

**PROGETTAZIONE
 GENERALE**

Ing. P. Rossetto
 Thetis S.p.a.

Ing. G. Zoletto
 Ing. E. Mantovani
 S.p.a.

Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia

Legge 798 del 29-11-1984
 Convenzione rep. n.7191 del 4-10-1991
 Atto Attuativo rep. n. 8513 del 27-07-2011 (Progettazione Preliminare)

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE
 AL LARGO DELLA COSTA DI VENEZIA**

DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO

PROGETTO PRELIMINARE

CUP: D73B11000150001

Progettazione
 Ambientale e
 Impiantistica



Progettazione
 Infrastrutture



Progetto
**RELAZIONE TECNICA
 OPERE CIVILI**

Cod.Elabor.

C2-REL-001

elaborato

controllato

approvato

Coordinamento alla
 Progettazione



Consorzio
 Venezia
 Nuova

Ing. M. Brotto

Settembre 2011

revisione		descrizione	elab.	contr.	appr.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

TERMINAL PLURIMODALE OFF – SHORE
al largo della COSTA VENETA

DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Gruppo di progettazione



TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

INDICE

1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2	GEOTECNICA DI RIFERIMENTO.....	4
3	PARAMETRI SISMICI	6
4	METODOLOGIA DI VERIFICA	9
5	VERIFICHE DI STABILITÀ	11
5.1	ANALISI DI TIPO GLOBALE	11
5.1.1	Stabilità della scogliera – Lato esterno	13
5.1.2	Stabilità della scogliera - Lato interno	17
5.1.3	Stabilità dei cassoni prefabbricati	18
5.2	ANALISI DI TIPO LOCALE	23
5.2.1	Mantellata	23
5.2.2	Filtro	25
5.2.3	Nucleo.....	25

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'esecuzione delle verifiche geotecniche riportate nei seguenti paragrafi è stata condotta con riferimento alle seguenti norme:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Si è fatto inoltre utile riferimento al documento: *"Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime"*, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, pubbl.1450, Roma 1996.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

2 GEOTECNICA DI RIFERIMENTO

A supporto della presente progettazione è stata condotta un rilievo sismico ad alta definizione e di un rilievo tomografico elettrico, con contestuale esecuzione di rilievo batimetrico single-beam, nella zona destinata alla realizzazione della diga del terminale.

La tomografia ha consentito l'individuazione dei livelli di iso-resistività, che possono essere impiegati per una prima suddivisione geologica e geotecnica dei terreni.

La seguente tabella contiene i parametri geotecnici da utilizzare nelle verifiche, stimati in base alle risultanze della tomografia elettrica ed all'esperienza maturata nella progettazione di opere geotecniche in aree limitrofe a quella in esame e caratterizzate da terreni analoghi.

Descrizione terreno	Quota [m s.l.m.]		Peso di volume	Angolo di attrito	Coesione efficace
	da	a	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kPa]
Sabbia sciolta	-22.0	-23.0	17	26	0
Limo sabbioso	-23.0	-28.0	18	28	2
Limo argilloso	-28.0	-30.0	18	27	5
Argilla organica	-30.0	-31.0	18	24	1
Caranto	-31.0	-33.0	19	27	5

Tabella 2.1 – Parametri geotecnici

Per quanto riguarda il caranto si evidenzia che la presenza di tale litotipo nella zona in esame è segnalata nella cartografia geologica disponibile (es. “*carta della quota della base dei depositi post-lgm*”, Primon S. e Fontana A., Provincia di Venezia e Università degli studi di Padova, anno 2008) e che i rilevamenti geoelettrici sembrano dimostrare la presenza di tale strato.

Tuttavia a livello di calcolo si è ritenuto cautelativo assegnare a tale strato parametri di resistenza meccanici modesti (rispetto alle caratteristiche del litotipo) per tenere in conto dell'attuale livello di conoscenza dei terreni di fondazione e della elevata variabilità geometrica che solitamente si riscontra.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Si sottolinea sin d'ora che le fasi successive della progettazione dovranno essere supportate da analisi geotecniche specifiche, che dovranno interessare i terreni di fondazione delle future opere dal punto di vista dell'estensione planimetrica. Dovranno inoltre essere spinte sino ad una quota tale per cui le modifiche allo stato tensionale indotte sul terreno dalle opere potranno risultare sufficientemente basse.

