

AUTORITA' PORTUALE



PORTO CANALE DI CAGLIARI AVAMPOR TO EST DISTRETTO DELLA CANTIERISTICA

PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE

Titolo elaborato:

RELAZIONE GEOTECNICA

Scala:

1 0 0 1 5 D R 0 0 3 - 0 G E O

Committente:

AUTORITA' PORTUALE
DI CAGLIARI

R.U.P.:

Dott. Ing. Sergio MURGIA

Progetto Opere a Mare:

MODIMAR s.r.l.
Prof. Ing. Alberto NOLI
Dott. Ing. Marco TARTAGLINI

Progetto Opere a Terra:

DOLMEN s.r.l.
Dott. Ing. Serafino RUBIU
Dott. Ing. Luciano BIGGIO

Geologia

Dott. Geol. Marcello GHIGLIOTTI
Studio di Inserimento Ambientale
VDP s.r.l.

Dott. Ing. Francesco VENTURA
Dott. Arch. Silvia MARTORANA

P.E.F. e Piano di Gestione
Dott. Simone TEMPESTI

Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
	15/12/2011	0	EMISSIONE	E. CAMUSI	M. TARTAGLINI	A. NOLI

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

PORTO CANALE DI CAGLIARI

AVAMPORTO EST

DISTRETTO DELLA CANTIERISTICA

PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

1. PREMESSE	3
2. INTERVENTI PREVISTI	4
2.1. Opere a mare	4
3. MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	7
3.1. Quadro ambientale e geologico di riferimento	7
3.2. Indagini eseguite	8
3.3. Schemi stratigrafici	10
3.4. Caratteristiche geotecniche dei terreni	12
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	18
5. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE	21
6. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI IMPOSTA	23
6.1. Trattamento Banchine Nord, Est e Sud	25
6.2. Trattamento Canale Interno	25
7. VERIFICHE DI STABILITÀ	26
7.1. Verifiche di stabilità dei cassoni	27

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

7.1.1.	<i>SLU (GEO) – Scorrimento sul piano di posa</i>	28
7.1.2.	<i>SLU (GEO) – Ribaltamento</i>	30
7.1.3.	<i>SLU (GEO) – Carico limite dell'insieme fondazione - terreno</i>	31
7.2.	Verifiche di stabilità globale	33
8.	PREVISIONE DEI CEDIMENTI	35
8.1.	Risultati delle analisi	37
8.2.	Risultati delle analisi – Molo Ovest	39

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

1. PREMESSE

Scopo della presente Relazione è quello di inquadrare le principali problematiche geotecniche a supporto degli indirizzi progettuali e costruttivi delle Opere Marittime del Distretto della cantieristica da realizzare nell'Avamposto Est del Porto Canale di Cagliari.

Le nuove opere si inseriscono in un quadro geologico ed ambientale complesso ed articolato quale è la fascia costiera di Cagliari, ma nell'insieme ben studiato in quanto supportato dai risultati di una specifica e mirata campagna di indagini, oltre che da dati ed esperienze derivate da opere analoghe eseguite in passato.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area in esame sono stati in particolare utilizzati i risultati della campagna di indagine di Progetto Definitivo ed estrapolati alcuni dati relativi ad una precedente campagna di indagine fatta eseguire dalla Autorità Portuale in passato.

Dall'insieme delle risultanze stratigrafiche e geotecniche è derivato un modello geotecnico del sottosuolo particolarmente complesso a causa della presenza di terreni eterogenei e dotati di scadenti caratteristiche meccaniche soprattutto in termini di compressibilità.

Per le opere a mare tale quadro comporta delicate problematiche geotecniche relative soprattutto alla verifica delle condizioni di stabilità e di sicurezza delle opere nelle varie fasi realizzative, nonché alle previsioni dei cedimenti che le opere subiranno durante la realizzazione e l'esercizio.

Uno specifico studio ha quindi riguardato la possibilità di adottare interventi di "precarica" sulla colmata della Banchina Nord proprio al fine di anticipare il decorso dei cedimenti nel tempo. Per i calcoli e verifiche strutturali delle opere di sostegno di banchina si rimanda alla specifica Relazione di calcolo di progetto.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

2. INTERVENTI PREVISTI

2.1. Opere a mare

Le diverse tipologie delle opere a mare previste in progetto sono di seguito rappresentate attraverso la ricostruzione di alcune sezioni tipo di riferimento (Fig. 1).



Figura 1. Planimetria di progetto

Banchina di riva lato Nord (Banchina di riva del Distretto). La soluzione prevede la realizzazione a mare di un rilevato di lavoro in tout-venant, il successivo riempimento delle aree retrostanti con materiali provenienti da dragaggi, l'infissione delle palancole principali e di quelle di ancoraggio con posa in opera dei tiranti e realizzazione della trave di banchina ed infine la rimozione della porzione di rilevato di lavoro posto all'esterno del muro di banchina (Fig. 2).

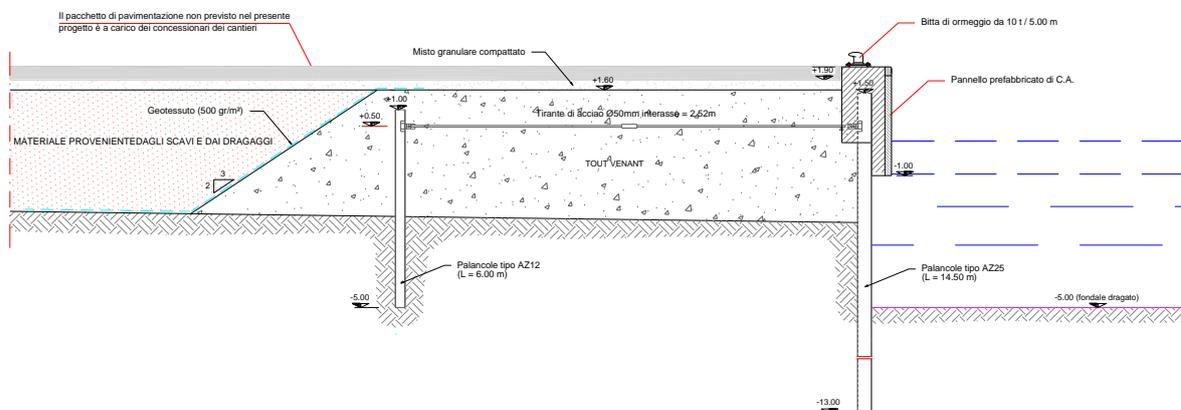


Figura 2

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

Banchina Est e Sud. Le soluzioni previste per entrambe le banchine ripercorrono sostanzialmente quelle descritte per la banchina Nord anche se in questa fase progettuale è prevista la sola realizzazione dei rilevati di lavoro (Fig. 3).

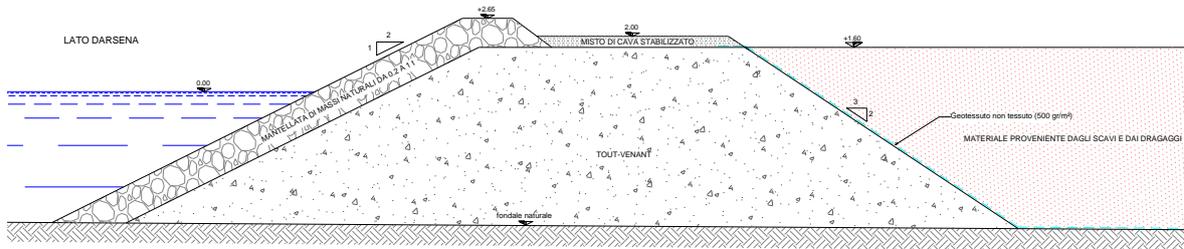


Figura 3

Molo Ovest. Il nuovo molo previsto in progetto è costituito da una scogliera con la classica sezione trapezoidale protetta da mantellate di massi naturali (Fig. 4).

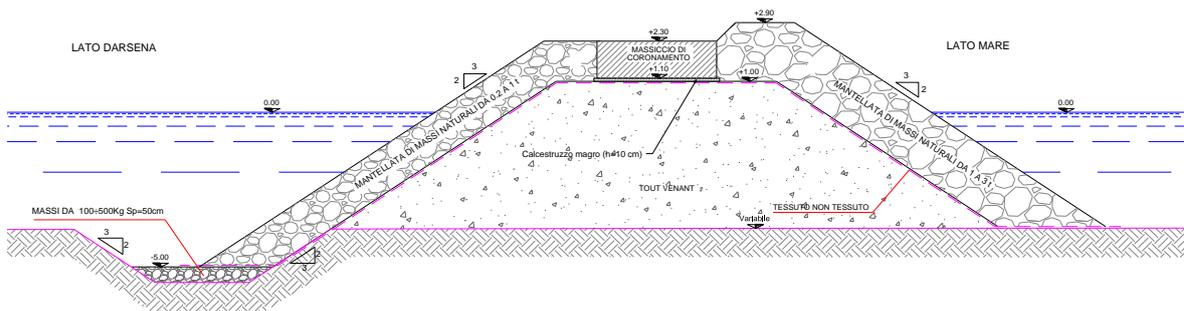


Figura 4

Apertura varco su molo guardiano esistente. Lungo il molo guardiano di levante del porto canale è prevista l'apertura di un varco di circa 80 m per la realizzazione di un accesso indipendente, che comporterà l'utilizzo di cassoni cellulari (Fig.5).

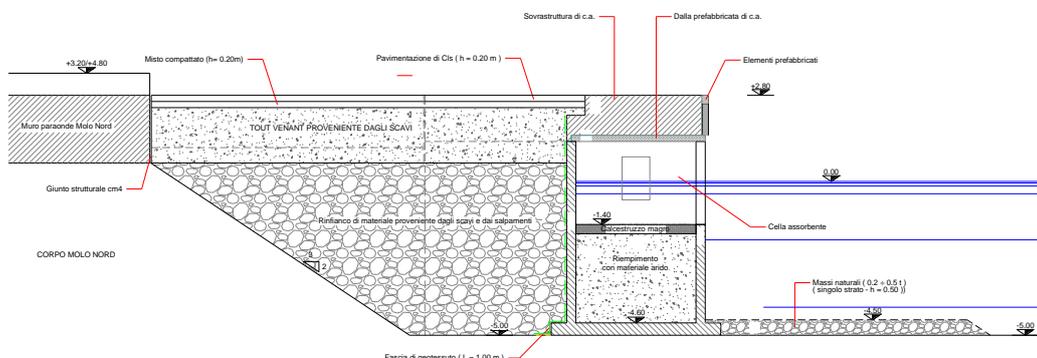


Figura 5

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

Canale interno. È prevista la realizzazione di un canale di navigazione a terra avente larghezza pari a 50 m, lunghezza 270 m con fondale dragato a quota -3,50 m s.m. (Fig. 6). Nel primo tratto (lato terra) è prevista la realizzazione di banchine con palancole (per circa 135 m), mentre nel secondo tratto (lato mare) è prevista la sagomatura delle sponde ed il rivestimento con massi naturali (per circa 146 m).

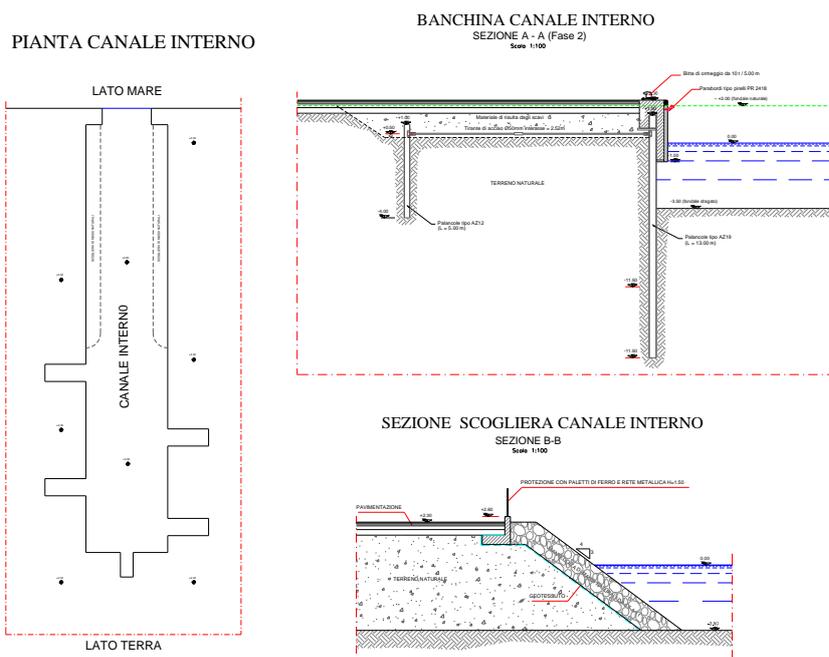


Figura 6

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

3. MODELLOZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

3.1. Quadro ambientale e geologico di riferimento

Come più compiutamente illustrato nella specifica Relazione Geologica di progetto Definitivo, la fascia costiera in cui si inserisce il Porto Canale ed in particolare del Distretto della Cantieristica in cui sono previsti gli interventi, ricade al margine Sud Ovest del Campidano meridionale in corrispondenza del bordo dello "Stagno di Cagliari".

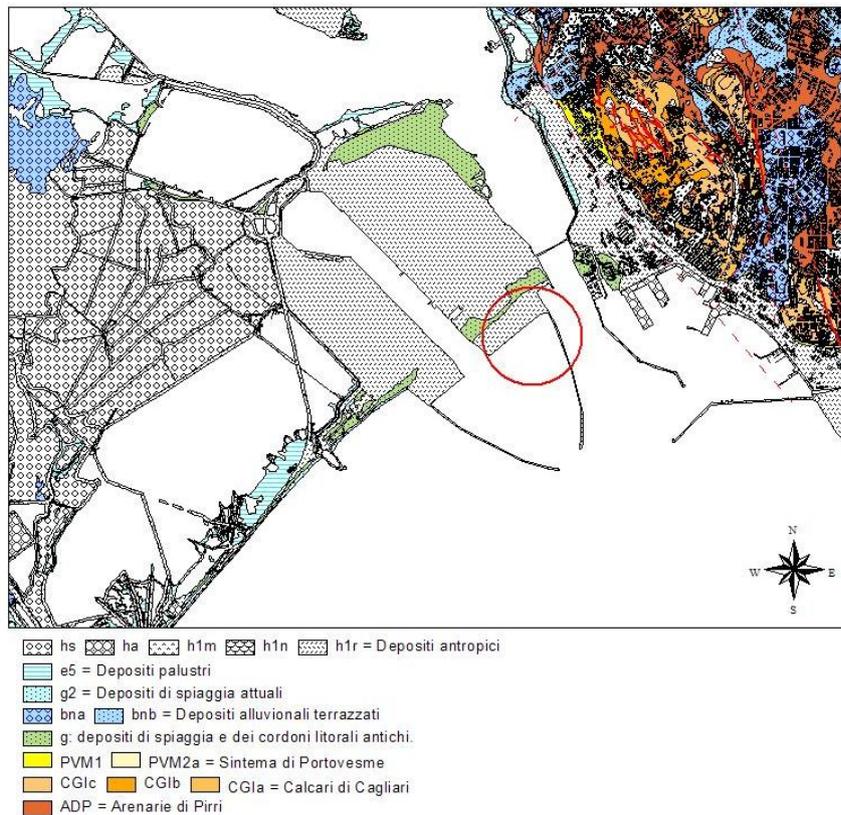


Figura 7

Tale zona, in termini geologici, è l'espressione del sistema tettonico "Horst e Graben" limitato dal Basamento cristallino e metamorfico delle montagne del Sulcis e del Sarrabus: il Campidano ha avuto origine dai processi di *rifting* che hanno interessato il Mediterraneo occidentale a partire dall'Aquitaniense-Burdigaliano (Miocene inferiore).

Le oscillazioni eustatiche del livello del mare, connesse con le variazioni climatiche di età quaternaria, hanno determinato un'alternanza di regressioni (fasi glaciali) e trasgressioni (fasi interglaciali), che hanno prodotto, rispettivamente, momenti di erosione e di deposito, ognuna delle quali avvenuta in ambienti di sedimentazione distinti.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

L'origine dello Stagno di Cagliari viene in particolare collegato alla formazione di un paleoalveo, scavato dalle acque dei fiumi Rio Clxerri e Rio Mannu, durante l'ultima fase glaciale.

La trasgressione marina successiva ha quindi determinato la deposizione di grandi spessori di sedimenti lagunari, marini e fluviali. Nella parte più profonda del bacino si rinvencono infatti sabbie e ghiaie fluviali, a cui si sovrappone un potente spessore di limi e argille nerastre con resti algali di ambiente anossico. Questa successione è ricoperta da alternanze di sabbie fini e limose, in parte detritiche, talora con livelli di ghiaia e ciottoli.

A ricoprimento della serie si trovano, infine, i terreni di riporto riconducibili al dragaggio dalla retrostante darsena (Porto Canale).

3.2. Indagini eseguite

Come accennato in premessa, l'area complessivamente interessata dalle opere è stata oggetto in passato di diverse campagne di indagine.

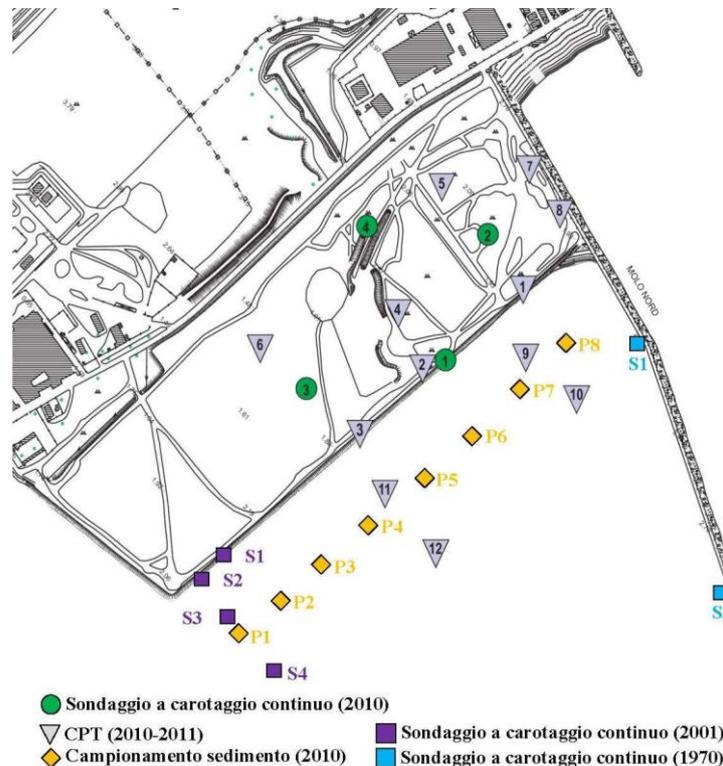


Figura 8. Planimetria indagini eseguite

In una precedente campagna di indagine fatta eseguire dalla Autorità Portuale nel 1970 nell'ambito dei lavori di approfondimento del canale di accesso dell'avamposto e del bacino

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

operativo del Porto Canale sono stati eseguiti n.2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo. Riferite alle medesime opere, nel 2001 sono stati eseguiti n. 4 sondaggi meccanici a carotaggio continuo.

Nel comprensorio interessato dalle nuove opere del Distretto della Cantieristica, nell'ambito del Progetto Definitivo sono stati infine eseguiti n. 4 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità di circa 30 m dal p.c. e n. 12 prove penetrometriche CPT spinte fino a profondità di circa 25 m dal p.c.. Durante le perforazioni sono stati prelevati complessivamente n.8 campioni su cui sono state effettuate delle prove geotecniche di laboratorio.

Nella Fig.8 è riportata l'ubicazione delle prove e dei sondaggi utilizzati per la costruzione del modello geologico 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.

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 nonché a fare previsioni sui cedimenti attesi.

C'è tuttavia da considerare che, come precedentemente accennato, le caratteristiche intrinseche delle diverse formazioni geologiche e le successive vicissitudini subite hanno conferito all'insieme dei terreni caratteri di grandi complessità stratigrafica e geotecnica. Non è completamente da escludere che, nonostante le indagini eseguite, in fase costruttiva possano emergere scostamenti locali sui rapporti stratigrafici tra i diversi complessi ma di entità comunque tale da non modificare significativamente la modellazione di riferimento a sostegno delle scelte progettuali.

Sarà comunque buona norma verificare le ipotesi di modellazione e di comportamento delle opere anche sulla base di un sistematico programma di monitoraggio e controllo essenzialmente basato sulla misura degli spostamenti indotti nelle diverse fasi costruttive.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

3.3. Schemi stratigrafici

Come precedentemente definito, i litotipi presenti nel comprensorio indagato, di età attuale o comunque recente, possono quindi essere suddivisi in relazione alla loro origine, “antropica”, “marina” o “mista”, in alternanze di livelli sabbiosi e argillosi.

In particolare, nell’area del Distretto Cantieristico la successione stratigrafica superiore risulta costituita da un livello di riporto “R” (Complesso “A”) di spessore multimetrico, che poggia direttamente su terreni a granulometria fine, ricchi in materiale vegetale, associati al fondale marino ante colmata; la serie stratigrafica locale prosegue in profondità presentando un’alternanza di argille limose a tratti sabbiose e sabbie limose a tratti ghiaiose.

Nelle aree a mare, al di là dei fanghi di deposizione attuale costituiti da limi argillosi, talvolta sabbiosi, di colore grigio chiaro caratterizzati da abbondante presenza di materiale vegetale organico “paglia marina” “LSO” (Complesso “C”), risultano presenti sabbie limose fini, talvolta medie, grigie “SL₁” (Complesso “B”) sovrapposte ad alternanze di sabbie fini limose, limi argillosi e sabbiosi, sabbie medie e grossolane più o meno ghiaiose e ghiaie di spessore ed estensione variabile da zona a zona (Complesso “D”).

I depositi superficiali, in particolare, risultano costituiti da sabbie limose con frammenti conchigliari e noduli cementati e sabbie limose argillose (“SL₂”) intercalate a livelli di argille limose talvolta intercalate da sottili livelli sabbiosi (“AS”). Tali termini risultano sovrapposti a limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (“LAS1”), caratterizzati dalla presenza di livelli, a volte in forma di lenti, più argillosi variamente intercalati a livelletti sabbio-limosi ed sabbie con ciottoli e ghiaie (“LAS2”) costituite da sabbie limose color nocciola/beige (“SL₃”) passanti a sabbie e ghiaie in matrice limosa (“SG”) con ciottoli. In profondità è presente uno strato di argille limose (Complesso “E”) consistenti di incerta continuità laterale (“AL”).

Con riferimento ai complessi stratigrafici precedentemente definiti, dall’insieme delle prove ed indagini eseguite è stato possibile far derivare i seguenti schemi stratigrafici di riferimento per le varie aree di intervento:

Banchina di riva lato Nord. Nel tratto a mare risulta sistematicamente presente uno strato di limi sabbiosi organici (LSO) variamente intercalati a banchi di sabbie fini limose (SL₁) di spessore

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

compreso tra circa 7.0 m nei pressi della attuale linea di costa e 3.0 m a mare. Al di sotto risultano poi presenti uno strato di sabbie limose (SL₂) e argille sabbiose (AS) posti al di sopra dei depositi appartenenti al complesso dei limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (LAS1 e LAS2).

Banchina di riva lato Est. Al di sotto dello strato di limi sabbiosi organici (LSO) di circa 3.0 – 4.0 m, sovrapposti a uno strato di argille sabbiose (AS). Si ritrovano poi depositi di sabbie limose (SL₂), posti al di sopra dei depositi appartenenti al complesso dei limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (LAS1 e LAS2) e ad uno strato di argilla limosa consistente (AL).

Molo lato Ovest. Superato lo strato di limi sabbiosi organici (LSO) di spessore compreso tra circa 7.5 m e 4.7 m, risultano presenti livelli di sabbie limose (SL₂) posti in sovrapposizione al complesso dei limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (LAS1 e LAS2).

In profondità si ritrovano, intercalati a quest'ultimo, uno strato di argille sabbiose (AS) e uno di argille limose consistenti (AL).

Canale di Navigazione interno. Nel tratto di canale lato mare, per il quale si prevede la realizzazione di una scogliera, si ritrovano i terreni di riporto (R) e di limi sabbiosi organici (LSO) di spessore di circa 6.0-7.0 m. Al di sotto risultano poi presenti uno strato di sabbie limose (SL₂) e alternanze di depositi appartenenti al complesso dei limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (LAS1 e LAS2), con intercalazioni di argille sabbiose (AS) verso Ovest e argille limose consistenti (AL) verso Est.

Per il tratto lato terra, per il quale è prevista la realizzazione di un palancolato, al di sotto dei terreni di riporto (R) sono presenti i limi sabbiosi organici (LSO) per spessori medi di circa 4.0 m, variabili fino a 7.0 m spostandosi da Est verso Ovest. Al di sotto risultano poi presenti uno strato di sabbie limose (SL₂) e alternanze di depositi appartenenti al complesso dei limi argillosi e sabbiosi di origine fluvio-lacustre e/o palustre (LAS1 e LAS2), con intercalazioni di argille sabbiose (AS), delimitati inferiormente dalle argille limose consistenti (AL).

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

3.4. Caratteristiche geotecniche dei terreni

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle nuove opere a mare si è fatto esplicito riferimento all'interpretazione dei risultati delle penetrometriche statiche CPT eseguite direttamente sui fondali esistenti e considerando anche gli esiti di alcune prove di laboratorio appositamente eseguite nell'ambito della più recente campagna geognostica svolta. Con riferimento ai complessi stratigrafici precedentemente definiti, sono di seguito forniti i criteri che hanno condotto alla scelta dei parametri geotecnici caratteristici dei seguenti terreni:

Complesso "A": Riporti (R)

Complesso "B": Sabbie limose grigie di ambiente dunale (SL₁)

Complesso "C": Limi sabbiosi organici (LSO)

Complesso "D": Sabbie limose grigie con frammenti conchigliari e livelli sabbiosi-limosi-argillosi (SL₂);_argille sabbiose intercalate a livelli sabbiosi (AS);_“limi argillosi sabbiosi” (LAS) costituiti da alternanze di limi argillosi e sabbie limose (LAS1) e da sabbie e ghiaie e sabbie limose nocciola (LAS2);

Complesso "E": Argille limose consistenti (AL).

Nell'ambito di tali termini si è preliminarmente proceduto a distinguere i terreni a comportamento prevalentemente granulare da quelli a comportamento coesivo.

Terreni a comportamento "granulare" - Con riferimento agli schemi stratigrafici precedentemente definiti, per i terreni per i quali è stato possibile assumere un comportamento tipicamente granulare, l'interpretazione delle prove CPT ha permesso di fornire una preliminare classificazione dei terreni in profondità per mezzo del noto abaco di Robertson e Campanella (1983) e quindi di stimare i valori della densità relativa sfruttando le correlazioni esistenti tra la resistenza alla punta q_c e stato tensionale agente alla profondità della prova.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

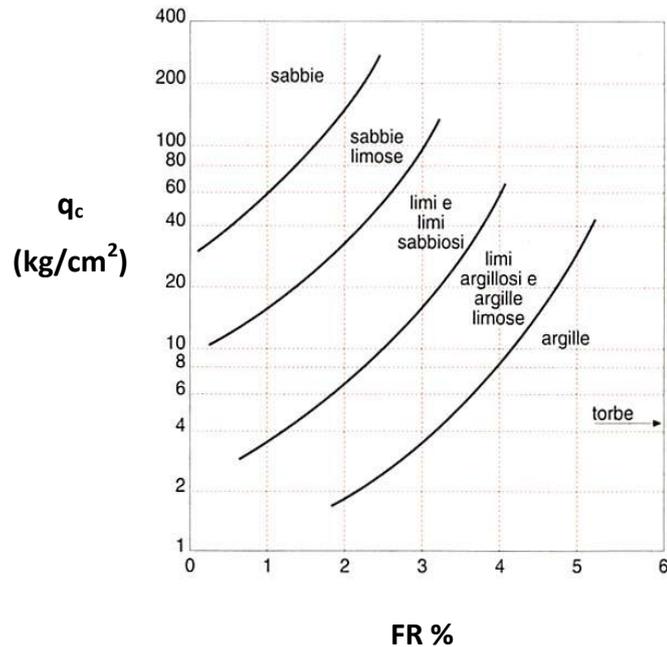


Figura 9

Nel caso in esame, alla luce dell'ampia eterogeneità e gradazione granulometrica dei terreni di imposta, si è ritenuto maggiormente rappresentativo stimare la densità relativa D_R attraverso la correlazione di Kulhawy e Maine (1990):

$$D_R (\%) = \left[\frac{q_{c1} (MPa)}{\frac{p_a}{305}} \right]^{0.5}$$

in cui la resistenza alla punta normalizzata rispetto alla pressione di riferimento ($p = p_{atm} = 100$ kPa) è pari a:

$$q_{c1} = q_c \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

Per la stima dell'angolo di resistenza al taglio φ' è stata adottata la nota correlazione di Robertson e Campanella (1983)

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[0.1 + 0.38 \log \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right) \right]$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

Terreni a comportamento "coesivo" - Per i terreni a comportamento coesivo è possibile stimare la resistenza al taglio non drenata c_u mediante la seguente relazione:

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

assumendo un valore di N_{kt} è un coefficiente assunto pari a 20.

Parametri di compressibilità. A partire dal valore della resistenza alla punta q_c è inoltre possibile fornire una stima del modulo edometrico alla profondità di prova mediante la nota correlazione di Mitchell e Gardner (1975):

$$E_{ed} = M = \alpha \cdot q_c$$

in cui il parametro correttivo " α " è scelto sulla base della tipologia di terreno derivata dalla classificazione, dal valore della q_c e, per i terreni a carattere coesivo, delle caratteristiche di plasticità preventivamente desunta dalla carta di Casagrande.

		$M = \frac{1}{m_v} = \frac{2,3 \cdot (1+e) \cdot \sigma_v}{C_c} = \alpha \cdot q_c$	
M = 4 q_c	sabbie NC	$q_c < 10$ MPa	
	M = 2 q_c + 20	sabbie NC	$50 \text{ MPa} < q_c < 10 \text{ MPa}$
M = 120 q_c	sabbie NC	$q_c > 50$ MPa	
M = 5 q_c	sabbie OC	$q_c < 50$ MPa	
	M = 250 q_c	sabbie OC	$q_c > 50$ MPa
		$M = \frac{1}{m_v} = \frac{2,3 \cdot (1+e) \cdot \sigma_v}{C_c} = \alpha \cdot q_c$	
Argille di bassa plasticità (CL)		$q_c < 0,7$ MPa $0,7 < q_c < 2,0$ MPa $q_c > 2,0$ MPa	$3 < \alpha < 8$ $2 < \alpha < 5$ $1 < \alpha < 2,5$
Limi di bassa plasticità (ML)		$q_c < 2,0$ MPa $q_c > 2,0$ MPa	$3 < \alpha < 6$ $1 < \alpha < 3$
Argille e limi di elevata plasticità (CH, MH)		$q_c < 2,0$ MPa	$2 < \alpha < 6$
Limi organici (OL)		$q_c < 1,2$ MPa	$2 < \alpha < 8$
Torbe e argille organiche (Pt, OH)		$q_c < 0,7$ MPa $50 < w^* < 100$ $100 < w < 200$ $w > 200$	$1,5 < \alpha < 4$ $1 < \alpha < 1,5$ $0,4 < \alpha < 1$

Figura 10

Il valore del modulo E' può essere ottenuto direttamente dal modulo edometrico stimato con le prove penetrometriche attraverso la nota correlazione:

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

Nel caso delle formazioni a comportamento prevalentemente granulare con caratteristiche meccaniche in progressivo miglioramento con l'aumento dello stato tensionale è stato assunto un andamento del modulo elastico di primo carico E' crescente con la profondità descritto mediante la seguente espressione generale:

$$E' = k_E \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

dove:

- $p_a = 100$ kPa pressione di riferimento (pressione atmosferica 100 kPa);
- $p' = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$ pressione media alla generica profondità;
- k_E modulo elastico corrispondente a $p' = 100$ kPa;
- n coefficiente di forma della legge compreso tra 0 e 1 ($n = 0$, legge costante con la profondità, $n = 1$ legge variabile linearmente) assunto pari a 0.5.

In alcuni casi è stato fornito un valore del modulo E' costante con la profondità.

In appendice sono sinteticamente riportati gli esiti e l'interpretazione delle prove penetrometriche eseguite direttamente a mare e lungo la linea di costa attuale.

Per i terreni a comportamento coesivo, i parametri di compressibilità espressi dall'indice dei vuoti e_0 e dai coefficienti di compressibilità C_c e di scarico C_s nonché il coefficiente di consolidazione C_v sono stati dedotti dalle prove di classificazione ed edometriche eseguite ed rappresentate in allegato.

Per permettere un confronto tra parametri di deformabilità espressi in termini di tensioni efficaci e totali, i valori di E' sono stati trasformati in E_u con riferimento alla nota relazione:

$$E_u = \frac{1.5E'}{1 + \nu'}$$

Dove, adottando un valore del coefficiente di Poisson ν' pari a 0.3, si ottiene mediamente $E_u \approx 1.1E'$. Il modulo di scarico-ricarico (E_{ur}) può essere assunto in un range compreso tra 1.5÷3 volte quello di primo carico.

Nella Tabella seguente sono forniti i parametri geotecnici di riferimento dei terreni adottati nelle analisi di stabilità.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

Complesso	Formazione	γ_k (kN/m ³)	c'_k (kPa)	φ'_k (°)	E' (MPa)	E_u (MPa)	k_E (kPa)	e_0	C_c	C_s	c_v (cm ² /s)
A	R	16,5	0	28	3,5	-	-	-	-	-	-
B	SL ₁	17,5	0	26	-	-	45	-	-	-	-
C	LSO	16,5	0	21	1.0	1.1	-	1,51	0,90	0,1	0,0053
D	SL ₂	18,5	0	28	-	-	200	-	-	-	-
	AS	18	4	24	12	13.2	-	1,00	0,35	0,05	0,0035
	LAS ₁	19	0	26	-	-	200	-	-	-	-
	LAS ₂	19,5	0	33	-	-	200	-	-	-	-
E	AL	18	10	24	30	33	-	1,00	0,30	0,03	0,0035

Tabella 1

Materiali impiegati nelle lavorazioni. In quanto segue sono infine descritti e forniti i parametri geotecnici delle varie tipologie di materiale che saranno impiegati nella realizzazione delle opere a mare.

a) Materiali di colmata proveniente dai dragaggi

A ridosso delle banchinature interne il progetto prevede la realizzazione di una colmata con i materiali ricavati dai lavori di dragaggio per la creazione di piazzali ed aree da adibire ad attività diverse. Dalla ricostruzione stratigrafica complessiva, risulta che i terreni da dragare sono rappresentati dai limi sabbiosi organici (LSO). In considerazione delle possibili difficoltà di costipamento di tali materiali, nelle verifiche geotecniche sono stati attribuiti parametri geotecnici molto cautelativi, attribuendo ai terreni un peso dell'unità di volume $\gamma_{sat}=16,0$ kN/m³, un valore delle coesione efficace $c'=0$, un angolo di resistenza al taglio $\varphi'=20^\circ$. Una volta messi in opera, viste le caratteristiche di bassa permeabilità assunte da tali termini, i parametri di compressibilità espressi dall'indice dei vuoti e_0 e dai coefficienti di compressibilità C_c e di scarico C_s e di consolidazione C_v potranno essere ragionevolmente assunti simili a quelli del materiale in posto LSO.

In condizioni di esercizio in superficie sarà realizzato uno strato ripartitore tipo misto cementato che, ai fini delle verifiche di stabilità, è stato schematizzato con i seguenti parametri: $\gamma_{sat}=20,0$ kN/m³, un valore delle coesione efficace $c'=0$, un angolo di resistenza al taglio $\varphi'=40^\circ$.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

b) Materiali costituenti i rilevati di lavoro

Per la realizzazione del rilevato competente la banchina Nord 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 $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c' = 0$, angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$. Nelle analisi svolte, è stato attribuito al tout-venant un modulo di compressibilità iniziale E' pari a 10 MPa; tale valore apparentemente basso se correlato alle buone caratteristiche geotecniche del pietrame, trova giustificazione con lo scarso addensamento iniziale del materiale conseguente alle modalità della sua collocazione in opera.

Per la realizzazione dei rilevati competenti la banchina Est e Sud è previsto, oltre l'impiego del tout-venant, (Fig. 3) l'utilizzo di massi naturali da $0,05 \div 1 \text{ t}$, a cui sono stati attribuiti ragionevolmente i seguenti parametri geotecnici medi: peso dell'unità di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c' = 0$, angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$ e di uno strato di misto compattato, cui sono stati attribuiti i seguenti parametri geotecnici medi: peso dell'unità di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c' = 0$, angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$.

c) Massi naturali

La scogliera presente nel tratto lato mare del canale interno verrà realizzata con massi naturali da $0,5 \div 1 \text{ t}$. Ai fini dei calcoli e delle verifiche questi terreni risultano dotati di caratteristiche meccaniche, ragionevolmente esprimibili con i seguenti parametri geotecnici medi: peso dell'unità di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c' = 0$, angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$.

d) Materiali di rinfianco cassoni

Per quanto riguarda invece i terreni di rinfianco dei cassoni cellulari previsti per l'apertura del varco sul molo guardiano esistente, previsto con materiali provenienti dagli scavi e dai salpamenti del molo esistente, possono essere ragionevolmente attribuiti i seguenti parametri geotecnici:

- peso per unità di volume $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$;
- coesione efficace $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$;
- angolo di resistenza al taglio $\phi'_k = 37^\circ$.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

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 .

I valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto sono stati ottenuti interpolando i valori relativi ai 4 punti del reticolo all'interno del quale si trova il sito in questione, in funzione dei diversi periodi di ritorno.

Considerando che la vita nominale dell'opera (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 espressione:

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

dove P_{VR} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento che è tabellata in funzione dello stato limite considerato (Tab. 2).

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%

Tabella 2

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 ri-

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

torno nel sito in esame corrisponde una accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido a_g pari a 0.05g circa. Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche medie dei terreni di imposta delle opere sono infine tali da ricondurne la classificazione a quella di Cat. C a cui corrisponde un $S_s = 1.50$. Tale scelta è dettata dal fatto che le opere a mare, essendo caratterizzate da un notevole sviluppo lineare, interessano situazioni stratigrafiche estremamente variabili per cui gli strati meno consistenti non presentano mai una continuità orizzontale e soprattutto verticale tale da giustificare una attribuzione di categoria di suolo maggiormente cautelativa. Il sito in esame risulta inoltre essere riconducibile alla categoria topografica T_1 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 0.075g.

Nel caso delle opere di sostegno, in condizioni sismiche deve essere considerata una spinta totale di progetto E_d pari a:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws}$$

dove H è l'altezza dell'opera;

E_{ws} è la eventuale spinta dell'acqua;

γ^* è il peso specifico del terreno (come meglio definito ai punti seguenti);

K è il coefficiente di spinta del terreno (statico + dinamico).

L'azione di calcolo E_d è da considerare come la risultante delle spinte statiche e dinamiche del terreno. Il primo termine di E_d rappresenta la spinta dello scheletro solido del terreno, in cui il coefficiente K è calcolato mediante la nota formula di Mononobe e Okabe e assume differenti valori per le diverse definizioni della tangente dell'angolo θ , specificate in funzione della presenza o meno dell'acqua di porosità e del comportamento di quest'ultima in presenza dell'azione sismica.

Il coefficiente di spinta attiva del terreno può essere calcolato con la:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

$$\beta \leq \varphi - \vartheta$$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \sin^2(\psi) \sin(\varphi + \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\sin(\varphi + \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

ϕ' è il valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzi efficaci;

ψ, β è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale rispettivamente della parete del muro rivolta a monte e della superficie del terrapieno;

δ è il valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro;

θ è l'angolo definito nelle espressioni seguenti.

Nella formula, il valore di progetto dell'angolo di attrito interno del terreno ϕ' risulta dal valore caratteristico ϕ'_k diviso il coefficiente di sicurezza parziale γ_m , prima definito.

La scelta del peso dell'unità di volume del terreno γ^* è condizionata, così come l'angolo θ , dalla presenza e dal comportamento dell'acqua.

Nel caso in esame valgono le seguenti definizioni e relazioni:

$\gamma^* = \gamma$ peso specifico del terreno

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

Per quanto concerne l'eventuale presenza di acqua libera a valle dell'opera, la norma impone di tenere conto della massima variazione (positiva o negativa) della pressione dell'acqua rispetto a quella idrostatica, conseguente alla oscillazione del liquido. Tale sovrappressione (positiva e negativa) dell'acqua sul muro, dovuta all'effetto idrodinamico è funzione ancora una volta del coefficiente sismico orizzontale k_h , nonché dell'altezza del battente d'acqua e può essere calcolata come:

$$q(z) = \mp \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{hz}$$

dove: h è la quota del pelo libero dell'acqua;

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

z è la coordinata verticale diretta verso il basso, con origine al pelo libero dell'acqua.

Con riferimento alle azioni implementate nel metodo pseudo-statico, i coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v) che interessano tutte le masse sono funzione di a_{max} , l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito, moltiplicata per un coefficiente β_m funzione delle caratteristiche del sottosuolo. Assumendo nel caso in esame un valore di β_m pari a 0.18 (Tab. 7.11.II), si ottengono i seguenti valori dei coefficienti sismici in direzione orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g = 0,0135$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h = 0.00675$$

5. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE

L'importante progetto comporta una serie di opere complementari tra loro comprendenti banchine, opere di protezione a mare e la sistemazione ed il successivo rinterro di raccordo con l'attuale linea di costa.

Le principali problematiche geotecniche possono essere ricondotte alle seguenti:

- stabilità delle opere di sostegno previste per la realizzazione delle nuove banchine e del canale di navigazione interno.
- analisi delle condizioni di stabilità di insieme dei cassoni - materiale di rinterro predisposti per l'apertura del varco sul molo guardiano esistente;
- analisi delle condizioni di stabilità durante le varie fasi di lavorazione del molo Ovest a gettata;
- previsione dei cedimenti delle banchine e dei retrostanti piazzali per effetto dei sovraccarichi di esercizio.

Considerati i caratteri delle opere in progetto ed il quadro stratigrafico ed ambientale, le maggiori problematiche geotecniche riguardano essenzialmente la stabilità delle nuove strutture di banchina previste con soluzione a palancole ancorate in testa con tiranti in acciaio che richiedono preventivamente la realizzazione a mare di un rilevato di lavoro in tout-venant.

Così come risulta dalla caratterizzazione geotecnica, i terreni di imposta delle opere in progetto nella fascia superficiale, soprattutto vista la presenza dei limi sabbiosi organici (LSO),

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

sono caratterizzati da uno scarso addensamento ed una bassa consistenza per cui pongono problemi di stabilità e di cedimenti indotti sia in fase di costruzione che, ad opere ultimate, in esercizio.

Alcune verifiche preliminari di stabilità relative ai rilevati previsti per la realizzazione delle banchine e del molo Ovest e alla scogliera a gettata del canale interno che, per completezza, sono state riportate in appendice, hanno chiaramente confermato tale situazione, per cui, in certe condizioni di carico, in assenza di specifici provvedimenti, la stabilità stessa delle opere non risulterebbe garantita con sufficienti margini di sicurezza. Analoghe considerazioni valgono anche per le banchine del canale interno.

Ciò ha quindi reso necessaria l'esecuzione di un preventivo intervento di stabilizzazione dei terreni superficiali di più scadenti caratteristiche geotecniche.

Una volta definiti la tipologia ed i caratteri del trattamento, le condizioni di stabilità globale delle nuove banchine sono state verificate nelle condizioni più sfavorevoli, attribuendo ai diversi strati di terreno interessati i corrispondenti parametri geotecnici.

Con riferimento all'apertura del canale interno, le verifiche di stabilità hanno riguardato la verifica della capacità portante dei cassoni e quella globale in presenza del terrapieno.

Uno specifico carattere del progetto ha riguardato la previsione dei cedimenti che subiranno i rilevati di lavoro nella fase di collocazione in opera e, successivamente, una volta realizzate le banchine, per effetto dei sovraccarichi di esercizio.

In appendice alla presente Relazione sono proposti gli schemi stratigrafici di riferimento e i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti nelle varie configurazioni. Si rimanda infine alla specifica relazione di calcolo delle opere a mare per la definizione delle rispettive azioni ed il dimensionamento e verifica strutturale dei sistemi di palancolato previsti.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

6. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI IMPOSTA

Considerato il quadro stratigrafico e geotecnico, l'intervento di consolidamento dei livelli meno consistenti dei terreni di imposta è stato basato sulla tecnica della "vibroflottazione" diffusamente impiegata per la compattazione profonda di terreni di imposta di opere portuali.

Da un punto di vista operativo il trattamento consiste nell'introduzione in profondità di colonne di materiale ghiaioso ed il contemporaneo addensamento dei terreni attraverso la vibrazione impressa da una massa eccentrica rotante calettata in punta su un asta tubolare allo scopo attrezzata. L'intervento viene realizzato in due fasi: inizialmente viene steso sul fondale in tutta l'area prevista uno strato di materiale ghiaioso di specifica pezzatura e altezza. Completato lo scarico del materiale si procede all'intervento di vibro-compattazione attraverso una sonda vibrante che consente la realizzazione di colonne di materiale compattato ed infisse fino ad una profondità prevista.

La scelta dei punti di trattamento e la efficacia dell'intervento dipendono dalla natura del suolo, dalla potenza delle macchine impiegate e dalla densità relativa che si vuole raggiungere nel terreno trattato tenendo conto del fatto che l'efficacia del trattamento di vibroflottazione decresce in direzione radiale al crescere della distanza dal punto di infissione della punta vibrante. In base alla potenza della macchina ed alle caratteristiche granulometriche del terreno da trattare è possibile attribuire un valore dell'efficienza C_u denominato "coefficiente di influenza" del trattamento da attribuire ad ogni circonferenza concentrica con il punto di trattamento. In tal modo è possibile determinare un valore del coefficiente di influenza risultante in ciascun punto delle zone trattate a partire dalla distribuzione e spaziatura relativa delle singole colonne trattate. Una volta valutato il "coefficiente di influenza risultante" C_F , è possibile calcolare la densità relativa post-trattamento D_{RF} attraverso una semplice formulazione di letteratura:

$$D_{RF} = D_{R0} + 2C_F$$

in cui D_{R0} rappresenta la densità relativa iniziale ante-trattamento.

Tali valori vanno intesi come medi sulla lunghezza della colonna vibroflottata, variando come noto con la profondità l'influenza della pressione litostatica di confinamento sui valori di densità

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

tà relativa del terreno in sito. Specifici campi prova opportunamente predisposti in fase costruttiva potranno costituire utile riferimento operativo.

Predimensionamento dell'intervento. Il criterio adottato per la scelta della estensione dell'intervento e della geometria della maglia di trattamento da eseguire si è basato sia sulle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni di imposta sia evidentemente sulla tipologia di opera da realizzare. Nella Tab. 3 sono rappresentate le caratteristiche fisiche e meccaniche da ottenere con l'intervento di consolidamento riguardanti in particolare l'incremento di densità relativa.

Formazione	Spessore strato (m)	Condizioni attuali				Condizioni dopo l'intervento			
		γ (kN/m ³)	D _R (%)	ϕ' (°)	E' (MPa)	γ (kN/m ³)	D _R (%)	ϕ' (°)	E' (MPa)
LSO	3 - 7	16	10-20	21	0.4-1.2	18.0	35-45	30	5-10

Tabella 3

Sulla base di tali considerazioni nelle successive analisi di stabilità e di previsione dei cedimenti saranno attribuiti i seguenti parametri di riferimento (Tab. 4):

Formazione	γ (kN/m ³)	c' _k (kPa)	ϕ'_k (°)	E' (MPa)
Limo Organico Trattato LSO*	18.0	0	30	5

Tabella 4

A fronte di tali valori, per la maglia del trattamento di vibroflottazione ipotizzata, del tipo a quinconce è da prevedere un interasse di 2.5 m sia in direzione ortogonale che parallela alla banchina. Mediante tale configurazione geometrica il "coefficiente di influenza risultante" C_F, risulta complessivamente pari a circa 3,5 (Fig. 17), per cui, nel caso dei limi sabbiosi organici (LSO), a partire da un valore di D_{RO} pari al 16% è possibile ottenere un valore finale di addensamento pari a D_{RF}>43%.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

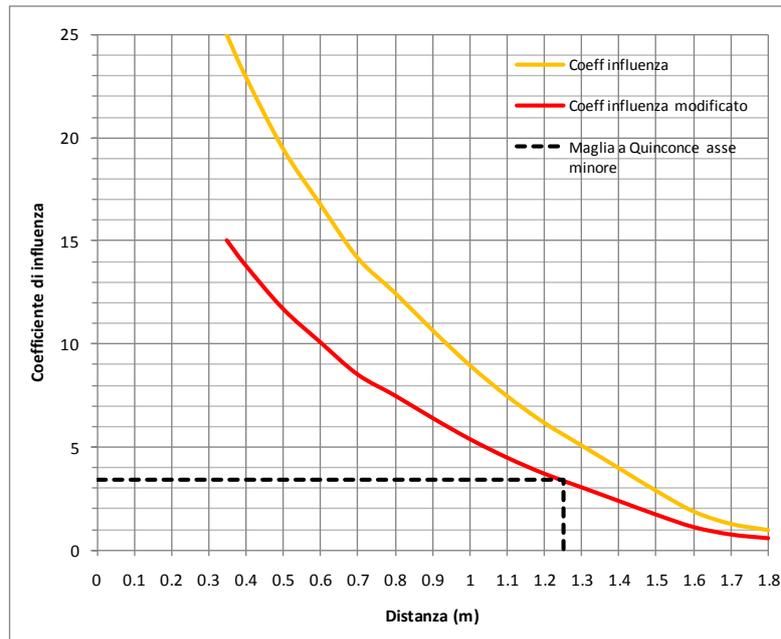


Figura 11

L'intervento dovrà riguardare l'area di imbasamento dei rilevati delle banchine Nord, Est, Sud e l'area di imbasamento degli argini in opere a gettata del canale interno, per una profondità variabile a partire dalla quota di fondale attuale.

In quanto segue, sono riepilogate le diverse zone oggetto di consolidamento insieme ad una stima di massima dei volumi di materiale ghiaioso da stendere sul fondale marino.

6.1. Trattamento Banchine Nord, Est e Sud

Il trattamento è previsto per l'intero sviluppo delle banchine con una larghezza di 25 m e riguarda essenzialmente l'area di imbasamento del rilevato lato mare: ipotizzando un trattamento di profondità media H pari a 4,0 m, ne consegue un'altezza teorica stimata di 1,00 m di materiale da posizionare sul fondale, per uno sviluppo lineare pari a circa 1430 m.

6.2. Trattamento Canale Interno

Anche in questo caso il trattamento è previsto per l'intero sviluppo del canale con una larghezza di 14,0 m in corrispondenza del tratto in cui è prevista la realizzazione di banchine (lato terra) e di 20,0 m (lato mare) dove è prevista la sagomatura ed il rivestimento con massi naturali delle sponde. Ipotizzando un trattamento di profondità H pari a 7,0 m, ne consegue una quantità teorica di 1,90 m³/m² di materiale da fornire in opera, per uno sviluppo lineare complessivo pari a circa 345,0 m per il tratto lato terra e circa 276,0 m per quello lato mare.

Autorità Portuale di Cagliari Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		Data: dicembre 2011					
		10	015	DRM	003	-1	GEO

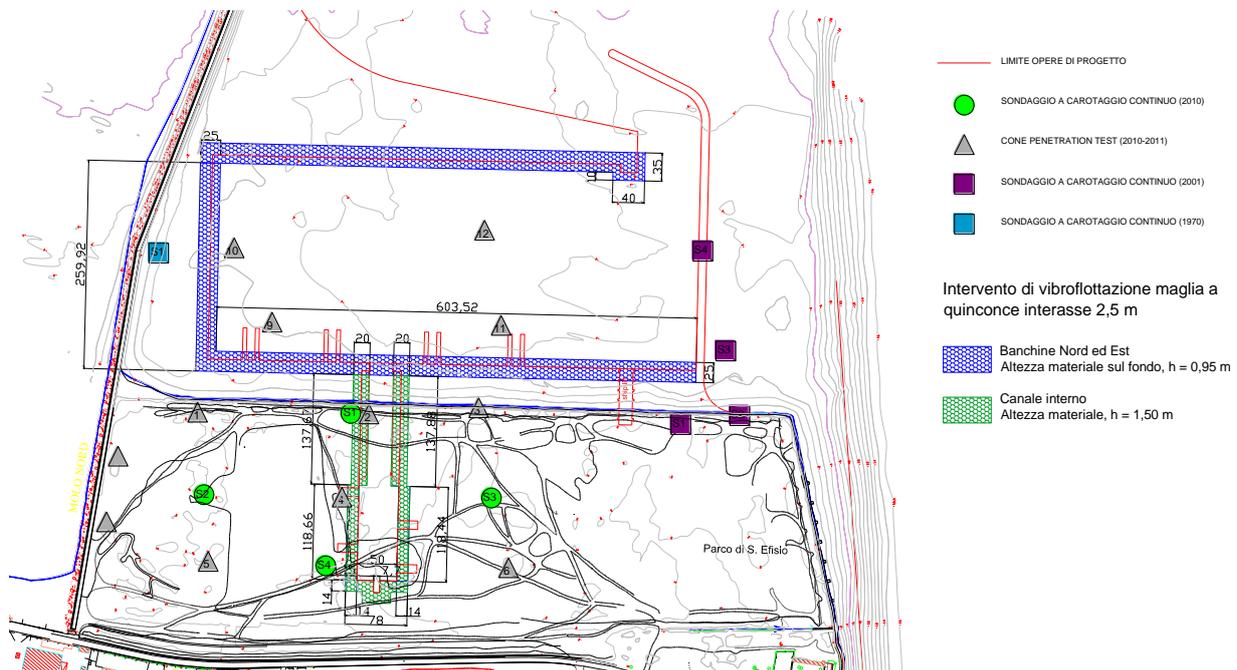


Figura 12. Planimetria di intervento di consolidamento.

