

Distretto della Nautica Polo della Cantieristica, dei Servizi e delle Attività Ittiche D14.2b Chiusa della Cornia Vecchia (Pontedoro)

Richiedente:

sostengono:



Piazzale Premuda n° 2-L – Piombino (LI) - (C.F.-P.I.-R.I. 01400740492 – C.C.C.I.A.A. Livorno n° 124728)

RICHIESTA DI CONCESSIONE DI BENI DEL DEMANIO MARITTIMO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA STRUTTURA DEDICATA ALLA NAUTICA DA DIPORTO AI SENSI DEL D.P.R. N° 509 DEL 02.12.1997

PROGETTO ESECUTIVO – SUAP 02 Primo sporgente ed area retro banchina DEFINIZIONE DEL SUOLO

GEO-01 – RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

| | | |
|---|--|--|
| Dott. Ing. Luciano DELLA LENA ORDINE INGEGNERI PROV. LIVORNO SEZ. A N. 1007 0 | Dott. Ing. Sauro AMERIGHI ORDINE INGEGNERI PROV. LIVORNO SEZ. A N. 1370 | Dott. Ing. Marco TARTAGLINI ORDINE INGEGNERI ROMA 1520 |
| REVISIONE | CONTENUTO DELLA MODIFICA | DATA |
| | PRIMA EMISSIONE | 12 AGOSTO 2020 |

Il legale rappresentante della Coop. LA CHIUSA di PONTEDORO

Dott. Lio Bastianini

Il Gruppo di Progettazione

Dott. Ing. Luciano Della Lena
Dott. Ing. Marco Tartaglini
Dott. Ing. Sauro Amerighi

Geom. Stefano Amerighi
Dott. Ing. Fabio Mondini
Dott. Ing. Davide Saltari
Dott. Ing. Gabriele Balducci

Indice

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Premessa | 2 |
| 2 | Descrizione delle opere | 3 |
| 3 | Modellazione geologica e geotecnica dei terreni..... | 6 |
| | 3.1 Quadro geologico e geotecnico di riferimento | 6 |
| | 3.2 Indagini eseguite | 7 |
| | 3.3 Assetto stratigrafico dell'area | 9 |
| | 3.4 Caratteristiche geotecniche dei terreni | 12 |
| 4 | Caratterizzazione sismica del territorio | 25 |
| 5 | Problematiche geotecniche | 27 |
| 6 | Verifiche di stabilità | 28 |
| | 6.1 Verifiche di stabilità globale | 29 |
| 7 | Analisi dei cedimenti I Sporgente | 32 |
| | 7.1 Metodologia di calcolo..... | 33 |
| | 7.2 Previsione dei cedimenti in assenza di interventi | 34 |
| | 7.3 Previsione dei cedimenti per effetto del consolidamento mediante precarica | 37 |



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
 Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
 CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
 Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
 CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
 Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
 Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

1 Premessa

Scopo della presente relazione è quello di definire il modello geotecnico di riferimento a supporto degli indirizzi progettuali e costruttivi previsti per la realizzazione del I Sporgente ed area retro banchina della Cantieristica, dei Servizi e delle attività Ittiche di Piombino in località "La Chiusa" di Pontedoro.

Le opere si inseriscono in un quadro geologico ed ambientale complesso ed articolato quale è la fascia costiera di Piombino, ma nell'insieme ben studiato in quanto supportato dai risultati di una specifica campagna di indagine recentemente eseguita, oltre che da dati ed esperienze derivate da opere realizzate nell'area portuale limitrofa.

Una particolare cura è stata posta alla ricostruzione degli schemi stratigrafici di dettaglio lungo il nuovo sporgente ed il futuro banchinamento di riva, oltre che alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di imposta propedeutica ai dimensionamenti strutturali.

Dall'insieme delle risultanze stratigrafiche e geotecniche è stato possibile far derivare un modello geotecnico del sottosuolo sufficientemente rappresentativo per sostenere la verifica delle condizioni di stabilità e di sicurezza delle opere.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con riferimento alle indicazioni dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018. Per i calcoli e le verifiche strutturali delle opere di banchina si rimanda alla specifica Relazione di calcolo di progetto.

2 Descrizione delle opere

L'importante progetto come accennato comporta una serie di opere complementari tra loro comprendenti lo Sporgente I e il terrapieno dell'area retro banchina (Figura 2.1).

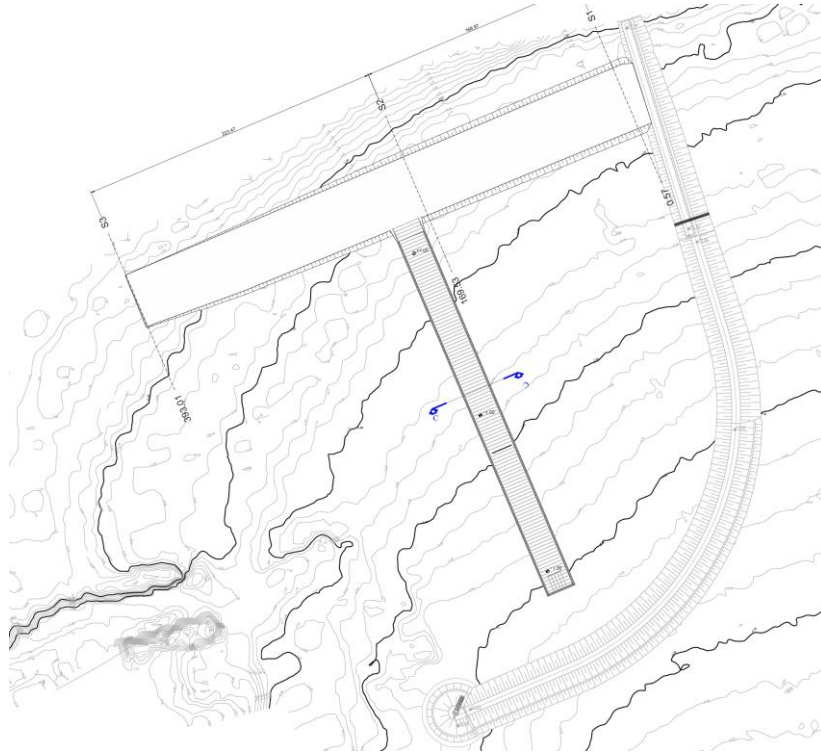


Figura 2.1: Planimetria interventi

In particolare, è prevista la realizzazione del nuovo Sporgente I con soluzione a “cofferdam”, mediante infissione di una parete combinata costituita da pali in acciaio di DN=660 mm/sp.10 mm accoppiati a tre elementi palancola PU12 saldate, ancorati in testa da tiranti in acciaio predisposti a passo predefinito (Figura 2.2). Nella sezione di testata l'ancoraggio verrà da garantito da dei pali in acciaio ad interasse prestabilito.

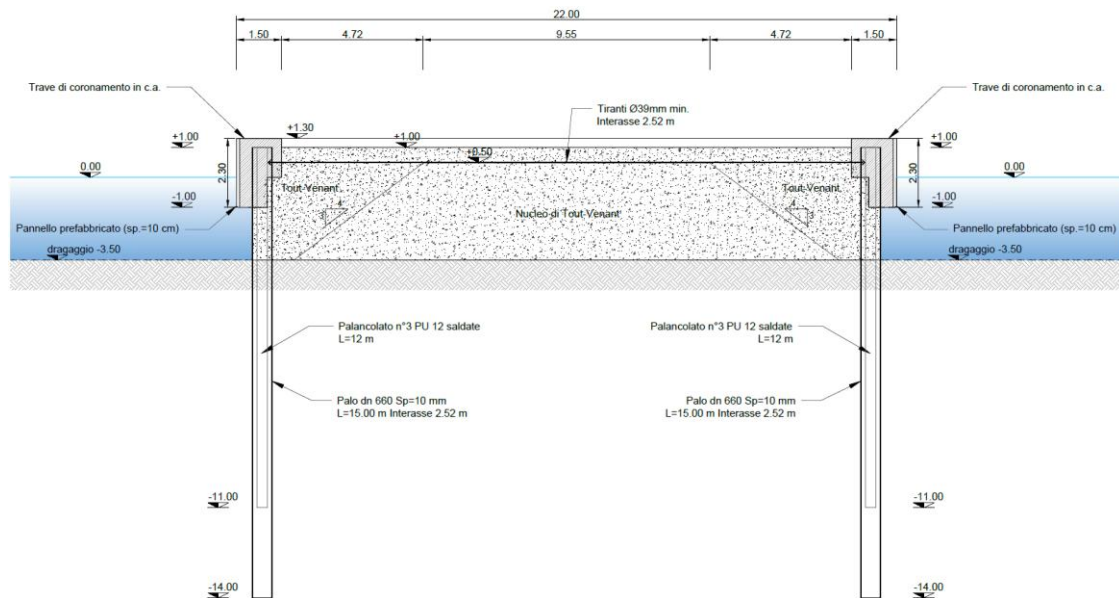


Figura 2.2: Sezione tipo I Sporgente

Considerati i bassi fondali che caratterizzano l'area a mare, compresi tra circa -2.0 e -4.10 m s.m., l'infissione degli elementi metallici richiede preventivamente la realizzazione di un rilevato di lavoro in tout-venant da costruire in avanzamento mediante una opportuna procedura costruttiva per fasi che permetta lo smaltimento dei cedimenti durante la costruzione.

In particolare in una prima fase sarà realizzato un rilevato di lavoro di larghezza di base superiore a quella del cofferdam progetto, pari a circa 22-24 m, e fino ad una quota sommitale pari a circa 2.5 m s.l.m., con pendenza 4:3. Una volta finita la prima fase occorrerà aspettare un tempo pari a circa 1 mese necessario per lo smaltimento delle sovrappressioni neutre indotte e quindi per far scontare i cedimenti. A questo punto si potrà procedere con le operazioni di riempimento dei cunei a tergo dei palancoleati e di finitura del molo aggiungendo materiale fino al raggiungimento delle quote di progetto.

Completa l'intervento la realizzazione del rilevato dell'area retro banchina con materiali inerti tipo tout venant di cava di una fascia estesa poco meno di 50 m. La quota sommitale prevista + 1.5 m s.m., mentre il raccordo con i fondali attuali avverrà mediante scarpate di pendenza 4:3 (Figura 2.3).



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl - Via Monte Zebio, 40 - 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. - fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 - CCIAA 694252 - C.F.-P.I. 03730011008

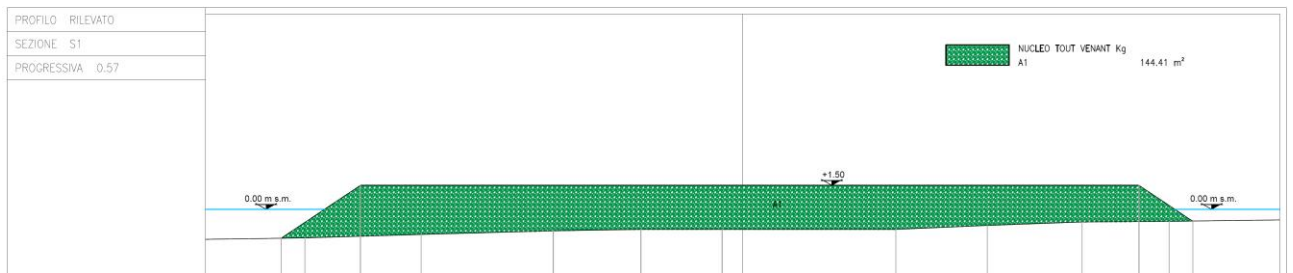


Figura 2.3: Profilo rilevato retro banchina



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

3 Modellazione geologica e geotecnica dei terreni

3.1 Quadro geologico e geotecnico di riferimento

Le opere si inseriscono in un settore acqueo ricadente al limite settentrionale dell'area portuale di Piombino sede di importanti interventi infrastrutturali, posto nei pressi dello sbocco al mare dell'importante canale di scolo del fosso Ponte D'Oro che raccoglie le acque provenienti dal fiume Cornia.

Come un più ampio inquadramento geologico preliminare della zona consente di evidenziare, la fascia costiera di Piombino si notoriamente si caratterizza per la presenza di terreni appartenenti a depositi sedimentari recenti e antichi collegati alle diverse fasi della evoluzione della linea di costa.