A livello indicativo si riporta il volume significativo da indagare, secondo quanto riportato nel testo "Elementi di Geotecnica", Pietro Colombo Francesco Colleselli, ed. Zanichelli, pag. 292 figura 13.1.

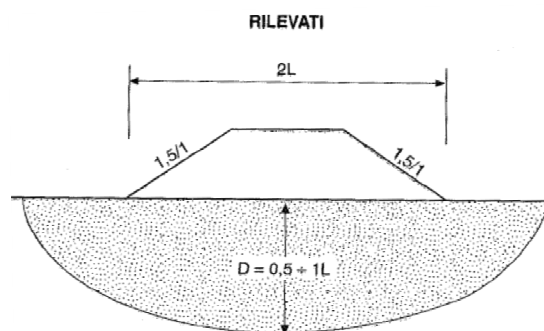


Figura 2.1 – Volume significativo di indagine (rif. "Elementi di Geotecnica, Pietro Colombo Francesco Colleselli, Ed. Zanichelli, pag.292, figura 13.1)

Per quanto riguarda la natura ed il numero di prove da effettuare si può fare riferimento a "Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio", redatte dall'Associazione Geotecnica Italiana e pubblicate nel 1994.

Le prove che potranno essere prese in considerazione per la futura caratterizzazione geotecnica dei terreni comprendono:

- Sondaggi con prelievo di campioni disturbati ed indisturbati;
- Prove penetrometriche dinamiche e/o statiche con misura della sovrappressione;
- Prove di laboratorio per la determinazione delle proprietà fisiche (peso di volume, contenuto d'acqua, granulometria, limiti di Atterberg) e meccaniche (resistenza a taglio del terreno, moduli di elasticità e di taglio). Potranno a tal fine essere eseguite prove di taglio diretto, in cella triassiale od edometriche;
- Prove sismiche down-hole e/o cross-hole per la determinazione dei moduli elastici e di taglio a basse deformazioni.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

3 PARAMETRI SISMICI

In condizioni sismiche i coefficienti amplificativi delle azioni variabili esterne è posto pari ad 1. Si somma la forza pseudostatica dovuta al sisma moltiplicando le masse strutturali e non gravanti sul cassone e sulla diga per l'accelerazione sismica di progetto.

Si considera una vita utile dell'opera di 100 anni e una classe d'uso IV. Lo stato limite preso in considerazione è quello di collasso (SLC), caratterizzato da probabilità di superamento del 5%.

Il periodo di riferimento del sisma da considerare si può calcolare con la seguente formula:

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

con:

- $V_R = V \times c_u = 100 \times 2 = 200$ anni;
- $P_{V_R} = 5\%$.

Si ottiene $T_R = 3899$ anni.

Dal momento che tale valore supera quello massimo di riferimento da normativa, pari a 2475 anni, occorre procedere con l'interpolazione dei dati per mezzo della seguente formula:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

dove, p , p_1 e p_2 sono rispettivamente l'accelerazione da ricavare per il tempo di ritorno T_R , quella relativa al tempo di ritorno T_{R1} e quella relativa al tempo di ritorno T_{R2} .

L'opera di progetto ricade al di fuori del reticolo di pericolosità sismica definito dal D.M. 14.01.2008. Si utilizza pertanto come riferimento la mappatura della pericolosità sismica nazionale redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Si utilizzano le accelerazioni relative ai massimi periodi di ritorno disponibili, cioè 975 anni e 2475 anni. Le figure sottostanti mostrano le mappature sismiche di riferimento.