7. VERIFICHE DI STABILITÀ

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

$$R_d \geq E_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico. La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, individuati rispettivamente per le azioni (A), per i parametri geotecnici (M) e per le resistenze (R) nell'ambito di diversi possibili approcci progettuali.

Il valore di progetto delle azioni E_d è calcolata considerando, in condizioni statiche ed in presenza di sisma, diversi valori di coefficienti parziali da applicare ai carichi permanenti strutturali e non e 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.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

(v. D.M. 14/01/08 Norme Tecniche per le costruzioni Capitoli 6 e 7.11).

7.1. Verifiche di stabilità dei cassoni

La realizzazione della banchina a cassoni prevede una profondità di imbasamento pari a -5.00 m s.l.m.m. e la sommità della sovrastruttura in c.a. alla +2.80 m s.l.m.m.

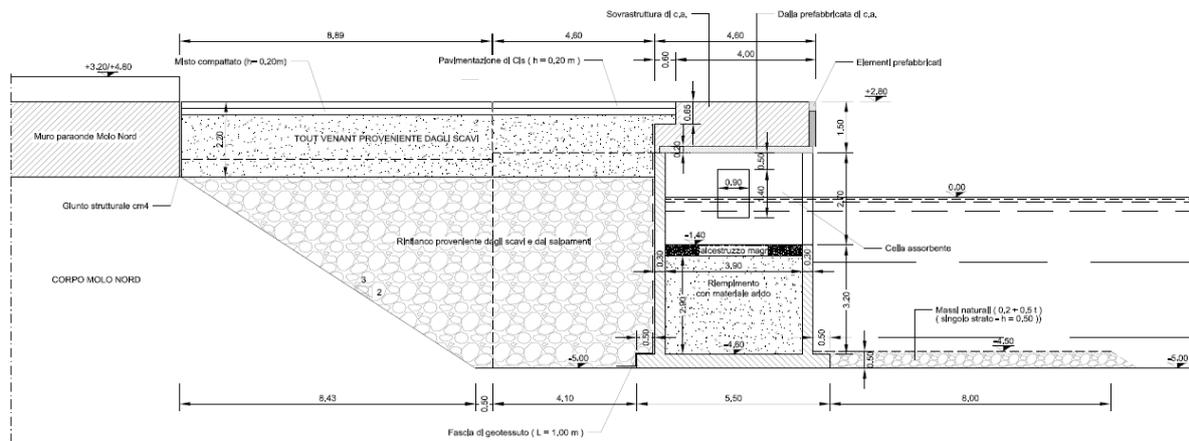


Figura 13

Considerate le caratteristiche geometriche delle opere, le verifiche della capacità portante sono state eseguite con riferimento ad una sezione tipo di fondazione su terreno "granulare" assumendo cautelativamente per i terreni di imposta che attualmente si trovano al di sotto della Molo Nord esistenti i seguenti parametri geotecnici medi:

- peso per unità di volume $\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$;
- coesione efficace $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$;
- angolo di resistenza al taglio $\varphi'_k = 33^\circ$.

Per quanto riguarda invece i terreni di rinfiango che, come precedentemente accennato è previsto con materiali provenienti dalle operazioni di salpamento del molo esistente per i quali sono stati cautelativamente assunti i seguenti parametri geotecnici: peso per unità di volume $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$; coesione efficace $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$; angolo di resistenza al taglio $\varphi'_k = 37^\circ$.

Per questo tipo di opera, assimilabile ad un'opera di sostegno, sono state effettuate le classiche verifiche allo scorrimento, ribaltamento, capacità portante e stabilità globale.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

Le verifiche sono state riferite al singolo cassone sottoposto a due diversi scenari di carico, uno in condizioni statiche ed uno in condizioni sismiche, caratterizzate dalle seguenti azioni caratteristiche:

- *Carichi permanenti*: Peso proprio cassone immerso, peso proprio della sovrastruttura, peso proprio della pavimentazione in cls ($q=4.8$ kPa) e del terreno sull'aletta interna della platea di fondazione, spinta del terrapieno .
- *Carichi variabili*: pressione esercitata dal sovraccarico sul cassone; pressione esercitata dal sovraccarico sul terrapieno a tergo della banchina ($q=5.0$ kPa); azioni sismiche.

Le verifiche allo scorrimento e nei confronti della capacità portante sono state effettuate con riferimento all'approccio 2 combinazione A1 + M1 + R3, mentre quella a ribaltamento secondo l'apposita combinazione EQU+M2, adottando quindi parametri geotecnici ridotti per mezzo dei coefficienti parziali γ_m .

Nelle corrispondenti tabelle di calcolo in allegato sono sinteticamente riportati i risultati delle corrispondenti verifiche applicando gli schemi di calcolo ai sensi del DM 08, dalle quali sono risultati condizioni di sicurezza accettabili. Per quanto riguarda le verifiche di stabilità globale si rimanda al capitolo successivo.

7.1.1. SLU (GEO) – Scorrimento sul piano di posa

Verifiche in campo statico

Combinazione delle azioni. Nella verifica allo scorrimento le azioni sono le forze agenti parallelamente al nuovo piano di posa della fondazione, mentre le resistenze sono rappresentate dalla risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano dovute all'attrito cassone-terreno. Nel caso delle verifiche in campo statico, la struttura deve poter resistere alla seguente combinazione dei carichi:

$$E_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_{k1}$$

dove:

G_1 – insieme delle azioni permanenti – spinta del terrapieno a tergo del cassone;

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

G_2 – insieme delle azioni permanenti non strutturali – peso della pavimentazione retrostante il muro;

Q_{k1} – carico accidentale – sovraccarico sul terrapieno retrostante il muro;

$\gamma_{G1} = 1.3$ – coefficiente parziale carichi permanenti – A1 ;

$\gamma_{G2} = 1.5$ – coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali – A1;

$\gamma_Q = 1.5$ – coefficiente parziale carichi accidentali – A1.

Nelle verifiche, per la determinazione delle spinte esercitate dal terrapieno sul muro si è trascurato cautelativamente l'attrito terreno-parete.

Le resistenze sono date dal prodotto:

$$W_b \cdot tg \delta$$

dove W_b rappresenta il peso del cassone da considerare come una azione permanente favorevole strutturale.

Azioni in condizioni sismiche

Combinazione delle azioni. Nel caso delle verifiche in campo sismico, la struttura deve poter resistere alla seguente combinazioni dei carichi:

$$E_d = E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

dove:

E – azioni sismiche;

G_1 – insieme delle azioni permanenti – spinta del terrapieno;

G_2 – insieme delle azioni permanenti non strutturali – peso della pavimentazione retrostante il muro;

Q_{k1} – carico accidentale – sovraccarico sul terrapieno retrostante il muro;

$\psi_{21} = 0.6$ – coefficiente di combinazione (tab.2.5.I del DM 2008 – categoria F).

Dai risultati delle analisi, sinteticamente rappresentati in Appendice, sono risultati i seguenti valori delle condizioni di equilibrio:

$$\text{In condizioni statiche: } R_d / E_d = \frac{179,0 \text{ kN/m}}{155,6 \text{ kN/m}} = 1,15 > 1$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

In condizione sismiche: $R_d/E_d = \frac{140,7 \text{ kN/m}}{125,4 \text{ kN/m}} = 1,12 > 1$

Le verifiche a scorrimento sul piano di posa risultano quindi soddisfatte.

7.1.2. SLU (GEO) – Ribaltamento

Lo stato limite di ribaltamento è trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni ed adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Nelle verifiche le azioni sono espresse dai momenti ribaltanti, dovuti alla componente orizzontale della spinta del terreno e dell'azione del sovraccarico di banchina, dai carichi indotti dal sisma; le resistenze sono i momenti stabilizzanti, dovuti al peso del cassone.

Una volta calcolata la resistenza di progetto R_d utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni nell'ipotesi di stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), le azioni di progetto E_d , cioè le spinte, sono state calcolate utilizzando i parametri geotecnici ottenuti nella combinazione M2. La verifica al ribaltamento è soddisfatta se il rapporto tra momenti stabilizzanti (R_d) e momenti ribaltanti (E_d) è maggiore di 1:

$$\frac{R_d}{E_d} = \frac{\sum M_{stabilizzanti}}{\sum M_{ribaltanti}} \geq 1.0$$

Combinazione delle azioni. In campo statico la struttura deve poter resistere alla seguente combinazioni dei carichi:

$$E_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_{k1}$$

G_1 – insieme delle azioni permanenti – azione della terra posta nella parte retrostante il muro

G_2 – insieme delle azioni permanenti non strutturali – peso della pavimentazione retrostante il muro

Q_{k1} – carico accidentale – sovraccarico sul terrapieno retrostante il muro

$\gamma_{G1} = 1.1$ – coefficiente parziale carichi permanenti – EQU

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

$\gamma_{G2} = 1.5$ – coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali – EQU

$\gamma_Q = 1.5$ – coefficiente parziale carichi accidentali – EQU

In condizioni sismiche la struttura deve poter resistere alla seguente combinazioni dei carichi:

$$E_d = E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

dove:

G_1 – insieme delle azioni permanenti – spinta del terrapieno;

G_2 – insieme delle azioni permanenti non strutturali – peso della pavimentazione retrostante il muro;

Q_{k1} – carico accidentale – sovraccarico sul terrapieno retrostante il muro;

$\psi_{21} = 0.6$ – coefficiente di combinazione (tab.2.5.I del DM 2008 – categoria F).

Dai risultati delle analisi, sinteticamente rappresentati in Appendice, sono risultati i seguenti valori delle condizioni di equilibrio:

In condizioni statiche: $R_d / E_d = \frac{1004,9 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}}{408,9 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}} = 2,46 > 1$

In condizione sismiche: $R_d / E_d = \frac{1109,1 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}}{369,9 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}} = 3,00 > 1$

Le verifiche a ribaltamento risultano ampiamente soddisfatte.

7.1.3. SLU (GEO) – Carico limite dell'insieme fondazione - terreno

Considerate le caratteristiche geometriche delle opere, le verifiche della capacità portante dei cassoni sono state eseguite con riferimento ad una sezione tipo di fondazione su terreno “granulare” imponendo parametri geotecnici precedentemente rappresentati. La capacità portante è stata calcolata con la nota formula di Brinch Hansen e le verifiche sono state riferite al singolo cassone sottoposto ai differenti scenari di carico in condizioni statiche ed sismiche precedentemente rappresentate.

In tal modo, il carico limite è dato da:

$$q_{ult} = \gamma' D N_q s_q d_q i_q b_q g_q + \frac{1}{2} \gamma' B^* N_y s_y d_y i_y b_y g_y$$

in cui:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito φ' ;

s_c, s_q, s_γ = fattori di forma della fondazione;

i_c, i_q, i_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;

b_c, b_q, b_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;

g_c, g_q, g_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

d_c, d_q = fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa.

Nel caso del calcolo della capacità portante dei cassoni si è tenuto conto dei fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione dei carichi, da cui ne consegue che il calcolo della q_{lim} viene effettuato con la seguente espressione:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma i_\gamma$$

nella quale il fattore di capacità portante N_γ è assunto pari a (Vesic, 1970):

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan(\varphi')$$

ed espresso in funzione di N_q :

$$N_q = e^{\pi g \varphi'} \gamma g^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (\text{Prandtl, 1921 e Reissner, 1924})$$

In presenza di carichi inclinati valgono le seguenti espressioni

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'} \right]^{m+1} \quad (\text{Vesic, 1970})$$

in cui l'esponente m può essere calcolato con la seguente espressione:

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

ed è assunto pari a 2 nel caso di fondazione nastriforme.

Per tener conto dell'eccentricità e della risultante dei carichi, il valore della larghezza B dei cassoni da introdurre nel calcolo della capacità portante è quello relativo all'area effettiva equivalente, la minima superficie ridotta rispetto alla quale la risultante risulta centrata.

A partire dai valori dell'eccentricità $e_B = M_b/N$, la larghezza "fittizia" da adottare nel calcolo della capacità portante è quindi pari a:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

$$B^* = B' - 2 \cdot e_B \quad (\text{Meyerhof, 1953})$$

Dai risultati delle analisi, sinteticamente rappresentati in Appendice, sono risultati i seguenti valori delle condizioni di equilibrio:

$$\text{In condizioni statiche: } R_d / E_d = \frac{1073,5 \text{ kN/m}}{455,0 \text{ kN/m}} = 2,36 > 1$$

$$\text{In condizione sismiche: } R_d / E_d = \frac{1071,6 \text{ kN/m}}{358,0 \text{ kN/m}} = 3,00 > 1$$

Le verifiche della capacità portante dei cassoni risultano anche in questo caso ampiamente soddisfatte.

7.2. 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:

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

dove il termine m è espresso da

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

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.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

Le condizioni di stabilità globale sono state riferite ai seguenti casi che prevedono la realizzazione di un preventivo intervento di consolidamento dei terreni:

- Banchina Nord pre e post trattamento (Sezioni 1 e 2)
- Banchina Est pre e post trattamento (Sezione 6)
- Canale interno pre e post trattamento (Sezioni 3 e 4)
- Banchina a cassoni (Apertura molo guardiano di levante)

In tutti i casi sono state analizzate le condizioni più sfavorevoli considerando un sovraccarico variabile sulla banchina q pari a 20 kN/m^2 e attribuendo ai diversi strati di terreno interessati i corrispondenti parametri geotecnici ipotizzando il preventivo consolidamento dei terreni superficiali di imposta. Nel caso della Banchina a cassoni, le verifiche sono state cautelativamente eseguite con un sovraccarico variabile q pari a 5 kN/m^2 e un valore dell'angolo d'attrito medio per i terreni di imposta attualmente al di sotto molo Nord esistente, come già assunto per le precedenti verifiche di stabilità, pari a $\varphi' = 33^\circ$.

Le verifiche di stabilità globale sono state riferite all'approccio 1 combinazione di carico A2+M2+R2 così come previsto dal D.M. 08 ed alle condizioni sismiche secondo quanto previsto dallo stesso decreto adottando, in questo caso, un valore di β_m pari a 0.20 (Tab. 7.11.I), si ottengono i seguenti valori dei coefficienti sismici in direzione orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{\max} / g = 0,015$$

$$k_y = 0,5 \cdot k_h = 0.0075$$

In allegato, per ciascuna delle sezioni di riferimento assunte sono riportati gli esiti delle verifiche, rappresentate dal valore del coefficiente di sicurezza F_s riferito alla superficie di scorrimento critica.

Dai risultati delle analisi, rappresentati in Appendice, sono risultate condizioni di stabilità soddisfatti con margini di sicurezza superiori a quelli previsti dalla normativa corrispondenti ai valori dei coefficienti di sicurezza riportati in Tab. 8:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica				
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011				
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1

Sezione	Verifica	Fasi	F _s minimo	Rd/Ed A2+M2+R2	Combinazione
Sez 1	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.29	1.18	Peso Proprio
Sez 1	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.64	1.49	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 1	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.60	1.45	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 2	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.27	1.15	Peso Proprio
Sez 2	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.63	1.48	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 2	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.59	1.44	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 3	SLU-GEO2	Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento	1.16	1.06	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 3	SLV-GEO1	Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento	1.12	1.02	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 4	SLU-GEO2	Palancolato	1.80	1.64	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 4	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento	1.76	1.60	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 4	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento	1.72	1.56	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 6	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.34	1.22	Peso Proprio
Cassone	SLU-GEO2	Muro di banchina a cassoni	1.26	1.14	Peso Proprio + Sovraccarico
Cassone	SLV-GEO1	Muro di banchina a cassoni	1.23	1.12	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)

Tabella 5

8. PREVISIONE DEI CEDIMENTI

Le analisi per la stima dei cedimenti delle Banchine Nord ed Est e della colmata della Banchina Nord sono state riferite sia alla fase di collocazione in opera dei rilevati di lavoro che a quella di applicazione dei carichi di esercizio e dei sovraccarichi e con il tempo.

Un particolare studio ha infine riguardato la previsione degli abbassamenti teorici associati alle varie fasi realizzative del nuovo Molo Ovest. Le verifiche e le analisi di riferimento sono state riferite alle situazioni tipologiche e stratigrafiche maggiormente rappresentative dell'opera e dell'ambiente geotecnico del quale si poteva disporre di più significativi dati. I valori ottenuti consentono comunque facili estrapolazioni applicative utili ai fini pratici ad altre sezioni.

In particolare, come sinteticamente rappresentato nelle Tabelle in allegato, le analisi sono state condotte rispetto a tre sezioni ritenute rappresentative delle particolari condizioni stratigrafiche precedentemente rappresentate, attribuendo ai terreni di imposta le caratteristiche geotecniche che competeranno loro a seguito dell'intervento di consolidamento.

In presenza di terreni caratterizzati da una elevata conducibilità idraulica di insieme 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

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1	GEO

teoria dell'elasticità dopo aver opportunamente stimato il valore del modulo operativo E' nel range di tensioni considerate.

Laddove risultino presenti terreni coesivi, i cedimenti avvengono in parte contestualmente all'applicazione dei carichi, per deformazioni a volume costante (cedimento immediato w_0) ed in parte gradualmente con il progressivo trasferimento del carico dalla fase fluida allo scheletro solido (cedimento di consolidazione w_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). Ad un generico tempo t il cedimento w è pari a:

$$w = w_0 + U \cdot w_c$$

dove U esprime il grado di consolidazione e varia nel tempo fra 0 e 1.

In condizioni al contorno semplici, il processo di consolidazione può essere rappresentato dalla nota teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi basata sulla soluzione della:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

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:

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

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 e viceversa sono:

$$T_v = \pi (U^2/4)(1 - U^{5.6})^{-0.357}$$

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

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

Alla lunghezza del percorso di drenaggio H è stata attribuito un valore pari a quello riscontrato dai sondaggi e dalle prove penetrometriche. Per una trattazione estesa delle varie ipotesi di calcolo assunte nelle analisi si rimanda in Appendice.

Le verifiche e le analisi sono state riferite alle situazioni tipologiche maggiormente rappresentative dell'opera e dell'ambiente stratigrafico e geotecnico del quale si poteva disporre di più significativi dati. I valori ottenuti consentono facili estrapolazioni applicative utili ai fini pratici ad altre sezioni. Nelle sezioni competenti alle "colmate" in cui verranno depositati i materiali di dragaggio, il calcolo è stato condotto assumendo cautelativamente le medesime caratteristiche di compressibilità dei terreni appartenenti al complesso dei limi sabbiosi organici LSO; in presenza di materiali riportati di migliori caratteristiche evidentemente sia l'entità dei cedimenti che i tempi di consolidazione potranno risultare corrispondentemente inferiori.

8.1. Risultati delle analisi

Banchine Nord ed Est. Per quanto concerne le due sezioni di riferimento, un programma di calcolo automatico ha consentito di stimare distintamente i cedimenti teorici relativi ai carichi e sovraccarichi di esercizio ($q=20$ kPa) e di valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo relativamente alle due sezioni della Banchina Nord e della Banchina Est.

Nel caso della sezione della Banchina Nord, sono inoltre stati valutati i cedimenti sulla colmata realizzata a tergo degli stessi rilevati, soggetta al carico di esercizio ($q=20$ kPa).

Le analisi sono state svolte assumendo condizioni non drenate per i termini coesivi ("LSO" non trattato, materiale dragato e termini argillosi "AS" e "AL") e drenate per i rimanenti: ciò ha permesso di simulare le fasi di consolidazione indotti dai sovraccarichi agenti e di valutare i cedimenti nel tempo.

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei cedimenti immediati e di consolidazione indotti dai carichi di esercizio (Tab. 9).

Sezioni di calcolo	Condizioni di esercizio (SLE)	
	immediati	consolidazione
Banchina Nord – Sez 2	8.9	-
Banchina Est – Sez 6	8.1	2.0

Tabella 6

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

Per quanto riguarda i cedimenti di consolidazione attesi per la banchina Est e legati alla presenza dello strato "AS" più profondo, questi si esauriranno in tempi dell'ordine dei 3 mesi. In questo caso il tempo di permanenza del carico risulta compatibile con i tempi di realizzazione degli interventi e quindi non si ravvisa la necessità di prevedere l'applicazione di un rilevato di maggiore altezza per accelerare il decorso dei cedimenti.

Nel caso della colmata a tergo della Banchina Nord i cedimenti dovuti ai sovraccarichi di esercizio sono superiori ai 50 cm.

Sezioni di calcolo	Condizioni di esercizio (SLE)
	Consolidazione
Colmata Banchina Nord – Sez 2	56.7

Tabella 7

Per quanto riguarda il decorso dei cedimenti nel tempo, dalle analisi eseguite (le proprietà del materiale dragato considerate sono riportate in Tab. 9), risultano tempi per uno smaltimento totale dei cedimenti massimi nell'ordine dei 20 mesi. Al fine di anticipare significativamente i cedimenti di tipo immediato e soprattutto di consolidazione attesi per effetto dei sovraccarichi di esercizio è stato progettato un intervento di precarico da porre in opera per un determinato tempo. In particolare, è stata determinata l'altezza H del rinterro provvisorio in modo che, dopo un periodo di riferimento di 90 gg, il cedimento residuo S_{vres} risulti pari al 5% di quello teorico totale di consolidazione totale atteso S_{vtot} .

In tal modo il cedimento da scontare in 90 gg è pari a:

$$S_{vc} = S_{vtot} - S_{vres}$$

A partire dal grado di consolidazione medio U^* ottenuto dalla curva di consolidazione nei calcoli di previsione dei cedimenti precedentemente eseguiti, il cedimento da indurre nei limi sabbiosi organici (LSO), sempre in 90 gg, è quindi

$$S_v^* = S_{vc} / U^*$$

Il precarico provvisorio q^* , espresso in funzione del sovraccarico di progetto corrispondente a $q_{design}=20$ kPa, è dato da:

$$q^* = q_{design} \cdot S_v^* / S_{vtot}$$

L'altezza del precarico può essere stimata assumendo un valore del peso per unità di volume $\gamma_p=16$ kN/m³, tramite la relazione:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	003	-1	GEO

$$H=q^*/\gamma_p$$

Nella Tab. 11 viene riportato il valore di H ottenuto:

Sez.	Calcolo cedimenti di consolidazione						Precarica			
	t (mesi)	U*	S _{vtot} (cm)	S _{vres} (cm)	S _{vc} (cm)	S _v * (cm)	q _{design} (kPa)	q* (kPa)	γ _p (kN/m ³)	Altezza H (m)
S2	3	46	56.51	2.83	53.68	116.3	20	41.2	16	2.57

Tabella 8

In conclusione, nell'ipotesi di realizzare una precarica di 2.60 m di altezza, è possibile ottenere il completo smaltimento delle sovrappressioni neutre in 90 gg.

8.2. Risultati delle analisi – Molo Ovest

Le analisi relative al molo Ovest sono state condotte rispetto alla sezione 9 (Fig. 12) ritenuta rappresentativa delle particolari condizioni stratigrafiche.

Per la realizzazione del molo Ovest non è previsto un intervento di consolidamento, pertanto sarà adottata una opportuna procedura costruttiva per fasi che permetta lo smaltimento dei cedimenti durante la costruzione delle altre opere previste in progetto.

In una prima fase sarà realizzato un rilevato di lavoro di larghezza di base superiore a quella di progetto, nel tratto immerso e fino ad una quota pari a circa 0.5 m s.l.m., con pendenza 2:1. Durante la fase di messa in opera della scogliera, considerate le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta si può stimare una percentuale di compenetrazione pari a circa il 20 % con il materiale arido. Durante l'esecuzione della scogliera il materiale di riporto tenderà a disporsi in modo tale da compensare eventuali fenomeni locali di instabilità e permettere il raggiungimento della quota prevista. Una volta finita la prima fase occorrerà aspettare un tempo pari a circa 4/5 mesi necessari per lo smaltimento delle sovrappressioni neutre indotte e quindi per far avvenire i cedimenti stimati nell'ordine dei 30-50 cm. A questo punto si potrà procedere con le operazioni di finitura del molo aggiungendo materiale fino al raggiungimento delle quote di progetto con un opportuno sovrizzo di circa 30 cm al fine di compensare i cedimenti dovuti all'applicazione del carico aggiuntivo. Dopo circa 4 mesi sarà possibile eseguire la riprofilatura finale secondo la sezione di progetto.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Relazione geotecnica				
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011				
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	003	-1

Cedimenti (cm)	Fase 1		Fase 2
	Cedimenti totali	Consolidazione	Consolidazione
Molo Ovest	105.3	34.0	22.3

Tabella 9

AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

PORTO CANALE DI CAGLIARI

AVAMPORTO EST

DISTRETTO DELLA CANTIERISTICA

PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE

RELAZIONE GEOTECNICA

Appendice di calcolo

Interpretazione prove in situ

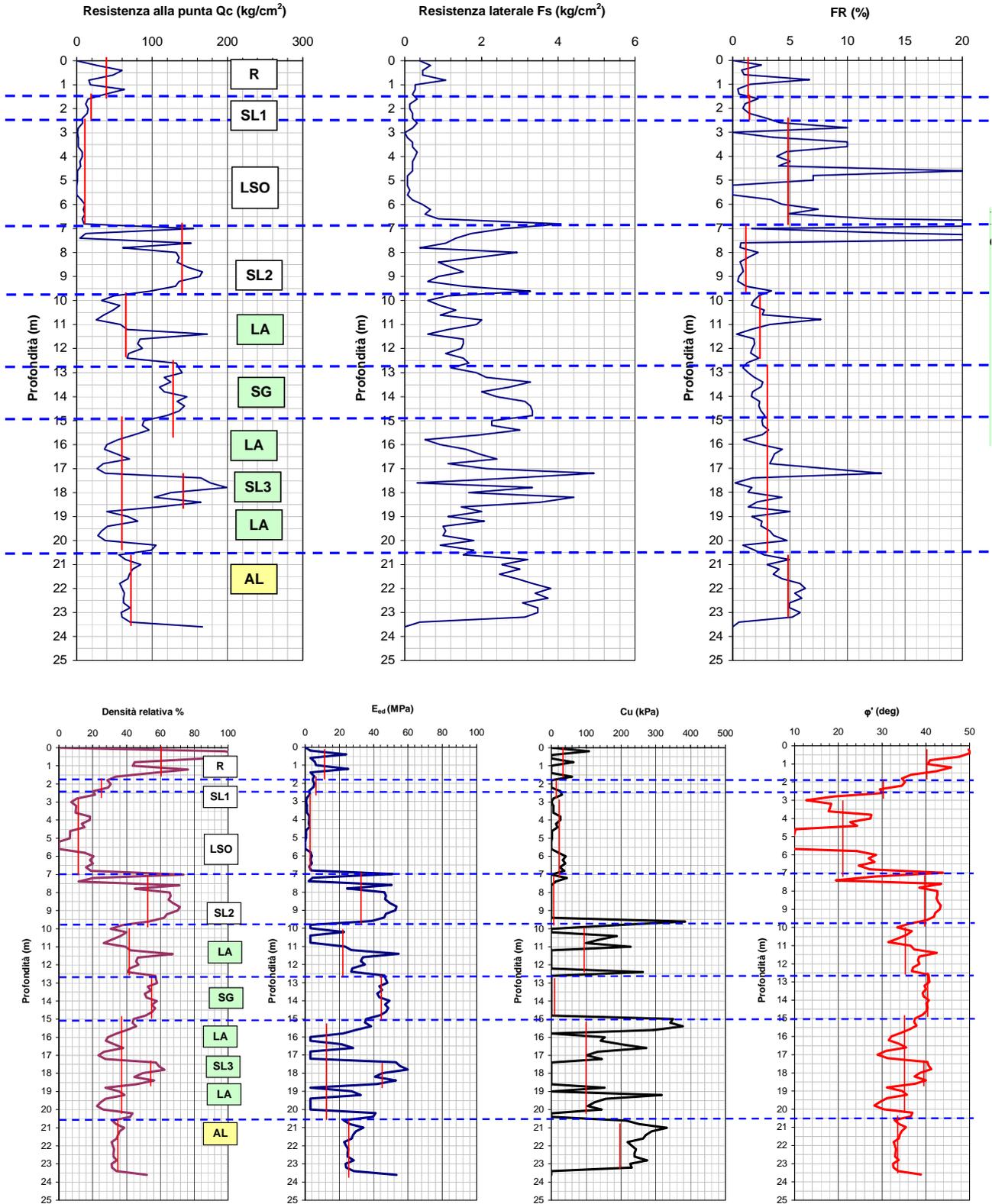
Calcolo dei cedimenti

Verifiche di stabilità globale

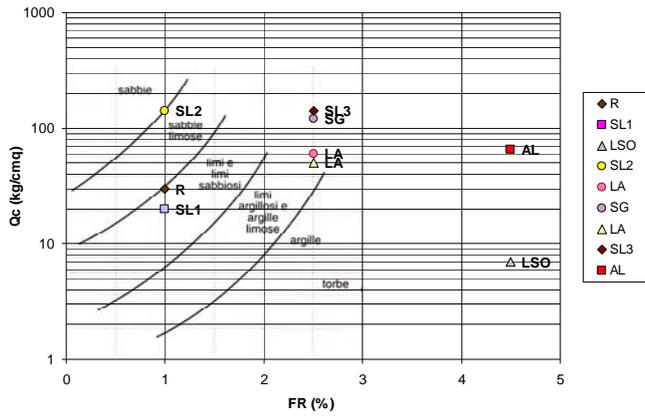
Verifiche di stabilità del muro di banchina a cassoni

INTERPRETAZIONE DELLE PROVE IN SITU

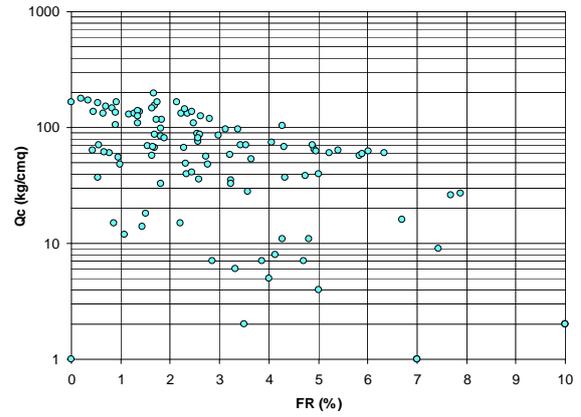
PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT1



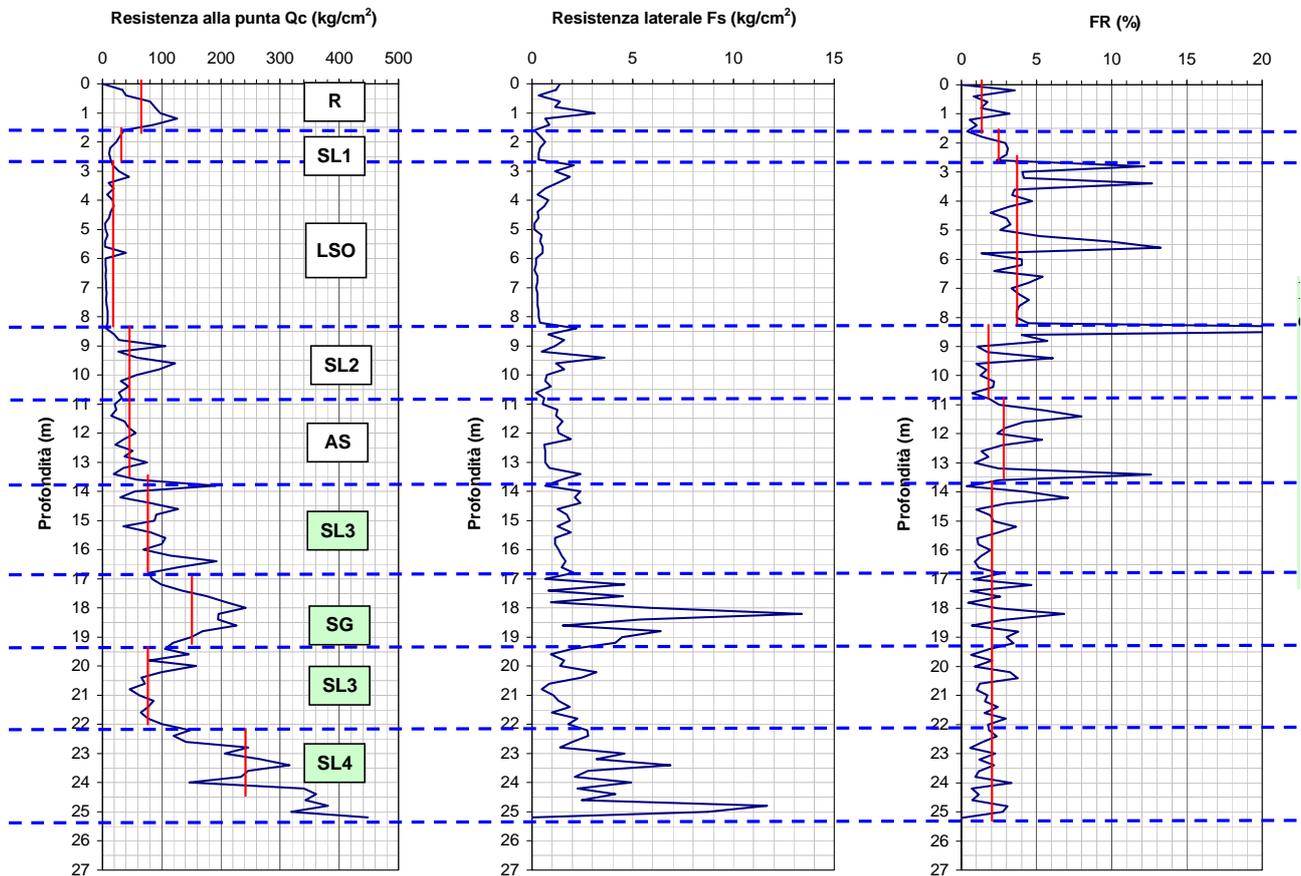
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

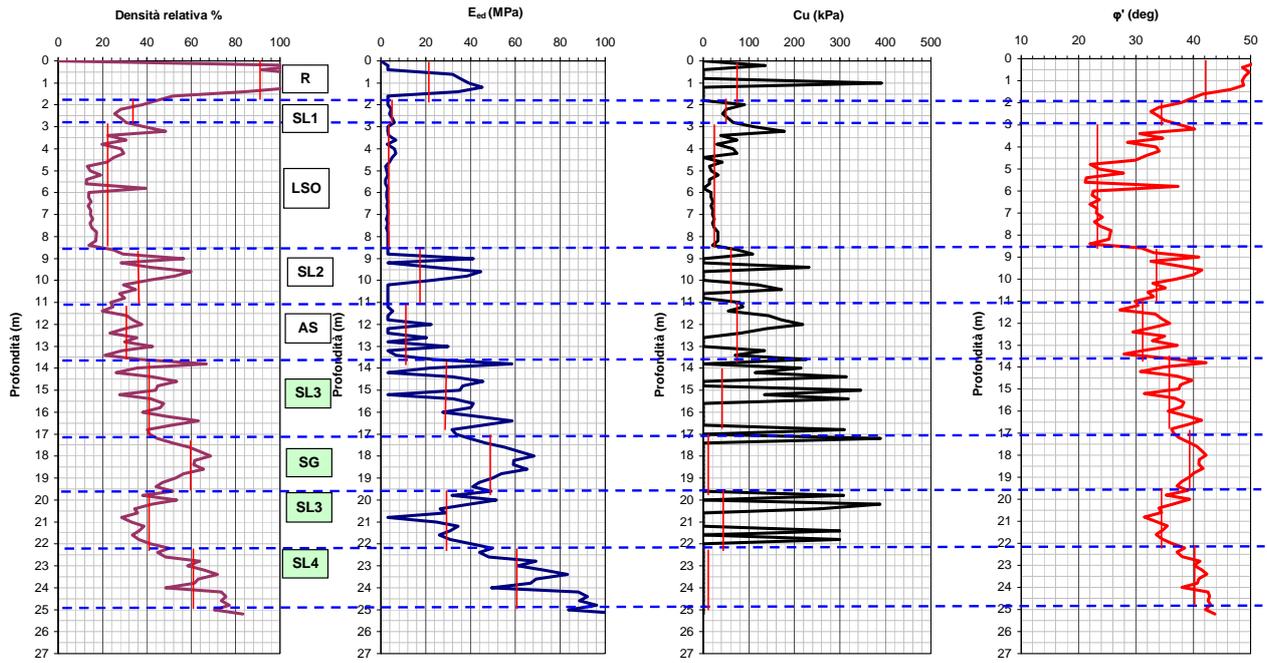


Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

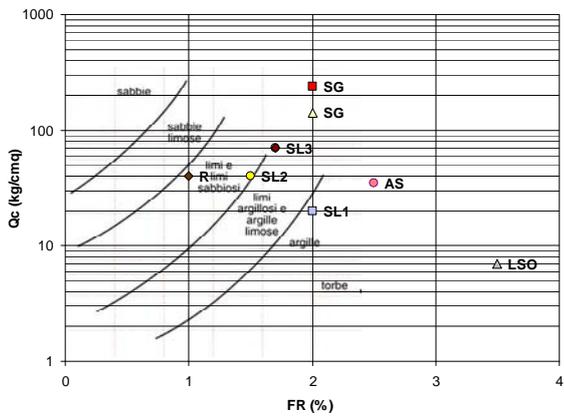


PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT2

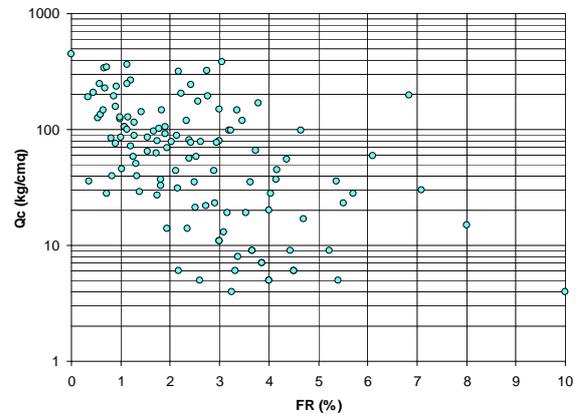




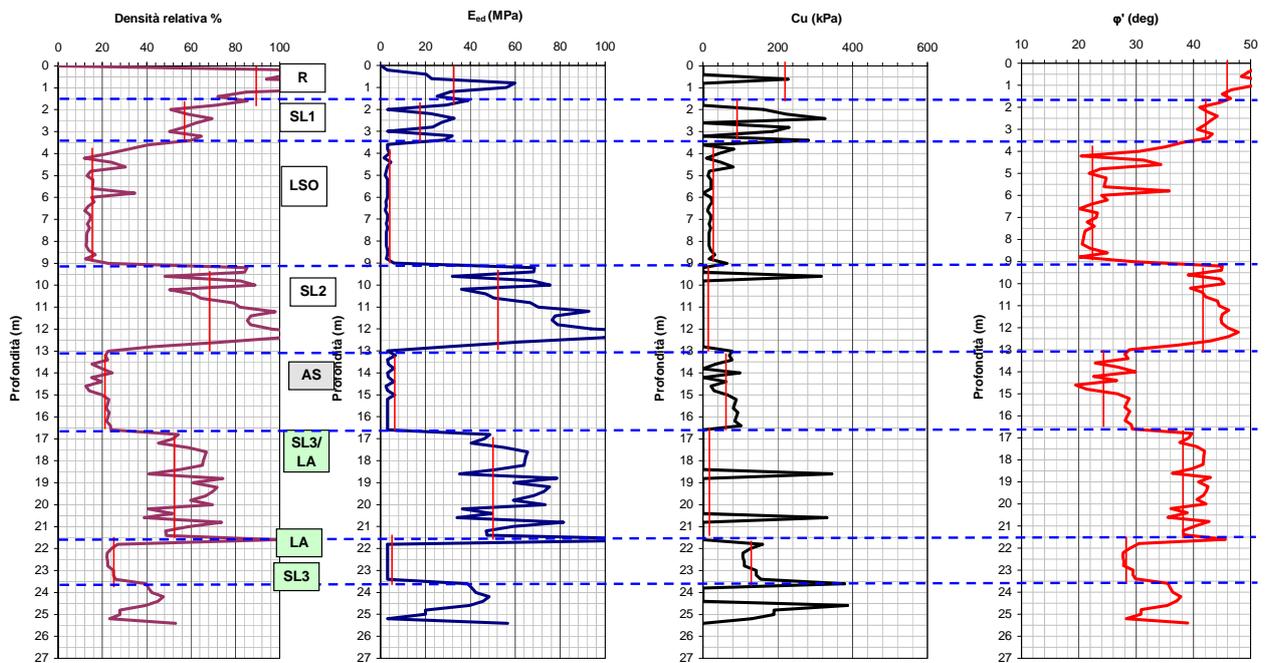
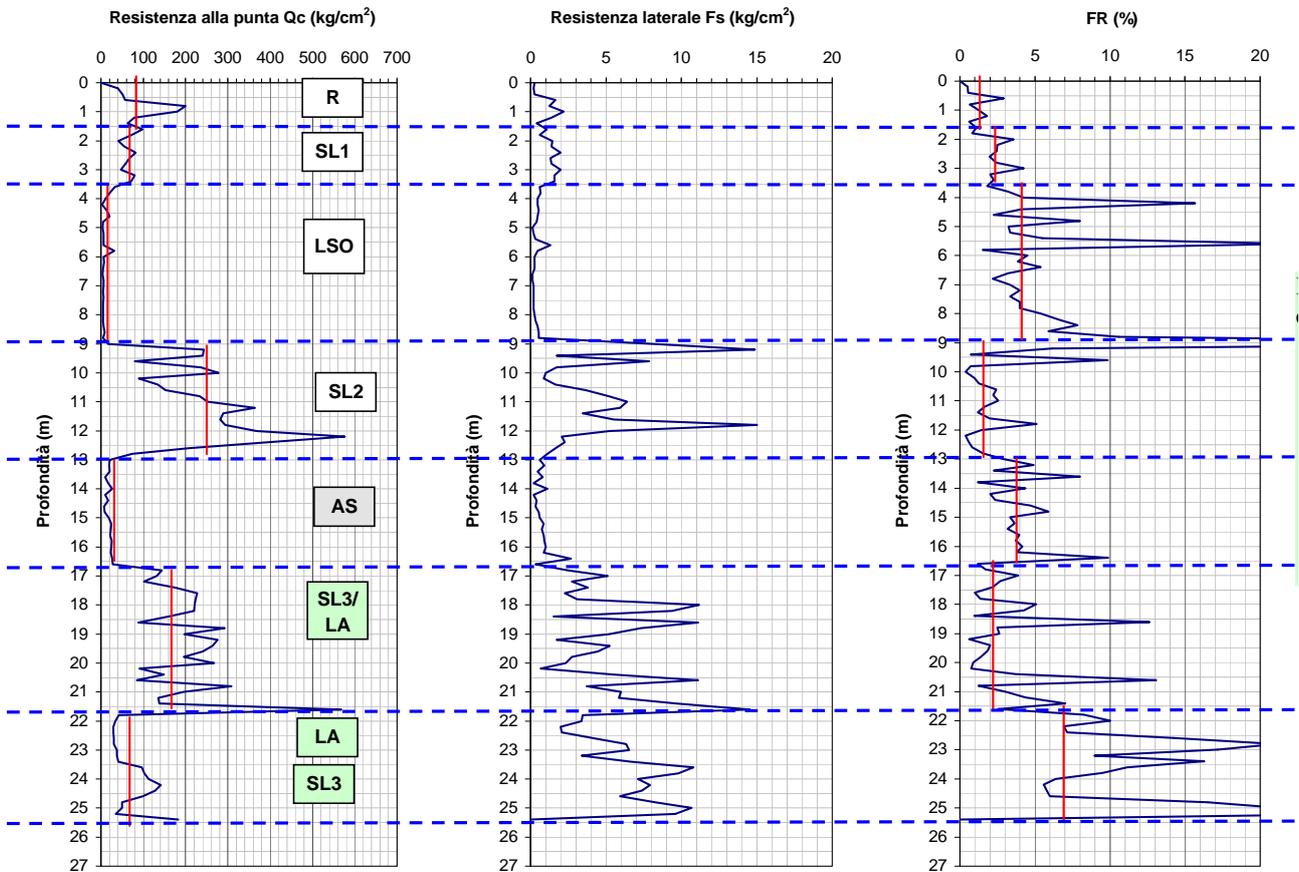
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



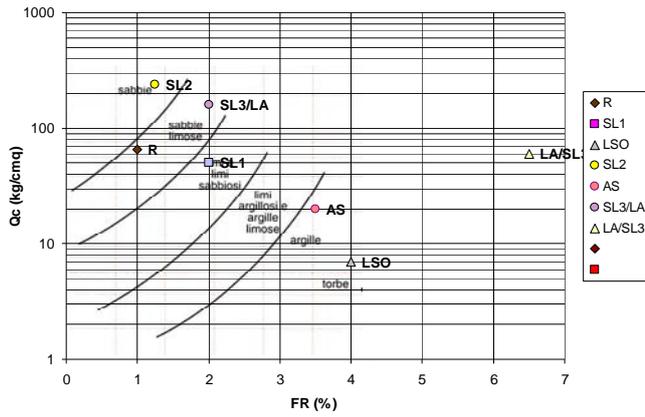
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



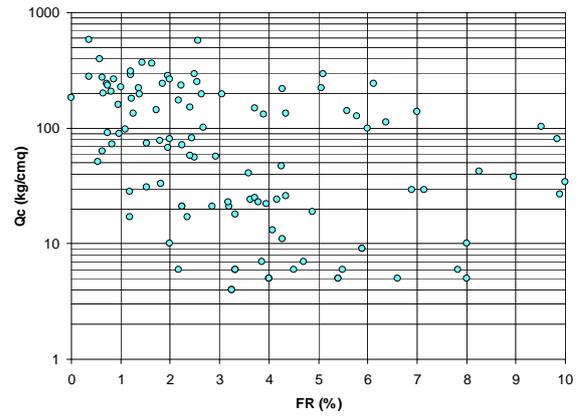
PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT3



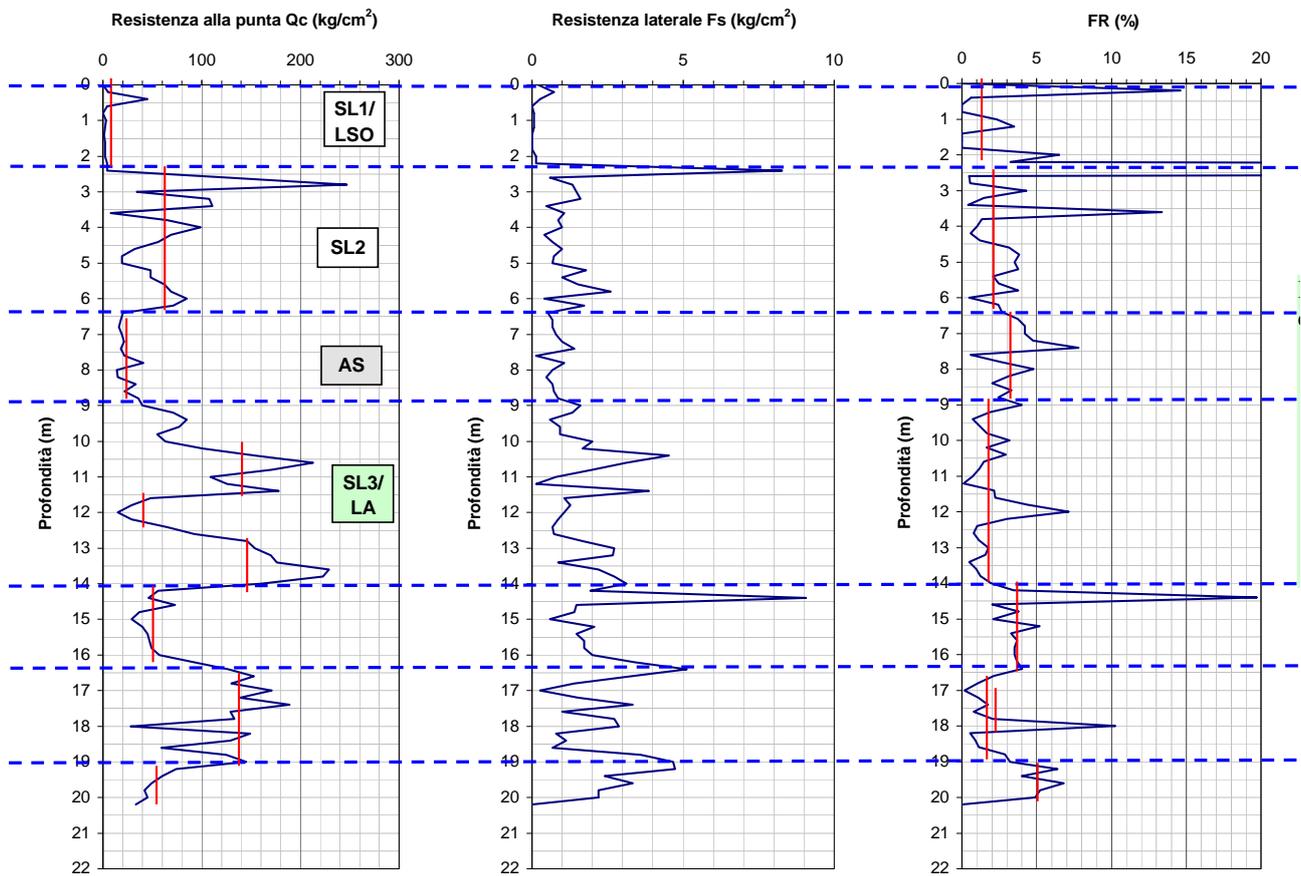
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