Come ben evidenziano alcuni dati stratigrafici reperiti nell'ambito di specifiche e più ampie campagne di indagine eseguite dall'Autorità Portuale nelle vicinanze, tali depositi, nei tratti più superficiali sono costituiti principalmente da terreni sabbiosi con diffusi frammenti conchigliari, resti algali e livelli a ghiaie in matrice sabbiosa-limosa, che si presentano talvolta con abbondanti frazioni argillose fino a divenire delle intercalazioni limoso - argillose legate ai cicli di variazione eustatica, di spessore ed estensione variabile. Lo stato di addensamento è generalmente basso ed in progressivo incremento con la profondità. Nella zona è stata inoltre riscontrata a luoghi la presenza discontinua di strati di sabbie con noduli calcarenitici a luoghi fortemente cementate ("panchina") a tratti anche affioranti.

Tali termini sono sovrapposti ad un potente strato di sabbie medio-fini limose e limi con sabbia con livelli da debolmente ghiaiose a ghiaiose di colore beige avana, caratterizzate da diffusi trovanti e noduli cementati di dimensione centimetrica generalmente addensati. A circa 25-30 m s.m. è presente un potente strato di argille limose consistenti inclusioni carbonatiche che costituisce il substrato locale.

3.2 Indagini eseguite

L'indagine eseguita nel mese di maggio-giugno 2020 è stata articolata in una serie di n.9 sondaggi meccanici a carotaggio continuo prevalentemente a mare, prove penetrometriche dinamiche continue e prove sismiche tipo MASW.

I sondaggi, spinti fino a 30 m di profondità, risultano così ubicati:

- n.3 (SP1-SP3) lungo l'allineamento del futuro 1° sporgente;
- n.2 (SB1, SP4 e SD1) a ridosso dell'attuale linea di costa;
- n.3 (SB2, SD2 e SD3) in diga foranea;
- SM1 in corrispondenza del molo provvisorio

Durante le operazioni di sondaggio si è proceduto ad eseguire numerose prove penetrometriche in foro tipo SPT ed al prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a successive prove di classificazione e caratterizzazione meccanica di laboratorio.

Come accennato, nel sondaggio SD1 è stata eseguita una prova down-hole, con acquisizione delle onde di compressione e taglio allo scopo di fornire la definizione della categoria di sottosuolo in campo sismico ai sensi delle NTC18. Accoppiati ai sondaggi ed a loro estrapolazione sono state inoltre eseguite n.15 prove penetrometriche dinamiche continue superpesanti del tipo DPSH (DP1-DP15) a punta conica.

Nella Figura 3.1 è riportata l'ubicazione dei sondaggi utilizzati per la costruzione del modello geotecnico generale di riferimento. Le stratigrafie dei sondaggi sono allegate alla Relazione Geologica, mentre per i dettagli ed i risultati delle prove geotecniche di laboratorio si rimanda allo specifico Rapporto Tecnico prodotto dalla Società Servizi Geotecnici S.r.l..

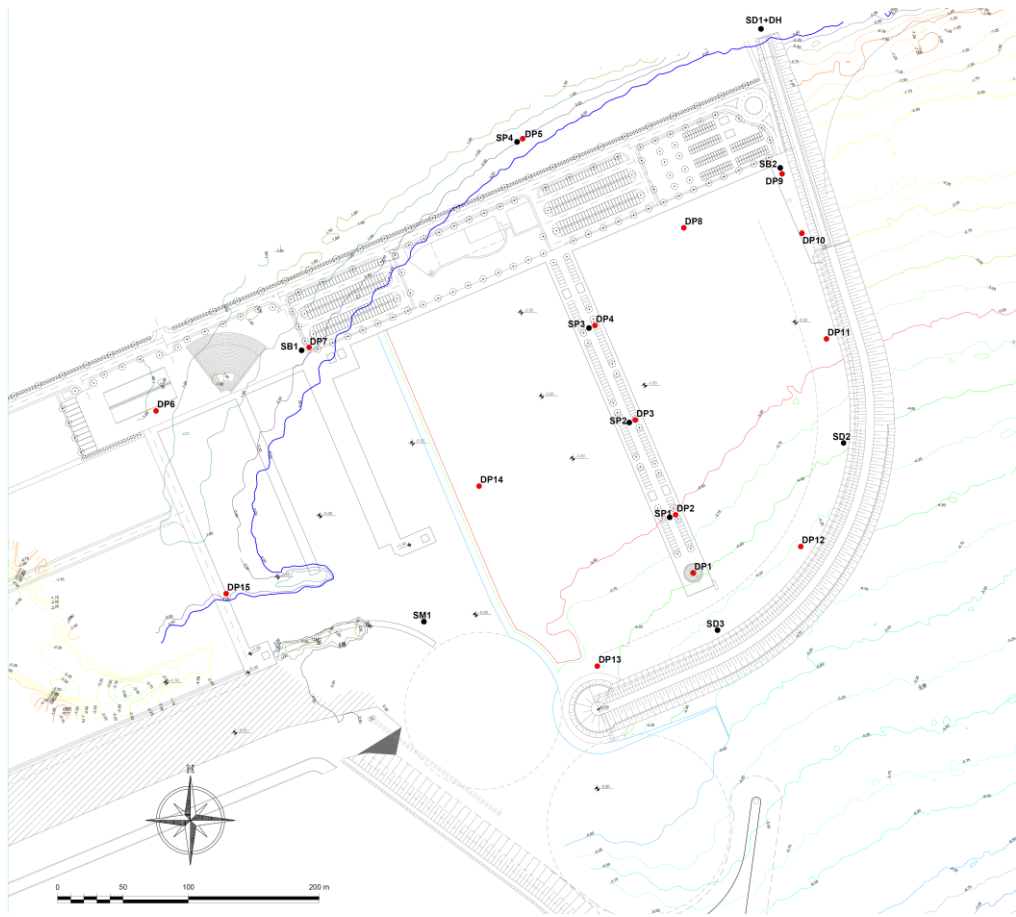


Figura 3.1: Disposizione indagini campagna 2020



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. –fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

3.3 Assetto stratigrafico dell'area

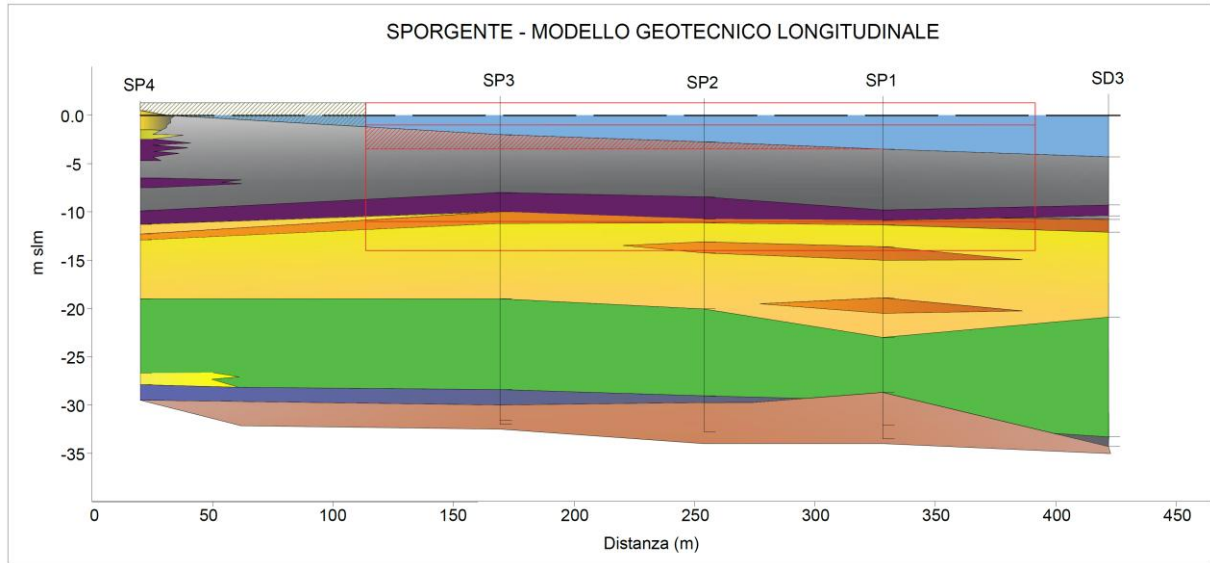
Nei settori a mare i terreni di imposta più superficiali appartengono al complesso delle “sabbie limose” con diffusi frammenti conchigliari ed a luoghi sostanza organica (“SL” – Unità “C”) sovrapposte su di un livello di argille limose organiche (“ALO” – Unità “C1”) a tratti dotate di bassissima consistenza, presumibilmente riconducibile ad un episodio di ambiente palustre.

Come ben evidenziano le verticali di sondaggio lungo l'allineamento del I Sporgente, tali termini sono presenti generalmente da 5–6 metri a partire dal fondale attuale e presentano uno spessore compreso tra circa 1.1 e 2.3 m in progressiva riduzione verso la testata:

Tabella 3.1 – Spessori SL e ALO; *comprensivo di un livello sabbioso organico basale di spessore 40 cm

| Sondaggio | SP3 | SP2 | SP1 | SD3 |
|------------------|-----|-----|-----|------|
| Spessore SL (m) | 6.0 | 5.7 | 6.3 | 5.0 |
| Spessore ALO (m) | 2.0 | 2.3 | 1.1 | 1.5* |

Come confermano le prove di laboratorio, le argille limose risultano variamente intercalate a sottili fitti livelletti sabbiosi che talvolta risultano addirittura preponderanti.



| UNITA' | TERMINE | DESCRIZIONE |
|--------|---------|---|
| | R | Riporti sabbiosi ghiaiosi |
| C | SL | Sabbia da debolmente limosa a limosa di colore grigio con frammenti conchigliari e sostanza organica da poco a moderatamente addensata |
| C1 | ALO | Limo argilloso organico di colore grigio, tenero, con intercalazioni sabbiose decimetriche; a terra è presente a copertura uno strato di argille avana consistenti (C1t) |
| D1 | ALS | Limo argilloso sabbioso di colore ocra consistente a luoghi intercalato a sabbia limosa giallastra localmente cementata |
| D2 | SLG | Sabbie medio-fini limose con livelli da debolmente ghiaiose a ghiaiose di colore beige avana, caratterizzate da diffusi trovanti e noduli cementati di dimensione centimetrica |
| E1-E2 | SL-LAS | Alternanze di Sabbie limose moderatamente addensate e Limi argillosi sabbiosi grigi consistenti |
| E3 | LA | Limi argillosi grigio-azzurro-verdastro con grumi carbonatici |
| H1 | SG | Ghiaia con sabbia di colore grigio |
| F1-G1 | Sc-LAc | Sabbie limose beige-arancio con concrezioni carbonatiche passanti ad argille limose di colore marrone beige con inclusioni carbonatiche e intercalato a livelli sabbiose-limose |
| | | |
| | | |
| | | |

Figura 3.2: Sezione stratigrafica tipo

Tali termini poggiano su di un potente strato di sabbie medio-fini limose con livelli da debolmente ghiaiose a ghiaiose di colore beige avana, caratterizzate da diffusi trovanti e noduli cementati di dimensione centimetrica (“SLg” - Unità “D2”), intercalate a lenti sabbiose di colore grigio. Il complesso è contraddistinto dalla presenza al tetto di un

livello argilloso di colore grigio-verdastro-beige caratterizzato dalla presenza di grumi e concrezioni carbonatiche (“ALS” - Unità “D1”).

A maggiori profondità si ritrovano alternanze di livelli argillosi limosi di colore grigio-scuro-marrone (“LAS” – Unità “E1”) e di sabbie limose (“SL” – Unità “E2”) di color grigio. Alla base è presente uno strato di argille limose di colore grigio-azzurro-verdastro con grumi carbonatici localmente a geometria lentiforme all’interno dell’unità, di incerta continuità laterale (“LA” – Unità “E3”).

La successione tipo prosegue in profondità con uno strato di sabbie limose di colore beige-arancio localmente cementate variamente intercalato ad un livello limoso-argilloso (“Sc” – Unità “F1”) di colore grigio-beige a tratti azzurro con screziature grigio-ocree, passante ad uno strato di argille limose consistenti di colore marrone beige da debolmente ghiaiose a ghiaiose per la presenza di inclusioni carbonatiche a luoghi intercalato a livelli e lenti prevalentemente sabbiose limose (“LAc” – Unità “G1”).

