3	Indisturbato	31,00	31,60	5,00	26,00	26,60	0,00	581,6	268,6	20,2	16,2	20,2	2,7	24,9	46,6	22,1	24,5	0,9	16,69	0,7	0,69	40,7	99,2		10	26,6	900	3,4	1,54E-07	7,32E-11	296	0,0	6,7	55,6	37,7	A-7-6	CL			
SN2	C2	Indisturbato	25,00	25,60	7,00	18,00	18,60	0,00	427,0	174,0	19,5	15,3	19,7	2,7	27,5	62,9	26,3	36,6	1,0	18,02	0,7	0,79	44,1	95,3	90,0	17,8		2000	11,5	8,33E-08	3,40E-11		0,0	5,5	40,4	54,1	A-7-6	CH			
SN2	C3	Indisturbato	33,00	33,60	7,00	26,00	26,60	0,00	593,3	260,3	19,9	15,7	19,9	2,7	27,1	51,3	24,3	27,0	0,9	16,41	0,6	0,75	42,7	99,2		70,3	18,4	900	3,5	1,71E-07	4,48E-11	255	0,0	4,8	47,8	47,4	A-7-6	CH			
SN3	C1	Indisturbato	28,00	28,50	7,50	20,50	21,00	0,00	462,7	180,2	18,7	13,8	18,7	2,7	35,5	65,6	27,4	38,2	0,8	17,76	0,7	0,97	49,3	99,3								83	0,0	4,4	40,3	55,2	A-7-6	CH			
SN3	C2	Indisturbato	30,50	31,00	7,50	23,00	23,50	0,00	547,2	239,7	20,3	16,5	20,4	2,7	23,3	36,6	19,9	16,7	0,8	17,13	0,6	0,64	39,2	97,8	37,0	27,2		1000	4,2	1,44E-07	5,12E-11		0,0	19,8	53,4	26,8	A-6	CL			
SN3	C3	Indisturbato	34,50	35,00	7,50	27,00	27,50	0,00	614,7	267,2	19,8	15,5	19,9	2,7	27,4	49,3	22,3	27,0	0,8	18,13	0,7	0,76	43,1	98,8		40,4	24,8	600	2,2	8,28E-08	5,71E-11	204	0,0	7,5	55,4	37,1	A-7-6	CL			
SN4	C2	Indisturbato	32,00	32,50	7,50	24,50	25,00	0,00	571,1	248,6	20,0	15,9	20,1	2,7	25,7	43,4	20,6	22,8	0,8	17,21	0,6	0,72	41,7	98,3	25,0	25,6	40	25,8	800	3,2	1,08E-07	4,33E-11		0,0	11,1	53,7	35,2	A-7-6	CL		
SN4	C3	Indisturbato	34,50	35,00	7,50	27,00	27,50	0,00	623,7	276,2	20,1	16,0	20,1	2,7	26,1	52,7	22,5	30,2	0,9	15,70	0,7	0,71	41,4	100,0				900	3,3	1,47E-07	4,82E-11	253	0,0	6,9	49,1	44,0	A-7-6	CH			
SN5	C1	Indisturbato	24,50	25,00	6,00	18,50	19,00	0,00	418,6	171,1	19,1	14,4	19,1	2,7	33,2	65,1	27,4	37,7	0,8	19,88	0,7	0,91	47,5	100,0		0	21						0,0	4,6	38,5	56,8	A-7-6	CH			
SN5	C2	Indisturbato	28,50	29,00	6,00	22,50	23,00	0,00	500,4	212,9	19,4	14,6	19,3	2,8	32,2	64,6	28,6	36,0	0,9	19,36	0,8	0,88	46,8	100,0										0,0	4,0	48,6	47,4	A-7-6	CH		
SN5	C3	Indisturbato	31,50	32,00	6,00	25,50	26,00	0,00	584,1	266,6	20,4	16,6	20,5	2,7	22,8	38,0	20,0	18,0	0,8	17,55	0,7	0,65	39,3	96,3		12,7	31,1	1000	3,8	5,67E-09	9,08E-11	195	0,0	16,4	56,8	26,8	A-6	CL			
SN6	C2	Indisturbato	30,00	30,50	7,00	23,00	23,50	0,00	544,8	242,3	20,4	16,4	20,4	2,7	24,4	42,8	19,5	23,3	0,8	16,40	0,7	0,66	39,8	100,0									0,0	16,6	48,5	34,9	A-7-6	CL			
SN6	C3	Indisturbato	34,50	35,00	7,00	27,50	28,00	0,00	636,2	288,7	20,4	16,7	20,6	2,7	22,3	50,7	20,8	29,9	0,9	14,52	0,7	0,63	38,8	95,9		51,8	18,6	1500	5,2	5,20E-08	2,02E-11	265	0,0	7,3	48,9	43,8	A-7-6	CH			

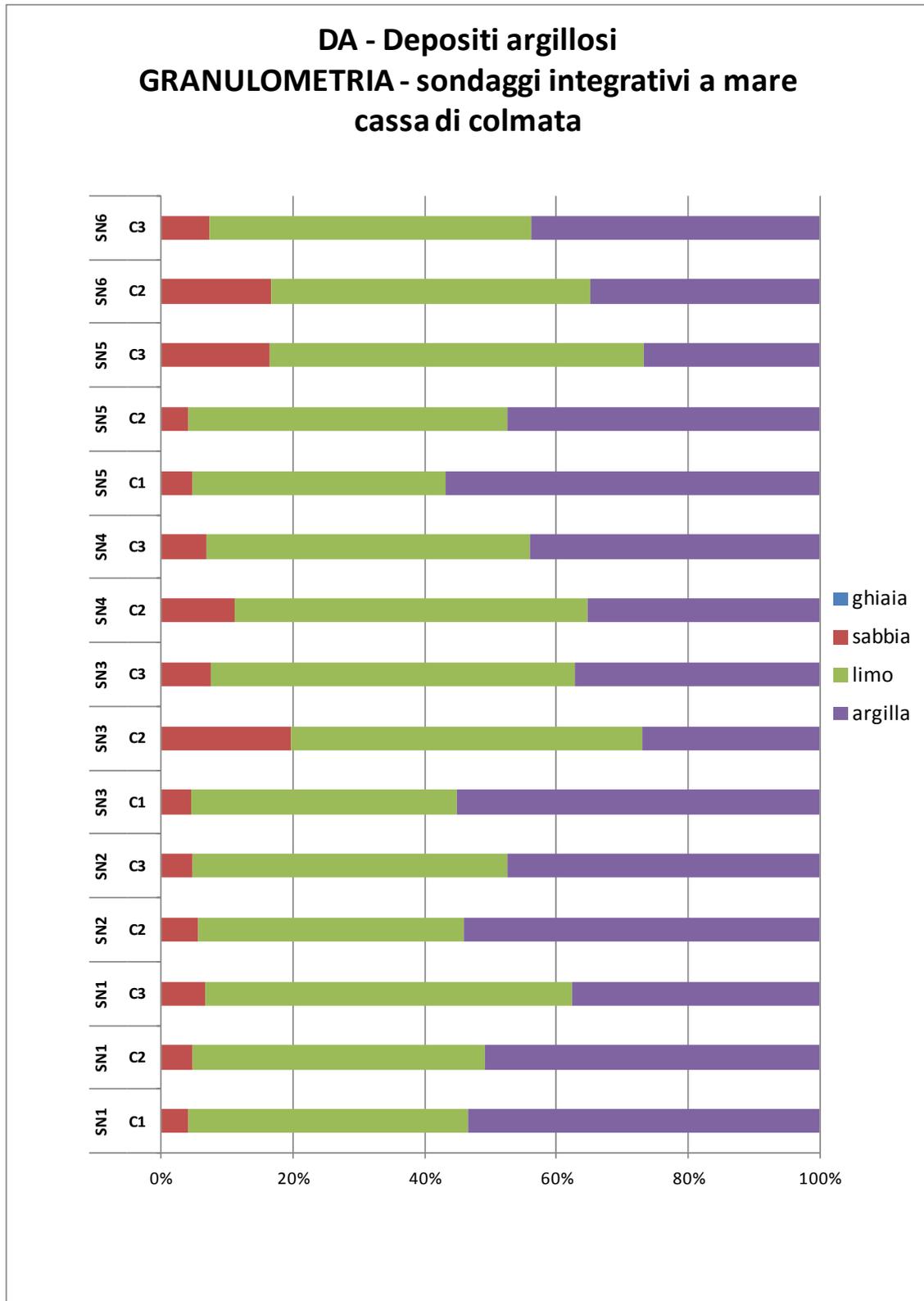


Figura 8-46: Depositi argillosi - DA – Granulometria

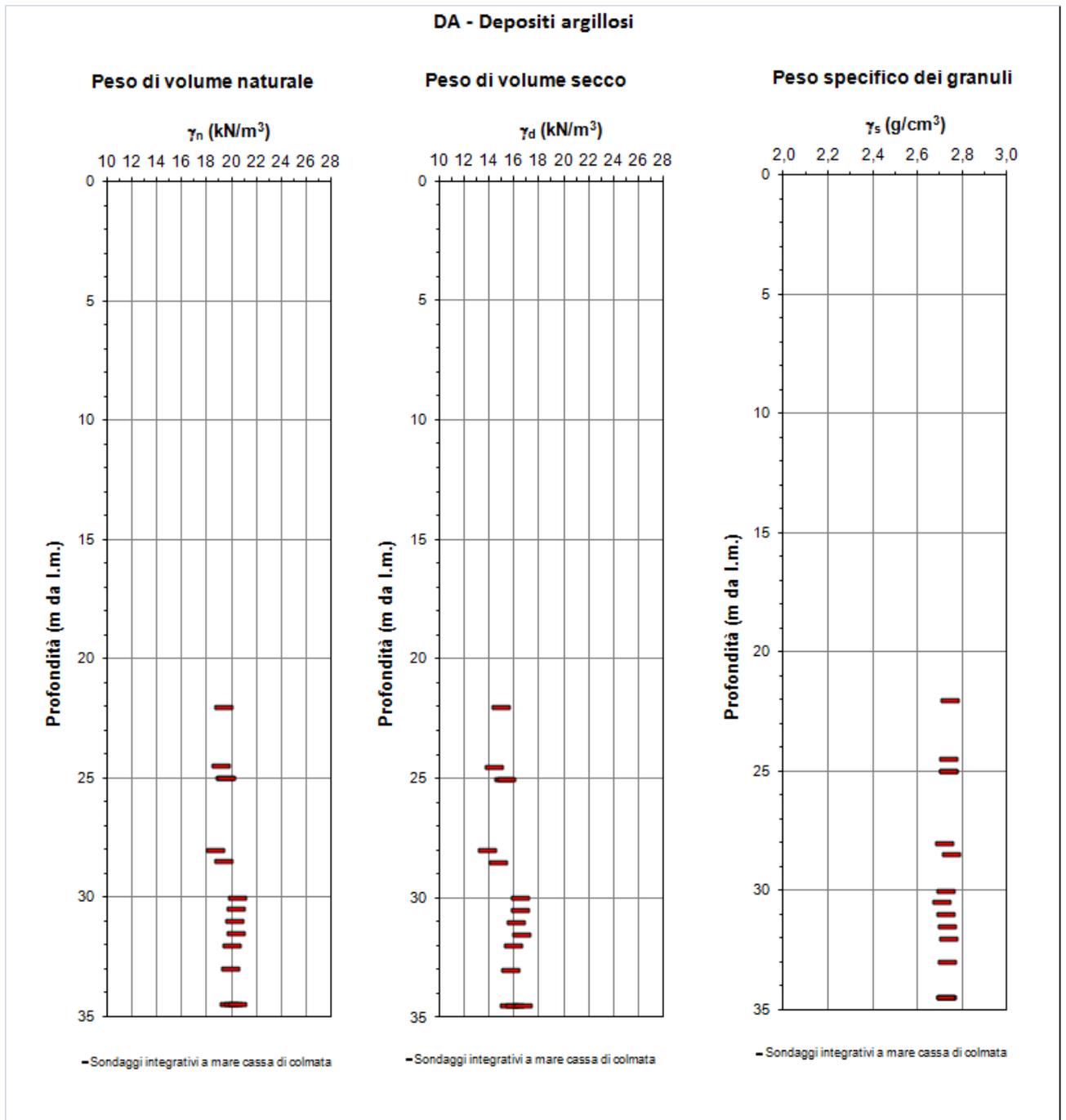


Figura 8-47: Depositi argillosi - DA - Peso di volume naturale, Peso di volume secco, Peso specifico dei granuli