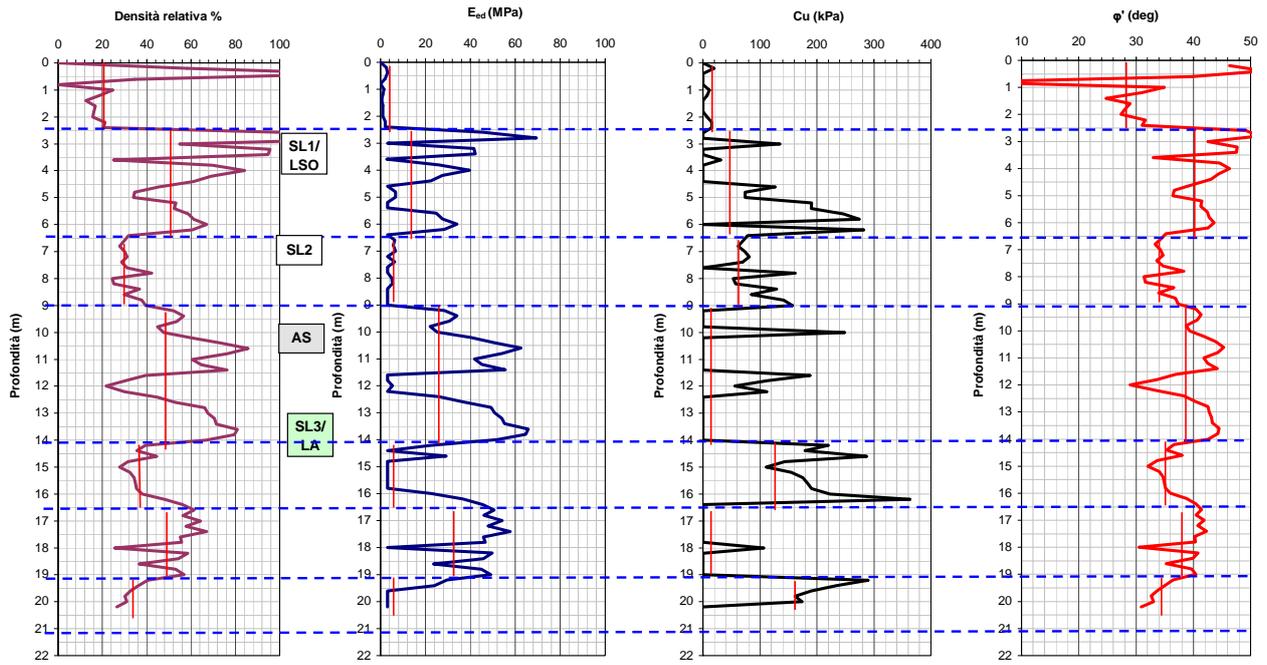


Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

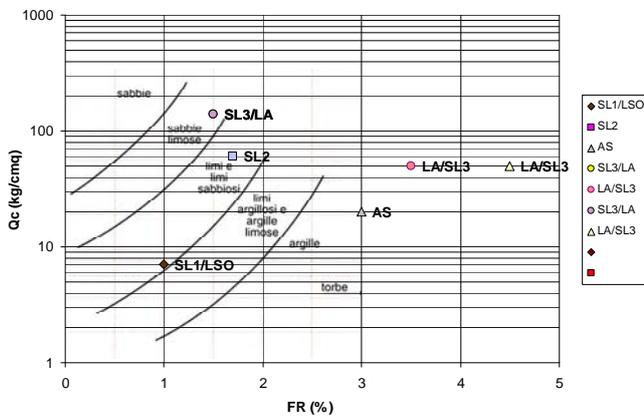


PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT9

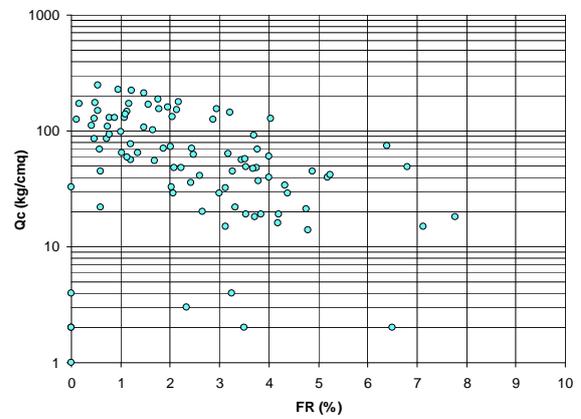




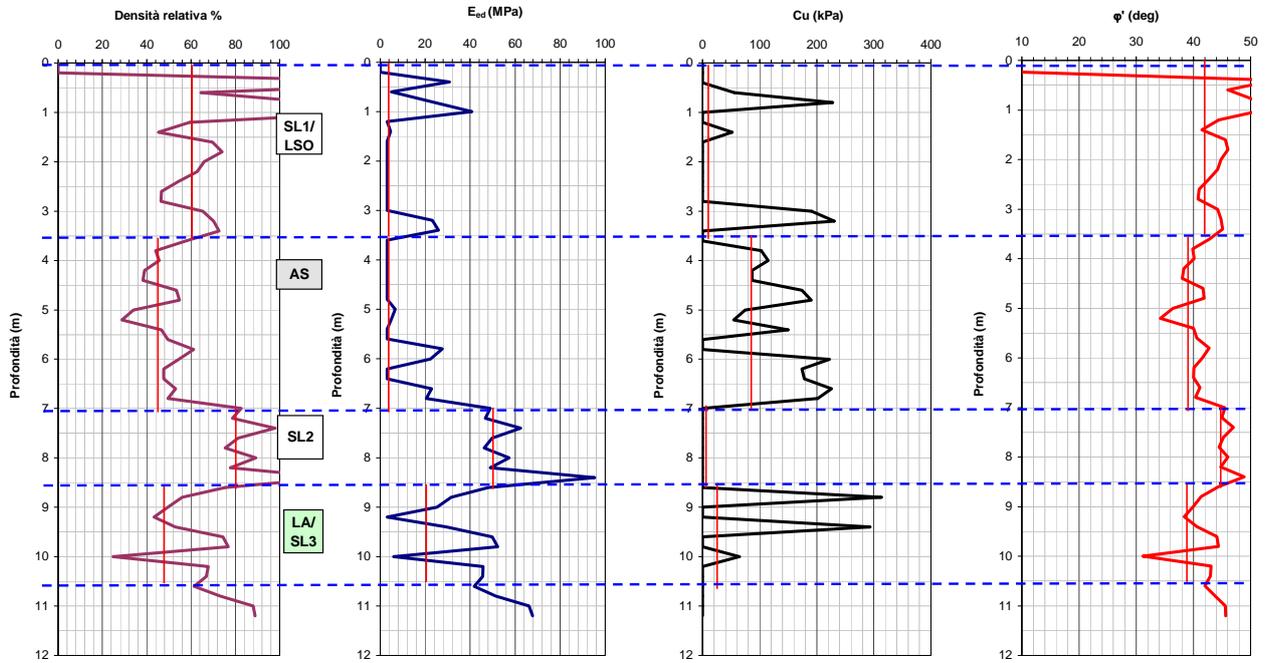
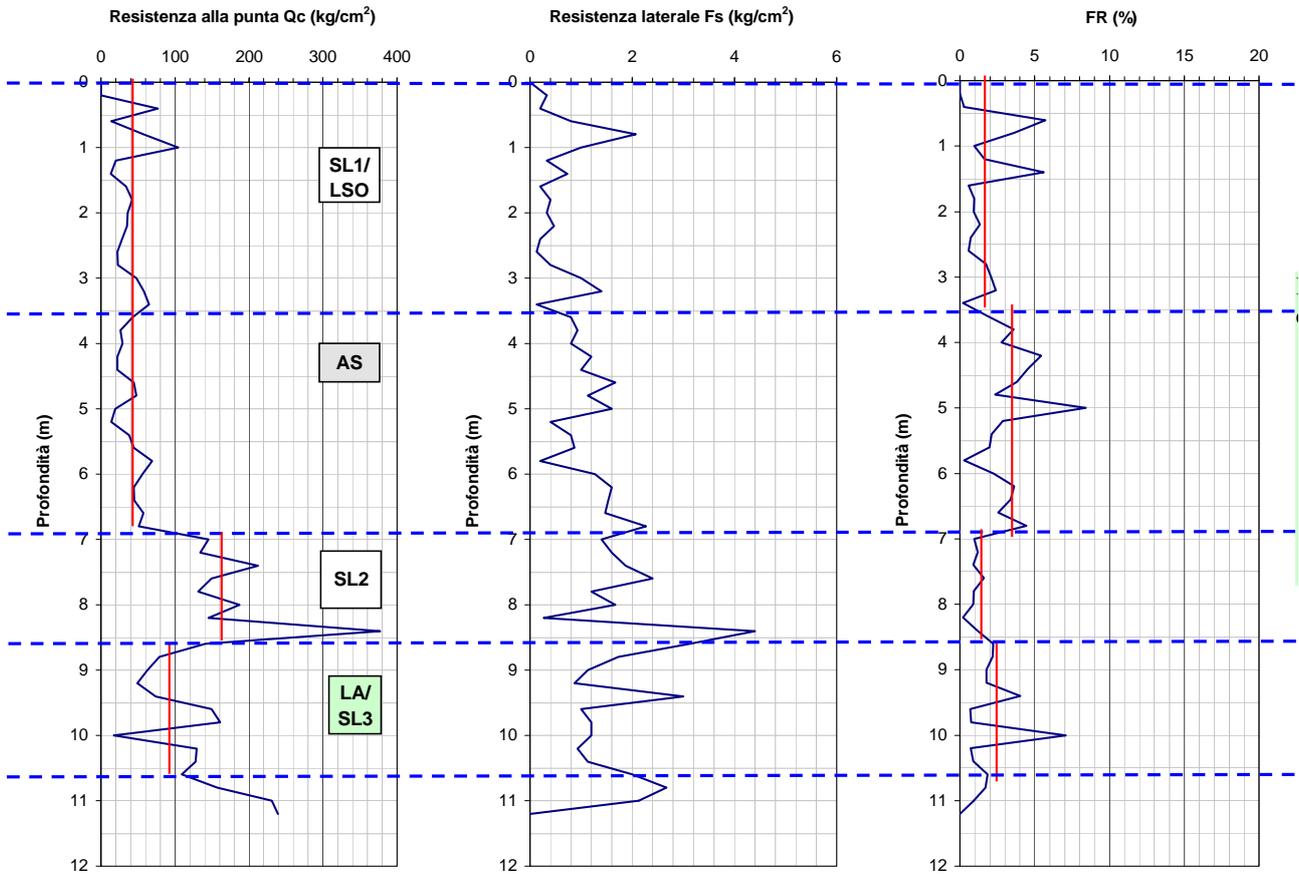
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



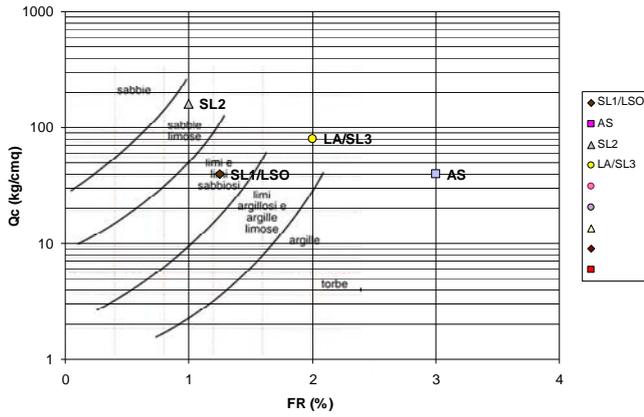
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



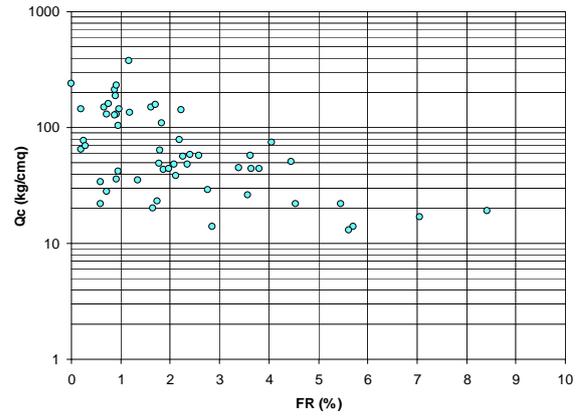
PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT10



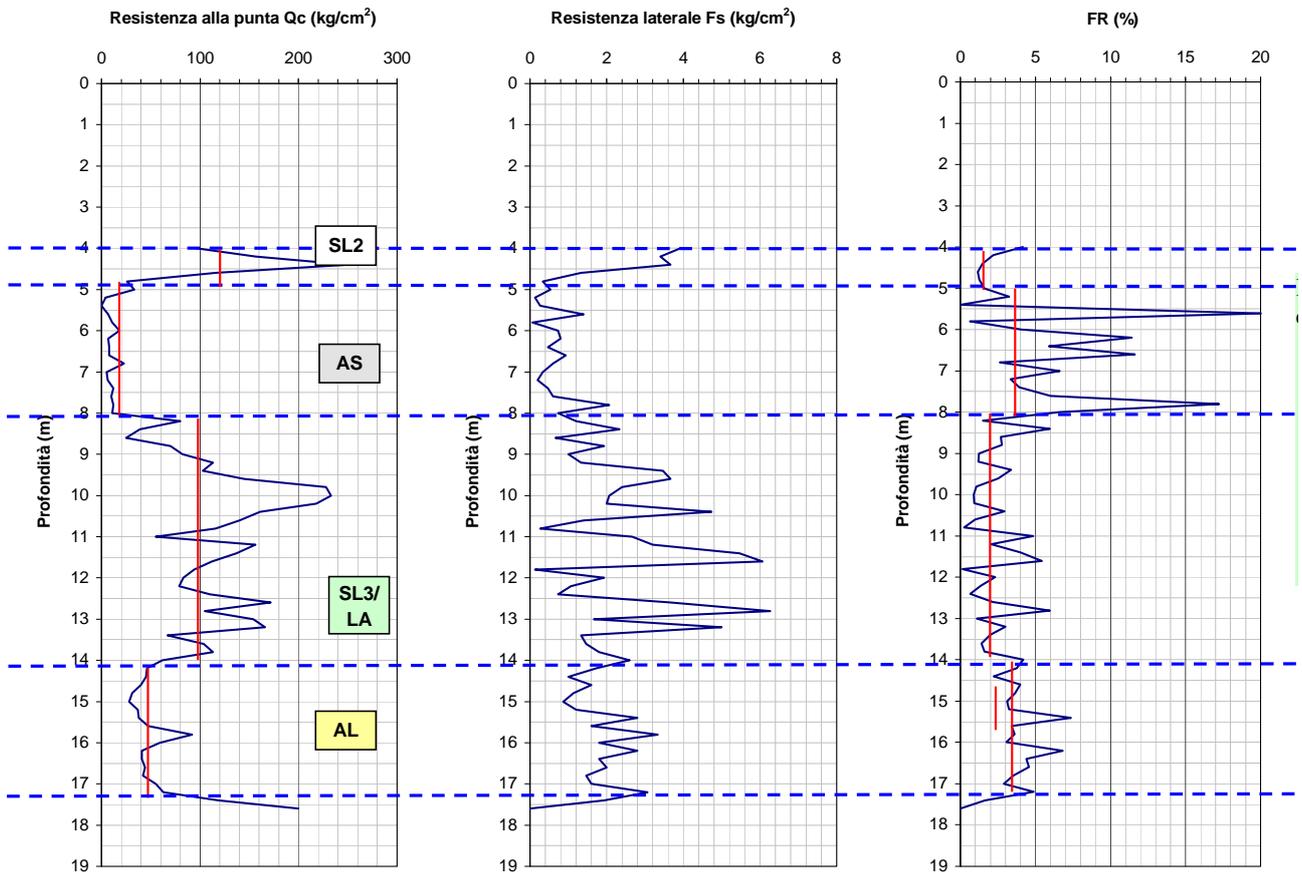
Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

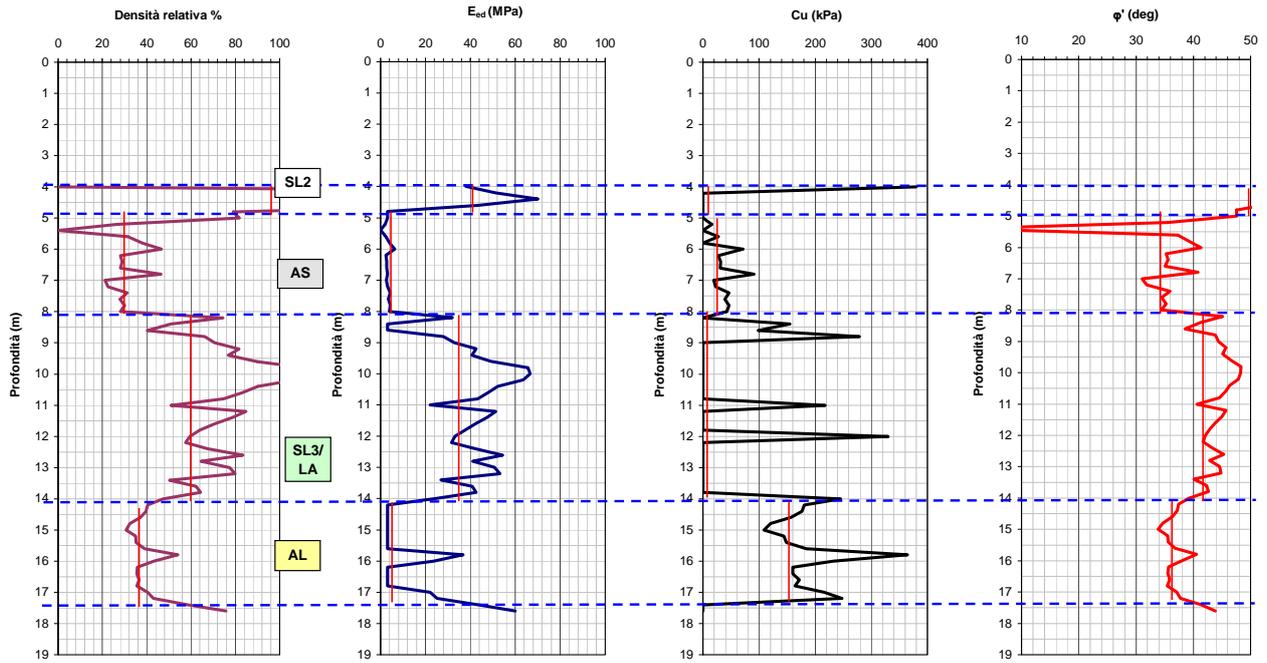


Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)

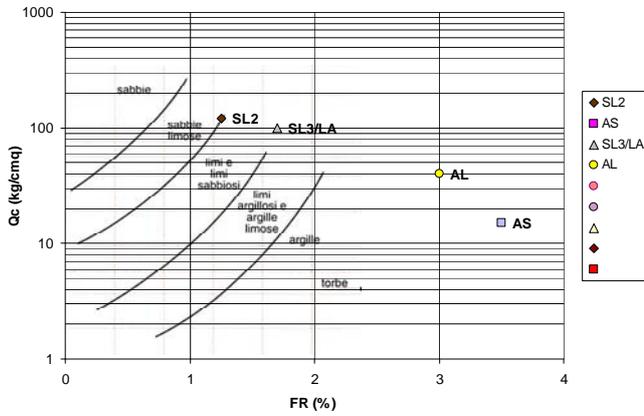


PORTO DI CAGLIARI - INTERPRETAZIONE PROVA CPT11

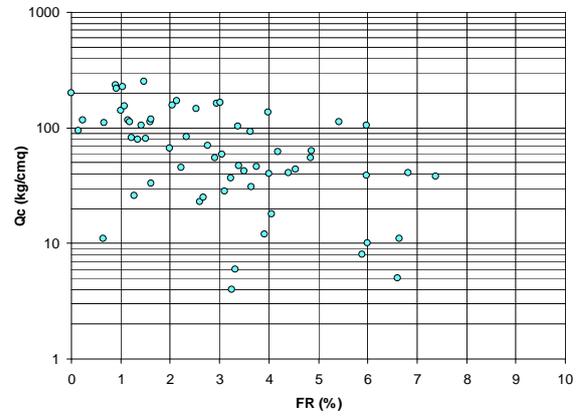




Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



Carta di classificazione di Robertson e Campanella (1983)



CALCOLO DEI CEDIMENTI

Nel caso di fondazioni impostate su terreni sabbiosi o comunque caratterizzati da una elevata conducibilità idraulica di insieme i cedimenti saranno prevalentemente di tipo immediato e si svolgeranno contestualmente alla applicazione dei carichi.

Nel caso di fondazioni su terreni coesivi, i cedimenti avvengono in parte all'applicazione dei carichi, per deformazioni a volume costante (cedimento immediato o non drenato w_0) ed in parte gradualmente con il progressivo trasferimento del carico dalla fase fluida allo scheletro solido (cedimento di consolidazione w_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).

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

$$w = w_0 + U \cdot w_c$$

dove U esprime il grado di consolidazione e varia nel tempo fra 0 e 1.

Calcolo. Con riferimento al quadro stratigrafico ed alle condizioni idrauliche al contorno di riferimento, i passi necessari per calcolare i cedimenti attesi sono i seguenti:

- 1) definizione delle caratteristiche fisiche e di compressibilità dei terreni di imposta quali: il peso per unità di volume γ ; l'indice dei vuoti e_0 ; l'indice di compressibilità (C_c), l'indice di ricomprensione (C_s) e il grado di sovraconsolidazione per i terreni coesivi; il valore del modulo operativo E' del coefficiente di Poisson ν per i terreni a comportamento granulare;
- 2) suddivisione del banco di terreno comprimibile di spessore H in un conveniente numero di strati aventi spessore iniziale H_i (indicando con H_i lo spessore dell' i -esimo strato o sottostrato, sarà $H = \sum H_i$) e, in corrispondenza della mezzeria di ciascun strato, valutazione delle tensioni efficaci verticali σ'_z e orizzontali σ'_x, σ'_y correnti, della pressione di preconsolidazione σ'_p in presenza di terreni coesivi e dell'incremento del carico unitario netto trasmesso dalla fondazione, $p = q - \gamma D$, in cui q è la pressione media totale trasmessa dalla fondazione e γD è la tensione verticale totale geostatica alla profondità del piano di fondazione.
- 3) calcolo delle tensioni verticali $\Delta\sigma_z$ e orizzontali $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y$ indotte dai sovraccarichi agenti. Per il calcolo degli incrementi di tensione indotte dai carichi si fa ricorso alle formule teoriche di Poulos e Davis (1974) previste per fondazione nastriforme o rettangolare che si basano sulla *teoria del semispazio elastico omogeneo ed isotropo*. L'incremento di tensione verticale $\Delta\sigma_v$ prodotto dalla pressione p agente sull'area di carico è calcolato fino alla profondità Z oltre la

quale non sono presenti strati compressibili o in cui si ottiene $\Delta\sigma_z=0,15\sigma'_{z0}$.

- 4) calcolo del valore aggiornato del modulo elastico operativo E' : per terreni granulari E' può essere impostato $E = \text{costante}$ oppure in funzione dello stato tensionale corrente tramite la relazione di Jambu (1963):

$$E' = K_E p_a \left(\frac{\sigma'_{z0} + 0.5 \cdot \Delta\sigma'_z}{p_a} \right)^{0.5}$$

In cui p_a è una pressione di riferimento assunta pari a 100kPa e K_E è una costante (“numero del modulo”).

- 5) calcolo dell’incremento di deformazione verticale di ogni strato i -esimo tramite la legge di Hooke;
- 6) Il cedimento finale della fondazione w_f si ottiene sommando i contributi degli strati considerati

$$w_f = \sum_i \Delta H_i$$

In presenza di terreni coesivi, il calcolo immediato in condizioni non drenate può essere valutato tramite le relazioni precedentemente espresse imponendo $E = E_u = \text{cost}$ e $\nu = 0.5$; per il calcolo del cedimento di consolidazione w_c si può utilizzare il cosiddetto metodo edometrico che si basa sull’ipotesi secondo cui le deformazioni al di sotto del piano di fondazione avvengano solo in direzione verticale, senza contrazioni o espansioni orizzontali.

Per il calcolo è necessario ripercorrere i passi 1)/2)/3) precedentemente esposti, mentre il cedimento finale della fondazione w_f si ottiene sommando i contributi degli strati considerati

$w_f = \sum_i \Delta H_i$, calcolati mediante le seguenti formulazioni espresse in funzione del grado di sovraconsolidazione OCR del deposito:

- ✓ se il terreno è normalmente consolidato $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$, con $\sigma'_{fin} = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_z$:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta e}{(1 + e_0)} \cdot H_0 = \frac{H_i}{(1 + e_0)} \cdot C_c \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{fin}}{\sigma'_{v0}} \right)$$

- ✓ se il terreno è sovraconsolidato occorre considerare due casi in funzione del rapporto tra σ'_{fin} e σ'_p :
- se $\sigma'_{fin} < \sigma'_p$:

$$\Delta H_i = \frac{H_i}{(1 + e_0)} \cdot C_s \cdot \log \left(\frac{\sigma'_{fin}}{\sigma'_{v0}} \right)$$

se $\sigma'_{fin} > \sigma'_p$

$$\Delta H_i = \frac{H_i}{(1 + e_0)} \cdot \left[C_s \cdot \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}}\right) + C_c \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{fin}}{\sigma'_c}\right) \right] = \frac{H_i}{(1 + e_0)} \cdot \left[C_s \cdot \log(OCR) + C_c \cdot \log\left(\frac{\sigma'_{fin}}{\sigma'_c}\right) \right]$$

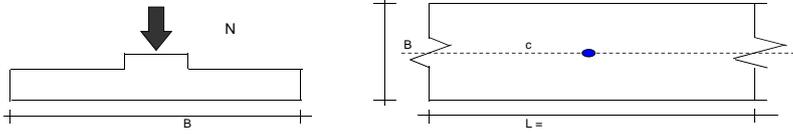
Per valutare in fase di previsione l'entità ed il rapporto tra il cedimento immediato e di consolidazione dei terreni a grana fine, si può fare riferimento alla tabella di Padfield e Sharrock (1983) basata su osservazioni di opere reali.

Tabella Padfield e Sharrock (1983)

Terreni a grana fina	Cedimento immediato w_0	Cedimento per consolidazione w_c	Cedimento finale w_f
<i>normalmente consolidati</i>	0.1 w_{ed}	w_{ed}	1.1 w_{ed}
<i>sovraconsolidati</i>	(0.5 – 0.6) w_{ed}	(0.4 – 0.5) w_{ed}	w_{ed}

RISULTATI

Calcolo dei cedimenti - collocazione rilevato Banchina Nord



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi)^{0.5} (\alpha + \sin\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = (2q/\pi)^{0.5} (\alpha - \sin\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi)^{0.5} (v_{vs})$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - v(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) / \sigma_{vm} / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 70.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 4 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da z	a	z _{ult}	Δz_i	E	kE	e_0	C _c	C _s	OCR	v	δ_{ci}
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	(-)	(cm)
1	LIMO ORGANICO LSO TRATTATO	DR	18.00	4.50	0.0	4.5		0.5	5000	-	-	-	-	-	0.30	4.11
2	SABBIE LIMOSE SL2	DR	18.50	3.90	4.5	8.4		0.5	-	200	-	-	-	-	0.30	0.91
3	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	1.00	8.4	9.4		0.5	13200	-	-	-	-	-	0.50	0.24
4	SABBIE LIMOSE SL3-SABBIE GHIE SG (LAS2)	DR	19.50	21.60	9.4	31.0		0.5	-	200	-	-	-	-	0.30	1.71
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$\delta_{ctot} = 6.96$ (cm)

Profondità della falda (m)

0.00

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 1 - \sin\phi'$

0.53

$\Delta\sigma_{vm}/\sigma_{vm}$ [%]

15

24.00 m

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è

tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione

media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_m$) per effetto del sovraccarico agente in superficie

è risultato minore della tensione efficace media

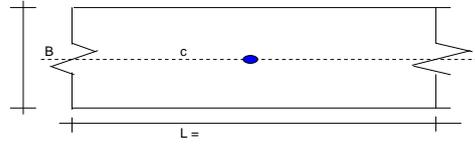
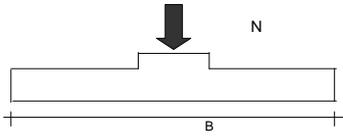
$$[\sigma_{vm} = (\sigma'_{v0} + 2 k_0 \sigma'_{v0})/3]$$

$$[\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)/3]$$

$$\text{nella misura del } 15\%$$

z	Δz_i	$z/\Delta z_i^2$	terreno	α	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	E	v	$\Delta\sigma_z^i$	$\Delta\sigma_x^i$	$\Delta\sigma_y^i$	Comportamento	γ	α	u	σ'_m	$\Delta\sigma_z^i$	$\Delta\sigma_m/\sigma'_m$	kE	$\Delta\sigma'_m/\sigma'_m$	$\Sigma \delta_{ed}$	E	v	$\Sigma \delta_i$	
(m)	(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm)	(kN/m ²)	(-)	(cm)						
0.00	0.5	1					5000	0.30				DR												0	
0.50	0.5	0.25	1	1.53	1.00	0.04	5000	0.30	70.00	66.29	40.89	DR	18.00	9.00	5.00	4.00	2.75	70.00	25.47	-	74	0	-	0.30	0.38
1.50	0.5	1.25	1	1.37	0.98	0.20	5000	0.30	69.74	51.95	36.51	DR	18.00	27.00	15.00	12.00	8.24	69.74	8.46	-	82	0	-	0.30	0.43
2.00	0.5	1.75	1	1.29	0.96	0.28	5000	0.30	69.33	45.37	34.41	DR	18.00	36.00	20.00	16.00	10.99	69.33	6.31	-	85	0	-	0.30	0.45
2.50	0.5	2.25	1	1.21	0.94	0.35	5000	0.30	68.66	39.36	32.41	DR	18.00	45.00	25.00	20.00	13.74	68.66	5.00	-	89	0	-	0.30	0.47
3.00	0.5	2.75	1	1.14	0.91	0.42	5000	0.30	67.73	33.97	30.51	DR	18.00	54.00	30.00	24.00	16.49	67.73	4.11	-	92	0	-	0.30	0.48
3.50	0.5	3.25	1	1.07	0.88	0.48	5000	0.30	66.54	29.21	28.73	DR	18.00	63.00	35.00	28.00	19.24	66.54	3.48	-	95	0	-	0.30	0.49
4.00	0.5	3.75	1	1.01	0.85	0.53	5000	0.30	65.14	25.08	27.06	DR	18.00	72.00	40.00	32.00	21.98	65.14	2.98	-	97	0	-	0.30	0.49
4.50	0.5	4.25	1	0.95	0.82	0.58	5000	0.30	63.56	21.52	25.52	DR	18.00	81.00	45.00	36.00	24.73	63.56	2.57	-	100	0	-	0.30	0.49
5.00	0.5	4.75	2	0.90	0.78	0.62	-	0.30	61.85	18.47	24.10	DR	18.50	90.25	50.00	40.25	27.95	61.85	2.24	200	102	0	18973	0.30	0.15
5.50	0.5	5.25	2	0.85	0.75	0.66	-	0.30	60.05	15.88	22.78	DR	18.50	99.50	55.00	44.50	30.57	60.05	1.98	200	105	0	17266	0.30	0.14
6.00	0.5	5.75	2	0.81	0.72	0.69	-	0.30	58.21	13.69	21.57	DR	18.50	108.75	60.00	48.75	33.49	58.21	1.74	200	107	0	17647	0.30	0.13
6.50	0.5	6.25	2	0.76	0.69	0.72	-	0.30	56.35	11.83	20.45	DR	18.50	118.00	65.00	53.00	36.41	56.35	1.55	200	109	0	18020	0.30	0.13
7.00	0.5	6.75	2	0.73	0.66	0.75	-	0.30	54.51	10.25	19.43	DR	18.50	127.25	70.00	57.25	39.33	54.51	1.39	200	112	0	18385	0.30	0.12
7.50	0.5	7.25	2	0.69	0.64	0.77	-	0.30	52.70	8.92	18.49	DR	18.50	136.50	75.00	61.50	42.25	52.70	1.25	200	114	0	18748	0.30	0.12
8.00	0.5	7.75	2	0.66	0.61	0.79	-	0.30	50.93	7.79	17.62	DR	18.50	145.75	80.00	65.75	45.17	50.93	1.13	200	117	0	19101	0.30	0.11
8.50	0.5	8.25	3	0.63	0.59	0.81	13200	0.50	49.22	6.82	28.02	ND	18.00	154.75	85.00	69.75	47.92	49.22	1.03	-	119	0	13200	0.50	0.12
9.00	0.5	8.75	3	0.60	0.57	0.82	13200	0.50	47.57	6.00	26.79	ND	18.00	163.75	90.00	73.75	50.67	47.57	0.94	-	121	0	13200	0.50	0.12
9.50	0.5	9.25	4	0.58	0.54	0.84	-	0.30	45.99	5.30	15.39	DR	19.50	173.50	95.00	78.50	53.93	45.99	0.85	200	124	0	20149	0.30	0.10
10.00	0.5	9.75	4	0.55	0.52	0.85	-	0.30	44.47	4.69	14.75	DR	19.50	183.25	100.00	83.25	57.19	44.47	0.78	200	128	0	20541	0.30	0.09
10.50	0.5	10.25	4	0.53	0.51	0.86	-	0.30	43.03	4.17	14.16	DR	19.50	193.00	105.00	88.00	60.46	43.03	0.71	200	131	0	20930	0.30	0.09
11.00	0.5	10.75	4	0.51	0.49	0.87	-	0.30	41.65	3.72	13.61	DR	19.50	202.75	110.00	92.75	63.72	41.65	0.65	200	134	0	21314	0.30	0.09
11.50	0.5	11.25	4	0.49	0.47	0.88	-	0.30	40.34	3.33	13.10	DR	19.50	212.50	115.00	97.50	66.98	40.34	0.60	200	138	0	21695	0.30	0.08
12.00	0.5	11.75	4	0.47	0.45	0.89	-	0.30	39.09	2.99	12.62	DR	19.50	222.25	120.00	102.25	70.25	39.09	0.56	200	141	0	22072	0.30	0.08
12.50	0.5	12.25	4	0.46	0.44	0.90	-	0.30	37.90	2.69	12.18	DR	19.50	232.00	125.00	107.00	73.51	37.90	0.52	200	145	0	22448	0.30	0.07
13.00	0.5	12.75	4	0.44	0.43	0.90	-	0.30	36.77	2.43	11.76	DR	19.50	241.75	130.00	111.75	76.77	36.77	0.48	200	149	0	22815	0.30	0.07
13.50	0.5	13.25	4	0.43	0.41	0.91	-	0.30	35.69	2.20	11.37	DR	19.50	251.50	135.00	116.50	80.04	35.69	0.45	200	152	0	23182	0.30	0.07
14.00	0.5	13.75	4	0.41	0.40	0.92	-	0.30	34.67	2.00	11.00	DR	19.50	261.25	140.00	121.25	83.30	34.67	0.42	200	156	0	23544	0.30	0.07
14.50	0.5	14.25	4	0.40	0.39	0.92	-	0.30	33.70	1.82	10.66	DR	19.50	271.00	145.00	126.00	86.56	33.70	0.39	200	160	0	23904	0.30	0.06
15.00	0.5	14.75	4	0.39	0.38	0.93	-	0.30	32.77	1.66	10.33	DR	19.50	280.75	150.00	130.75	89.83	32.77	0.38	200	164	0	24260	0.30	0.06
15.50	0.5	15.25	4	0.37	0.37	0.93	-	0.30	31.89	1.52	10.02	DR	19.50	290.50	155.00	135.50	93.09	31.89	0.34	200	167	0	24612	0.30	0.06
16.00	0.5	15.75	4	0.36	0.36	0.93	-	0.30	31.05	1.40	9.73	DR	19.50	300.25	160.00	140.25	96.35	31.05	0.32	200	171	0	24962	0.30	0.06
16.50	0.5	16.25	4	0.35	0.35	0.94	-	0.30	30.24	1.28	9.46	DR	19.50	310.00	165.00	145.00	99.62	30.24	0.30	200	175	0	25308	0.30	0.05
17.00	0.5	16.75	4	0.34	0.34	0.94	-	0.30	29.48	1.18	9.20	DR	19.50	319.75	170.00	149.75	102.88	29.48	0.29	200	179	0	25651	0.30	0.05
17.50	0.5	17.25	4	0.33	0.33	0.94	-	0.30	28.74	1.09	8.95	DR	19.50	329.50	175.00	154.50	106.14	28.74	0.27	200	183	0	25990	0.30	0.05
18.00	0.5	17.75	4	0.33	0.32	0.95	-	0.30	28.05	1.01	8.72	DR	19.50	339.25	180.00	159.25	109.41	28.05	0.26	200	187	0	26327	0.30	0.05
18.50	0.5	18.25	4	0.32	0.31	0.95	-	0.30	27.38	0.93	8.49	DR	19.50	349.00	185.00	164.00	112.67	27.38	0.24	200	191	0	26660	0.30	0.05
19.00	0.5	18.75	4	0.31	0.30	0.95	-	0.30	26.74	0.87	8.28	DR	19.50	358.75	190.00	168.75	115.93	26.74	0.23	200	195	0	26990	0.30	0.04
19.50	0.5	19.25	4	0.30	0.30	0.95	-	0.30	26.12	0.80	8.08	DR	19.50	368.50	195.00	173.50	119.20	26.							

Calcolo dei cedimenti - carico esercizio rilevato Banchina Nord



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis: 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot (\alpha + \text{sen}\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = (2q/\pi) \cdot (\alpha - \text{sen}\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) \cdot (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot \Delta z / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 20.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 5 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da	z _{i+1}	Δz_i	E	kE	e _p	C _c	C _s	OCR	ν	δ_{ci}
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m)	-	-	-	-	(-)	(cm)
1	RILEVATO	DR	19.00	5.00	0.0	5.0	0.5	10000	-	-	-	-	-	0.30	0.66
2	LIMO ORGANICO LSO TRATTATO	DR	18.00	4.50	5.0	9.5	0.5	5000	-	-	-	-	-	0.30	1.14
3	SABBIE LIMOSE SL2	DR	18.50	3.90	9.5	13.4	0.5	200	-	-	-	-	-	0.30	0.10
4	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	1.00	13.4	14.4	0.5	-	-	1.00	0.35	0.05	1	-	0.00
5	SABBIE LIMOSE SL3-SABBIE GHIAIE SG (LAS2)	DR	19.50	21.60	14.4	36.0	0.5	-	200	-	-	-	-	0.30	0.00

$\delta_{ctot} = 1.89$ (cm)

Profondità della falda (m)

2.00

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo $k=1-\text{sen}^2\phi$

0.53

$\Delta\sigma_{vm}/\sigma_{vm}$ [%]

15

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è

11.50 m

tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione

media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_m$) per effetto del sovraccarico agente in superficie

$$[\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/3$$

è risultato minore della tensione efficace media

$$[\sigma_{vm} = (\sigma'_{vo} + 2 \cdot k \cdot \sigma'_{vo})/3]$$

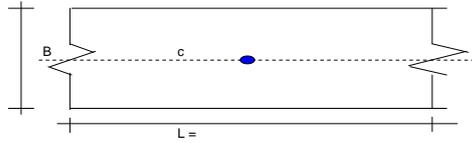
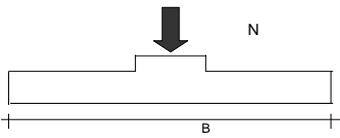
nella misura del

15%

z	Δz_i	$\nu \cdot \Delta z_i^2$	Terreno	α	$\text{sen}\alpha$	$\cos\alpha$	E	ν	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_x$	$\Delta\sigma_y$	Comportamento	γ	σ'_z	u	σ'_x	σ'_y	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_x/\sigma'_z$	kE	$\Delta\sigma_z + \nu(\sigma'_x/\sigma'_z)$	$\Delta\sigma_m$	$\Delta\sigma_z + \nu(\sigma'_x/\sigma'_z)$	e _p	C _c	C _s	OCR	$\Sigma \delta_{ci}$ ind	$\Sigma \delta$
(m)	(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)					

0.00	0.50		1	1.53	1.00	0.04	10000	0.30				DR																		0	0
0.50	0.50	0.25	1	1.45	0.99	0.12	10000	0.30	20.00	11.68	11.68	DR	19.00	9.50	0.00	9.50	6.53	20.00	3.06	-	3.105200436	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.05
1.00	0.50	0.75	1	1.45	0.99	0.12	10000	0.30	19.98	11.05	11.05	DR	19.00	19.00	0.00	19.00	13.05	19.98	1.53	-	2.051775998	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06
1.50	0.50	1.25	1	1.37	0.98	0.20	10000	0.30	19.93	10.43	10.43	DR	19.00	28.50	0.00	28.50	19.58	19.93	1.02	-	1.899195913	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06
2.00	0.50	1.75	1	1.29	0.96	0.28	10000	0.30	19.81	9.83	9.83	DR	19.00	38.00	0.00	38.00	26.11	19.81	0.76	-	1.521292258	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06
2.50	0.50	2.25	1	1.21	0.94	0.35	10000	0.30	19.62	9.26	9.26	DR	19.00	47.50	5.00	42.50	29.20	19.62	0.67	-	1.461599989	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
3.00	0.50	2.75	1	1.14	0.91	0.42	10000	0.30	19.35	8.72	8.72	DR	19.00	57.00	10.00	47.00	32.29	19.35	0.60	-	1.411717305	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
3.50	0.50	3.25	1	1.07	0.88	0.48	10000	0.30	19.01	8.21	8.21	DR	19.00	66.50	15.00	51.50	35.38	19.01	0.54	-	1.369157096	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
4.00	0.50	3.75	1	1.01	0.85	0.53	10000	0.30	18.61	7.73	7.73	DR	19.00	76.00	20.00	56.00	38.47	18.61	0.48	-	1.332323908	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
4.50	0.50	4.25	1	0.95	0.82	0.58	10000	0.30	18.16	7.29	7.29	DR	19.00	85.50	25.00	60.50	41.56	18.16	0.44	-	1.300142945	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
5.00	0.50	4.75	1	0.90	0.78	0.62	10000	0.30	17.67	6.88	6.88	DR	19.00	95.00	30.00	65.00	44.66	17.67	0.40	-	1.271849983	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
5.50	0.50	5.25	2	0.85	0.75	0.66	5000	0.30	17.16	6.51	6.51	DR	18.00	104.00	35.00	69.00	47.40	17.16	0.36	-	1.248985843	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.14
6.00	0.50	5.75	2	0.81	0.72	0.69	5000	0.30	16.63	6.16	6.16	DR	18.00	113.00	40.00	73.00	50.15	16.63	0.33	-	1.227826187	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.14
6.50	0.50	6.25	2	0.76	0.69	0.72	5000	0.30	16.10	5.84	5.84	DR	18.00	122.00	45.00	77.00	52.90	16.10	0.30	-	1.209105219	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
7.00	0.50	6.75	2	0.73	0.66	0.75	5000	0.30	15.57	5.55	5.55	DR	18.00	131.00	50.00	81.00	55.65	15.57	0.28	-	1.19227412	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
7.50	0.50	7.25	2	0.69	0.64	0.77	5000	0.30	15.06	5.28	5.28	DR	18.00	140.00	55.00	85.00	58.40	15.06	0.26	-	1.177132557	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
8.00	0.50	7.75	2	0.66	0.61	0.79	5000	0.30	14.55	5.03	5.03	DR	18.00	149.00	60.00	89.00	61.14	14.55	0.24	-	1.163699245	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
8.50	0.50	8.25	2	0.63	0.59	0.81	5000	0.30	14.06	4.80	4.80	DR	18.00	158.00	65.00	93.00	63.89	14.06	0.22	-	1.151210598	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
9.00	0.50	8.75	2	0.60	0.57	0.82	5000	0.30	13.59	4.59	4.59	DR	18.00	167.00	70.00	97.00	66.64	13.59	0.20	-	1.140119645	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
9.50	0.50	9.25	2	0.58	0.54	0.84	5000	0.30	13.14	4.40	4.40	DR	18.00	176.00	75.00	101.00	69.39	13.14	0.19	-	1.130094928	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.11
10.00	0.50	9.75	3	0.56	0.52	0.85	-	0.30	12.71	4.21	4.21	DR	18.50	185.25	80.00	105.25	72.31	12.71	0.18	200	1.120731871	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.03
10.50	0.50	10.25	3	0.53	0.51	0.86	-	0.30	12.29	4.05	4.05	DR	18.50	194.50	85.00	109.50	75.23	12.29	0.16	200	1.112273842	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.02
11.00	0.50	10.75	3	0.51	0.49	0.87	-	0.30	11.90	3.89	3.89	DR	18.50	203.75	90.00	113.75	78.15	11.90	0.15	200	1.104617049	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.02
11.50	0.50	11.25	3	0.49	0.47	0.88	-	0.30	11.53	3.74	3.74	DR	18.50	213.00	95.00	118.00	81.07	11.53	0.14	200	1.097670745	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.02
12.00	0.50	11.75	3	0.47	0.45	0.89	-	0.30	11.17	3.61	3.61	DR	18.50	222.25	100.00	122.25	83.99	11.17	0.13	200	1.091355552	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00

Calcolo dei cedimenti - colmata Banchina Nord



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, F.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot (\alpha + \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (2q/\pi) \cdot (\alpha - \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (4q/\pi) \cdot (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum (((\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})) / \Delta z) \cdot (z_i - z_{i-1}) / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 20.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 5 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da	zi	a	zi+1	Δz_i	E	kE	e_0	Cc	Cs	OCR	ν	δ_{ci}
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)			(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	(-)	(cm)
1	MATERIALE DRAGATO	ND	16.00	4.40	0.0	4.4			0.5	-	-	1.5	0.9	0.1	1	-	37.05
2	LIMO ORGANICO LSO	ND	16.50	5.50	4.4	9.9			0.5	-	-	1.51	0.9	0.1	1	-	19.45
3	SABBIE LIMOSE SL2	DR	18.50	3.90	9.9	13.8			0.5	-	200	-	-	-	-	-	0.30
4	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	1.00	13.8	14.8			0.5	-	-	1.00	0.35	0.05	1	-	0.00
5	SABBIE LIMOSE SL3-SABBIE GHIAIE SG (LAS2)	DR	19.50	21.60	14.8	36.4			0.5	-	200	-	-	-	-	-	0.30
6																	-

$\delta_{tot} = 56.66$ (cm)

Profondità della falda (m)

2.00

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo $k=1-\text{sen}^2\phi$

0.53

$\Delta\sigma_{vm}/\sigma_{vm}$ [%]

15

12.50 m

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_v$) per effetto del sovraccarico agente in superficie è risultato minore della tensione efficace media

$$[\sigma_{vm} = (\sigma'_{vo} + 2 k \sigma'_{vo})/3]$$

$$[\Delta\sigma_v = (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})/3]$$

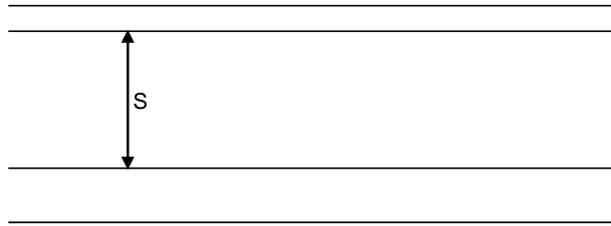
15%

z	Δz_i	Terreno	α	$\text{sen}\alpha$	$\text{cos}\alpha$	E	ν	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_{xi}$	$\Delta\sigma_{yi}$	Comportamento	γ	σ_v	u	σ'_v	σ'_{vm}	$\Delta\sigma_v$	$\Delta\sigma_v/\sigma'_v$	kE	$\Delta\sigma_z/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_{xi}/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_{yi}/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_{vm}$	e_0	Cc	Cs	OCR	$\Sigma\delta_{ed}$	$\Sigma\delta_i$
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)					

0.00	0.5																														
0.50	0.5	1	1.53	1.00	0.04	-	-	20.00	19.94	-	ND	16.00	8.00	0.00	8.00	5.50	20.00	3.84	-	28	3.49922518	8	1.5	0.9	0.1	1	9.79305844	0.00			
1.00	0.5	1	1.45	0.99	0.12	-	-	19.98	19.85	-	ND	16.00	16.00	0.00	16.00	10.99	19.98	1.82	-	36	2.24893398	16	1.5	0.9	0.1	1	6.335754576	0.00			
1.50	0.5	1	1.37	0.98	0.20	-	-	19.93	19.84	-	ND	16.00	24.00	0.00	24.00	16.49	19.93	1.21	-	44	1.830295147	24	1.5	0.9	0.1	1	4.725380308	0.00			
2.00	0.5	1	1.29	0.96	0.28	-	-	19.81	19.81	-	ND	16.00	32.00	0.00	32.00	21.98	19.81	0.90	-	52	1.619034556	32	1.5	0.9	0.1	1	3.76661013	0.00			
2.50	0.5	1	1.21	0.94	0.35	-	-	19.62	19.62	-	ND	16.00	40.00	0.00	40.00	24.05	19.62	0.82	-	55	1.560514273	35	1.5	0.9	0.1	1	3.478819413	0.00			
3.00	0.5	1	1.14	0.91	0.42	-	-	19.35	19.35	-	ND	16.00	48.00	0.00	48.00	26.11	19.35	0.74	-	57	1.509229299	38	1.5	0.9	0.1	1	3.217594055	0.00			
3.50	0.5	1	1.07	0.88	0.48	-	-	19.01	19.01	-	ND	16.00	56.00	0.00	56.00	28.17	19.01	0.67	-	60	1.463697315	41	1.5	0.9	0.1	1	2.978122972	0.00			
4.00	0.5	1	1.01	0.85	0.53	-	-	18.61	18.61	-	ND	16.00	64.00	0.00	64.00	30.23	18.61	0.62	-	63	1.422957574	44	1.5	0.9	0.1	1	2.75745513	0.00			
4.50	0.5	2	0.95	0.82	0.58	-	-	18.16	18.16	-	ND	16.50	72.25	25.00	47.25	32.46	18.16	0.56	-	65	1.384310015	47.25	1.51	0.9	0.1	1	2.532072206	0.00			
5.00	0.5	2	0.90	0.79	0.62	-	-	17.67	17.67	-	ND	16.50	80.50	30.00	50.50	34.69	17.67	0.51	-	68	1.348920919	50.5	1.51	0.9	0.1	1	2.336116557	0.00			
5.50	0.5	2	0.85	0.75	0.66	-	-	17.16	17.16	-	ND	16.50	88.75	35.00	53.75	36.93	17.16	0.46	-	71	1.3192026305	53.75	1.51	0.9	0.1	1	2.157012727	0.00			
6.00	0.5	2	0.81	0.72	0.69	-	-	16.63	16.63	-	ND	16.50	97.00	40.00	57.00	39.16	16.63	0.42	-	74	1.291777398	57	1.51	0.9	0.1	1	1.993404647	0.00			
6.50	0.5	2	0.76	0.69	0.72	-	-	16.10	16.10	-	ND	16.50	105.25	45.00	60.25	41.39	16.10	0.39	-	76	1.267238205	60.25	1.51	0.9	0.1	1	1.844072347	0.00			
7.00	0.5	2	0.73	0.66	0.75	-	-	15.57	15.57	-	ND	16.50	113.50	50.00	63.50	43.63	15.57	0.36	-	79	1.24526305	63.5	1.51	0.9	0.1	1	1.70786836	0.00			
7.50	0.5	2	0.69	0.64	0.77	-	-	15.06	15.06	-	ND	16.50	121.75	55.00	66.75	45.86	15.06	0.33	-	82	1.225926258	66.75	1.51	0.9	0.1	1	1.583700727	0.00			
8.00	0.5	2	0.66	0.61	0.79	-	-	14.55	14.55	-	ND	16.50	130.00	60.00	70.00	48.09	14.55	0.30	-	85	1.207877811	70	1.51	0.9	0.1	1	1.470532943	0.00			
8.50	0.5	2	0.63	0.59	0.81	-	-	14.06	14.06	-	ND	16.50	138.25	65.00	73.25	50.32	14.06	0.28	-	87	1.191806692	73.25	1.51	0.9	0.1	1	1.367378463	0.00			
9.00	0.5	2	0.60	0.57	0.82	-	-	13.59	13.59	-	ND	16.50	146.50	70.00	76.50	52.56	13.59	0.26	-	90	1.177668047	76.5	1.51	0.9	0.1	1	1.273318777	0.00			
9.50	0.5	2	0.58	0.54	0.84	-	-	13.14	13.14	-	ND	16.50	154.75	75.00	79.75	54.79	13.14	0.24	-	93	1.1647599718	79.75	1.51	0.9	0.1	1	1.187504153	0.00			
10.00	0.5	3	0.55	0.52	0.85	-	0.30	12.71	13.4	4.21	DR	18.50	164.00	80.00	84.00	57.71	12.71	0.22	200	97	1.15127416	-	-	-	-	-	-	0	0.03		
10.50	0.5	3	0.53	0.51	0.86	-	0.30	12.29	13.19	4.05	DR	18.50	173.25	85.00	88.25	60.63	12.29	0.20	200	101	1.13930819	-	-	-	-	-	-	0	0.03		
11.00	0.5	3	0.51	0.49	0.87	-	0.30	11.90	13.06	3.89	DR	18.50	182.50	90.00	92.50	63.55	11.90	0.19	200	104	1.128650696	-	-	-	-	-	-	0	0.03		
11.50	0.5	3	0.49	0.47	0.88	-	0.30	11.53	0.95	3.74	DR	18.50	191.75	95.00	96.75	66.47	11.53	0.17	200	108	1.119122976	-	-	-	-	-	-	0	0.02		
12.00	0.5	3	0.47	0.45	0.89	-	0.30	11.17	0.85	3.61	DR	18.50	201.00	100.00	101.00	69.39	11.17	0.16	200	112	1.110576399	-	-	-	-	-	-	0	0.02		
12.50	0.5	3	0.46	0.44	0.90	-	0.30	10.83	0.77	3.48	DR	18.50	210.25	105.00	105.25	72.31	10.83	0.15	200	116	1.102885055	-	-	-	-	-	-	0	0.02		

DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

Colmata Banchina Nord



Formulazione Teorica (Lancellotta: 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0.5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2.8})^{0.179})$$

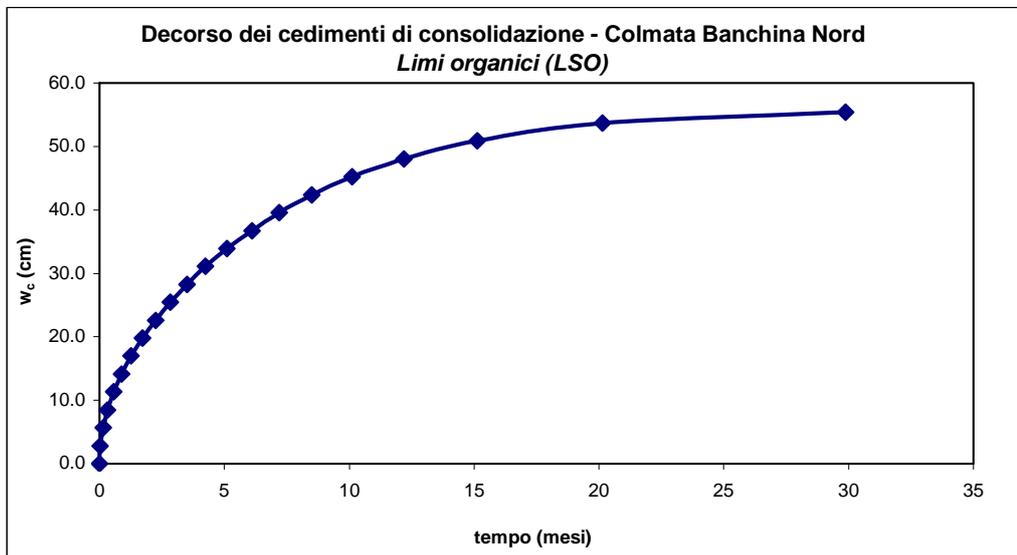
$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5.6})^{0.357})$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

DATI DI INPUT:

