

1. PREMESSA

Nella presente relazione sono riportati i calcoli di verifica delle opere da eseguirsi per la nuova sistemazione della banchina 33B nel Porto di Napoli, che, per quanto riguarda gli aspetti strutturali, consistono essenzialmente nella ricostituzione del paramento esterno e nel consolidamento della zona retrostante.

Tali opere verranno realizzate al fine di consentire la messa in sicurezza della banchina esistente, interessata nel recente passato da alcuni dissesti e per renderla idonea da un punto di vista strutturale, allorquando con il futuro piano di dragaggio delle acque portuali la stessa banchina dovrà offrire un pescaggio di circa 10,50 m.

Nel seguito della relazione, dopo un richiamo alle normative di riferimento e la definizione delle caratteristiche dei materiali da utilizzare, si riportano dapprima i risultati delle indagini effettuate e successivamente le ipotesi ed i criteri di calcolo seguiti per la verifica degli interventi con le verifiche di resistenza degli elementi principali.

2. NORME DI RIFERIMENTO

Le verifiche delle opere in parola sono state condotte nel rispetto delle seguenti norme tecniche e delle eventuali istruzioni e circolari successive:

- Legge 1086 del 5/11/1971: Norme per la disciplina di opere in conglomerato cementizio armato, normale, precompresso ed a struttura metallica.
- Legge 64 del 2/2/1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.Min. Infr. 14/01/2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008).
- Circ. Min. LLPP n. 617 del 2/02/2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- Barre in acciaio per tiranti

Tipo Dywidag o analogo, in acciaio S 950/1050 o superiore, con filettatura continua e doppia protezione contro la corrosione

- Profilati in acciaio per micropali

Acciaio S355

- Calcestruzzo per getti in opera

Calcestruzzo a prestazione (UNI 9858 – UNI EN 206-1)

classe di resistenza: C35/45

classe di esposizione: XS3

rapporto A/C ≤ 0.45

cemento: pozzolanico (CEM IV) 42.5 R

contenuto minimo cemento: 340 kg/m³

classe di consistenza: S4 – S5

dimensioni inerti: max 20 mm

copriferro minimo: 4 cm

- Malta per micropali

C35/45

Classe di esposizione XS3

4. RICHIAMI ALLE INDAGINI ESEGUITE

Per meglio definire la geometria e le proprietà fisico-meccaniche della banchina in esame, e, più in generale, per acquisire gli elementi necessari per poter poi svolgere le verifiche strutturali necessarie, in termini il più possibile aderenti alla situazione attuale, sono state eseguite una serie di indagini geognostiche affidate alla GEOTEC Snc.

Dette indagini, dopo un sopralluogo preliminare finalizzato alla definizione del piano di intervento e delle condizioni logistiche del sito, hanno previsto l'esecuzione di sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo, spinti ad una profondità di - 15,0 metri dal piano di riferimento delle perforazioni e di perforazioni a distruzione di nucleo lungo il margine a mare dell'approdo preso in esame.

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti per la verifica delle geometrie e della natura dei materiali di costruzione della banchina portuale.

In corrispondenza della banchina in oggetto sono stati eseguiti n. 5 sondaggi geognostici, di cui due a terra (ST1 ed ST2), a carotaggio continuo, e tre a mare (SM1, SM2 ed SM3), eseguiti invece a distruzione di nucleo.

Questi ultimi sono stati posizionati in prossimità del filo della banchina. Il sondaggio SM1 ed i due a terra risultano inoltre ubicati lungo una medesima sezione trasversale.

I sondaggi a mare hanno permesso di evidenziare che il fondale è costituito essenzialmente da materiali sciolti di deposizione marina e pietrame litico, quest'ultimo riconducibile - almeno in parte - ai fenomeni di alterazione e distacchi localizzati, ma diffusi, che come è noto, interessano il paramento della banchina stessa. In corrispondenza del solo sondaggio SM1 è stata inoltre posta in luce la presenza di un blocco di lava dello spessore di circa 1.0 m tra i 10.00 m ed i 11.00 m di profondità dal l.m.m., che rappresenta probabilmente il masso guardiano posto in corrispondenza del piede della banchina.

Quanto ai sondaggi a terra, si riscontra una marcata eterogeneità dei materiali di riempimento e degli spessori degli elementi murari, anche se le verticali esplorate sono poste a breve distanza reciproca. In generale può dirsi che il basamento della struttura di banchina presenta spessore variabile tra 1.0 m e 3.5 m ed è costituito da blocchi di lava di grosse dimensioni, carotati in spezzoni della lunghezza massima di circa 60 cm. Al disopra della base anzidetta sono stati rinvenuti materiali essenzialmente grossolani di colmata,

rappresentati da blocchi lavici, pezzame lavico eterometrico ed elementi di calcestruzzo ed infine la pavimentazione in conglomerato cementizio.

Per motivare maggiormente la scelta progettuale operata per il consolidamento della banchina, sono stati eseguiti di recente ulteriori tre sondaggi a terra (ST3, ST4 e ST5) posti a circa 4.00 ml dal filo di banchina dove è stato rinvenuto materiale sciolto vario di colmata, (vedi tav. R08) che allo stato non contribuisce certamente alla stabilità della banchina.

Dall'esame dei sondaggi originariamente eseguiti si rileva altresì che la banchina è imbasata tra – 11.00 e – 12.00 m s.l.m. e che pertanto dovendo portare in futuro il pescaggio della banchina a circa – 11.00 m.s..m. si renderà in ogni caso necessario un intervento di adeguamento del piede della stessa.

5. GEOLOGIA E GEOTECNICA DEI TERRENI

L'area portuale di Napoli è stata oggetto di numerosi studi ed investigazioni, dai quali emerge in corrispondenza dell'area in parola, la presenza di “sabbie più o meno grossolane e ciottoli lavici”, direttamente affioranti verso Est e ricoperti, nella restante parte dell'area, da “discariche e suoli di varia età storica”.

Il fondo marino nello specchio d'acqua antistante presenta “sabbie più o meno grossolane e ciottoli lavici” fin poco oltre la batimetrica (50), “terreni in facies sabbioso-argillosa con prevalenza di limo” fra le batimetriche (50) e (100) ed infine, solo oltre la batimetrica (100), argille e limi”.

L'anzidetta costituzione geologica è dovuta alla presenza in prossimità della zona portuale, dell'apparato vulcanico del Somma-Vesuvio, i cui prodotti, insieme a quelli provenienti dal distretto dei Campi Flegrei, hanno ricoperto il substrato pre-pleistocenico con una potente pila di materiali piroclastici, sia sciolti che variamente diagenizzati e, per il Somma-Vesuvio, anche di materiali lavici.

A detti terreni vulcanici si sono poi sovrapposti materiali vari di riporto, connessi con le opere di urbanizzazione cittadina e di costruzione o ampliamento delle infrastrutture portuali.

Qui, sono segnalate, sull'intera area portuale, "sabbie del litorale con ricoprimento di terreni artificiali in spessore di qualche metro" talvolta su substrato tufaceo, che se presente, dovrebbe trovarsi a non meno di 30 m di profondità.

Dati più particolareggiati sono stati acquisiti nel corso di varie campagne di indagine effettuate in occasione di lavori di ampliamento e sistemazione delle infrastrutture portuali. Tali campagne hanno confermato che l'area del molo Cesareo Console, sia sostanzialmente omogenea dal punto di vista stratigrafico sia per la parte a terra che per quella a mare. In tutta l'area, in particolare, non si rinviene il substrato tufaceo, almeno fino ai 50 m circa di profondità, ma solo terreni sciolti di origine vulcanica, in prevalenza costituiti da sabbie di diversa granulometria e subordinatamente da materiale cineritico.

In corrispondenza del molo i terreni in sede risultano ricoperti da strutture murarie e materiali eterogenei di riporto, con spessore anche dell'ordine di 20 m. Negli adiacenti specchi marini, viceversa, si riscontra la presenza di melma di fondale, con spessori localmente anche superiori ai 7 m, da ascrivere essenzialmente alle diverse operazioni di dragaggio effettuate a più riprese dal Genio Civile.

I terreni sciolti di origine piroclastica sono suddividibili in tre diversi banchi sovrapposti. Procedendo dall'alto verso il basso, il primo banco, della spessore mediamente compreso tra i 4.0 ed i 6.0 m e quota di sommità intorno a -14,0 m. s. l. m. m., è costituito da sabbie prevalentemente fini e più o meno limose, frammiste a residui organici, frammenti di conchiglie e alghe marine. Il secondo banco, dello spessore mediamente pari a 8.0 - 9.0 m e all'incirca compreso tra (-19.0) e (-27.0) m.s.l.m.m. si differenzia dal primo per la presenza, nelle stesse sabbie fini più o meno limose, per lo più frammiste a residui organici ed alghe marine, di intercalazioni di pozzolane e/o ceneri vulcaniche costituite da materiale a granulometria essenzialmente limosa. Il terzo banco, infine, rinvenuto per spessori superiori ai 20 m a partire da circa (-25.0) m.s.l.m.m. costituito essenzialmente da sabbie vulcaniche a volte frammiste a pomici, ed è caratterizzato dalla assenza di intercalazioni di ceneri e di inclusioni organiche e di alghe marine.

Per quanto riguarda specificamente l'area in prossimità dell'ingresso di levante del bacino n.3 e quella ad essa circostante, è stata eseguita una apposita indagine che ha previsto l'esecuzione di n. 9 sondaggi verticali a carotaggio continuo, di cui uno con asse inclinato.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal carotaggio continuo verticale, è possibile proporre per l'area in esame, procedendo dall'alto verso il basso, la seguente sequenza litostratigrafica:

- ***materiale di riempimento***, per uno spessore medio di 20.00 m costituito prevalentemente da conglomerato cementizio magro con intercalazioni di materiale sciolto. In particolare, nella parte più superficiale il carotaggio restituisce inerti calcarei, blocchi di calcestruzzo ed intercalazioni di sabbia cineritica ricca di clasti eterogenei. A circa 6.0 m dal p.c. ed alla base dello strato si rinvenivano materiali torbosi, di colore nerastro a bassissima consistenza.
- ***materiali cineritici*** in posto, a granulometria medio-fine, a partire da circa 23.0 m p. c., mediamente addensati, talvolta intercalati da sottili livelli torbosi.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle sabbie che costituiscono il sottosuolo dell'intera area su cui sorge il molo Cesareo Console, si fa riferimento ai dati in nostro possesso di prove penetrometriche dinamiche tipo SPT, le quali hanno fatto registrare un numero di colpi N che aumenta proporzionalmente con la profondità, con ciò denotandosi un progressivo addensamento dei terreni da cui si deduce in base alla ben nota correlazione proposta da De Mello (1971), corrispondono angoli di attrito generalmente intorno a 40°, e comunque mai inferiori a 35°.

Dei carotaggi prima citati, tre in particolare sono stati eseguiti sul filo della banchina 33 B per conoscere a quali quote le attuali strutture di banchina fossero imbasate.