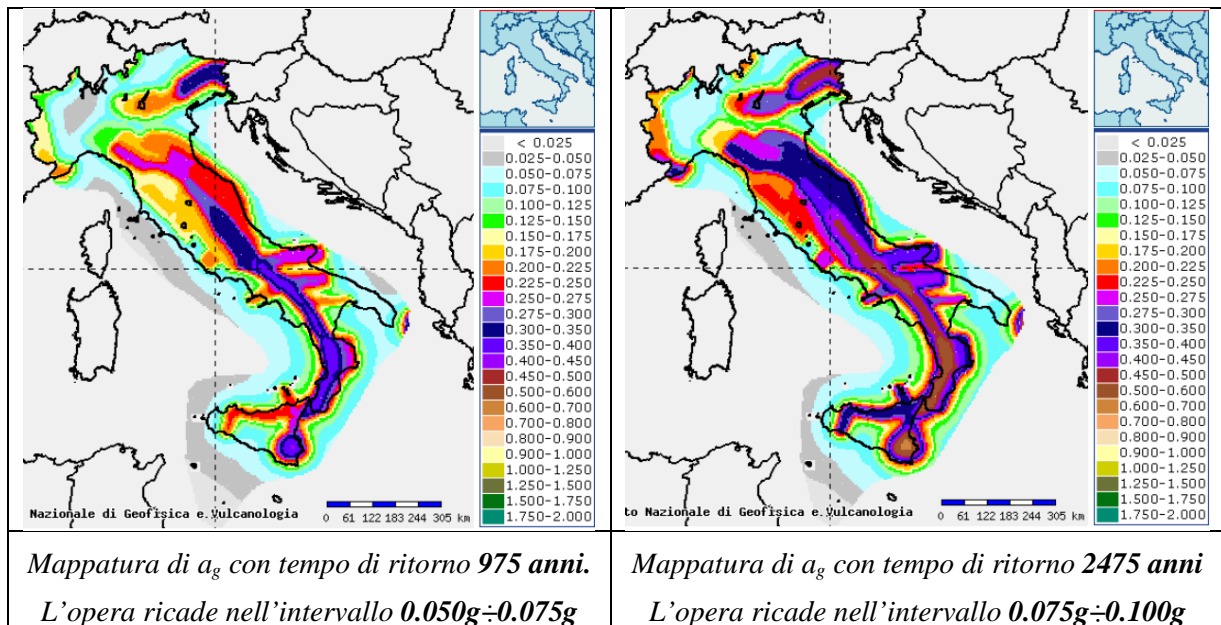


Figura 3.1 – Mappatura sismica con tempo di ritorno 975 e 2475 anni (fonte: sito internet Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

Prendendo come riferimento, a favore di sicurezza, i valori massimi del range di accelerazione sismica attesa per ciascun periodo di ritorno (ovvero $0.075g$ per $T=975$ anni e $0.100g$ per $T=2475$ anni, si ottiene un'accelerazione sismica di progetto pari a:

$$a_g = 0.115g.$$

I coefficienti inerziali da applicare alle masse in gioco nelle verifiche sismiche sono calcolati come:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h.$$

Ponendo:

$a_{\max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.115g \times 1.5 \times 1.0 = 0.173g$ (si è assunto un sottosuolo di categoria C ed una configurazione topografica T1) e

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

$\beta_s=0.24$ (tab. 7.11.I del D.M. 14.01.2008),

si ottiene:

$$k_h=0.041$$

$$k_v=0.021$$

Per quanto riguarda invece le verifiche sismiche del lato interno della diga (sezione B-B di progetto), ci si riferisce sempre ad una classe d'uso IV, ma ad un periodo di vita utile dell'opera di 30 anni, tenendo conto della provvisorietà della sezione, di cui si prevede il completamento mediante la formazione della banchina in adiacenza.

Utilizzando le medesime formule viste in precedenza si ricavano i seguenti parametri:

$$T_r=1170 \text{ anni};$$

$$a_g=0.079g.$$

I coefficienti inerziali si calcolano come in precedenza:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h.$$

Ponendo:

$a_{\max}=a_g \times S_s \times S_t=0.079g \times 1.5 \times 1.0=0.119g$ (si è assunto un sottosuolo di categoria C ed una configurazione topografica T1) e

$\beta_s=0.24$ (tab. 7.11.I del D.M. 14.01.2008),

si ottiene:

$$k_h=0.029$$

$$k_v=0.015$$

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

4 METODOLOGIA DI VERIFICA

Le verifiche per il tipo di opere di cui si eseguiranno le verifiche sono specificate nel Cap.6 del D.M. 14.01.2008.

In ottemperanza ai disposti della normativa in vigore, le verifiche geotecniche sono state condotte con riferimento sia a stati limite ultimi di tipo statico che di tipo sismico.

In particolare per la diga foranea si farà riferimento ai seguenti stati limite:

- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- ribaltamento.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti Tabelle 6.2.I e 6.2.II del D.M. 14.01.2008 per le azioni e i parametri geotecnici.

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

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

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

Tabella 4.1 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.2.I

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Tabella 4.2 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.2.II

Per quanto riguarda il coefficiente R2 da utilizzare per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo si fa riferimento alla Tabella 6.8.I.