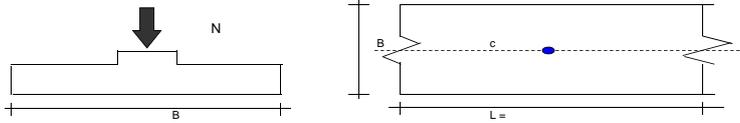
- $\delta_{tmax} =$ 56.51 (cm) (Cedimento massimo)
 $h =$ 4.95 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)
 $cv =$ 5.30.E-07 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)



- $t =$ 3 (mesi) $U_m =$ 46.2 (%) $\delta_t =$ 26.09 (cm) 90 GG
 $U_m =$ 95 (%) $t =$ 20.75 (mesi) $\delta_t =$ 53.68 (cm) 622 GG

Calcolo cedimenti di consolidazione						Precarica			
t (mese)	U*	S _{vtot} (cm)	S _{vres} (cm)	S _{vc} (cm)	S _v * (cm)	q _{design} (kPa)	q* (kPa)	γ _p (kN/m ³)	Altezza H (m)
3	46	56.51	2.83	53.68	116.274	20	41.2	16	2.57

Calcolo dei cedimenti - collocazione rilevato Banchina Est



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis, 1974)

$$\Delta \sigma_z^i = (2q/\pi) \cdot (\alpha + \text{sen} \alpha \cdot \text{cos} \alpha)$$

$$\Delta \sigma_x^i = (2q/\pi) \cdot (\alpha - \text{sen} \alpha \cdot \text{cos} \alpha)$$

$$\Delta \sigma_y^i = (4q/\pi) \cdot (\nu_{vcz})$$

$$\alpha = \tan^{-1}(B/2/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta = \sum ((\Delta \sigma_z^i - \nu_i(\Delta \sigma_x^i + \Delta \sigma_y^i)) / z^2) \cdot E_i$$

DATI DI INPUT:

q = 70.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 4 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da	zi	a	zi+1	Δz_i	E	kE	e_0	C_c	C_s	OCR	ν	δ_{ci}
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	(-)	(cm)
1	LIMO ORGANICO LSO TRATTATO	DR	18.00	4.00	0.0	4.0			0.5	5000	-	-	-	-	-	0.30	3.61
2	ARGILLA SABBIOSA (AS)	ND	18.00	3.00	4.0	7.0			0.5	13200	-	-	-	-	-	0.50	0.75
3	GHIAIA E SABBIONE (LAS2)	DR	19.00	8.00	7.0	15.0			0.5	-	200	-	-	-	-	0.30	1.38
4	ARGILLA COMPATTA (AL)	ND	18.00	15.00	15.0	30.0			0.5	33000	-	-	-	-	-	0.50	0.56

$\delta_{tot} = 6.30$ (cm)

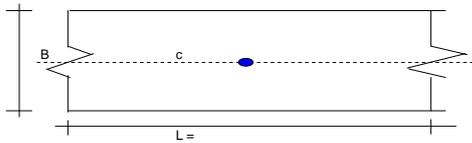
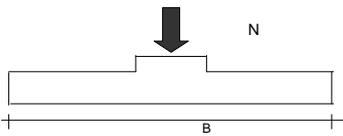
Profondità della falla (m) 0.00
 Angolo di attrito medio del terreno 28
 Coefficiente di spinta a riposo ko=1-sen² 0.53
 I_{vcz}=c_{vcz} [%] 15

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è 25.00 m
 tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione media nel sottosuolo ($\Delta \sigma_m$) per effetto del sovraccarico agente in superficie è risultato minore della tensione efficace media $[\sigma_{vm} = (\sigma'_{v0} + 2 \cdot k_v \cdot \sigma'_{vz})/3]$ $[\Delta \sigma_m = (\Delta \sigma_z + \Delta \sigma_x + \Delta \sigma_y)/3]$ nella misura del 15%

z	Δz_i	Terreno	α	sen α	cos α	E	ν	$\Delta \sigma_z^i$	$\Delta \sigma_x^i$	$\Delta \sigma_y^i$	Comportamento	γ	σ_z	u	σ'_z	σ'_m	$\Delta \sigma_z^i$	$\Delta \sigma_x^i / \sigma'_m$	kE	$\Delta \sigma_z^i / \sigma'_m$	$\Delta \sigma_x^i / \sigma'_m$	$\Sigma \delta$	
(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(cm)					

0.00	0.50	1				5000	0.30				DR												0
0.50	0.50	1	1.53	1.00	0.04	5000	0.30	70.00	66.29	40.89	DR	18.00	9.00	5.00	4.00	2.75	70.00	25.47	-	-	-	0	
1.00	0.50	1	1.45	0.99	0.12	5000	0.30	69.94	58.97	38.68	DR	18.00	18.00	10.00	8.00	5.50	69.94	12.73	-	-	-	74	
1.50	0.50	1	1.37	0.98	0.20	5000	0.30	69.74	51.95	36.51	DR	18.00	27.00	15.00	12.00	8.24	69.74	8.46	-	-	-	82	
2.00	0.50	1	1.29	0.96	0.28	5000	0.30	69.33	45.37	34.41	DR	18.00	36.00	20.00	16.00	10.99	69.33	6.31	-	-	-	85	
2.50	0.50	1	1.21	0.94	0.35	5000	0.30	68.66	39.36	32.41	DR	18.00	45.00	25.00	20.00	13.74	68.66	5.00	-	-	-	89	
3.00	0.50	1	1.14	0.91	0.42	5000	0.30	67.73	33.97	30.51	DR	18.00	54.00	30.00	24.00	16.49	67.73	4.11	-	-	-	92	
3.50	0.50	1	1.07	0.88	0.48	5000	0.30	66.54	29.21	28.73	DR	18.00	63.00	35.00	28.00	19.24	66.54	3.46	-	-	-	95	
4.00	0.50	1	1.01	0.85	0.53	5000	0.30	65.14	25.08	27.06	DR	18.00	72.00	40.00	32.00	21.98	65.14	2.96	-	-	-	97	
4.50	0.50	2	0.95	0.82	0.58	13200	0.50	63.56	21.52	42.54	ND	18.00	81.00	45.00	36.00	24.73	63.56	2.57	-	-	-	100	
5.00	0.50	2	0.90	0.78	0.62	13200	0.50	61.85	18.47	40.16	ND	18.00	90.00	50.00	40.00	27.48	61.85	2.25	-	-	-	102	
5.50	0.50	2	0.85	0.75	0.66	13200	0.50	60.05	15.88	37.97	ND	18.00	99.00	55.00	44.00	30.23	60.05	1.99	-	-	-	104	
6.00	0.50	2	0.81	0.72	0.69	13200	0.50	58.21	13.69	35.95	ND	18.00	108.00	60.00	48.00	32.98	58.21	1.77	-	-	-	106	
6.50	0.50	2	0.76	0.69	0.72	13200	0.50	56.35	11.83	34.09	ND	18.00	117.00	65.00	52.00	35.72	56.35	1.58	-	-	-	108	
7.00	0.50	2	0.73	0.66	0.75	13200	0.50	54.51	10.25	32.38	ND	18.00	126.00	70.00	56.00	38.47	54.51	1.42	-	-	-	111	
7.50	0.50	3	0.69	0.64	0.77	-	0.30	52.70	8.92	18.49	DR	19.00	135.50	75.00	60.50	41.56	52.70	1.27	200	113	1.871023732	0.12	
8.00	0.50	3	0.66	0.61	0.79	-	0.30	50.93	7.79	17.62	DR	19.00	145.00	80.00	65.00	44.56	50.93	1.14	200	116	1.783536988	0.11	
8.50	0.50	3	0.63	0.59	0.81	-	0.30	49.22	6.82	16.81	DR	19.00	154.50	85.00	69.50	47.75	49.22	1.03	200	119	1.708197767	0.11	
9.00	0.50	3	0.60	0.57	0.82	-	0.30	47.57	6.00	16.07	DR	19.00	164.00	90.00	74.00	50.94	47.57	0.94	200	122	1.642846211	0.10	
9.50	0.50	3	0.58	0.54	0.84	-	0.30	45.99	5.30	15.39	DR	19.00	173.50	95.00	78.50	53.93	45.99	0.85	200	124	1.585841483	0.10	
10.00	0.50	3	0.55	0.52	0.85	-	0.30	44.47	4.69	14.75	DR	19.00	183.00	100.00	83.00	57.02	44.47	0.78	200	127	1.53583859	0.09	
10.50	0.50	3	0.53	0.51	0.86	-	0.30	43.03	4.17	14.16	DR	19.00	192.50	105.00	87.50	60.11	43.03	0.72	200	131	1.491759246	0.09	
11.00	0.50	3	0.51	0.49	0.87	-	0.30	41.65	3.72	13.61	DR	19.00	202.00	110.00	92.00	63.21	41.65	0.66	200	134	1.452724596	0.09	
11.50	0.50	3	0.49	0.47	0.88	-	0.30	40.34	3.33	13.10	DR	19.00	211.50	115.00	96.50	66.30	40.34	0.61	200	137	1.418010548	0.08	
12.00	0.50	3	0.47	0.45	0.89	-	0.30	39.09	2.99	12.62	DR	19.00	221.00	120.00	101.00	69.39	39.09	0.56	200	140	1.387017395	0.08	
12.50	0.50	3	0.46	0.44	0.90	-	0.30	37.90	2.69	12.18	DR	19.00	230.50	125.00	105.50	72.48	37.90	0.52	200	143	1.359214438	0.07	
13.00	0.50	3	0.44	0.43	0.90	-	0.30	36.77	2.43	11.76	DR	19.00	240.00	130.00	110.00	75.57	36.77	0.49	200	147	1.334270917	0.07	
13.50	0.50	3	0.43	0.41	0.91	-	0.30	35.69	2.20	11.37	DR	19.00	249.50	135.00	114.50	78.66	35.69	0.45	200	150	1.311741762	0.07	
14.00	0.50	3	0.41	0.40	0.92	-	0.30	34.67	2.00	11.00	DR	19.00	259.00	140.00	119.00	81.76	34.67	0.42	200	154	1.291355309	0.07	
14.50	0.50	3	0.40	0.39	0.92	-	0.30	33.70	1.82	10.66	DR	19.00	268.50	145.00	123.50	84.85	33.70	0.40	200	157	1.272854255	0.06	
15.00	0.50	3	0.39	0.38	0.93	-	0.30	32.77	1.66	10.33	DR	19.00	278.00	150.00	128.00	87.94	32.77	0.37	200	161	1.256018107	0.06	
15.50	0.50	4	0.37	0.37	0.93	33000	0.50	31.89	1.52	10.00	ND	18.00	287.00	155.00	132.00	90.69	31.89	0.35	-	164	1.241568998	0.03	
16.00	0.50	4	0.36	0.36	0.93	33000	0.50	31.05	1.40	10.22	ND	18.00	296.00	160.00	136.00	93.43	31.05	0.33	-	167	1.22827358	0.03	
16.50	0.50	4	0.35	0.35	0.94	33000	0.50	30.24	1.28	10.76	ND	18.00	305.00	165.00	140.00	96.18	30.24	0.31	-	170	1.216016556	0.03	
17.00	0.50	4	0.34	0.34	0.94	33000	0.50	29.48	1.18	10.33	ND	18.00	314.00	170.00	144.00	98.93	29.48	0.30	-	173	1.204695261	0.03	
17.50	0.50	4	0.33	0.33	0.94	33000	0.50	28.74	1.09	10.92	ND	18.00	323.00	175.00	148.00	101.68	28.74	0.28	-	177	1.19421929	0.03	
18.00	0.50	4	0.33	0.32	0.95	33000	0.50	28.05	1.01	10.53	ND	18.00	332.00	180.00	152.00	104.43	28.05	0.27	-	180	1.18450861	0.03	
18.50	0.50	4	0.32	0.31	0.95	33000	0.50	27.38	0.93	10.15	ND	18.00	341.00	185.00	156.00	107.17	27.38	0.26	-	183	1.175492202	0.03	
19.00	0.50	4	0.31	0.30	0.95	33000	0.50	26.74	0.87	10.80	ND	18.00	350.00	190.00	160.00	109.92	26.74	0.24	-	187	1.167106901	0.03	
19.50	0.50	4	0.30	0.30	0.95	33000	0.50	26.12	0.80	10.46	ND	18.00	359.00	195.00	164.00	112.67	26.12	0.23	-	190	1.159296403	0.03	
20.00	0.50	4	0.29	0.29	0.96	33000	0.50	25.54	0.75	10.14	ND	18.00	368.00	200.00	168.00	115.42	25.54	0.22	-	194	1.152010412	0.03	
20.50	0.50	4	0.29	0.28	0.96	33000	0.50	24.98	0.70	10.84	ND	18.00	377.00	205.00	172.00	118.17	24.98	0.21	-	197	1.145203899	0.03	
21.00	0.50	4	0.28	0.28	0.96	33000	0.50	24.44	0.65	10.54	ND	18.00	386.00	210.00	176.00	120.92	24.44	0.20	-	200	1.138836473	0.03	
21.50	0.50	4	0.28	0.27	0.96	33000	0.50	23.92	0.61	10.26	ND	18.00	395.00	215.00	180.00	123.66	23.92	0.19	-	204	1.132871829	0.03	
22.00	0.50	4	0.27	0.27	0.96	33000	0.50	23.42	0.57	10.00	ND	18.00	404.00	220.00	184.00	126.41	23.42	0.19	-	207	1.127272727	0.03	
22.50	0.50	4	0.26	0.26	0.97																		

Calcolo dei cedimenti - carico esercizio rilevato Banchina Est



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot (\alpha + \sin\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_x = (2q/\pi) \cdot (\alpha - \sin\alpha \cos\alpha)$$

$$\Delta\sigma_y = (4q/\pi) \cdot (v\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(B/2/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - v_i(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)) \cdot \Delta z_i / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 20.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 6 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da	z ₁	a	z ₁	Δz_i	E	kE	e_0	C _c	C _s	OCR	v	δ_{ci}	
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	-	(cm)	
1	RILEVATO	DR	19.00	5.00	0.0	5.0			0.5	10000	-	-	-	-	-	-	0.30	0.66
2	LIMO ORGANICO LSO TRATTATO	DR	18.00	4.00	5.0	9.0			0.5	5000	-	-	-	-	-	-	0.30	1.03
3	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	2.85	9.0	11.9			0.5	13200	-	1.00	0.35	0.05	1	-	0.50	2.20
4	SABBIE LIMOSE SL3-SABBIE GHIAIE SG (LAS2)	DR	19.50	8.00	11.9	19.9			0.5	-	200	-	-	-	-	-	0.30	0.00
5	ARGILLA SABBIOSA COMPATTA AL	ND	18.00	15.00	19.9	34.9			0.5	33000	-	-	-	-	-	-	0.50	0.00
6																		0.00

$\delta_{tot} = 3.88$ (cm)

Profondità della falda (m)

2.00

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo $\cos=1-\sin\phi'$

0.53

$\Delta\sigma_v/\sigma_{vm}$ [%]

15

11.50 m

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_m$) per effetto del sovraccarico agente in superficie è risultato minore della tensione efficace media

$$[\sigma_{vm} = (\sigma'_{vo} + 2 K_o \sigma'_{vo})/3]$$

$$[\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)/3]$$

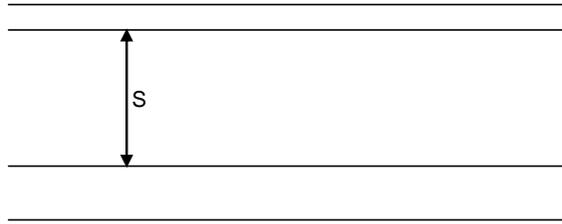
nella misura del

15%

z	Δz_i	Z- $\Delta z_i/2$	Terreno	α	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	E	v	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_x$	$\Delta\sigma_y$	Comportamento	γ	σ_v	u	σ'_v	σ'_{vm}	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_x/\sigma'_v$	kE	$\Delta\sigma_z/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_x/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_y/\sigma'_v$	$\Delta\sigma_m/\sigma'_v$	e_0	C _c	C _s	OCR	$\Sigma \delta_{ed}$	$\Sigma \delta$					
(m)	(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)										
0.00	0.5		1				10000	0.30				DR																				0	0		
0.50	0.5	0.25	1	1.53	1.00	0.04	10000	0.30	20.00	18.94	11.68	DR	19.00	9.50	0.00	9.50	6.53	20.00	3.06	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.05			
1.00	0.5	0.75	1	1.45	0.99	0.12	10000	0.30	19.98	18.85	11.05	DR	19.00	19.00	0.00	19.00	13.05	19.98	1.53	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06		
1.50	0.5	1.25	1	1.37	0.98	0.20	10000	0.30	19.93	14.84	10.43	DR	19.00	28.50	0.00	28.50	19.98	19.93	1.02	-	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06	
2.00	0.5	1.75	1	1.29	0.96	0.28	10000	0.30	19.81	12.96	9.83	DR	19.00	38.00	0.00	38.00	26.11	19.81	0.76	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06	
2.50	0.5	2.25	1	1.21	0.94	0.35	10000	0.30	19.62	11.25	9.26	DR	19.00	47.50	5.00	42.50	29.20	19.62	0.67	-	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
3.00	0.5	2.75	1	1.14	0.91	0.42	10000	0.30	19.35	9.71	8.72	DR	19.00	57.00	10.00	47.00	32.29	19.35	0.60	-	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
3.50	0.5	3.25	1	1.07	0.88	0.48	10000	0.30	19.01	8.35	8.21	DR	19.00	66.50	15.00	51.50	35.38	19.01	0.54	-	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
4.00	0.5	3.75	1	1.01	0.85	0.53	10000	0.30	18.61	7.17	7.73	DR	19.00	76.00	20.00	56.00	38.47	18.61	0.48	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
4.50	0.5	4.25	1	0.95	0.82	0.58	10000	0.30	18.16	6.15	7.29	DR	19.00	85.50	25.00	60.50	41.56	18.16	0.44	-	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
5.00	0.5	4.75	1	0.90	0.78	0.62	10000	0.30	17.67	5.28	6.88	DR	19.00	95.00	30.00	65.00	44.66	17.67	0.40	-	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.07
5.50	0.5	5.25	2	0.85	0.75	0.66	5000	0.30	17.16	4.54	6.51	DR	18.00	104.00	35.00	69.00	47.40	17.16	0.36	-	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.14
6.00	0.5	5.75	2	0.81	0.72	0.69	5000	0.30	16.63	3.91	6.16	DR	18.00	113.00	40.00	73.00	50.15	16.63	0.33	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.14
6.50	0.5	6.25	2	0.76	0.69	0.72	5000	0.30	16.10	3.38	5.84	DR	18.00	122.00	45.00	77.00	52.90	16.10	0.30	-	93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
7.00	0.5	6.75	2	0.73	0.66	0.75	5000	0.30	15.57	2.93	5.55	DR	18.00	131.00	50.00	81.00	55.65	15.57	0.28	-	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
7.50	0.5	7.25	2	0.69	0.64	0.77	5000	0.30	15.06	2.55	5.28	DR	18.00	140.00	55.00	85.00	58.40	15.06	0.26	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.13
8.00	0.5	7.75	2	0.66	0.61	0.79	5000	0.30	14.55	2.22	5.03	DR	18.00	149.00	60.00	89.00	61.14	14.55	0.24	-	104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
8.50	0.5	8.25	2	0.63	0.59	0.81	5000	0.30	14.06	1.95	4.80	DR	18.00	158.00	65.00	93.00	63.89	14.06	0.22	-	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
9.00	0.5	8.75	2	0.60	0.57	0.82	5000	0.30	13.59	1.71	4.59	DR	18.00	167.00	70.00	97.00	66.64	13.59	0.20	-	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.12
9.50	0.5	9.25	3	0.58	0.54	0.84	13200	0.50	13.14	1.51	7.33	ND	18.00	176.00	75.00	101.00	69.39	13.14	0.19	-	114	-	-	-	-	1.130094926	101	1.130094926	1	0.35	0.05	1	0.464755594	0.03	
10.00	0.5	9.75	3	0.55	0.52	0.85	13200	0.50	12.71	1.34	7.02	ND	18.00	185.00	80.00	105.00	72.14	12.71	0.18	-	118	-	-	-	-	1.121019328	105	1.121019328	1	0.35	0.05	1	0.434114628	0.03	
10.50	0.5	10.25	3	0.53	0.51	0.86	13200	0.50	12.29	1.19	6.74	ND	18.00	194.00	85.00	109.00	74.89	12.29	0.16	-	121	-	-	-	-	1.112788859	109	1.112788859	1	0.35	0.05	1	0.406111729	0.03	
11.00	0.5	10.75	3	0.51	0.49	0.87	13200	0.50	11.90	1.06	6.48	ND	18.00	203.00	90.00	113.00	77.63	11.90	0.15	-	125	-	-	-	-	1.10531141	113	1.10531141	1	0.35	0.05	1	0.380490717	0.03	
11.50	0.5	11.25	3	0.49	0.47	0.88	13200	0.50	11.53	0.95	6.24	ND	18.00	212.00	95.00	117.00	80.38	11.53	0.14	-	129	-	-	-	-	1.098505538	117	1.098505538	1	0.35	0.05	1	0.357019694	0.03	

DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

Banchina Est



Formulazione Teorica (Lancellotta: 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0.5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2.8})^{0.179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5.6}))^{0.357}$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

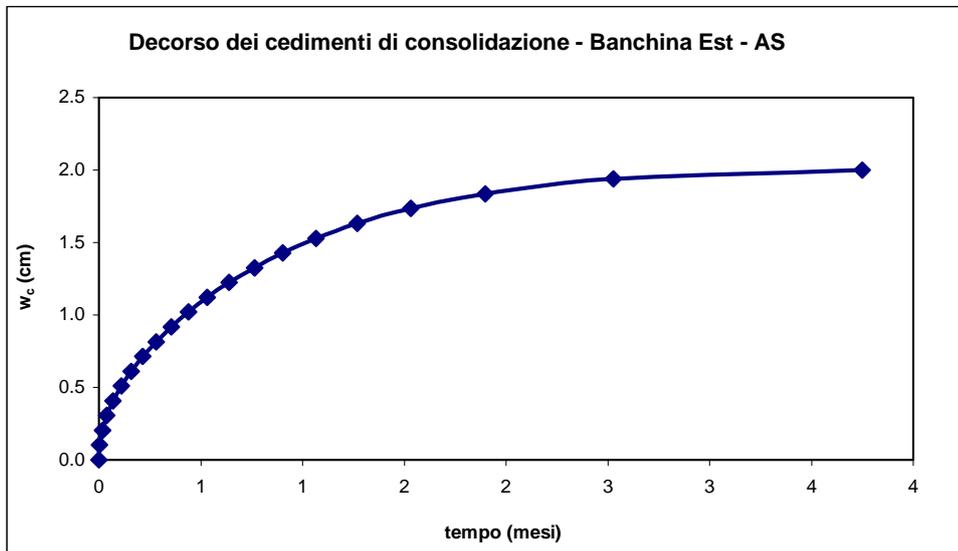
$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 2.04 (cm) (Cedimento massimo)

$h =$ 1.43 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

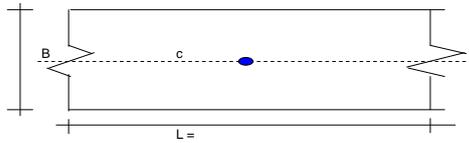
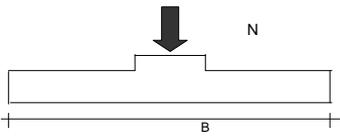
$cv =$ 3.50.E-07 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)



$t =$ 3 (mesi) $U_m =$ 96.4 (%) $\delta_t =$ 1.97 (cm) 90 GG

$U_m =$ 95 (%) $t =$ 2.60 (mesi) $\delta_t =$ 1.94 (cm) 78 GG

Calcolo dei cedimenti - Molo Ovest Fase 1 (rilevato quota 0,5 m s.l.m.)



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, E.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot (\alpha + \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (2q/\pi) \cdot (\alpha - \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (4q/\pi) \cdot (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_z - \nu_i(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})) \Delta z_i / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 45.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

43.7

ns = 6 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore	da	z _i	a	z _{i+1}	Δz_i	E	kE	e _s	C _c	C _s	OCR	ν	δ_{ci}
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m)	-	-	-	-	(-)	(cm)
1	LIMO ORGANICO LSO	ND	16.50	4.90	0.0	4.9	0.5			-	-	1.51	0.9	0.1	1	-	103.98
2	SABBIE LIMOSE SL2	DR	18.50	3.30	4.9	8.2	0.5			-	200	-	-	-	-	0.30	0.66
3	SABBIA FINE LIMOSA (LAS1)	DR	19.50	3.20	8.2	11.4	0.5			-	200	-	-	-	-	0.30	0.40
4	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	1.80	11.4	13.2	0.5			13200	-	-	-	-	-	0.50	0.26
5	SABBIA FINE LIMOSA (LAS1)	DR	19.00	6.30	13.2	19.5	0.5			-	200	-	-	-	-	0.30	0.02
6	ARGILLA SABBIOSA COMPATTA AL	ND	18.00	10.00	19.5	29.5	0.5			33000	-	-	-	-	-	0.50	0.02

$\delta_{tot} = 105.34$ (cm)

Profondità della falda (m)

0.00

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo ko=1-sen² ϕ

0.53

$\Delta\sigma_{s}/\sigma_{s}$ [%]

15

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è 20.00 m

tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_{s}$) per effetto del sovraccarico agente in superficie

$$[\Delta\sigma_{s} = (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})/3]$$

è risultato minore della tensione efficace media

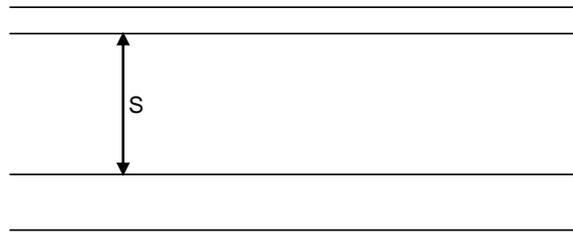
$$[\sigma_{mo} = (\sigma'_{vo} + 2 k_o \sigma'_{vo})/3]$$

nella misura del 15%

z	Δz_i	Z- $\Delta z_i/2$	Terrreno	α	sen α	cos α	E	ν	$\Delta\sigma_z$	$\Delta\sigma_{xi}$	$\Delta\sigma_{yi}$	Comportamento	γ	σ_s	u	σ'_s	σ'_m	$\Delta\sigma_{s1}$	$\Delta\sigma_{s1}/\sigma'_m$	kE	$\Delta\sigma_{s1} + \sigma'_s$	$\Delta\sigma_{s1} + \sigma'_s / \sigma'_s$	e _s	C _c	C _s	OCR	δ_{ci} ed	δ_{s1}
(m)	(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	(cm)	(cm)						
0.00	0.50		1									ND																
0.50	0.50	0.25	1	1.53	1.00	0.04	-	-	45.00	42.62	-	ND	16.50	8.25	5.00	3.25	2.23	45.00	20.15	-	0	14.84574133	1.51	0.9	0.1	1	21.00481475	0.00
1.00	0.50	0.75	1	1.45	0.99	0.12	-	-	44.96	37.91	-	ND	16.50	16.50	10.00	6.50	4.47	44.96	10.07	-	51	7.917449835	1.51	0.9	0.1	1	16.11009539	0.00
1.50	0.50	1.25	1	1.37	0.98	0.20	-	-	44.84	33.40	-	ND	16.50	24.75	15.00	9.75	6.70	44.84	6.69	-	55	5.598557738	1.51	0.9	0.1	1	13.41172401	0.00
2.00	0.50	1.75	1	1.29	0.96	0.28	-	-	44.57	29.17	-	ND	16.50	33.00	20.00	13.00	8.93	44.57	4.99	-	58	4.428499081	1.51	0.9	0.1	1	11.58627297	0.00
2.50	0.50	2.25	1	1.21	0.94	0.35	-	-	44.14	25.30	-	ND	16.50	41.25	25.00	16.25	11.16	44.14	3.95	-	60	3.716338399	1.51	0.9	0.1	1	10.22118979	0.00
3.00	0.50	2.75	1	1.14	0.91	0.42	-	-	43.54	21.84	-	ND	16.50	49.50	30.00	19.50	13.40	43.54	3.25	-	63	3.232774617	1.51	0.9	0.1	1	9.135814436	0.00
3.50	0.50	3.25	1	1.07	0.88	0.48	-	-	42.78	18.78	-	ND	16.50	57.75	35.00	22.75	15.63	42.78	2.74	-	66	2.880267135	1.51	0.9	0.1	1	8.26842472	0.00
4.00	0.50	3.75	1	1.01	0.85	0.53	-	-	41.87	16.12	-	ND	16.50	66.00	40.00	26.00	17.86	41.87	2.34	-	68	2.610492301	1.51	0.9	0.1	1	7.471119206	0.00
4.50	0.50	4.25	1	0.95	0.82	0.58	-	-	40.86	13.63	-	ND	16.50	74.25	45.00	29.25	20.10	40.86	2.03	-	70	2.398919092	1.51	0.9	0.1	1	6.89629376	0.00
5.00	0.50	4.75	2	0.90	0.78	0.62	-	0.30	39.76	11.87	15.49	DR	18.50	83.50	50.00	33.50	23.02	39.76	1.73	200	73	2.186807764	-	-	-	-	0	0.11
5.50	0.50	5.25	2	0.85	0.75	0.66	-	0.30	38.60	10.21	14.64	DR	18.50	92.75	55.00	37.75	25.93	38.60	1.49	200	76	2.022629254	-	-	-	-	0	0.10
6.00	0.50	5.75	2	0.81	0.72	0.69	-	0.30	37.42	8.80	13.87	DR	18.50	102.00	60.00	42.00	28.85	37.42	1.30	200	79	1.890963125	-	-	-	-	0	0.10
6.50	0.50	6.25	2	0.76	0.69	0.72	-	0.30	36.23	7.60	13.15	DR	18.50	111.25	65.00	46.25	31.77	36.23	1.14	200	82	1.783296846	-	-	-	-	0	0.09
7.00	0.50	6.75	2	0.73	0.66	0.75	-	0.30	35.04	6.59	12.49	DR	18.50	120.50	70.00	50.50	34.69	35.04	1.01	200	86	1.693900165	-	-	-	-	0	0.09
7.50	0.50	7.25	2	0.69	0.64	0.77	-	0.30	33.88	5.73	11.88	DR	18.50	129.75	75.00	54.75	37.61	33.88	0.90	200	89	1.618750714	-	-	-	-	0	0.08
8.00	0.50	7.75	2	0.66	0.61	0.79	-	0.30	32.74	5.01	11.32	DR	18.50	139.00	80.00	59.00	40.53	32.74	0.81	200	92	1.554927521	-	-	-	-	0	0.08
8.50	0.50	8.25	3	0.63	0.59	0.81	-	0.30	31.64	4.39	10.81	DR	19.50	148.75	85.00	63.75	43.80	31.64	0.72	200	95	1.496326553	-	-	-	-	0	0.08
9.00	0.50	8.75	3	0.60	0.57	0.82	-	0.30	30.58	3.86	10.33	DR	19.50	158.50	90.00	68.50	47.06	30.58	0.65	200	99	1.4464396	-	-	-	-	0	0.07
9.50	0.50	9.25	3	0.58	0.54	0.84	-	0.30	29.56	3.41	9.89	DR	19.50	168.25	95.00	73.25	50.32	29.56	0.59	200	103	1.403605078	-	-	-	-	0	0.07
10.00	0.50	9.75	3	0.55	0.52	0.85	-	0.30	28.59	3.02	9.48	DR	19.50	178.00	100.00	78.00	53.59	28.59	0.53	200	107	1.366548926	-	-	-	-	0	0.06
10.50	0.50	10.25	3	0.53	0.51	0.86	-	0.30	27.66	2.68	9.10	DR	19.50	187.75	105.00	82.75	56.85	27.66	0.49	200	110	1.334277955	-	-	-	-	0	0.06
11.00	0.50	10.75	3	0.51	0.49	0.87	-	0.30	26.78	2.39	8.75	DR	19.50	197.50	110.00	87.50	60.11	26.78	0.45	200	114	1.30620467	-	-	-	-	0	0.06
11.50	0.50	11.25	4	0.49	0.47	0.88	13200	0.50	25.93	2.14	14.04	ND	18.00	206.50	115.00	91.50	62.86	25.93	0.41	-	117	1.283405278	-	-	-	-	0	0.07
12.00	0.50	11.75	4	0.47	0.45	0.89	13200	0.50	25.13	1.92	13.53	ND	18.00	215.50	120.00	95.50	65.61	25.13	0.38	-	121	1.263125514	-	-	-	-	0	0.07
12.50	0.50	12.25	4	0.46	0.44	0.90	13200	0.50	24.36	1.73	13.05	ND	18.00	224.50	125.00	99.50	68.36	24.36	0.36	-	124	1.244699016	-	-	-	-	0	0.06
13.00	0.50	12.75	4	0.44	0.43	0.90	13200	0.50	23.64	1.56	12.60	ND	18.00	233.50	130.00	103.50	71.11	23.64	0.33	-	127	1.228393566	-	-	-	-	0	0.06
13.50	0.50	13.25	5	0.43	0.41	0.91	-	0.30	22.95	1.42	7.31	DR	19.00	243.00	135.00	108.00	74.20	22.95	0.31	200	131	1.212468956	-	-	-	-	0	0.05
14.00	0.50	13.75	5	0.41	0.40	0.92	-	0.30	22.29	1.29	7.07	DR	19.00	252.50	140.00	112.50	77.29	22.29	0.29	200	135	1.19812161	-	-	-	-	0	0.04
14.50	0.50	14.25	5	0.40	0.39	0.92	-	0.30	21.66	1.17	6.85	DR	19.00	262.00	145.00	117.00	80.38	21.66	0.27	200	139	1.185151102	-	-	-	-	0	0.04
15.00	0.50	14.75	5	0.39	0.38	0.93	-	0.30	21.07	1.07	6.64	DR	19.00	271.50	150.00	121.50	83.47	21.07	0.25	200	144	1.173397824	-	-	-	-	0	0.04
15.50	0.50	15.25	5	0.37	0.37	0.93	-	0.30	20.50	0.98	6.44	DR	19.00	281.00	155.00	126.00	86.56	20.50	0.24	200	146	1.162899123	-	-	-	-	0	0.04
16.00	0.50	15.75	5	0.36	0.36	0.93	-	0.30	19.96	0.90	6.26	DR	19.00	290.50	160.00	130.50	89.66	19.96	0.22	200	150	1.152932053	-	-	-	-	0	0.04
16.50	0.50	16.25	5	0.35	0.34	0.94	-	0.30	19.44	0.82	6.08	DR	19.00	300.00	165.00	135.00	92.75	19.44	0.21	200	154	1.144011037	-	-	-	-	0	0.04
17.00	0.50	16.75	5	0.34	0.34	0.94	-	0.30	18.95	0.76	5.91	DR	19.00	309.50	170.00	139.50	95.84	18.95	0.20	200	158	1.135834643	-	-	-	-		

DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

Molo Ovest - Fase 1



Formulazione Teorica (Lancellotta: 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0,5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2,8})^{0,179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5,6})^{0,357})$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

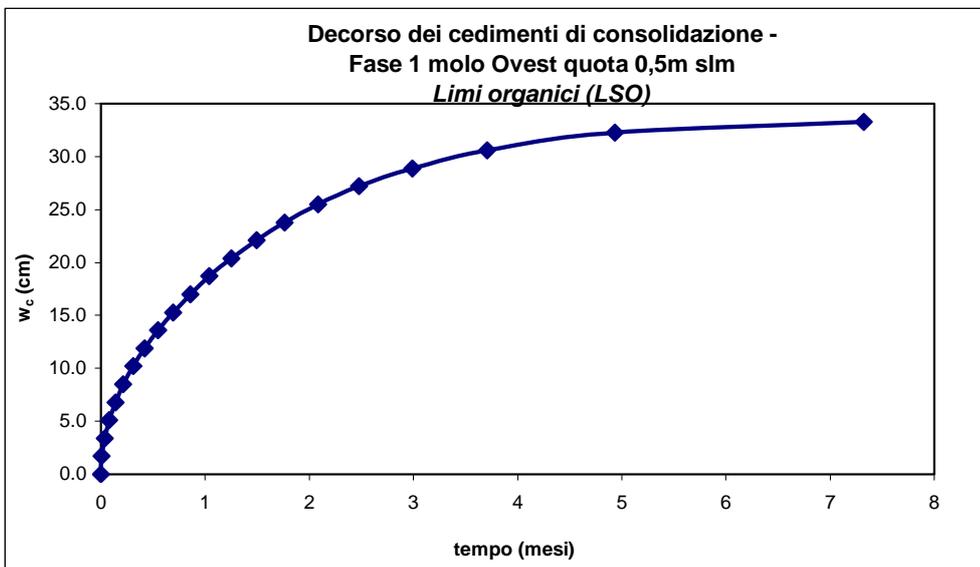
$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

DATI DI INPUT: Cedimento compenetrazione 70 cm

$\delta_{tmax} = 33.98$ (cm) (Cedimento massimo)

$h = 2.45$ (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

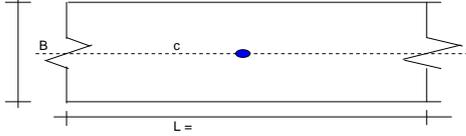
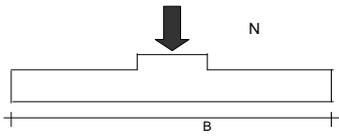
$cv = 5.30.E-07$ (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)



$t = 4$ (mesi) $U_m = 91.4$ (%) $\delta_t = 31.06$ (cm) 120 GG

$U_m = 95$ (%) $t = 5.08$ (mesi) $\delta_t = 32.28$ (cm) 152 GG

Calcolo dei cedimenti - Molo Ovest Fase 2 (rilevato con sovrizzo 30 cm su quota progetto)



Formulazione Teorica (H.G. Poulos, F.H. Davis; 1974)

$$\Delta\sigma_{zi} = (2q/\pi)^{1/2} (\alpha + \text{sen}\alpha\text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{xi} = (2q/\pi)^{1/2} (\alpha - \text{sen}\alpha\text{cos}\alpha)$$

$$\Delta\sigma_{yi} = (4q/\pi)^{1/2} (\nu\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((B/2)/z)$$

$$\delta_{tot} = \sum \delta_i = \sum ((\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})) \Delta z_i / E_i)$$

DATI DI INPUT:

q = 52.00 (kN/mq) (Pressione Agente (q = N/B))

ns = 6 (-) (numero strati) (massimo 6)

Strato	Litologia	Comportamento	γ	Spessore (m)	da z _i	a z _{i+1}	Δz_i	E (kN/m ²)	kE (kN/m ²)	e _s	C _c	C _s	OCR	ν	δ_{ci} (cm)	
(-)	(-)	-	(kN/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	-	-	-	(-)	(cm)	
1	RILEVATO	DR	19.00	5.04	0.0	5.0	0.5	10000	-	-	-	-	-	-	0.30	1.71
2	LIMO ORGANICO LSO	ND	16.50	3.86	5.0	8.9	0.5	-	-	1.51	0.9	0.1	1	-	22.26	
3	SABBIE LIMOSE SL2	DR	18.50	3.30	8.9	12.2	0.5	-	-	200	-	-	-	-	0.30	0.44
4	SABBIA FINE LIMOSA (LAS1)	DR	19.50	3.20	12.2	15.4	0.5	-	-	200	-	-	-	-	0.30	0.28
5	ARGILLA SABBIOSA AS	ND	18.00	1.80	15.4	17.2	0.5	-	-	1.00	0.35	0.05	1	-	0.20	
6	SABBIA FINE LIMOSA (LAS1)	DR	19.00	10.00	17.2	27.2	0.5	-	-	200	-	-	-	-	0.30	0.20

$\delta_{ctot} = 25.09$ (cm)

Profondità della falda (m)

2.30

Angolo di attrito medio del terreno

28

Coefficiente di spinta a riposo $k_0 = 1 - \text{sen}^2 \phi'$

0.53

$\Delta\sigma_{m}/\sigma_{m}$ [%]

15

La profondità massima alla quale è stato esteso lo schema di calcolo è

20.00 m

tenuto conto che il calcolo è stato limitato alla profondità alla quale l'incremento della tensione

$$[\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma_{zi} + \Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})/3]$$

media nel sottosuolo ($\Delta\sigma_m$) per effetto del sovraccarico agente in superficie

$$[\sigma_{mo} = (\sigma'_{vo} + 2 k_0 \sigma'_{v0})/3]$$

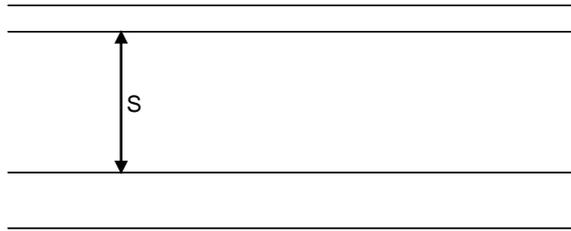
nella misura del 15%

è risultato minore della tensione efficace media

z	Δz_i	Z _{diff}	Terreno	α	sen α	cos α	E	ν	$\Delta\sigma_{zi}$	$\Delta\sigma_{xi}$	$\Delta\sigma_{yi}$	Comportamento	γ	e _s	C _c	C _s	OCR	ν	δ_{ci}	δ_{tot}		
(m)	(m)	(m)	(-)	(rad)	(-)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	-	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(-)	(cm)	(cm)		
0.00	0.50	1				10000	0.30					DR								0	0	
0.50	0.50	0.25	1	1.53	1.00	0.04	10000	0.30	52.00	49.24	30.37	DR	19.00	9.50	0.00	9.50	6.53	52.00	7.97	-	61	6.473521136
1.00	0.50	0.75	1	1.45	0.99	0.12	10000	0.30	51.96	45.81	28.73	DR	19.00	19.00	0.00	19.00	13.05	51.96	3.98	-	71	3.734617956
1.50	0.50	1.25	1	1.37	0.98	0.20	10000	0.30	51.81	38.59	27.12	DR	19.00	28.50	0.00	28.50	19.58	51.81	2.85	-	80	2.817909375
2.00	0.50	1.75	1	1.29	0.96	0.28	10000	0.30	51.50	33.71	25.56	DR	19.00	38.00	0.00	38.00	26.11	51.50	1.97	-	90	2.353598071
2.50	0.50	2.25	1	1.21	0.94	0.35	10000	0.30	51.01	29.24	24.07	DR	19.00	47.50	2.00	45.50	31.26	51.01	1.63	-	97	2.121028645
3.00	0.50	2.75	1	1.14	0.91	0.42	10000	0.30	50.31	25.23	22.66	DR	19.00	57.00	7.00	50.00	34.35	50.31	1.46	-	100	2.006237094
3.50	0.50	3.25	1	1.07	0.88	0.48	10000	0.30	49.43	21.70	21.34	DR	19.00	66.50	12.00	54.50	37.44	49.43	1.32	-	104	1.906974932
4.00	0.50	3.75	1	1.01	0.85	0.53	10000	0.30	48.39	18.63	20.10	DR	19.00	75.00	17.00	59.00	40.53	48.39	1.19	-	107	1.820197667
4.50	0.50	4.25	1	0.95	0.82	0.58	10000	0.30	47.21	15.98	18.96	DR	19.00	85.50	22.00	63.50	43.63	47.21	1.08	-	111	1.743503706
5.00	0.50	4.75	1	0.90	0.78	0.62	10000	0.30	45.94	13.72	17.90	DR	19.00	95.00	27.00	68.00	46.72	45.94	0.98	-	114	1.675627165
5.50	0.50	5.25	2	0.85	0.75	0.66	-	-	44.61	11.80	-	ND	16.50	103.25	32.00	71.25	49.85	44.61	0.91	-	116	1.620906289
6.00	0.50	5.75	2	0.81	0.72	0.69	-	-	43.24	10.17	-	ND	16.50	111.50	37.00	74.50	51.18	43.24	0.84	-	118	1.580421615
6.50	0.50	6.25	2	0.76	0.69	0.72	-	-	41.86	8.79	-	ND	16.50	119.75	42.00	77.75	53.42	41.86	0.78	-	120	1.538429129
7.00	0.50	6.75	2	0.73	0.66	0.75	-	-	40.49	7.62	-	ND	16.50	128.00	47.00	81.00	55.65	40.49	0.73	-	121	1.499912711
7.50	0.50	7.25	2	0.69	0.64	0.77	-	-	39.15	6.63	-	ND	16.50	136.25	52.00	84.25	57.88	39.15	0.68	-	123	1.464644453
8.00	0.50	7.75	2	0.66	0.61	0.79	-	-	37.83	5.78	-	ND	16.50	144.50	57.00	87.50	60.11	37.83	0.63	-	125	1.432385431
8.50	0.50	8.25	2	0.63	0.59	0.81	-	-	36.56	5.07	-	ND	16.50	152.75	62.00	90.75	62.35	36.56	0.59	-	127	1.402895016
9.00	0.50	8.75	3	0.60	0.57	0.82	-	0.30	35.34	4.46	11.94	DR	16.50	162.00	67.00	95.00	65.27	35.34	0.54	200	130	1.371980765
9.50	0.50	9.25	3	0.58	0.54	0.84	-	0.30	34.16	3.94	11.43	DR	16.50	171.25	72.00	99.25	68.19	34.16	0.50	200	133	1.344210857
10.00	0.50	9.75	3	0.55	0.52	0.85	-	0.30	33.04	3.49	10.96	DR	16.50	180.50	77.00	103.50	71.11	33.04	0.46	200	137	1.319210401
10.50	0.50	10.25	3	0.53	0.51	0.86	-	0.30	31.96	3.10	10.52	DR	16.50	189.75	82.00	107.75	74.03	31.96	0.43	200	140	1.296653018
11.00	0.50	10.75	3	0.51	0.49	0.87	-	0.30	30.94	2.76	10.11	DR	16.50	199.00	87.00	112.00	76.95	30.94	0.40	200	143	1.276254366
11.50	0.50	11.25	3	0.49	0.47	0.88	-	0.30	29.97	2.47	9.73	DR	16.50	208.25	92.00	116.25	79.87	29.97	0.38	200	146	1.25776675
12.00	0.50	11.75	3	0.47	0.45	0.89	-	0.30	29.04	2.22	9.38	DR	16.50	217.50	97.00	120.50	82.79	29.04	0.35	200	150	1.240973961
12.50	0.50	12.25	4	0.46	0.44	0.90	-	0.30	28.15	2.00	9.05	DR	16.50	227.25	102.00	125.25	86.05	28.15	0.33	200	153	1.224786939
13.00	0.50	12.75	4	0.44	0.43	0.90	-	0.30	27.31	1.81	8.74	DR	16.50	237.00	107.00	130.00	89.31	27.31	0.31	200	157	1.210113148
13.50	0.50	13.25	4	0.43	0.41	0.91	-	0.30	26.52	1.64	8.45	DR	16.50	246.75	112.00	134.75	92.58	26.52	0.29	200	161	1.196778206
14.00	0.50	13.75	4	0.41	0.40	0.92	-	0.30	25.78	1.49	8.17	DR	16.50	255.50	117.00	139.50	95.84	25.78	0.27	200	165	1.184624647
14.50	0.50	14.25	4	0.40	0.39	0.92	-	0.30	25.03	1.35	7.92	DR	16.50	264.25	122.00	144.25	99.10	25.03	0.25	200	169	1.173535056
15.00	0.50	14.75	4	0.39	0.38	0.93	-	0.30	24.34	1.24	7.67	DR	16.50	273.00	127.00	149.00	102.37	24.34	0.24	200	173	1.163380299
15.50	0.50	15.25	5	0.37	0.37	0.93	-	-	23.69	1.13	-	ND	18.00	285.00	132.00	153.00	105.11	23.69	0.23	-	177	1.154820409
16.00	0.50	15.75	5	0.36	0.36	0.93	-	-	23.06	1.04	-	ND	18.00	294.00	137.00	157.00	107.86	23.06	0.21	-	180	1.146882698
16.50	0.50	16.25	5	0.35	0.35	0.94	-	-	22.47	0.95	-	ND	18.00	303.00	142.00	161.00	110.61	22.47	0.20	-	183	1.139538645
17.00	0.50	16.75	5	0.34	0.34	0.94	-	-	21.90	0.88	-	ND	18.00	312.00	147.00	165.00	113.36	21.90	0.19	-	187	1.132706033
17.50	0.50	17.25	6	0.33	0.33	0.94	-	0.30	21.35	0.81	6.65	DR	19.00	321.50	152.00	169.50	116.45	21.35	0.18	200	191	1.126975451
18.00	0.50	17.75	6	0.33	0.32	0.95	-	0.30	20.83	0.75	6.47	DR	19.00	331.00	157.00	174.00	119.54	20.83	0.17	200	195	1.119733686
18.50	0.50	18.25	6	0.32	0.31	0.95	-	0.30	20.34	0.69	6.31	DR	19.00	340.50	162.00	178.50	122.63	20.34	0.17	200	199	1.113832994
19.00	0.50	18.75	6	0.31	0.30	0.95	-	0.30	19.86	0.64	6.15	DR	19.00	350.00	167.00	183.00	125.72	19.86	0.16	200	203	1.108344693
19.50	0.50	19.25	6	0.30	0.30	0.95	-	0.30	19.41	0.60	6.00	DR	19.00	359.50	172.00	187.50	128.82	19.41	0.15	200	207	1.103503217
20.00	0.50	19.75	6	0.29	0.29	0.96	-	0.30	18.97	0.56	5.86	DR	19.00	369.00	177.00	192.00	131.91	18.97	0.14	200	211	1.098806768

DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

Molo Ovest - Fase 2



Formulazione Teorica (Lancellotta: 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0.5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2.8})^{0.179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5.6})^{0.357})$$

$$Tv = cv * t / h^2$$

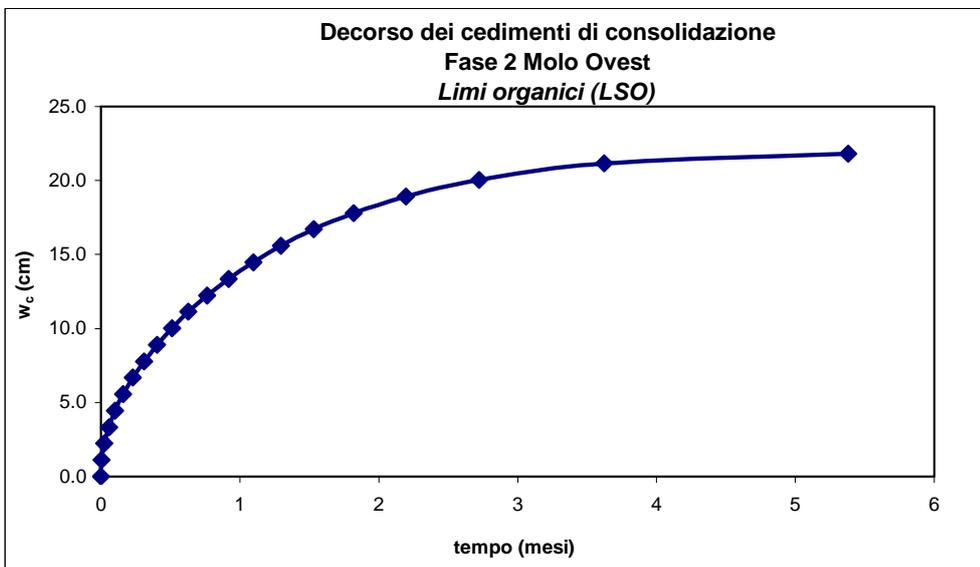
$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 22.26 (cm) (Cedimento massimo)

$h =$ 2.10 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)

$cv =$ 5.30.E-07 (m²/sec) (Coeff. di Consolidazione)



$t =$ 4 (mesi) $U_m =$ 95.7 (%) $\delta_t =$ 21.31 (cm) 120 GG

$U_m =$ 95 (%) $t =$ 3.73 (mesi) $\delta_t =$ 21.15 (cm) 112 GG

VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite globale di "Bishop semplificato". Nei calcoli è stato fatto riferimento a quanto previsto dal D.M. 08 sia per la combinazione dei coefficienti di sicurezza parziali che per le condizioni sismiche.

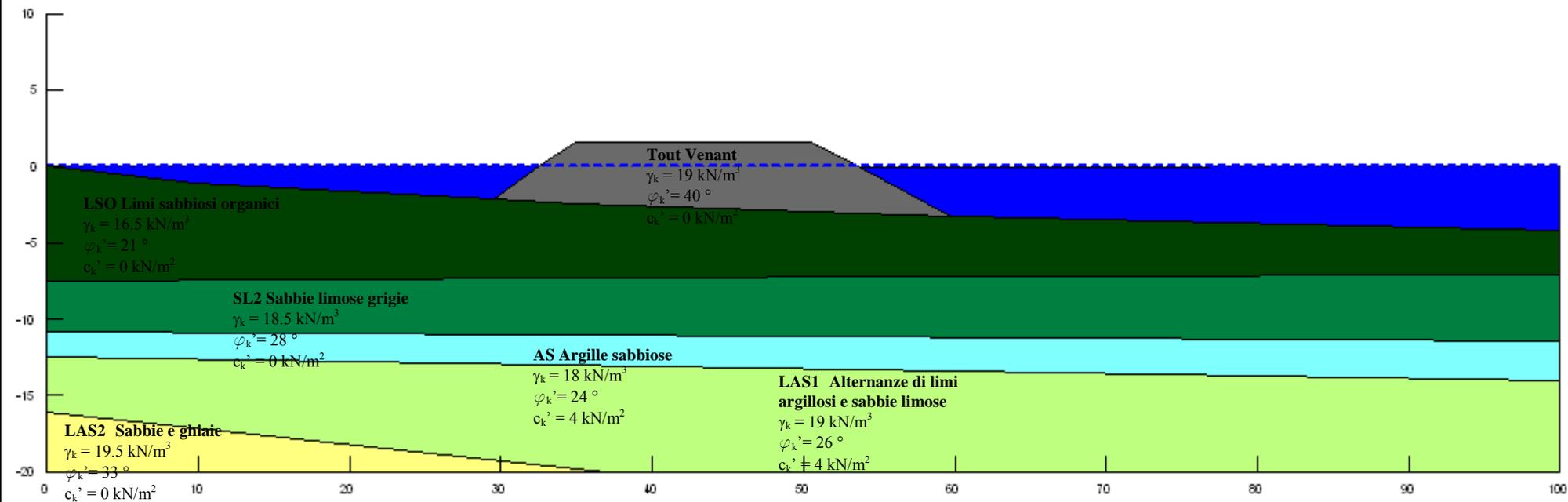
In particolare le azioni sono state opportunamente fattorizzate con i coefficienti A2, i parametri geotecnici con quelli M2 e il fattore di sicurezza ottenuto con quelli R2.