Ne è risultato che a partire dallo spigolo lato mare e procedendo verso l'interno l'imbasamento passa da circa -12.50 a - 11.00, che collima con un fondale di progetto di detta banchina intorno a - 10.00 m.

6. GLI INTERVENTI PREVISTI

Per la messa in sicurezza della banchina in oggetto si è prevista l'esecuzione di un insieme di interventi da effettuarsi sia da mare che da terra.

Più precisamente, operando da un apposito pontone, si realizzerà dapprima una doppia fila di micropali del diametro di 250 mm a ridosso del filo esterno della banchina, in modo da costituire un contrasto al piede attuale della banchina nel corso dei lavori, prevenire futuri dissesti del paramento nella successiva fase di dragaggio del fondale e limitare eventuali successivi fenomeni di erosione e/o dilavamento dei terreni di sedime della banchina. I micropali saranno armati con tubo di acciaio $\varnothing 168.3/88$ mm ed avranno lunghezza di 18 m. Operando invece dalla terraferma si procederà al rinforzo del paramento esterno in muratura della banchina attraverso l'esecuzione di una ulteriore fila di micropali accostati, di caratteristiche analoghe a quelli prima descritti, anche in questo caso di lunghezza pari a 18.0 m.

Il corpo della banchina, per una estensione di 6.0 m circa dal suo ciglio attuale, sarà consolidato mediante iniezioni cementizie attraverso tubi in acciaio $\varnothing 114.3/8$ mm con valvole a manchettes (min 1 valvola/m) della lunghezza di 14 m e disposti a quinconce con maglia equilatera di lato pari ad 1.20 m, da iniettarsi valvola per valvola utilizzando un idoneo doppio packer.

Si sottolinea come l'effettivo raggio di influenza delle iniezioni dovrà essere verificato in sito mediante un apposito campo prova preliminare e che l'attuale dimensionamento scaturisce da analoghi interventi (che hanno presentato buoni risultati) in terreni di caratteristiche simili.

Per quanto concerne le bitte di ormeggio, per le quali si prevede un'azione di tiro massima di 200 kN, si realizzerà un' apposita struttura di fondazione resa del tutto indipendente dal resto della banchina nel suo complesso.

In corrispondenza di ogni bitta, verrà realizzata una sorta di plinto di fondazione giuntato rispetto alla soletta superiore, della quale manterrà inalterato lo spessore. Mentre l'eventuale componente verticale del tiro, peraltro di ridotta entità, verrà assorbita dai micropali che saranno eseguiti lungo il ciglio della intera banchina, l'azione orizzontale trasmessa alla bitte verrà affidata ad una coppia di tiranti di ancoraggio del diametro

nominale non inferiore a 120 mm ed armati con barra di acciaio $\varnothing 26.5$ a filettatura continua tipo Dywidag o analoga con doppia protezione contro la corrosione. Detti tiranti saranno inclinati di 20° rispetto all'orizzontale, ed avranno pari angolazione, ma su lati opposti, rispetto alla normale alla banchina. La loro lunghezza complessiva sarà pari a 20 m, di cui i primi 14 m saranno liberi, in modo da non trasferire alcuna azione né al corpo della banchina né al cuneo di spinta retrostante e gli ultimi 6.0 m costituiranno l'ancoraggio vero e proprio, da iniettarsi a pressione. In accordo con le norme vigenti, si sottolinea che il carico limite dei tiranti, che in questa fase è stato necessariamente determinato attraverso formulazioni teoriche, dovrà essere comunque verificato sperimentalmente mediante l'esecuzione di un apposito campo prove preliminare.

Gli interventi saranno completati con l'esecuzione di una soletta superiore in c.a. dello spessore di circa 80 cm, nella quale si attesteranno naturalmente le teste di tutti i micropali, ed all'interno della quale saranno alloggiati anche i nuovi cavidotti a servizio della banchina.

In definitiva, appare utile sottolineare e ribadire quanto segue:

- a) La soluzione proposta consiste nel creare una struttura di banchina a gravità, ma nel rispetto della meccanica dei terreni e delle verifiche e delle norme vigenti. Va sottolineato che sarebbe del tutto impossibile verificare positivamente la banchina originaria nella sua configurazione, a meno di non ipotizzare che il materiale di riempimento a tergo, almeno in passato, fosse stato in qualche modo "legato" (ipotesi che non è stata riscontrata) e che nel corso dei decenni abbia poi subito il degrado che rende oggi necessario l'intervento proposto di cementazione.
- b) La muratura che costituisce il paramento della banchina, allo stato, non risulta integro. In realtà parte della banchina ha subito dissesti, e non si esclude che nella parte attualmente posta al disotto del fondale e che verrà nuovamente esposta direttamente all'acqua a seguito delle previste operazioni di dragaggio, non si siano già verificati in passato ulteriori dissesti.
- c) I micropali realizzati all'esterno della banchina, la cui funzione è stata già ampiamente discussa e giustificata in precedenza, a parte la funzione di "barriera" fungerà anche da elemento di salvaguardia e prevenzione del paramento durante il

dragaggio, e ancora di più se dovesse riscontrarsi la presenza di porzioni di banchina dissestate allo stato attuale non rilevabili mediante ispezione subacquea perché coperte dai depositi di fondale che dovranno essere un giorno rimossi.

Nell'esecuzione a ridosso del paramento esterno della banchina, nel tratto dei micropali che fuoriesce dall'attuale fondale, è stato previsto l'uso di una tubazione "a perdere".

Tale tubazione, nel suo sviluppo fino all'attuale fondale, opportunamente trattata con polveri epossidiche, garantirà la necessaria curabilità delle porzioni di micropali maggiormente esposte alle azioni dinamiche ed a quelle derivanti dal passaggio asciutto/bagnato.

7. FASI ESECUTIVE

La successione logica delle fasi esecutive è stata definita nell'ottica di assicurare le migliori condizioni possibili di sicurezza per gli operatori, pur dovendosi comunque tenere conto che i lavori dovranno essere effettuati su strutture e superfici che non possono essere ritenute del tutto stabili.

In linea di principio, i lavori si articoleranno come segue:

- disaggio di eventuali porzioni instabili del paramento esterno della banchina;
- esecuzione dei micropali al piede della banchina operando preferibilmente da mare;
- consolidamento del corpo della banchina con le iniezioni in pressione, partendo dall'allineamento a maggiore distanza dal ciglio e procedendo progressivamente verso di esso;
- esecuzione dei micropali subito a tergo del paramento ed eventuale sigillatura dei vuoti esistenti;
- realizzazione dei tiranti in corrispondenza delle fondazioni delle bitte;
- getto della soletta superiore in c.a. ed esecuzione dei cavidotti.

8. VERIFICHE BANCHINA

8.1. Criteri ed ipotesi di calcolo

I calcoli sono stati svolti agli stati limite secondo i criteri definiti nelle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2008). In tale ambito, le verifiche a *scorrimento e ribaltamento* del muro di banchina una volta consolidato mediante gli interventi previsti sono state effettuate prescindendo completamente - a vantaggio di statica - dalla presenza dei micropali eseguiti al piede delle banchine attuali operando esternamente ad esse. Tali verifiche sono state effettuate secondo i classici principi della meccanica delle terre, ipotizzando che il terreno a monte si trovi in condizione di stato limite attivo, con coefficiente di spinta determinato mediante l'espressione di Coulomb in base all'angolo di attrito del terreno e ad un angolo di attrito terra-muro pari a $\phi/2$.

Circa la geometria del problema ed i carichi applicati, con riferimento anche allo schema della Fig. 1, si precisa che le verifiche, tenendo conto dell'estensione prevista dell'intervento di consolidamento, sono state condotte tenendo conto di una larghezza complessiva della struttura di banchina pari a 6.0 m e considerando la presenza a monte di un sovraccarico distribuito q di 40 kN/m², il 30% del quale è stato considerato anche in concomitanza con le azioni derivanti dal sisma.

La profondità del fondale antistante, a seguito dei previsti lavori di dragaggio, sarà come detto intorno ai -10.50 m slmm, mentre l'altezza totale del muro considerata nei calcoli, a partire dalla quota banchina pari a circa +2.0 slmm e riferita all'estremità inferiore della zona consolidata, è pari a circa 15.0 m.

Non è possibile, per le motivazioni già esposte sul ruolo svolto dalla paratia di micropali sul ciglio banchina, eseguire una verifica degli stessi in maniera esplicita ed isolata e nè dei micropali nel corpo della banchina che contribuiscono a "cucire" e consolidare le murature del paramento la cui geometria è piuttosto irregolare, prevenendo così ogni possibile disarticolazione e/o crollo parziale.

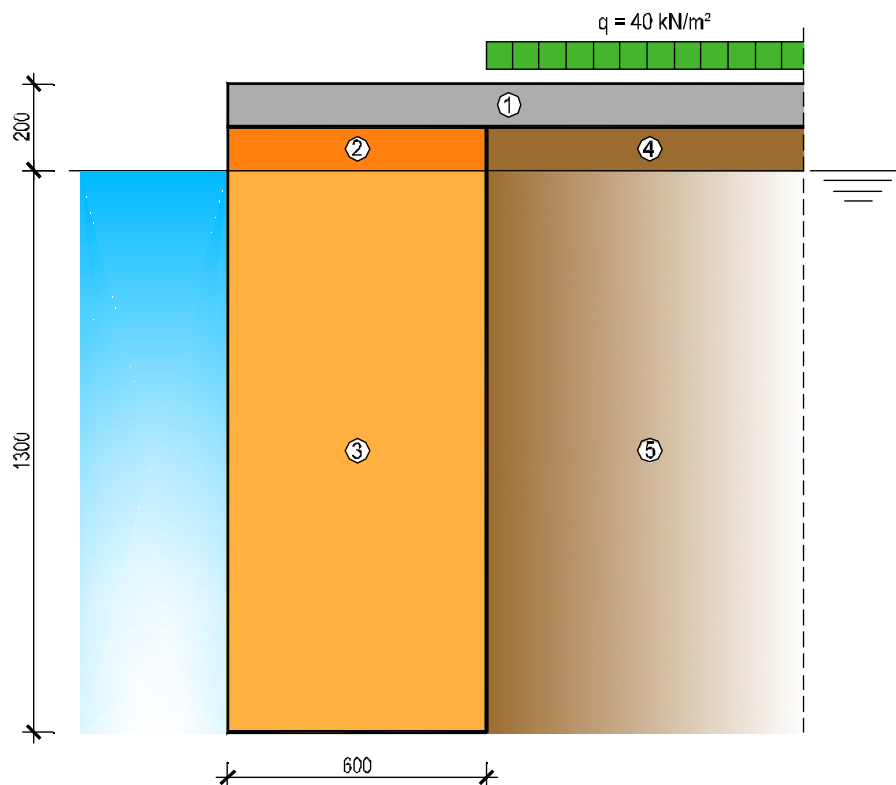
In effetti i pali sul ciglio, sia quelli interni che le cementazioni interne, contribuiscono tutti alla creazione di un "masso consolidato" di terreno ed alla sua monoliticità.