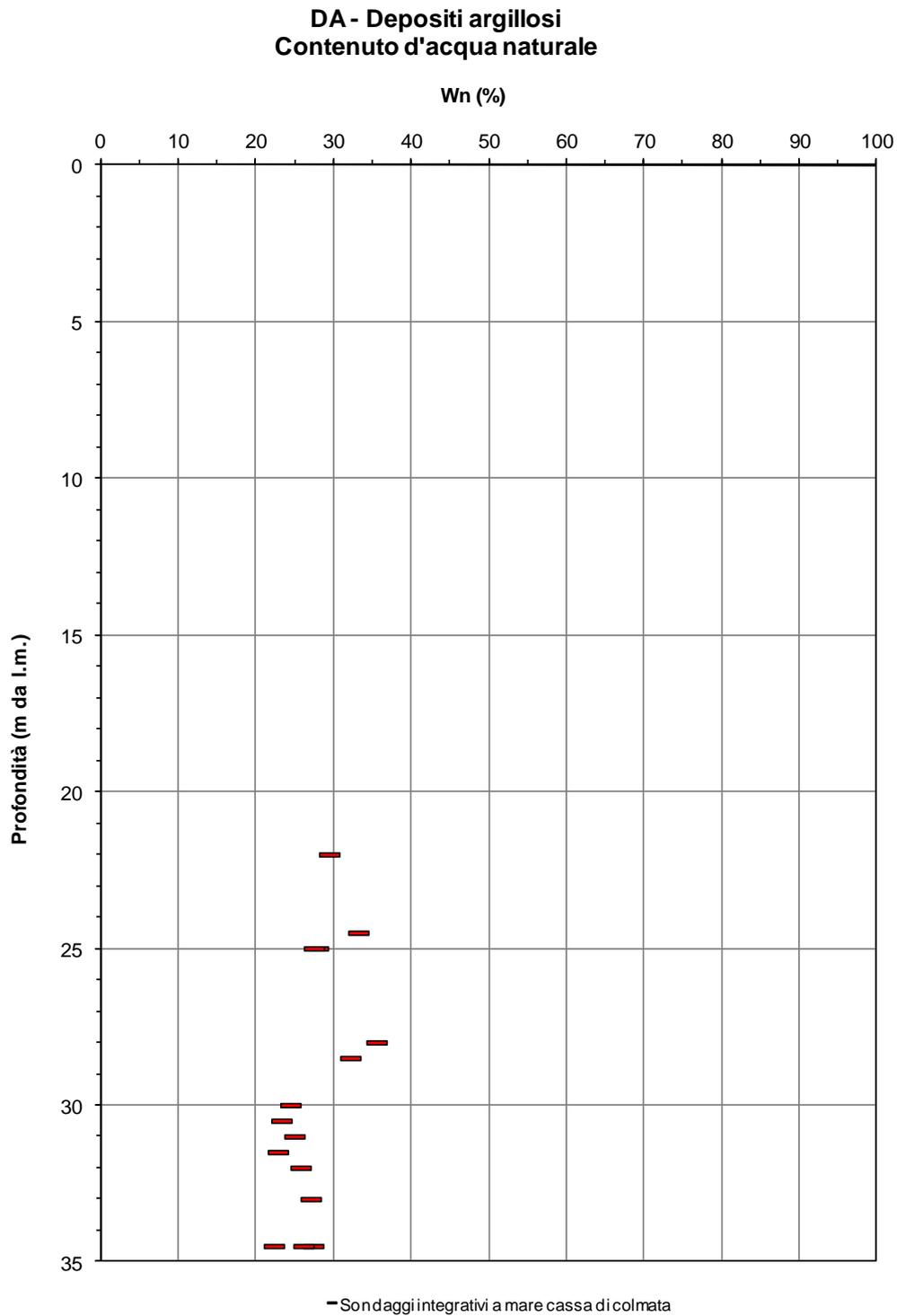


Figura 8-48: Depositi argillosi - DA - Contenuto d'acqua naturale

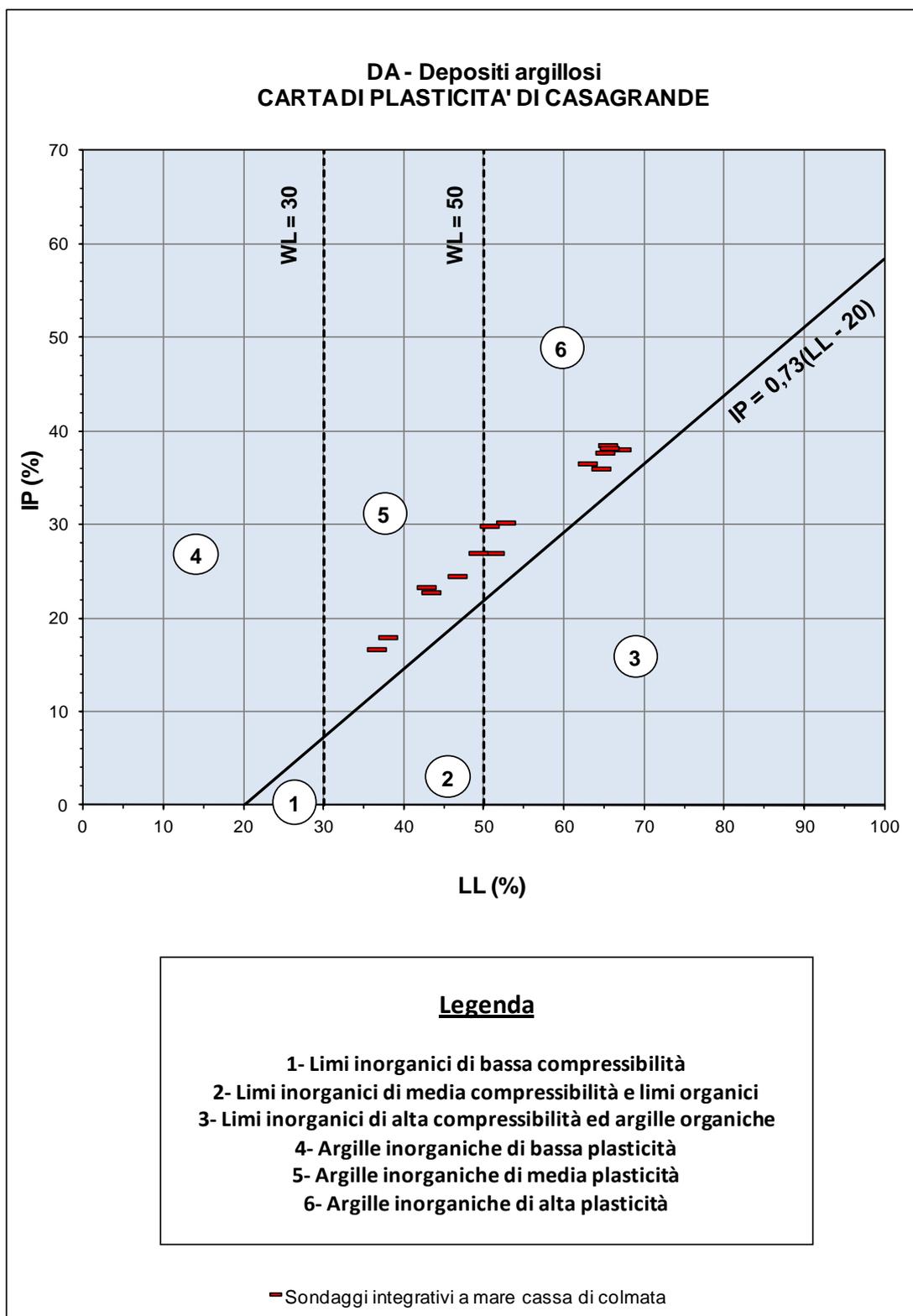


Figura 8-49: Depositi argillosi - DA - Carta di plasticità di Casagrande

DA - Depositi limoso argillosi Prove TxCIU - TD

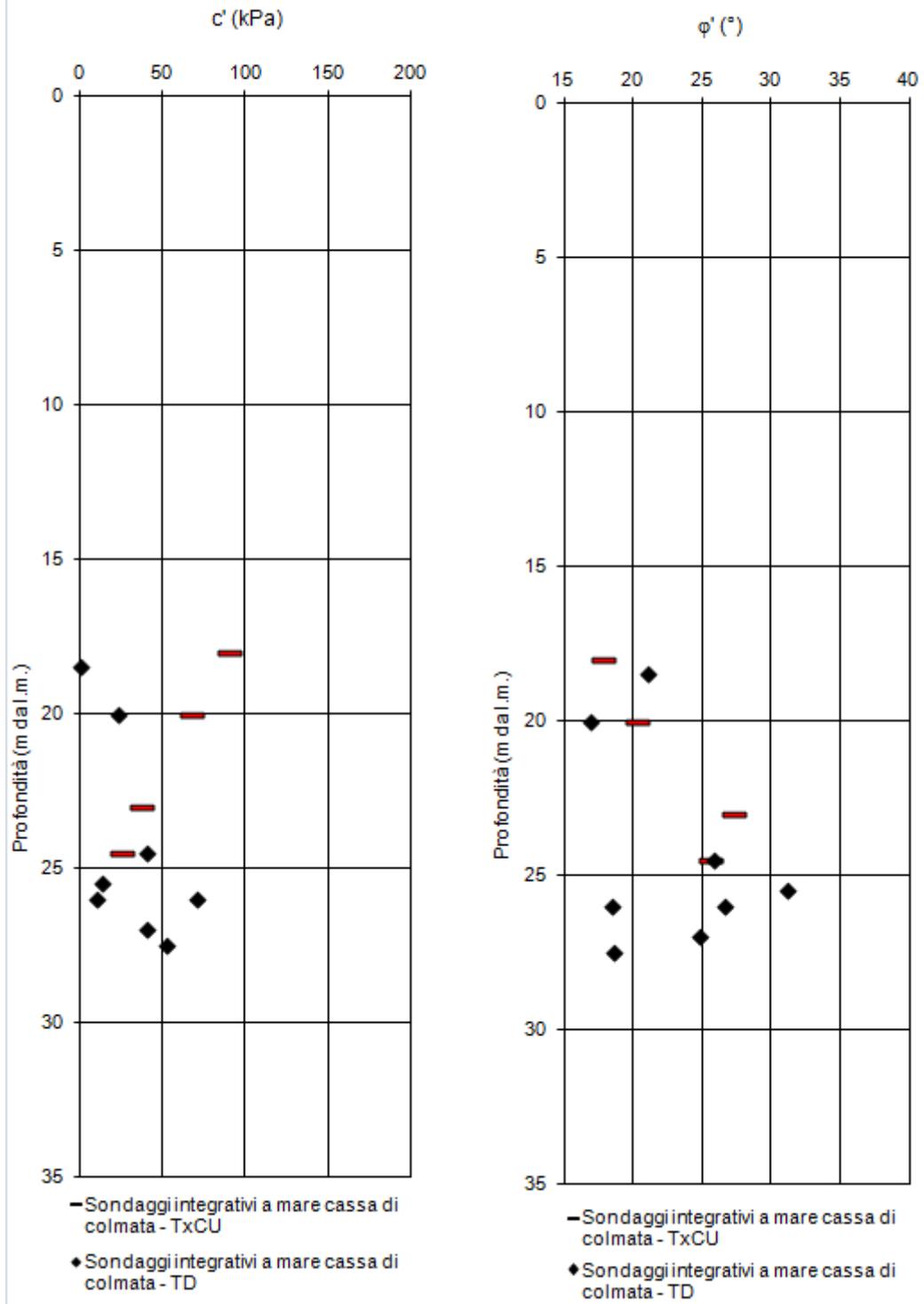


Figura 8-50: Depositi argillosi - DA – Risultati prove TxCU e TD

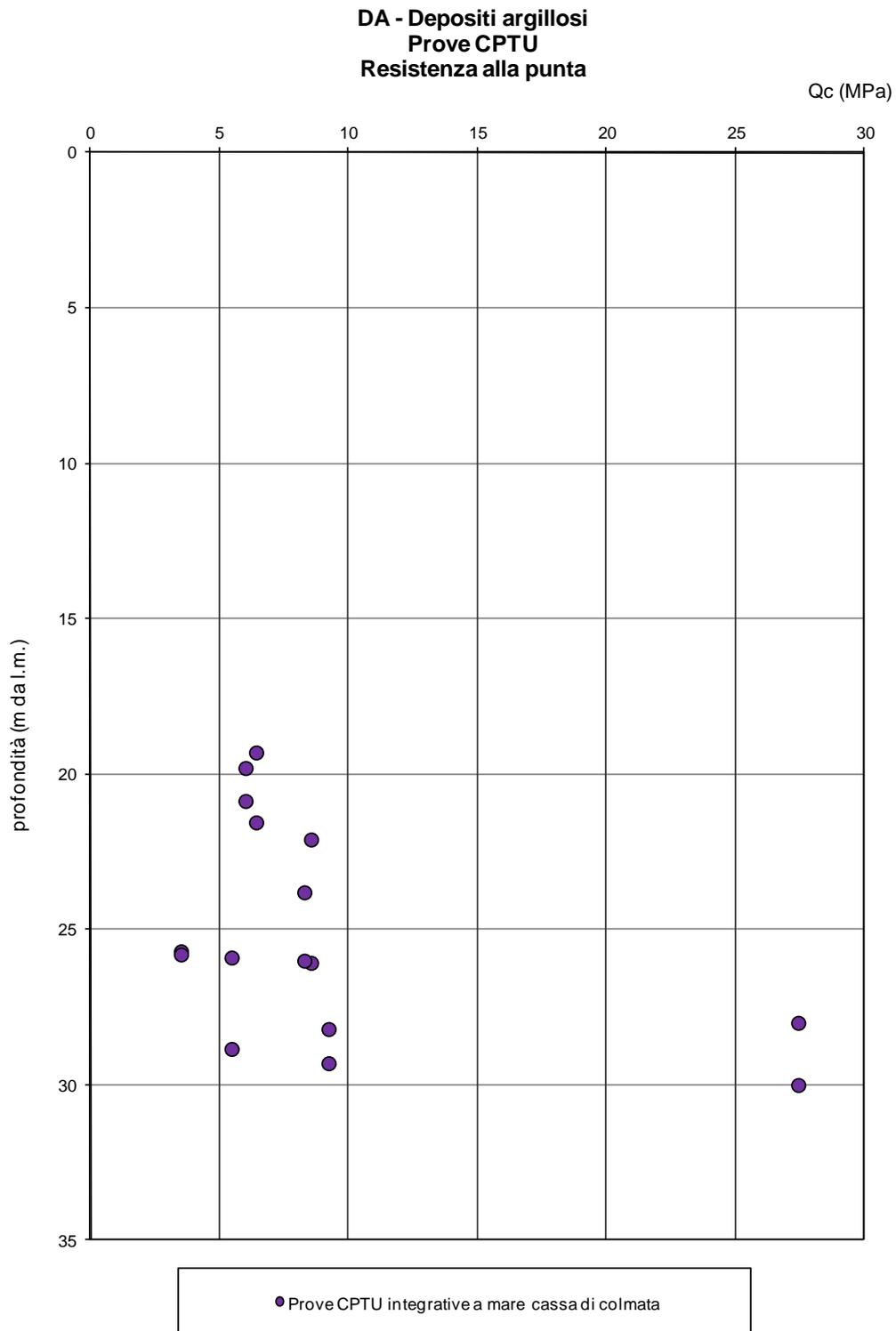


Figura 8-51: Depositi argillosi - DA – Prove CPTU – Resistenza alla punta

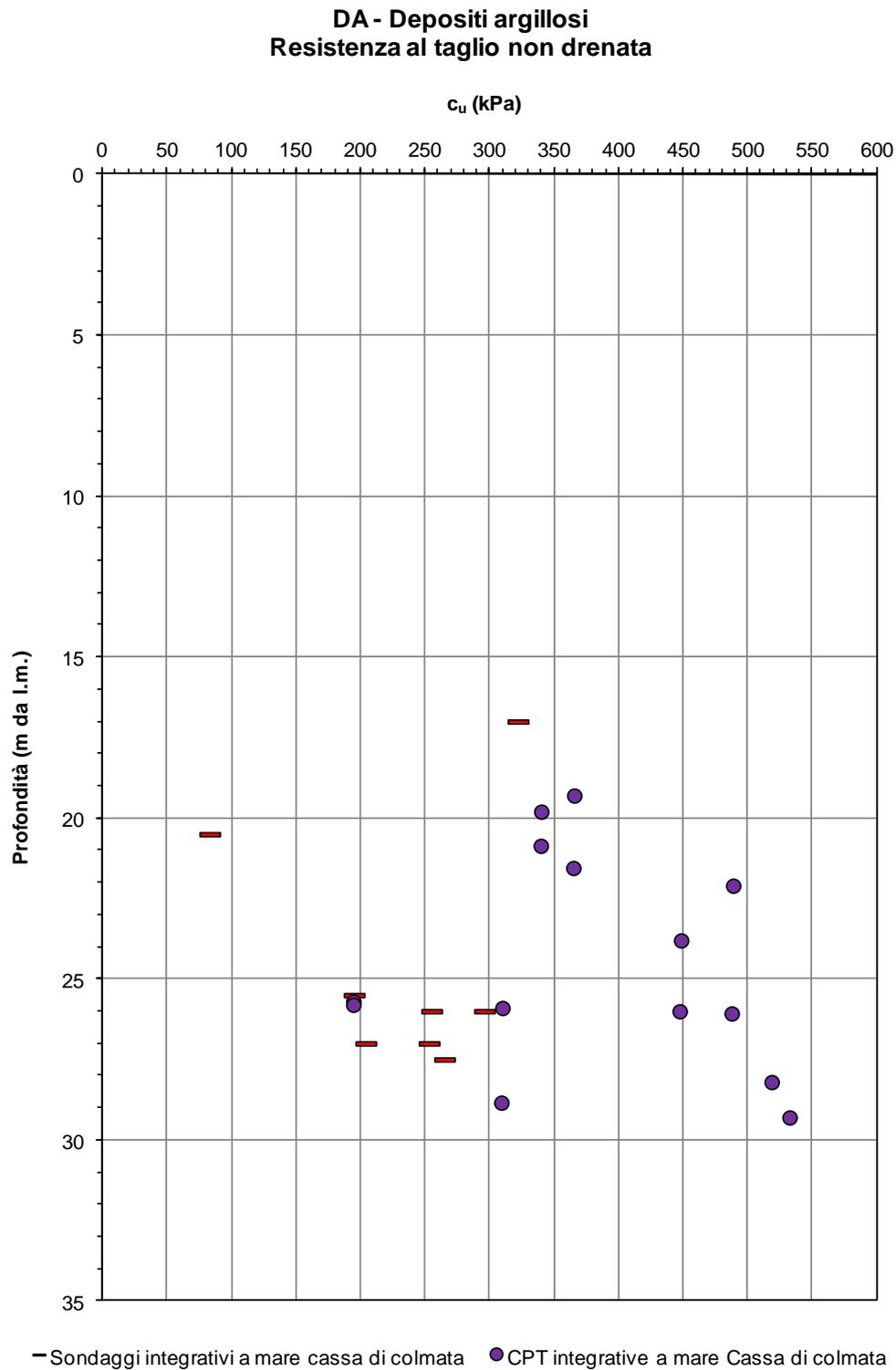


Figura 8-52: Depositi argillosi - DA – Resistenza al taglio non drenata

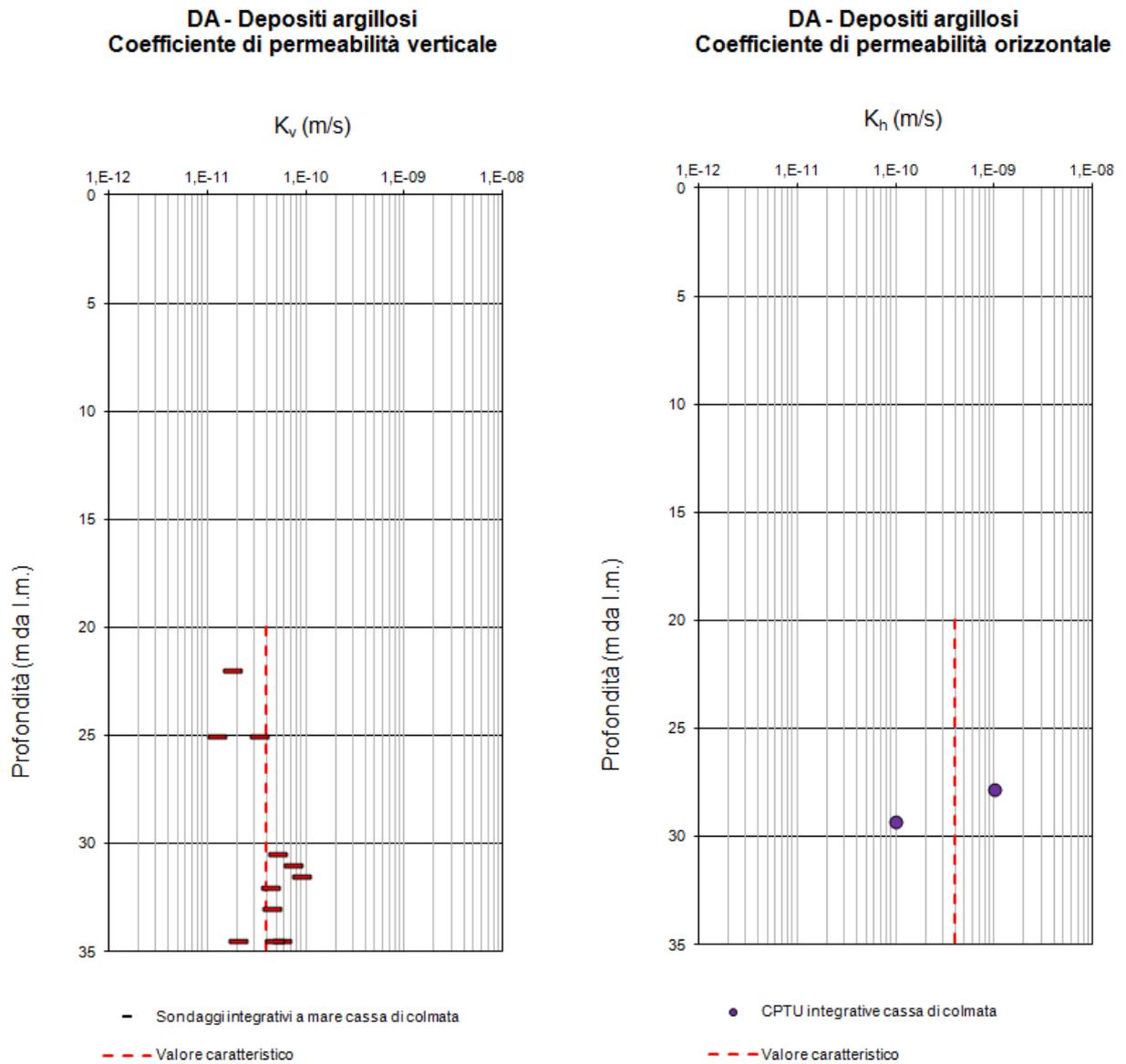
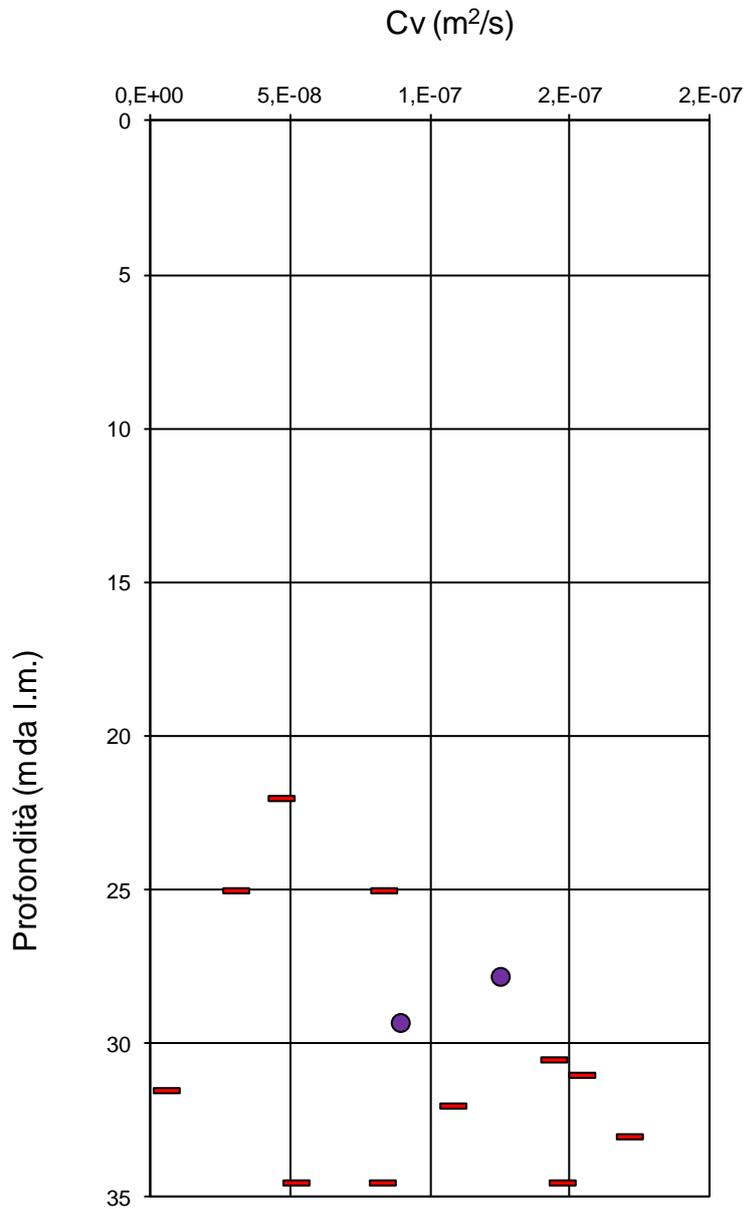


Figura 8-53: Depositi argillosi - DA - Coefficiente di permeabilità

DA - Depositi argillosi
Coefficiente di consolidazione



- Sondaggi integrativi a mare cassa di colmata

● Coefficiente C da provedi dissipazione (CPTU integrative a mare cassa di colmata)