Lungo la linea attuale di costa, la porzione sommitale della serie sabbiosa-limosa di fondale è costituita da un complesso di sabbie e limi argillosi organici (Unità “C1t”) di colore grigio di consistenza simile a quelli intercettati a mare, con a copertura un livello di limi argillosi avana mediamente consistenti ad indice di una modesta sovraconsolidazione da essiccazione. Tali termini sono tipici di un ambiente di transizione tra quello costiero e lagunare contraddistinto da episodi a bassa energia che hanno favorito la deposizione dei sedimenti più fini. In sommità è presente una fascia di riporti prevalentemente sabbiosi “R” di spessore 1.5–2.0 m. Nel sondaggio SP4 a profondità di circa 27 m è stata intercettata inoltre una lente di terreni ghiaiosi in matrice sabbio-limoso-argillosa (“SG” – Unità “H1”) non rilevata negli altri sondaggi.

3.4 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Gli esiti delle prove geotecniche eseguite sui diversi terreni sono stati sistematicamente raccolti ed elaborati al fine di meglio tarare il modello geotecnico di comportamento utilizzato in progetto.

Il quadro geologico e stratigrafico di insieme, sebbene apparentemente semplice nei suoi schemi generali, a causa dei differenti caratteri deposizionali che caratterizzano i diversi complessi, conferisce ai terreni di imposta una grande complessità geotecnica espressa da marcate variabilità di costituzione e caratteristiche meccaniche. In particolare le diverse prove sono state riferite ai seguenti complessi stratigrafici che costituiscono la fascia a mare che sarà più direttamente interessata dai lavori in progetto quali:

- Unità C – SL: sabbie limose grigie con diffusi frammenti conchigliari e depositi algali;
- Unità C1 – ALO: argille limose organiche di colore grigio scuro;
- Unità D1 – ALS: Argille grigio-ocra con concrezioni carbonatiche e sabbia limosa argillosa;
- Unità D2 – SLG: sabbie medio-fini limose con livelli da debolmente ghiaiose a ghiaiose di colore beige avana.

I limi argillosi superficiali ALO risultano essere quelli di maggiore interesse applicativo per il ruolo che assumono nei cedimenti che i riempimenti in tout venant subiranno nella fase di collocazione in opera.

A maggiori profondità il quadro stratigrafico locale si presenta abbastanza favorevole poiché caratterizzato da alternanze di sabbie più o meno limose e livelli coesivi (limi argillosi e sabbiosi appartenenti al complesso “SL – LAS” dell’unità E, sabbie a luoghi cementate e argille limose compatte di cui alle unità F e G) di discreta consistenza. Tali termini daranno un contributo limitato al cedimento totale sia perché sovraconsolidati o compatti sia perché fittamente stratificati e tali pertanto da permetterne l’esaurimento in tempi ragionevolmente rapidi. Un numero limitato di prove di classificazione ha riguardato infine i termini di copertura insistenti a terra.

Terreni sabbiosi-limosi-ghiaiosi (SL/SLg)

In questo complesso ricadono i sedimenti recenti e antichi di origine marina costiera che costituiscono la fascia che sarà più direttamente interessata dai lavori in progetto ed è pertanto quello di maggiore interesse applicativo insieme ai livelli limo-argillosi intercalati.

In tale complesso è stato eseguito il maggior numero di prove geotecniche sia in sito che in laboratorio. Le numerose prove geotecniche di identificazione e classifica hanno confermato la grande variabilità di caratteristiche tra campioni prelevati a profondità diverse alla quale è associata una corrispondente variabilità di caratteristiche geotecniche. Questa in particolare può risultare variabile e compresa in arco molto ampio che va dalle "sabbie" e "sabbie limose" con resti conchigliari più superficiali (SL) alle "sabbie limose argillose" generalmente "ghiaiose" più profonde (SLg) per la presenza di grumi e concrezioni carbonatiche che conferiscono a tali materiali una locale cementazione a tratti, ben evidenziata dalle prove DPSH. Una loro caratterizzazione "media" non ha pertanto un grande significato pratico.

Per tali termini la caratterizzazione geotecnica si è principalmente basata sui risultati delle numerose prove penetrometriche dinamiche tipo SPT disponibili, utilizzando correlazioni di carattere empirico che legano i valori del numero di colpi per "piede di avanzamento", NSPT ai parametri geotecnici e sugli esiti di alcune prove di laboratorio eseguite su campioni prevalentemente sabbiosi.

In accordo a quanto indicato da Skempton (1986) la densità relativa $D_R\%$ può essere correlata al valore NSPT con la seguente legge:

$$D_R(\%) = 100 \cdot \left(\frac{N_{SPT}}{A + B \times \sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

dove A e B sono costanti empiriche variabili tra $A=27.5 \div 43.3$ e $B=21.7 \div 27.5$ (sabbie fini/grosse NC) e σ'_v (espresso in kg/cm^2) il valore della tensione verticale efficace alla profondità di prova. Considerata la frazione limosa comunque apprezzabile, in tutti i casi si è prudenzialmente adottato un valore di N_{SPT} corretto secondo la nota espressione di Terzaghi:

$$N' = 15 + \frac{N_{SPT} - 15}{2}$$

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio di picco Φ'_p è stata adottata la nota relazione proposta da Bolton (1986):



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

$$\varphi'_p = \varphi'_{cv} + 3I_R$$

dove I_R è assunto pari a:

$$I_R = D_R(10 - \ln p_r) - 1$$

con $p_r = \sigma'_{ff} = 1.4 \times 272 \text{ kPa}$.

Assumendo cautelativamente un valore di $\Phi'_{cv} = 28^\circ$ per le sabbie limose e di 32° per quelle grossolane ed un valore di D_R precedentemente stimato con la formula di Skempton, sono stati ottenuti valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco compresi tra 32° e 36° e tendenti ad aumentare con la profondità.

Per una stima dei moduli elastici operativi da adoperare nel calcolo dei cedimenti dei rilievi di lavoro, trattandosi di problemi di "primo carico", caratterizzati da incrementi di tensione rispetto alla condizione geostatica iniziale, nel caso di terreni prettamente sabbiosi si è fatto riferimento alla correlazione proposta da Jamiolkowski (1988):

$$E'_{25} (\text{MPa}) = (10.5 - 3.5 \times D_r) \times N_{SPT} / 10$$

dove E'_{25} è il modulo secante ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%. Considerate le significative variazioni di composizione che a luoghi contraddistinguono i diversi termini a composizione sabbiosa comunque prevalente, i moduli sono stati calcolati anche con la correlazione empirica di Denver (1982) che lega il valore di E' al valore di N_{SPT} mediante la seguente combinazione lineare:

$$E' = s_1 N_{SPT} + s_2$$

in cui s_1 e s_2 sono stati stimati dalle caratteristiche granulometriche delle numerose prove di laboratorio:

Tabella 3.2 – Parametri correlazione N_{SPT} - E' di Denver (1982)

| s_1 (Kg/cm ²) | s_2 (Kg/cm ²) | Terreno |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 5.17 | 74.6 | Sabbia |
| 4.78 | 71.7 | Sabbia satura |
| 3.16 | 15.8 | Sabbia argillosa |

Nelle successive figure di sintesi sono rappresentati i valori di SPT e le granulometria corrispondenti relative ai sondaggi realizzati, insieme ai valori di Φ' e E' ottenuti.

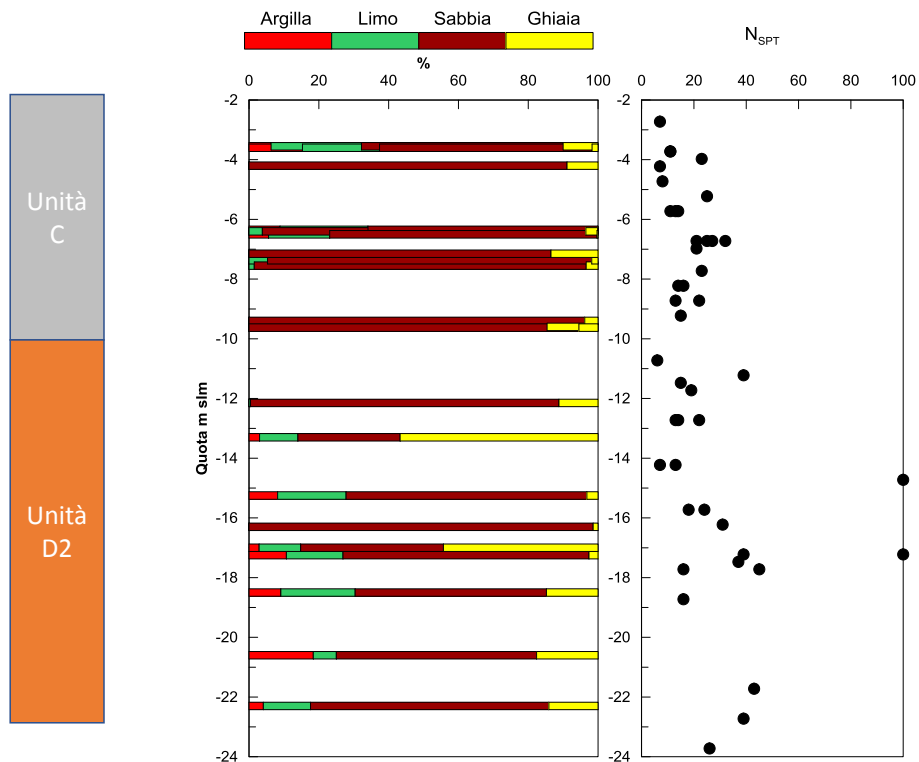


Figura 3.3: Granulometrie e risultati prove SPT (Termini C e D2)

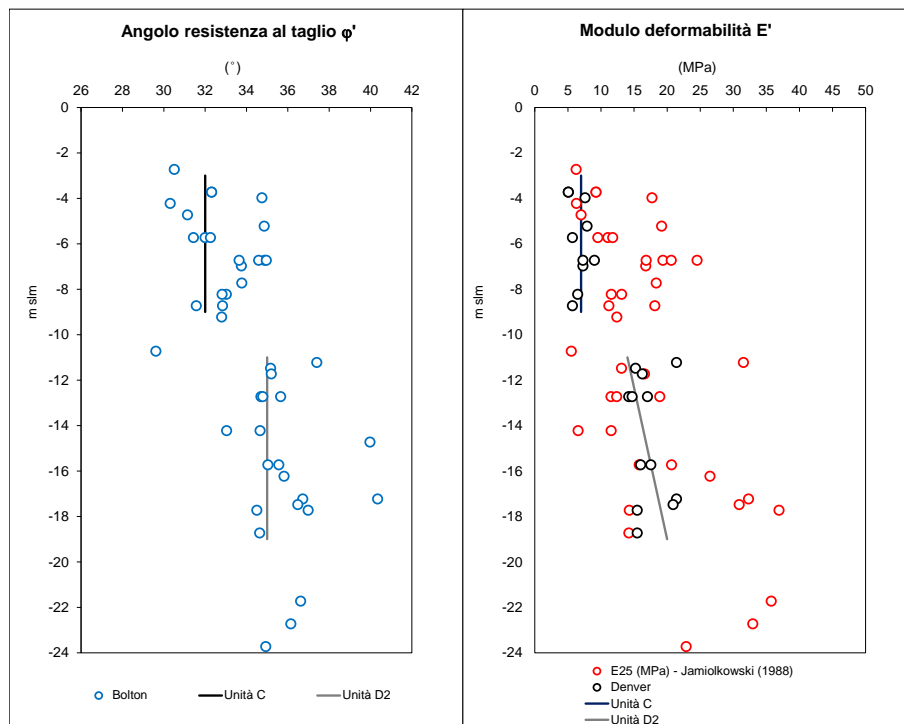


Figura 3.4: Interpretazione prove SPT

L'interpretazione delle prove DPSH è risultata meno agevole in quanto, per motivi esecutivi, è stato impiegato un campionatore a punta conica al posto del campionatore

standard a punta aperta che, come noto, fornisce risultati non strettamente simili; come diretta conseguenza i risultati delle prove DPSH non possono essere direttamente interpretate con le usuali correlazioni empiriche di letteratura sviluppate per il campionatore standard e vanno preventivamente corretti sulla base di un confronto con i risultati delle prove SPT eseguite in foro di sondaggio. In base a tale confronto i risultati ottenuti con la punta conica sono stati trasformati in valori N_{SPT} equivalenti e successivamente interpretati con le stesse metodologie sopra rappresentate per terreni sabbiosi.

Terreni limo-argillosi a grana fine prevalente

La caratterizzazione geotecnica dei terreni appartenenti alle Unità C1 (ALO) e D1 (ALS) è stata basata essenzialmente sull'interpretazione delle prove geotecniche di laboratorio. Nella Figura 3.5 viene riportato l'andamento con la profondità delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate sui numerosi campioni indisturbati.