Per quanto concerne la determinazione delle spinte esercitate dai terreni retrostanti la struttura della banchina consolidata, con riferimento alla Tabella 1 e come riportato

graficamente negli schemi qualitativi delle Figg. 2 e 3 rispettivamente per quanto riguarda le azioni in condizioni statica ed in presenza di sisma, si considera il primo metro fuori terra, costituito essenzialmente dalla soletta in c.a. e dalla pavimentazione, come non spingente e caratterizzato con un peso medio dell'unità di volume pari a 23 kN/m^3 ; per i terreni sottostanti, in analogia con quanto assunto in altri casi simili esaminati sempre in ambito portuale, si assumono invece i seguenti valori medi caratteristici delle principali proprietà fisiche e meccaniche:

- peso dell'unità di volume : $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- peso immerso dell'unità di volume : $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito : $\varphi' = 40^\circ$
- coesione : $c' = 0$
- angolo di attrito terra-muro : $\delta = 20^\circ$

Per i terreni consolidati si considera invece un peso dell'unità di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, al quale corrisponde un peso immerso $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$.



- Legenda:
- 1: soletta superiore e pavimentazione
 - 2: materiale consolidato sopra falda
 - 3: materiale consolidato sotto falda
 - 4: terreni a tergo della banchina sopra falda
 - 5: terreni a tergo della banchina sotto falda
 - q: sovraccarico accidentale

Fig. 1 – Schema geometrico di riferimento e carichi esterni applicati

Materiale	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)
1	23	-	-	-
2 - 3	20	10	-	-
4 - 5	19	9	40	0

Tabella 1 – Sintesi valori caratteristici dei principali parametri geotecnici

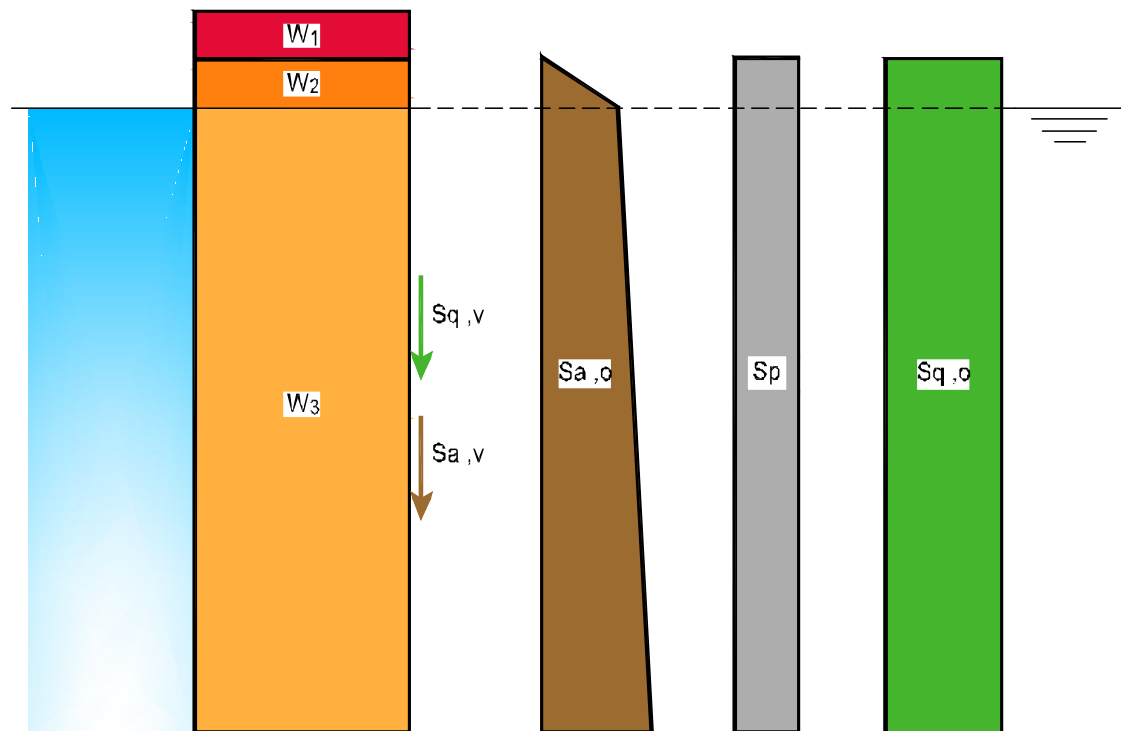


Fig. 2 – Combinazioni SLU. Schema qualitativo diagrammi si spinta

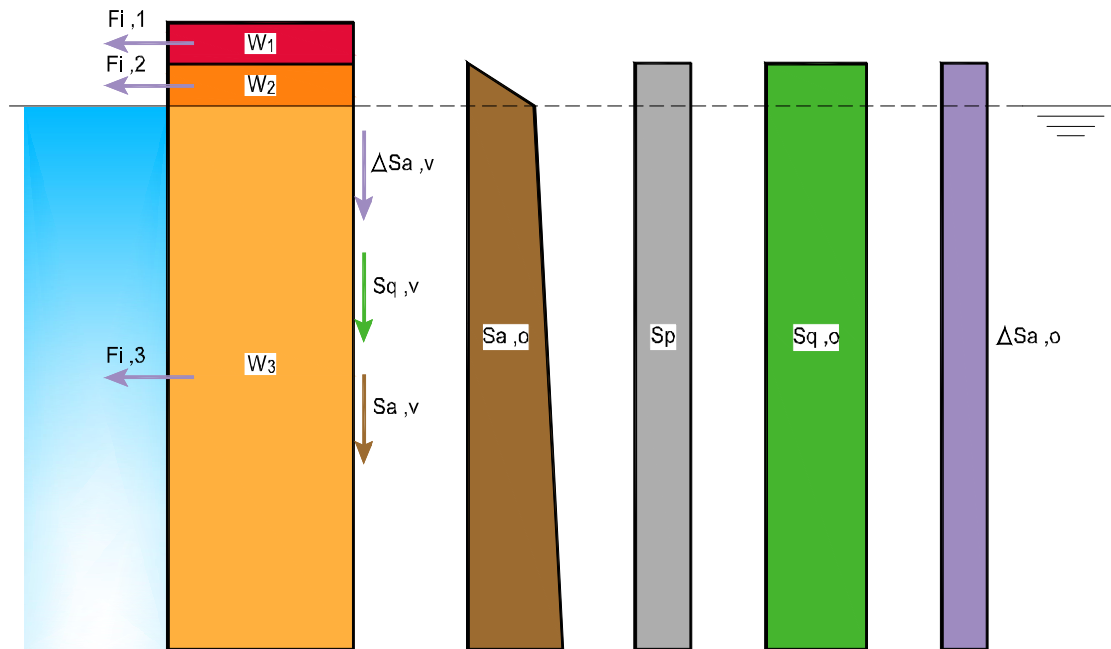


Fig. 3 – Combinazione SLV. Schema qualitativo diagrammi si spinta

In accordo con le succitate NTC 2008, l'azione sismica è stata valutata mediante l'analisi pseudo-statica calcolando il coefficiente sismico da applicare alle forze di gravità mediante l'espressione:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{\max} / g = \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g / g = 0.24 \cdot 1.46 \cdot 1.00 \cdot 0.1677 = 0.059$$

dove β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima a_{\max} attesa al sito, comprensiva degli effetti di amplificazione dovuti alla stratigrafia (coefficiente S_S) ed alla topografica del sito (coefficiente S_T), definito in funzione del tipo di sottosuolo e del valore stesso di a_{\max} .

Le verifiche di sicurezza, effettuate -come già detto- con riferimento agli stati limite ultimi di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno, di scorrimento sul piano di posa e di ribaltamento, sono state eseguite accertando che in ogni caso sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d ed R_d sono i valori di progetto, rispettivamente, dell'azione e della resistenza del sistema geotecnico.

L'azione di progetto in condizioni statiche e sismiche è stata applicata rispettivamente attraverso le combinazioni:

Combinazione SLU: $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{G2} \cdot Q_{K1} + \gamma_{QK}$

Combinazione SLV: $E + G_1 + G_2 + 0.3 \cdot Q_{K1}$

in cui:

- G_1 = carichi permanenti
- G_2 = carichi permanenti non strutturali
- Q_{K1} = carichi variabili
- E = azione sismica

In accordo con quanto previsto specificamente dalle NTC per le opere di sostegno, le verifiche di stabilità globale sono state effettuate secondo l'approccio progettuale 1 ed in particolare utilizzando la combinazione 2 dei gruppi di coefficienti parziali rispettivamente definiti per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) e per la resistenza globale del sistema (R), mentre le verifiche di scorrimento sono state effettuate sempre secondo l'approccio 1, ma considerando entrambe le combinazioni 1 e 2.

Precisamente, con riferimento agli SLU, i suddetti coefficienti assumono i valori di seguito riportati:

- *Approccio 1 – combinazione 1 ($A_1 + M_1 + R_1$):*

Coefficienti parziali per le azioni A_1 : $\gamma_{G1} = 1.0$ (favorevole); 1.3 (sfavorevole)
 $\gamma_{G2} = 0.0$ (favorevole); 1.5 (sfavorevole)
 $\gamma_{QK} = 0.0$ (favorevole); 1.5 (sfavorevole)

Coefficienti parziali per la resistenza materiali M_1 : $\gamma_\phi = 1.00$; $\gamma_c = 1.00$; $\gamma_\gamma = 1.00$

Coefficiente parziale verifica allo scorrimento R_1 : $\gamma_R = 1.00$

- *Approccio 1 – combinazione 2 ($A_2 + M_2 + R_2$):*

Coefficienti parziali per le azioni A_2 : $\gamma_{G1} = 1.0$
 $\gamma_{G2} = 0.0$ (favorevole); 1.3 (sfavorevole)

$$\gamma_{QK} = 0.0 \text{ (favorevole); } 1.3 \text{ (sfavorevole)}$$

Coefficienti parziali per la resistenza materiali M_2 : $\gamma_\phi = 1.25$; $\gamma_c = 1.25$; $\gamma_\gamma = 1.00$

Coefficiente parziale verifica allo scorrimento R_2 : $\gamma_R = 1.00$

Nel caso degli SLU di ribaltamento si sono invece considerati:

Coefficienti parziali per le azioni EQU: $\gamma_{G1} = 0.9$ (favorevole); 1.1 (sfavorevole)

$$\gamma_{G2} = 0.0 \text{ (favorevole); } 1.5 \text{ (sfavorevole)}$$

$$\gamma_{QK} = 0.0 \text{ (favorevole); } 1.5 \text{ (sfavorevole)}$$

Coefficienti parziali per la resistenza materiali M_2 : $\gamma_\phi = 1.25$; $\gamma_c = 1.25$; $\gamma_\gamma = 1.00$

Per quanto riguarda le verifiche sotto l'azione sismica di progetto, esse sono state effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali delle azioni, così come già evidenziato nella espressione generale relativa alla *Combinazione* SLV, ed impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto con i valori dei coefficienti parziali indicati nelle omologhe verifiche agli SLU.