Figura 8-54: Depositi argillosi - DA – Coefficiente di consolidazione C_v

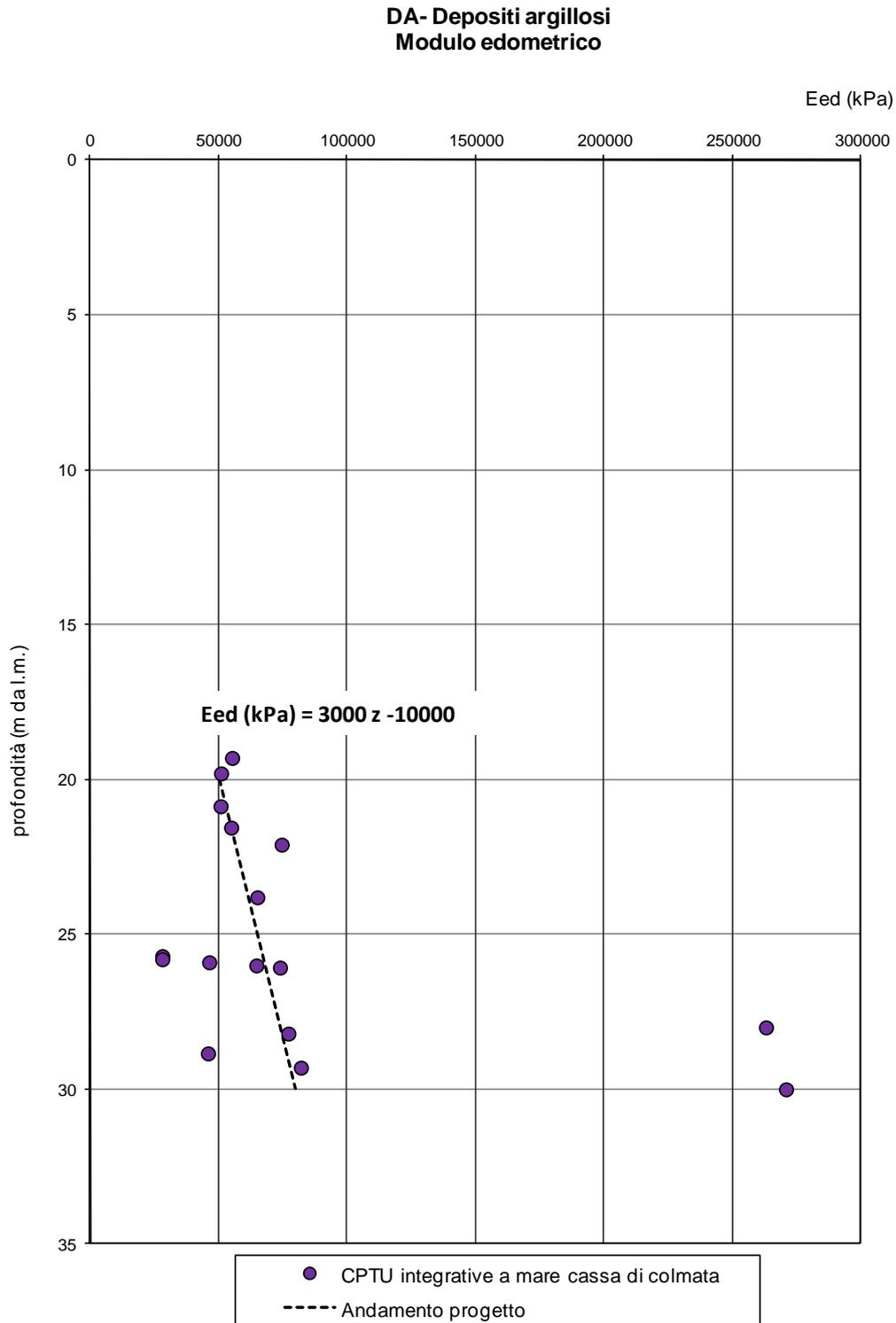


Figura 8-55: Depositi argillosi - DA – Modulo edometrico

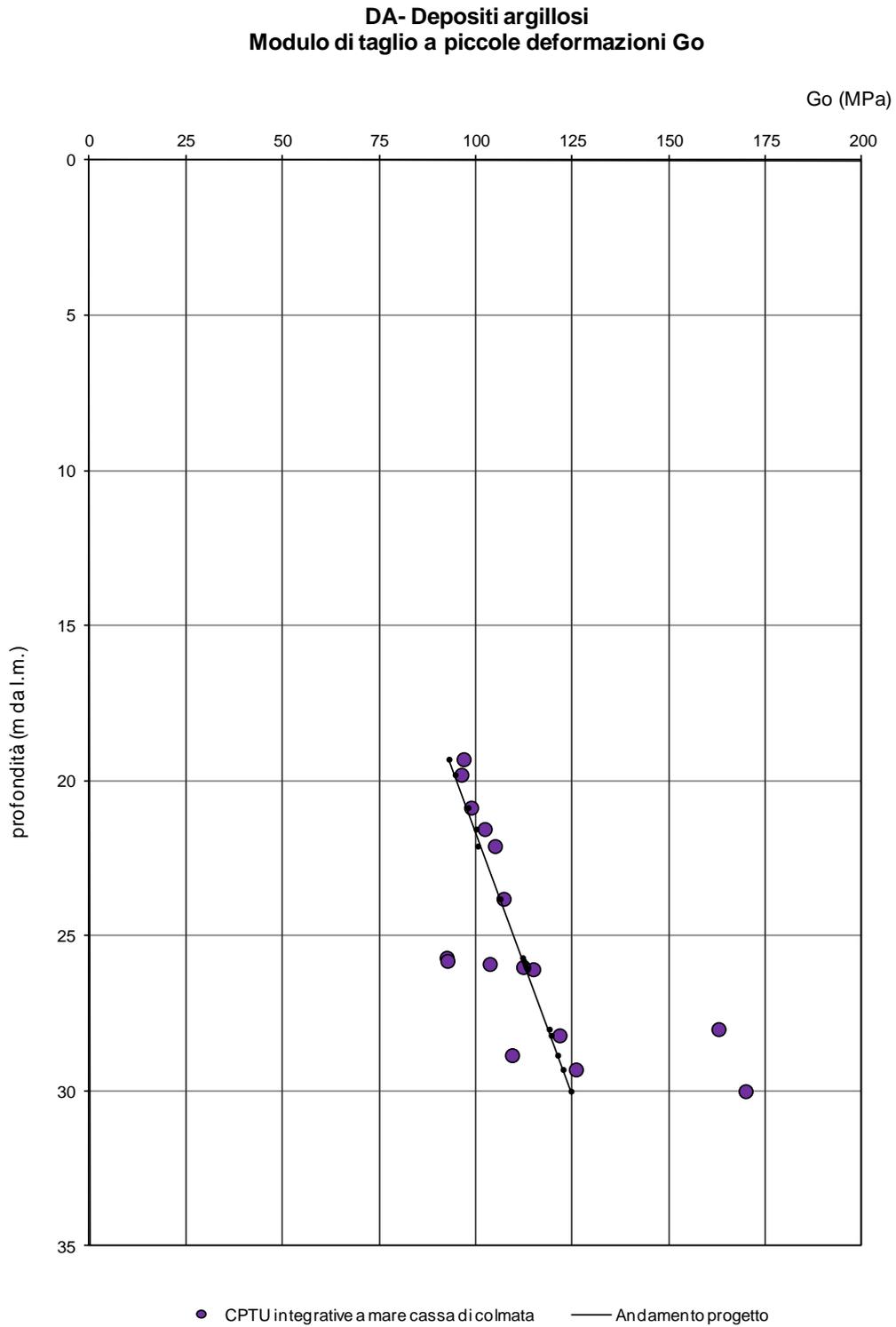


Figura 8-56: Depositi argillosi - DA – Andamento del modulo a taglio iniziale

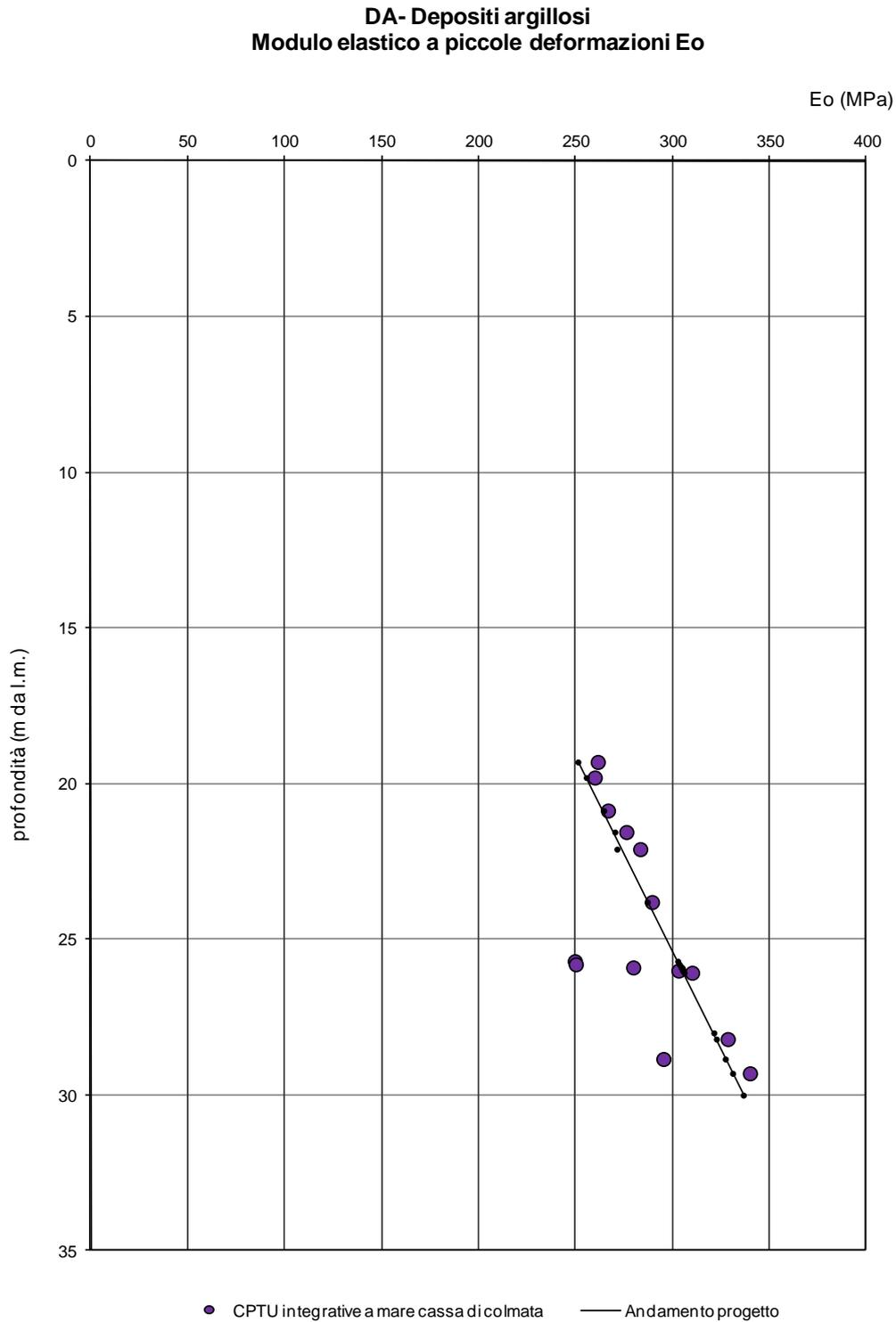


Figura 8-57: Depositi argillosi - DA – Andamento del modulo elastico iniziale

9 CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI

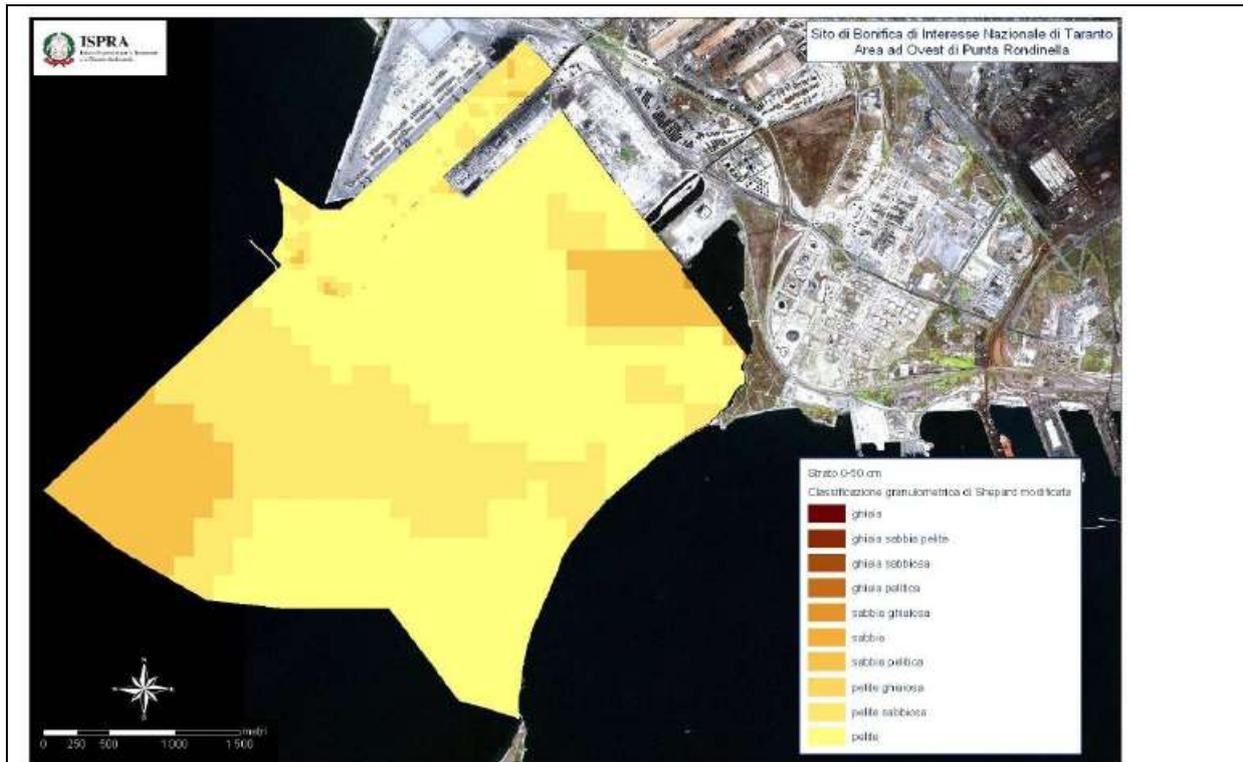
Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti presenti nel fondale nelle aree marine oggetto degli interventi sono desunte dai seguenti risultati delle indagini granulometriche:

- Analisi granulometriche eseguite da ISPRA, i cui risultati sono esposti nel “Piano di gestione dei sedimenti” (2009) nell’ambito del Progetto Preliminare relativo al Dragaggio dei sedimenti in area polisettoriale.
- Analisi granulometriche eseguite sui campioni di sedimento prelevati all’interno dei sondaggi marini eseguiti nelle varie campagne geognostiche esaminate nei precedenti paragrafi.

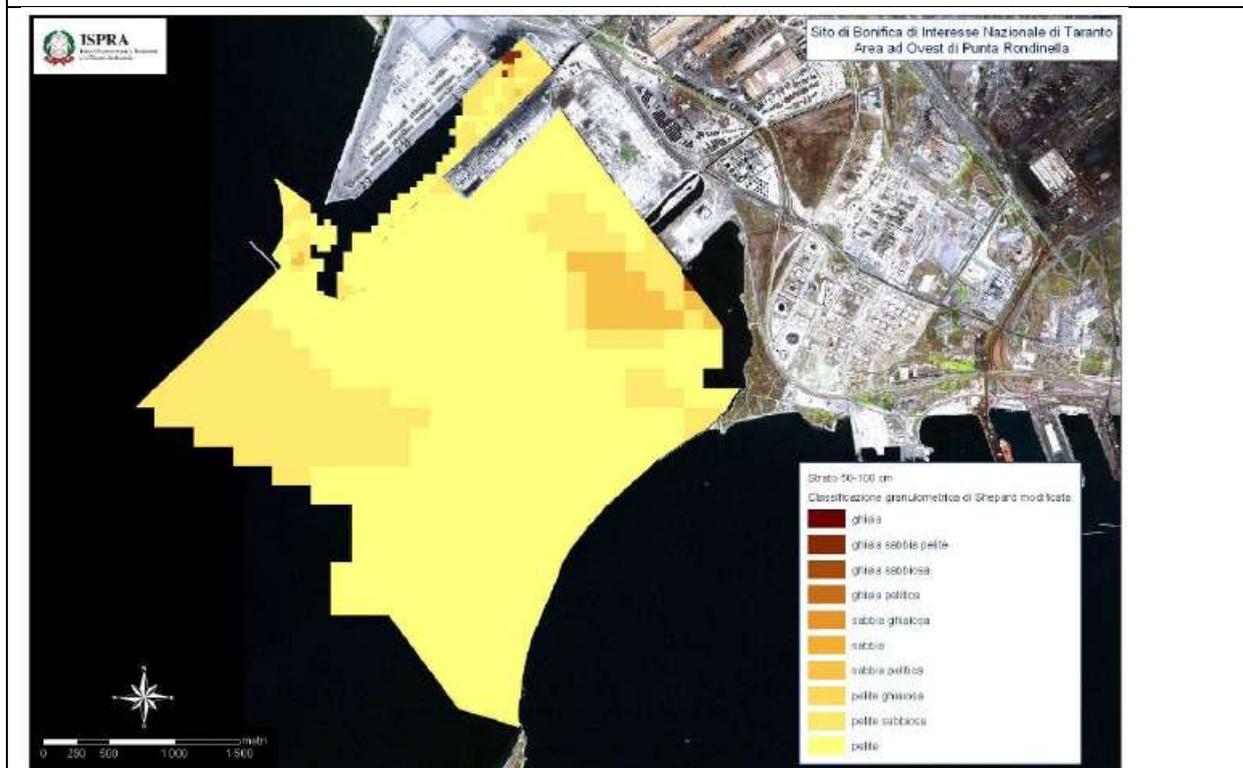
Dal rapporto ISPRA emerge che i sedimenti di tutta l’area ad Ovest di punta Rondinella sono costituiti da una composizione granulometrica variabile. In particolare risultano prevalentemente costituiti da peliti sabbiose con una frequenza minore di sabbie pelitiche. I sedimenti sono mediamente fini, con percentuali di sabbia del 19%, mentre le frazioni fini (limo e argilla) hanno percentuali rispettivamente del 43% e 35%. Sono, inoltre, presenti aree abbastanza circoscritte con elevate percentuali di ghiaia che arrivano in alcuni casi anche al 43%.

Le caratteristiche sedimentologiche presenti nei sedimenti più superficiali tendono a mantenersi simili nei livelli sottostanti, anche se con un definito gradiente di diminuzione, fino al limite di profondità caratterizzato. Una significativa anomalia si riscontra solo all’interno della Darsena Polisettoriale dove all’aumentare della profondità corrisponde invece un incremento della frazione più grossolana.

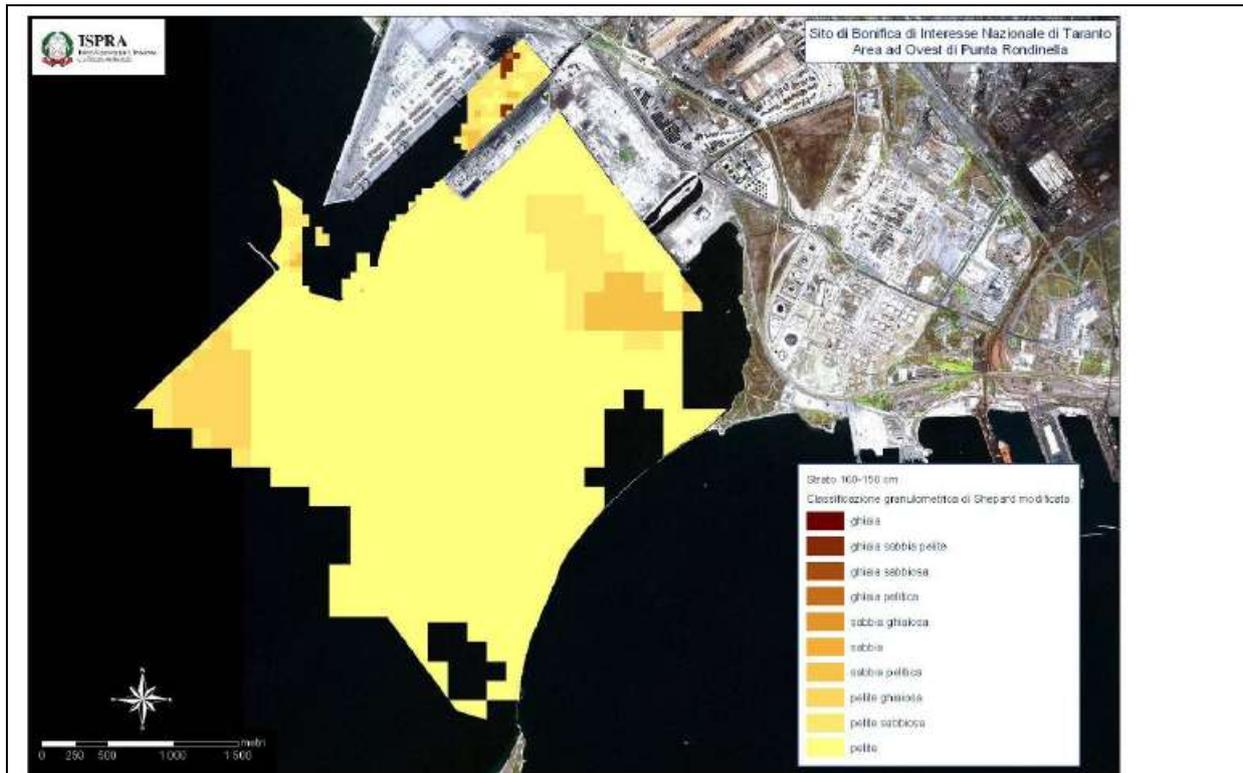
Nelle immagini seguenti vengono rappresentati i risultati delle distribuzioni granulometriche dei sedimenti ottenuti da ISPRA su tutta l’area studiata e per profondità comprese tra 0 e -3 m.