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

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 4.3 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.8.I

Le rimanenti verifiche sono effettuate seguendo l'Approccio 2:

(A1+M1+R3)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del D.M. 14.01.2008.

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 4.4 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.5.I

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

5 VERIFICHE DI STABILITÀ

Le verifiche di stabilità della scogliera comprendono analisi sia di tipo globale che locale.

Fanno parte della prima famiglia le analisi geotecniche di stabilità globale e di capacità portante del terreno di imposta. Nella seconda famiglia rientrano invece i calcoli di dimensionamento dei massi che costituiscono i vari strati con i quali si compone la struttura.

5.1 ANALISI DI TIPO GLOBALE

Per lo studio di stabilità globale dell'opera la valutazione dei fattori di sicurezza è stata condotta utilizzando il metodo dei conci per la ricerca del coefficiente di sicurezza alla stabilità globale F .

Tale coefficiente è un indice della stabilità del pendio in oggetto ed è definito come il rapporto tra la somma delle forze (o dei momenti) risultanti che tendono a opporsi al movimento della massa, e la somma delle forze risultanti destabilizzanti che tendono a provocarlo, cioè:

$$F = \text{Forze agenti} / \text{Forze resistenti} \quad (1)$$

Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa, degli eventuali sovraccarichi superficiali e delle forze di filtrazioni o squilibri piezometrici agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del sottosuolo, espressa in termini del criterio di rottura Mohr-Coulomb. Per procedere con il calcolo di F la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in conci.

Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato nella seguente figura.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Valori di F minori od uguali ad 1 sono indicativi di condizioni di instabilità, mentre per valori maggiori di 1 le condizioni sono a favore della stabilità. Questo è il concetto di base di tutti i modelli per la verifica di stabilità che si rifanno al concetto dell' equilibrio limite.

F deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale. E` perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze agenti e resistenti su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili, F viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio.

In tal modo il fattore di sicurezza F del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con F più basso. Tale superficie è detta anche superficie critica. Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio. Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile.

Per quanto riguarda l'azione sismica sono stati impiegati i coefficienti k_h e k_v calcolati nel capitolo 3 della presente relazione. La loro valutazione è stata eseguita facendo riferimento a quanto indicato nella normativa per fronti di scavo e rilevati e relativa localizzazione geografica.

5.1.1 Stabilità della scogliera – Lato esterno

Si è proceduto alla verifica della sezione D-D, caratterizzata dalla presenza della scogliera e del terrapieno a tergo.

Si sono condotte due analisi:

- SLU statica, considerando un cavo d'onda avente altezza di gola di 3.50 m, valore ricavato mediante modello idrodinamico (cfr. Allegato C4-REL-004 – Relazione idrologica, idraulica, marittima). La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

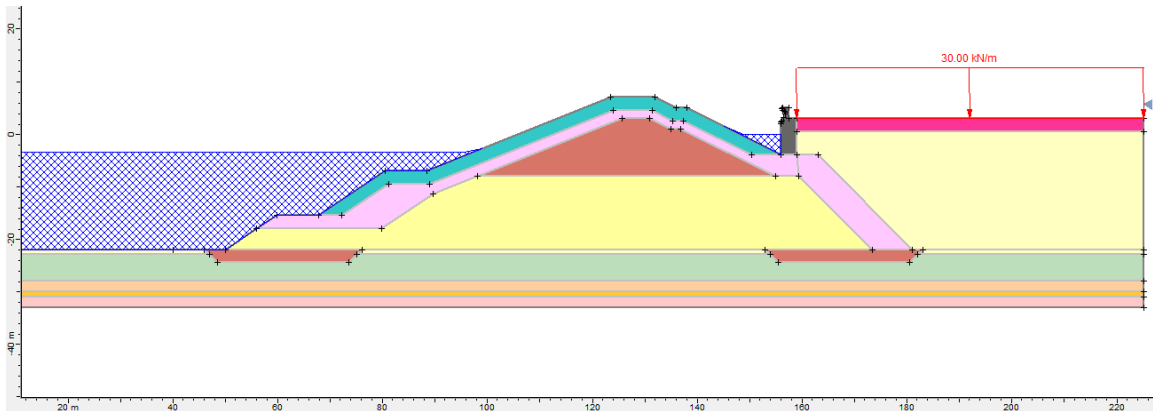


Figura 5.2 – Stabilità globale lato esterno scogliera – Analisi SLU statica – Modello di calcolo