8.2. Determinazione delle azioni elementari

- *Calcolo delle azioni con i coefficienti M_1*

Il coefficiente parziale γ_ϕ è pari ad 1.00, e pertanto i coefficienti di spinta attiva valgono:

$$K_{a, \text{oriz}} = 0.187; \quad K_{a, \text{vert}} = 0.068 \text{ (condiz. statica)}$$

$$K_{aS, \text{oriz}} = 0.211; \quad K_{aS, \text{vert}} = 0.091 \text{ (condiz. sismica)}$$

Con riferimento alla generica striscia di larghezza unitaria, si calcola quindi:

• G_1

Peso proprio

$$W_1 = (23 \cdot 1.0 + 20 \cdot 1 + 10 \cdot 13.0) \cdot 6 = 1038.0 \text{ kN/m}$$

Spinta del terrapieno

$$\begin{aligned} S_{a,0} &= (23 \cdot 1.0 \cdot 14.0 + 0.5 \cdot 19 \cdot 1.0^2 + 19 \cdot 13 + 0.5 \cdot 9 \cdot 13.0^2) \cdot 0.187 = \\ &= 60.3 + 190.6 = 250.9 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$S_{a,v} = 250.9 / 0.187 \cdot 0.068 = 91.3 \text{ kN/m}$$

- Q_{K1}

Spinta del sovraccarico su terrapieno

$$S_{q,o} = 40 \cdot 14.0 \cdot 0.187 = 104.9 \text{ kN/m}$$

- *Calcolo delle azioni con i coefficienti M2*

In questo caso $\gamma_\phi = 1.25$, e quindi risulta:

$$K_{a,oriz} = 0.247; \quad K_{a,vert} = 0.075 \text{ (condiz. statica)}$$

$$K_{aS,oriz} = 0.274; \quad K_{aS,vert} = 0.102 \text{ (condiz. sismica)}$$

Sempre con riferimento alla generica striscia di larghezza unitaria, si calcola:

- G_1

Peso proprio

$$W_1 = (23 \cdot 1.0 + 20 \cdot 1 + 10 \cdot 13.0) \cdot 6 = 1038.0 \text{ kN/m}$$

Spinta del terrapieno

$$S_{a,o} = (23 \cdot 1.0 \cdot 14.0 + 0.5 \cdot 19 \cdot 1.0^2 + 19 \cdot 13 + 0.5 \cdot 9 \cdot 13.0^2) \cdot 0.247 = 79.4 + 250.8 = 330.2 \text{ kN/m}$$

$$S_{a,v} = 330.2 / 0.247 \cdot 0.075 = 100.5 \text{ kN/m}$$

- Q_{K1}

Spinta del sovraccarico sul terrapieno

$$S_{q,o} = 40 \cdot 14.0 \cdot 0.247 = 138.1 \text{ kN/m}$$

- E

Incremento di spinta del terrapieno in presenza di sisma

$$\Delta S_{a,o} = (23 \cdot 1.0 \cdot 14.0 + 0.5 \cdot 19 \cdot 1.0^2 + 19 \cdot 13 + 0.5 \cdot 9 \cdot 13.0^2) \cdot 0.027 = 60.8 \text{ kN/m}$$

$$\Delta S_{a,v} = \pm 100.5 / 0.075 \cdot 0.027 = \pm 35.5 \text{ kN/m}$$

Forza d'inerzia muro

$$F_{m,o} = (23 \cdot 1.0 + 20 \cdot 14.0) \cdot 6 \cdot 0.059 = 107.3 \text{ kN/m}$$

$$F_{m,v} = \pm (23 \cdot 1.0 + 20 \cdot 14.0) \cdot 6 \cdot 0.059 / 2 = \pm 53.6 \text{ kN/m}$$

8.3. Verifiche allo scorrimento

SLU Approccio I – combinazione I ($A_I + M_I + R_I$):

$$N = 1.0 \cdot 1038.0 + 1.3 \cdot 91.3 = 1156.7 \text{ kN/m}$$

$$T = 1.3 \cdot 250.9 + 1.5 \cdot 104.9 = 483.6 \text{ kN/m}$$

$$T_{lim} = 1156.7 \cdot \tan 35^\circ / (1.0 \cdot 1.0) = 809.9 \text{ kN/m} > T$$

SLU Approccio 1 – combinazione 2 ($A_2+M_2+R_2$):

$$N = 1.0 \cdot 1038.0 + 1.0 \cdot 100.5 = 1138.5 \text{ kN/m}$$

$$T = 1.0 \cdot 330.2 + 1.3 \cdot 138.1 = 509.7 \text{ kN/m}$$

$$T_{\text{lim}} = 1138.5 \cdot \tan 35^\circ / (1.25 \cdot 1.0) = 637.8 \text{ kN/m} > T$$

SLV:

$$N = 1038.0 + 100.5 - 53.6 - 35.5 = 1049.4 \text{ kN/m}$$

$$T = 330.2 + 60.8 + 107.3 + 0.3 \cdot 138.1 = 539.7 \text{ kN/m}$$

$$T_{\text{lim}} = 1049.4 \cdot \tan 35^\circ / (1.25 \cdot 1.0) = 587.9 \text{ kN/m} > T$$

8.4. Verifiche a ribaltamento

SLU:

$$M_{\text{rib}} = 1.1 \cdot (2.3 \cdot 14.33 + 60.9 \cdot 6.5 + 187.5 \cdot 4.33 + 79.4 \cdot 7.0) + 1.5 \cdot 138.1 \cdot 7.0 = 3427.8 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$M_{\text{stab}} = 0.9 \cdot 1038.0 \cdot 3.0 + 1.1 \cdot 100.5 \cdot 6.0 = 3466.2 \text{ kN} \cdot \text{m/m} > M_{\text{rib}}$$

SLV:

$$M_{\text{rib}} = 2.3 \cdot 14.33 + 60.9 \cdot 6.5 + 187.5 \cdot 4.33 + 79.4 \cdot 7.0 + 0.3 \cdot 138.1 \cdot 7.0 + \\ + 6.0 \cdot (1.4 \cdot 14.5 + 1.2 \cdot 13.5 + 15.3 \cdot 6.5) + 60.8 \cdot 7.0 = 3325.8 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$M_{\text{stab}} = (1038.0 - 53.6) \cdot 3.0 + (100.5 - 35.5) \cdot 6.0 = 3343.5 \text{ kN} \cdot \text{m/m} > M_{\text{rib}}$$

8.5. Verifiche di stabilità globale

Le verifiche sono state condotte mediante uno dei cosiddetti metodi dell'equilibrio limite, e precisamente con il ben noto metodo di Bishop semplificato, ossia in condizioni piane, analizzando una serie di superfici potenziali di scivolamento cilindriche con generatrice circolare. Più in particolare, i calcoli sono stati svolti utilizzando un apposito programma di calcolo (Slide v. 5.042) che consente di tenere conto dell'esatta geometria delle sezioni analizzate e della stratigrafia del sottosuolo, quali determinati attraverso i rilievi e le indagini appositamente eseguite. Le superfici di scivolamento analizzate vengono definite automaticamente dal programma attraverso una apposita procedura iterativa finalizzata all'individuazione delle superfici cui compete il coefficiente di sicurezza minimo, rimuovendo così le limitazioni e le approssimazioni insite negli usuali metodi basati di una

maglia predefinita entro la quale far variare di volta in volta il centro della superficie potenziale di scivolamento.

Per quanto attiene la stratigrafia del sottosuolo e le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni interessati dalle verifiche si è fatto riferimento ai risultati delle indagini eseguite. Al disotto della struttura di banchina e dei riporti retrostanti si è pertanto considerata la presenza di uno strato di sabbie limose mediamente addensate, che si estende mediamente fino ai 24 m di profondità. Si precisa che, secondo quanto sopra esposto ed in accordo con quanto previsto dalle Nuove norme Tecniche sulle Costruzioni, i valori dell'angolo di attrito dei terreni effettivamente utilizzati ai fini dei calcoli sono stati ricavati applicando un coefficiente parziale pari ad 1.25 ai corrispondenti valori della tangente dell'angolo di attrito caratteristico ϕ' , ottenendo i valori sintetizzati in Tabella 2. Nella Fig. 4 è invece riportato lo schema della sezione di calcolo analizzata riferita alla combinazione SLV con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso l'alto, che risulta essere quella più sfavorevole.

Terreno	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)
Riporti	19	33.9	0
Sabbie limose	19	24.8	0

Tabella 2 - Valori di calcolo per l'esecuzione delle verifiche di stabilità

I risultati delle analisi effettuate come sopra esposto in condizione statica (SLU) e sismica (SLV), quest'ultima analizzata sia con componente verticale verso il basso (+) che verso l'alto (-), sono riportati negli allegati Tabulati 1-3 e, in forma grafica, nelle Figure 5÷10. Più precisamente, previo un opportuno filtraggio dei risultati ottenuti teso ad eliminare, per maggiore chiarezza ed interpretazione dei risultati, le superfici potenziali di scivolamento meno significative, nelle figure anzidette sono rappresentati, per ognuno degli stati limite considerati, la superficie cui compete il coefficiente di sicurezza minimo e l'insieme delle superfici analizzate e dei relativi centri cui compete un coefficiente globale di sicurezza - oltre a quelli già applicati attraverso i coefficienti parziali sulle caratteristiche di resistenza dei terreni e sulle azioni- inferiore ad 1.7.

Dall'esame dei risultati si osserva che sia in combinazione SLU che in quella SLV la verifica è pienamente soddisfatta, essendosi ottenuto $FS_{min} > 1.1$.