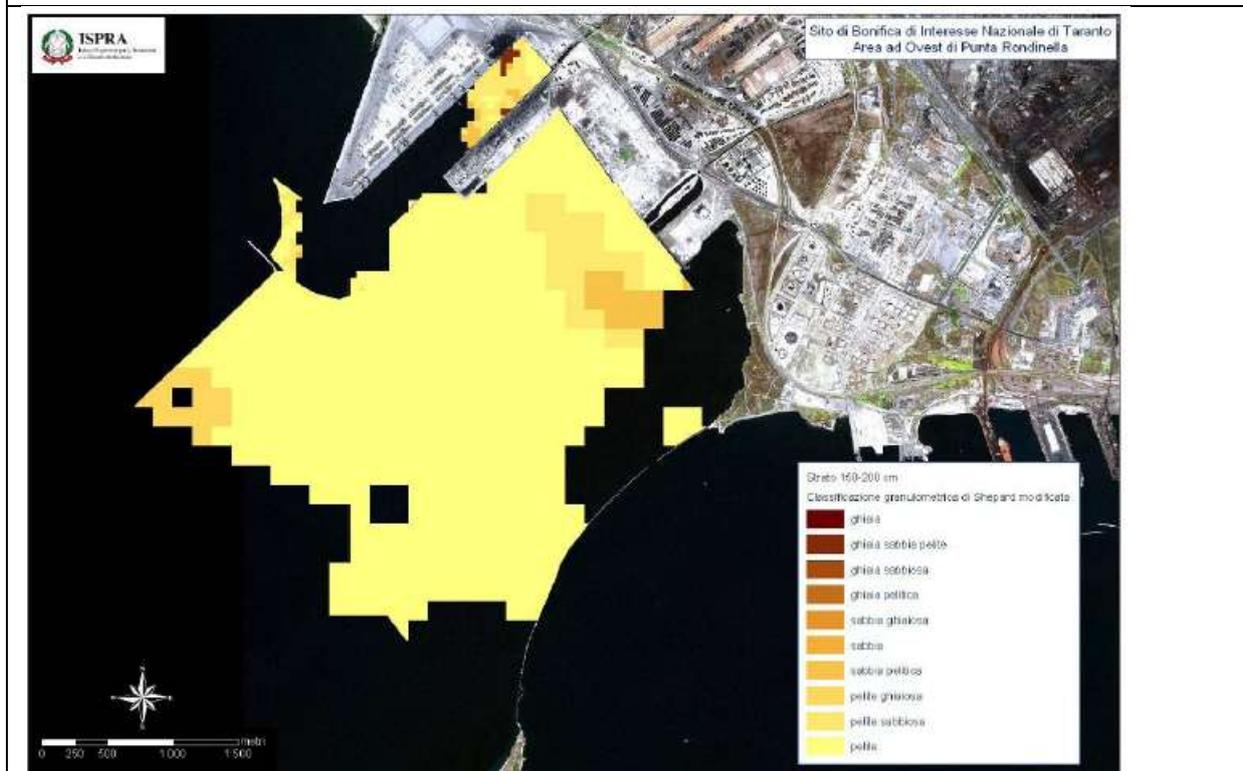
Granulometria dei sedimenti – Livello 0 – 50 cm



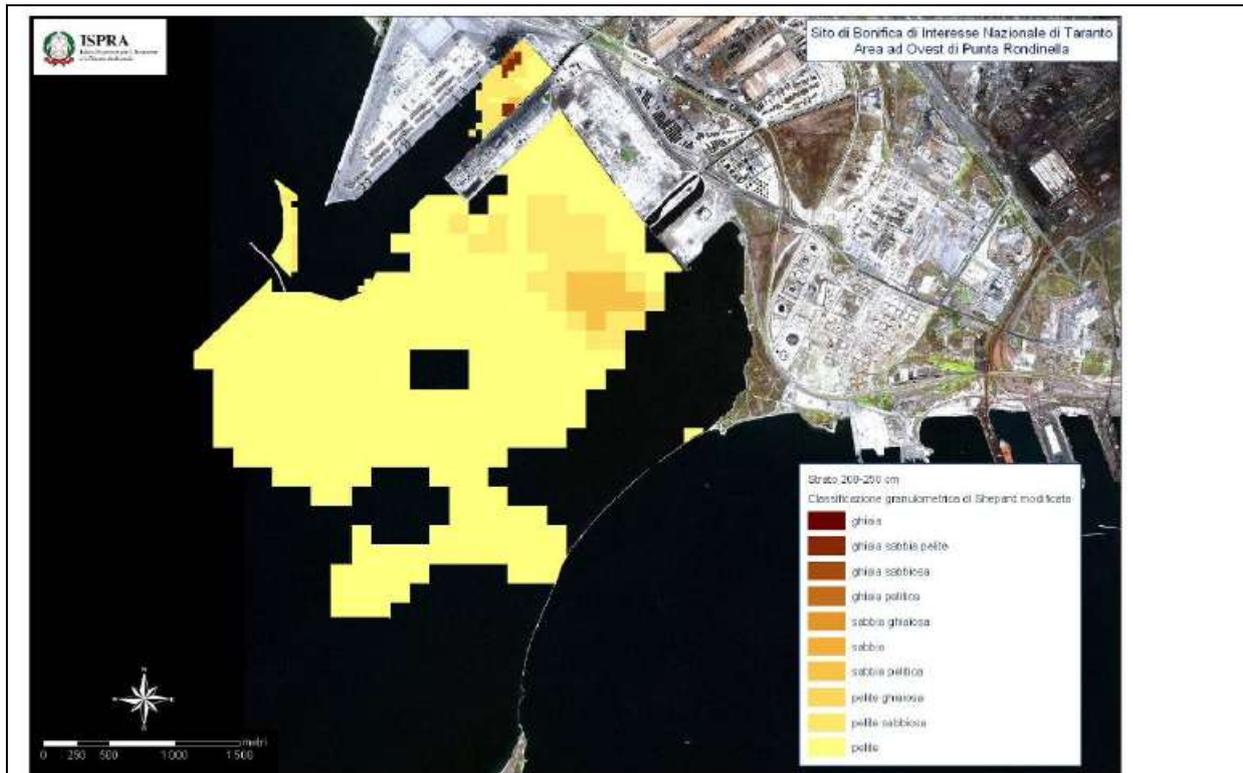
Granulometria dei sedimenti – Livello 50 – 100 cm



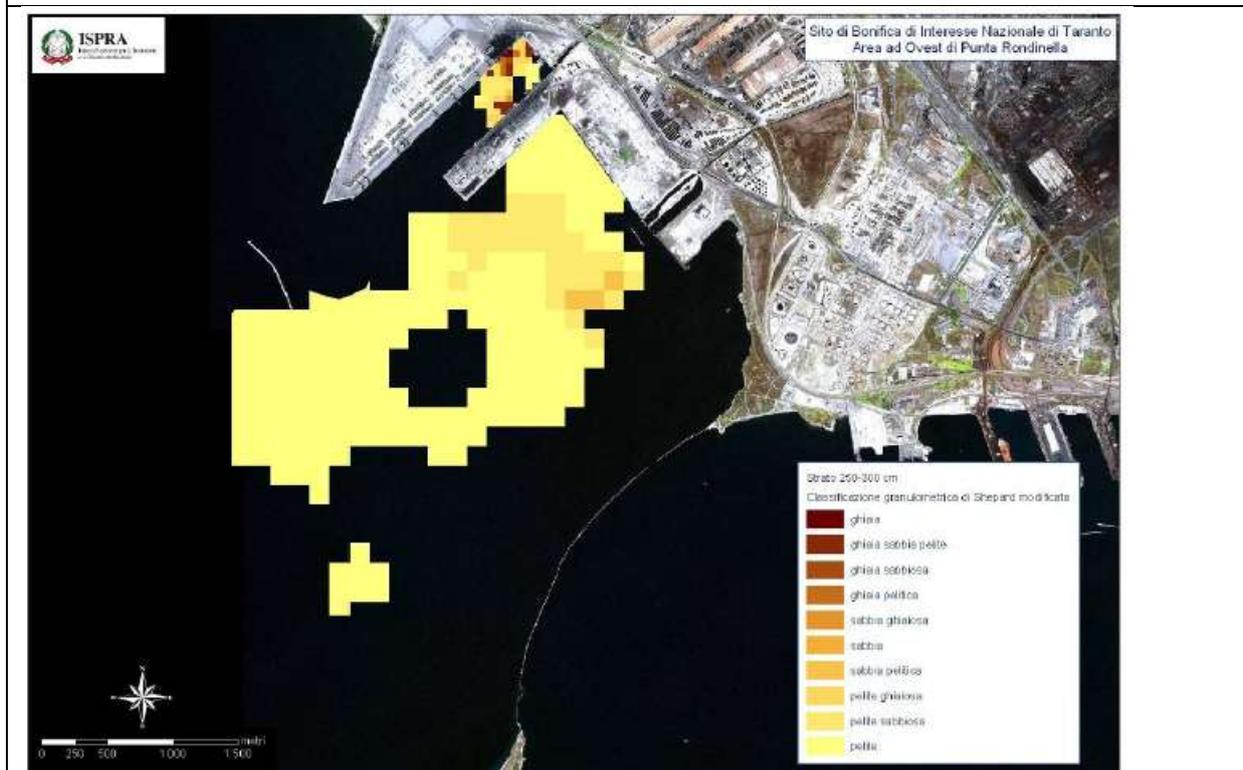
Granulometria dei sedimenti – Livello 100 – 150 cm



Granulometria dei sedimenti – Livello 150 – 200 cm



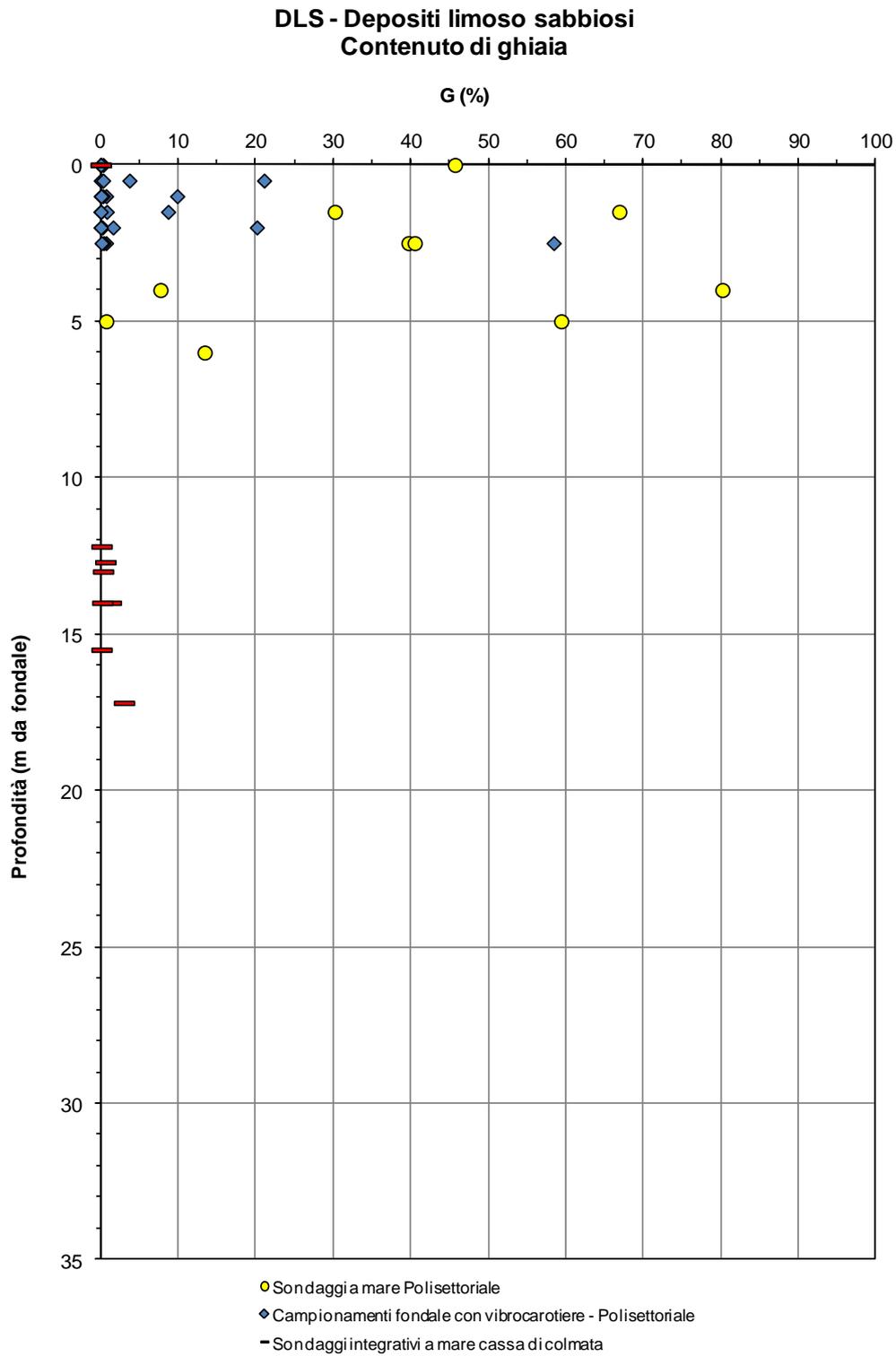
Granulometria dei sedimenti – Livello 200 – 250 cm

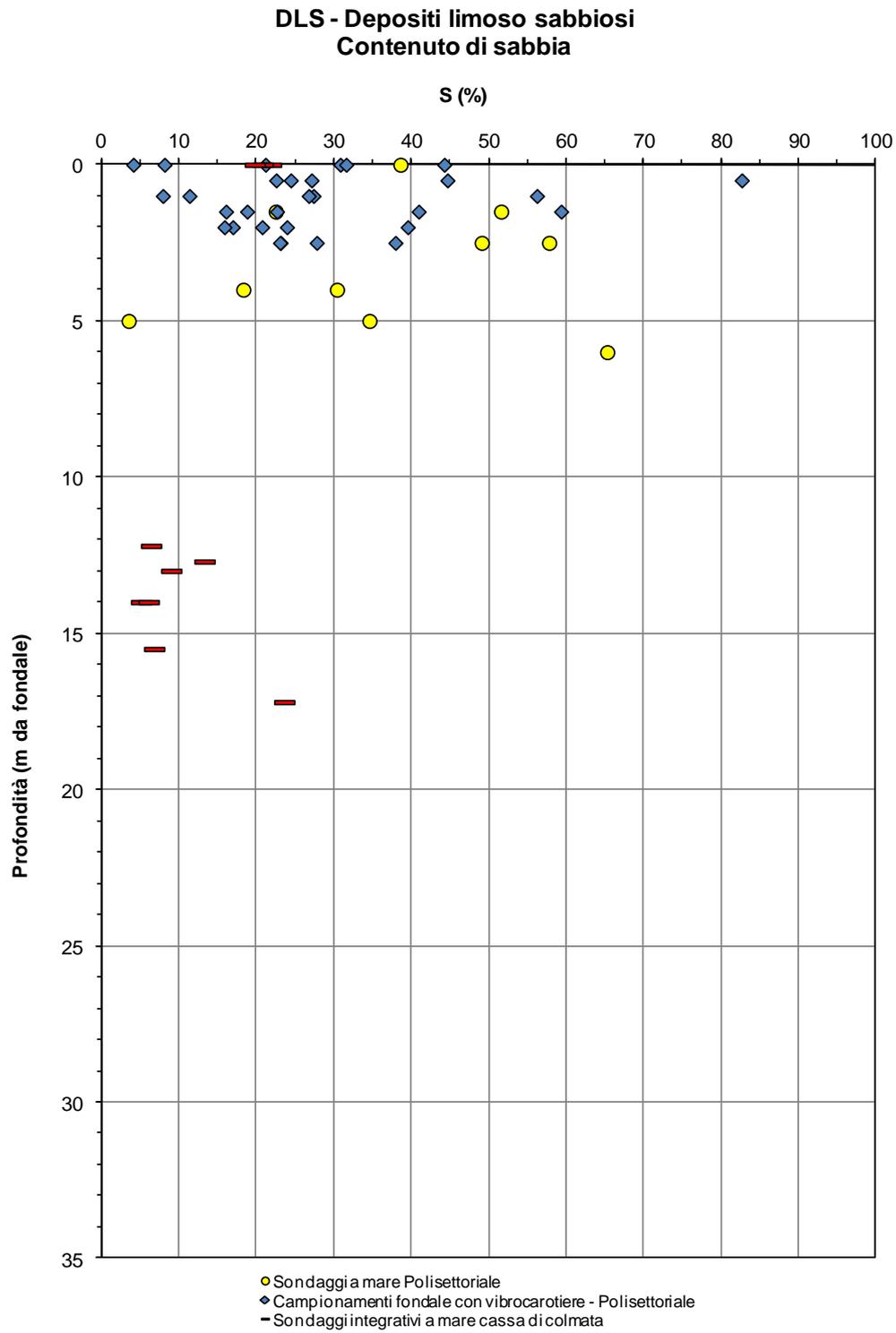


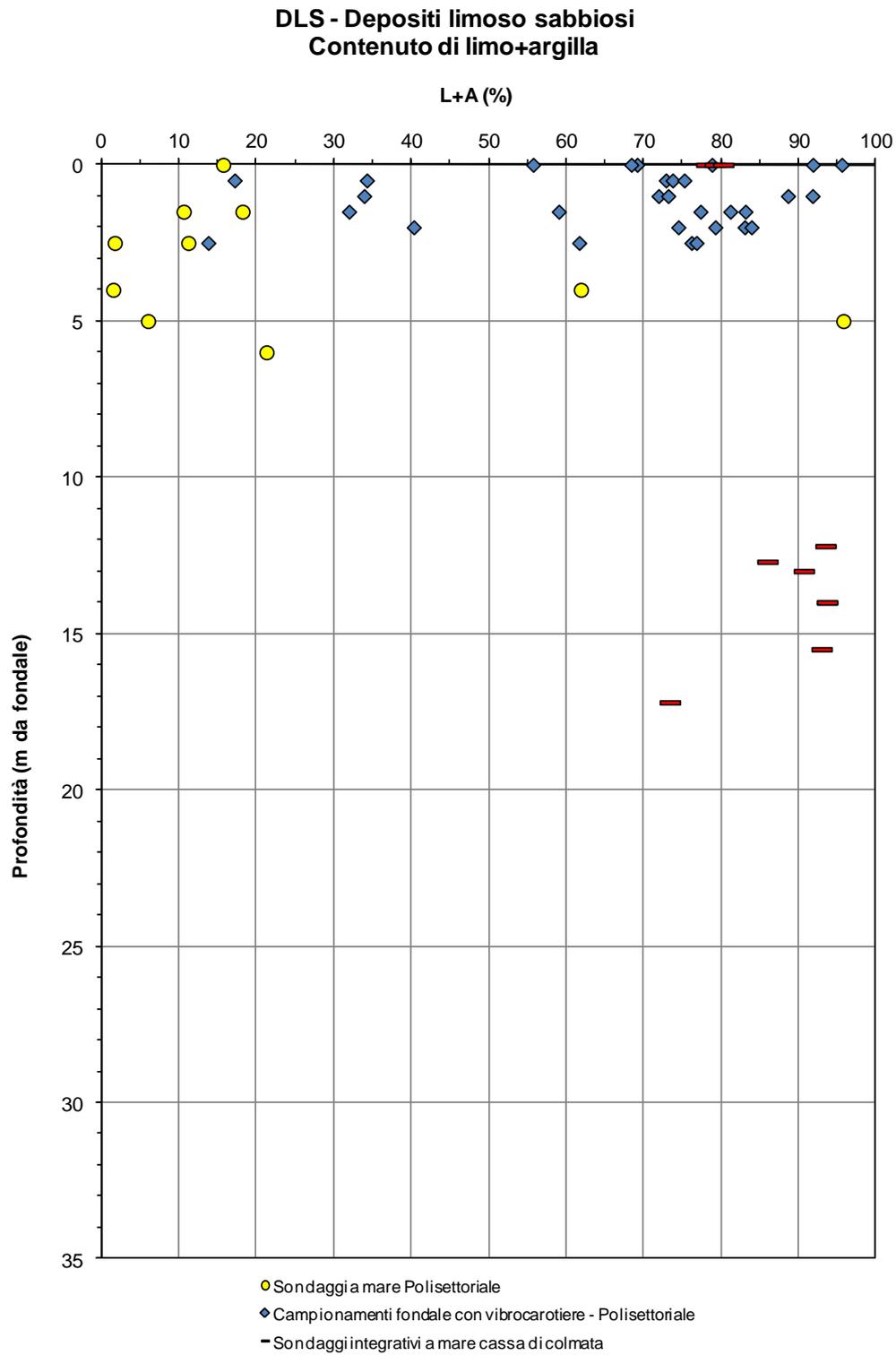
Granulometria dei sedimenti – Livello 250 – 300 cm

I risultati delle indagini condotte da ISPRA sono sostanzialmente confermati dalle analisi granulometriche condotte nelle campagne di indagini geognostiche ed ambientali studiate nel presente documento, le quali hanno analizzato anche strati più profondi di fondale (in special modo quelle effettuate in corrispondenza della cassa di colmata hanno riguardato campioni prelevati nella porzione di base dei sedimenti sabbioso limosi superficiali).

A riscontro di tali risultanze, nei grafici successivi vengono rappresentati i contenuti delle varie frazioni granulometriche in funzione della profondità.







10 VERIFICHE DI STABILITÀ DEI MOLI

Nel presente paragrafo vengono riportate le verifiche di stabilità dei moli Polisetoriale (in prossimità della radice) e V Sporgente, a seguito delle attività di dragaggio. Le sezioni di calcolo vengono rappresentate nella seguente planimetria.