- SLU sismica, caratterizzata dalla presenza di acqua al livello medio mare e da forze inerziali proporzionali ai coefficienti k_h e k_v visti in precedenza. La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

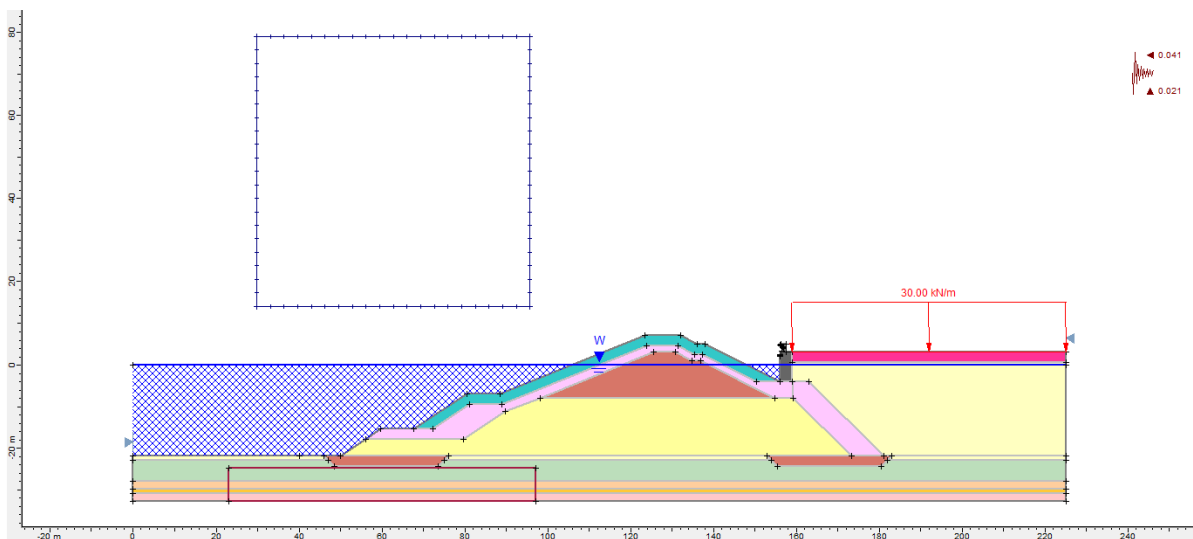


Figura 5.3 - Stabilità globale lato esterno scogliera – Analisi SLU sismica – Modello di calcolo

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Per quanto riguarda la condizione SLU statica, vista l'elevata permeabilità che caratterizza i materiali costituenti il corpo diga, si è implementato un modello a filtrazione per ricostruire l'andamento delle pressioni all'interno della diga stessa.

La figura sottostante mostra il percorso di filtrazione così ricostruito.