Nelle tabelle riassuntive e negli schemi di rappresentazione delle verifiche effettuate i valori dei fattori di sicurezza ottenuti dal rapporto tra Rd e Ed si riferiscono alla combinazione A2+M2+R2.

Tabella 1

Sezione	Verifica	Fasi	Fs	Rd/Ed	
			minimo	A2+M2+R2	
Sez 1	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro	0.97	0.88	Peso Proprio
Sez 1	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.29	1.18	Peso Proprio
Sez 1	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.64	1.49	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 1	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.60	1.45	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 2	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro	0.96	0.87	Peso Proprio
Sez 2	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.27	1.15	Peso Proprio
Sez 2	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.63	1.48	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 2	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento e dragaggio	1.59	1.44	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 3	SLU-GEO2	Scogliera con pendenza 2/3	0.79	0.72	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 3	SLU-GEO2	Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento	1.16	1.06	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 3	SLV-GEO1	Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento	1.12	1.02	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 4	SLU-GEO2	Palancolato	1.80	1.64	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 4	SLU-GEO2	Palancolato con trattamento	1.76	1.60	Peso Proprio + Sovraccarico
Sez 4	SLV-GEO1	Palancolato con trattamento	1.72	1.56	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)
Sez 6	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro	0.98	0.89	Peso Proprio
Sez 6	SLU-GEO1	Rilevato di lavoro con trattamento	1.34	1.22	Peso Proprio
Cassone	SLU-GEO2	Muro di banchina a cassoni	1.26	1.14	Peso Proprio + Sovraccarico
Cassone	SLV-GEO1	Muro di banchina a cassoni	1.23	1.12	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(↑)

Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	71	0.88	(58.4, 3.9)	8.94	(49.7, 1.6)	(63.6, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

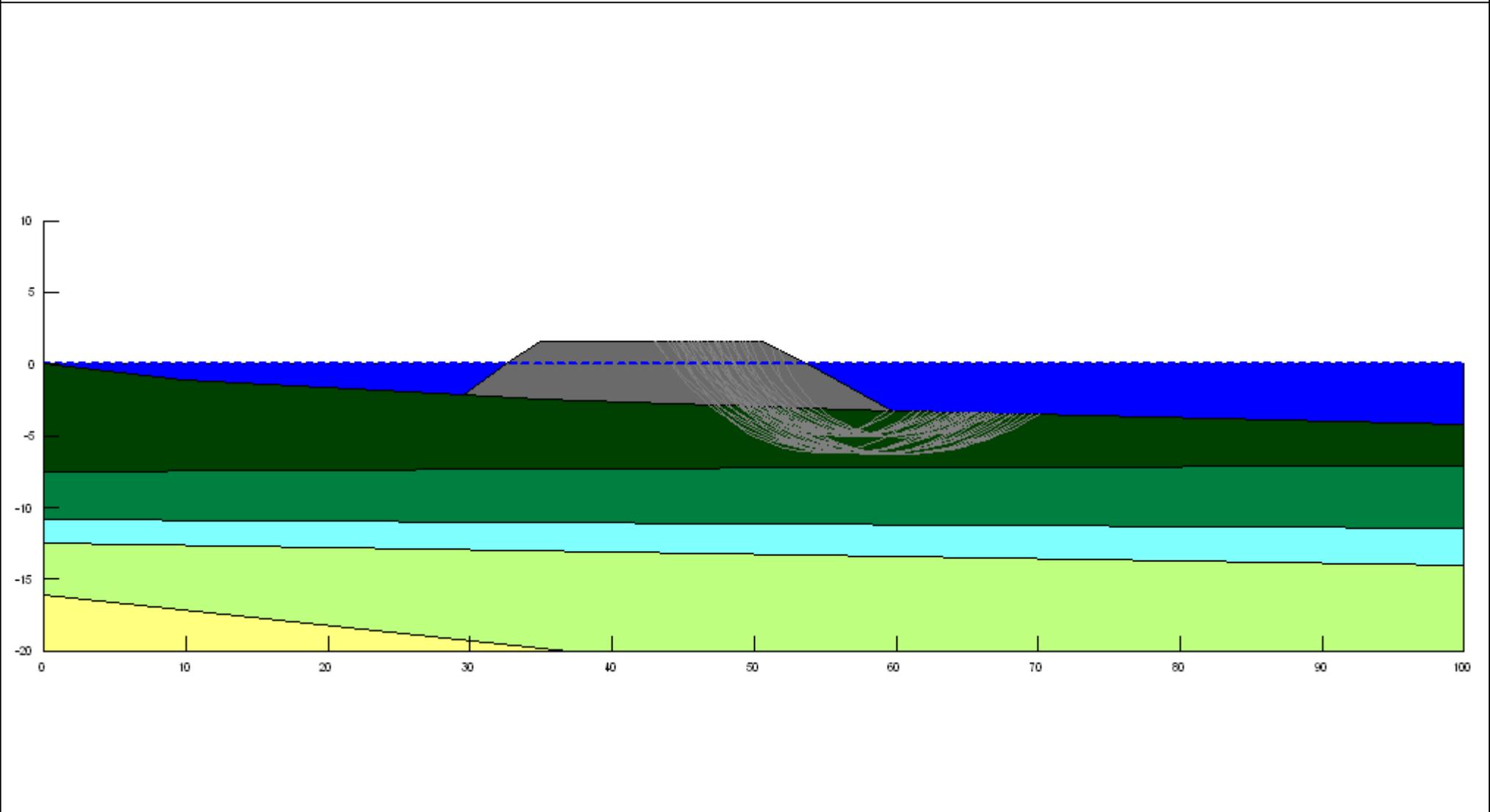
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	71	50.076135	0.8	0	6.039919	4.054527
2	71	50.435305	-0.122957	1.2289284	14.470712	8.8890546
3	71	50.72305	-0.6296385	6.3888977	22.078371	10.53216
4	71	51.174645	-1.326429	13.147506	31.654761	12.423704
5	71	51.62624	-1.9038515	18.773542	39.393237	13.84176
6	71	52.077835	-2.3957195	23.575457	45.737976	14.87744
7	71	52.52943	-2.8211725	27.73261	50.951887	15.586829
8	71	53.004195	-3.2088405	31.536341	60.472734	8.8859672
9	71	53.50213	-3.5626885	34.997362	62.724004	8.5144692
10	71	53.98278	-3.859348	37.894346	64.917855	8.2985468
11	71	54.446145	-4.10692	40.318263	67.27377	8.2776642
12	71	54.90951	-4.320936	42.41319	69.068771	8.1855612
13	71	55.37287	-4.503972	44.206859	70.339881	8.0250908
14	71	55.836235	-4.658024	45.714921	71.11623	7.8003918
15	71	56.2996	-4.78464	46.954754	71.417342	7.5121234
16	71	56.76296	-4.8850095	47.938159	71.262634	7.1626248
17	71	57.22632	-4.960027	48.672342	70.658298	6.7515837
18	71	57.689685	-5.0103355	49.165778	69.611911	6.2787255
19	71	58.15305	-5.036353	49.421418	68.12188	5.7426541
20	71	58.61641	-5.038292	49.440763	66.186376	5.1423466
21	71	59.079775	-5.0161685	49.223767	63.799581	4.4760312
22	71	59.54314	-4.969802	48.768823	60.943902	3.7387988
23	71	60.08741	-4.881248	47.926397	58.541443	3.2597341
24	71	60.63207	-4.7627745	46.741311	56.704525	3.0595655
25	71	61.09621	-4.630837	45.448089	54.636788	2.8217229
26	71	61.560355	-4.471105	43.883537	52.079299	2.5168056
27	71	62.0245	-4.2819445	42.030915	48.986777	2.1360493
28	71	62.48864	-4.061249	39.869621	45.302725	1.6684313
29	71	62.95278	-3.806296	37.373587	40.948452	1.0977917
30	71	63.416925	-3.513531	34.509434	35.818992	0.40214709

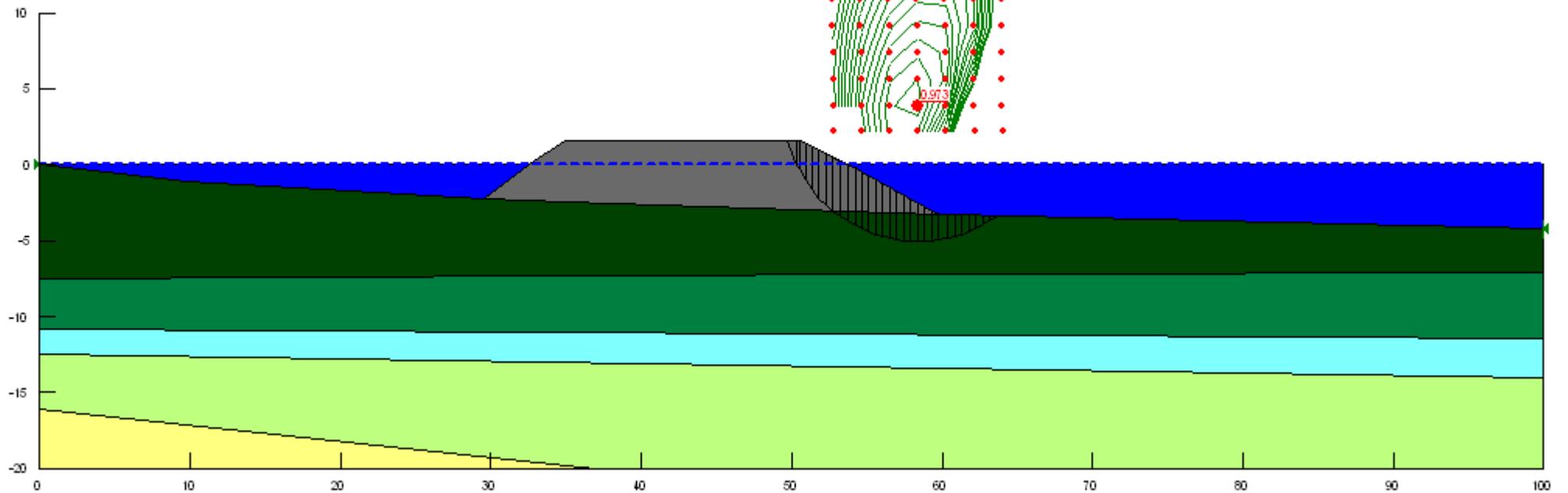
Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità



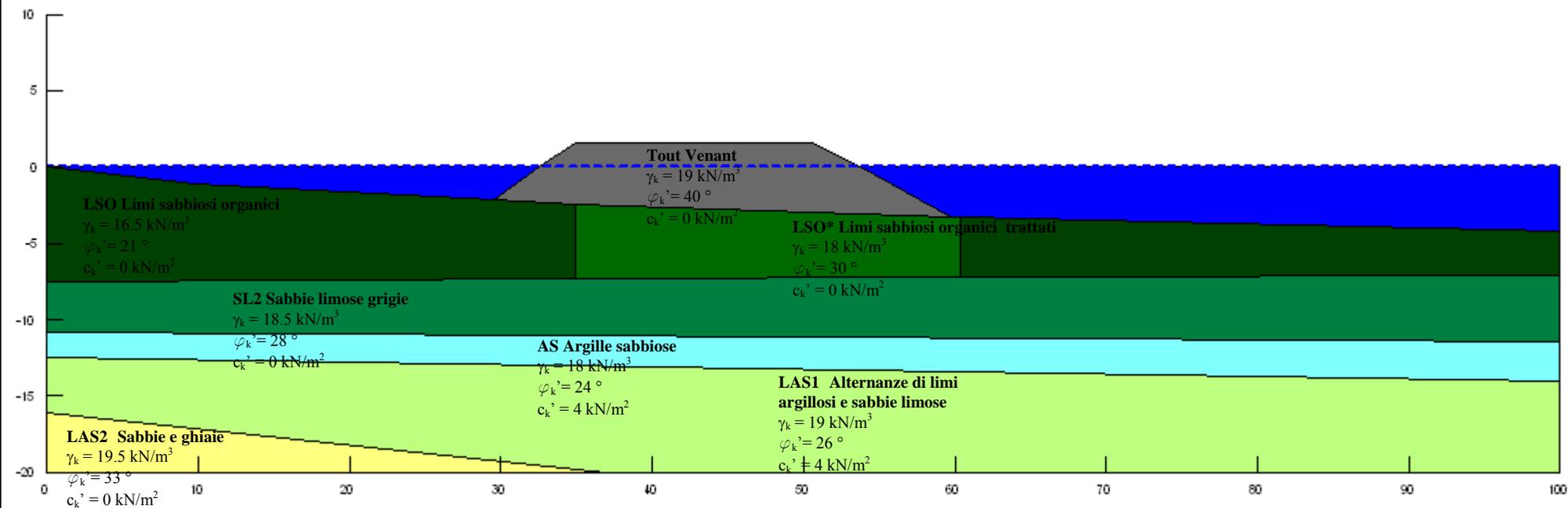
Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Superficie critica

DM08 A2+M2+R2
 $Fs = 0,88$

Bishop semplificato



Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro con trattamento – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	176	1.18	(60.2, 7.3)	12.46	(49.20, 1.6)	(66.46, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

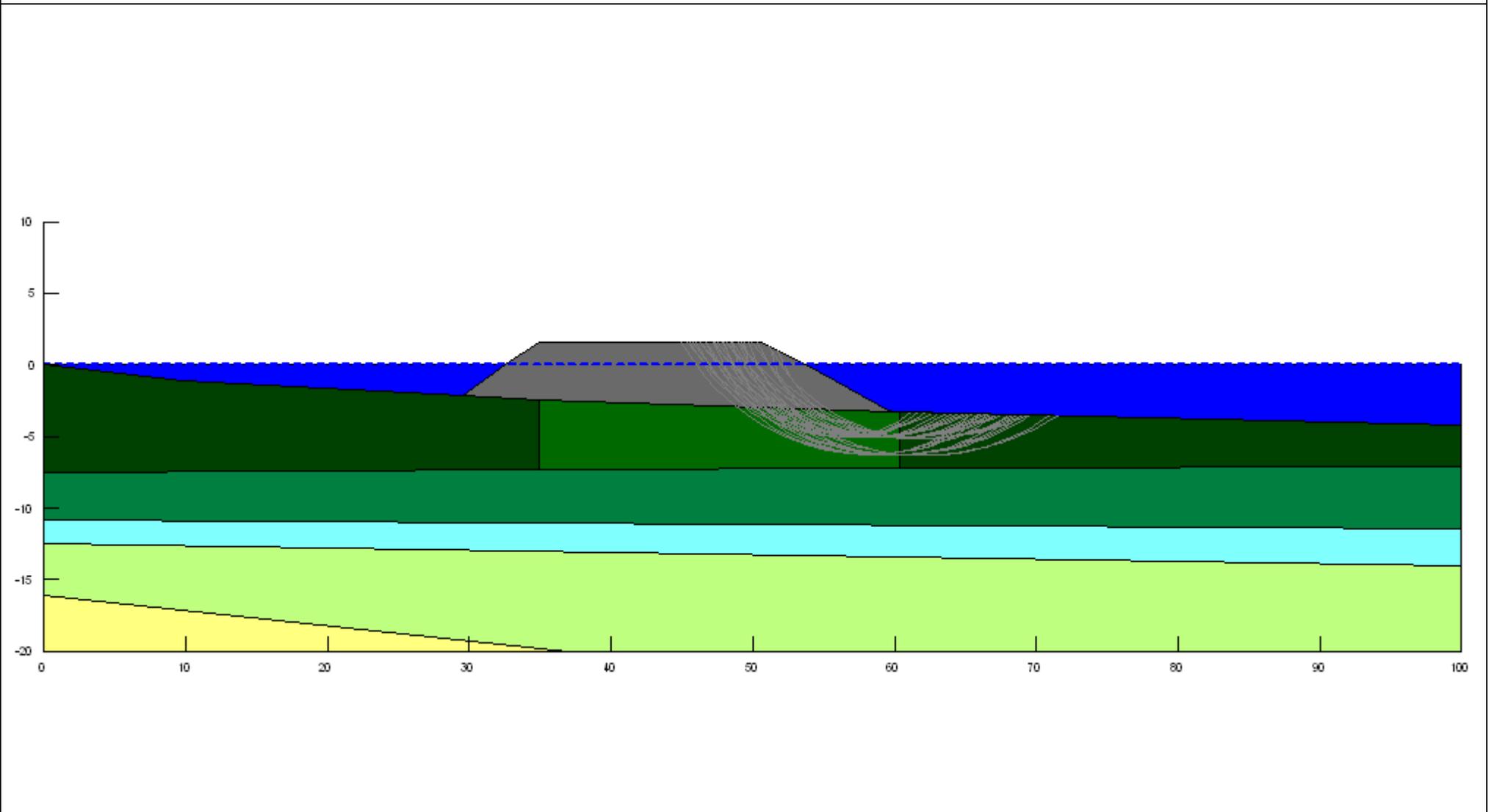
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	176	49.45453	1.1663777	0	4.5280523	3.0396286
2	176	49.95371	0.36637765	0	13.440213	9.0222578
3	176	50.350275	-0.1921301	1.9221194	21.092097	12.868582
4	176	50.78869	-0.7244421	7.2259792	28.658632	14.387489
5	176	51.371575	-1.360601	13.440611	36.22755	15.296605
6	176	51.95446	-1.916573	18.876281	42.424592	15.807706
7	176	52.537345	-2.40619	23.66697	47.441731	15.959719
8	176	53.12023	-2.839078	27.903092	51.417835	15.785172
9	176	53.581385	-3.1497835	30.907704	55.736917	11.467975
10	176	54.052285	-3.4298285	33.691044	58.3379	11.383748
11	176	54.654655	-3.753719	36.862843	61.756981	11.497961
12	176	55.25703	-4.036645	39.633609	64.454426	11.464097
13	176	55.859405	-4.2816015	42.032695	66.467743	11.28592
14	176	56.461775	-4.4909475	44.08388	67.82987	10.967662
15	176	57.064145	-4.666545	45.804656	68.561742	10.510913
16	176	57.666515	-4.809858	47.208526	68.682153	9.9181158
17	176	58.26889	-4.9220185	48.30655	68.199507	9.1880449
18	176	58.871265	-5.0038745	49.109643	67.117227	8.3172397
19	176	59.473635	-5.0560265	49.619594	65.436565	7.3054516
20	176	60.08741	-5.078718	49.845169	64.585381	6.8081246
21	176	60.67555	-5.073194	49.783352	60.94444	3.4274164
22	176	61.226645	-5.0419335	49.475714	60.480366	3.3793769
23	176	61.77774	-4.986042	48.929019	59.615868	3.2817837
24	176	62.32884	-4.905183	48.136876	58.338839	3.1328819
25	176	62.879935	-4.7988575	47.094316	56.64051	2.9315043
26	176	63.43103	-4.6663895	45.796326	54.49847	2.6723084
27	176	63.98213	-4.5069035	44.232937	51.895595	2.3530964
28	176	64.533225	-4.319291	42.395237	48.804097	1.9680724
29	176	65.08432	-4.1021695	40.267682	45.188285	1.5110491
30	176	65.63542	-3.8538225	37.834714	41.008191	0.97453096
31	176	66.186515	-3.572118	35.076063	36.211562	0.34869597

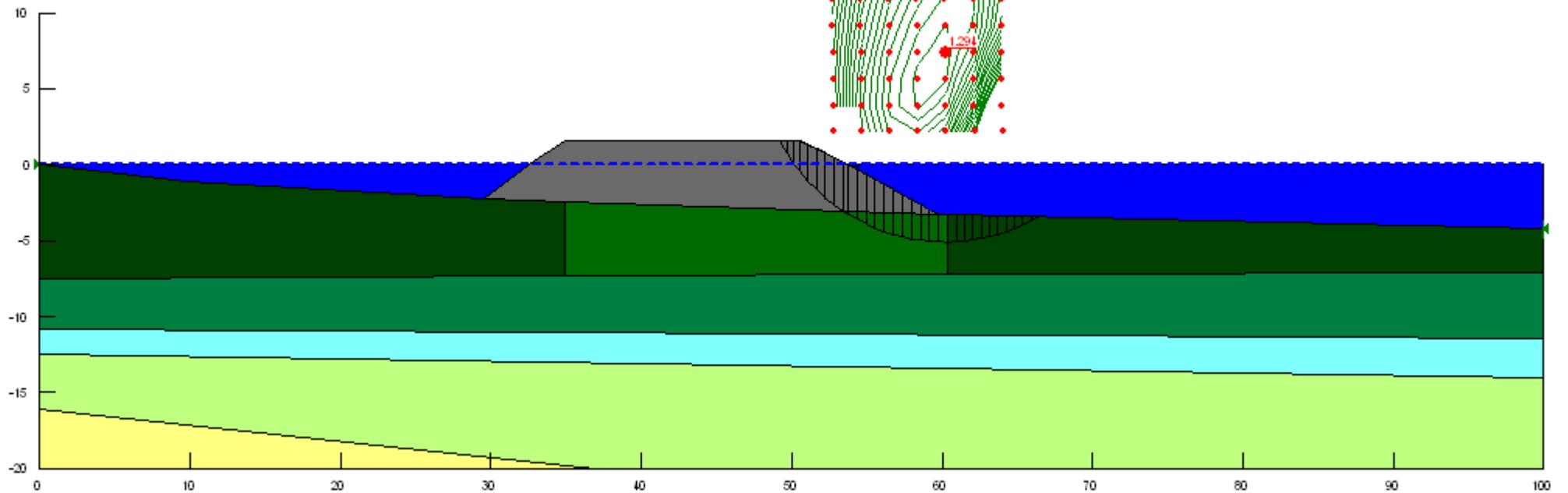
Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità



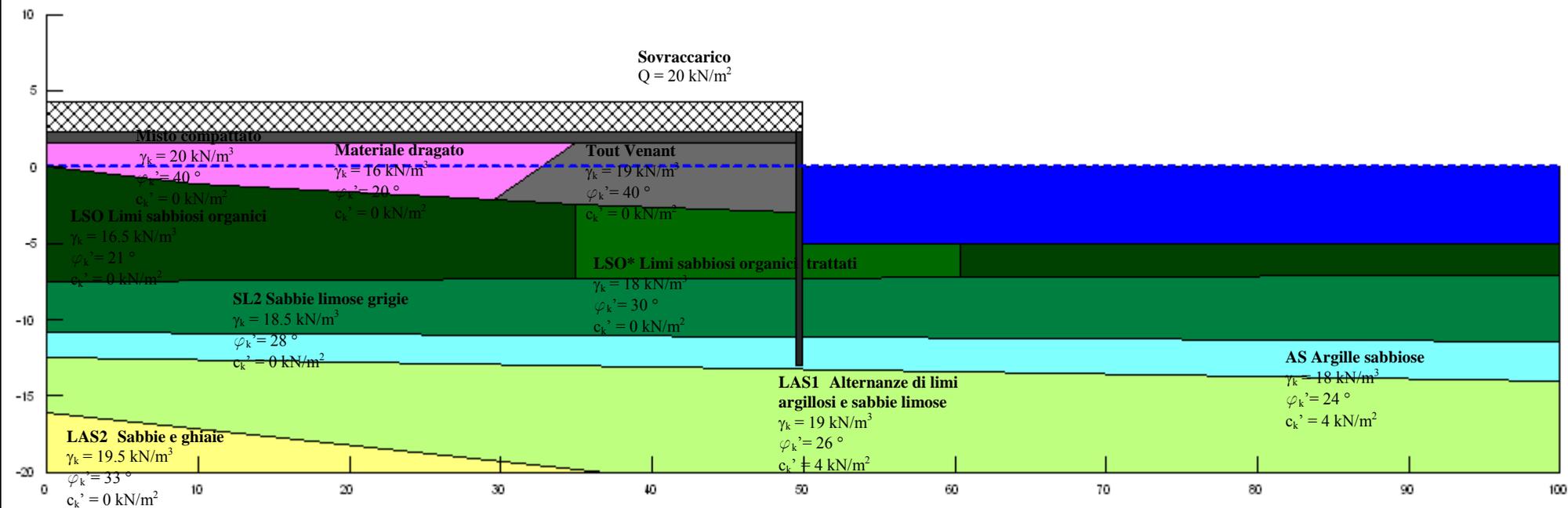
Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Superficie critica

DM08 A2+M2+R2
 $F_s = 1,18$

Bishop semplificato



Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU- GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entrata (m)	Uscita (m)
1	66	1.49	(53.4, 15.0)	28.62	(27.8, 2.3)	(73.9, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

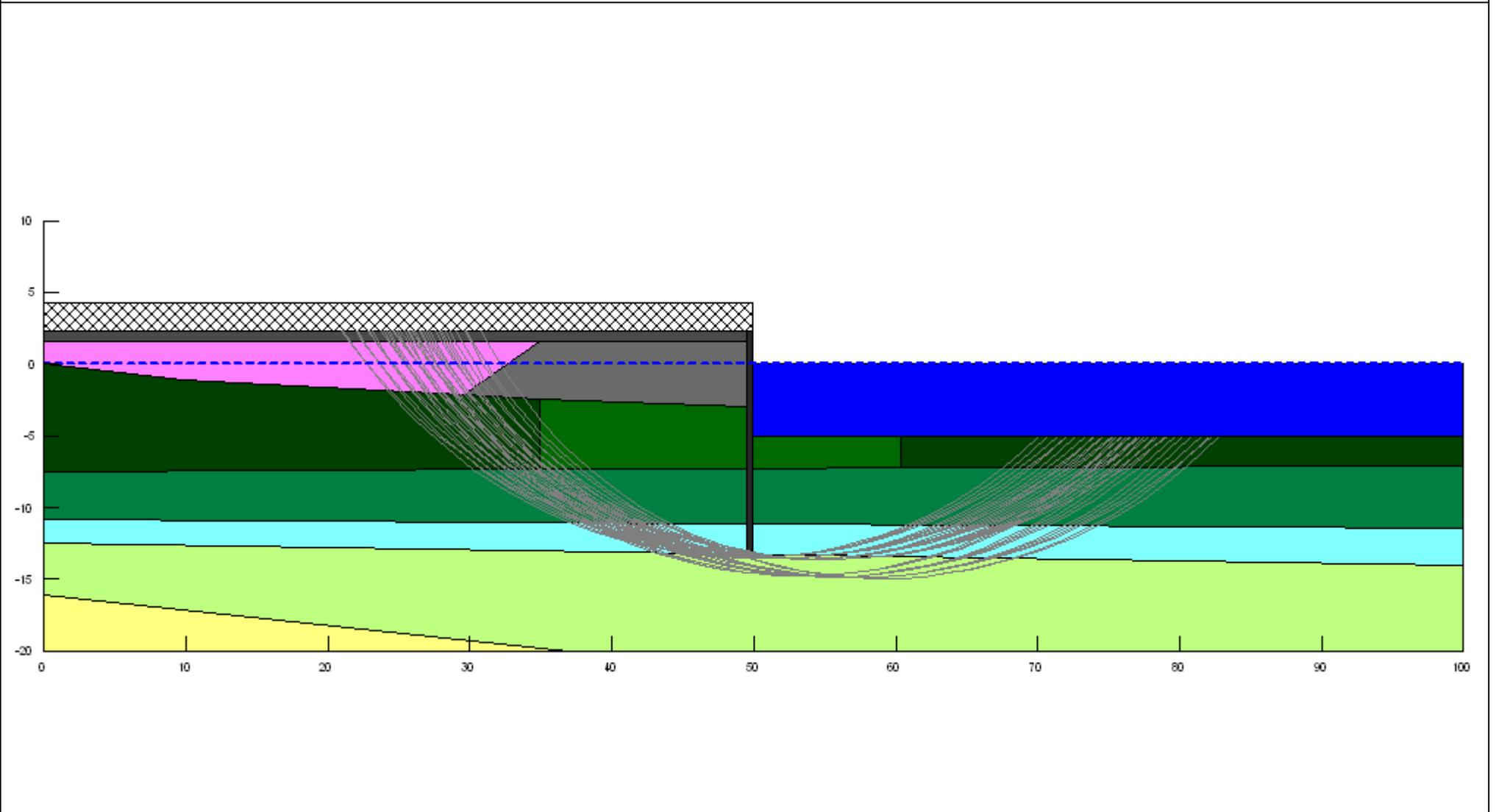
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	66	28.046725	1.95	0	15.1148	10.146388
2	66	28.68585	0.8	0	37.52237	10.759367
3	66	29.704405	-0.8383205	8.5347653	63.959899	15.892901
4	66	30.47246	-1.959214	19.249943	70.312184	34.277486
5	66	31.682145	-3.424526	34.219746	108.34533	22.762944
6	66	33.259905	-5.184336	51.0038	137.25735	26.487276
7	66	34.4133	-6.2776745	61.703086	155.99033	28.954312
8	66	34.99099	-6.794781	66.63474	165.5408	45.682166
9	66	35.324515	-7.0689485	69.36642	170.70969	46.807849
10	66	36.416565	-7.9075965	77.741833	188.46217	47.096093
11	66	37.93559	-8.9652615	88.088525	209.07286	51.461994
12	66	39.454615	-9.8854835	97.094895	227.41688	55.433865
13	66	40.97364	-10.683115	104.9052	243.71551	59.044466
14	66	42.47839	-11.36385	111.56732	259.29604	52.618359
15	66	43.96887	-11.938015	117.18671	271.3904	54.924628
16	66	45.45935	-12.419315	121.90325	281.90206	56.988749
17	66	46.949835	-12.812585	125.75778	290.91405	58.825744
18	66	48.44032	-13.121525	128.78297	298.4709	60.439841
19	66	49.32778	-13.276245	130.20453	301.85469	66.975375
20	66	49.685	-13.326065	130.69664	399.54613	104.90113
21	66	50.603495	-13.42643	131.76138	201.00751	27.018826
22	66	52.010485	-13.534475	132.81487	203.95606	27.758249
23	66	53.41747	-13.572965	133.19262	205.62348	28.26146
24	66	54.824455	-13.54218	132.8932	205.99865	28.524677
25	66	56.231445	-13.441895	131.91069	205.06392	28.54332
26	66	57.801205	-13.242435	130.00009	202.32569	25.7611
27	66	59.533735	-12.92349	126.87647	197.68179	25.219605
28	66	61.156185	-12.526275	122.9516	186.72056	22.713377
29	66	62.668555	-12.06015	118.3874	179.12474	21.633566
30	66	64.180925	-11.49971	112.89841	169.73091	20.242733
31	66	65.76212	-10.80363	106.11044	157.46868	21.845783
32	66	67.412135	-9.9526055	97.779759	141.81506	18.730892
33	66	69.06215	-8.958006	88.050257	122.9989	14.865785
34	66	70.712165	-7.80092	76.734077	100.42831	10.078596
35	66	72.13544	-6.6652055	65.504578	77.885343	3.8019621
36	66	73.331975	-5.575696	54.84491	59.307889	1.3705194

Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità

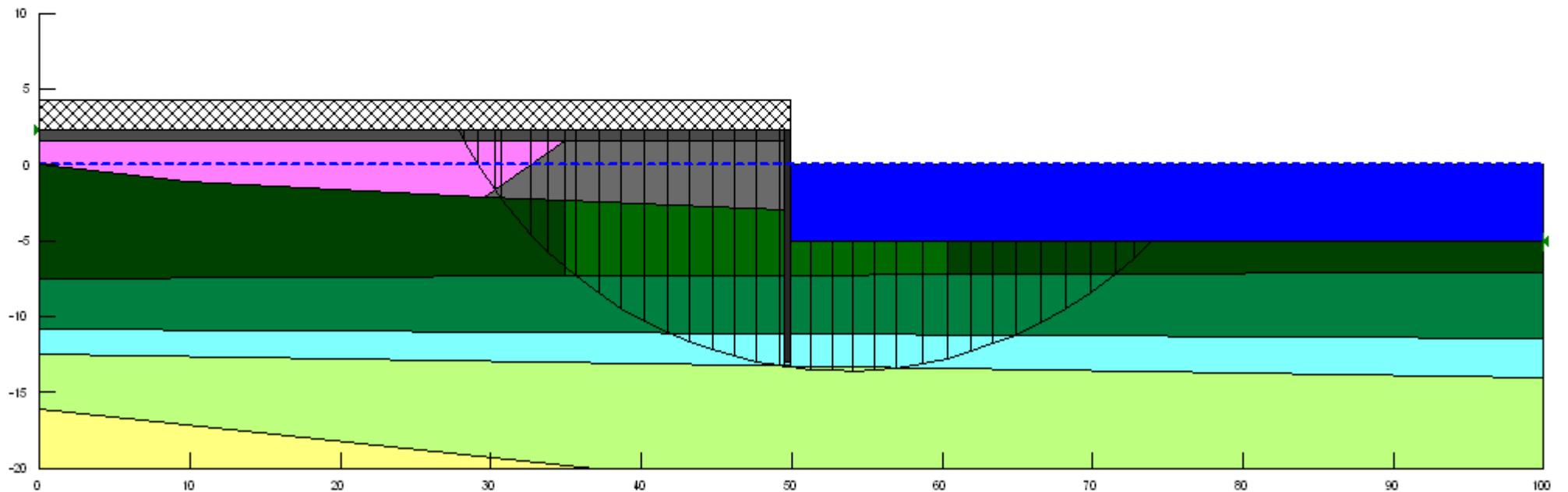
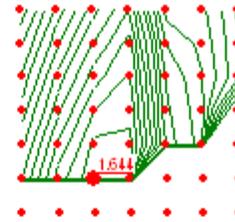


Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU-GEO 2 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 1,49$



Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV- GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0135
Coefficiente sismico verticale	0.00675
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entrata (m)	Uscita (m)
1	115	1.45	(53.3, 15.3)	28.89	(27.5, 2.3)	(73.9, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

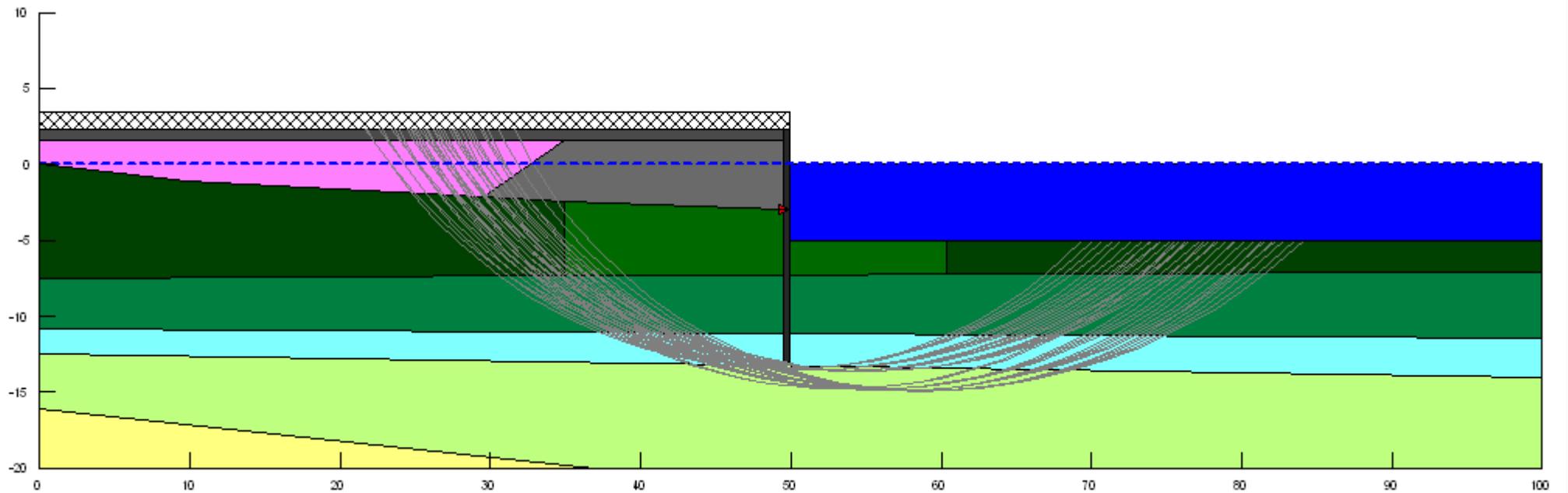
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	115	27.754745	1.95	0	10.560964	7.0894514
2	115	28.402415	0.8	0	31.118891	8.9231983
3	115	29.47774	-0.8992505	9.1759619	58.241531	14.069325
4	115	30.25065	-2.015481	19.785875	65.361056	30.594086
5	115	31.548255	-3.545583	35.553582	103.03312	20.722037
6	115	33.836605	-5.9196445	58.619586	142.40969	25.730784
7	115	34.99099	-6.9814	68.466991	161.1905	42.826604
8	115	35.215525	-7.162752	70.263907	164.55292	43.549669
9	115	36.203055	-7.9079995	77.745808	180.31766	43.630044
10	115	37.73103	-8.9647575	88.086581	200.63188	47.872359
11	115	39.25901	-9.884562	97.08566	218.72821	51.741976
12	115	40.786985	-10.682045	104.89226	234.806	55.260211
13	115	42.30019	-11.362595	111.5509	250.07273	49.339025
14	115	43.79863	-11.9365	117.17316	262.01684	51.590758
15	115	45.29707	-12.41761	121.88699	272.39411	53.607973
16	115	46.79551	-12.810705	125.7388	281.27648	55.399771
17	115	48.29395	-13.11945	128.76081	288.73138	56.978688
18	115	49.256585	-13.283805	130.28189	292.35738	63.239481
19	115	49.685	-13.342105	130.85322	389.67641	100.98901
20	115	50.763925	-13.447915	132.0102	200.61446	26.768379
21	115	52.49177	-13.552295	133.03272	203.7078	27.576379
22	115	54.219615	-13.552965	133.04158	204.89826	28.037424
23	115	55.94746	-13.44993	132.03101	204.15009	28.139809
24	115	57.708535	-13.23598	129.94446	201.24645	25.396506
25	115	59.502845	-12.90445	126.69945	196.46609	24.849645
26	115	61.143065	-12.501615	122.71115	185.46633	22.352284
27	115	62.629195	-12.04227	118.20665	178.03965	21.311456
28	115	64.11532	-11.492715	112.82938	168.90061	19.971581
29	115	65.688595	-10.80305	106.10623	156.83398	21.577598
30	115	67.349025	-9.951874	97.771765	141.28384	18.50833
31	115	69.009455	-8.9573135	88.03953	122.58726	14.695252
32	115	70.669885	-7.800706	76.727859	100.15401	9.9645646
33	115	72.10302	-6.665203	65.505848	77.716022	3.749576
34	115	73.308855	-5.5756065	54.842821	59.246776	1.3523938

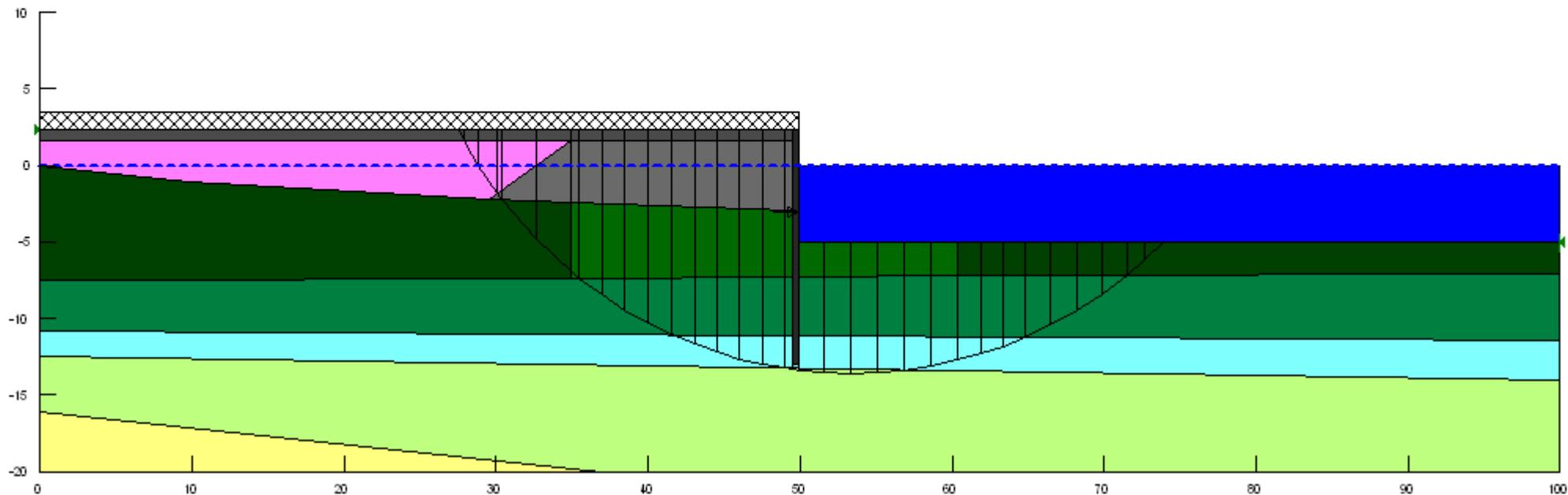
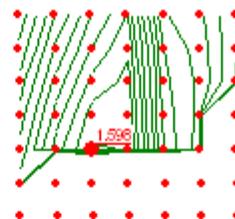
Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV-GEO 1 – Analisi di Stabilità



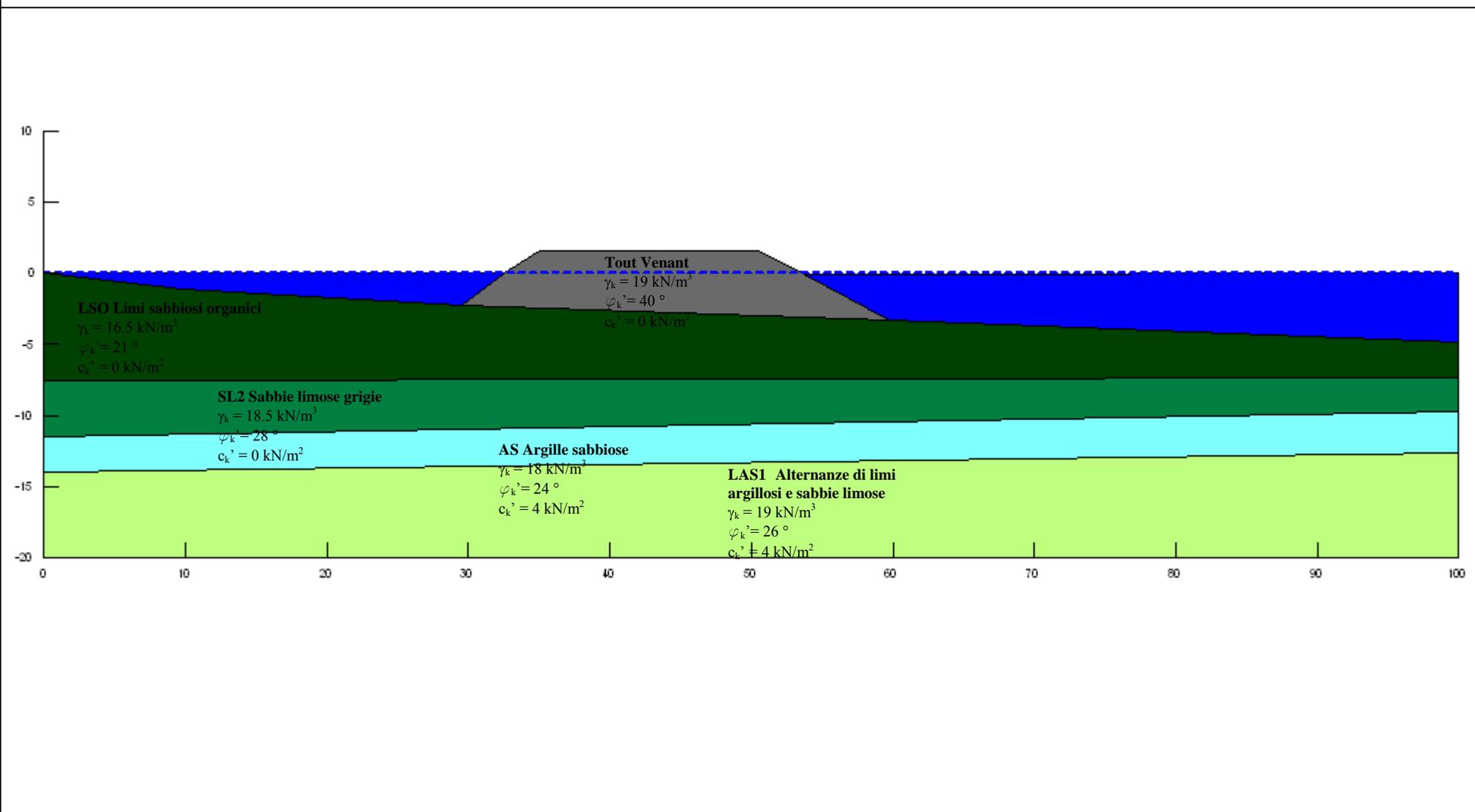
Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV-GEO 1 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2
 $Fs = 1,45$



Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	122	0.87	(57.8, 4.2)	9.62	(48.5, 1.6)	(63.6, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

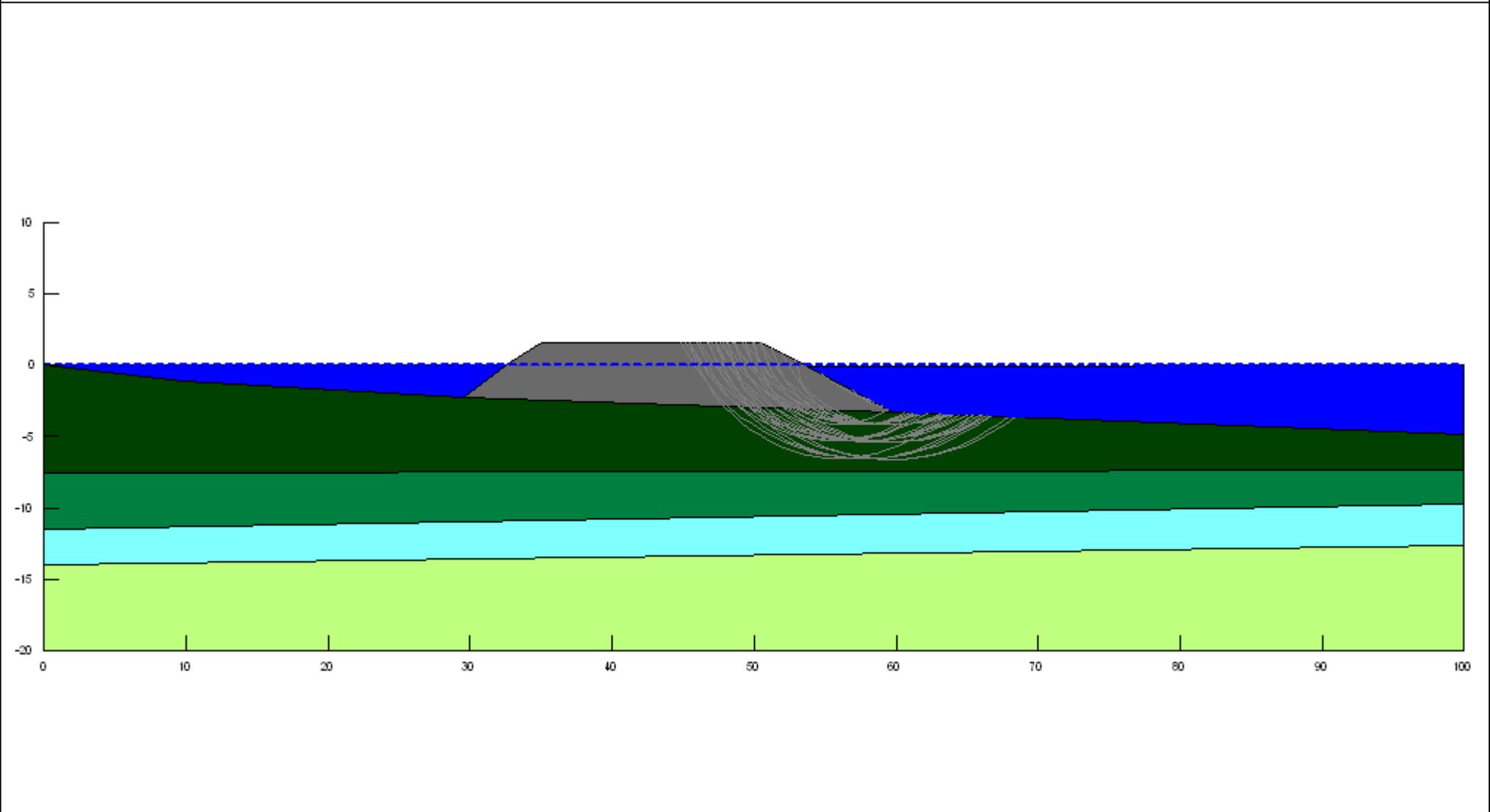
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	122	48.898795	0.8	0	6.1145792	4.1046455
2	122	49.55551	-0.585248	6.2015116	22.665311	11.051956
3	122	50.198625	-1.5603645	15.504515	38.892061	15.699786
4	122	50.750855	-2.225981	21.93575	49.411477	18.444135
5	122	51.258065	-2.73903	26.945236	56.111319	19.578851
6	122	51.784115	-3.196523	31.428806	68.664179	11.434469
7	122	52.329005	-3.6066575	35.439291	71.644714	11.118186
8	122	52.8739	-3.9603935	38.899247	73.579272	10.649757
9	122	53.418795	-4.2647895	41.878187	74.590883	10.045618
10	122	53.72117	-4.4195255	43.342453	74.801757	9.6607184
11	122	54.00209	-4.542531	44.590908	75.761784	9.5721461
12	122	54.50407	-4.743895	46.56243	77.266384	9.4287607
13	122	55.006045	-4.9134795	48.222787	78.229219	9.2145614
14	122	55.50802	-5.0530225	49.589809	78.674894	8.9316284
15	122	56.01	-5.1638595	50.676792	78.618462	8.5805013
16	122	56.511975	-5.2469945	51.489386	78.074609	8.1639554
17	122	57.01395	-5.3031495	52.040621	77.047746	7.6793432
18	122	57.515925	-5.332799	52.330859	75.539912	7.12718
19	122	58.0179	-5.336189	52.363226	73.547101	6.5052759
20	122	58.51988	-5.313347	52.139647	71.063936	5.8113884
21	122	59.021855	-5.2640845	51.656756	68.074488	5.0416591
22	122	59.52383	-5.187988	50.91201	64.561621	4.1916073
23	122	60.014215	-5.08743	49.924021	61.786188	3.6427079
24	122	60.493005	-4.962817	48.702696	59.821209	3.4143418
25	122	60.971795	-4.8113155	47.218326	57.386878	3.1226221
26	122	61.450585	-4.63155	45.457527	54.44415	2.7596679
27	122	61.929375	-4.4217635	43.404221	50.947523	2.3164441
28	122	62.40816	-4.1797155	41.03366	46.833412	1.7810239
29	122	62.886945	-3.9025315	38.319092	42.018793	1.1361271
30	122	63.365735	-3.586479	35.226535	36.383156	0.3551823