Figura 10-1: Planimetria ubicazione sezioni di calcolo

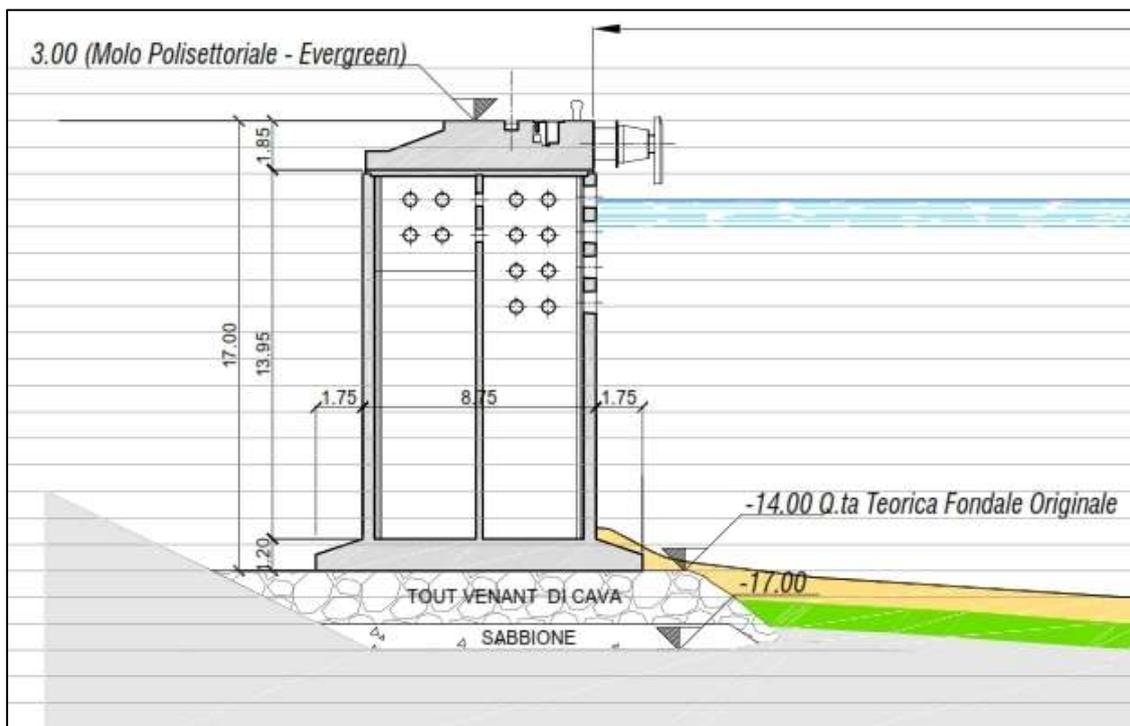


Figura 10-2: Sezione di calcolo Molo Polisettoriale (Sezione 7)

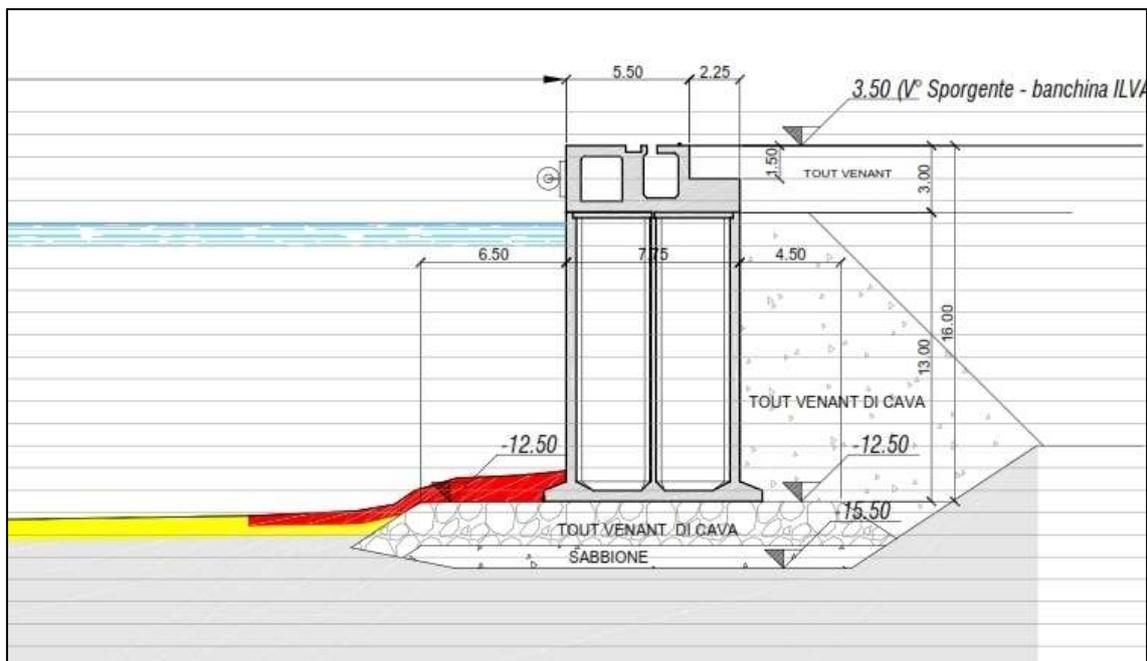


Figura 10-3: Sezione di calcolo Molo V Sporgente (Sezione 12)

Le analisi sono state eseguite con il codice di calcolo SLOPE della Geoslope Ltd che effettua le verifiche di stabilità dei pendii in accordo con la teoria dell'equilibrio limite. In tal caso è stato utilizzato il metodo di Bishop considerando superfici di scorrimento a direttrice circolare.

Le verifiche sono state condotte nel rispetto delle D.M. 14 Gennaio 2008 - Nuove Norme tecniche per le Costruzioni.

Nell'ambito dell'analisi sismica pseudo-statica sono stati adottati i coefficienti sismici orizzontale e verticale relativi alla categoria di sottosuolo del sito in esame.

Nelle verifiche è stata rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$

In cui:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) in cui:

A2 sono i coefficienti parziali per i carichi (vedi tabella 6.2.I delle NTC2008, riportata qui di seguito):

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

In particolare:

i coefficienti parziali per i carichi permanenti sono da considerarsi pari a $\gamma_{G1}=1$;

i coefficienti parziali per i carichi variabili sono da considerarsi pari a $\gamma_{Q1}=1.3$ in condizioni statiche e $\gamma_{Q1}=1.0$ in condizioni sismiche.

M2 sono i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (vedi tabella 6.2.II delle NTC2008, riportata qui di seguito):

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1.0	1.0

R2 è il coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo (vedi tabella 6.8.I delle NTC2008, riportata qui di seguito):

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Le analisi sono state eseguite in condizioni drenate.

I parametri caratteristici di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci sono stati desunti dai risultati delle indagini geognostiche eseguite.

Al di sopra dei moli è stata considerata la presenza di un sovraccarico accidentale di 40 kPa, che è stato amplificato secondo il coefficiente $\gamma_{Q1}=1.3$ nella verifica in condizioni statiche.

Nelle verifiche di stabilità sono stati considerati i parametri geotecnici riportati nelle tabelle seguenti, stimati sulla base dei risultati delle indagini geognostiche. Poiché le superfici di scorrimento interessano volumi significativi di terreno sono stati scelti parametri medi rappresentativi delle unità geotecniche attraversate.

MOLO POLISETTORIALE					
UNITA' GEOTECNICA	Peso dell'unità di volume γ (KN/m ³)	Coesione drenata caratteristica c'_k (KPa)	Coesione drenata parzializzata c' (KPa)	Angolo di attrito caratteristico ϕ'_k (°)	Angolo di attrito parzializzato ϕ' (°)
Materiale di riporto banchina	20	0	0	36	30.1
Scanno basamento	20	0	0	40	33.9
Depositi limoso sabbiosi	15	0	0	20	16.2
Depositi limoso argillosi	18.5	30	24	26	21.3

V SPORGENTE					
UNITA' GEOTECNICA	Peso dell'unità di volume γ (KN/m ³)	Coesione drenata caratteristica c'_k (KPa)	Coesione drenata parzializzata c' (KPa)	Angolo di attrito caratteristico ϕ'_k (°)	Angolo di attrito parzializzato ϕ' (°)
Materiale di riporto banchina	20	0	0	40	33.9
Scanno basamento	20	0	0	40	33.9
Depositi limoso sabbiosi	15	0	0	20	16.2
Depositi limoso argillosi	18.5	30	24	26	21.3

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito e dei risultati delle indagini sismiche eseguite sui moli, per i quali si rimanda alla Relazione Sismica del presente progetto, le verifiche in condizioni sismiche sono state eseguite facendo riferimento ai seguenti coefficienti sismici:

$$k_h = 0.040$$

$$k_v = \pm 0.020$$

L'intervento in progetto prevede il dragaggio dei sedimenti fino alla quota di -16.50 m da l.m.m. al fine di consentire l'attracco delle navi di tonnellaggio fino a 100.000 t. I sedimenti contaminati si estendono fino ad una profondità di -15.50 m da l.m.m..

Le verifiche sono state condotte ipotizzando, in prima fase, un dragaggio dei sedimenti per una profondità di -15.5 m (sedimenti contaminati) e ipotizzando una fascia di rispetto nulla (scavo a ridosso dello scanno di basamento dei cassoni dei moli).

I risultati di tali verifiche hanno mostrato un coefficiente di sicurezza inferiore al minimo richiesto da normativa ($F_s < 1.1$).

Pertanto si è reso necessario stimare l'ampiezza di una fascia di rispetto minima oltre il piede dello scanno del basamento dei cassoni nella quale le attività di dragaggio non dovranno essere eseguite al fine di garantire la stabilità globale delle strutture stesse ($F_s \geq 1.1$).

Si riportano i risultati delle verifiche nel caso di dragaggio a profondità -15.50 m dal l.m.m e a -16.50 m da l.m.m., le fasce di rispetto da garantire in corrispondenza dei due moli sono rispettivamente:

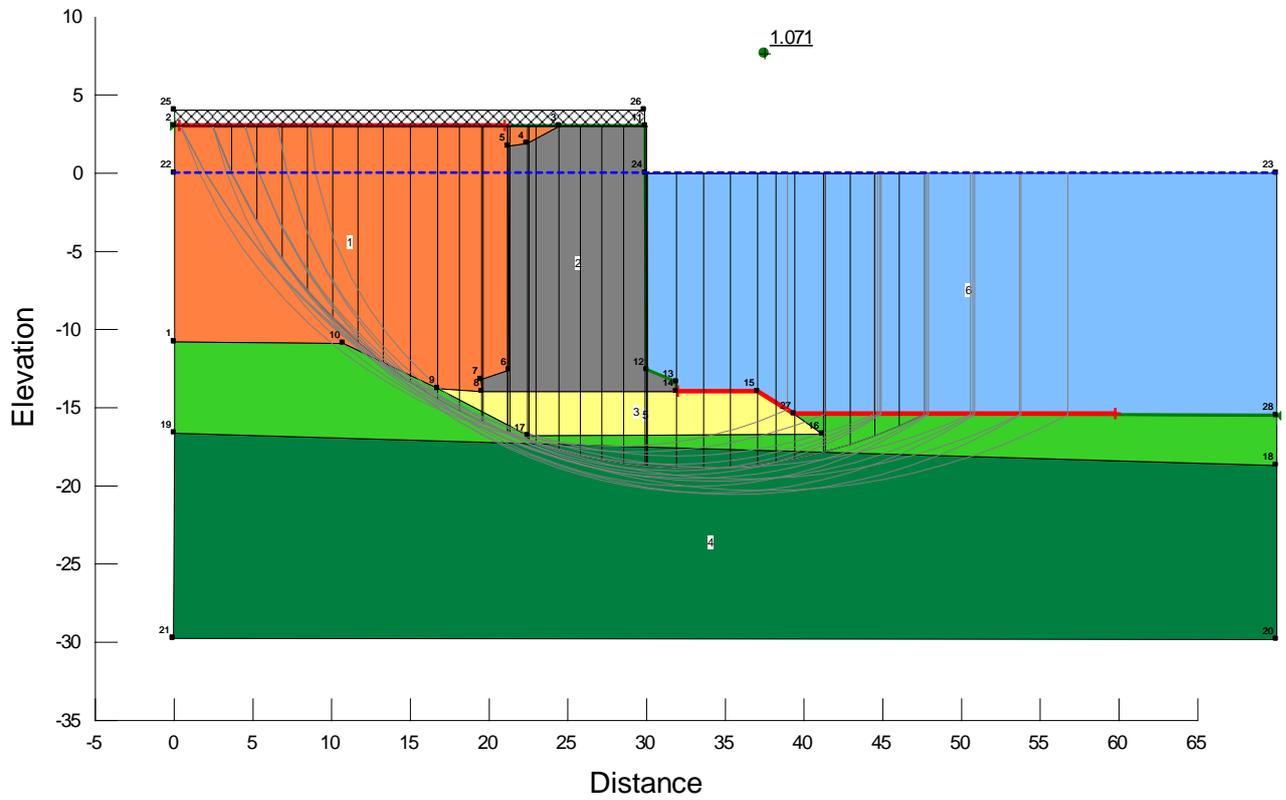
- Polisettoriale: 20 m da piede cassone (circa 15 m da scanno di basamento);
- V Sporgente: 15 m da piede cassone (circa 10 m da scanno di basamento).

In entrambe nel corso del dragaggio si dovrà rispettare una pendenza degli scavi di $h:v=3.5:2$.

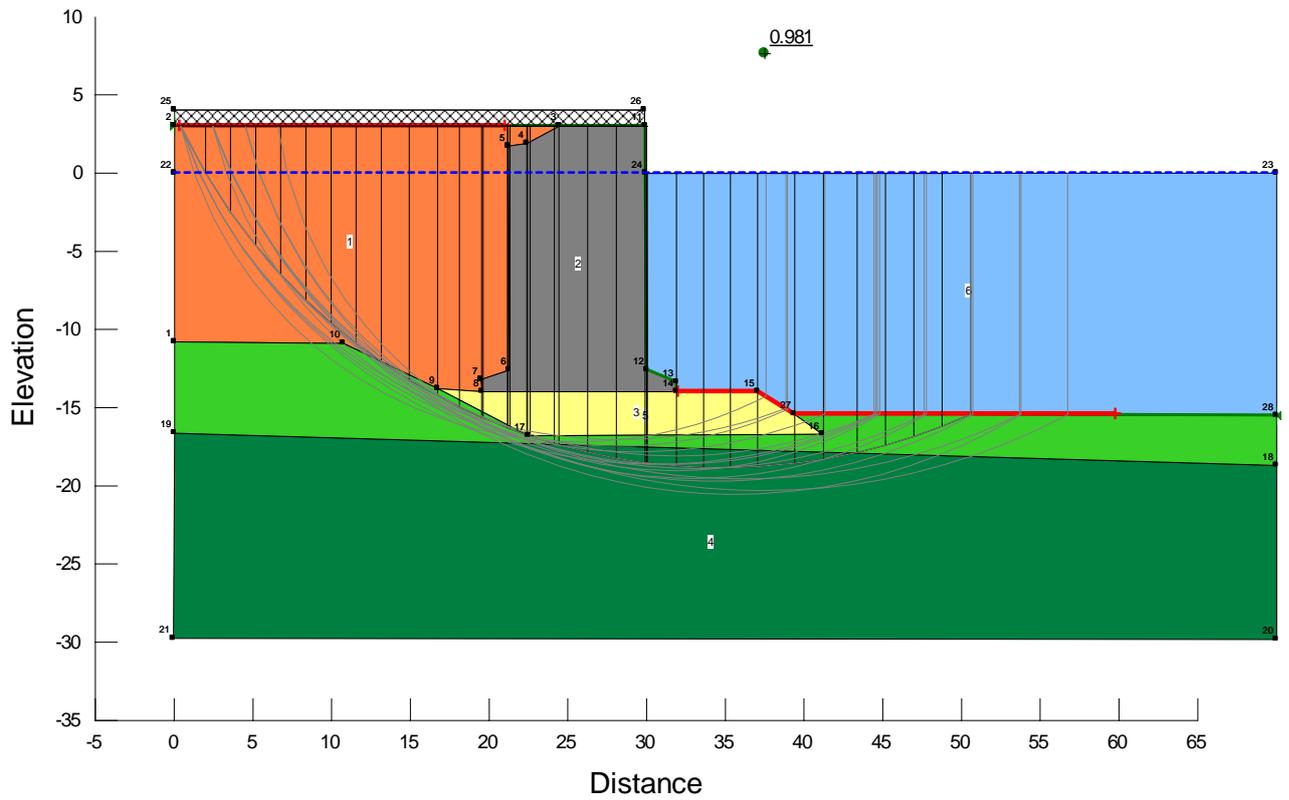
Di seguito sono riportati i risultati dei calcoli.

10.1 VERIFICHE MOLO POLISETTORIALE

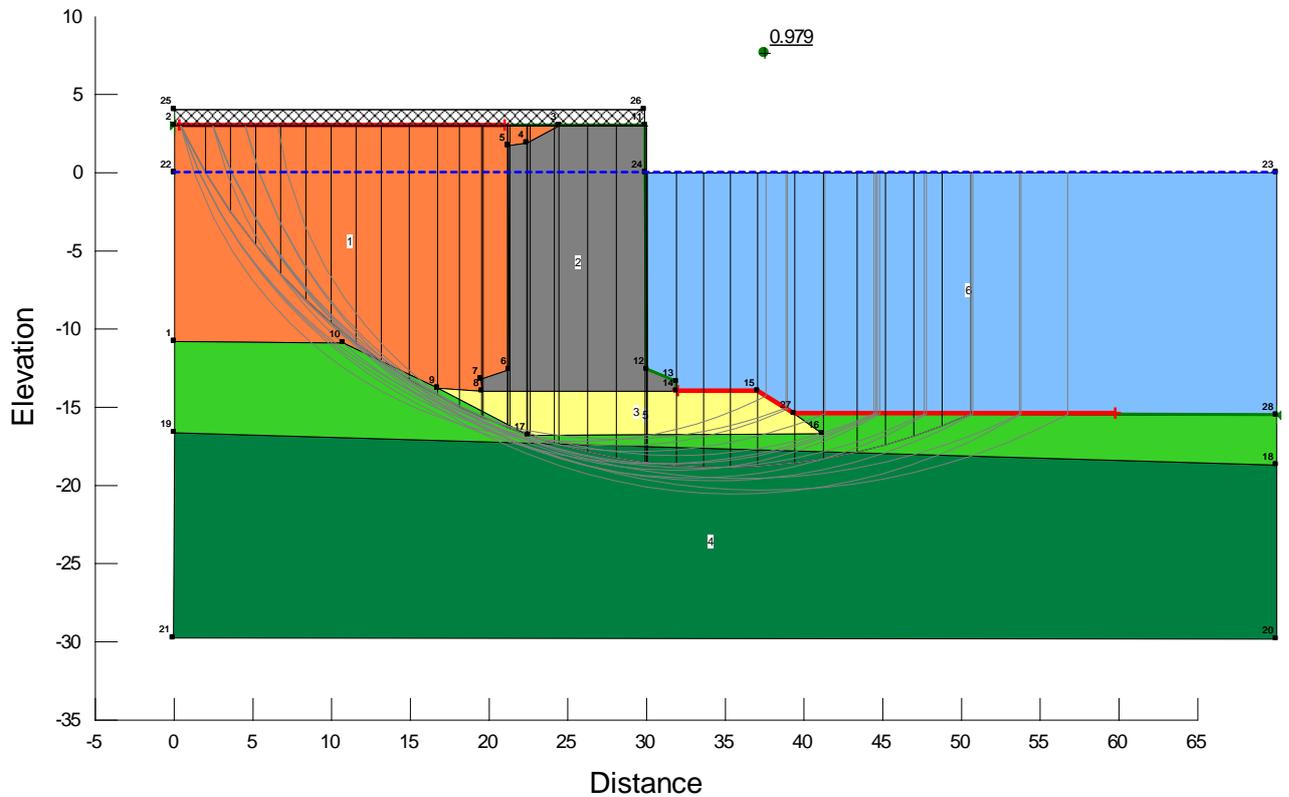
10.1.1 IPOTESI DI DRAGAGGIO A RIDOSSO SCANNO BASAMENTO CASSONI A QUOTA -15.5 M DA L.M.M.