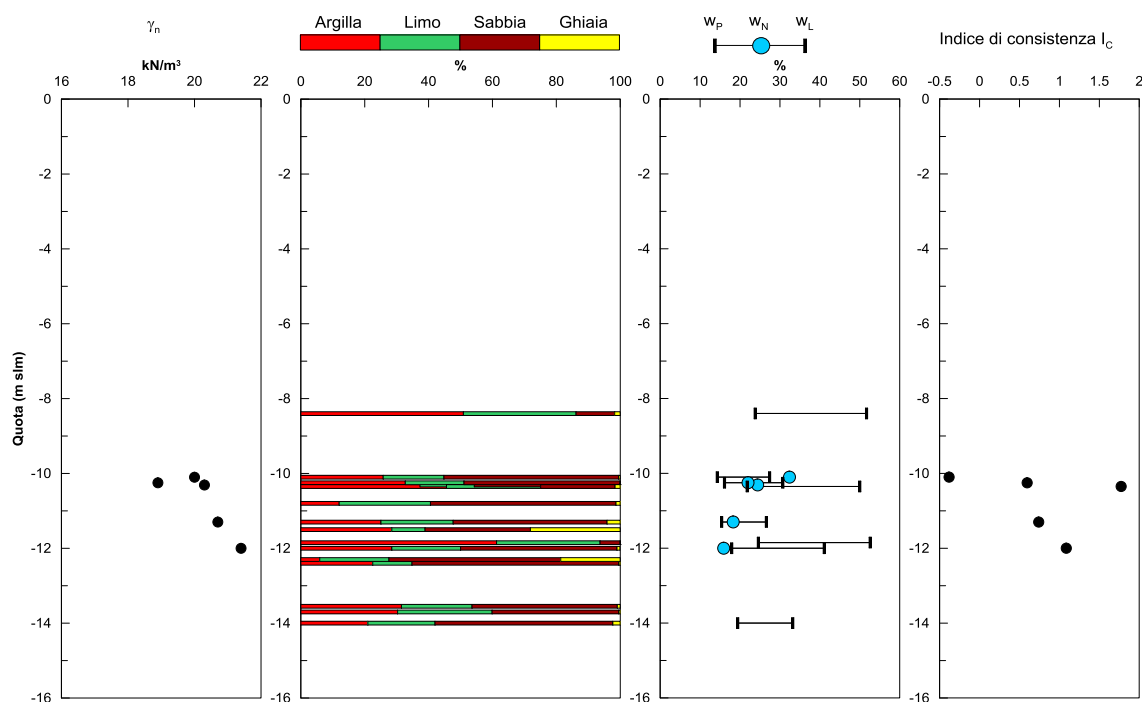


Figura 3.5: Caratteristiche fisiche e di consistenza terreni a grana fine prevalente



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

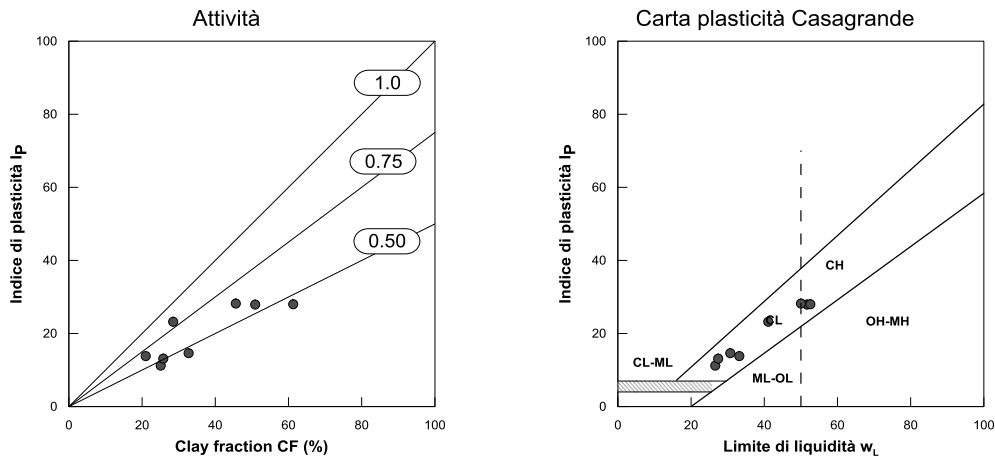


Figura 3.6: Attivita e plasticità

Le caratteristiche di compressibilità e di resistenza a taglio in particolare sono state desunte, ove possibile, dall'interpretazione delle prove edometriche, di taglio diretto TD e da prove di compressione tipo ELL.

I parametri di compressibilità espressi dai coefficienti di compressibilità c_c e di scarico c_s nonché il coefficiente di consolidazione c_v sono stati dedotti dalle prove di edometriche. In alcuni casi la presenza di importanti frazioni sabbiose nei campioni stessi ha condotto a valori di c_c e della pressione di "preconsolidazione" σ'_p apparentemente bassi e, in alcuni casi, apparentemente non compatibili con le caratteristiche di plasticità e di consistenza medie rilevate. Analoghe condizioni hanno riguardato anche per le prove ELL per l'impossibilità di ricreare condizioni perfettamente non drenate in fase di rottura. Confrontando le caratteristiche di consistenza già preliminarmente desunte con le prove penetrometriche dinamiche in foro SPT e DPSH con i valori di resistenza da prove speditive con pocket e torvane è stato tuttavia trovato un discreto accordo.

Argille limose debolmente sabbiose organiche (Unità C1/C1t)

Come accennato con il termine C1 – ALO si intende rappresentare quei livelli più superficiali di argille limose e limi argillosi intercalate a sottili fitti livelletti sabbiosi che talvolta risultano addirittura preponderanti, poco consistenti e ricchi di materia organica, presenti soprattutto da 5–6 metri a partire dal fondale originario. Rientrano nel complesso anche i limi argillosi sabbiosi (Unità "C1t") di colore grigio di copertura intercettati a terra nel sondaggio SP4.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

Il peso di volume risulta compreso tra $\gamma=18-20$ kN/m³. Dalle prove di identificazione e classifica è risultata sempre chiaramente evidente una relazione tra composizione granulometrica e “plasticità”: la maggior parte dei campioni dell’unità C1 si pone infatti in un range che rientra nel campo delle cosiddette “argille a media-elevata plasticità” (classifica USCS: CL-CH). Il grado di consistenza è risultato piuttosto basso e in alcuni casi addirittura negativo, quando la frazione limosa-sabbiosa è significativa. I terreni sono caratterizzati inoltre da un’attività non elevata, inferiore a 0.75.

Alla luce delle caratteristiche di consistenza, il comportamento geotecnico dei terreni a mare (C1) può essere assimilato a quello di un fango dotato di intrinseche scadenti caratteristiche meccaniche e progressivamente consolidato sotto il peso dei terreni sabbiosi soprastanti.

Laddove rappresentative, le tensioni di preconsolidazione σ'_p ottenute dall’interpretazione delle prove edometriche ben approssimano infatti le tensioni litostatiche σ'_v a conferma di uno stato di normalconsolidazione (OCR=1.0). Generalmente migliori appaiono le caratteristiche dei termini di copertura intercettate a terra nei pressi della linea di costa attuale (C1t), presumibilmente ad indice di una modesta sovraconsolidazione da essiccazione.

I valori dell’indice di compressibilità C_c ottenuti, compresi tra 0.13÷0.16, come accennato, tuttavia non trovano accordo con le caratteristiche di plasticità medie, presumibilmente a causa della significativa frazione sabbiosa. Assumendo un valore del limite liquido $w_L \approx 50$, il valore dell’indice di compressibilità C_c dovrebbe risultare significativamente maggiore e dell’ordine di 0.3-0.4.

Sulla base di tale valore ed assumendo un indice dei vuoti nell’ordine di 0.7-0.8, il modulo edometrico E_{ed} nel range di tensioni di lavoro risulterebbe pari a circa 1.3 MPa attraverso la seguente relazione:

$$E_{ed} = 2.3 \left(\frac{1 + e_0}{c_c} - \log \frac{\sigma'_{v1}}{\sigma'_{v0}} \right) \times \sigma'_{v1}$$

dove la tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} e finale σ'_{v1} del banco sottoposto al carico massimo è rispettivamente dell’ordine di $\sigma'_{v0} \approx 45-50$ kPa e $\sigma'_{v1} \approx 130$ kPa nelle condizioni più gravose. Valori di E_{ed} compresi tra 2-2.5 MPa possono essere ragionevolmente assunti in presenza di frazioni sabbiose prevalenti.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

Dalle prove edometriche eseguite è risultato un coefficiente di consolidazione verticale c_v piuttosto basso e compreso tra $8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} \div 9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ nel range di tensioni attese (100-200 kPa).

Alla luce del fatto che, come noto, i valori di c_v e di permeabilità k ottenuti da prove su campioni di laboratorio risultano generalmente inferiori a quelli teoricamente ottenibili da campioni di dimensioni maggiori per effetto della “macrostruttura” dei depositi naturali e della riconosciuta presenza di livelletti sabbiosi a luoghi predominanti nel complesso C1, nelle previsioni dell’evoluzione dei cedimenti di consolidazione del tempo si è ritenuto ragionevole assumere un valore medio di c_v medio tra quelli ottenuti in laboratorio ed un fattore scala tra laboratorio e situ di un ordine di grandezza. In tal modo, si ottengono valori del coefficiente di consolidazione verticale di permeabilità pari a $c_v = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le stesse considerazioni vangono anche per i parametri di resistenza al taglio drenati. Le prove di taglio diretto hanno infatti fornito un range di valori identificato da un limite inferiore pari a $c' = 0 \text{ kPa}$ e Φ' di 26° . Ad ogni modo nelle successive verifiche è ragionevole assumere parametri prudenzialmente più bassi, $c' = 0 \text{ kPa}$ e Φ' di 20° anche in considerazione del fatto che ai dragaggi è associato uno scarico tensionale.

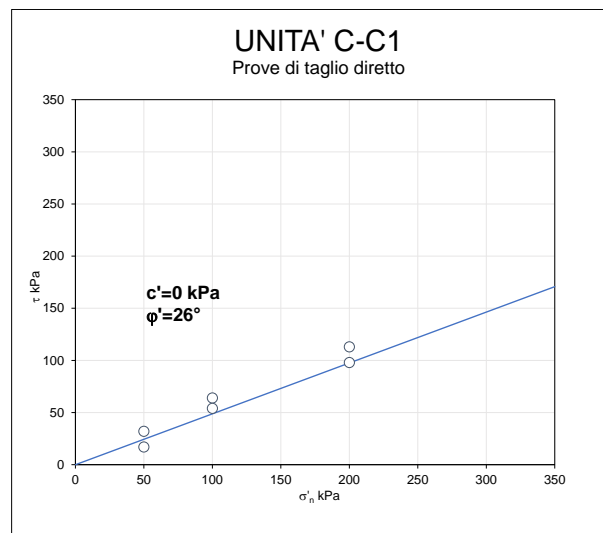


Figura 3.7: Prove di taglio diretto

Parametri leggermente superiori $c' = 5-10 \text{ kPa}$ e $\Phi' = 20-25^\circ$ sono attesi per i limi grigi intercettati a terra dell’unità C1t verosimilmente sovraconsolidati.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

La resistenza al taglio non drenata c_u ottenuta da prove ELL è risultata compresa per lo più tra 25 e 60 kPa, in linea con i caratteri di consistenza rilevati dai pocket su carota, oltre che dalle prove SPT e DPSH mediante la nota correlazione di Stroud:

$$c_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

con f_1 variabile in funzione delle caratteristiche di plasticità I_p tra circa 7 kPa (argille bassa plasticità) e 4.3 kPa (elevata plasticità).