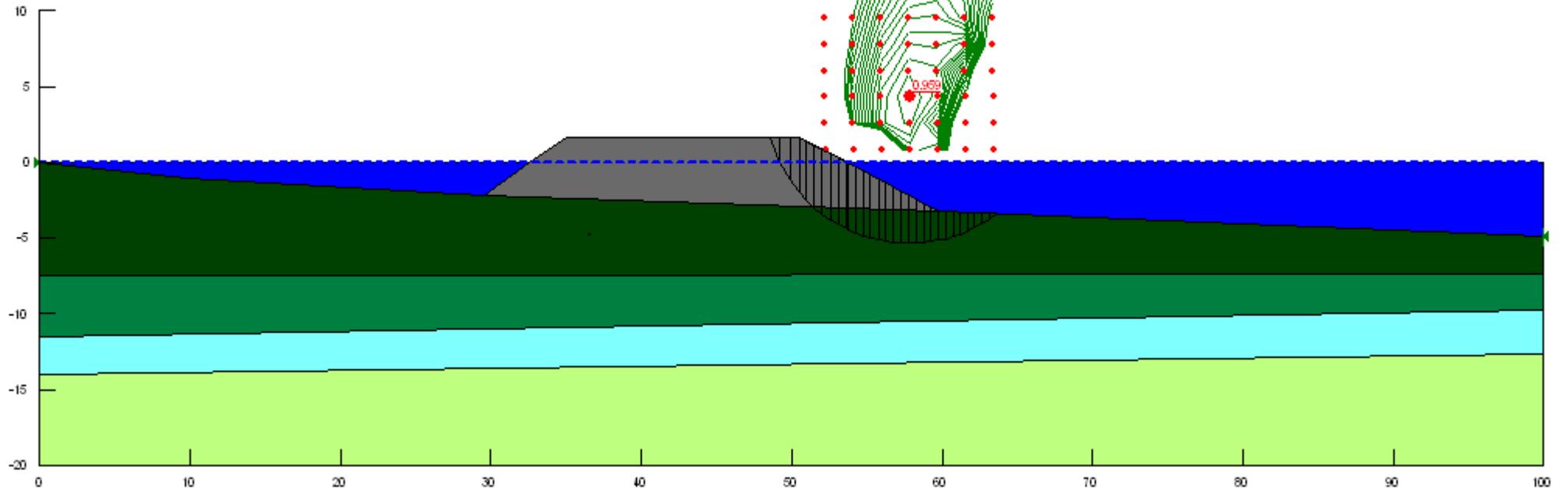
Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità



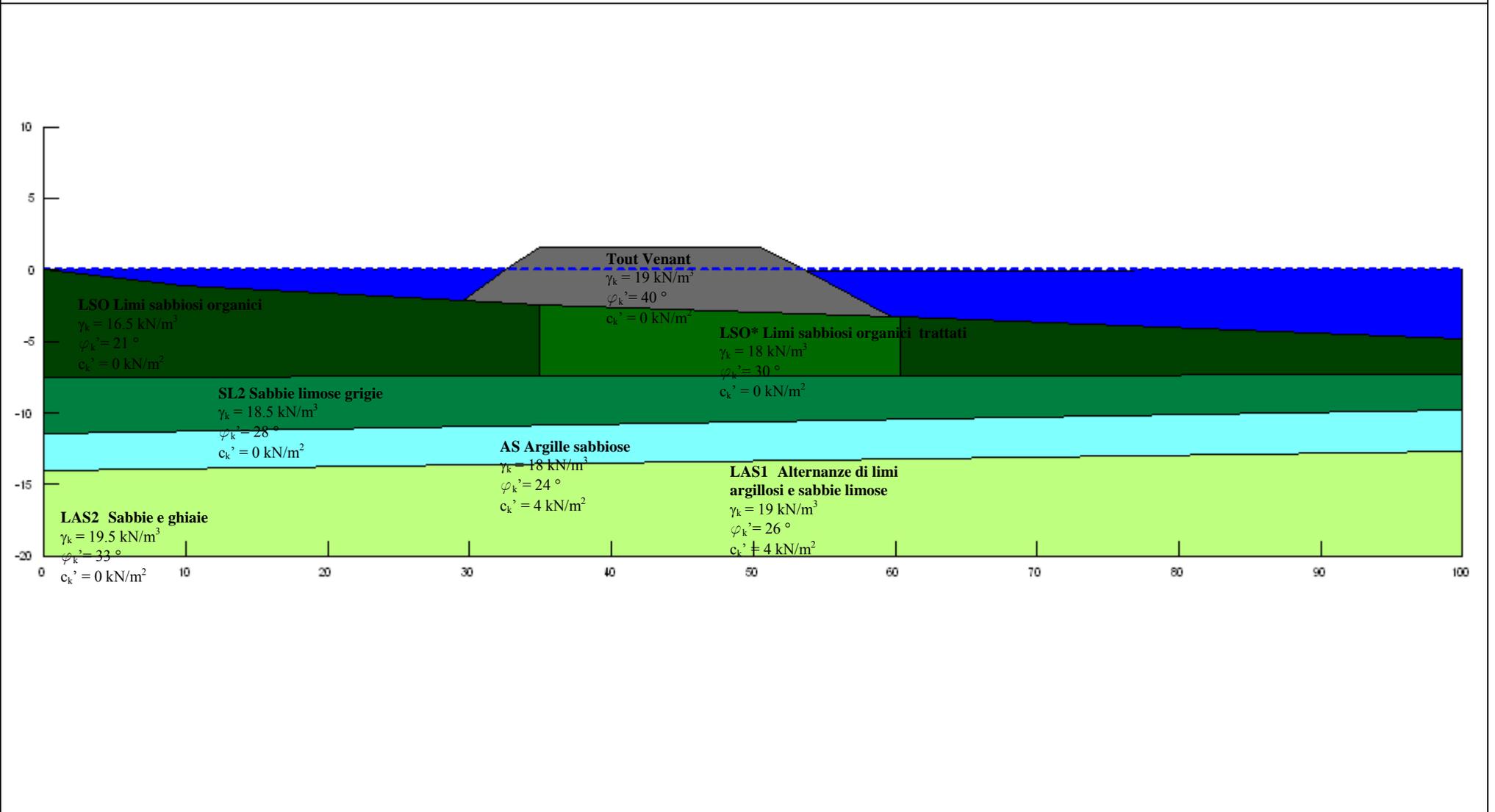
Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Superficie critica

DM08 A2+M2+R2
 $F_s = 0,87$

Bishop semplificato



Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro con trattamento – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	176	1.15	(59.6, 6.0)	11.17	(49.4, 1.6)	(65.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

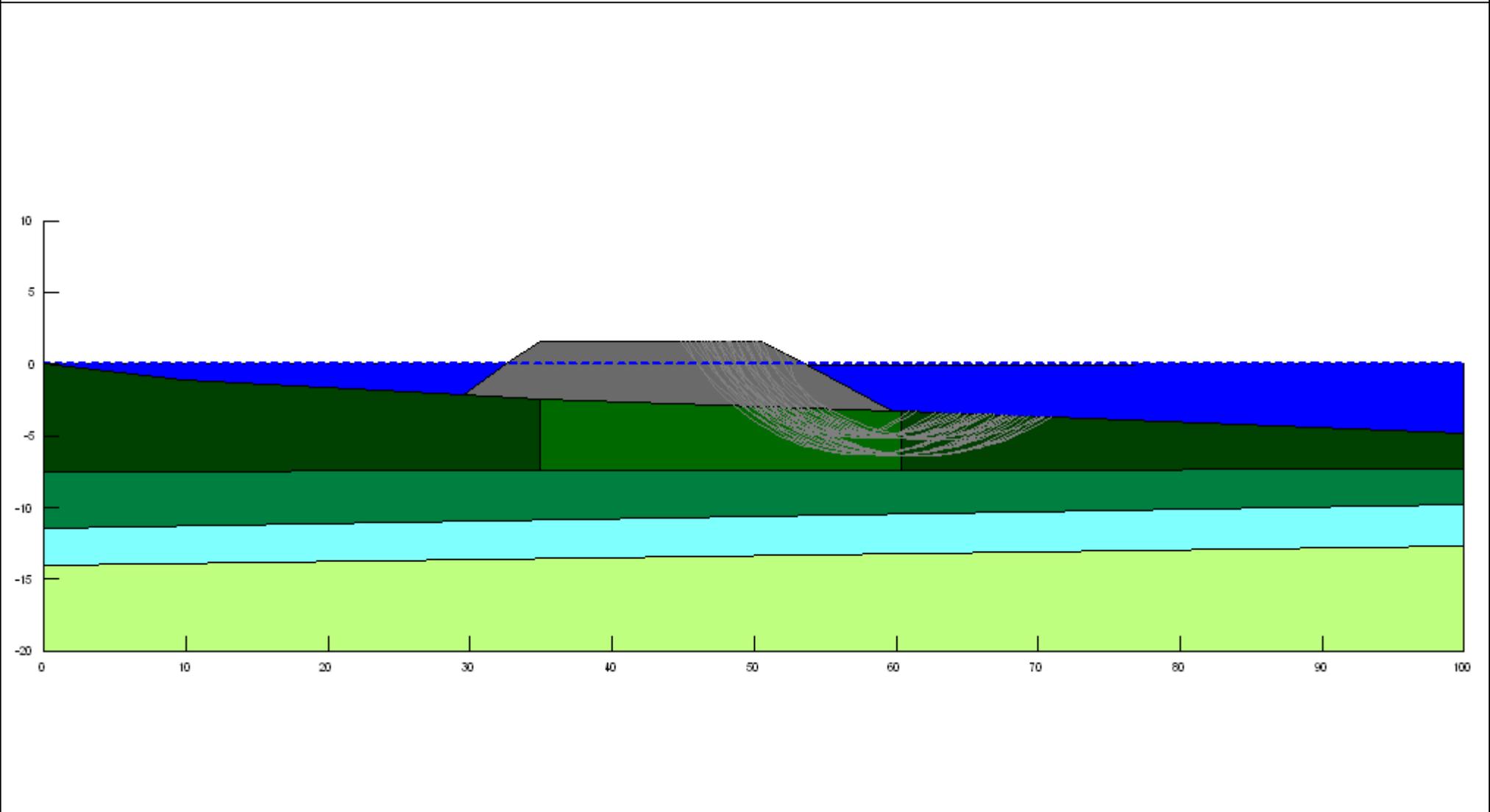
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

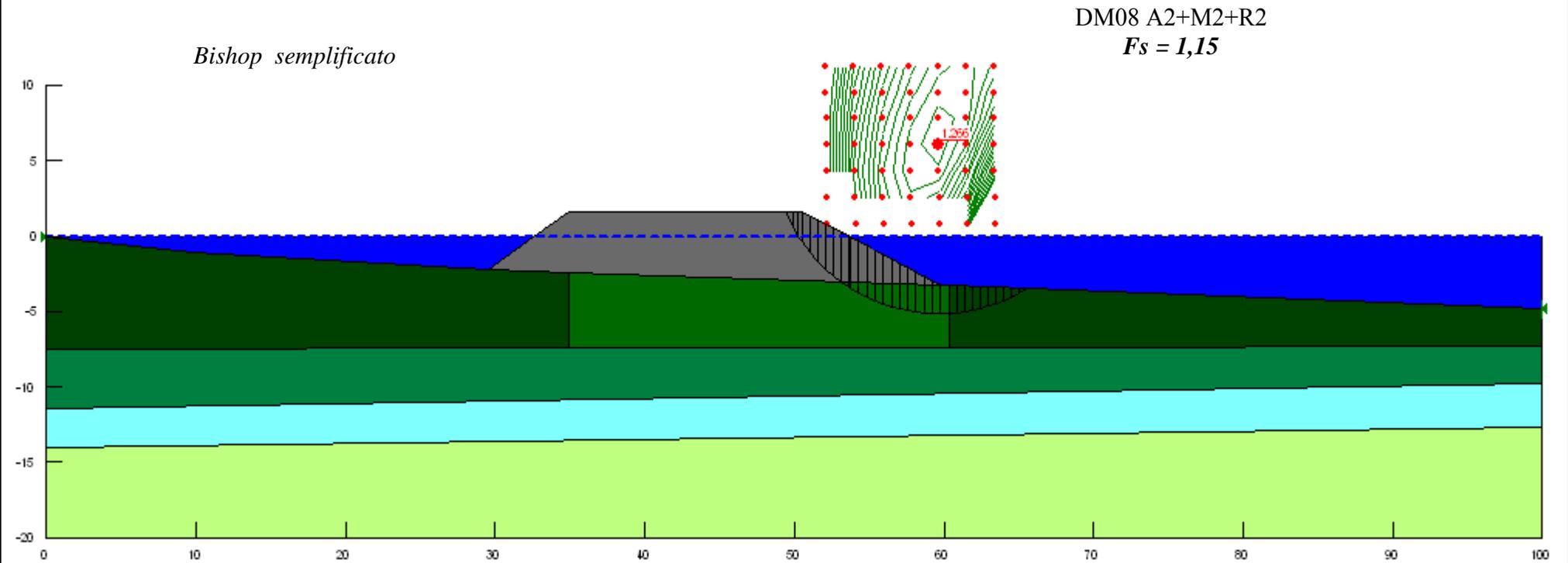
Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	176	49.6568	1.1046992	0	4.7961001	3.2195659
2	176	50.08164	0.30469925	0	13.112814	8.8024789
3	176	50.380265	-0.1754169	1.7554688	19.579956	11.96537
4	176	50.760495	-0.6998879	7.0030359	27.201951	13.559295
5	176	51.286985	-1.348495	13.330159	35.362403	14.789988
6	176	51.813475	-1.908971	18.8056	42.043187	15.59912
7	176	52.339965	-2.3991815	23.599749	47.498792	16.043148
8	176	52.866455	-2.830928	27.82375	51.897624	16.16051
9	176	53.41047	-3.223641	31.674947	57.450916	11.905257
10	176	53.72117	-3.432746	33.666017	58.772062	11.595836
11	176	54.024905	-3.6121935	35.475715	60.810336	11.70141
12	176	54.572515	-3.9134315	38.425813	64.144261	11.878689
13	176	55.120125	-4.1763915	41.000763	66.804203	11.917945
14	176	55.66774	-4.403982	43.230748	68.830726	11.823971
15	176	56.215355	-4.598485	45.13557	70.251009	11.600175
16	176	56.762965	-4.761696	46.73473	71.090093	11.249116
17	176	57.310575	-4.895022	48.040204	71.363463	10.772413
18	176	57.858185	-4.999551	49.065565	71.080664	10.168207
19	176	58.405795	-5.076099	49.814267	70.247912	9.437775
20	176	58.953405	-5.1252435	50.297092	68.864234	8.5756848
21	176	59.501015	-5.1473465	50.513598	66.926684	7.5807818
22	176	60.08741	-5.140192	50.452066	65.716984	7.050473
23	176	60.657455	-5.106046	50.105329	61.344305	3.4513346
24	176	61.17237	-5.0486215	49.540943	60.419821	3.3407533
25	176	61.687285	-4.966789	48.739441	59.090961	3.178809
26	176	62.202195	-4.859996	47.692895	57.346109	2.964369
27	176	62.71711	-4.727497	46.395006	55.162743	2.692451
28	176	63.232025	-4.5683255	44.835834	52.520188	2.3597593
29	176	63.746935	-4.3812535	43.002671	49.386699	1.9604471
30	176	64.261845	-4.1647395	40.881091	45.726257	1.4878837
31	176	64.77676	-3.9168545	38.454627	41.490428	0.93225252
32	176	65.291675	-3.635173	35.69508	36.618475	0.28356177

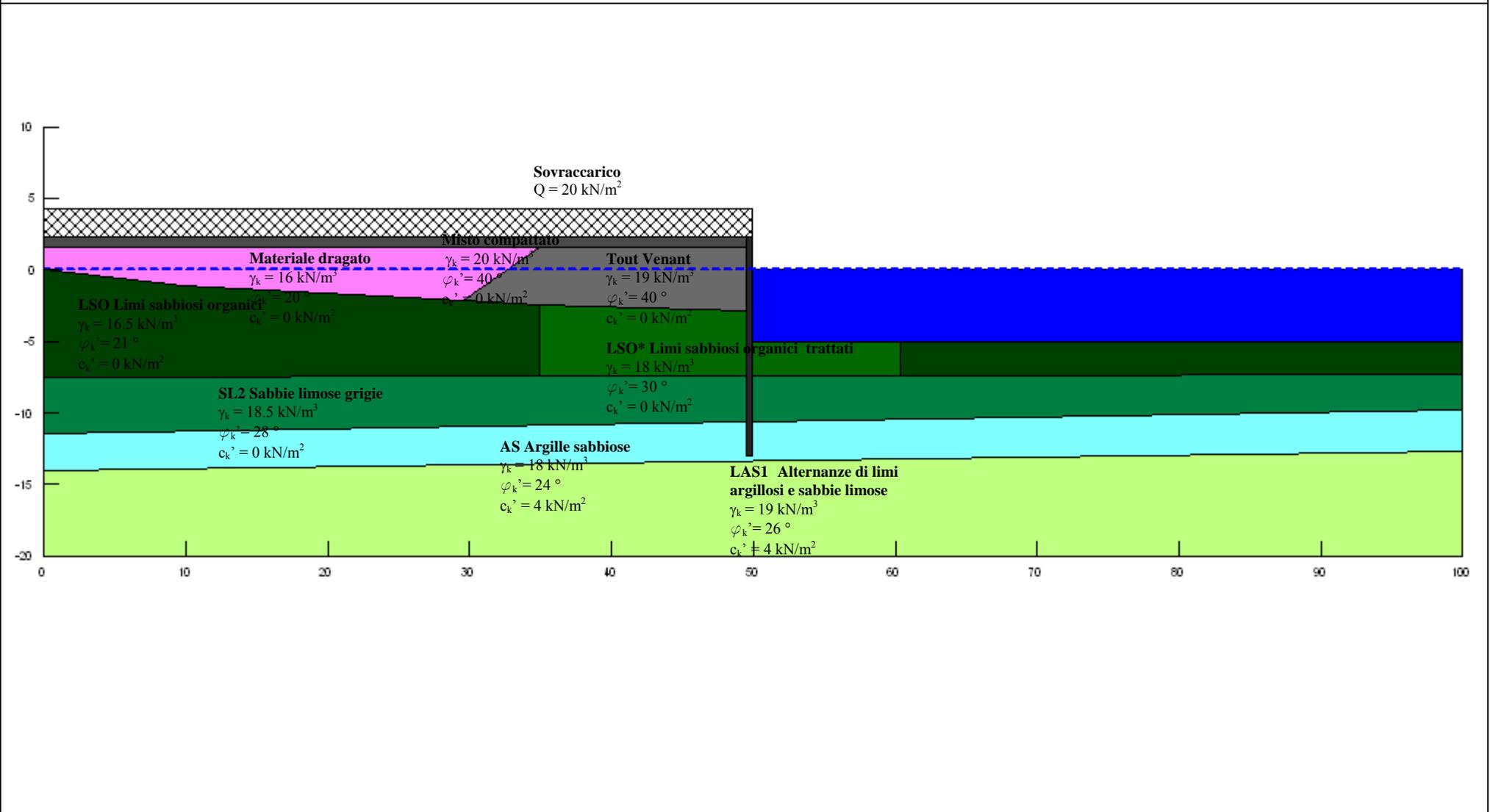
Banchina Nord – Sezione 2 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità



Banchina Nord – Sezione 1 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1 – Superficie critica



Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU- GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	123	1.48	(54.9, 15.1)	28.71	(29.2, 2.3)	(75.49, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

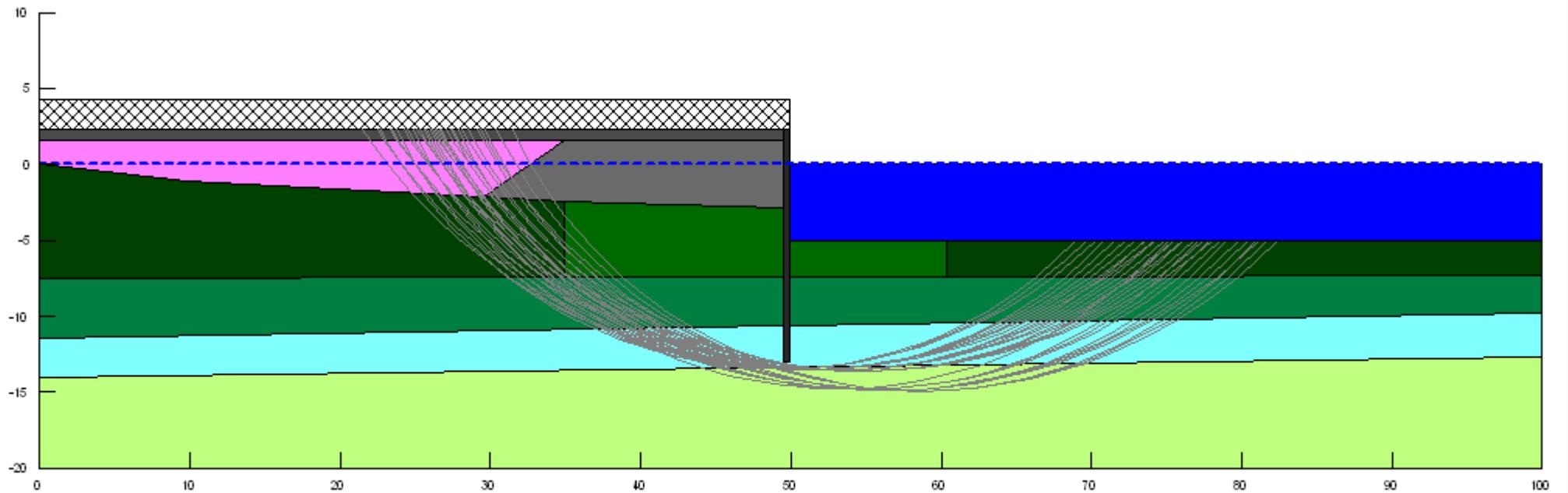
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	123	29.40313	1.95	0	15.078318	10.121899
2	123	30.04377	0.8	0	37.469598	10.744234
3	123	30.842	-0.5208415	0	56.957969	16.332435
4	123	31.630385	-1.66688	16.520716	65.859653	33.120652
5	123	32.38195	-2.673924	26.287959	95.790226	21.343188
6	123	33.837595	-4.3092275	42.993013	124.12873	24.915658
7	123	34.99599	-5.566549	54.591079	144.35581	27.565512
8	123	36.07596	-6.508469	64.290646	160.89818	44.620533
9	123	38.03741	-8.09101	79.601154	191.95563	47.79119
10	123	39.80839	-9.284178	91.26804	215.30696	52.761297
11	123	41.579365	-10.297935	101.18503	235.6969	57.216077
12	123	43.165365	-11.077555	108.74568	253.04547	51.397033
13	123	44.566395	-11.66311	114.4841	265.18379	53.676563
14	123	45.967425	-12.164165	119.39206	275.88732	55.740846
15	123	47.368455	-12.585325	123.52071	285.21993	57.594401
16	123	48.769485	-12.930205	126.89844	293.25223	59.252278
17	123	49.685	-13.12387	128.71517	393.55612	94.331665
18	123	50.366425	-13.238765	129.86856	196.26864	23.650534
19	123	51.578635	-13.401275	131.52069	199.8976	26.679668
20	123	53.0702	-13.537065	132.85587	203.44475	27.542746
21	123	54.56176	-13.59477	133.41833	205.55029	28.144835
22	123	56.05332	-13.574855	133.22527	206.21146	28.478144
23	123	57.544885	-13.477155	132.26443	205.41608	28.542701
24	123	59.03645	-13.30087	130.5403	203.11503	28.317594
25	123	60.091115	-13.136445	128.84555	200.34043	25.465211
26	123	61.18942	-12.903415	126.6584	191.93438	23.250151
27	123	62.76826	-12.502645	122.73351	185.58364	22.386106
28	123	64.347105	-12.00409	117.85087	177.38945	21.206592
29	123	65.92595	-11.40221	111.95497	167.21884	19.684014
30	123	67.50479	-10.68974	104.98089	154.88992	17.776717
31	123	69.041165	-9.8829525	97.064804	139.97355	18.251701
32	123	70.53507	-8.9770085	88.19616	122.77144	14.706968
33	123	72.028975	-7.938658	78.038713	102.50374	10.406465
34	123	73.43816	-6.825481	67.106466	80.658142	4.1615326
35	123	74.76262	-5.633294	55.441711	60.368287	1.5128835

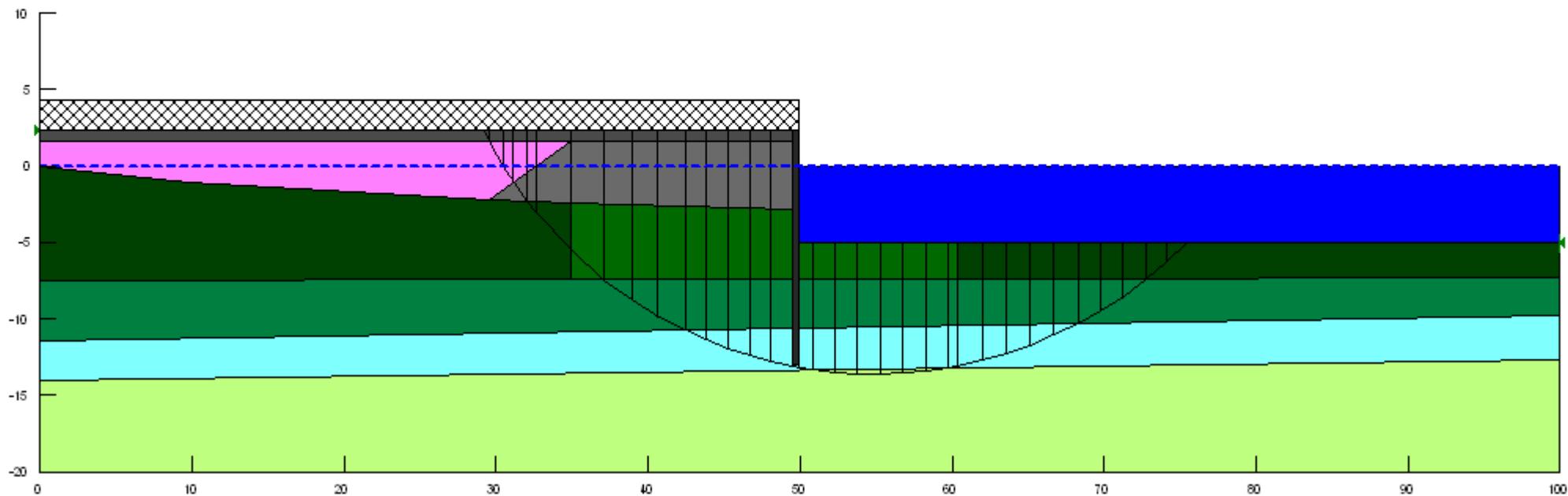
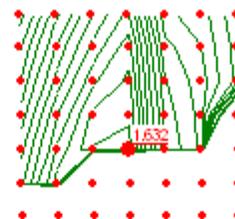
Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità



Banchina Nord – Sezione 1 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLU-GEO 2 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2
 $F_s = 1,48$



Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV- GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0135
Coefficiente sismico verticale	0.00675
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	123	1.44	(54.9, 15.1)	28.78	(29.2, 2.3)	(75.4, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

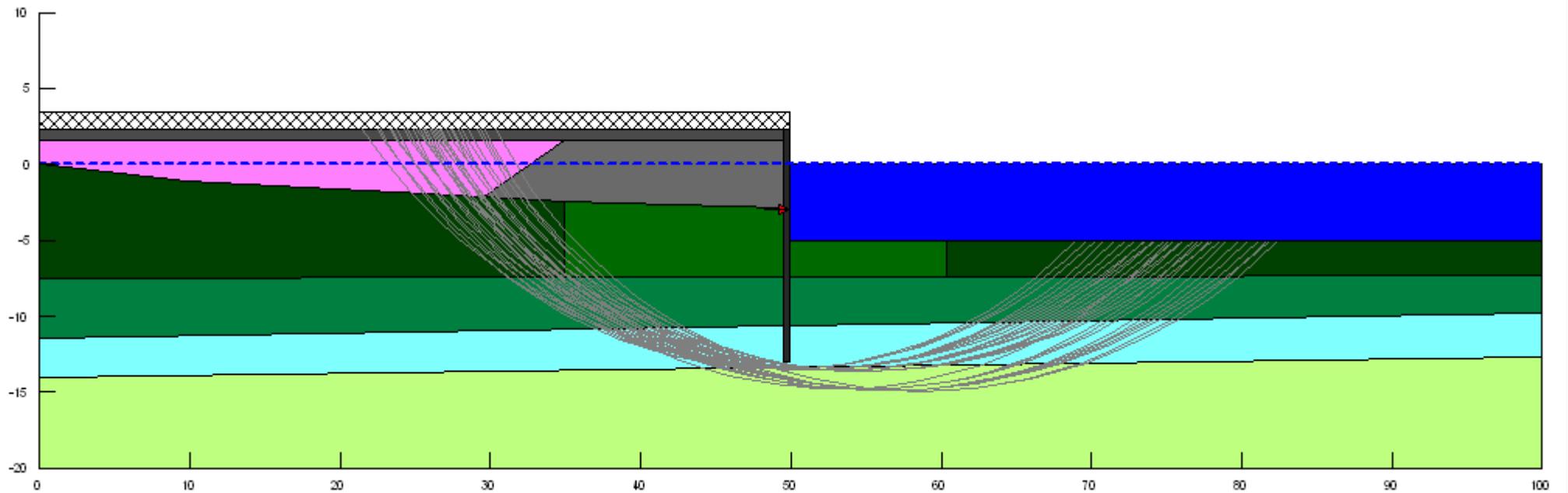
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	123	29.40313	1.95	0	10.473946	7.0310376
2	123	30.04377	0.8	0	30.992194	8.8868687
3	123	30.842	-0.5208415	0	50.089131	14.362827
4	123	31.630385	-1.66688	16.520716	60.012744	29.19569
5	123	32.38195	-2.673924	26.287959	88.495839	19.103182
6	123	33.837595	-4.3092275	42.993013	116.46617	22.562593
7	123	34.99599	-5.566549	54.591079	136.42832	25.131088
8	123	36.07596	-6.508469	64.290646	153.10081	41.01913
9	123	38.03741	-8.09101	79.601154	183.67601	44.269366
10	123	39.80839	-9.284178	91.26804	206.72194	49.109566
11	123	41.579365	-10.297935	101.18503	226.85539	53.455247
12	123	43.165365	-11.077555	108.74568	243.87211	48.129643
13	123	44.566395	-11.66311	114.4841	255.86531	50.357487
14	123	45.967425	-12.164165	119.39206	266.442	52.376592
15	123	47.368455	-12.585325	123.52071	275.66325	54.190483
16	123	48.769485	-12.930205	126.89844	283.59055	55.810958
17	123	49.685	-13.12387	128.71517	383.08385	90.601628
18	123	50.366425	-13.238765	129.86856	195.2103	23.273573
19	123	51.578635	-13.401275	131.52069	198.83233	26.264016
20	123	53.0702	-13.537065	132.85587	202.37441	27.125115
21	123	54.56176	-13.59477	133.41833	204.4845	27.728979
22	123	56.05332	-13.574855	133.22527	205.16651	28.070417
23	123	57.544885	-13.477155	132.26443	204.39471	28.144176
24	123	59.03645	-13.30087	130.5403	202.13976	27.937058
25	123	60.091115	-13.136445	128.84555	199.40098	25.130598
26	123	61.18942	-12.903415	126.6584	191.05678	22.937566
27	123	62.76826	-12.502645	122.73351	184.76733	22.095349
28	123	64.347105	-12.00409	117.85087	176.64769	20.942388
29	123	65.92595	-11.40221	111.95497	166.56957	19.452756
30	123	67.50479	-10.68974	104.98089	154.34348	17.582082
31	123	69.041165	-9.8829525	97.064804	139.50734	18.053394
32	123	70.53507	-8.9770085	88.19616	122.41198	14.554069
33	123	72.028975	-7.938658	78.038713	102.25651	10.301303
34	123	73.43816	-6.825481	67.106466	80.490837	4.1101557
35	123	74.76262	-5.633294	55.441711	60.31373	1.4961296

Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV-GEO 1 – Analisi di Stabilità

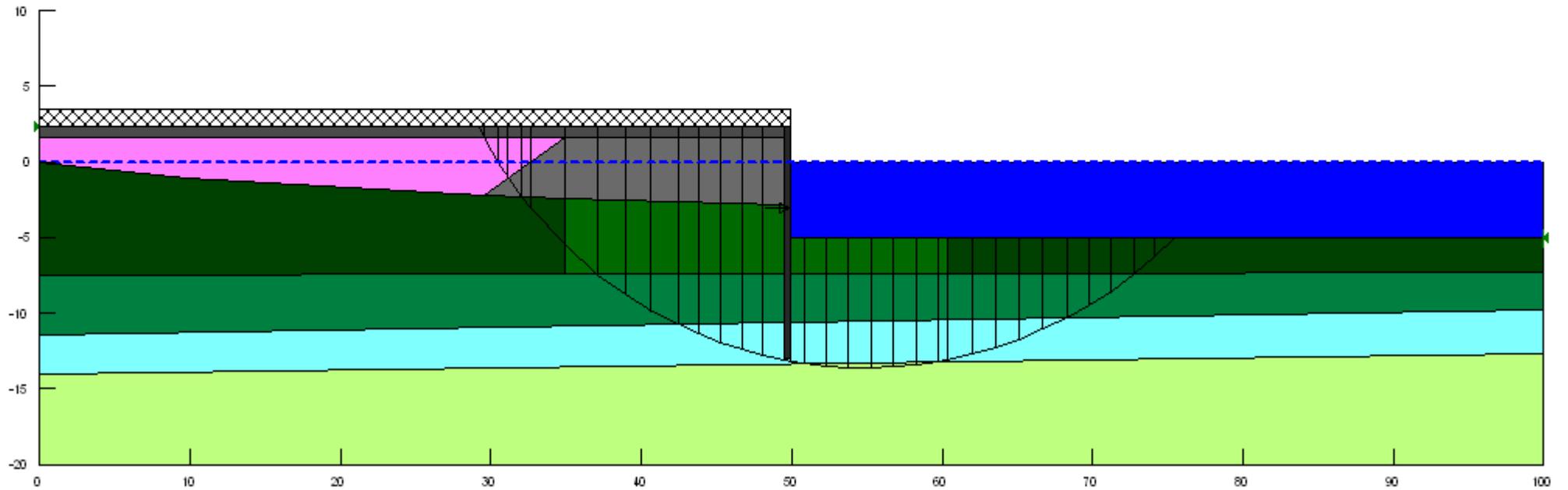
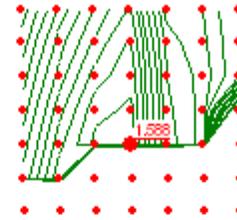


Banchina Nord – Sezione 2 – Palancolato con trattamento e dragaggio – SLV-GEO 1 – Superficie critica

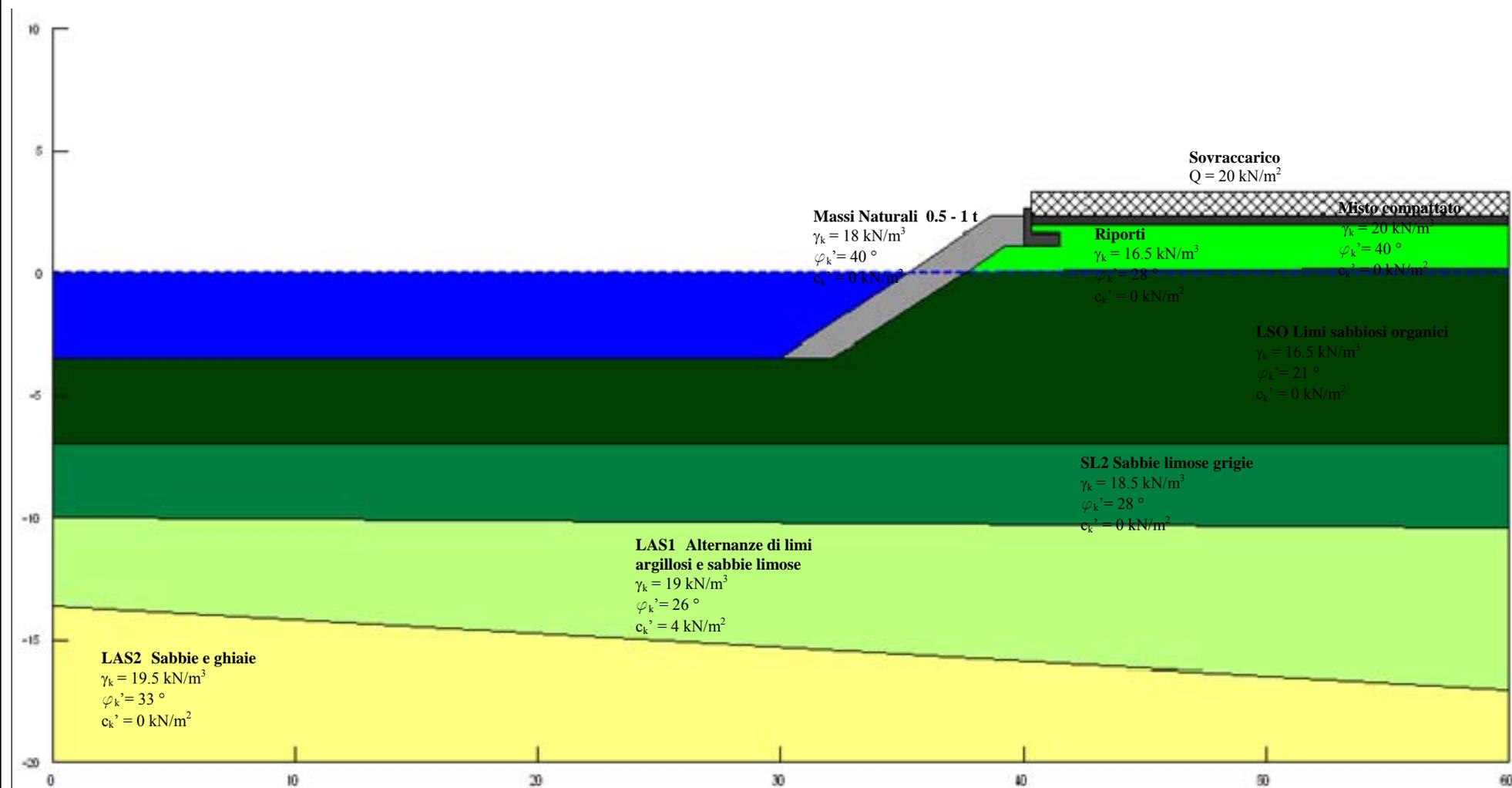
Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 1,44$



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 – Schema geotecnico di riferimento



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 – SLU-GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	208	0.72	(30.7, 6.5)	12.63	(42.6, 2.3)	(23.0, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

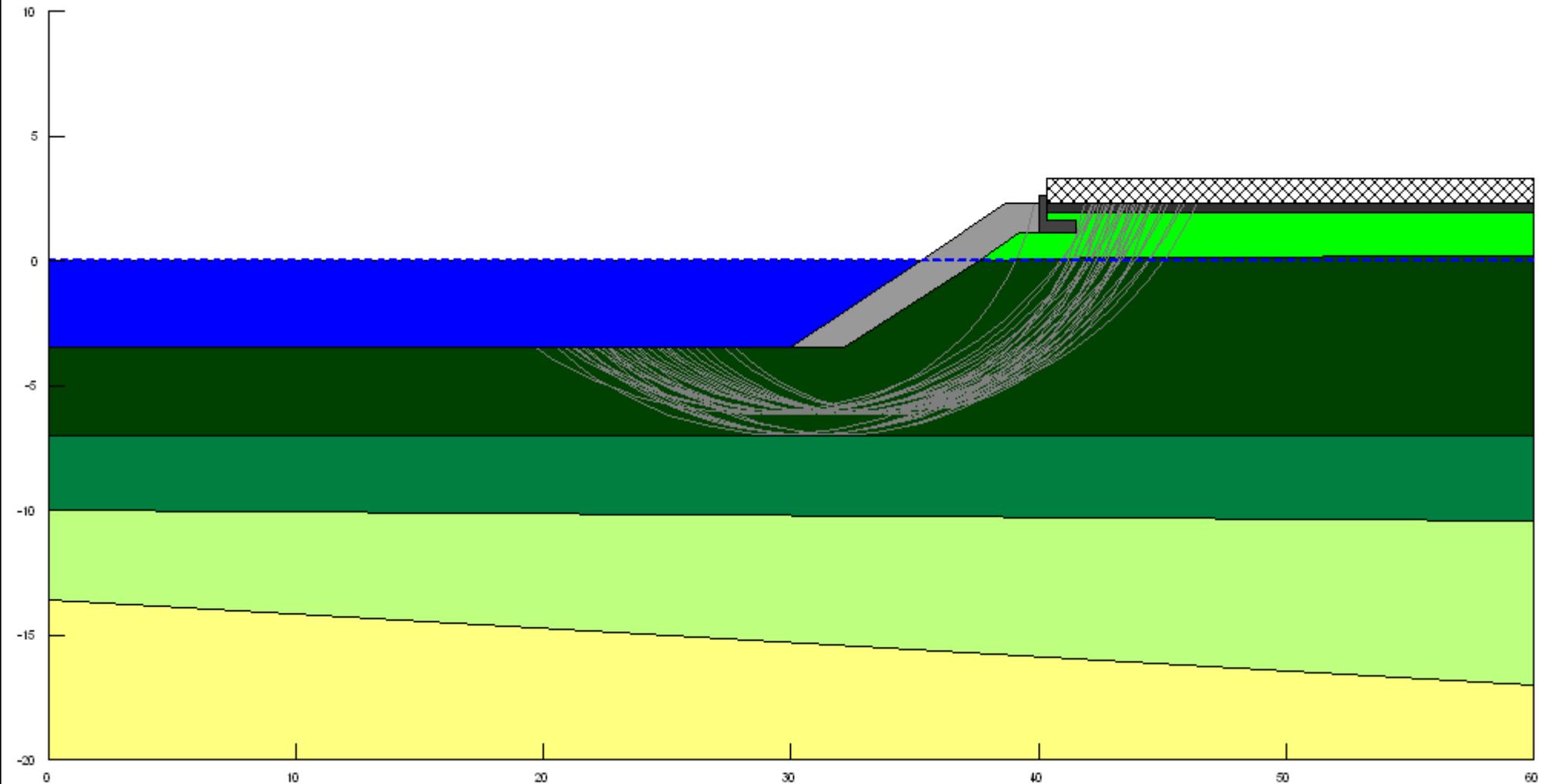
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	208	23.343265	-3.726858	36.620967	38.636079	0.61881324
2	208	23.97343	-4.1529175	40.791229	46.217363	1.6662911
3	208	24.603595	-4.52661	44.450453	52.614879	2.5071825
4	208	25.23376	-4.8531265	47.646955	58.020335	3.185522
5	208	25.863925	-5.1364505	50.422315	62.569835	3.7303359
6	208	26.49409	-5.37968	52.804529	66.359641	4.1625877
7	208	27.124255	-5.585241	54.818898	69.462823	4.4969474
8	208	27.75442	-5.7550315	56.481909	71.934158	4.7451724
9	208	28.384585	-5.890524	57.808281	73.816153	4.9157965
10	208	29.01475	-5.9928365	58.811276	75.14285	5.0152012
11	208	29.644915	-6.06278	59.497141	75.937348	5.0485609
12	208	30.321665	-6.1012075	59.885691	78.216834	5.6292409
13	208	31.045	-6.103412	59.907198	81.745902	6.7063649
14	208	31.768335	-6.064077	59.522276	84.464078	7.6592835
15	208	32.439	-5.9915955	58.797222	85.899631	8.3227758
16	208	33.057	-5.891054	57.812972	86.228924	8.7261471
17	208	33.675	-5.758606	56.515172	86.002923	9.0552813
18	208	34.293	-5.593202	54.89449	85.209681	9.3093773
19	208	34.911	-5.393466	52.938157	83.837446	9.4887456
20	208	35.51625	-5.1632605	50.678437	83.578828	10.103256
21	208	36.10875	-4.901993	48.120124	84.345299	11.124252
22	208	36.70125	-4.603046	45.192108	84.358206	12.027368
23	208	37.29375	-4.263273	41.864133	83.565427	12.805892
24	208	37.86	-3.897757	38.275239	82.051102	13.442964
25	208	38.4	-3.506024	34.440515	79.84372	13.942698
26	208	38.95	-3.0587815	30.067316	74.165324	13.54189
27	208	39.63	-2.419751	23.904978	63.277155	12.090652
28	208	40.18	-1.85177	18.190278	64.654549	14.268537
29	208	40.63	-1.3023881	12.919766	47.437184	10.599823
30	208	41.23	-0.47163198	4.8306329	34.117101	8.9934704
31	208	41.536285	-0.01040743	0.10217695	23.945743	7.3220301
32	208	41.573535	0.05194365	0	23.18367	7.1193854
33	208	42.04234	1.0019436	0	11.466314	4.8773208
34	208	42.554905	2.1	0	1.2432917	0.83460718

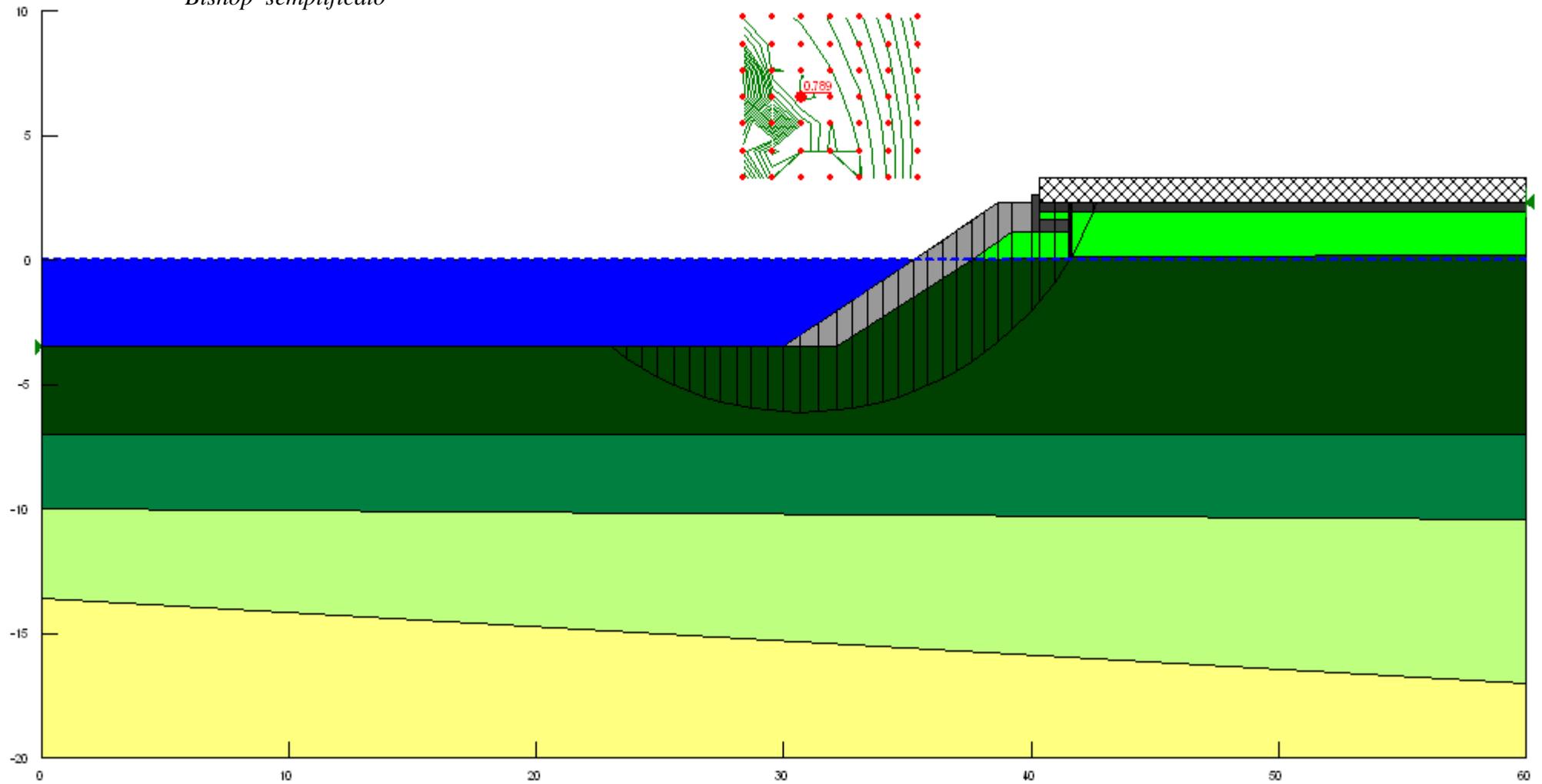
Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3– SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità



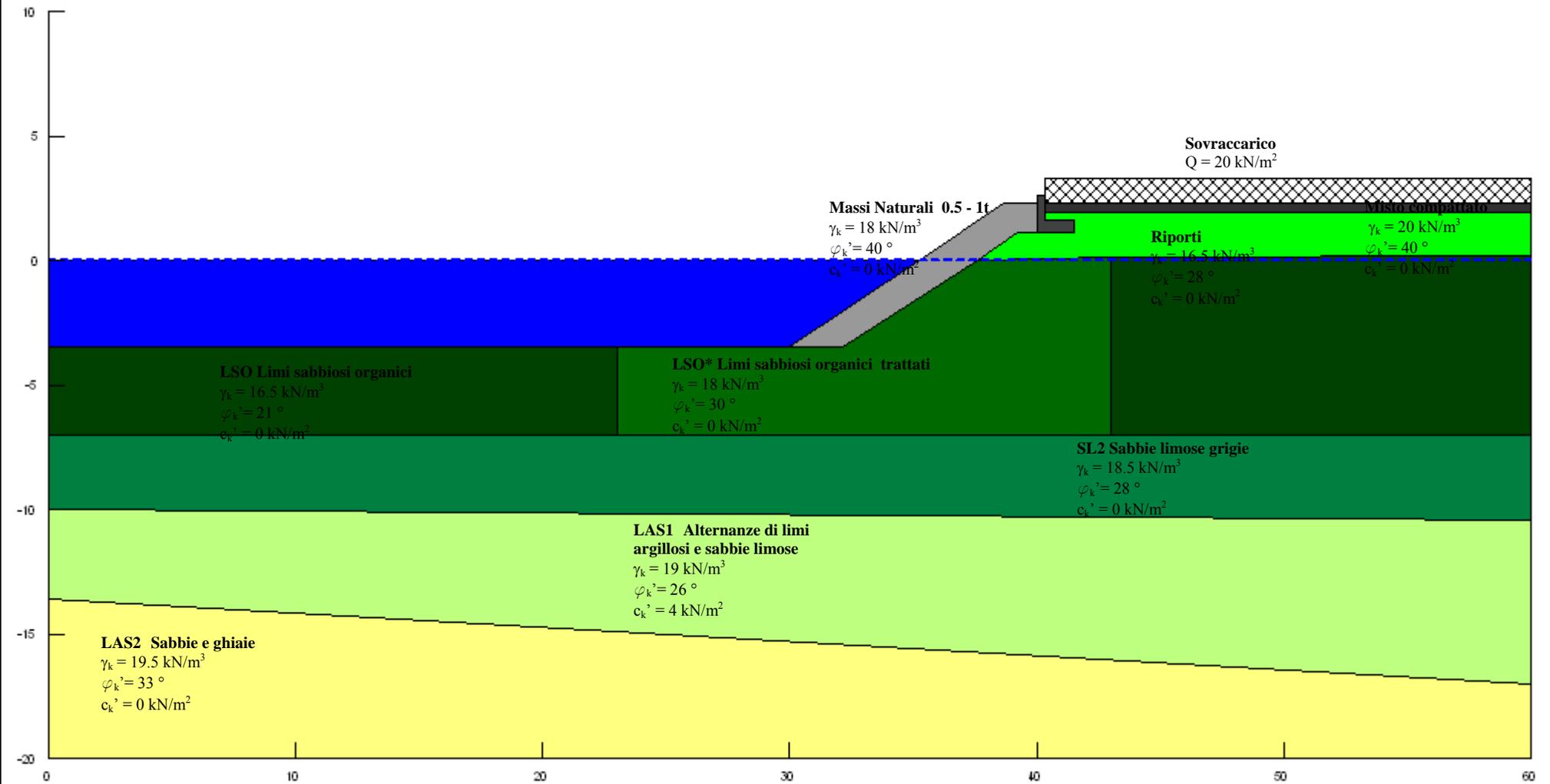
Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 – SLU-GEO 2 – Superficie critica

DM08 A2+M2+R2
 $F_s = 0,72$

Bishop semplificato



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – Schema geotecnico di riferimento



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLU- GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	208	1.06	(30.7, 6.5)	12.35	(42.3, 2.3)	(23.4, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