Dragaggio a -15.5 m - STATICA

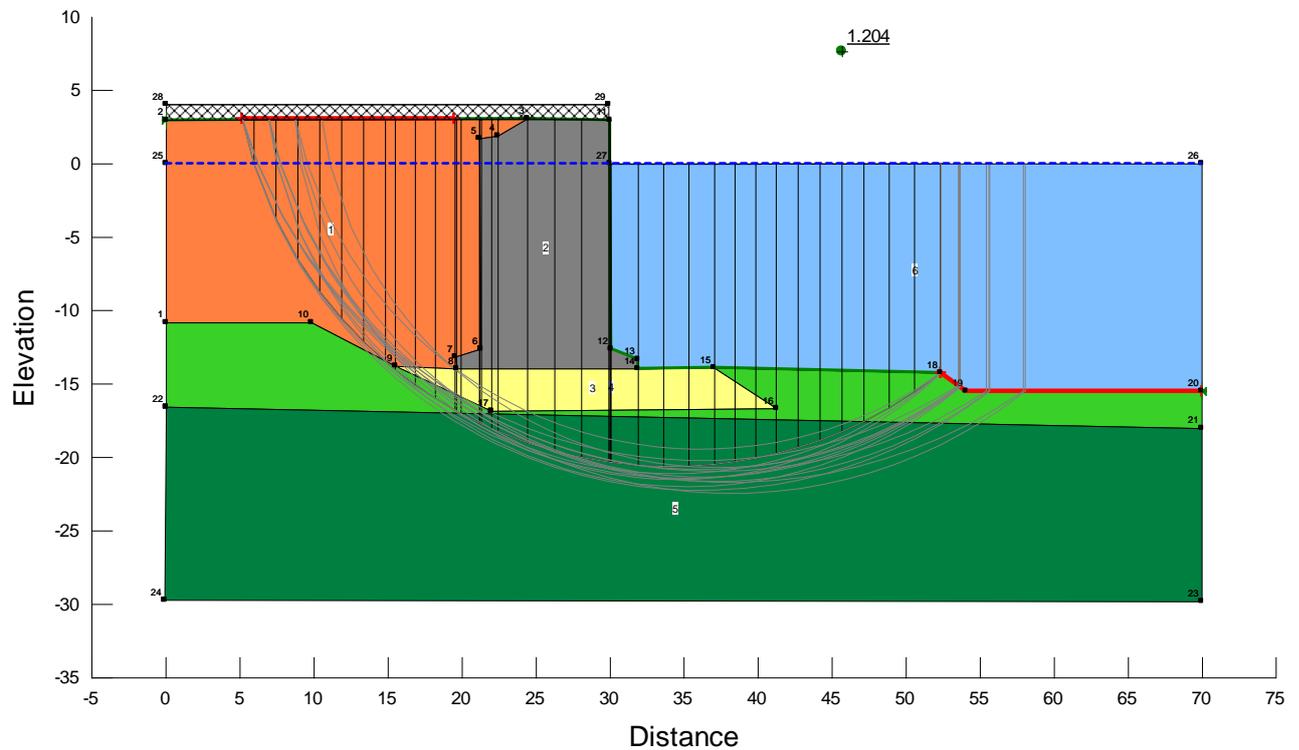


Dragaggio a -15.5 m - SISMA+

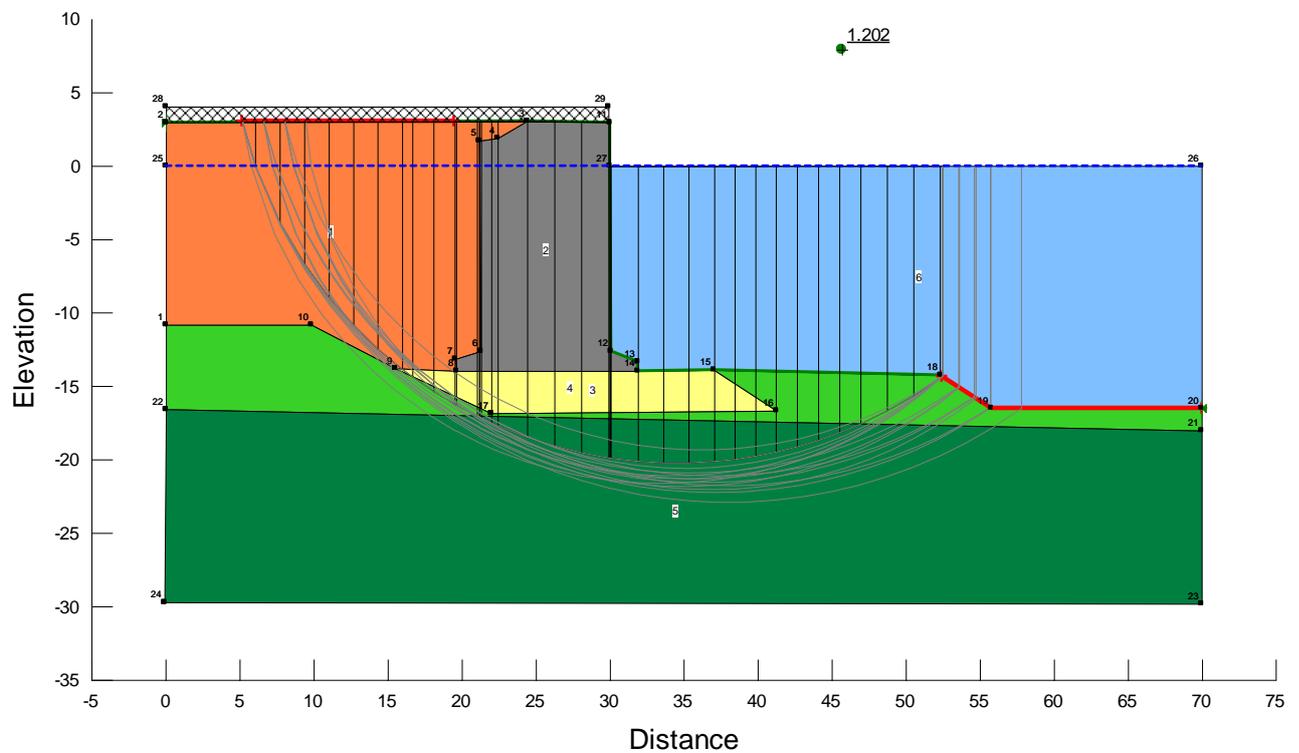


Dragaggio a -15.5 m - SISMA -

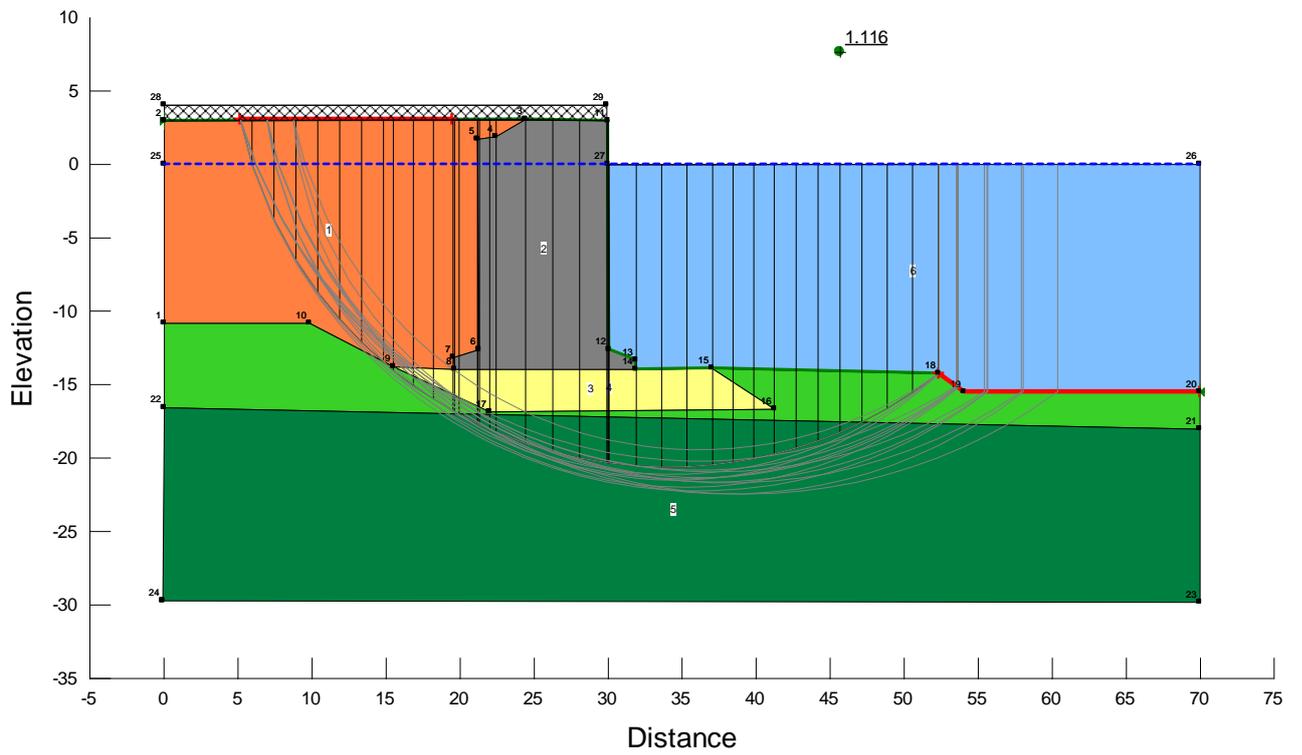
10.1.2 DRAGAGGIO A QUOTA -15.5 M E -16.5 M DA L.M.M. CON FASCIA DI RISPETTO



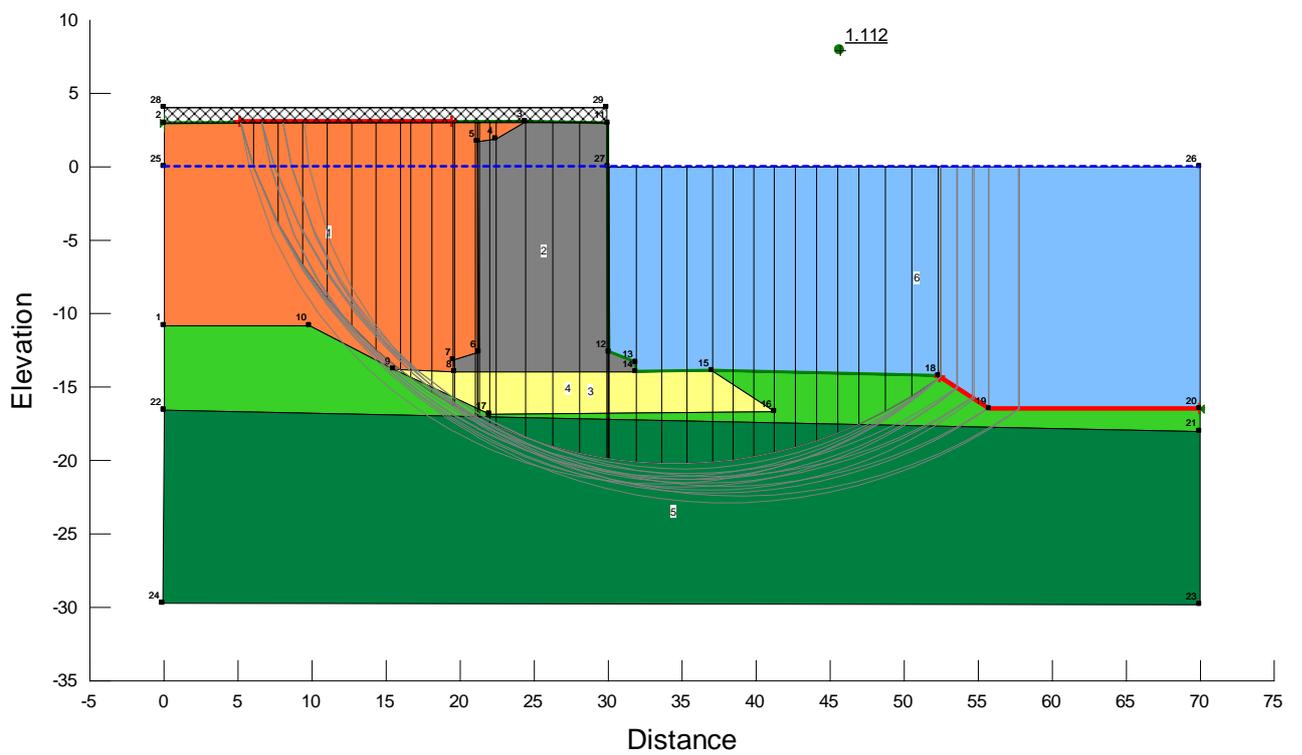
Dragaggio a -15.5 m - STATICA



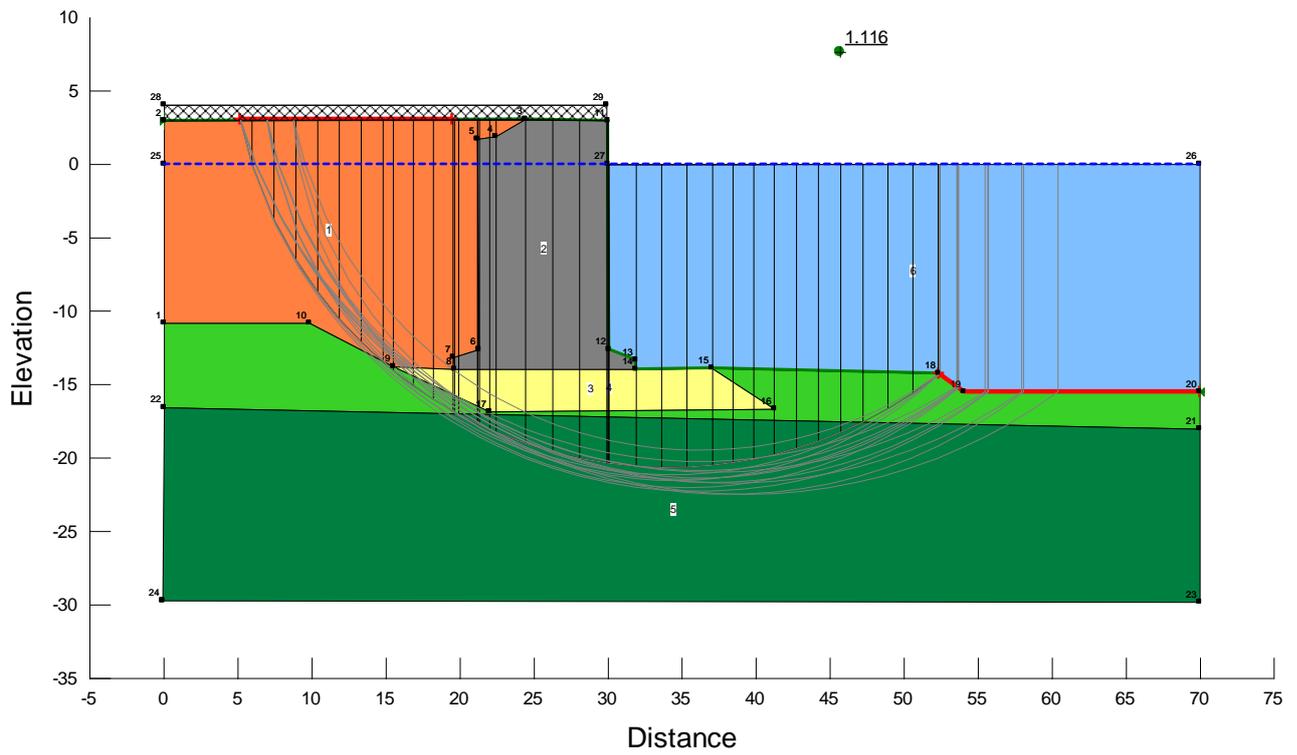
Dragaggio a -16.5 m - STATICA



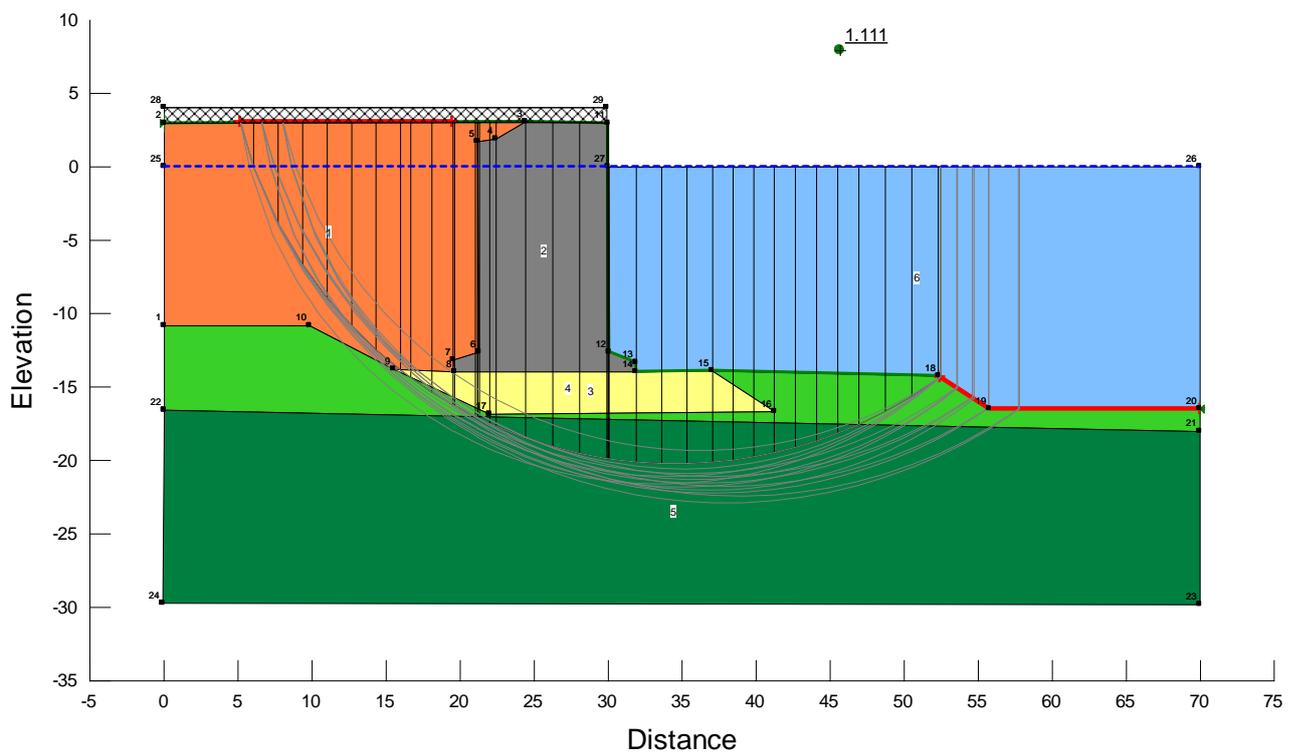
Dragaggio a -15.5 m - SISMA +



Dragaggio a -16.5 m - SISMA +



Dragaggio a -15.5 m - SISMA -

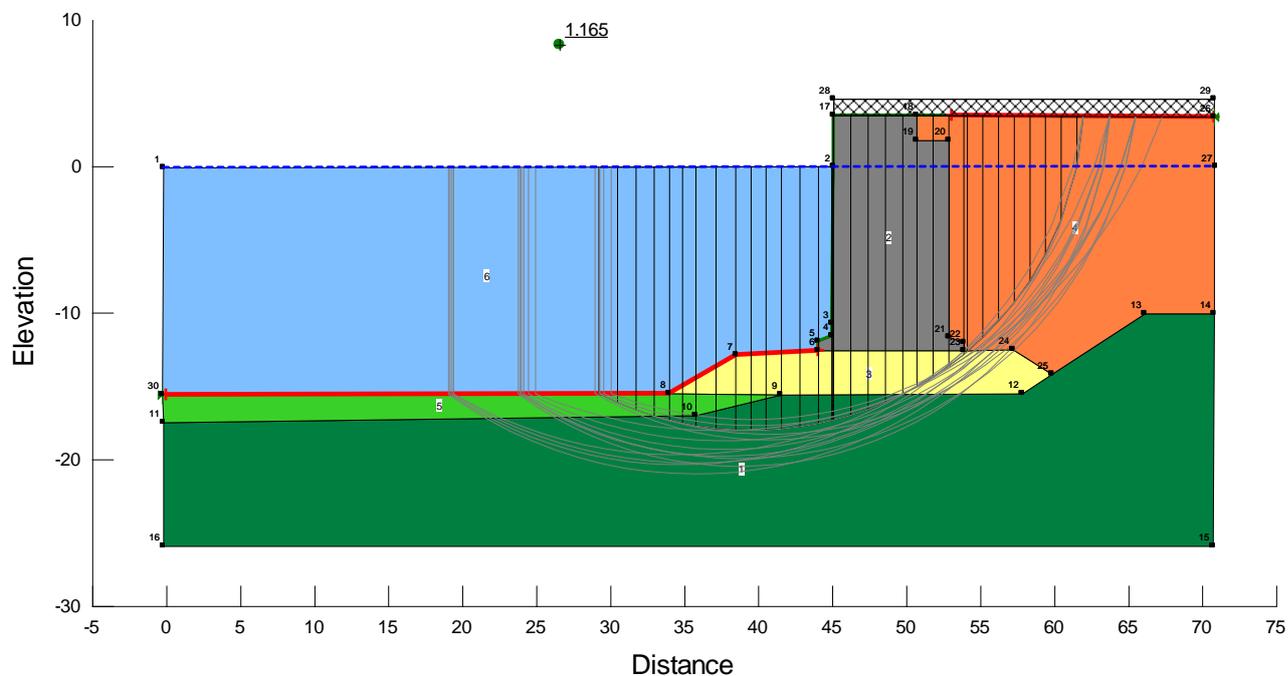


Dragaggio a -16.5 m - SISMA -

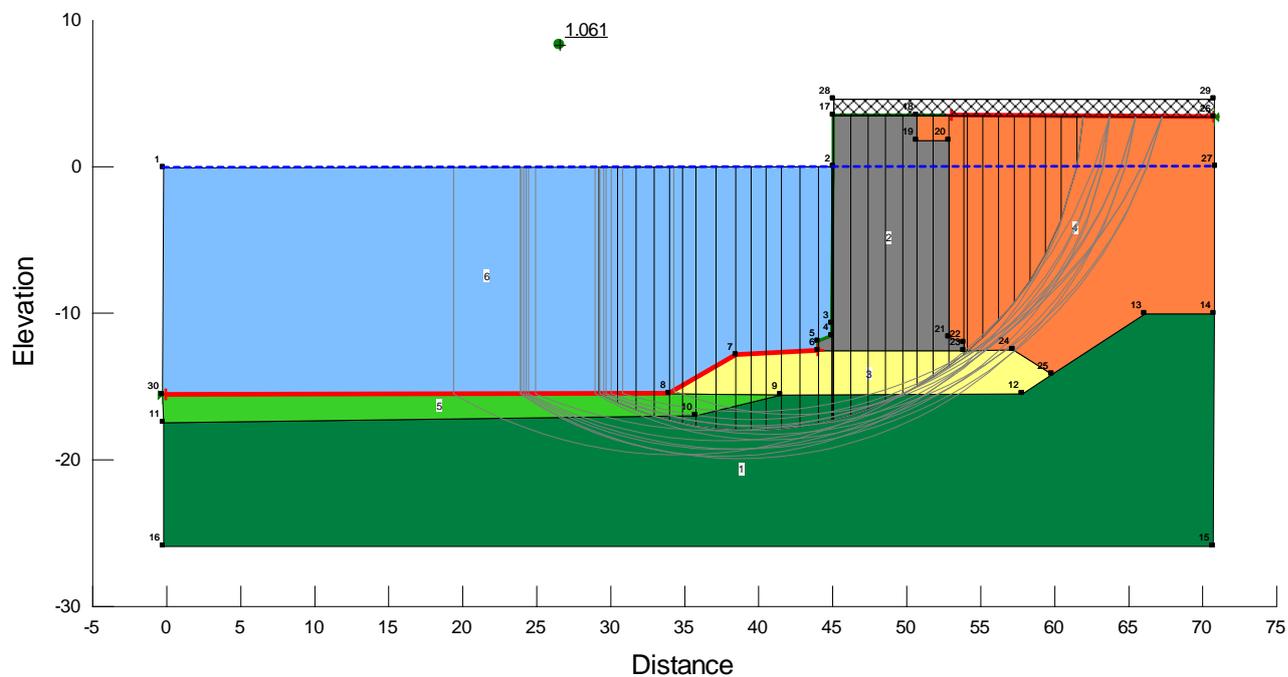
10.2 VERIFICHE V SPORGENTE

10.2.1 IPOTESI DI DRAGAGGIO A RIDOSSO SCANNO BASAMENTO CASSONI A QUOTA -15.5 M DA

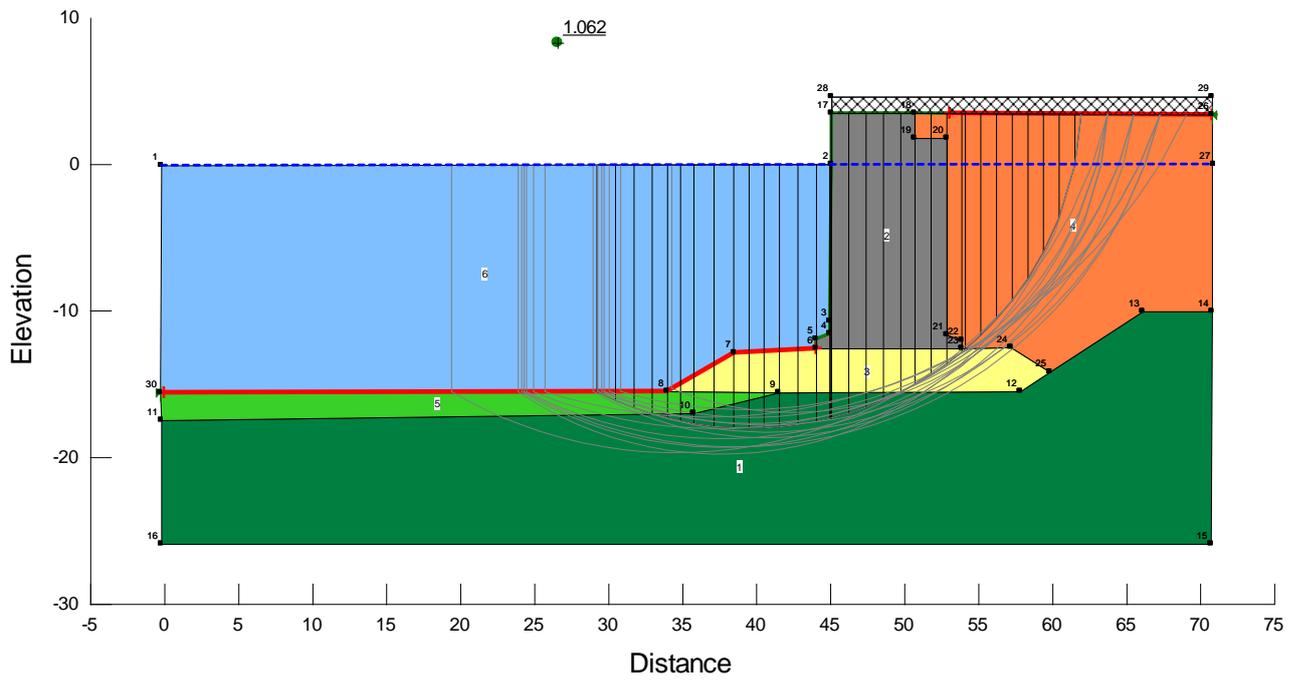
L.M.M.



Dragaggio a -15.5 m - STATICA

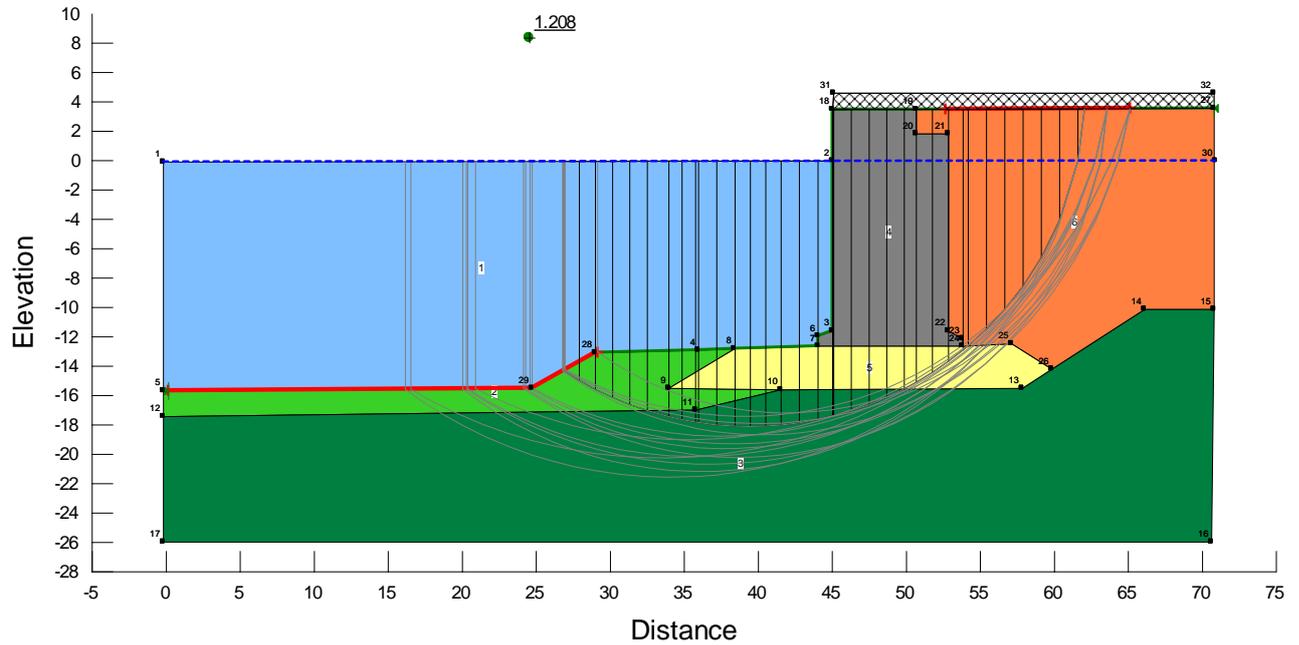


Dragaggio a -15.5 m - SISMA+