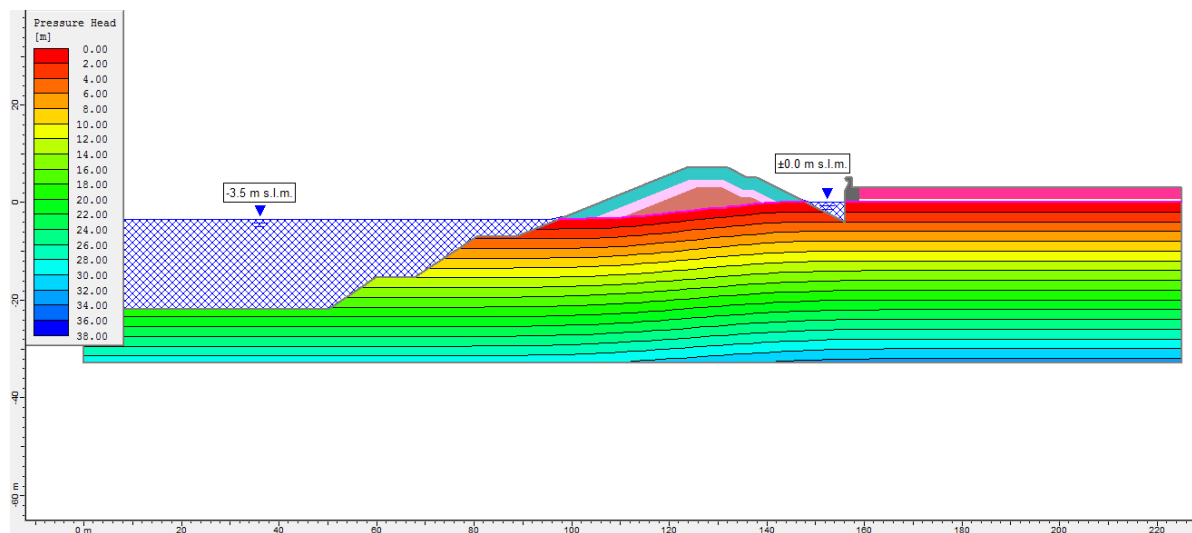


Figura 5.4 – Modello di filtrazione

L'analisi di stabilità è stata condotta con il metodo di Morgenstern – Price. La figura seguente mostra la mappatura dei coefficienti di sicurezza delle potenziali superfici di instabilità.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO
PROGETTO PRELIMINARE

Relazione tecnica opere civili

Settembre 2011

C2-REL-001

Rev.0

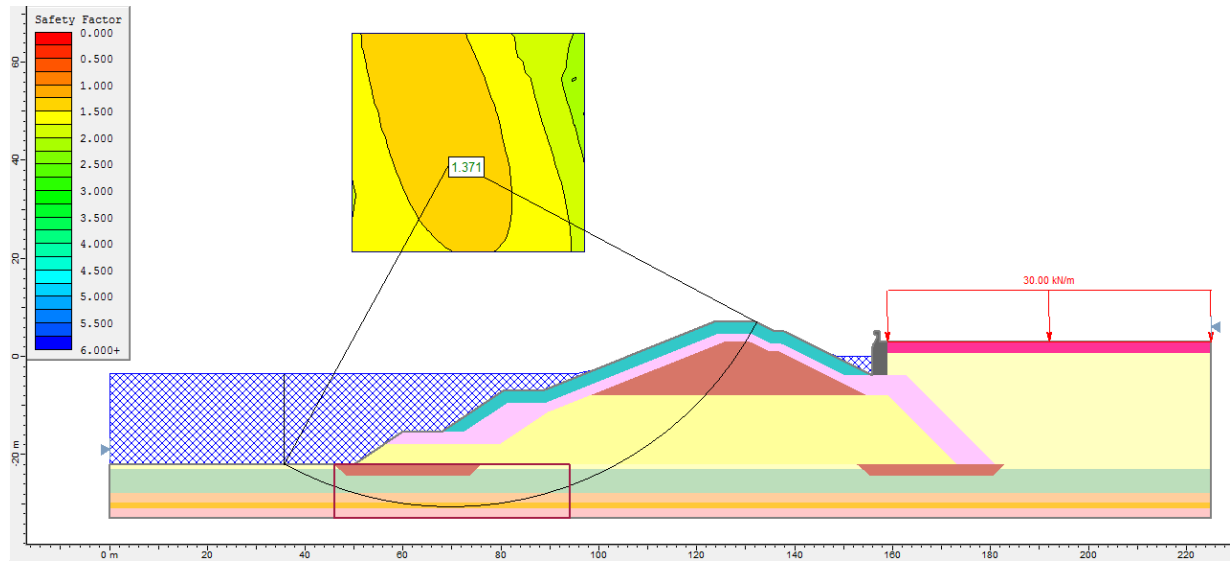


Figura 5.5 – Stabilità globale lato esterno scogliera – Analisi SLU statica - Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.371 > F_{S,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

Per quanto riguarda la SLU sismica l'analisi di stabilità è stata condotta con il metodo di Morgenstern – Price inserendo i valori di k_h e k_v visti in precedenza. La figura seguente mostra la mappatura dei coefficienti di sicurezza delle potenziali superfici di instabilità.