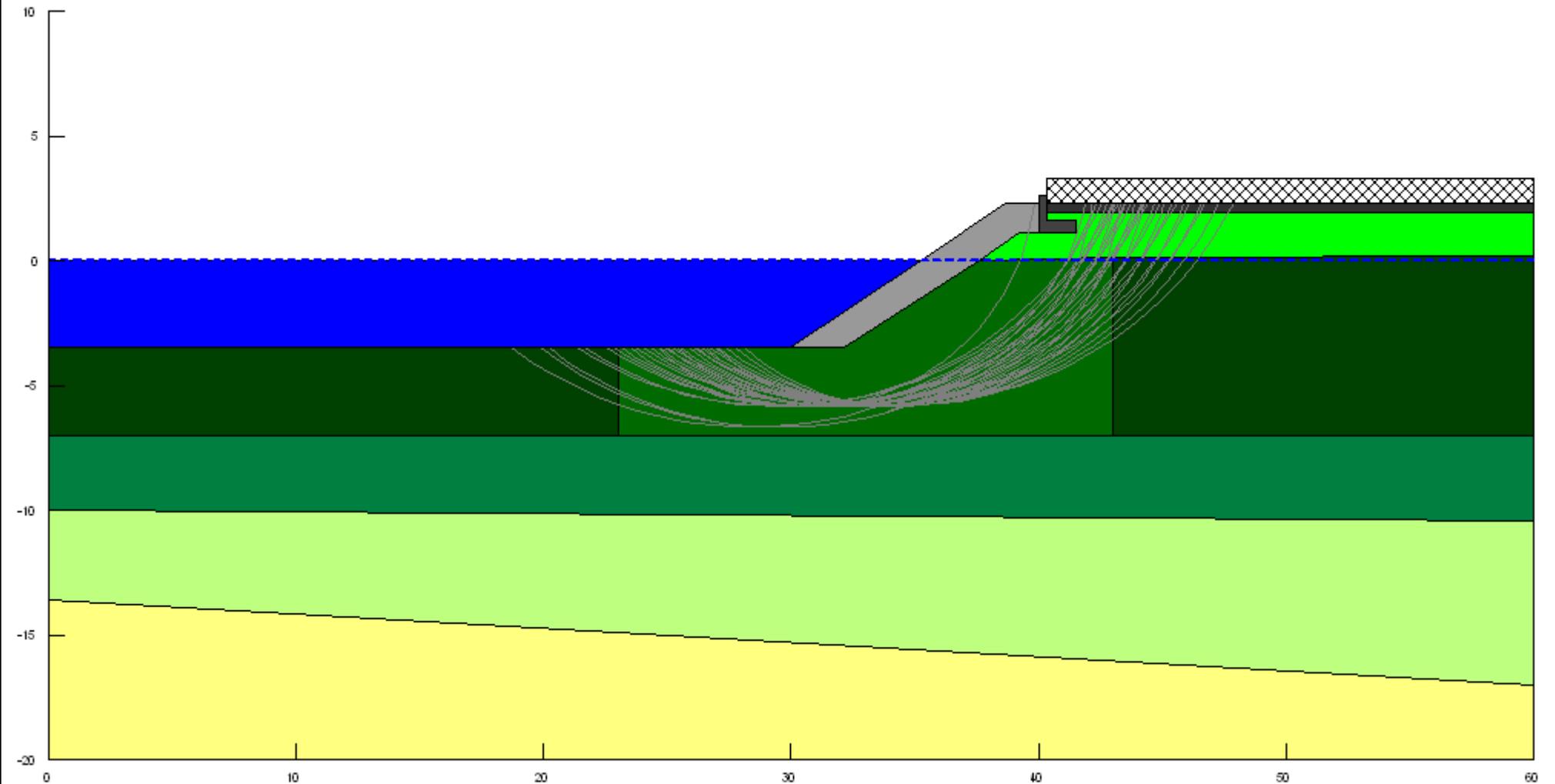
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

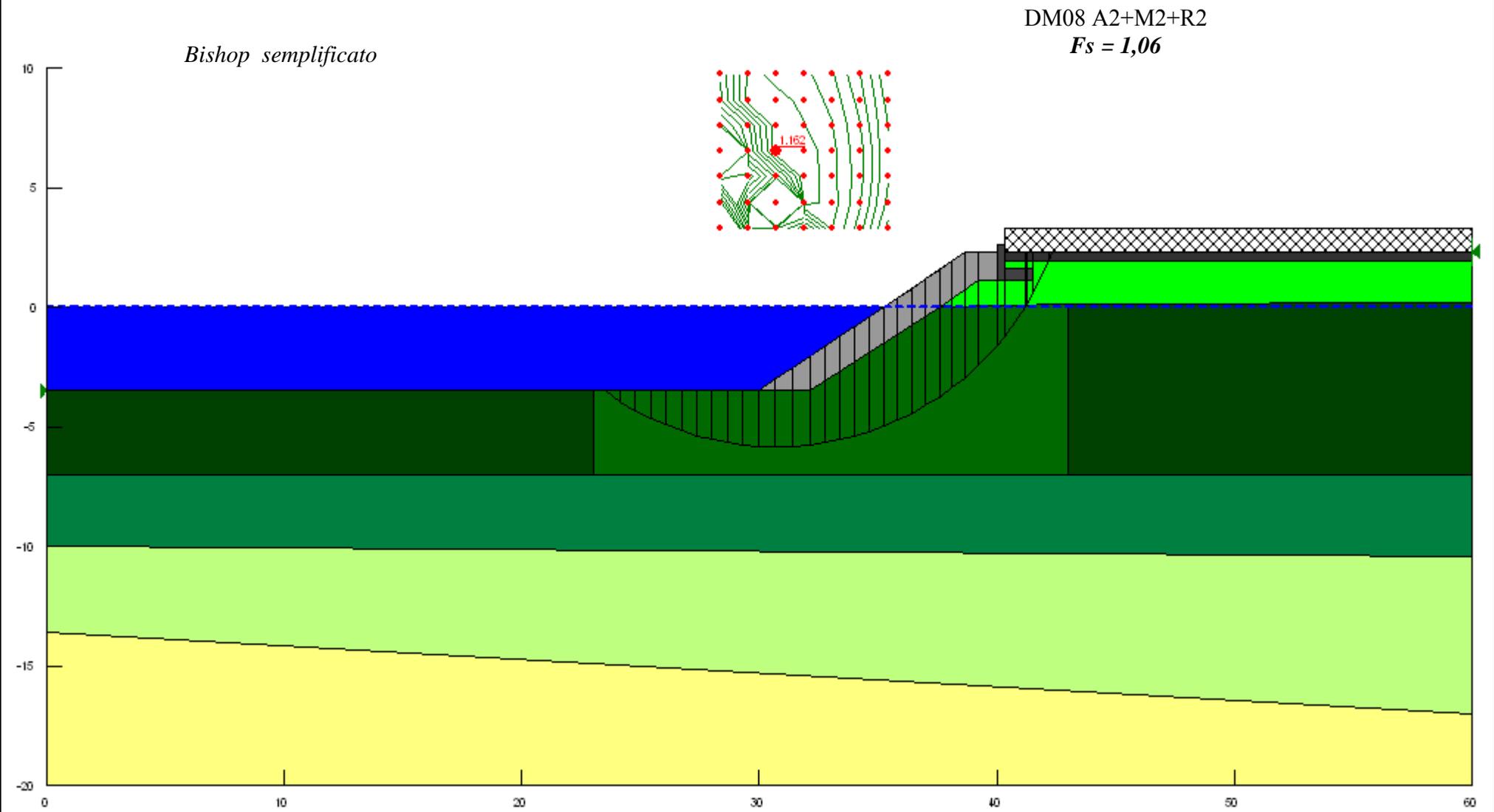
Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	208	23.819635	-3.7178545	36.534142	39.046883	1.1605701
2	208	24.46599	-4.125601	40.524805	47.276049	3.1182261
3	208	25.112345	-4.480275	43.996282	54.125418	4.6783873
4	208	25.758695	-4.786899	46.99953	59.820288	5.9215782
5	208	26.40505	-5.0493125	49.569404	64.516606	6.903728
6	208	27.051405	-5.270479	51.734989	68.328116	7.6639384
7	208	27.69776	-5.4526935	53.519448	71.339266	8.2305153
8	208	28.344115	-5.5977185	54.940025	73.613137	8.6246297
9	208	28.99047	-5.7068815	56.010585	75.199509	8.8628706
10	208	29.636825	-5.7811405	56.737359	76.13368	8.9586615
11	208	30.321665	-5.821366	57.141531	78.439738	9.8370937
12	208	31.045	-5.8236205	57.164398	81.890636	11.420413
13	208	31.768335	-5.78339	56.770234	84.430882	12.775742
14	208	32.439	-5.7092435	56.030155	85.993551	13.839321
15	208	33.057	-5.606358	55.022014	86.754362	14.656355
16	208	33.675	-5.4707615	53.693852	86.865649	15.3212
17	208	34.293	-5.3013255	52.032577	86.317237	15.835202
18	208	34.911	-5.096564	50.026825	85.093851	16.196557
19	208	35.51625	-4.860346	47.709383	84.880618	17.168437
20	208	36.10875	-4.5919455	45.081436	85.5829	18.706584
21	208	36.70125	-4.2844055	42.068505	85.427518	20.026412
22	208	37.29375	-3.9342555	38.640036	84.356579	21.115294
23	208	37.86	-3.5567995	34.934297	82.201368	21.831444
24	208	38.4	-3.151224	30.963654	79.013804	22.193128
25	208	38.95	-2.686679	26.422856	72.264455	21.173055
26	208	39.63	-2.01924	19.994569	59.922312	18.441597
27	208	40.18	-1.4234335	13.993196	59.747581	21.132773
28	208	40.772395	-0.6224275	6.503258	43.435757	17.058171
29	208	41.244115	0.04765998	0	32.111985	14.8317
30	208	41.40172	0.31611578	0	29.717077	12.64048
31	208	41.854625	1.2184558	0	17.01466	7.2373697
32	208	42.255915	2.1	0	5.6204469	3.7729402

Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLU-GEO 2 – Superficie critica



Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLV- GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0135
Coefficiente sismico verticale	0.00675
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	208	1.02	(30.7, 6.5)	12.35	(42.3, 2.3)	(23.4, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

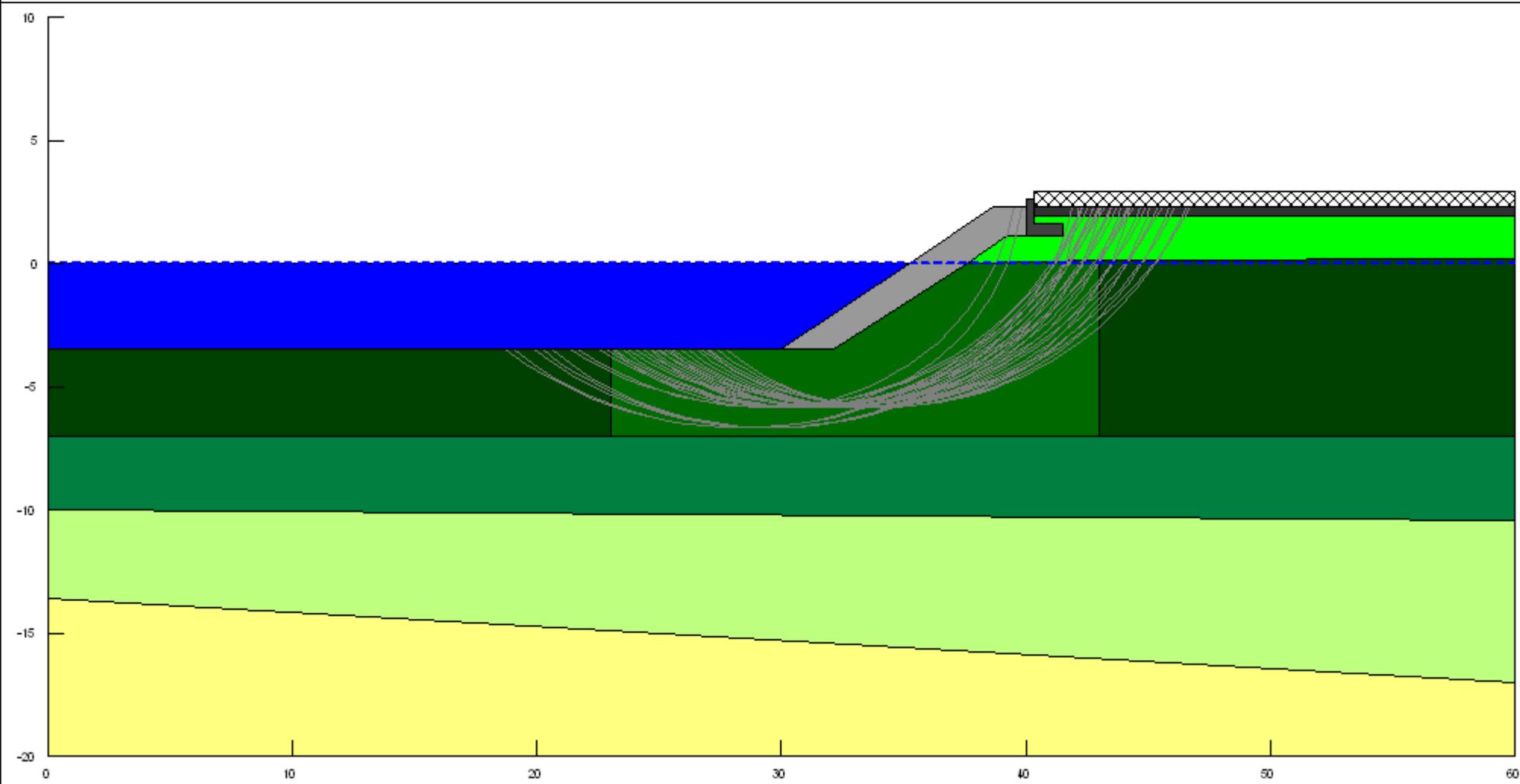
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	208	23.819635	-3.7178545	36.534142	39.050731	1.1623474
2	208	24.46599	-4.125601	40.524805	47.266713	3.113914
3	208	25.112345	-4.480275	43.996282	54.089587	4.6618379
4	208	25.758695	-4.786899	46.99953	59.749463	5.8888659
5	208	26.40505	-5.0493125	49.569404	64.409354	6.854191
6	208	27.051405	-5.270479	51.734989	68.184843	7.5977641
7	208	27.69776	-5.4526935	53.519448	71.162282	8.1487713
8	208	28.344115	-5.5977185	54.940025	73.406687	8.5292757
9	208	28.99047	-5.7068815	56.010585	74.965162	8.7546315
10	208	29.636825	-5.7811405	56.737359	75.877877	8.8405128
11	208	30.321665	-5.821366	57.141531	78.135793	9.6967097
12	208	31.045	-5.8236205	57.164398	81.512018	11.245539
13	208	31.768335	-5.78339	56.770234	83.981877	12.568358
14	208	32.439	-5.7092435	56.030155	85.479233	13.601771
15	208	33.057	-5.606358	55.022014	86.185585	14.393652
16	208	33.675	-5.4707615	53.693852	86.243531	15.033859
17	208	34.293	-5.3013255	52.032577	85.648147	15.526167
18	208	34.911	-5.096564	50.026825	84.381552	15.867564
19	208	35.51625	-4.860346	47.709383	84.121673	16.817899
20	208	36.10875	-4.5919455	45.081436	84.768953	18.330643
21	208	36.70125	-4.2844055	42.068505	84.562257	19.626771
22	208	37.29375	-3.9342555	38.640036	83.440762	20.692302
23	208	37.86	-3.5567995	34.934297	81.246417	21.390376
24	208	38.4	-3.151224	30.963654	78.029104	21.73832
25	208	38.95	-2.686679	26.422856	71.300574	20.727863
26	208	39.63	-2.01924	19.994569	59.048057	18.037801
27	208	40.18	-1.4234335	13.993196	58.735709	20.665415
28	208	40.772395	-0.6224275	6.503258	40.097263	15.516206
29	208	41.244115	0.04765998	0	29.001578	13.395083
30	208	41.40172	0.31611578	0	26.64904	11.335457
31	208	41.854625	1.2184558	0	14.400737	6.1255092
32	208	42.255915	2.1	0	3.9108301	2.6252945

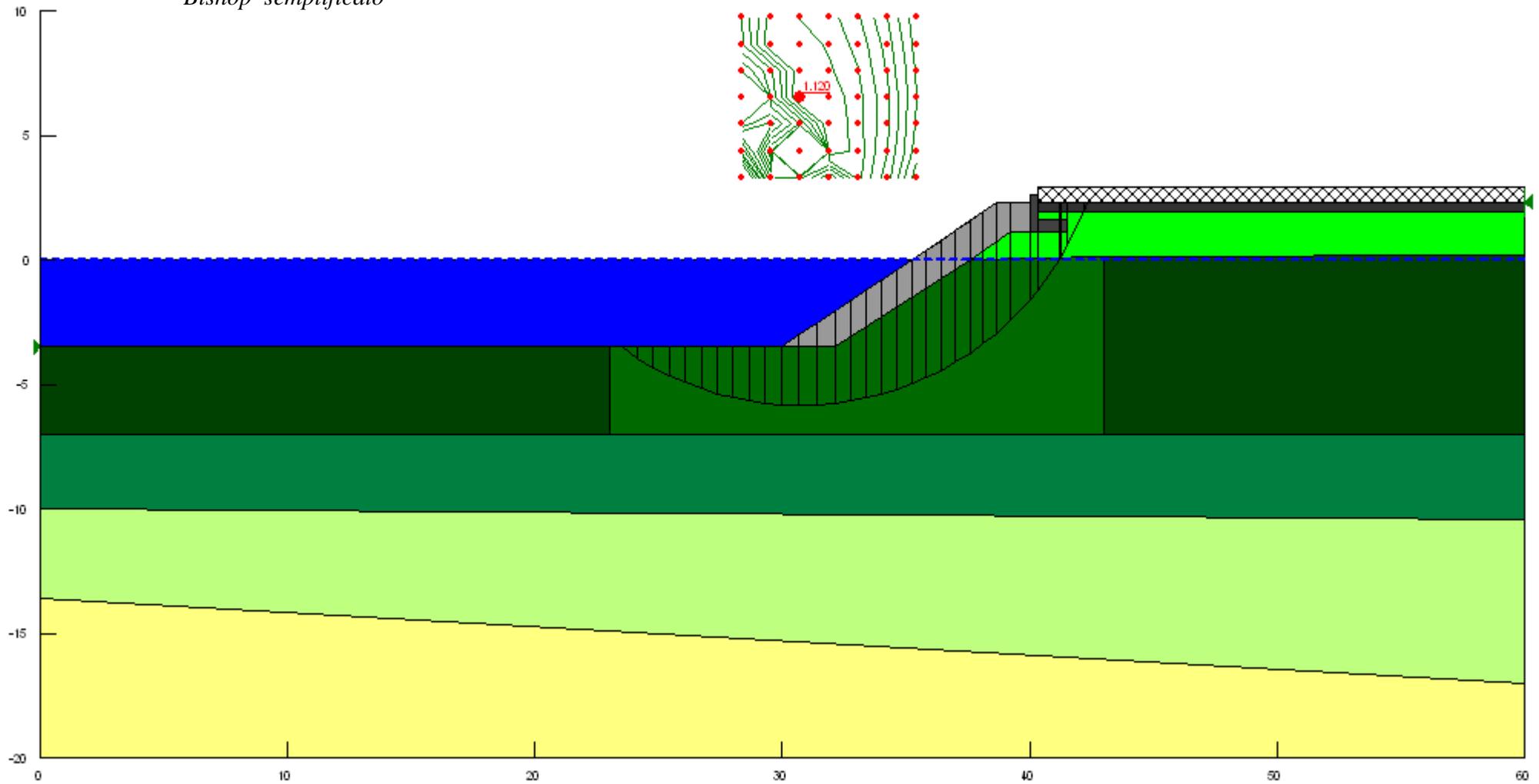
Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLV-GEO 1 – Analisi di Stabilità



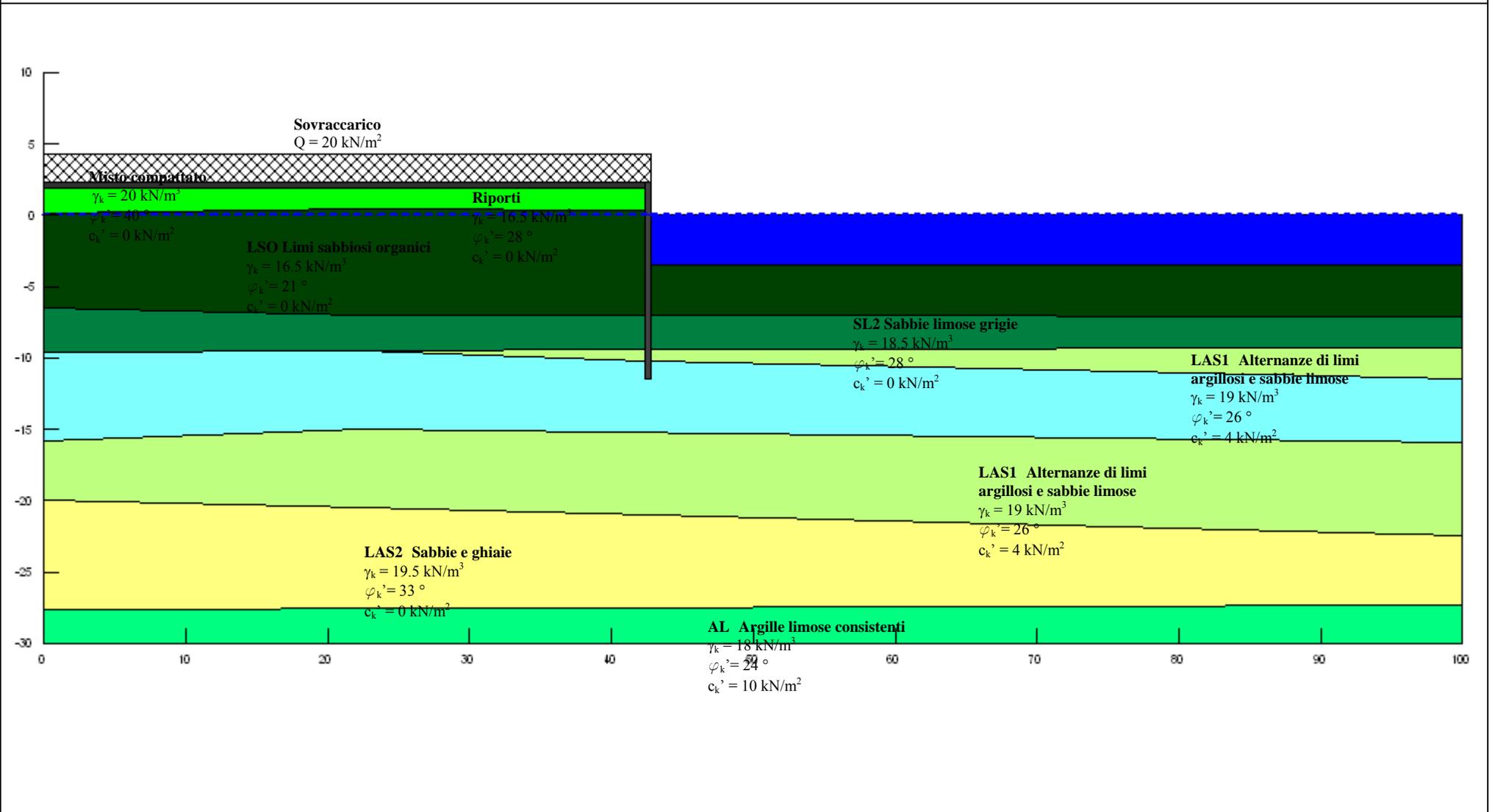
Canale interno – Sezione 3 – Scogliera con pendenza 2/3 con trattamento – SLV-GEO 1 – Superficie critica

DM08 A2+M2+R2
 $F_s = 1,02$

Bishop semplificato



Canale interno – Sezione 4 – Palancolato – Schema geotecnico di riferimento



Canale interno – Sezione 4 – Palancolato – SLU-GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	155	1.64	(46.7, 15.1)	27.20	(22.7, 2.3)	(66.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

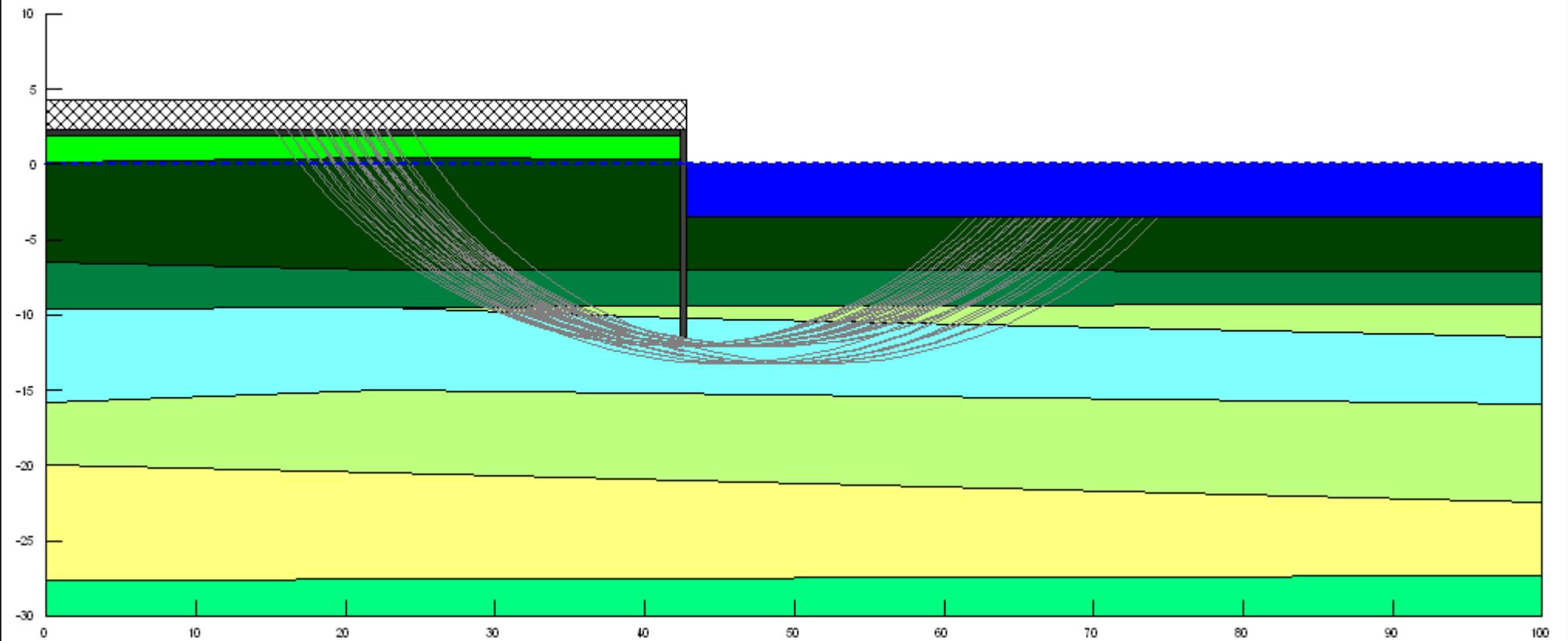
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	155	22.836505	2.1	0	14.293109	9.5947972
2	155	23.365505	1.1965366	0	28.670252	12.195202
3	155	23.946535	0.2465366	0	43.799925	13.450353
4	155	24.7895	-0.9306405	9.5324874	62.361298	16.222999
5	155	26.153065	-2.649683	26.28473	89.519727	19.418595
6	155	27.516635	-4.1180635	40.621921	113.06046	22.244877
7	155	28.8802	-5.390566	53.060231	133.72148	24.769956
8	155	30.243765	-6.502202	63.933829	151.98505	27.039314
9	155	31.619015	-7.48423	73.551235	165.76159	39.222672
10	155	33.005945	-8.3520055	82.043096	182.47087	42.718039
11	155	34.392875	-9.109403	89.455842	197.3491	45.893564
12	155	35.6663	-9.7198185	95.405537	209.65272	44.577576
13	155	37.015475	-10.271448	100.86506	221.93592	43.123299
14	155	38.55391	-10.80727	106.10948	233.00565	45.198173
15	155	40.092345	-11.242545	110.37242	242.35918	47.01135
16	155	41.63078	-11.582205	113.70195	250.06895	48.571515
17	155	42.585	-11.75709	115.3077	361.80413	87.797668
18	155	43.49666	-11.87218	116.52556	178.33049	22.013824
19	155	44.949985	-12.00616	117.838	181.5216	22.682971
20	155	46.40331	-12.06187	118.3894	183.3388	23.133829
21	155	47.85663	-12.039795	118.16956	183.78112	23.36968
22	155	49.309955	-11.939745	117.18675	182.83078	23.381243
23	155	50.76328	-11.76084	115.43988	180.45305	23.156542
24	155	52.216605	-11.50149	112.8988	176.60483	22.69096
25	155	53.66993	-11.15931	109.5468	171.23089	21.970784
26	155	55.12325	-10.730995	105.34884	164.25546	20.981498
27	155	56.500455	-10.244044	100.55408	156.2342	21.725568
28	155	57.801545	-9.7029275	95.260018	146.38491	19.948181
29	155	59.11346	-9.073925	89.102369	134.1279	19.152095
30	155	60.4362	-8.348867	81.996691	120.60948	16.424366
31	155	61.758945	-7.523409	73.920414	104.89167	13.173958
32	155	63.10723	-6.565492	64.55397	86.447499	6.7232008
33	155	64.481055	-5.4539535	53.683066	67.999211	4.3962908
34	155	65.85488	-4.1806295	41.236543	46.475826	1.6089115

Canale interno – Sezione 4 – Palancolato – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità

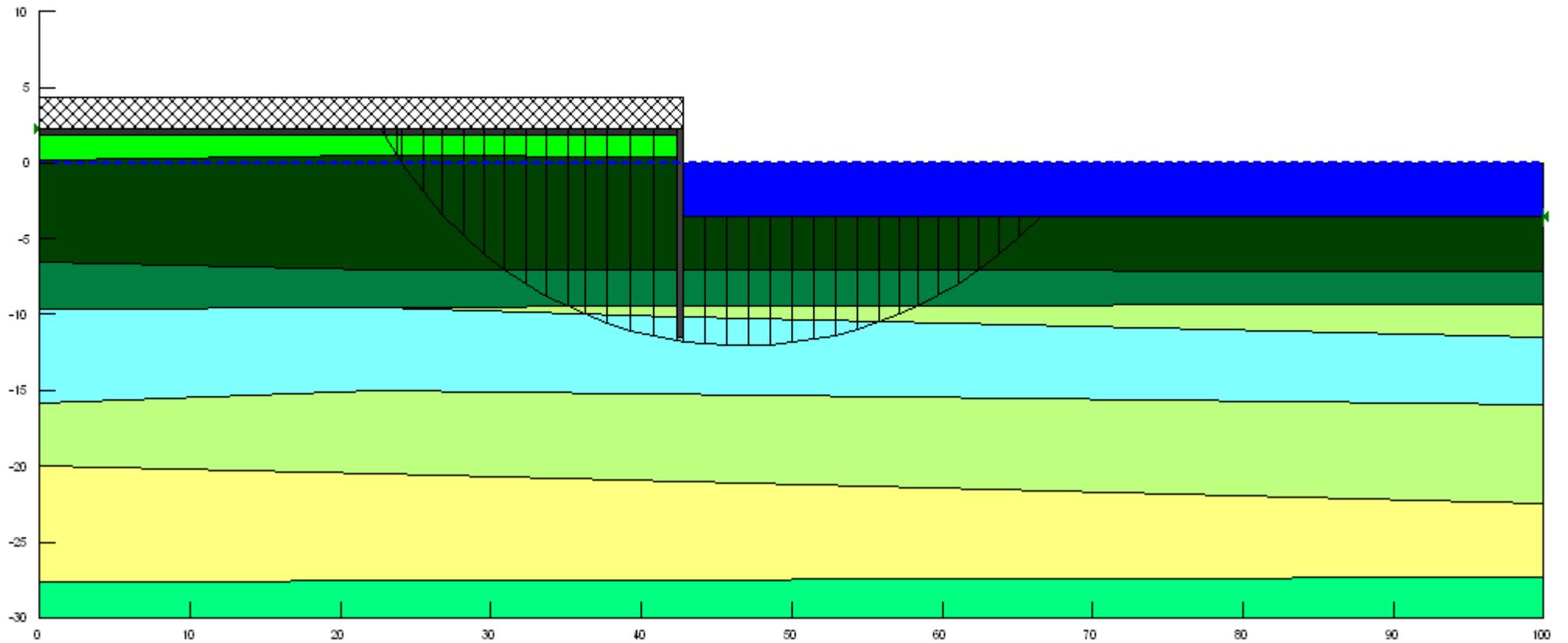
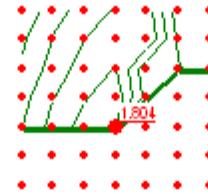


Canale interno – Sezione 4 – Palancolato – SLU-GEO 2 – Superficie critica

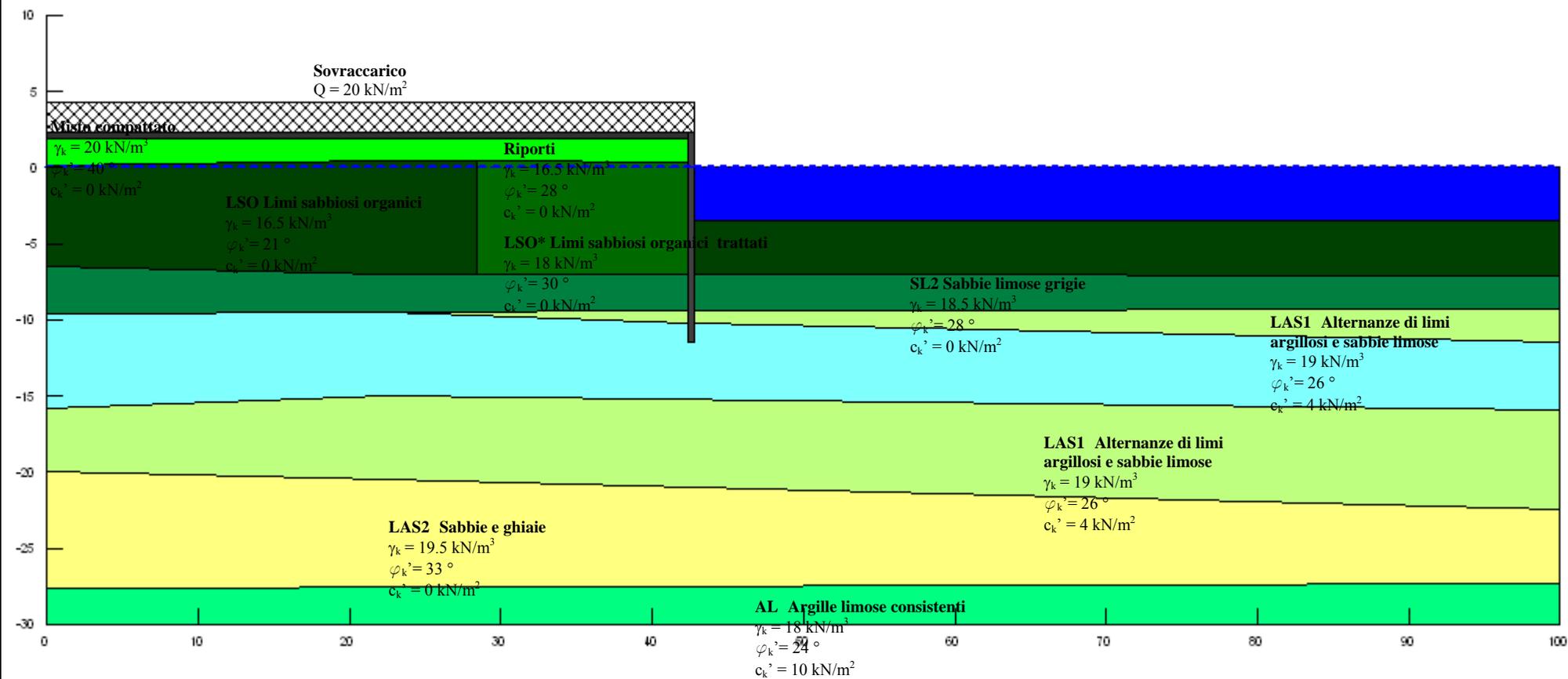
Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 1,64$



Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – Schema geotecnico di riferimento



Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLU-GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entrata (m)	Uscita (m)
1	155	1.60	(46.7, 15.1)	27.20	(22.7, 2.3)	(66.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

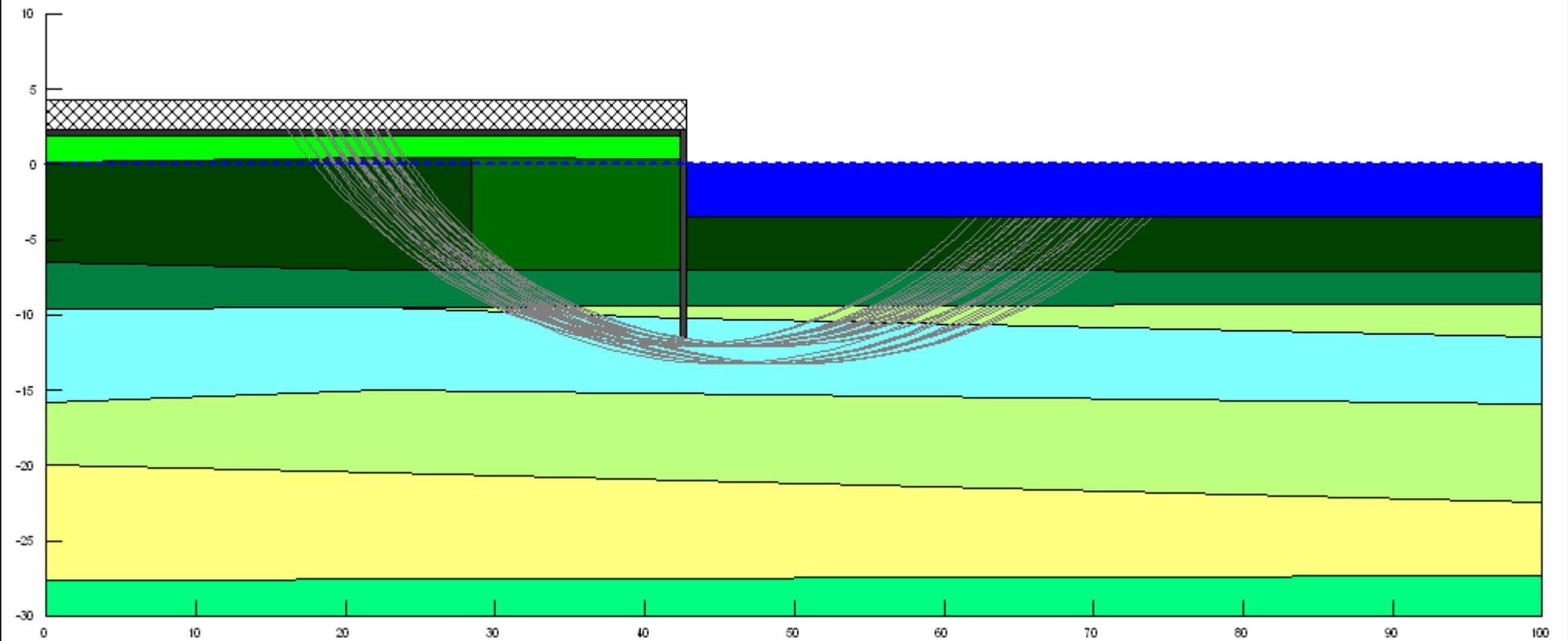
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	155	22.836505	2.1	0	14.152667	9.5005197
2	155	23.36549	1.1965644	0	28.472461	12.111069
3	155	23.94652	0.2465644	0	43.577773	13.382133
4	155	24.8231	-0.972473	9.9800854	62.832514	16.230252
5	155	26.25386	-2.762935	27.419327	91.115628	19.560255
6	155	27.68462	-4.2821905	42.248629	115.48937	22.491221
7	155	29.0313	-5.523947	54.33743	140.42433	39.761323
8	155	30.2939	-6.542752	64.305921	159.18682	43.823046
9	155	31.618725	-7.4840345	73.544488	178.33055	44.571883
10	155	33.00577	-8.351902	82.042171	195.27269	48.163827
11	155	34.392815	-9.1093715	89.461164	210.37061	51.430139
12	155	35.6663	-9.7198185	95.405537	222.98051	49.777883
13	155	37.015475	-10.271448	100.86506	235.56026	47.976049
14	155	38.55391	-10.80727	106.10948	246.83658	50.124507
15	155	40.092345	-11.242545	110.37242	256.38423	52.006825
16	155	41.63078	-11.582205	113.70195	264.28728	53.635833
17	155	42.585	-11.75709	115.3077	361.61713	87.731064
18	155	43.49666	-11.87218	116.52556	178.28951	21.999225
19	155	44.949985	-12.00616	117.838	181.501	22.675635
20	155	46.40331	-12.06187	118.3894	183.3388	23.133829
21	155	47.85663	-12.039795	118.16956	183.79487	23.374576
22	155	49.309955	-11.939745	117.18675	182.86502	23.39344
23	155	50.76328	-11.76084	115.43988	180.50748	23.175928
24	155	52.216605	-11.50149	112.8988	176.68568	22.719759
25	155	53.66993	-11.15931	109.5468	171.33066	22.00632
26	155	55.12325	-10.730995	105.34884	164.37324	21.023447
27	155	56.500455	-10.244044	100.55408	156.37762	21.781526
28	155	57.801545	-9.7029275	95.260018	146.54632	20.011161
29	155	59.11346	-9.073925	89.102369	134.28265	19.217919
30	155	60.4362	-8.348867	81.996691	120.76612	16.490996
31	155	61.758945	-7.523409	73.920414	105.03022	13.23289
32	155	63.10723	-6.565492	64.55397	86.528801	6.7481676
33	155	64.481055	-5.4539535	53.683066	68.059821	4.4149034
34	155	65.85488	-4.1806295	41.236543	46.502191	1.6170077

Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità

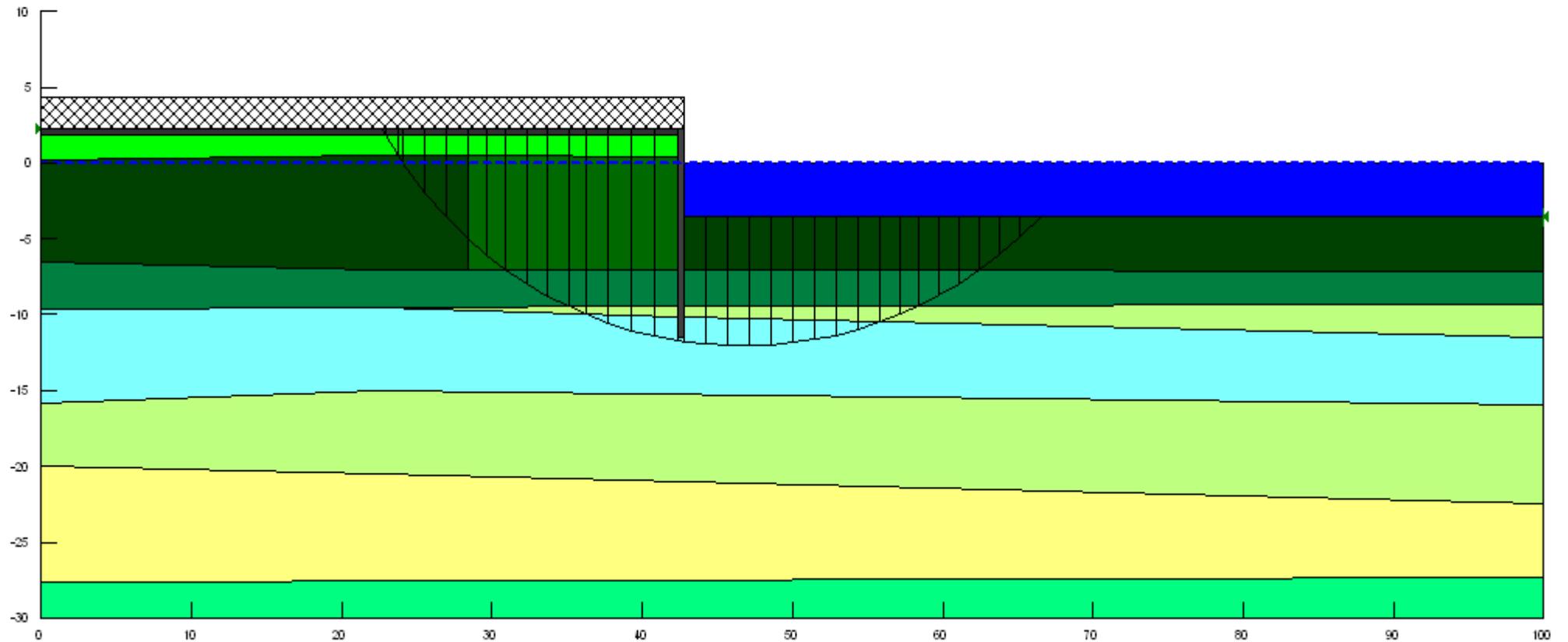
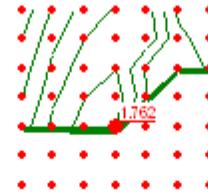


Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLU-GEO 2 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 1,60$



Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLV-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0135
Coefficiente sismico verticale	0.00675
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	155	1.56	(46.7, 15.1)	27.20	(22.7, 2.3)	(66.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

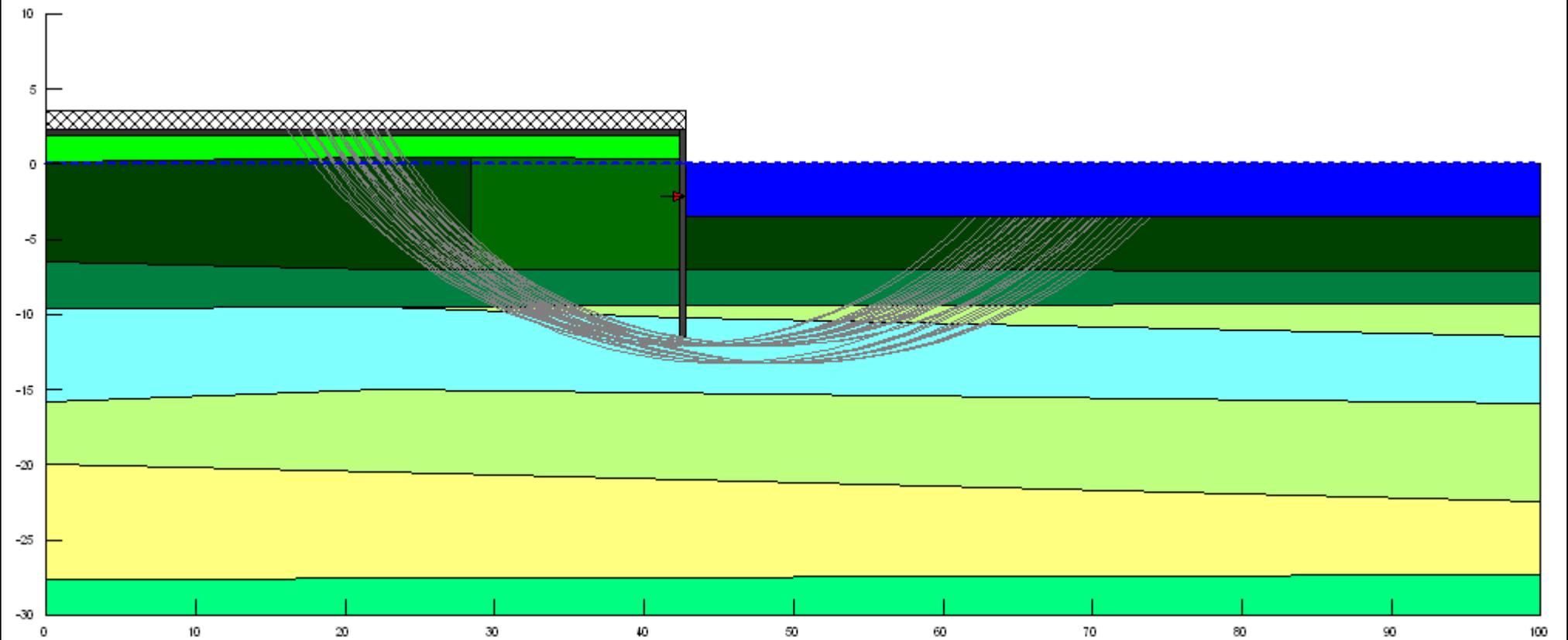
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	155	22.836505	2.1	0	9.3315348	6.2641502
2	155	23.36549	1.1965644	0	22.52117	9.5796232
3	155	23.94652	0.2465644	0	36.881987	11.32595
4	155	24.8231	-0.972473	9.9800854	55.847904	14.085374
5	155	26.25386	-2.762935	27.419327	83.741923	17.295892
6	155	27.68462	-4.2821905	42.248629	107.79972	20.129837
7	155	29.0313	-5.523947	54.33743	132.76668	36.224452
8	155	30.2939	-6.542752	64.305921	151.26535	40.164323
9	155	31.618725	-7.4840345	73.544488	170.08699	41.065398
10	155	33.00577	-8.351902	82.042171	186.80639	44.562595
11	155	34.392815	-9.1093715	89.461164	201.70851	47.745624
12	155	35.6663	-9.7198185	95.405537	214.07956	46.304865
13	155	37.015475	-10.271448	100.86506	226.4713	44.73872
14	155	38.55391	-10.80727	106.10948	237.59943	46.834396
15	155	40.092345	-11.242545	110.37242	247.0237	48.672767
16	155	41.63078	-11.582205	113.70195	254.81904	50.263411
17	155	42.585	-11.75709	115.3077	351.38596	84.086902
18	155	43.49666	-11.87218	116.52556	177.28527	21.641534
19	155	44.949985	-12.00616	117.838	180.49178	22.31617
20	155	46.40331	-12.06187	118.3894	182.32752	22.773627
21	155	47.85663	-12.039795	118.16956	182.79815	23.019563
22	155	49.309955	-11.939745	117.18675	181.89252	23.047051
23	155	50.76328	-11.76084	115.43988	179.56181	22.839097
24	155	52.216605	-11.50149	112.8988	175.78282	22.398174
25	155	53.66993	-11.15931	109.5468	170.48595	21.705447
26	155	55.12325	-10.730995	105.34884	163.58808	20.743787
27	155	56.500455	-10.244044	100.55408	155.66772	21.504536
28	155	57.801545	-9.7029275	95.260018	145.92173	19.767457
29	155	59.11346	-9.073925	89.102369	133.71074	18.974655
30	155	60.4362	-8.348867	81.996691	120.28313	16.285553
31	155	61.758945	-7.523409	73.920414	104.65236	13.072167
32	155	63.10723	-6.565492	64.55397	86.226822	6.6554338
33	155	64.481055	-5.4539535	53.683066	67.87248	4.3573736
34	155	65.85488	-4.1806295	41.236543	46.437055	1.5970054

Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLV-GEO 1 – Analisi di Stabilità

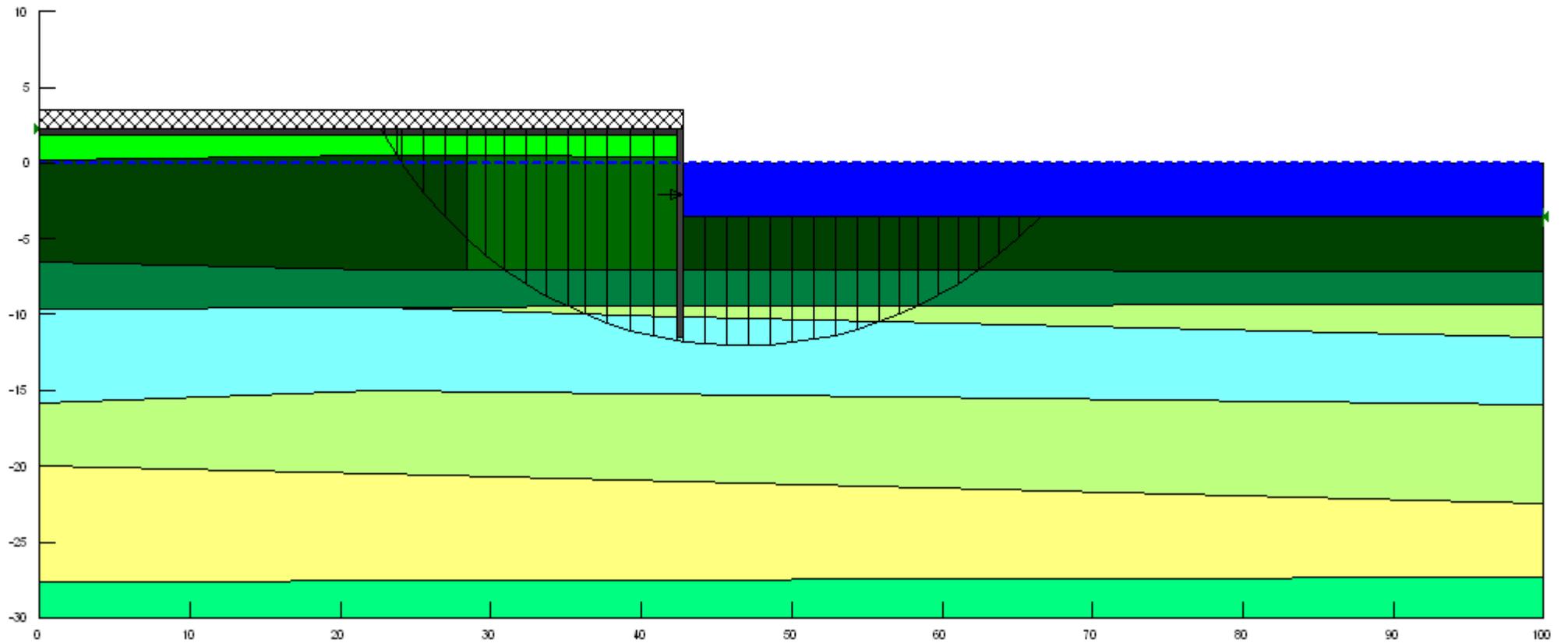
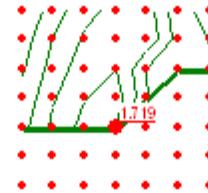


Canale interno – Sezione 4 – Palancolato con trattamento – SLV-GEO 1 – Superficie critica