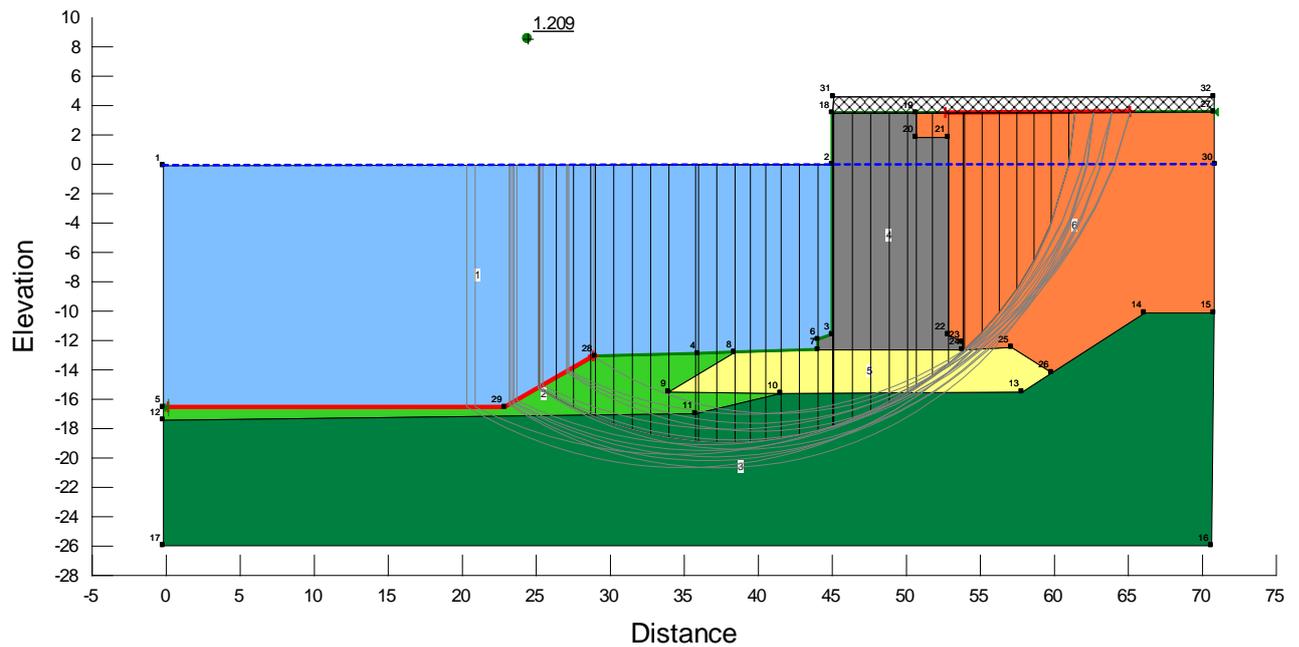


Dragaggio a -15.5 m - SISMA-

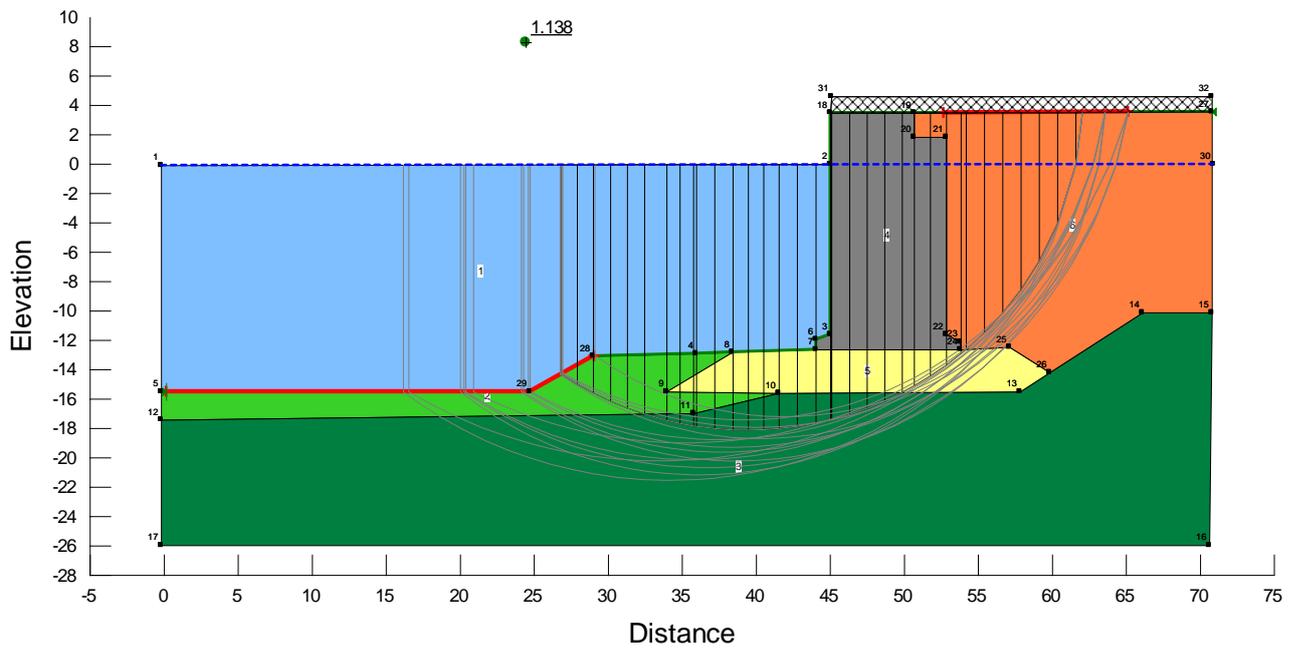
10.2.2 DRAGAGGIO A QUOTA -15.5 M E -16.5 M DA L.M.M. CON FASCIA DI RISPETTO



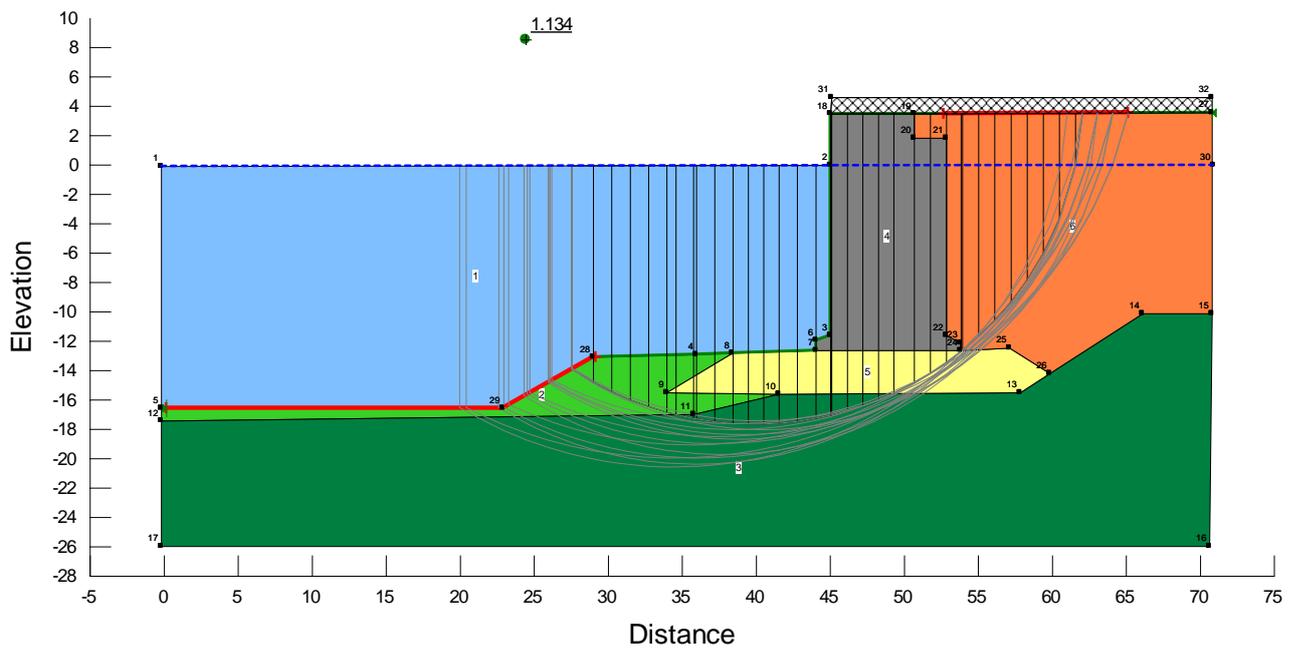
Dragaggio a -15.5 m - STATICA



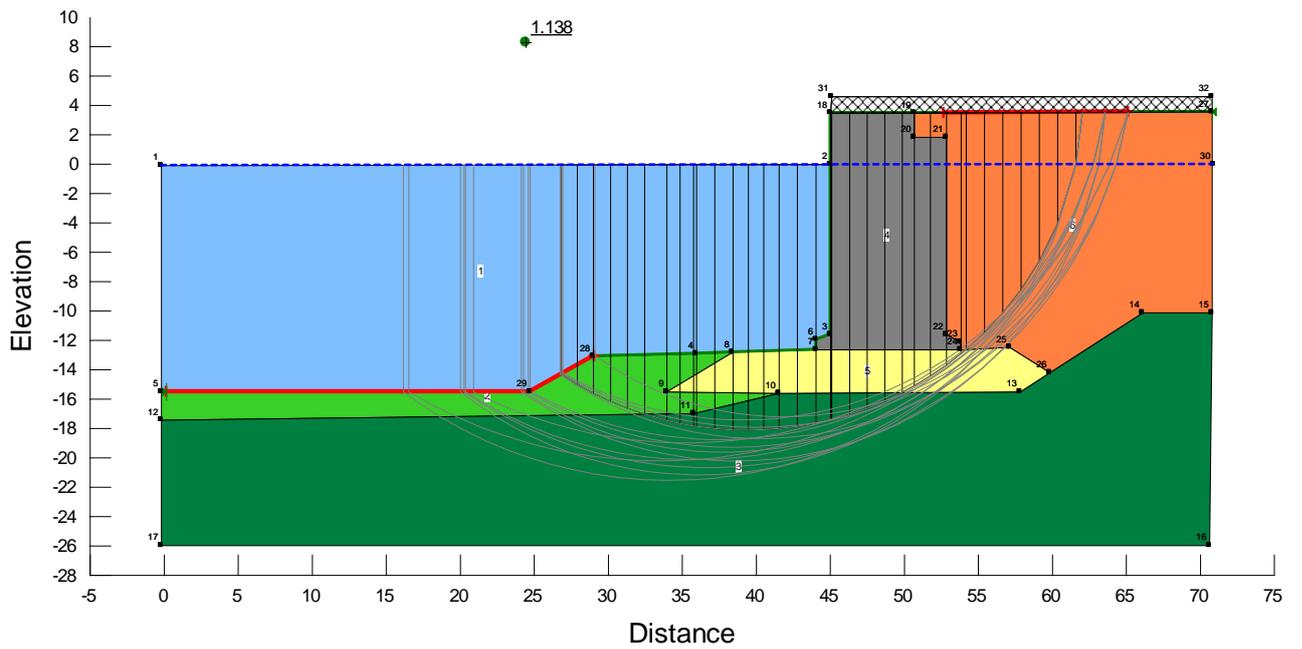
Dragaggio a -16.5 m - STATICA



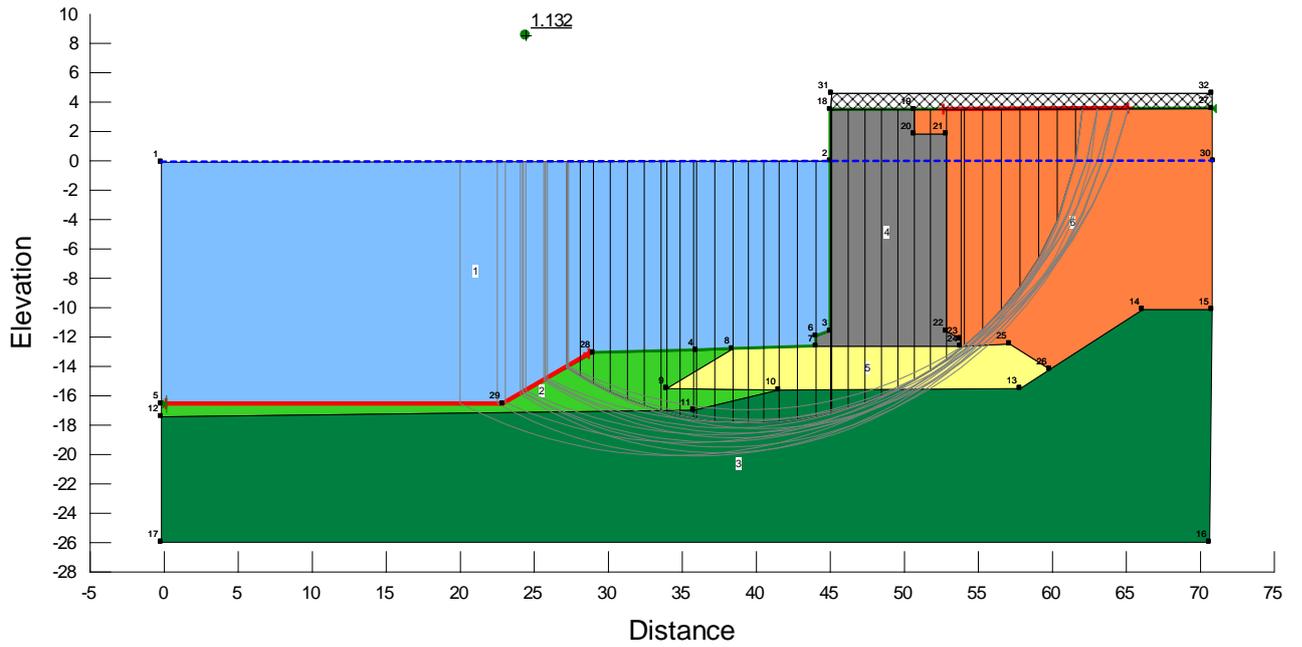
Dragaggio a -15.5 m - SISMA +



Dragaggio a -16.5 m - SISMA +



Dragaggio a -15.5 m - SISMA -



Dragaggio a -16.5 m - SISMA -

11 SISTEMA DI PROTEZIONE E CONFINAMENTO IN PROSSIMITA' DEI MOLI

In corrispondenza delle strutture dei moli si è potuto verificare che non è possibile effettuare lo scavo di dragaggio sia ambientale che ai fini portuali, al piede dello scanno di fondazione dei moli medesimi (vedi verifiche capitolo 10). Deve essere garantita una fascia di rispetto affinché le operazioni di dragaggio non vadano a rendere instabile il complesso dell'opera del molo.