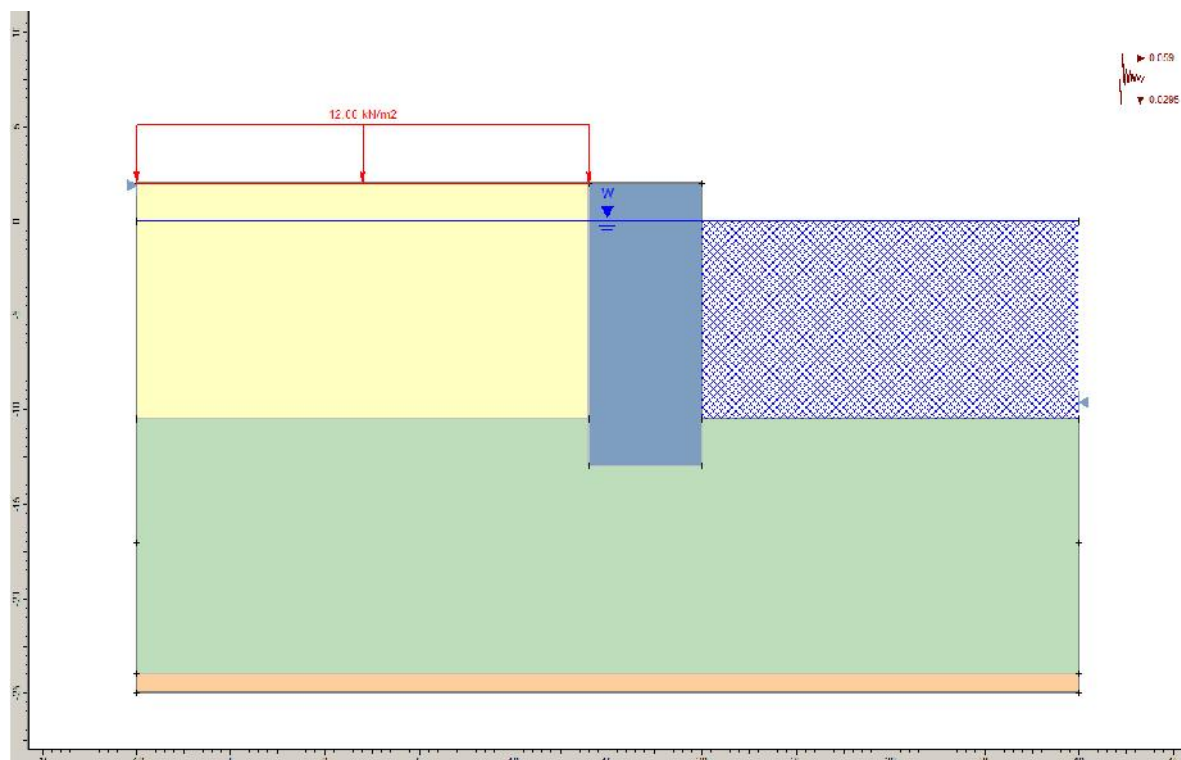


Fig. 4 – Schema di calcolo verifiche di stabilità globale (comb. SLV+)