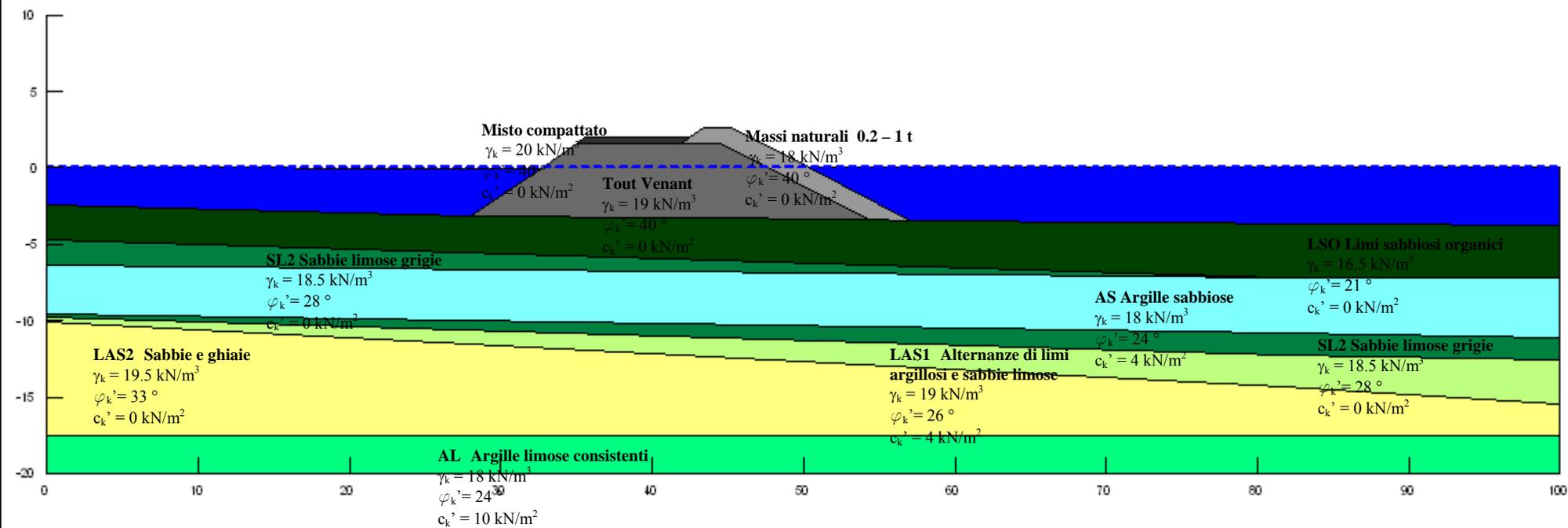
Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 1,56$



Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	122	0.89	(53.5, 4.6)	10.73	(43.0, 2.4)	(60.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

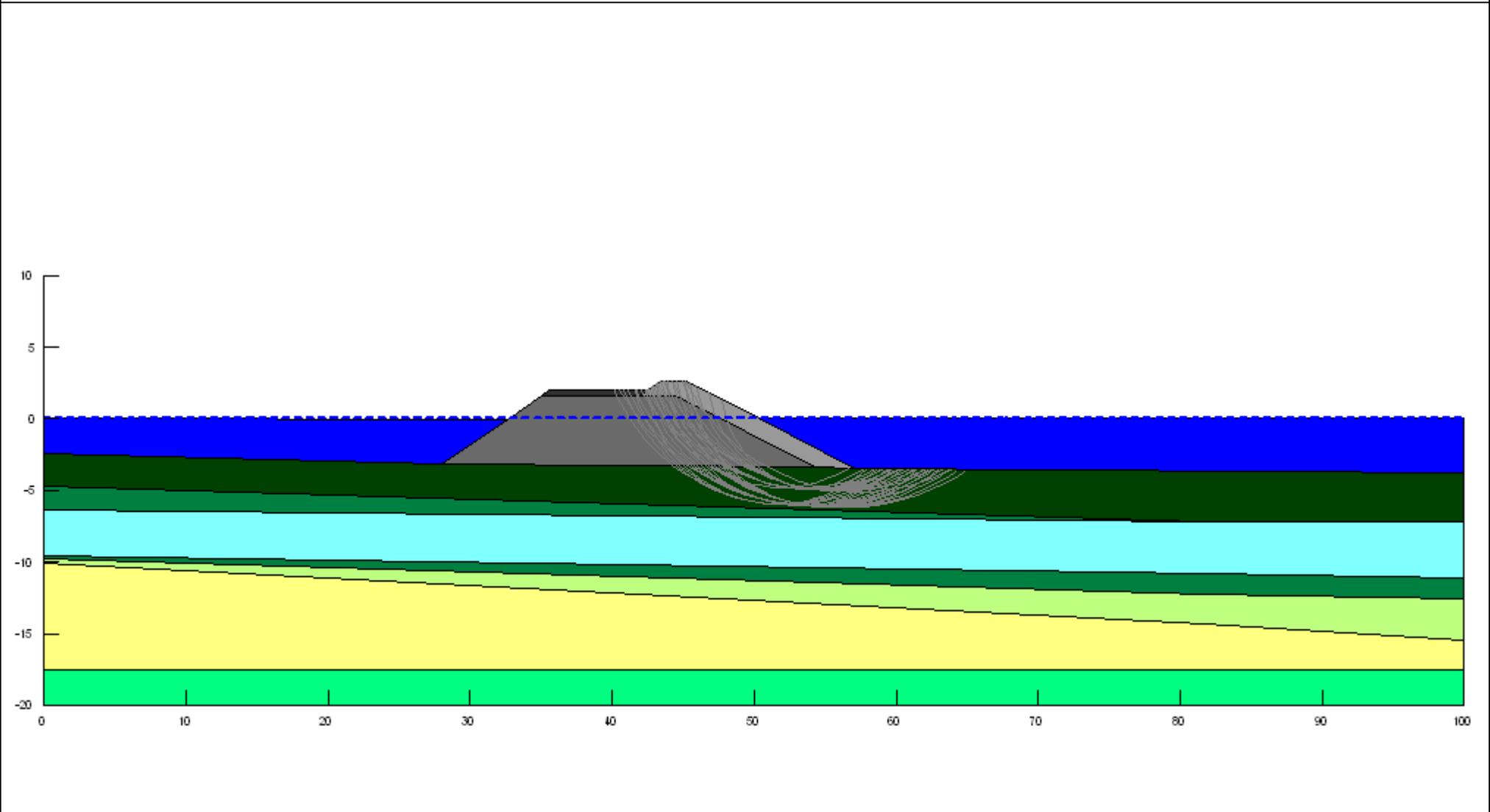
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	122	43.166595	2.006122	0	2.5153425	1.68852
2	122	43.32533	1.42771	0	6.7648203	4.5411447
3	122	43.63571	0.62771	0	14.241316	9.5600287
4	122	44.245745	-0.6231155	6.5846567	31.586696	16.783576
5	122	44.895625	-1.651251	16.389031	49.493038	22.222333
6	122	45.496105	-2.4036355	23.719961	61.872845	25.611585
7	122	46.10582	-3.0453805	29.979987	70.835195	27.425623
8	122	46.73393	-3.6062195	35.470573	88.08458	16.157036
9	122	47.38043	-4.1002975	40.299439	91.898956	15.8455
10	122	47.968375	-4.489394	44.078945	94.176865	15.38438
11	122	48.49776	-4.792369	47.045279	95.361466	14.837235
12	122	49.027145	-5.0571085	49.638167	95.809025	14.178434
13	122	49.55653	-5.286677	51.886974	95.575087	13.416017
14	122	50.085915	-5.4834695	53.814589	94.698307	12.554826
15	122	50.63319	-5.6539405	55.488543	94.451554	11.965003
16	122	51.197705	-5.797469	56.895604	94.878479	11.664017
17	122	51.761575	-5.9088185	57.984813	94.743901	11.288209
18	122	52.32545	-5.989197	58.773957	94.062994	10.836776
19	122	52.889325	-6.039304	59.264267	92.841335	10.311054
20	122	53.453195	-6.059564	59.463216	91.080589	9.7092591
21	122	54.017065	-6.0501475	59.370312	88.777324	9.030488
22	122	54.575015	-6.0116985	58.991939	86.101509	8.324975
23	122	55.12705	-5.944522	58.334431	83.062553	7.5936653
24	122	55.679085	-5.8479625	57.388552	79.466535	6.7798441
25	122	56.23112	-5.7211985	56.146438	75.285236	5.8772609
26	122	56.783155	-5.5631035	54.598197	70.47999	4.8770795
27	122	57.35014	-5.3660665	52.672815	66.205039	4.1555593
28	122	57.93208	-5.126096	50.322244	62.437672	3.7204808
29	122	58.514015	-4.844503	47.566219	57.90286	3.1742396
30	122	59.09595	-4.5174395	44.363724	52.498741	2.4981515
31	122	59.67789	-4.139808	40.669236	46.080043	1.6615843
32	122	60.25983	-3.7047135	36.412883	38.430158	0.61947727

Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità

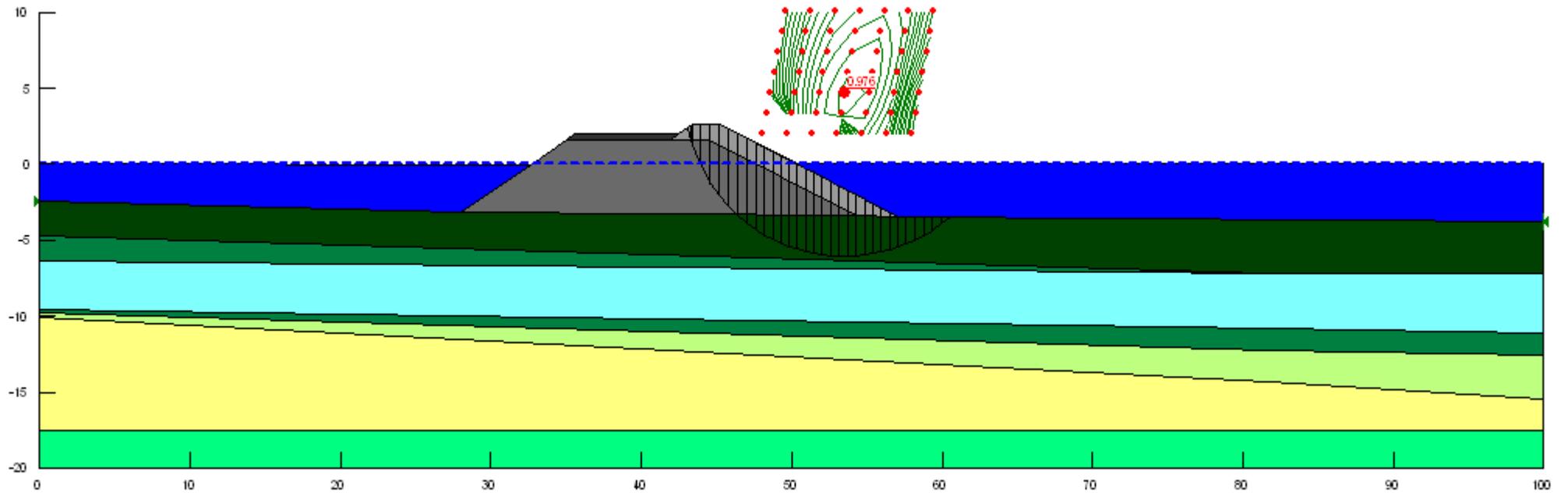


Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro – SLU-GEO 1 – Superficie critica

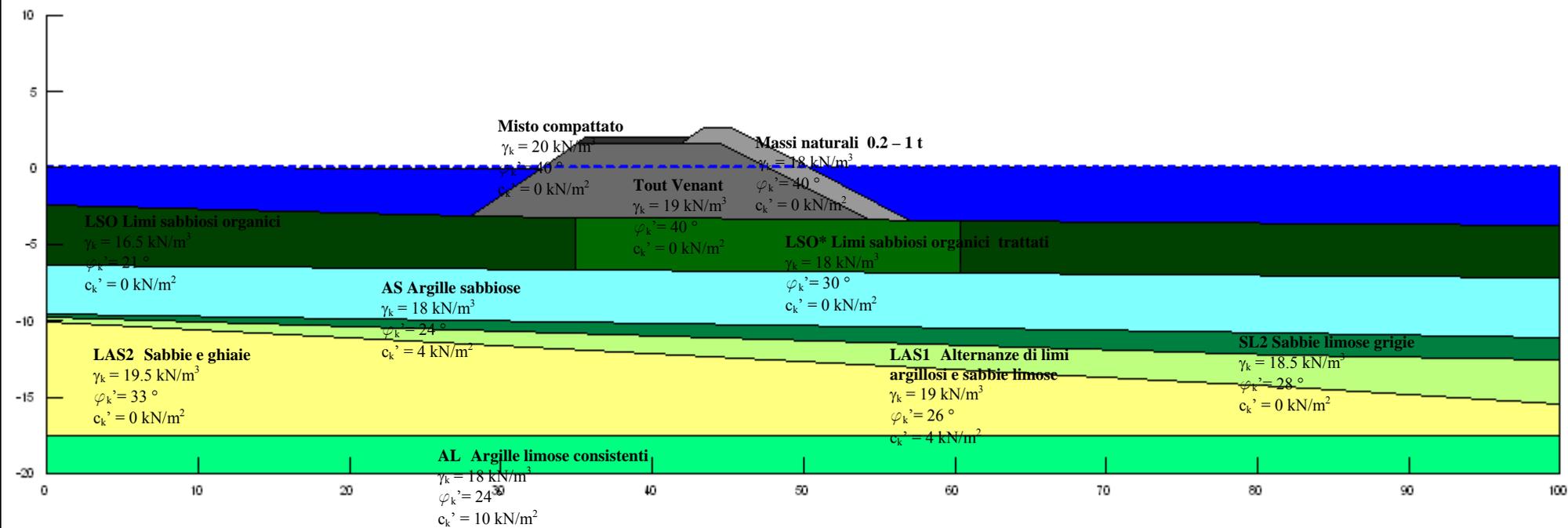
Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2

$F_s = 0,89$



Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro con trattamento – Schema geotecnico di riferimento



Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	113	1.22	(54.1, 6.0)	11.44	(43.2, 2.5)	(60.5, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

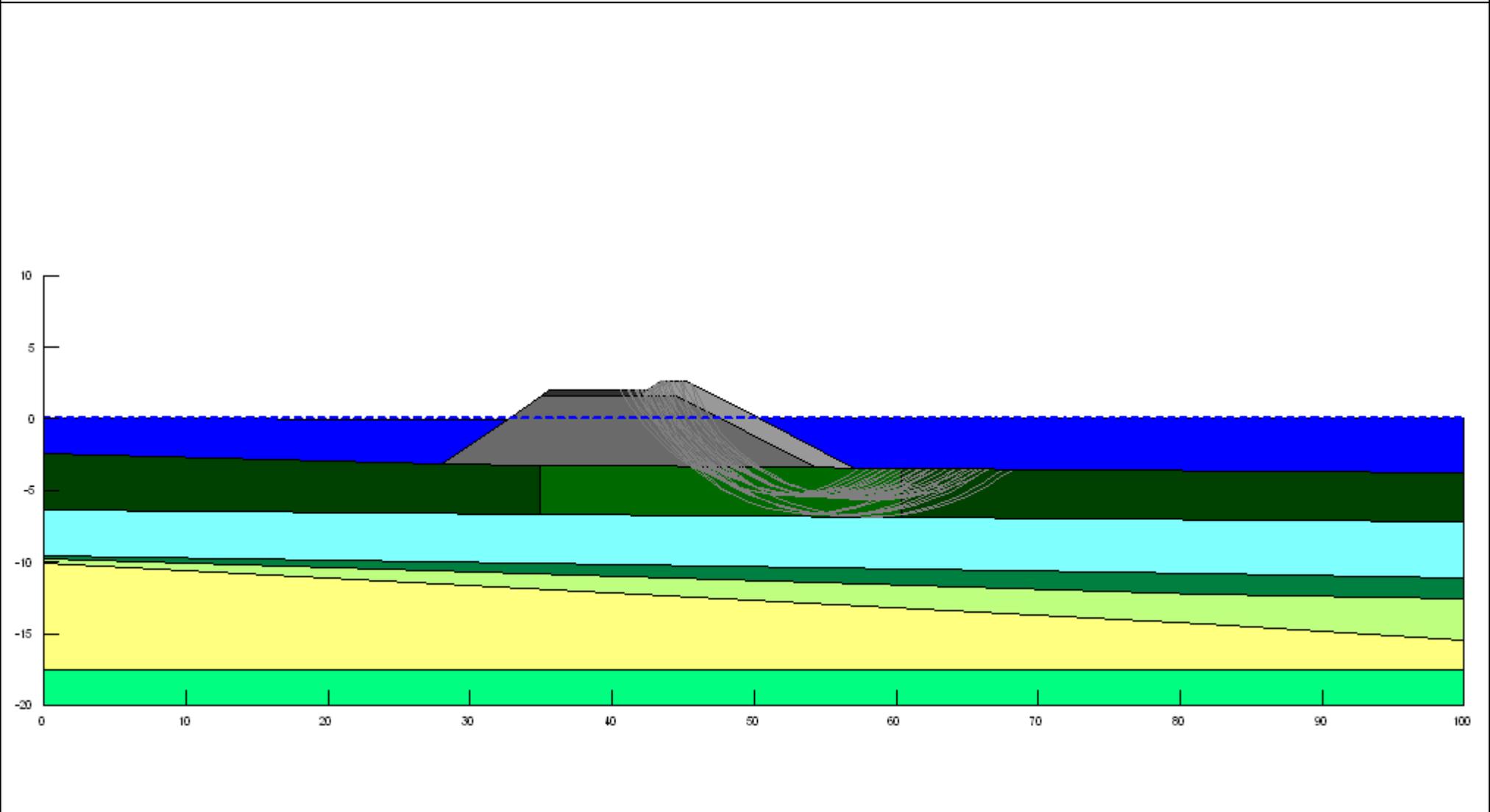
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	113	43.302635	2.309257	0	2.1253056	1.4266928
2	113	43.475095	1.8421435	0	6.4515162	4.3308274
3	113	43.982605	0.8	0	18.004399	12.086142
4	113	44.497475	-0.15952855	1.5930024	30.119926	19.14979
5	113	44.895625	-0.72320155	7.2743099	40.463299	22.27938
6	113	45.48746	-1.4686305	14.535916	52.37841	25.403224
7	113	46.079875	-2.1029875	20.729052	60.652782	26.800333
8	113	46.67229	-2.650422	26.078698	67.29656	27.669069
9	113	47.264705	-3.1267405	30.737024	72.571953	28.083299
10	113	47.632295	-3.397864	33.326777	78.866564	21.033656
11	113	47.968375	-3.6159945	35.511961	80.502905	20.78016
12	113	48.49776	-3.934454	38.631329	82.438171	20.233253
13	113	49.027145	-4.2156615	41.385279	83.617744	19.506089
14	113	49.55653	-4.4626255	43.804431	84.095156	18.609249
15	113	50.085915	-4.677725	45.911079	83.908466	17.550015
16	113	50.63319	-4.868111	47.78169	84.328954	16.880241
17	113	51.197705	-5.033243	49.398631	85.395038	16.625814
18	113	51.761575	-5.167334	50.7121	85.872929	16.239882
19	113	52.32545	-5.2717105	51.734621	85.781893	15.725559
20	113	52.889325	-5.3471935	52.474986	85.127733	15.081464
21	113	53.453195	-5.394357	52.936775	83.912152	14.30673
22	113	54.017065	-5.4135515	53.124994	82.134504	13.398746
23	113	54.575015	-5.4052985	53.042712	79.952291	12.428842
24	113	55.12705	-5.370119	52.697314	77.380572	11.400562
25	113	55.679085	-5.3079615	52.08882	74.240072	10.231093
26	113	56.23112	-5.2183775	51.210866	70.505959	8.9119072
27	113	56.783155	-5.100703	50.05862	66.146438	7.4305487
28	113	57.33757	-4.9532685	48.614109	62.384689	6.3602763
29	113	57.894375	-4.774615	46.863871	59.242335	5.717294
30	113	58.451185	-4.5636915	44.797174	55.429604	4.9108459
31	113	59.00799	-4.318517	42.396559	50.874896	3.9159259
32	113	59.564795	-4.0365775	39.635231	45.487869	2.7031827
33	113	60.1216	-3.714667	36.484156	39.147948	1.2303367
34	113	60.45752	-3.5050515	34.376154	34.666483	0.08915614

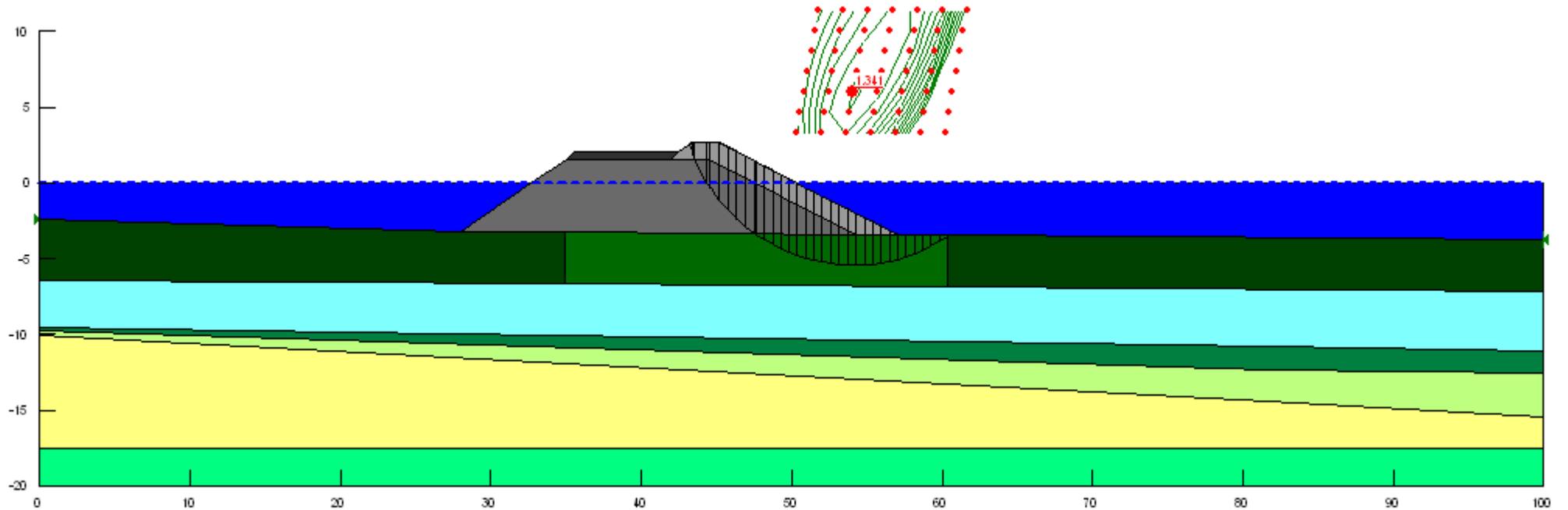
Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1 – Analisi di Stabilità



Banchina Est – Sezione 6 – Rilevato di lavoro con trattamento – SLU-GEO 1 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2
 $Fs = 1,22$



VERIFICHE DI STABILITÀ DEL MURO DI BANCHINA A CASSONI

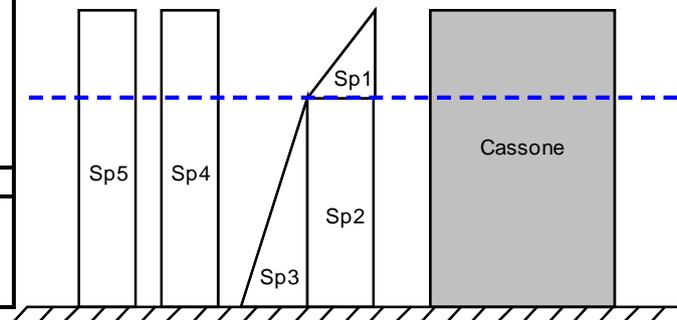
Le verifiche di stabilità sono state riferite ai criteri propri delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/08. In particolare le verifiche sono state riferite alla combinazione A1 + M1 + R3.

Verifiche di stabilità del muro di banchina a cassoni

Combinazione	Verifica	Rd/Ed A1 + M1+ R3	
SLU	Scorrimento	1.15	Peso Proprio + Sovraccarico
	Ribaltamento	2.46	
	Capacità portante	2.36	
SLV	Scorrimento	1.12	Peso Proprio + 60%Sovraccarico + Sisma(†)
	Ribaltamento	3.00	
	Capacità portante	3.00	

Verifiche allo scorrimento e ribaltamento del muro di banchina a cassoni

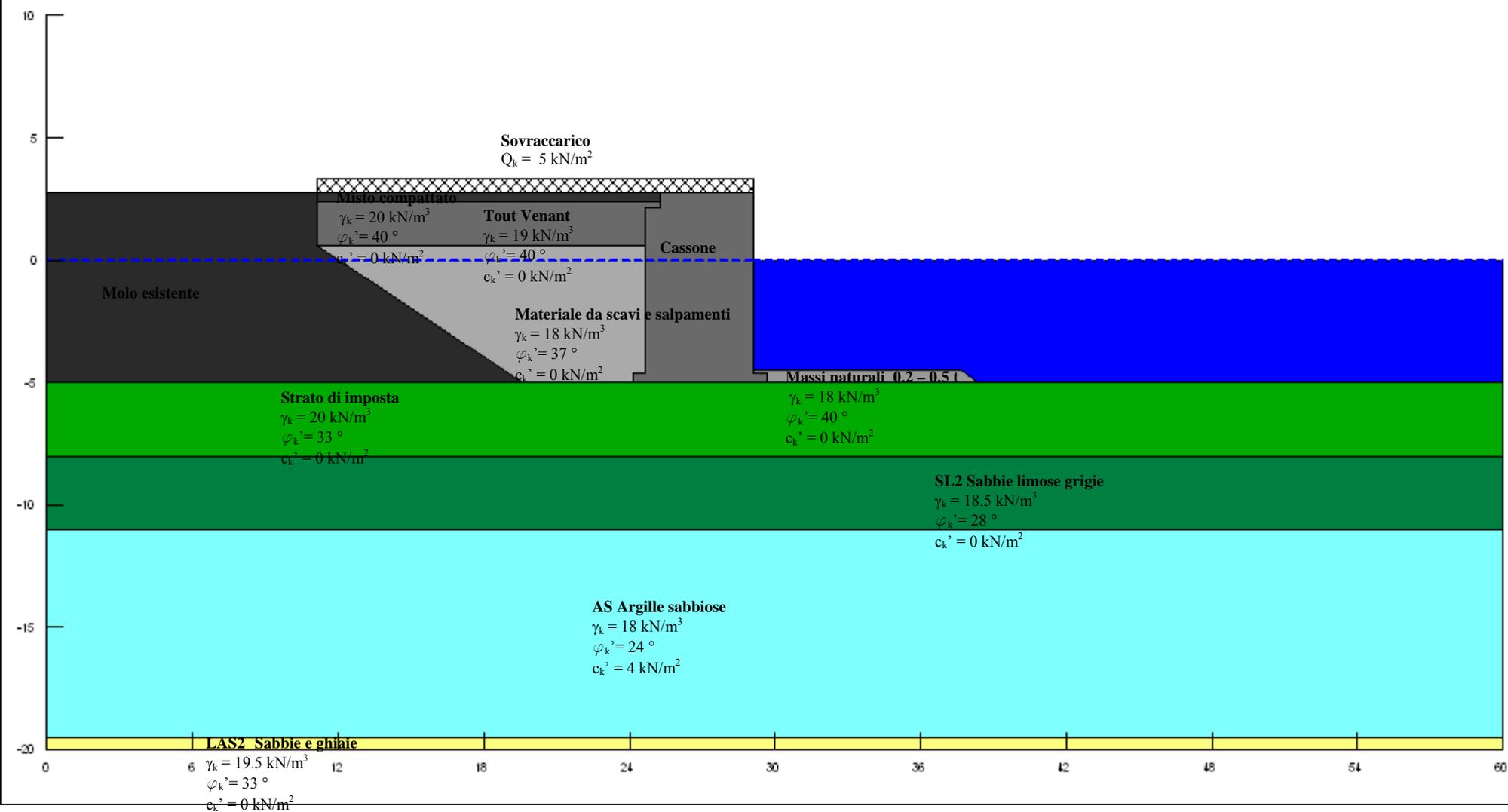
Coefficienti di spinta attiva	M1		Angoli di attrito di progetto
Ka (Muller-Breslau)	0.25	Coefficienti sismici di sito	ϕ'_d (rinterro) 37.0 M1
Ka (Mononobe-Okabe) sotto falda	0.264	kh	0.0135
Ka(Mononobe-Okabe) sopra falda	0.255	kv	0.00675
			ϕ'_d (fondazione) 33.0 M1
			$tg\delta = 2/3 tg\phi$ 23.4
	SLU	SLV	Bracci
<i>Azioni orizzontali</i>	Spinte kN/m	Spinte kN/m	Incremento kN/m
			Polo A m
			Polo A incrementi m
			Polo B m
			Coefficienti parziali
			Ψ_{21} A1 EQU
Sp1	15.1	15.5	0.4
Sp2	58.5	61.8	3.3
Sp3	24.9	26.4	1.5
Sp4	9.5	9.9	0.4
Sp5	8.9	8.9	0.0
<i>Azioni orizzontali Inerziali</i>			
Peso proprio cassone		4.27	3.8
Peso terreno su aletta posteriore		0.60	3.8
Spinta idrodinamica		2.0	2.0
<i>Azioni verticali</i>			
Peso proprio cassone	316.0	316	0.6
Peso terreno su aletta posteriore	44.2	44.2	3.0
<i>Azioni verticali inerziali</i>			
Peso proprio cassone		-2.1	0.6
Peso terreno su aletta posteriore		-0.3	3.0
Azioni di progetto			
Orizzontali Hd	155.6	125.4	
Vericali Vd	455.0	357.7	
Momento M_{Ad}	105.9	65.8	
Momento ribaltante M_{BEd}	1004.9	1109.1	
Momento stabilizzante M_{BRd}	408.9	369.9	
Verifiche			
Scorrimento ($R3 = 1.1$)	1.15	1.12	
Ribaltamento ($R3 = 1.0$)	2.46	3.00	



Verifica della capacità portante della fondazione DM08			
Muro di banchina a cassoni	SLU	<i>Rottura generale</i>	
Terreno fondazione	Parametri geotecnici caratteristici	Combinazione M1	
γ	kN/m ³	20	20
c'	kPa	0	0
φ'	°	33	33
Caratteristiche geometriche			
Larghezza B (m)	5.5		
Profondità piano posa D (m)	0.4		
Lunghezza L (m)		nastriforme	
Profondità falda z_w (m)	0		
Inclinazione piano fondazione			
β_f (°)	0.00		
Inclinazione piano campagna			
β_p (°)	0.00		
Azioni di progetto Ed			
		A1	
Carichi Verticali	kN/m	455	
Carichi Orizzontali	kN/m	155.6	
Momenti	kNm/m	106	
eccentricità			
e_B (m)	0.23		
e_L (m)	0.00		
	A1		
B^* (m)	5.03		
L^* (m)		nastriforme	
Verifica capacità portante			
<i>Verifica in condizioni drenate</i>		Formula di Brinch Hansen	
<small>$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B^* \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$</small>			
Calcolo fattori correttivi			
Nc, Nq, Nγ : fattori di capacità portante			
	M1		
$N_c = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$	38.64		
$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$	26.09		
$N_{\gamma} = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$	35.19		
S$_c$, S$_q$, S$_{\gamma}$: coefficienti di forma			
	M1		
$S_c = 1 + B^* N_q / (L^* N_c)$	1.00		
$S_q = 1 + B^* \tan \varphi' / L^*$	1.00		
$S_{\gamma} = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$	1.00		
<i>Meyerhof caso fondazione rettangolare</i>			
S_c	1.00		
$S_q = S_{\gamma}$	1.00		
i$_c$, i$_q$, i$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione del carico			
	M1		
$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*)$	2.00		
$m_{\gamma} = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*)$	2.00		
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$	0.41		
$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^m$	0.43		
$i_{\gamma} = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$	0.28		
d$_c$, d$_q$, d$_{\gamma}$: coefficienti di profondità del piano di appoggio			
	M1		
$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$	-0.04		
d_q	1.02		
$d_{\gamma} = 1$	1.00		
b$_c$, b$_q$, b$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione base della fondazione			
	M1		
$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$	1.00		
$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi')^2$	1.00		
$b_{\gamma} = b_q$	1.00		
g$_c$, g$_q$, g$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione piano di campagna			
	M1		
$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \varphi')$	1.00		
$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2$	1.00		
$g_{\gamma} = g_q$	1.00		
Resistenza di progetto			
	M1		
Rd kN/m	298.5		
Approccio 2	γ_R	Rd/Ed	2.36
A1-M1-R3	1.4		

Verifica della capacità portante della fondazione DM08			
Muro di banchina a cassoni	SLV	<i>Rottura generale</i>	
Terreno fondazione	Parametri geotecnici caratteristici	Combinazione M1	
γ	kN/m ³	20	20
c'	kPa	0	0
φ'	°	33	33
Caratteristiche geometriche			
Larghezza B (m)	5.5		
Profondità piano posa D (m)	0.4		
Lunghezza L (m)		nastriforme	
Profondità falda z_w (m)	0		
Inclinazione piano fondazione			
β_f (°)	0.00		
Inclinazione piano campagna			
β_p (°)	0.00		
Azioni di progetto Ed			
		A1	
Carichi Verticali	kN/m	358	
Carichi Orizzontali	kN/m	125.4	
Momenti	kNm/m	66	
eccentricità			
e_B (m)	0.18		
e_L (m)	0.00		
	A1		
B^* (m)	5.13		
L^* (m)		nastriforme	
Verifica capacità portante			
<i>Verifica in condizioni drenate</i>		Formula di Brinch Hansen	
<small>$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B^* \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$</small>			
Calcolo fattori correttivi			
Nc, Nq, Nγ : fattori di capacità portante			
	M1		
$N_c = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$	38.64		
$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$	26.09		
$N_{\gamma} = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$	35.19		
S$_c$, S$_q$, S$_{\gamma}$: coefficienti di forma			
	M1		
$S_c = 1 + B^* N_q / (L^* N_c)$	1.00		
$S_q = 1 + B^* \tan \varphi' / L^*$	1.00		
$S_{\gamma} = 1 - 0.4 \cdot B^* / L^*$	1.00		
<i>Meyerhof caso fondazione rettangolare</i>			
S_c	1.00		
$S_q = S_{\gamma}$	1.00		
i$_c$, i$_q$, i$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione del carico			
	M1		
$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*)$	2.00		
$m_{\gamma} = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*)$	2.00		
$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$	0.40		
$i_q = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^m$	0.42		
$i_{\gamma} = (1 - H / (N + B^* L^* c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$	0.27		
d$_c$, d$_q$, d$_{\gamma}$: coefficienti di profondità del piano di appoggio			
	M1		
$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$	-0.04		
d_q	1.02		
$d_{\gamma} = 1$	1.00		
b$_c$, b$_q$, b$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione base della fondazione			
	M1		
$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$	1.00		
$b_q = (1 - \beta_f \tan \varphi')^2$	1.00		
$b_{\gamma} = b_q$	1.00		
g$_c$, g$_q$, g$_{\gamma}$: coefficienti di inclinazione piano di campagna			
	M1		
$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan \varphi')$	1.00		
$g_q = (1 - \tan \beta_p)^2$	1.00		
$g_{\gamma} = g_q$	1.00		
Resistenza di progetto			
	M1		
Rd kN/m	292.3		
Approccio 2	γ_R	Rd/Ed	3.00
A1-M1-R3	1.4		

Varco ingresso – Muro di banchina a cassoni – Schema geotecnico di riferimento



Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLU-GEO 2

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0
Coefficiente sismico verticale	0.0
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	87	1.14	(40.2, 4.7)	11.59	(28.8, 2.8)	(47.2, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

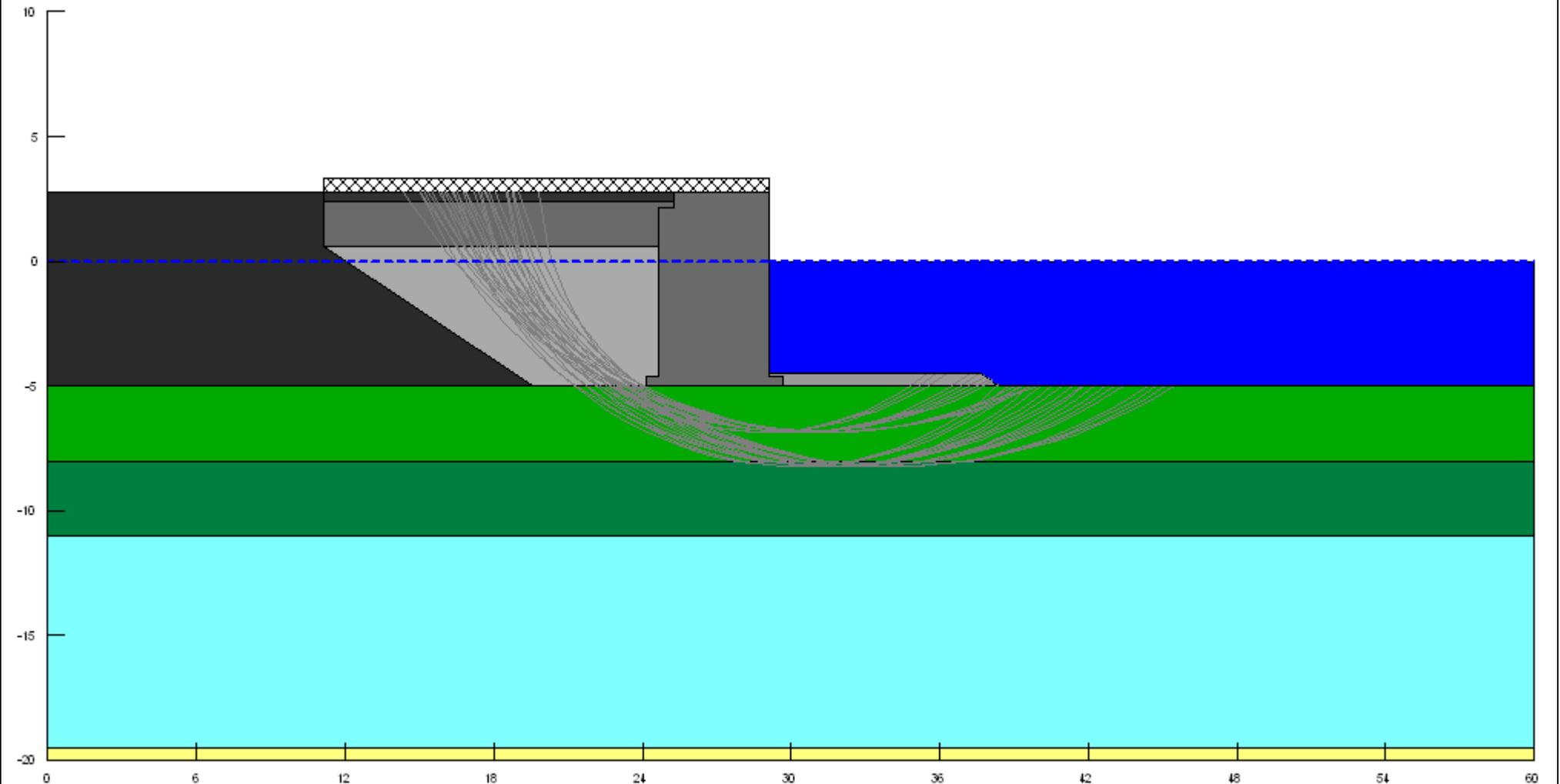
Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X	ascissa del baricentro della striscia espressa in metri
Y	ordinata del baricentro della striscia espressa in metri
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
σ_n	tensione normale alla base della striscia espressa in kPa
τ_f	resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

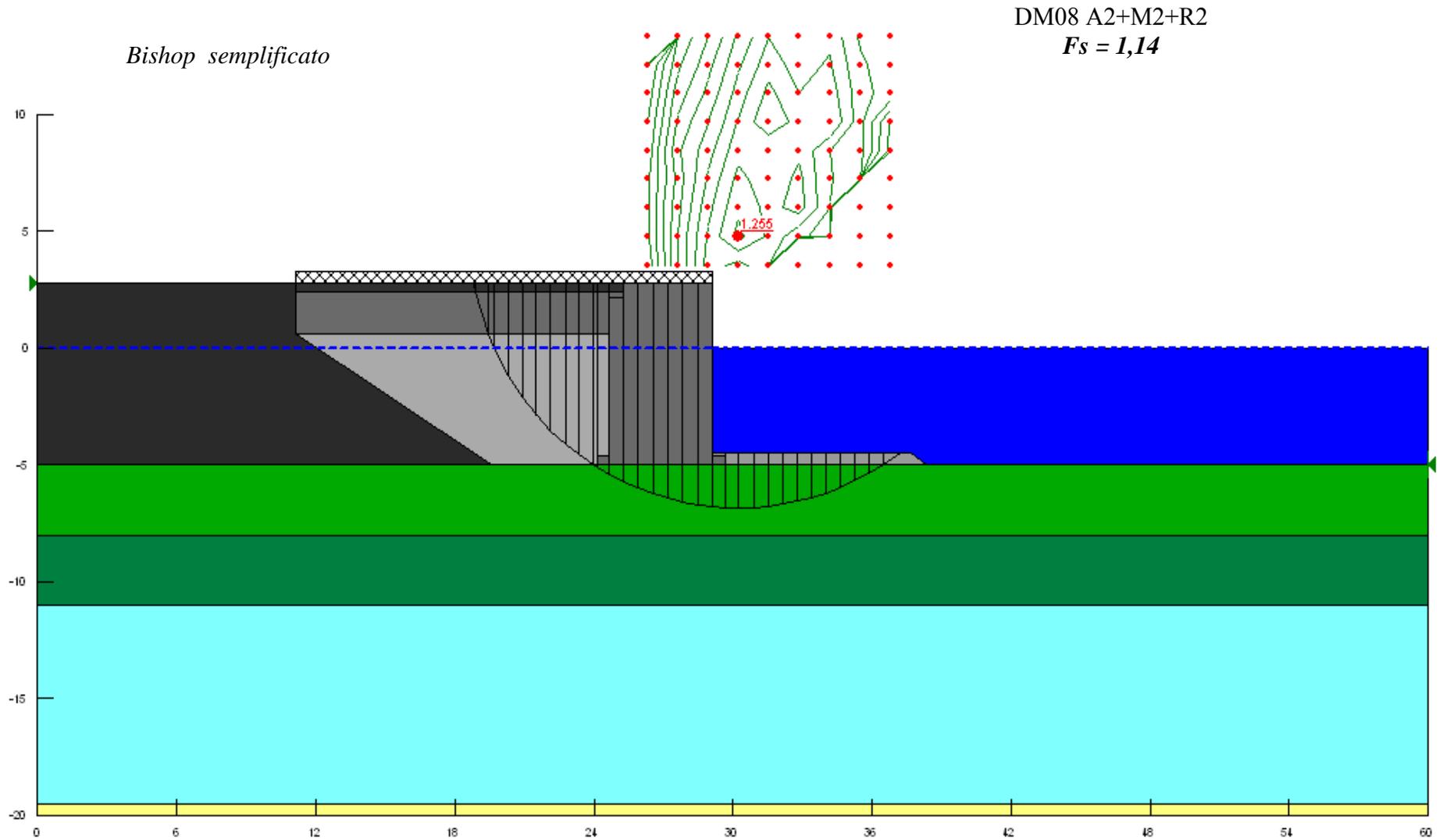
Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	87	28.844835	2.6	0	2.1780104	1.5454
2	87	29.147505	1.5	0	10.634044	7.4639
3	87	29.537355	0.3	0	23.025924	14.329
4	87	29.970765	-0.591099	6.2025835	37.25403	19.256
5	87	30.58733	-1.6462715	16.381898	55.916986	24.448
6	87	31.203895	-2.4939865	24.621922	71.575519	28.98
7	87	31.82046	-3.2032325	31.538092	85.172916	33.054
8	87	32.437025	-3.8092355	37.45649	97.214137	36.781
9	87	33.05359	-4.332979	42.57711	108.00643	40.229
10	87	33.670155	-4.788162	47.029625	117.75649	43.444
11	87	34.05422	-5.0477275	49.507057	126.02314	40.495
12	87	34.38	-5.2417115	51.446589	127.62137	40.304
13	87	34.93	-5.5423385	54.407491	84.33176	15.933
14	87	35.555	-5.8400845	57.331475	84.382271	14.421
15	87	36.205	-6.103909	59.915694	89.534586	15.772
16	87	36.855	-6.3233625	62.064074	94.024615	17
17	87	37.505	-6.5010505	63.804521	97.878351	18.107
18	87	38.155	-6.638934	65.154334	101.11763	19.093
19	87	38.805	-6.7384495	66.130418	103.75392	19.958
20	87	39.38	-6.797182	66.686093	81.183676	7.6826
21	87	39.94156	-6.8233945	66.957762	85.523899	9.8137
22	87	40.564685	-6.8222245	66.946195	85.961172	10.044
23	87	41.18781	-6.7874545	66.606197	85.813588	10.138
24	87	41.81093	-6.718779	65.933671	85.05709	10.087
25	87	42.43405	-6.6155815	64.922165	83.664225	9.8785
26	87	43.057175	-6.476907	63.564709	81.596004	9.4972
27	87	43.6803	-6.301418	61.844893	78.799696	8.9231
28	87	44.30342	-6.087321	59.74869	75.208267	8.13
29	87	44.926545	-5.832265	57.250279	70.729994	7.0824
30	87	45.54967	-5.533192	54.321872	65.238706	5.7305
31	87	46.17279	-5.1861095	50.925114	58.556512	4.0021
32	87	46.843905	-4.75	46.681622	50.171101	2.3503
1	87	28.844835	2.6	0	2.1780104	1.5454
2	87	29.147505	1.5	0	10.634044	7.4639

Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLU-GEO 2 – Analisi di Stabilità



Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLU-GEO 2 – Superficie critica



Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLV-GEO 1

Impostazioni analisi

Metodo dell'equilibrio limite globale	Bishop semplificato
Numero di strisce minimo	30
Profondità minima superficie di rottura	0,1 m
Numero di superfici di rottura	216
Ampiezza della zona di ricerca della superficie critica	100 m
Coefficiente sismico orizzontale	0.0135
Coefficiente sismico verticale	0.00675
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.00
Analisi condotta in termini di tensioni efficaci	

Risultati Analisi

Numero di superfici con R_d/E_d minimo	Superficie	R_d/E_d	Centro (m)	Raggio (m)	Entata (m)	Uscita (m)
1	87	1.12	(30.2, 4.7)	11.59	(18.8, 2.8)	(37.2, 0.0)

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto a partire dal livello medio marino

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X ascissa del baricentro della striscia espressa in metri

Y ordinata del baricentro della striscia espressa in metri

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

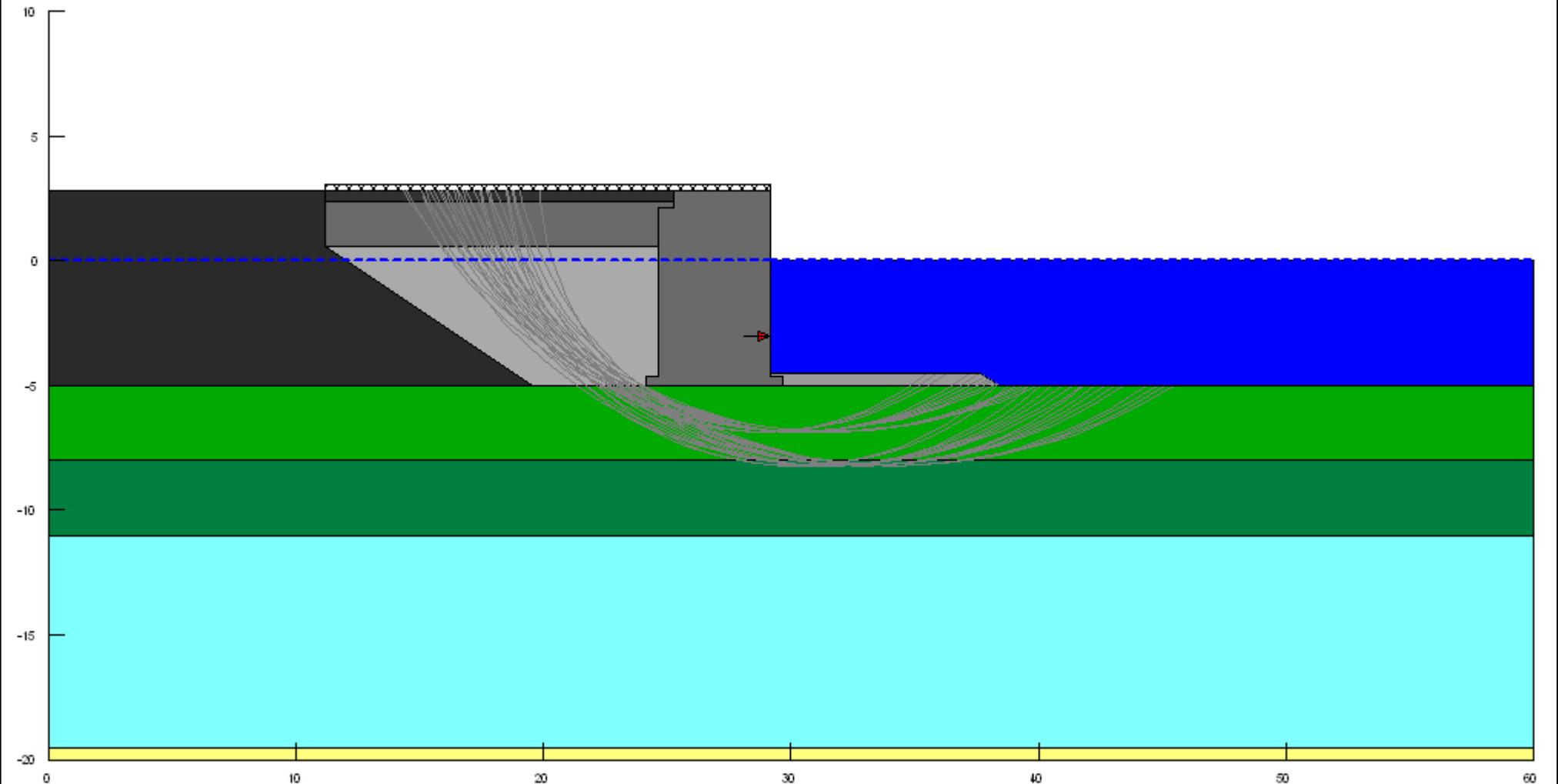
σ_n tensione normale alla base della striscia espressa in kPa

τ_f resistenza al taglio alla base della striscia espressa in kPa

Geometria e caratteristiche strisce

N°	Superficie	X (m)	Y (m)	u (kPa)	σ_n (kPa)	τ_f (kPa)
1	87	18.844835	2.6	0	1.848628	1.2409624
2	87	19.147505	1.5	0	10.648951	7.1485165
3	87	19.537355	0.3	0	23.210488	14.001462
4	87	19.970765	-0.591099	6.2025835	37.501396	18.880651
5	87	20.58733	-1.6462715	16.381898	56.142158	23.984922
6	87	21.203895	-2.4939865	24.621922	71.75427	28.43205
7	87	21.82046	-3.2032325	31.538092	85.286627	32.423189
8	87	22.437025	-3.8092355	37.45649	97.247725	36.068379
9	87	23.05359	-4.332979	42.57711	107.94661	39.433404
10	87	23.670155	-4.788162	47.029625	117.59077	42.565203
11	87	24.05422	-5.0477275	49.507057	125.62117	39.622499
12	87	24.38	-5.2417115	51.446589	128.91423	40.327099
13	87	24.93	-5.5423385	54.407491	116.00451	32.06538
14	87	25.555	-5.8400845	57.331475	119.86032	32.550455
15	87	26.205	-6.103909	59.915694	125.89508	34.346692
16	87	26.855	-6.3233625	62.064074	131.24128	36.011375
17	87	27.505	-6.5010505	63.804521	135.94099	37.551869
18	87	28.155	-6.638934	65.154334	140.02136	38.973307
19	87	28.805	-6.7384495	66.130418	143.50698	40.279687
20	87	29.38	-6.797182	66.686093	83.387532	8.6942192
21	87	29.94156	-6.8233945	66.957762	85.538336	9.6724348
22	87	30.564685	-6.8222245	66.946195	85.945133	9.8902211
23	87	31.18781	-6.7874545	66.606197	85.764015	9.9729284
24	87	31.81093	-6.718779	65.933671	84.974429	9.9119911
25	87	32.43405	-6.6155815	64.922165	83.549223	9.6966326
26	87	33.057175	-6.476907	63.564709	81.449724	9.3103495
27	87	33.6803	-6.301418	61.844893	78.626594	8.7360002
28	87	34.30342	-6.087321	59.74869	75.01598	7.9476483
29	87	34.926545	-5.832265	57.250279	70.527556	6.9117127
30	87	35.54967	-5.533192	54.321872	65.043406	5.5812777
31	87	36.17279	-5.1861095	50.925114	58.393966	3.888038
32	87	36.843905	-4.75	46.681622	50.044398	2.2573917

Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLV-GEO 1 – Analisi di Stabilità



Varco ingresso – Sezione 9 – Muro di banchina a cassoni – SLV-GEO 1 – Superficie critica

Bishop semplificato

DM08 A2+M2+R2
 $Fs = 1,12$