Non essendo possibile garantire la rimozione, al fine di garantire comunque un "capping" dei sedimenti si è prevista la posa in opera di un sistema di protezione permeabile a barriera reattiva che confini i sedimenti e protegga il piede del molo dall'erosione. La funzione del materasso in geogriglia si esplica sia nella protezione del materassino reattivo ma anche e soprattutto nella protezione dell'opera costituente il molo, infatti il materasso protegge il piede del molo dall'azione erosiva causata dalla circolazione portuale limitando lo scalzamento del piede medesimo che potrebbe causare l'instabilità dell'opera di accosto.

11.1 MATERASSINO REATTIVO E MATERASSO DI PROTEZIONE

Il sistema composito previsto vede la combinazione di due sistemi:

- il materassino reattivo per l'azione di barriera ai contaminati
- il materasso in geogriglia riempito di inerti di protezione all'erosione.

Il materassino reattivo viene reso solidale con il materasso in geogriglia tramite legatura. La preparazione viene eseguita a terra e successivamente si effettua il varo nello specchio d'acqua. Si garantisce la sovrapposizione dei tappetini reattivi, lasciando un franco all'esterno del perimetro di ciascuno materasso in geogriglia.



Figura 11-1: Varo della combinazione prevista materassino reattivo e materasso di protezione

Nel caso in esame:

- il materassino è alto 0.635 cm ognuno e la soluzione adottata per evitare la diffusione della contaminazione ne prevede tre sovrapposti, quindi 1.905 cm in totale

- il materasso di protezione è alto 30.48 cm.

Il materassino reattivo previsto è un materassino composito permeabile composto da materiali reattivi incapsulati in una matrice di tessuto non tessuto posta a sandwich tra due strati di geotessile. Il geotessile superiore è del tipo agugliato, un tessuto non tessuto laminato a caldo in una matrice di tessuto non tessuto agugliata in un geotessile tessuto. Attraverso questo processo innovativo, l'RCM può combinare due materiali reattivi.



Figura 11-2: Movimentazione del materassino reattivo

L'RCM viene utilizzato per il trattamento subacqueo in situ di sedimenti contaminati e di sedimenti residuali post-dragaggio. Esso costituisce un materiale reattivo che tratta i contaminanti che vengono trasportati per flusso diffusivo. Il geotessile fornisce inoltre benefici aggiuntivi quali la stabilità e l'isolamento fisico, limitando quindi che il sedimento torni in soluzione.

Materassino Reattivo	
Mezzo reattivo	Contaminanti
Carboni Attivi	PAHs, PCBs
Apatite	Heavy metals
Organoclay	PAHs, PCBs, organo-Hg
Organoclay MRM	PAHs, PCBs, Hg, As
* E' possibile combinare I mezzi reattivi a secondo delle necessità	

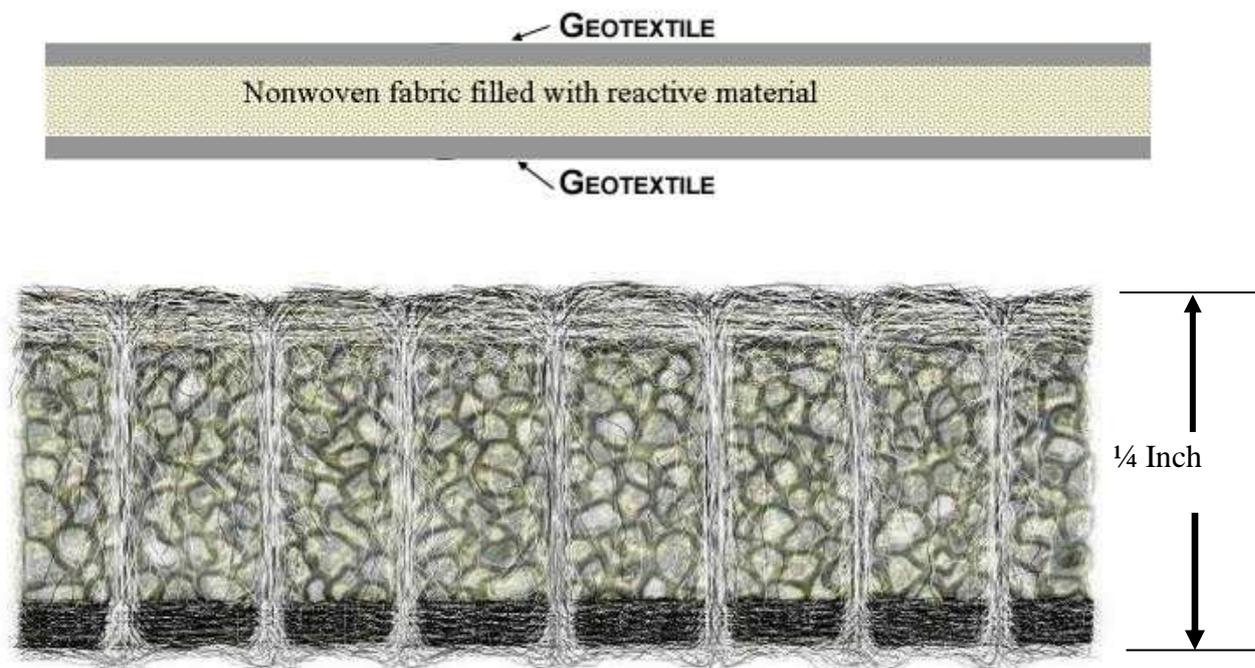
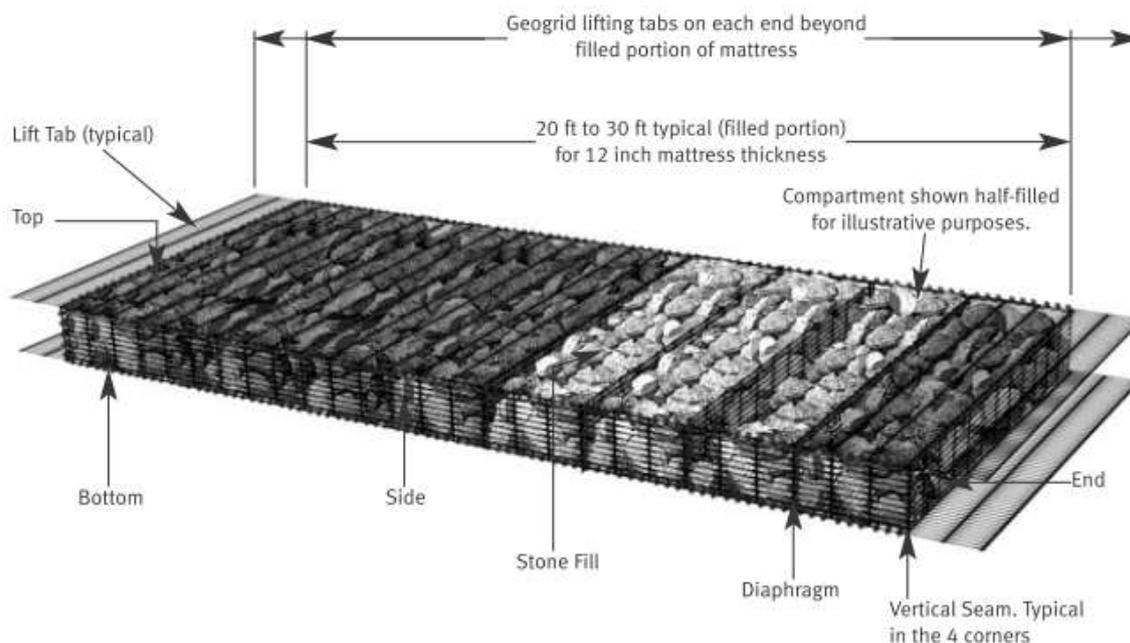


Figura 11-3: Dettagli materassino reattivo

Il sistema di materassi in geogriglia, è progettato per condizioni di lavoro associate con il controllo dell'erosione e con le fondazioni sommerse. L'efficacia del sistema è definita dalle sue stesse caratteristiche, comportamento monolitico, flessibilità e stabilità idraulica, durabilità a lungo termine, capacità di dissipazione dell'energia e sensibilità alla riflessione e alle onde di run-up. Ai fini dell'applicazione nel campo del trattamento dei sedimenti contaminati, il materasso, viene utilizzato insieme al materassino reattivo. Il materasso è costruito con una geogriglia avanzata progettata per poter fornire protezione al materassino in condizioni di forte stress da erosione.



Notes:

- Ends, top, bottom, sides and any extra length used for lifting or anchoring purposes shall be composed of Tensar® UXTrition200 Geogrid.
- Internal diaphragms shall be composed of Tensar UXTrition100 Geogrid.
- Nominal width of units: 5 ft (filled), 4.4 ft (unfilled)
- Typical thickness (filled): 12 inches (also available in 18 and 24 inch thicknesses).
- Plastic cable ties may be used to secure bodkin connectors in position prior to tensioning or filling of mattress unit.

Figura 11-4: Materasso in geogriglia

Caratteristiche e vantaggi

- Permette di mettere in opera il materassino reattivo in condizioni di correnti elevate e fondali profondi;
- I polimeri che costituiscono la geogriglia forniscono resistenza alla degradazione biologica, chimica e all'ambiente marino;
- La struttura combinata garantisce la flessibilità ai cedimenti differenziali e alle forze erosive.

Nelle figure seguenti si riporta lo schema di utilizzo del combinato e la planimetria con indicazione delle aree interessate dall'intervento.

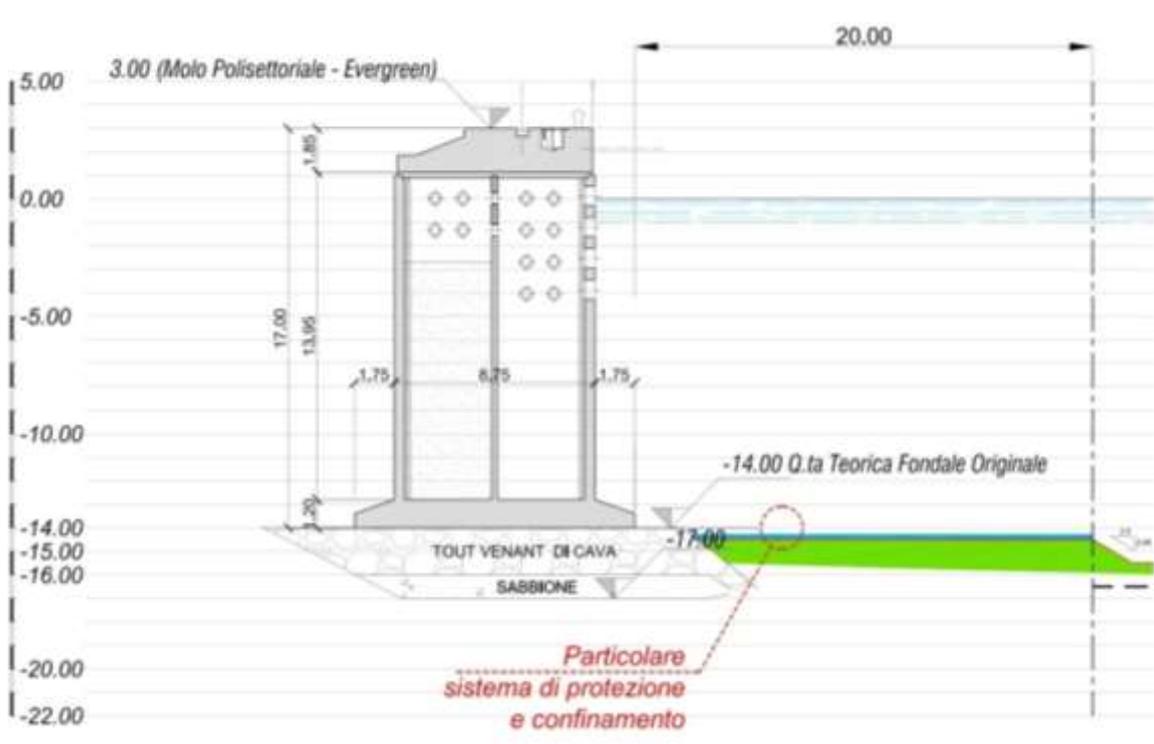


Figura 11-5: Sezione del Molo Polisetoriale

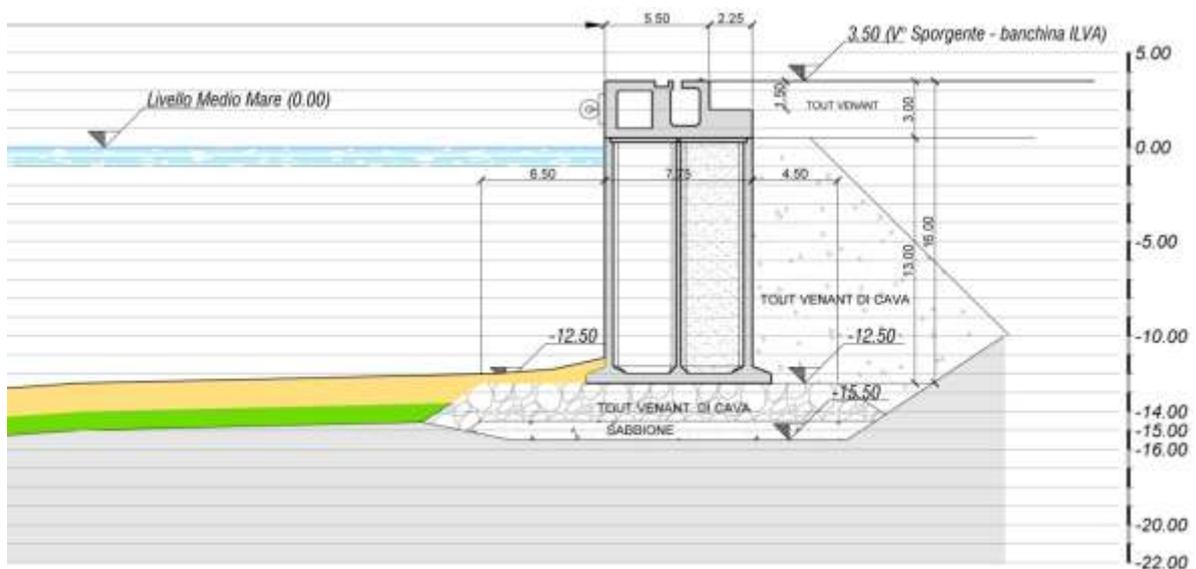


Figura 11-6: Sezione Molo V Sporgente

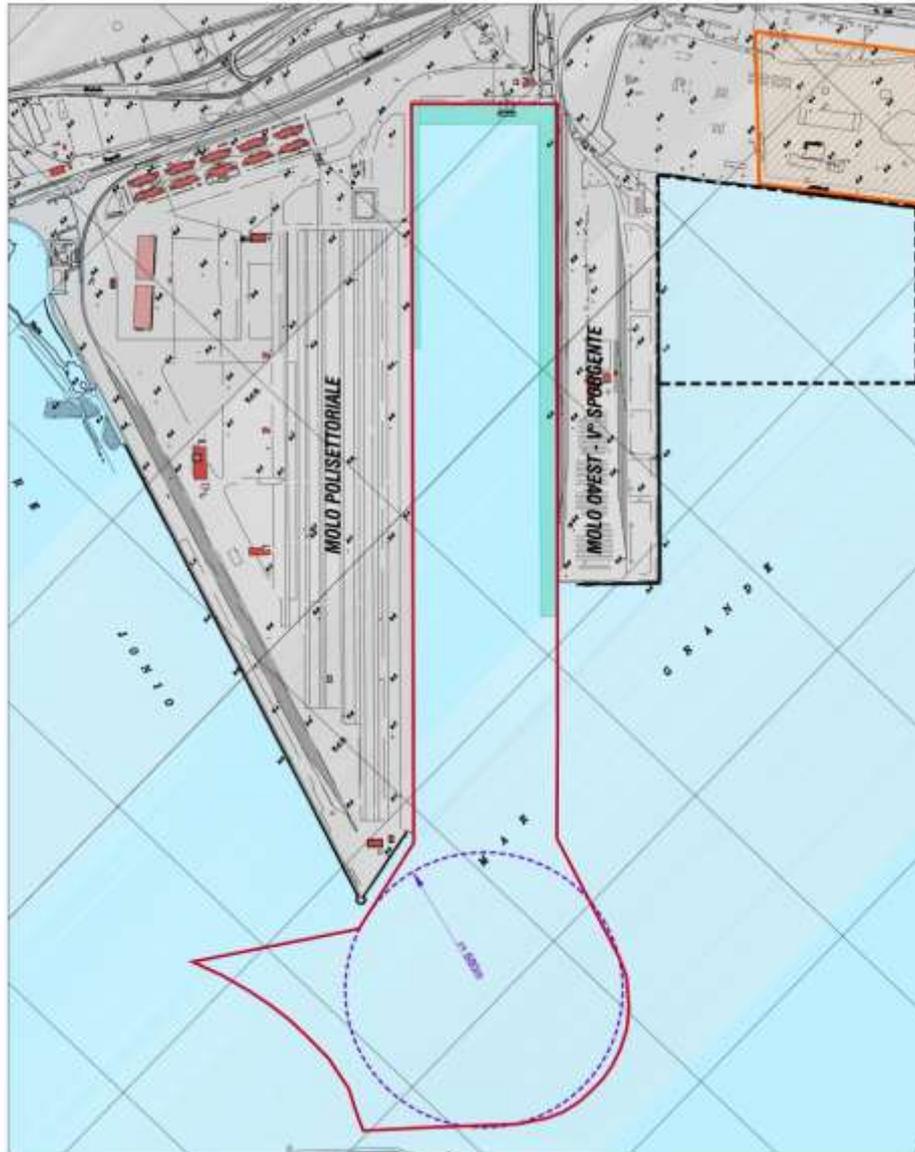


Figura 11-7: planimetria di applicazione della protezione