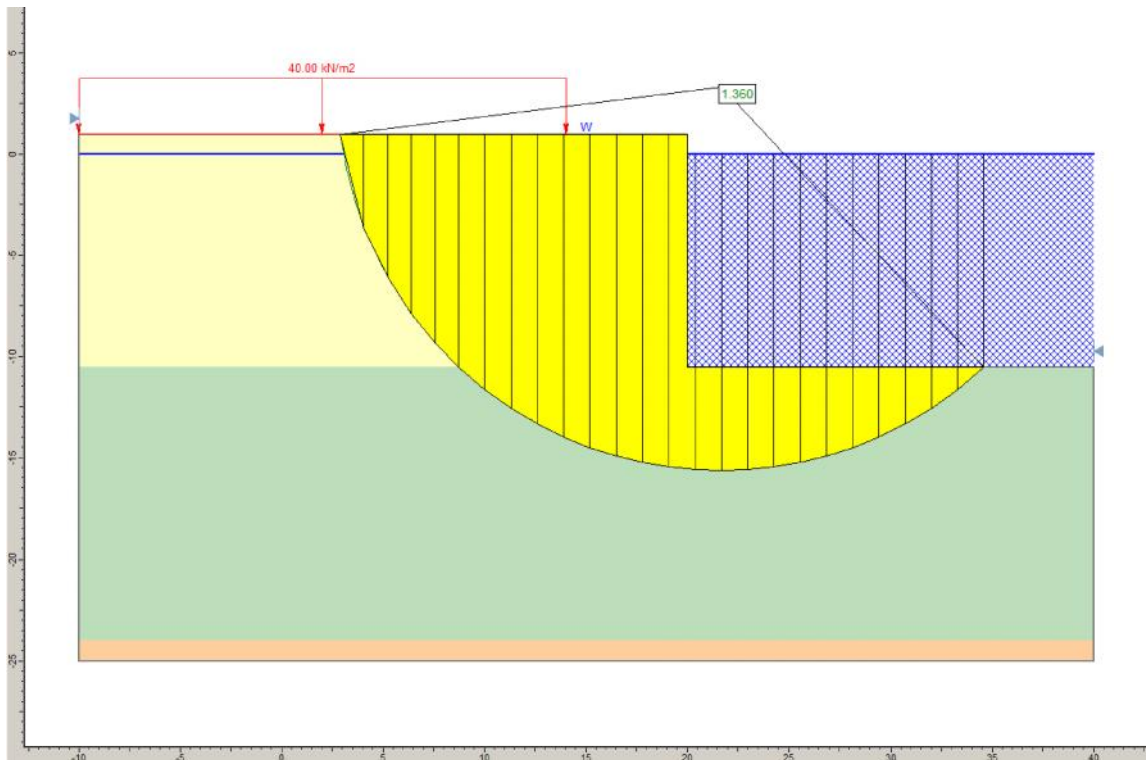


Fig. 5 – Verifica SLU. Superficie con coefficiente di sicurezza minimo

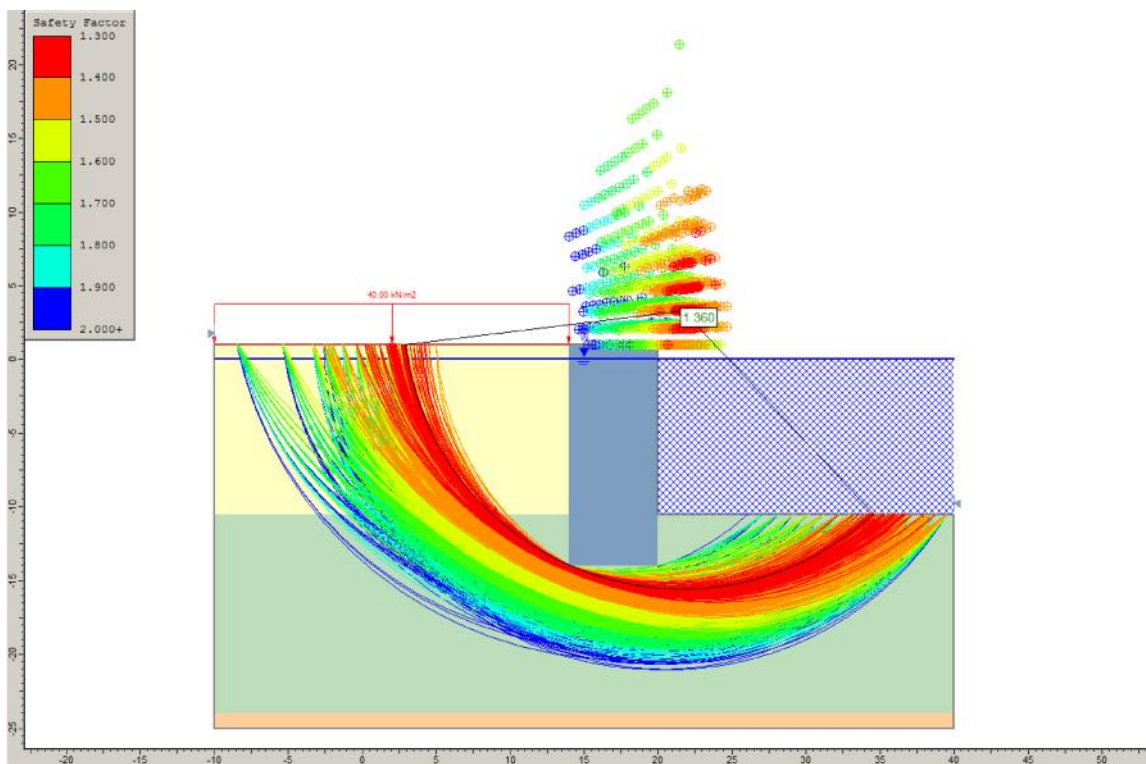


Fig. 6 – Verifica SLU. Andamento superfici con coefficiente di sicurezza < 2.0

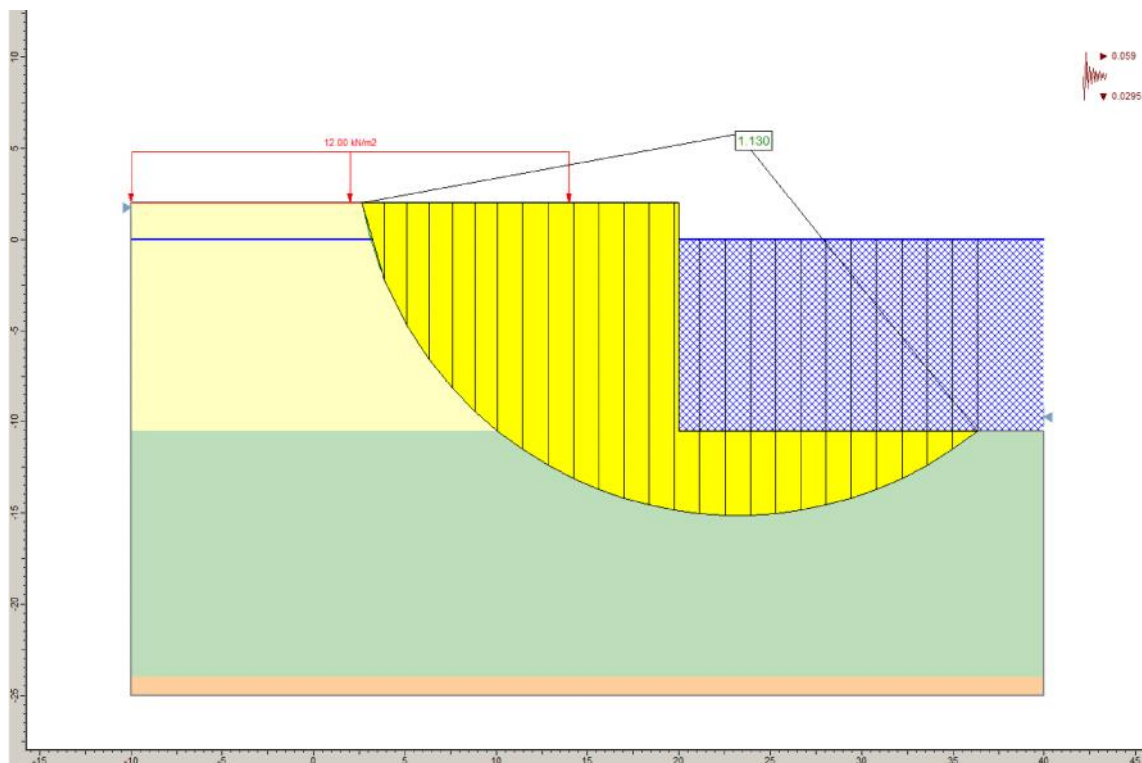


Fig. 7 – Verifica SLV+. Superficie con coefficiente di sicurezza minimo

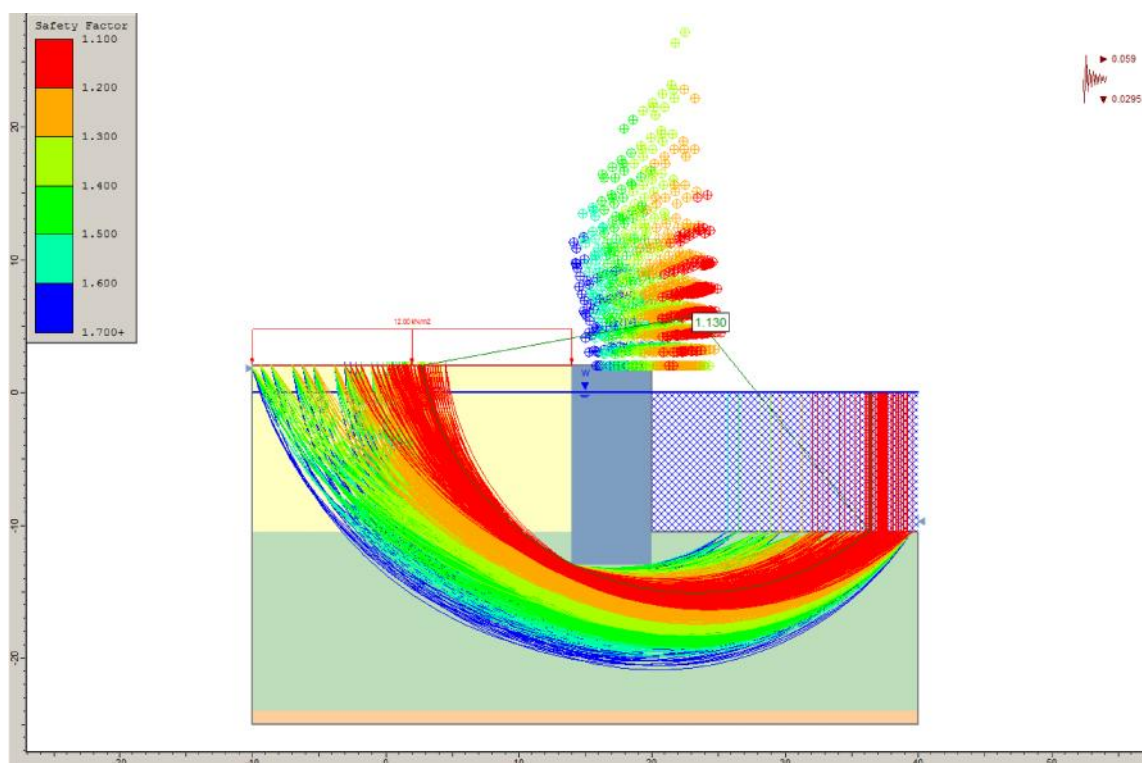


Fig. 8 – Verifica SLV+. Andamento superfici con coefficiente di sicurezza < 1.7

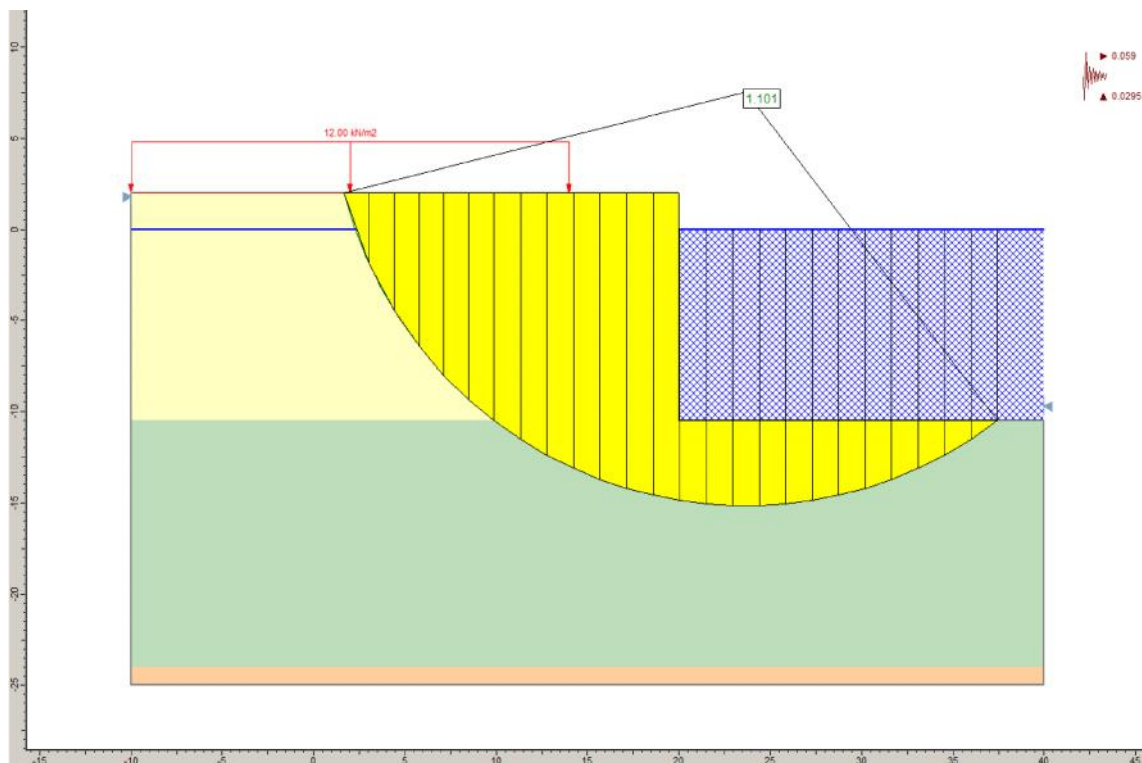


Fig. 9 – Verifica SLV-. Superficie con coefficiente di sicurezza minimo

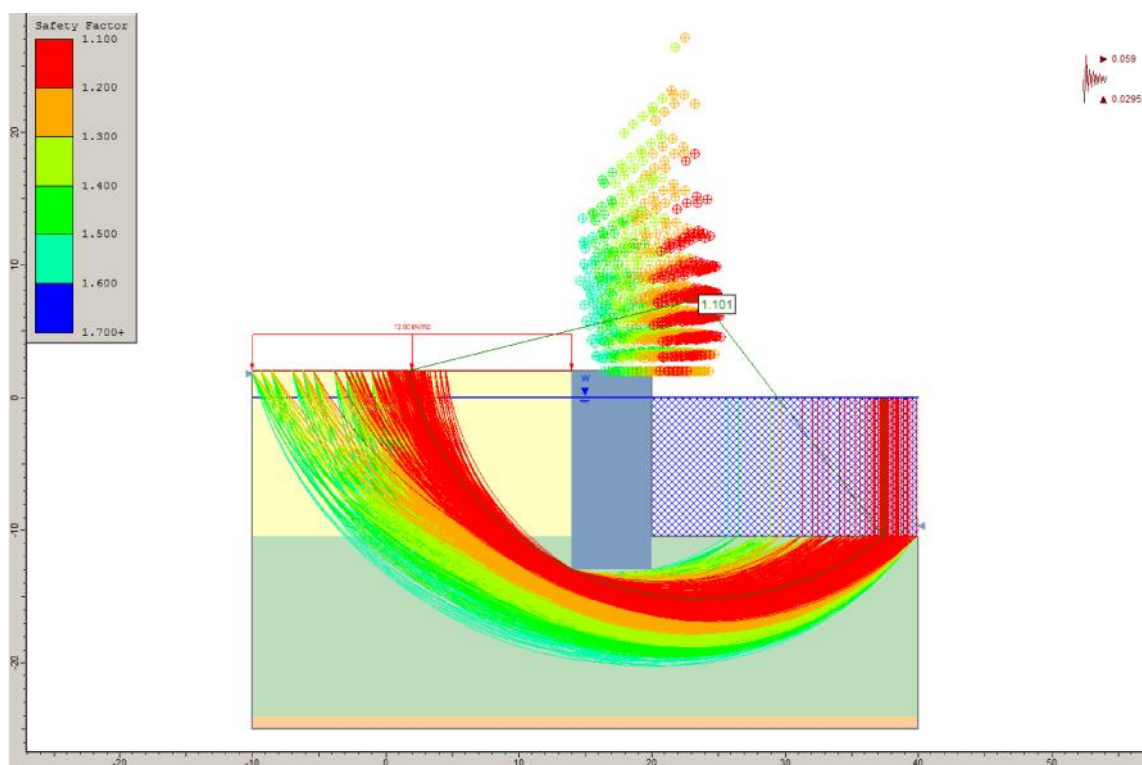


Fig. 10 – Verifica SLV-. Andamento superfici con coefficiente di sicurezza < 1.7

9. VERIFICHE FONDAZIONI BITTE

Le bitte, come si è detto, trasferiranno una azione massima $F = 200$ kN. Si considera che tale azione possa essere sia orizzontale che inclinata, fino ad un massimo di circa 40° rispetto all'orizzontale. In quest'ultimo caso la componente orizzontale e quella verticale dell'azione di progetto sono rispettivamente pari a:

$$F_o = 200 \cdot \cos 40^\circ = 153 \text{ kN}$$

$$F_v = 200 \cdot \sin 40^\circ = 129 \text{ kN}$$

La componente verticale verrà contrastata dal peso proprio della fondazione e sarà comunque assorbita dai micropali verticali disposti sul ciglio della banchina, rispetto alla resistenza a trazione dei quali risulta praticamente trascurabile, mentre quella orizzontale sarà affidata come si è detto ai tiranti sub-orizzontali.

Si riportano qui di seguito le verifiche relative a questi ultimi.

9.1 Verifica allo sfilamento degli ancoraggi

La verifica viene condotta rispetto alla combinazione (A1+M1+R3), dove per i coefficienti A1 ed M1 può farsi riferimento ai valori già esplicitati nel precedente §7, mentre il coefficiente parziale relativo alla resistenza, per tiranti permanenti come quelli qui previsti, vale $\gamma_{Ra,p} = 1.2$.

L'azione di trazione di progetto nel singolo ancoraggio, determinata con riferimento ad un tiro alla bitta applicato nel piano orizzontale, vale:

$$E_d = F/2 / \cos 20^\circ / \cos 20^\circ \cdot Q = 200/2 / \cos 20^\circ / \cos 20^\circ \cdot 1.5 = 170 \text{ kN}$$

Per quanto concerne il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dei tiranti, premesso che il diametro nominale di perforazione d degli ancoraggi sarà pari a 120 mm, il calcolo è stato condotto mediante l'espressione:

$$R_d = (\alpha \cdot \beta \cdot d \cdot L_{anc} \cdot q_s / \gamma_{Ra,p})$$

dove α è un coefficiente moltiplicativo funzione del terreno e delle modalità di iniezione; L_{anc} la lunghezza di ancoraggio; q_s il valore medio della resistenza limite unitaria e β il fattore di correlazione funzione del numero delle indagini effettuate.