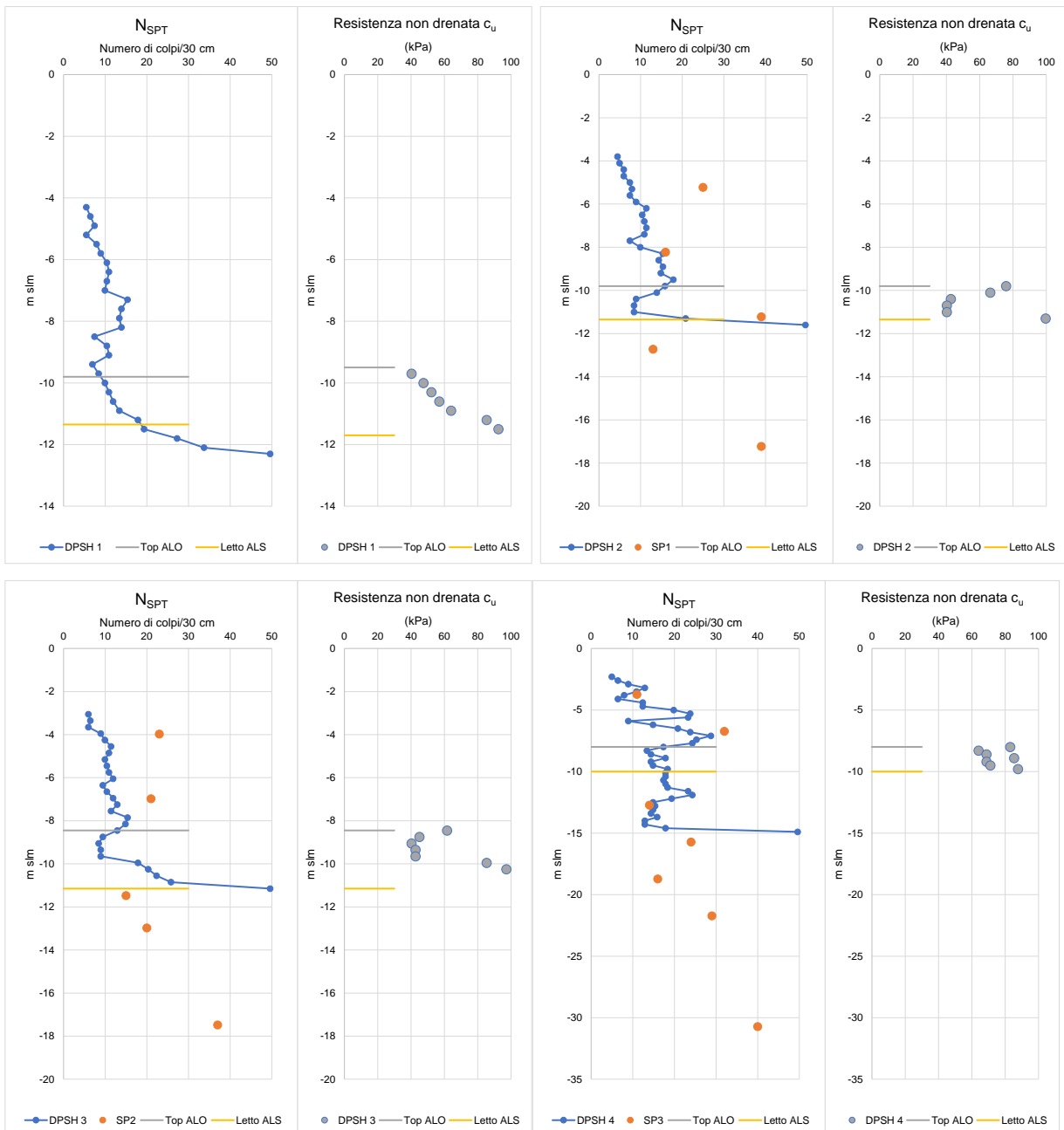


Figura 3.8: Prove SPT e DPSH lungo lo sporgente



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
 Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
 CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
 Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
 CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
 Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
 Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

Argille limose sabbiose e sabbie limose argillose (D1)

La buona consistenza che contraddistingue tali termini è legata ad un marcato grado di sovraconsolidazione più pronunciato nei tratti superficiali, oltre alla presenza di significative frazioni sabbiose e grumi concrezionali che ne conferiscono a tratti una pseudo-cementazione.

In particolare, i valori del peso per unità di volume γ tendono ad aumentare con la profondità e sono compresi tra i 19.5 e 21 kN/m³ circa, mediamente a 20 kN/m³.

Le prove di identificazione e classifica hanno confermato anche in questo caso una relazione tra composizione granulometrica e “plasticità”: la maggior parte dei campioni dell’unità “ALS” si pone in un range che rientra nel campo delle cosiddette “argille normali” (classifica USCS: CL-ML) a medio-bassa plasticità.

I caratteri deposizionali conferiscono a tali termini come accennato un certo livello di sovraconsolidazione variabile con la profondità. In particolare, dalle prove edometriche sono stati ottenuti valori di OCR per lo più compresi tra 2 e 3.

Per quanto riguarda le caratteristiche di compressibilità, le caratteristiche di plasticità si riflettono anche sui valori dell’indice di compressibilità C_c e C_s ottenuti dalle prove edometriche che sono risultati per lo più compresi tra 0.09÷0.13 e 0.02÷0.03 e sui corrispondenti moduli edometrici E'_{ed} che nell’ambito del campo di pressioni di interesse per il rilevato di futura costruzione sono compresi tra i 6-7 MPa.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate, considerati i caratteri di sovraconsolidazione attribuibili ai terreni, possono mediamente essere attribuiti valori espressi da un valore della coesione efficace, dell’ordine dei 5-15 kPa, ed un valore corrispondente dell’angolo di resistenza al taglio Φ' compreso tra i 26° ed i 30°. Nelle verifiche riportate sono stati in particolare considerati valori intermedi corrispondenti confermati da una prova di taglio diretto ad un valore della coesione efficace $c' = 5$ kPa e di $\Phi' = 28^\circ$. Nel caso in cui sia ragionevole fare affidamento a condizioni non drenate, la resistenza al taglio c_u è attesa compresa tra 50 e 100 kPa.

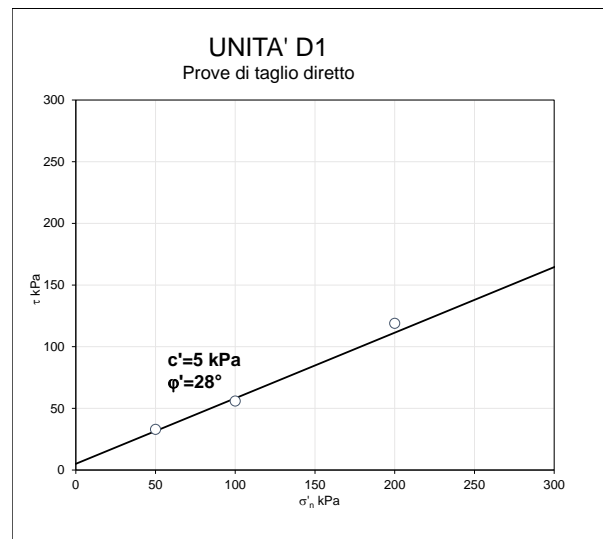


Figura 3.9: Prove di taglio diretto

Complessi sabbiosi-argillosi basali (SL-LAS, Sc e Ac)

Per quanto riguarda gli altri complessi stratigrafici, le prove, soprattutto di classificazione di laboratorio, si riferiscono prevalentemente ai limi sabbiosi e le sabbie limose argillose appartenenti al complesso “SL – LAS” dell’unità E. In questo caso, l’estrema variabilità di costituzione che la caratterizza ha consigliato di assumere parametri medi di comportamento per l’intero complesso, tenendo prudenzialmente in conto della locale presenza di livelli argillosi nella scelta dei parametri di riferimento. Un analogo approccio è stato seguito anche per i terreni sabbioso-limosi-argillosi ricadenti nelle formazioni F1 e G. Entrambi i complessi E, F e G non saranno comunque direttamente interessati dalle opere.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

Parametri geotecnici di riferimento

Sulla base delle elaborazioni eseguite, nelle successive modellazioni ai vari complessi prevalentemente sabbiosi sono stati quindi attribuiti i seguenti parametri geotecnici di riferimento:

Tabella 3.3 – Parametri geotecnici di riferimento terreni prevalentemente sabbiosi

| Termini | Unità | γ (kN/m ³) | c' (kPa) | Φ' (°) | E' (MPa) | Eur/E' |
|---------|-------|-------------------------------|------------|-------------|------------|--------|
| SL | C | 17.5 | 0 | 32 | 7 | 3 |
| SLg | D2 | 20 | 0 | 35 | 14-20 | 2.5 |
| Sc | F/F1 | 18-20 | 0-5 | 28-35 | 25-50 | 2.5 |

In modo del tutto analogo per i termini prevalentemente coesivi sono stati attribuiti i seguenti parametri geotecnici di riferimento:

Tabella 3.4 – Parametri geotecnici di riferimento terreni coesivi

| Termini | γ (KN/m ³) | OCR | c' (kPa) | Φ' (°) | c_u (kPa) | E' (MPa) | Eur/E' | Cc | Eed (MPa) |
|---------|-------------------------------|-----|------------|-------------|-------------|------------|--------|-----------|-----------|
| C1 | 18-20 | 1 | 0 | 20 | 25-40 | 1.5 | 6 | 0.15-0.35 | 1.3-2.5 |
| D1 | 20 | 2-3 | 5 | 28 | 50-100 | 6.5 | 3.5 | 0.1-0.15 | 6-7 |
| E | 17.5-18.5 | 1 | 0-10 | 26-30 | - | 20-25 | 2.5-4 | - | - |
| G | 20.0 | >1 | 20 | 27 | 120-200 | 40-60 | 50-70 | 0.15 | 9-12 |

I valori dei moduli in condizioni di scarico-ricarico E_{ur} rappresentano i moduli operativi E'_{op} da impiegare per le analisi dei palancolati. Questi sono stati ottenuti a partire dai assunti moduli iniziali a piccole deformazioni E_0 ricavati dal modulo di taglio G_0 stimato dalle prove sismiche attraverso la nota formulazione: $E_0 = 2 \times (1 + \nu')$ x G_0 . Considerando che coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità imposti dalla normativa vigente sono tali per cui normalmente le deformazioni indotte risultano relativamente contenute, dell'ordine di $1.0 \times 10^{-3} \div 5.0 \times 10^{-3}$, il modulo operativo può essere assunto pari a circa $E'_{op} = (1/3 \div 1/5) \times E_0$.

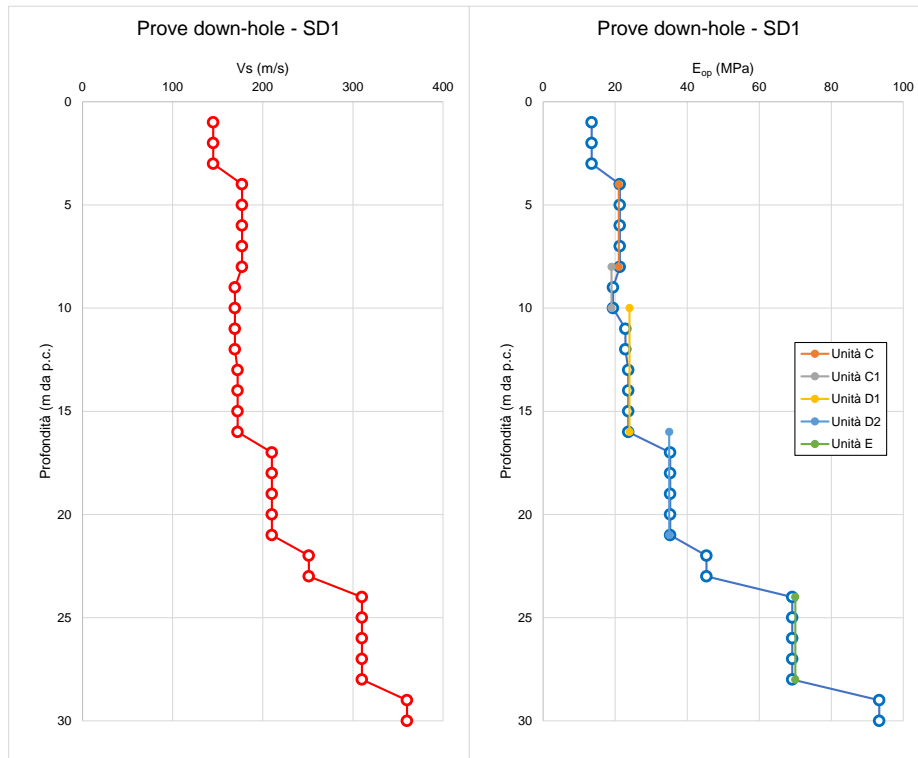


Figura 3.10: Interpretazione prove sismiche – sondaggio SD1

Materiali di riempimento. Per la realizzazione dei rinterri del nuovo molo è previsto l'impiego di materiale inerte di buone caratteristiche, riconducibile a quelle di un tout-venant di cava, cui possono essere attribuiti i seguenti parametri geotecnici medi: peso dell'unità di volume $\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c' = 0$, angolo di resistenza al taglio $\Phi' = 40^\circ$. Nelle analisi è stato attribuito al tout-venant un modulo di compressibilità iniziale E' medio pari a 30 MPa in funzione del buon grado di addensamento del materiale conseguente alle modalità della sua collocazione in opera.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

4 Caratterizzazione sismica del territorio

In accordo con la vigente normativa, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Come noto, la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R . L’accelerazione orizzontale attesa a_g viene ricavata dalla tabella in allegato alle Norme Tecniche per le Costruzioni o dai dati dell’INGV a partire dalla conoscenza delle coordinate geografiche del sito in esame e dal periodo di ritorno dell’azione sismica T_r . Interpolando i valori dei parametri spettrali dei 4 punti del reticolo all’interno del quale si trova il sito in questione, si ottengono una serie di valori, associati ai diversi periodi di ritorno. Considerando che la vita nominale delle opere a mare (V_N) è pari a 50 anni e che il coefficiente d’uso C_U è pari a 1.0, si ha quale periodo di riferimento per l’azione sismica: $V_R = C_U \cdot V_N = 50$ anni. Il periodo di ritorno dell’azione sismica si ricava con la seguente:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

dove P_{VR} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento che è tabellata in funzione dello stato limite considerato.