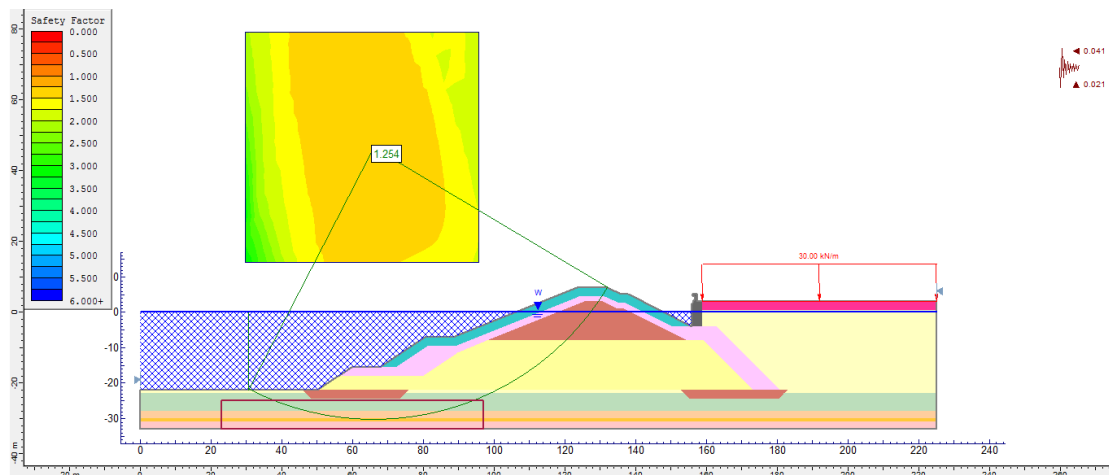


Figura 5.6 – Stabilità globale lato esterno scogliera - Analisi SLU sismica - Mappatura dei coefficienti di sicurezza

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.254 > F_{S,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

5.1.2 Stabilità della scogliera - Lato interno

In questo paragrafo viene condotta la verifica a stabilità globale del lato interno della scogliera. E' stata condotta in questa sede soltanto l'analisi SLU sismica, maggiormente cautelativa.

La seguente figura mostra la mappatura dei coefficienti di sicurezza allo scivolamento del lato interno della diga ottenuta in condizioni sismiche:

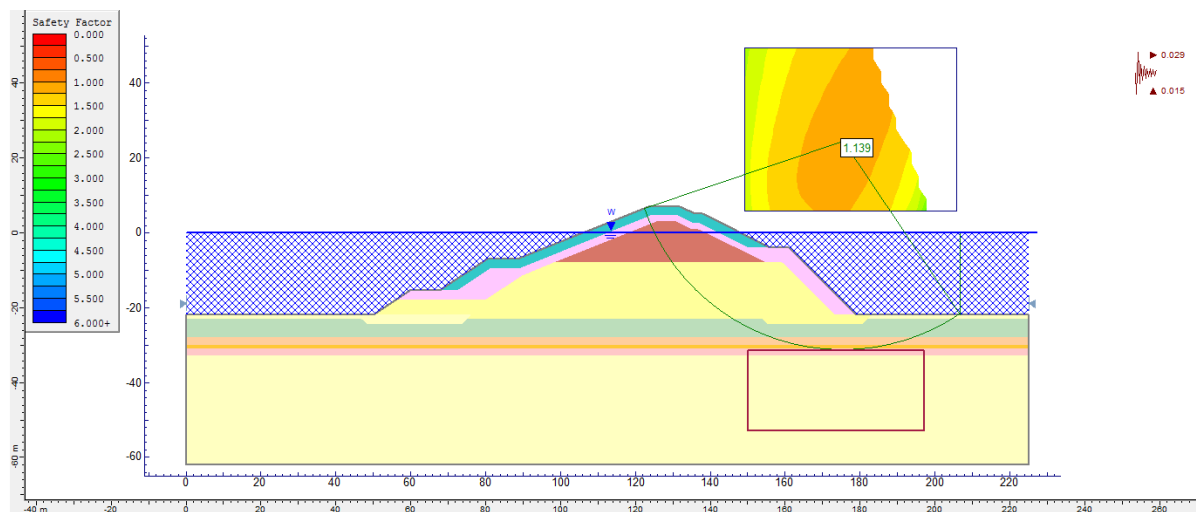


Figura 5.7 – Stabilità globale lato interno scogliera - Analisi SLU sismica - Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.139 > F_{S,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

Eventuali instabilità localizzate nello strato superficiale del lato interno della diga sono di importanza irrilevante per la stabilità complessiva dell'opera e sono state trascurate in relazione alla provvisorietà della condizione. In caso di assestamenti localizzati si provvederà al riposizionamento dei massi e al ripristino della sezione prima della formazione della banchina in adiacenza.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

5.1.3 Stabilità dei cassoni prefabbricati

Nei seguenti paragrafi vengono svolte le verifiche geotecniche dei cassoni prefabbricati utilizzati per contenere il terrapieno della piattaforma servizi.