Nel caso specifico quest'ultimo deve essere posto pari ad 1.80, mentre il valore di q_s , in base ai dati sperimentali relativi ad ancoraggi eseguiti in terreni granulari incoerenti (Bustamante, 1984; Ostermayer, 1974), è stato assunto in prima approssimazione mediamente pari a 150 kPa. Quanto al coefficiente γ_s , si è adottato un valore di 1.2.

Premesso quanto sopra, prevedendo l'utilizzo di ancoraggi della lunghezza complessiva di 20.0 m e con lunghezza valida ai fini dell'ancoraggio di 6.0 m, si ottiene:

$$R_d = (1.2 \cdot 0.12 \cdot 6 \cdot 150 / 1.8) / 1.2 = 188 \text{ kN}$$

Si ha quindi:

$$E_d = 170 \text{ kN} < R_d = 188 \text{ kN}$$

9.2 Verifica di resistenza

Per quanto riguarda la verifica di resistenza dell'armatura, costituita da una barra Dywidag in acciaio 950/1050 con doppia protezione contro la corrosione e diametro di 26.5 mm, la resistenza di progetto è pari a:

$$R_d = A \cdot f_{yk} / \gamma_s = 551 \cdot (950 / 1000) / 1.15 = 455 \text{ kN}$$

e pertanto è:

$$E_d = 170 \text{ kN} < R_d = 455 \text{ kN}$$

Nel rispetto della gerarchia delle resistenze, inoltre, la resistenza dell'armatura risulta maggiore della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio.

TABULATI

Tab. 1 – Combinazione SLU

Project Summary

-
- File Name: banch33_SLU
 - Slide Modeler Version: 5.042
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: seconds
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 20
- Circles per division: 20
- Number of iterations: 20
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2





Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m²]: 40
- Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	rip	sabbie	tufo	banchina
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unit Weight [kN/m ³]	19	19	14	20
Cohesion [kPa]	0	0	100	
Friction Angle [deg]	33.9	24.8	20.5	
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	None
Hu Value	1	1	1	
Ru Value				0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.360170
- Center: 21.652, 3.309
- Radius: 18.925
- Left Slip Surface Endpoint: 2.869, 1.000
- Right Slip Surface Endpoint: 34.593, -10.500
- Left Slope Intercept: 2.869 1.000
- Right Slope Intercept: 34.593 -0.000
- Resisting Moment=30684.5 kN-m
- Driving Moment=22559.3 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 5125
- Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36017

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.16852	51.1699		0	33.9	11.8801	16.159	36.8466	12.7996	24.047
2	1.16852	129.477		0	33.9	25.0995	34.1396	98.2052	47.4001	50.8051
3	1.16852	176.658		0	33.9	34.4166	46.8124	137.911	68.2471	69.6641
4	1.16852	212.732		0	33.9	42.2641	57.4864	169.735	84.1862	85.5489
5	1.16852	242.042		0	33.9	49.1846	66.8994	196.694	97.137	99.5565
6	1.29408	296.373		0	24.8	42.247	57.4631	232.8	108.438	124.362
7	1.29408	321.369		0	24.8	46.4267	63.1482	255.076	118.411	136.665
8	1.29408	342.262		0	24.8	50.1692	68.2387	274.429	126.747	147.682
9	1.29408	359.677		0	24.8	53.5419	72.8261	291.305	133.695	157.61

10	1.29408	391.764	0	24.8	49.7789	67.7077	285.959	139.426	146.533
11	1.29408	405.063	0	24.8	51.7017	70.3231	296.252	144.059	152.193
12	1.29408	414.136	0	24.8	54.014	73.4682	306.678	147.679	158.999
13	1.29408	420.822	0	24.8	56.0832	76.2827	315.437	150.346	165.091
14	1.29408	378.527	0	24.8	46.079	62.6753	287.745	152.103	135.642
15	1.29408	258.541	0	24.8	15.7195	21.3812	199.248	152.975	46.2735
16	1.29408	258.541	0	24.8	16.09	21.8852	200.339	152.975	47.364
17	1.29408	256.355	0	24.8	16.1936	22.0261	199.772	152.103	47.6691
18	1.29408	251.951	0	24.8	16.0119	21.7789	197.48	150.346	47.1338
19	1.29408	245.265	0	24.8	15.5196	21.1093	193.364	147.679	45.6846
20	1.29408	236.192	0	24.8	14.6819	19.9699	187.277	144.059	43.2182
21	1.29408	224.581	0	24.8	13.4499	18.2941	179.018	139.426	39.592
22	1.29408	210.218	0	24.8	11.7532	15.9863	168.293	133.695	34.5976
23	1.29408	192.803	0	24.8	9.48617	12.9028	154.671	126.747	27.9242
24	1.29408	171.91	0	24.8	6.47999	8.81389	137.486	118.411	19.075
25	1.29408	146.914	0	24.8	2.43964	3.31833	115.619	108.438	7.18138

• **Query 1 (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36017**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.16852	51.1699		0	33.9	11.8801	16.159	36.8466	12.7996	24.047
2	1.16852	129.477		0	33.9	25.0995	34.1396	98.2052	47.4001	50.8051
3	1.16852	176.658		0	33.9	34.4166	46.8124	137.911	68.2471	69.6641
4	1.16852	212.732		0	33.9	42.2641	57.4864	169.735	84.1862	85.5489
5	1.16852	242.042		0	33.9	49.1846	66.8994	196.694	97.137	99.5565
6	1.29408	296.373		0	24.8	42.247	57.4631	232.8	108.438	124.362
7	1.29408	321.369		0	24.8	46.4267	63.1482	255.076	118.411	136.665
8	1.29408	342.262		0	24.8	50.1692	68.2387	274.429	126.747	147.682
9	1.29408	359.677		0	24.8	53.5419	72.8261	291.305	133.695	157.61
10	1.29408	391.764		0	24.8	49.7789	67.7077	285.959	139.426	146.533
11	1.29408	405.063		0	24.8	51.7017	70.3231	296.252	144.059	152.193
12	1.29408	414.136		0	24.8	54.014	73.4682	306.678	147.679	158.999
13	1.29408	420.822		0	24.8	56.0832	76.2827	315.437	150.346	165.091
14	1.29408	378.527		0	24.8	46.079	62.6753	287.745	152.103	135.642
15	1.29408	258.541		0	24.8	15.7195	21.3812	199.248	152.975	46.2735
16	1.29408	258.541		0	24.8	16.09	21.8852	200.339	152.975	47.364
17	1.29408	256.355		0	24.8	16.1936	22.0261	199.772	152.103	47.6691

18	1.29408	251.951	0	24.8	16.0119	21.7789	197.48	150.346	47.1338
19	1.29408	245.265	0	24.8	15.5196	21.1093	193.364	147.679	45.6846
20	1.29408	236.192	0	24.8	14.6819	19.9699	187.277	144.059	43.2182
21	1.29408	224.581	0	24.8	13.4499	18.2941	179.018	139.426	39.592
22	1.29408	210.218	0	24.8	11.7532	15.9863	168.293	133.695	34.5976
23	1.29408	192.803	0	24.8	9.48617	12.9028	154.671	126.747	27.9242
24	1.29408	171.91	0	24.8	6.47999	8.81389	137.486	118.411	19.075
25	1.29408	146.914	0	24.8	2.43964	3.31833	115.619	108.438	7.18138

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36017

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	2.86854	1	0	0	0
2	4.03706	-3.6095	155.939	0	0
3	5.20559	-6.05412	366.634	0	0
4	6.37411	-7.85967	575.355	0	0
5	7.54263	-9.30367	770.981	0	0
6	8.71116	-10.5	948.721	0	0
7	10.0052	-11.6077	1151.82	0	0
8	11.2993	-12.5332	1327.73	0	0
9	12.5934	-13.3071	1475.08	0	0
10	13.8875	-13.9498	1592.89	0	0
11	15.1815	-14.4755	1678.68	0	0
12	16.4756	-14.8943	1735.73	0	0
13	17.7697	-15.2135	1763.6	0	0
14	19.0638	-15.4382	1761.77	0	0
15	20.3579	-15.5717	1740.46	0	0
16	21.6519	-15.616	1728.91	0	0
17	22.946	-15.5717	1699.18	0	0
18	24.2401	-15.4382	1651.51	0	0
19	25.5342	-15.2135	1586.39	0	0
20	26.8282	-14.8943	1504.55	0	0
21	28.1223	-14.4755	1407.09	0	0
22	29.4164	-13.9498	1295.55	0	0
23	30.7105	-13.3071	1172.16	0	0

24	32.0046	-12.5332	1040.16	0	0
25	33.2986	-11.6077	904.505	0	0
26	34.5927	-10.5	540.776	0	0

• **Query 1 (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36017**

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	2.86854	1	0	0	0
2	4.03706	-3.6095	155.939	0	0
3	5.20559	-6.05412	366.634	0	0
4	6.37411	-7.85967	575.355	0	0
5	7.54263	-9.30367	770.981	0	0
6	8.71116	-10.5	948.721	0	0
7	10.0052	-11.6077	1151.82	0	0
8	11.2993	-12.5332	1327.73	0	0
9	12.5934	-13.3071	1475.08	0	0
10	13.8875	-13.9498	1592.89	0	0
11	15.1815	-14.4755	1678.68	0	0
12	16.4756	-14.8943	1735.73	0	0
13	17.7697	-15.2135	1763.6	0	0
14	19.0638	-15.4382	1761.77	0	0
15	20.3579	-15.5717	1740.46	0	0
16	21.6519	-15.616	1728.91	0	0
17	22.946	-15.5717	1699.18	0	0
18	24.2401	-15.4382	1651.51	0	0
19	25.5342	-15.2135	1586.39	0	0
20	26.8282	-14.8943	1504.55	0	0
21	28.1223	-14.4755	1407.09	0	0
22	29.4164	-13.9498	1295.55	0	0
23	30.7105	-13.3071	1172.16	0	0
24	32.0046	-12.5332	1040.16	0	0
25	33.2986	-11.6077	904.505	0	0
26	34.5927	-10.5	540.776	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-10	0
40	0

Line Load

X	Y
14	1
-10	1

External Boundary

X	Y
-10	-25
40	-25
40	-24
40	-17
40	-10.5
20	-10.5
20	1
14	1
-10	1
-10	-10.5
-10	-17
-10	-24

Material Boundary

X	Y
14	1
14	-10.5
14	-14

20	-14
20	-10.5

Material Boundary

X	Y
-10	-24
40	-24

Material Boundary

X	Y
-10	-10.5
14	-10.5

Tab. 2 – Combinazione SLV+

Project Summary

-
- File Name: banch33_SLV (sisma v+)
 - Slide Modeler Version: 5.042
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: seconds
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

-
- Pseudo-random Seed: 10116
 - Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