Tabella 4.1 – Probabilità superamento per i vari stati limite

| Stati Limite | | P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R |
|---------------------------|-----|--|
| Stati Limite di Esercizio | SLO | 81% |
| | SLD | 63% |
| Stati Limite Ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

Considerando la probabilità di superamento corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), si ottiene un tempo di ritorno pari a 475 anni circa. A tale

tempo di ritorno nel sito in esame corrisponde una accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido a_g pari a 0.043 circa.

Il valore massimo dell'accelerazione a_{max} è calcolato sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito attraverso la relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = S \cdot a_g$$

in cui:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica calcolato secondo la Tabella 3.2.IV del DM 17/01/18, variabile per ogni stato limite di riferimento;

S_T = coefficiente di amplificazione topografico calcolato considerando le condizioni topografiche del sito secondo Tabella 3.2.V;

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione è stata basata sui valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ definita dall'espressione (Tab. 3.2.II) ottenuti dalla prova down-hole eseguita nel sondaggio a terra SD1:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche medie dei terreni di imposta delle opere sono infine tali da ricondurre la classificazione a quella di Cat. C a cui corrisponde un $S_S = 1.50$. Il sito in esame risulta inoltre essere riconducibile alla categoria topografica T1 alla quale corrisponde un "coefficiente di amplificazione topografica" $S_T=1.0$. Il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie a_{max} risulta pertanto pari a circa 0.065 g. Per la definizione delle azioni sulle opere di sostegno costituenti il nuovo sporgente si rimanda alla relazione Calcoli delle strutture.

5 Problematiche geotecniche

Le maggiori problematiche geotecniche connesse con la realizzazione del molo sono relative ai possibili cedimenti ed alla loro evoluzione nello spazio e nel tempo. La questione assume particolare importanza per i potenziali effetti sulle opere di finitura e completamento.

Il progetto è condizionato dalla presenza del livello limoso-argilloso tenero di scadenti caratteristiche meccaniche che presuppone l'insorgere di cedimenti differenziali nei diversi settori anche procrastinati nel tempo. Aspetto questo che contrasta, tra l'altro, con l'esigenza di dover collegare in testa le pareti combinate prima di completare il riempimento del "cofferdam" e porre in esercizio il molo in tempi brevi.

A tal fine sono state adottate delle modalità costruttive tali da anticipare alla fase di costruzione una parte significativa delle deformazioni attese mediante un intervento di "precarica" del rilevato di lavoro in avanzamento.

In quanto segue si cercherà di interpretare il problema ed adattare di conseguenza le scelte progettuali e le modalità costruttive, pur nell'ambito dei limiti di approssimazione inevitabilmente insiti nella modellazione geotecnica di tali processi legati alle incertezze insite nella determinazione dei parametri riguardanti la compressibilità dei terreni e, nel caso di terreni coesivi, di quelli che regolano i processi lenti di consolidazione.

6 Verifiche di stabilità

Come anticipato in premessa, le verifiche di stabilità delle opere a mare sono state riferite ai criteri propri delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/18 per cui per ogni condizione di stato limite (SLU) deve risultare rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione definito dalle relazioni seguenti:

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali, distinti ed alternativi.

Il valore di progetto delle azioni E_d è calcolata considerando diversi valori di coefficienti parziali da applicare ai carichi permanenti strutturali e non ed ad opportune combinazioni di carichi variabili. Per il calcolo della resistenza di progetto R_d i corrispondenti valori di progetto delle proprietà del terreno X_d devono essere ricavati applicando specifici coefficienti parziali dai "valori caratteristici X_k ". Infine coefficienti parziali possono essere applicati ai valori di resistenza del sistema in funzione della tipologia di opera geotecnica e della verifica di stabilità da effettuare (v. D.M. 17/01/18 Norme Tecniche per le costruzioni Capitoli 6 e 7.11).

6.1 Verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il consolidato metodo dell'equilibrio limite di "Bishop semplificato", secondo il quale il coefficiente di sicurezza risulta dalla seguente espressione:

$$FS = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + \left(\frac{N_i}{\cos \alpha_i} - u_i b_i \right) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \operatorname{sen} \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{FS} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione n è il numero delle strisce secondo le quali viene suddiviso il volume di terreno potenzialmente instabile, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche geotecniche del terreno lungo la base della striscia ed u_i è il corrispondente valore della pressione neutra.

Con l'ausilio di un programma di calcolo automatico, sono state indagate numerose condizioni limiti di equilibrio con riferimento a diversi potenziali cinematismi di rottura profondi e superficiali passanti per il piede dei rilevati in tout venant.

Le condizioni di stabilità globale sono state riferite alle condizioni stratigrafiche più sfavorevoli attribuendo ai diversi strati di terreno interessati i corrispondenti parametri geotecnici espressi in termini di tensioni totali (verifiche a "breve termine") e tensioni efficaci (verifiche di "lungo termine").

In particolare nel caso dello sporgente le verifiche sono state riferite al caso più gravoso costituito dal rilevato di precarica spinto fino a quota +2.50 m s.m. Nei corrispondenti modelli di calcolo è stato possibile considerare l'azione stabilizzante fornita dal geotessuto basale posto al contatto tra rilevato in t.v. e terreni naturali di imposta, simulandone l'effettiva azione esplicita in direzione longitudinale opportunamente ridotta in modo da risultare sistematicamente sostenibile dai teli in TNT. Per quanto riguarda il rilevato nel settore di riva le verifiche sono state eseguite con riferimento alla sezione trasversale S1 corrispondente ai fondali più profondi, -2.0 m s.m.



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

Per ciascuna superficie di rottura analizzata ed interagente con i rinforzi, il codice SLOPE/W ha quindi fornito il valore dell'azione di trazione richiesta per garantire il grado di sicurezza richiesto dalla norma.

Riferendo gli esiti delle modellazioni alla combinazione A2+M2+R2 così come previsto dal D.M. 18 ed alle sole condizioni statiche, trattandosi di opere provvisoriale, ed assumendo un valore di $\gamma_R=1.10$ in tutti i casi sono risultate condizioni di stabilità di insieme accettabili identificate da valori di $R_d/E_d > 1.0$.

Tabella 6.1 – Risultati verifiche di stabilità globale

| Opera | Fase | S.d.s. circolari | FS,min (parametri GEO ridotti M2) | A2+M2+R2 |
|--------------------|-------------|-------------------|--------------------------------------|-----------|
| | | | | R_d/E_d |
| Rilevato sporgente | Costruttiva | Superficiale l.t. | 1.125 | 1.02 |
| Rilevato sporgente | Costruttiva | Profonda b.t. | 1.463 | 1.33 |
| Rilevato di riva | Costruttiva | Superficiale | 1.156 | 1.05 |



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

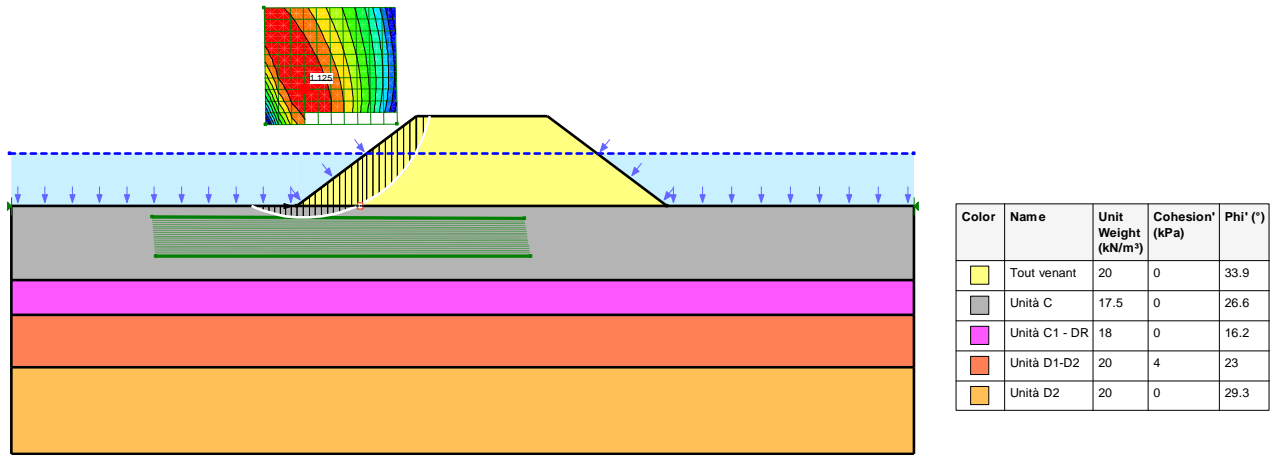


Figura 6.1: Verifiche di stabilità rilevato sporgente – sds superficiali

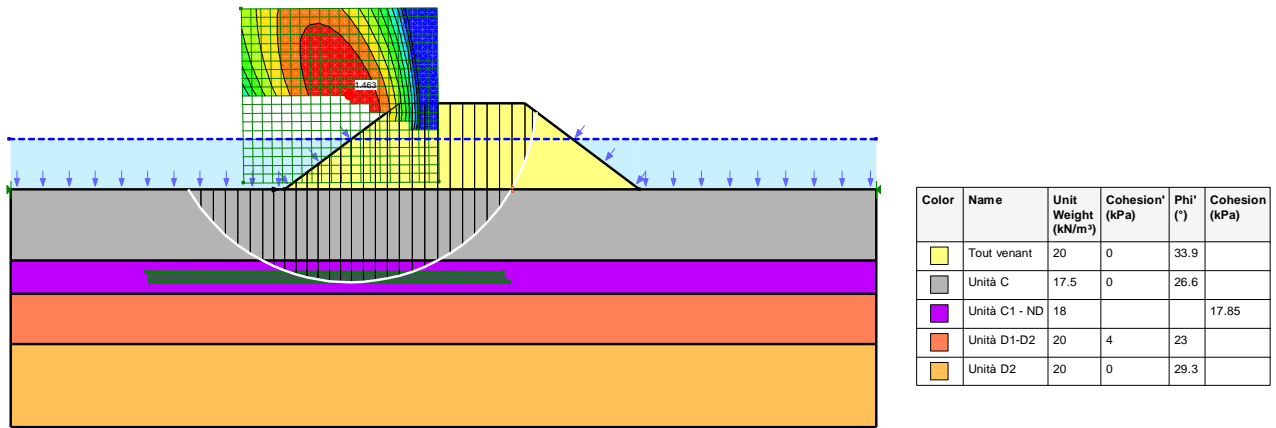


Figura 6.2: Verifiche di stabilità rilevato sporgente – sds profonde

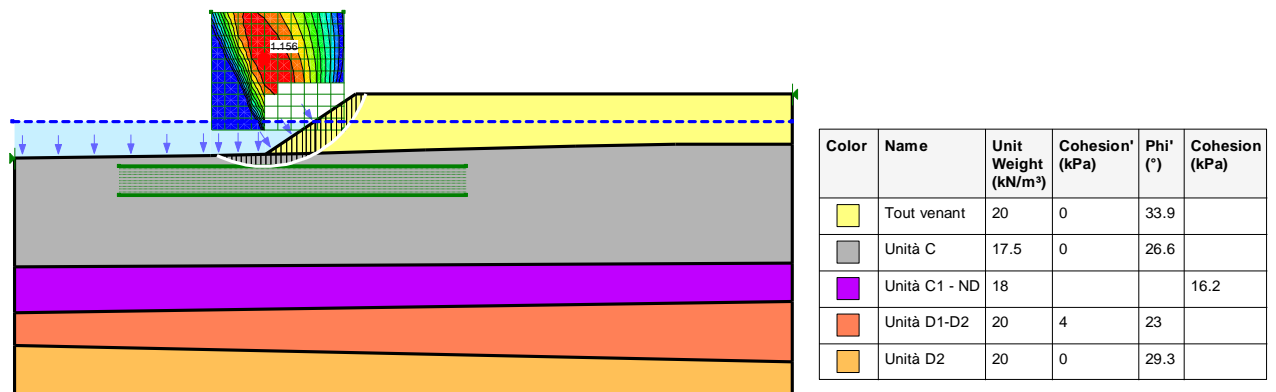


Figura 6.3: Verifiche di stabilità rilevato riva – sds superficiali

7 Analisi dei cedimenti I Sporgente

In quanto segue si è proceduto a valutare i cedimenti teorici medi attesi lungo il molo per effetto dei sovraccarichi di progetto e la loro evoluzione nel tempo.

Uno specifico studio ha in particolare riguardato la possibilità di adottare un intervento di “precarica” sul rilevato di lavoro in avanzamento proprio al fine di anticipare il decorso dei cedimenti nel tempo. Questo è effettivamente, almeno in linea teorica, un modo per consentire una significativa accelerazione del processo alla luce delle condizioni idrauliche al contorno presenti.

Nel caso specifico la precarica, a causa di esigenze di natura pratica, potrà consentire al massimo la collocazione di un strato aggiuntivo di 1.5 m di spessore proveniente da cave di apporto che, rispetto alla quota finale del riempimento di +1.0 m s.m, costituisce un sovraccarico dell'ordine di 30 kPa.

Inoltre, alla luce delle scadenti caratteristiche dei terreni di imposta, al fine di evitare problemi di instabilità locali, tale strato dovrà essere realizzato per strati continui su tutta l'impronta del rilevato per settori di estensione longitudinale pari a circa 50 m.

L'intervento di precarica, considerate le esigenze operative del molo, potrà essere applicata per un tempo limitato dell'ordine del mese. In queste ipotesi, la pratica incidenza sul decorso dei cedimenti nel tempo è comunque da ritenere significativa grazie ai limitati “percorsi di drenaggio”, nell'ordine al più del metro, che caratterizzano i livelli limo-argillosi teneri maggiormente cedevoli.

Un ulteriore significativo utile effetto della precarica è inoltre quello di far “anticipare” anche i cedimenti di tipo immediato dovuti ai sovraccarichi di esercizio, che comunque risultano una modesta aliquota dei cedimenti totali attesi.

In tutti i casi è da prevedere come il manifestarsi dei cedimenti di insieme che subisce il terreno di imposta nel suo insieme per effetto del sovraccarico costituito dalla precarica, determineranno un aumento del volume di materiale complessivo necessario al completamento del molo fino a quota +1.0 m s.m.

7.1 Metodologia di calcolo

Alla luce delle tensioni di interesse per il rilevato in avanzamento sia per i terreni sabbiosi di imposta (unità C) che per quelli limosi-argillosi sovraconsolidati (unità D1) sottostanti sono da attendersi cedimenti prevalentemente di tipo immediato w_0 contestualmente alla diretta applicazione dei carichi. In questi casi una stima dei cedimenti attesi può essere basata sulla teoria dell'elasticità sulla base dei moduli E' precedentemente stimati, sommando i contributi degli strati considerati:

$$s_{el} = \sum_i \Delta s_{el,i}$$

dove s_{el} sono i cedimenti immediati dello strato i -esimo sono calcolati mediante la nota legge di Hooke:

$$\Delta s_{el,i} = \frac{\Delta \sigma_{mi} - \nu_i \cdot (\Delta \sigma_{xi} + \Delta \sigma_{yi})}{E'} \cdot \Delta z_i$$

Per il livello intermedio di argille limose organiche ALO i cedimenti avverranno in parte contestualmente all'applicazione dei carichi, per deformazioni a volume costante (cedimento immediato s_{el}) e, soprattutto, nel tempo, con il progressivo trasferimento del carico dalla fase fluida allo scheletro solido (cedimento di consolidazione s_c), processo la cui velocità nel tempo è legata principalmente al processo di smaltimento della sovrappressioni interstiziali a sua volta regolato dalla conducibilità idraulica del materiale e dalle cosiddette "condizioni di drenaggio" (processo di consolidazione).

Trattandosi come accennato di terreni normalconsolidati, il cedimento di consolidazione s_c può essere valutato come segue:

$$s_c = \frac{h_0}{(1 + e_0)} \left[c_c \times \log \left(\frac{\sigma'_m + \Delta \sigma}{\sigma'_m} \right) \right] = CR \left[h_0 \times \log \left(\frac{\sigma'_m + \Delta \sigma}{\sigma'_m} \right) \right]$$

essendo:

- c_c = coefficiente di compressibilità, pari a 0.36
- CR = coefficiente di compressione nel campo vergine
- σ'_m = pressione verticale efficace in mezzeria allo strato considerato.

Ad un generico tempo t il cedimento s è pari a:

$$s = s(t) = s_{el} + U \cdot s_c$$



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

dove U esprime il grado di consolidazione e varia nel tempo fra 0 e 1. Il processo di consolidazione, in condizioni al contorno semplici, può essere rappresentato dalla nota teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi basata sulla soluzione della:

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2}$$

Nel caso specifico è stata applicata la soluzione dell'equazione di Terzaghi ammettendo una "isocrona" iniziale di forma rettangolare, corrispondente a quella di due contorni drenanti in sommità ed alla base. In questo modo è possibile risolvere l'equazione adottando una relazione (Janbu et al., 1956) che rappresenta i valori del grado di consolidazione U (%) definito come il rapporto tra il cedimento al tempo t e il cedimento finale, in funzione di un fattore di tempo adimensionale T_v dato dalla relazione:

$$U = (4 T_v / \pi)^{0.5} [1 + (4 T_v / \pi)^{2.8}]^{-0.179}$$

Per il calcolo di T_v è stato utilizzato il valore del coefficiente di consolidazione c_v desunto dalle prove edometriche disponibili. Le espressioni analitiche che legano il fattore tempo al grado di consolidazione medio sono:

$$U_m(\%) = \left(\frac{4 \cdot T_v}{\pi} \right)^{0.5} \left[1 + \left(\frac{4 \cdot T_v}{\pi} \right)^{2.8} \right]^{-0.179}$$

7.2 Previsione dei cedimenti in assenza di interventi

Per la determinazione del sovraccarico si è ipotizzato un peso di volume dei materiali di rilevato pari a $\gamma=19.5 \text{ kN/m}^3$ all'asciutto e $\gamma_{\text{sat}}=20 \text{ kN/m}^3$ in condizioni sature.

Considerando prudenzialmente un'altezza media iniziale del rilevato di lavoro pari a 4.5 m, ovvero esteso ad una quota di +1.0 rispetto al Imm con fondali iniziali mediamente pari a -3.5 m s.m, in tali condizioni il sovraccarico trasmesso ai terreni di imposta è pari a $1.0 \text{ m} \times 19.5 \text{ kN/m}^3 + 3.5 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \approx 55 \text{ kPa}$.

Assumendo uno spessore compressibile pari a $H_0=20 \text{ m}$ pari allo spessore dei terreni appartenenti alle unità C, C1, D1 e D2, nell'ipotesi che D1 mantenga un sostanziale stato di sovraconsolidazione e che C1 sia descritto da un valore del modulo E' ottenuto direttamente dal modulo edometrico cautelativamente stimato in precedenza attraverso la nota correlazione:

$$E_{\text{oed}} = \frac{(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)} E'$$



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

sotto tali ipotesi si ottiene un cedimento totale pari a circa $s_{max}=21$ cm (Figura 7.2).

Di questo, il cedimento di consolidazione s_c competente ai soli limi argillosi organici (ALO) risulta predominante e pari a circa 16.5 cm, corrispondente al 75-80% del cedimento massimo teorico.

Per quanto riguarda il decorso dei cedimenti nel tempo, assumendo come lunghezza del percorso di drenaggio h_{dr} un valore prudenzialmente pari a quello massimo riscontrato dai sondaggi e dalle prove penetrometriche eseguite sull'intero molo pari a circa 1.4 m, dalle analisi risulterebbero tempi per uno smaltimento totale dei cedimenti dell'ordine di 2 mesi; in presenza di spessori dei limi inferiori, evidentemente sia l'entità dei cedimenti che i tempi di consolidazione potranno risultare corrispondentemente inferiori.

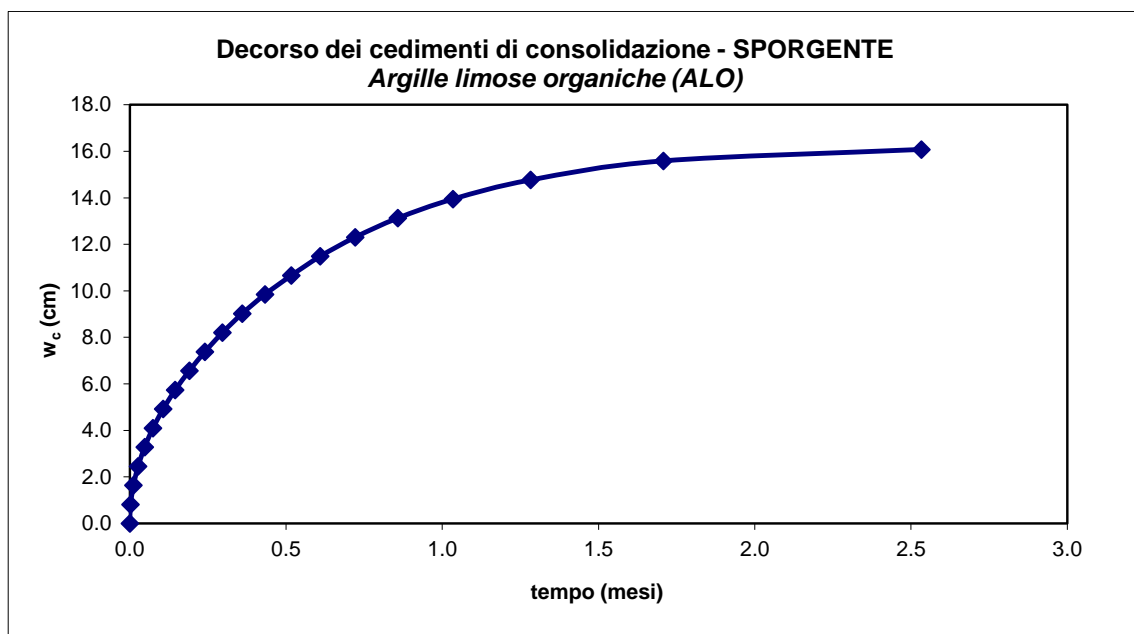


Figura 7.1: Curva consolidazione rilevato in assenza di interventi



Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI)
Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com
CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1



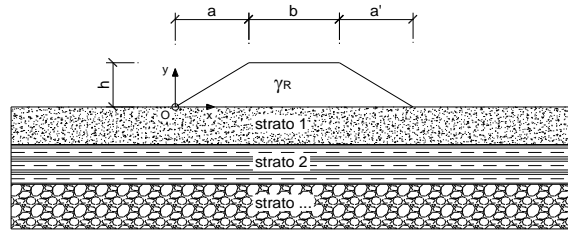
Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI)
Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu
CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1



MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma
Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it
Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008

CEDIMENTI INDOTTI DAL RILEVATO DI LAVORO

LAVORO: SEZIONE SP2



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato): 4.80 (m)
 a (larghezza scarpata sinistra): 7.95 (m)
 a' (larghezza scarpata destra): 7.95 (m)
 b (larghezza coronamento del rilevato): 8.70 (m)
 γ_{Req} (peso equivalente di unità di volume del rilevato): 12.57 (kN/m³)

Sommità rilevato: 1.30 m slm
 Fondale: -3.50 m slm

γ_R : 19.50 (peso di unità di volume del rilevato)
 $\gamma_{R,sat}$: 20.00 (peso di unità di volume del rilevato saturato)