-
- Surface Type: Circular
 - Search Method: Auto Refine Search
 - Divisions along slope: 20
 - Circles per division: 20
 - Number of iterations: 20
 - Divisions to use in next iteration: 50%
 - Composite Surfaces: Disabled
 - Minimum Elevation: Not Defined
 - Minimum Depth: 2





Loading

-
- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.059
 - Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.0295
 - 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m²]: 12
- Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	rip	sabbie	tufo	banchina
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unit Weight [kN/m ³]	19	19	14	20
Cohesion [kPa]	0	0	100	
Friction Angle [deg]	33.9	24.8	20.5	

Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	None
Hu Value	1	1	1	
Ru Value				0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.129700
- Center: 23.210, 5.796
- Radius: 20.932
- Left Slip Surface Endpoint: 2.626, 2.000
- Right Slip Surface Endpoint: 36.347, -10.500
- Left Slope Intercept: 2.626 2.000
- Right Slope Intercept: 36.347 0.000
- Resisting Moment=33009 kN-m
- Driving Moment=29219.3 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 7517
- Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1297

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.24135	49.5561		0	33.9	10.2574	11.5878	18.2365	0.991994	17.2445
2	1.24135	128.729		0	33.9	22.8526	25.8166	72.3417	33.9225	38.4192
3	1.24135	180.682		0	33.9	33.0883	37.3799	111.159	55.5313	55.6275
4	1.24135	221.07		0	33.9	42.1384	47.6038	143.172	72.3301	70.8419

5	1.24135	254.188	0	33.9	50.3617	56.8936	170.771	86.1048	84.6667
6	1.24135	282.036	0	33.9	57.9449	65.4604	195.103	97.6881	97.4153
7	1.38277	341.858	0	24.8	49.7113	56.1588	229.566	108.027	121.539
8	1.38277	366.627	0	24.8	54.6103	61.6933	250.792	117.276	133.516
9	1.38277	390.765	0	24.8	59.2657	66.9525	269.941	125.043	144.898
10	1.38277	425.501	0	24.8	64.3626	72.7104	288.873	131.514	157.359
11	1.38277	439.71	0	24.8	68.1402	76.978	303.415	136.819	166.596
12	1.38277	451.051	0	24.8	71.5998	80.8863	316.108	141.054	175.054
13	1.38277	459.706	0	24.8	74.7631	84.4599	327.074	144.286	182.788
14	1.38277	295.934	0	24.8	27.6366	31.2211	214.131	146.563	67.5679
15	1.38277	262.712	0	24.8	17.7745	20.0799	191.374	147.916	43.4575
16	1.38277	263.915	0	24.8	18.4407	20.8325	193.451	148.366	45.0852
17	1.38277	262.712	0	24.8	18.7686	21.2029	193.804	147.916	45.8879
18	1.38277	259.086	0	24.8	18.7336	21.1634	192.364	146.563	45.8011
19	1.38277	252.989	0	24.8	18.3026	20.6765	189.034	144.286	44.7481
20	1.38277	244.334	0	24.8	17.4306	19.6914	183.67	141.054	42.6163
21	1.38277	232.993	0	24.8	16.0557	18.1381	176.074	136.819	39.2547
22	1.38277	218.783	0	24.8	14.0898	15.9172	165.962	131.514	34.448
23	1.38277	201.453	0	24.8	11.4036	12.8827	152.923	125.043	27.8804
24	1.38277	180.651	0	24.8	7.79674	8.80798	136.338	117.276	19.0618
25	1.38277	155.882	0	24.8	2.93349	3.31396	115.199	108.027	7.17197

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1297

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	2.62604	2	0	0	0
2	3.86738	-2.20224	66.7741	0	0
3	5.10873	-4.71366	227.568	0	0
4	6.35007	-6.60772	407.531	0	0
5	7.59142	-8.13848	587.219	0	0
6	8.83276	-9.41602	757.618	0	0
7	10.0741	-10.5	913.529	0	0
8	11.4569	-11.5238	1099.72	0	0
9	12.8397	-12.3856	1261.65	0	0
10	14.2224	-13.1074	1397.28	0	0

11	15.6052	-13.7048	1505.61	0	0
12	16.988	-14.1891	1583.88	0	0
13	18.3707	-14.5682	1630.93	0	0
14	19.7535	-14.8479	1645.76	0	0
15	21.1363	-15.0323	1657.43	0	0
16	22.5191	-15.1239	1657.38	0	0
17	23.9018	-15.1239	1638.95	0	0
18	25.2846	-15.0323	1602.24	0	0
19	26.6674	-14.8479	1547.64	0	0
20	28.0501	-14.5682	1475.87	0	0
21	29.4329	-14.1891	1388.05	0	0
22	30.8157	-13.7048	1285.84	0	0
23	32.1985	-13.1074	1171.63	0	0
24	33.5812	-12.3856	1048.9	0	0
25	34.964	-11.5238	922.846	0	0
26	36.3468	-10.5	540.776	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-10	0
40	0

Line Load

X	Y
14	2
-10	2

External Boundary

X	Y
-10	-25

40	-25
40	-24
40	-17
40	-10.5
20	-10.5
20	2
14	2
-10	2
-10	-10.5
-10	-17
-10	-24

Material Boundary

X	Y
14	2
14	-10.5
14	-13
20	-13
20	-10.5

Material Boundary

X	Y
-10	-24
40	-24

Material Boundary

X	Y
-10	-10.5
14	-10.5

Tab. 3 – Combinazione SLV-

Project Summary

-
- File Name: banch33_SLV (sisma v-)
 - Slide Modeler Version: 5.042
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: seconds
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

-
- Pseudo-random Seed: 10116
 - Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

-
- Surface Type: Circular
 - Search Method: Auto Refine Search
 - Divisions along slope: 20
 - Circles per division: 20
 - Number of iterations: 20
 - Divisions to use in next iteration: 50%
 - Composite Surfaces: Disabled
 - Minimum Elevation: Not Defined
 - Minimum Depth: 2





Loading

-
- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.059
 - Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.0295
 - 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m²]: 12
- Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	rip	sabbie	tufo	banchina
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unit Weight [kN/m ³]	19	19	14	20
Cohesion [kPa]	0	0	100	
Friction Angle [deg]	33.9	24.8	20.5	

Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	None
Hu Value	1	1	1	
Ru Value				0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.100550
- Center: 23.668, 7.553
- Radius: 22.714
- Left Slip Surface Endpoint: 1.644, 2.000
- Right Slip Surface Endpoint: 37.452, -10.500
- Left Slope Intercept: 1.644 2.000
- Right Slope Intercept: 37.452 0.000
- Resisting Moment=33675.9 kN-m
- Driving Moment=30599.2 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 8705
- Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10055

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.37342	50.9451		0	33.9	10.6909	11.7659	17.5095	0	17.5095
2	1.37342	135.217		0	33.9	21.7888	23.9797	66.8981	31.2125	35.6856
3	1.37342	194.18		0	33.9	31.1861	34.3219	104.455	53.379	51.0763
4	1.37342	240.697		0	33.9	39.6268	43.6113	135.767	70.8661	64.9005

5	1.37342	279.051	0	33.9	47.3614	52.1236	162.853	85.2849	77.5679
6	1.37342	311.357	0	33.9	54.5315	60.0146	186.741	97.4297	89.3113
7	1.45093	358.663	0	24.8	46.6052	51.2914	219.016	108.011	111.005
8	1.45093	384.633	0	24.8	51.035	56.1666	238.809	117.253	121.556
9	1.45093	410.1	0	24.8	55.2407	60.7951	256.621	125.048	131.573
10	1.45093	446.615	0	24.8	59.7378	65.7444	273.848	131.564	142.284
11	1.45093	461.665	0	24.8	63.188	69.5415	287.421	136.92	150.501
12	1.45093	473.698	0	24.8	66.3547	73.0267	299.246	141.202	158.044
13	1.45093	476.757	0	24.8	67.6961	74.5029	305.713	144.474	161.239
14	1.45093	272.473	0	24.8	15.3355	16.8775	183.309	146.782	36.5265
15	1.45093	276.331	0	24.8	16.2371	17.8697	186.829	148.155	38.6737
16	1.45093	277.612	0	24.8	16.8434	18.537	188.728	148.611	40.1174
17	1.45093	276.331	0	24.8	17.1373	18.8605	188.973	148.155	40.8176
18	1.45093	272.473	0	24.8	17.096	18.815	187.502	146.782	40.7195
19	1.45093	265.988	0	24.8	16.6889	18.367	184.224	144.474	39.7503
20	1.45093	256.792	0	24.8	15.8753	17.4716	179.014	141.202	37.8117
21	1.45093	244.758	0	24.8	14.5994	16.0674	171.693	136.92	34.7728
22	1.45093	229.709	0	24.8	12.7834	14.0688	162.012	131.564	30.448
23	1.45093	211.398	0	24.8	10.3148	11.3519	149.616	125.048	24.5677
24	1.45093	189.491	0	24.8	7.02197	7.72803	133.978	117.253	16.7249
25	1.45093	163.521	0	24.8	2.62736	2.89154	114.269	108.011	6.25821

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10055

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	1.64404	2	0	0	0
2	3.01746	-1.90459	56.6435	0	0
3	4.39088	-4.45882	205.475	0	0
4	5.7643	-6.42374	379.211	0	0
5	7.13773	-8.02398	556.074	0	0
6	8.51115	-9.36335	725.405	0	0
7	9.88457	-10.5	880.903	0	0
8	11.3355	-11.5206	1057.77	0	0
9	12.7864	-12.3841	1212.37	0	0
10	14.2373	-13.11	1342.45	0	0

11	15.6883	-13.7125	1446.85	0	0
12	17.1392	-14.2018	1522.76	0	0
13	18.5901	-14.5855	1568.95	0	0
14	20.0411	-14.869	1584.95	0	0
15	21.492	-15.056	1604.17	0	0
16	22.9429	-15.1489	1605.38	0	0
17	24.3938	-15.1489	1588.43	0	0
18	25.8448	-15.056	1553.41	0	0
19	27.2957	-14.869	1500.72	0	0
20	28.7466	-14.5855	1431.09	0	0
21	30.1975	-14.2018	1345.63	0	0
22	31.6485	-13.7125	1245.98	0	0
23	33.0994	-13.11	1134.5	0	0
24	34.5503	-12.3841	1014.53	0	0
25	36.0012	-11.5206	890.993	0	0
26	37.4522	-10.5	540.776	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-10	0
40	0

Line Load

X	Y
14	2
-10	2

External Boundary

X	Y
-10	-25

40	-25
40	-24
40	-17
40	-10.5
20	-10.5
20	2
14	2
-10	2
-10	-10.5
-10	-17
-10	-24

Material Boundary

X	Y
14	2
14	-10.5
14	-13
20	-13
20	-10.5

Material Boundary

X	Y
-10	-24
40	-24

Material Boundary

X	Y
-10	-10.5
14	-10.5