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5): 5 (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{mp}$: 5 (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)

Zw (Profondità della falda): 0.00 (m)
 Cedimento massimo: 20.78 (cm)

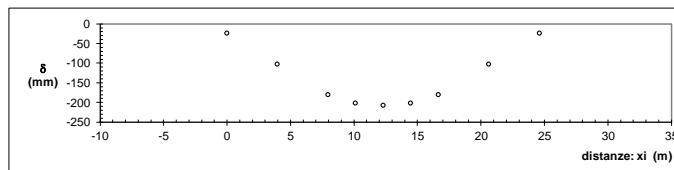
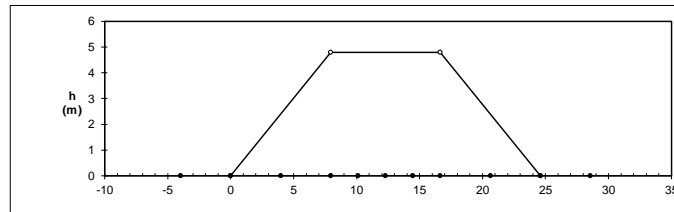
| Strato (n) | Z _{zstate} (m) | Z _{zrate} (m) | Spessore (m) | $\Delta\sigma_m$ (m) | E (Mpa) | v (-) | φ' (°) | γ (kN/m ³) | terreno |
|------------|-------------------------|------------------------|--------------|----------------------|---------|-------|----------------|-------------------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 5.70 | 5.70 | 0.5 | 7.0 | 0.30 | 32.0 | 17.50 | Unità C |
| 2 | 5.70 | 8.00 | 2.30 | 0.5 | 0.6 | 0.40 | 20.0 | 18.00 | Unità C1 |
| 3 | 8.00 | 11.50 | 3.50 | 0.5 | 23.0 | 0.30 | 28.0 | 20.00 | Unità D1-D2 |
| 4 | 11.50 | 17.30 | 5.80 | 0.5 | 15.0 | 0.30 | 35.0 | 20.00 | Unità D2 |
| 5 | 17.30 | 27.00 | 9.70 | 0.5 | 20.0 | 0.30 | 28.0 | 20.00 | Unità E |

ASCISSE DI CALCOLO

| x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | x11 |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) |
| -3.98 | 0.00 | 3.98 | 7.95 | 10.13 | 12.30 | 14.48 | 16.65 | 20.63 | 24.60 | 28.58 |

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

| x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | x11 |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) |
| -3.98 | 0.00 | 3.98 | 7.95 | 10.13 | 12.30 | 14.48 | 16.65 | 20.63 | 24.60 | 28.58 |

CEDIMENTI

| δ_1 | δ_2 | δ_3 | δ_4 | δ_5 | δ_6 | δ_7 | δ_8 | δ_9 | δ_{10} | δ_{11} |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|
| (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) |
| 0.80 | -2.44 | -10.28 | -18.08 | -20.16 | -20.78 | -20.16 | -18.08 | -10.28 | -2.44 | 0.80 |

— M. Mancina, R. Nori, P. Jasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

Figura 7.2: Calcolo cedimenti teorici rilevato di lavoro in assenza di interventi

| | | | |
|---|--|--|--|
| | Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI) Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1 | | Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI) Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1 |
| | | | |
| MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008 | | | |

7.3 Previsione dei cedimenti per effetto del consolidamento mediante precarica

L'intervento di consolidamento previsto per il nuovo molo come accennato prevede la collocazione di un strato di spessore aggiuntivo di tout venant pari a 1.5 m.

La disposizione di tale strato dovrà essere realizzato con modalità e caratteristiche tali da garantire il manifestarsi di almeno il 90-95% dei cedimenti altrimenti attesi in sua assenza, preliminarmente imposti in 1 mese.

La precarica garantisce un sovraccarico dell'ordine di 30 kPa in funzione delle caratteristiche di addensamento e costipamento. Considerando un'altezza media totale del rilevato pari a 6 m, con sommità posta ad una quota di +2.5 rispetto al Imm e nelle stesse ipotesi di fondali iniziali pari a -3.5 m s.m., il sovraccarico trasmesso in queste condizioni è pari a $2.5 \text{ m} \times 19.5 \text{ kN/m}^3 + 3.5 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 \approx 84 \text{ kPa}$.

Confermando le stesse proprietà e condizioni al contorno precedentemente assunte, si ottiene un cedimento totale pari a circa $s_{\text{max}}=28 \text{ cm}$. Di questo il cedimento di consolidazione massimo teorico competente allo strato compressibile ALO risulta circa $s_c \approx 21 \text{ cm}$ (Figura 7.4).

In tali condizioni, sottoponendo a precarico il rilevato per un tempo di 25-30 gg, le curve di consolidazione prevedono un grado di consolidazione medio U^* del 75% a cui corrisponde un cedimento scontato $s_c^* = s_c / U^* \approx 15-16 \text{ cm}$, che rappresenta proprio il 95% del cedimento massimo teorico atteso per il rilevato di lavoro in condizioni ordinarie.

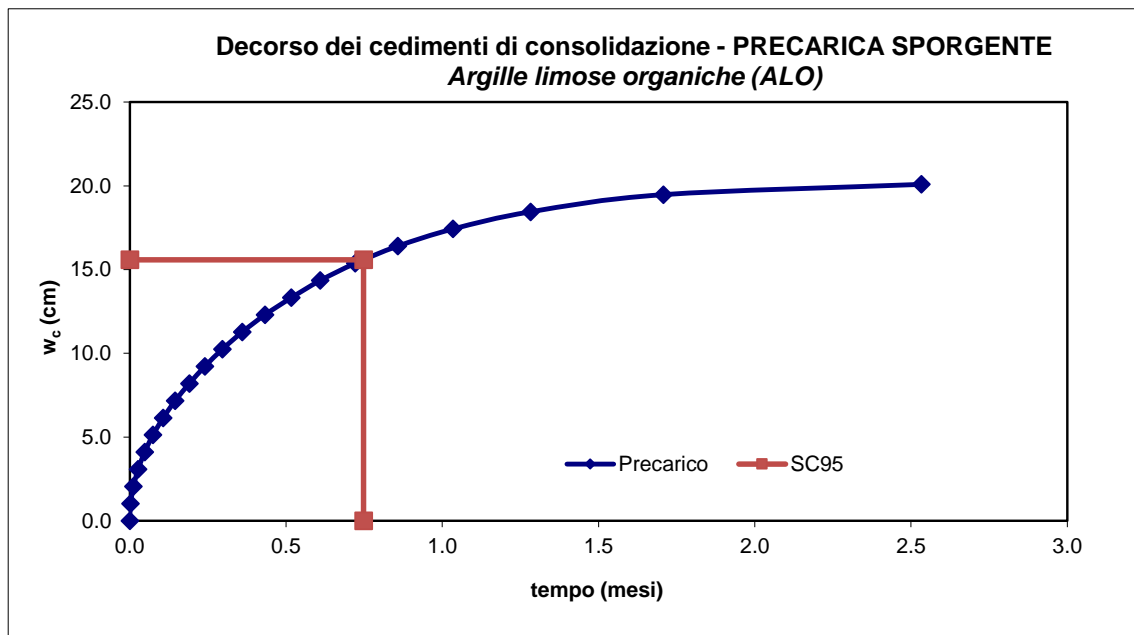
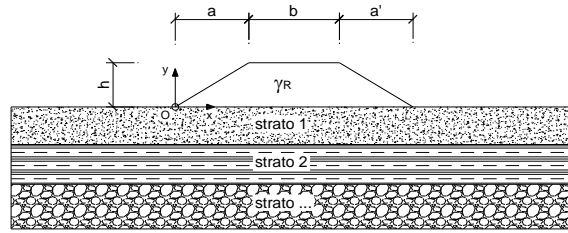


Figura 7.3: Curva consolidazione rilevato con precarica

In conclusione, nell'ipotesi di realizzare una precarica di 1.50 m di altezza, è possibile ottenere il completo smaltimento delle sovrappressioni neutre in 30 gg.

CEDIMENTI INDOTTI DAL RILEVATO DI LAVORO - PRECARICO +2.5 m slm

LAVORO: SEZIONE SP2



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

| | | | |
|--|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| h (altezza del rilevato): | 6.00 (m) | Sommità rilevato | 2.50 m slm |
| a (larghezza scarpata sinistra): | 7.95 (m) | Fondale | -3.50 m slm |
| a' (larghezza scarpata destra): | 7.95 (m) | | |
| b (larghezza coronamento del rilevato): | 8.70 (m) | | |
| γ _{Req} (peso equivalente di unità di volume del rilevato): | 13.96 (kN/m ³) | γ _R | 19.50 |
| | | γ _{R,sat} | 20.00 (peso di unità di volume del) |

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

| | |
|---|-------|
| n (numero degli strati) (max 5): | 5 (-) |
| Δσ _m /σ _{mp0} : | 5 (%) |
| (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media) | |

| | |
|--|------------|
| Z _w (Profondità della falda): | 0.00 (m) |
| Cedimento massimo | 28.15 (cm) |

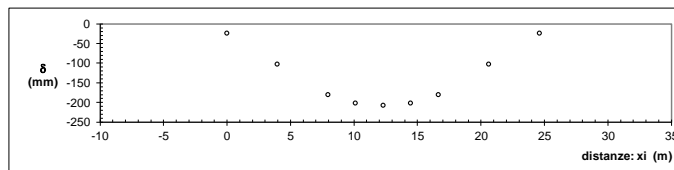
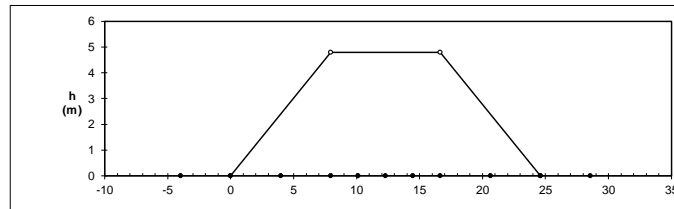
| Strato (n) | Z _{zstate} (m) | Z _{zstate} (m) | Spessore (m) | Δ _{zj} (m) | E (Mpa) | v (-) | φ' (°) | γ (kN/m ³) | terreno |
|------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|---------|-------|--------|------------------------|-------------|
| 1 | 0.00 | 5.70 | 5.70 | 0.5 | 7.0 | 0.30 | 32.0 | 17.50 | Unità C |
| 2 | 5.70 | 8.00 | 2.30 | 0.5 | 0.6 | 0.40 | 20.0 | 18.00 | Unità C1 |
| 3 | 8.00 | 11.50 | 3.50 | 0.5 | 23.0 | 0.30 | 28.0 | 20.00 | Unità D1-D2 |
| 4 | 11.50 | 17.30 | 5.80 | 0.5 | 15.0 | 0.30 | 35.0 | 20.00 | Unità D2 |
| 5 | 17.30 | 27.00 | 9.70 | 0.5 | 20.0 | 0.30 | 28.0 | 20.00 | Unità E |

ASCISSE DI CALCOLO

| x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | x11 |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) |
| -3.98 | 0.00 | 3.98 | 7.95 | 10.13 | 12.30 | 14.48 | 16.65 | 20.63 | 24.60 | 28.58 |

(automatico)
(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

| x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | x11 |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) |
| -3.98 | 0.00 | 3.98 | 7.95 | 10.13 | 12.30 | 14.48 | 16.65 | 20.63 | 24.60 | 28.58 |

CEDIMENTI

| δ1 | δ2 | δ3 | δ4 | δ5 | δ6 | δ7 | δ8 | δ9 | δ10 | δ11 |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
| (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) |
| 0.80 | -2.44 | -10.28 | -18.08 | -20.16 | -20.78 | -20.16 | -18.08 | -10.28 | -2.44 | 0.80 |

— M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

Figura 7.4: Calcolo cedimenti teorici rilevato di precarico

| | | | |
|--|--|--|---|
| | Vicolo della Pergola, 5 - Piombino (LI) Tel. 1565881822 luciano.dellalena@gmail.com CP / P IVA 01911340493 CU M5UXCR1 | | Lungomare Marconi, 49 - Piombino (LI) Tel. 0565256739 info@amerighiengineering.eu CP / P IVA 01917970491 CU M5UXCR1 |
| | | | MODIMAR srl – Via Monte Zebio, 40 – 00195 Roma Tel. 06-32695461 r.a. – fax 06-32694629-30 e.mail: info@modimar.it Trib. roma 10250-89 – CCIAA 694252 – C.F.-P.I. 03730011008 |