Verifiche di stabilità nei confronti di atti di moto rigido

Le verifiche di stabilità del cassone sono state condotte con l'ausilio del foglio di calcolo mostrato nella figura seguente, nel quale si sono calcolati tutti i contributi elementari (statici e sismici) delle masse strutturali e non, i sovraccarichi esterni, le spinte del terrapieno a monte e la sottospinta idraulica.

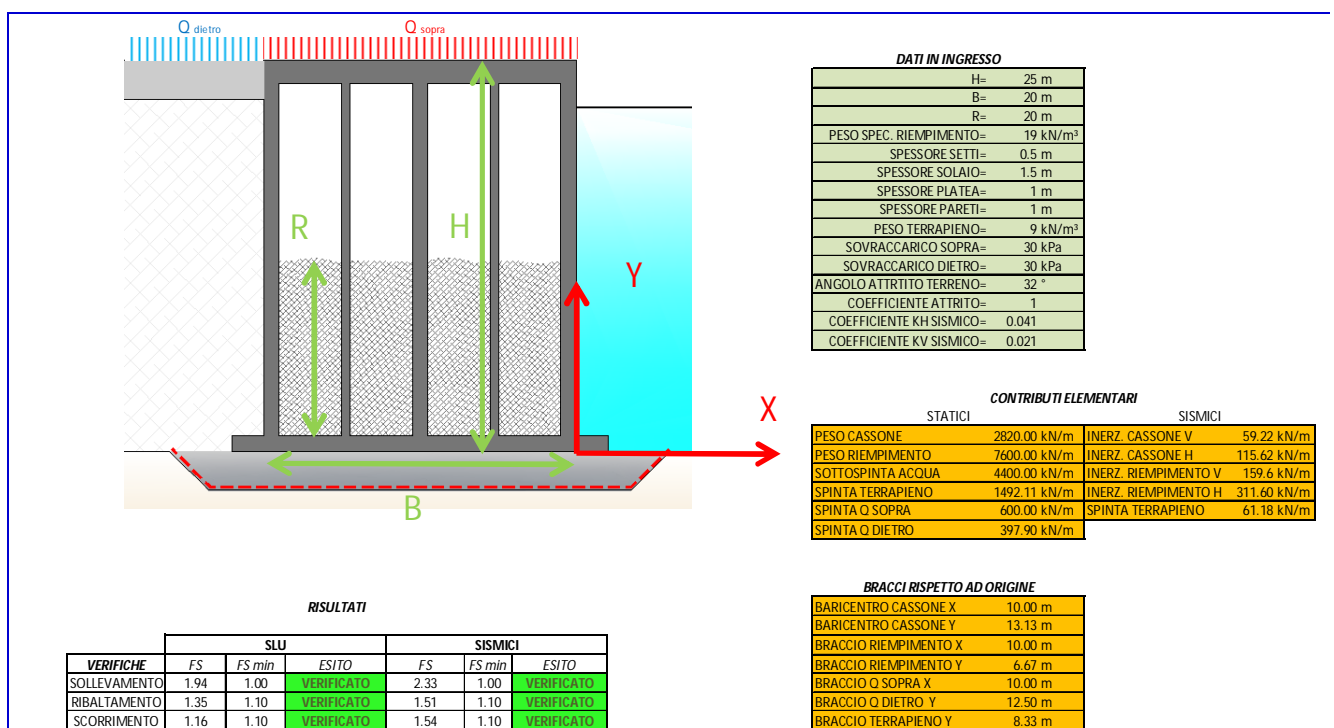


Figura 5.8 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di stabilità rispetto ad atti di moto rigido

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Come si può notare dai calcoli effettuati risulta che le condizioni più gravose, per quanto riguarda i coefficienti di sicurezza rispetto a potenziali instabilità per sollevamento, ribaltamento e scorrimento si riscontrano in condizioni statiche SLU. In ogni caso i coefficienti di sicurezza risultano superiori ai minimi imposti dalla normativa.

Verifiche di capacità portante

Per quanto riguarda la verifica a capacità portante del terreno di imposta occorre innanzitutto calcolare l'eccentricità del carico rispetto alla verticale passante per il baricentro del cassone. Per ottenere ciò si deve innanzitutto calcolare il momento ribaltante, che risulta pari a:

$$M=1.3 \times 1492.11 \text{ kN/m} \times 6.67 \text{ m} + 1.5 \times 397.9 \text{ kN/m} \times 12.50 \text{ m} = 20400 \text{ kNm/m}$$

L'azione assiale sulla fondazione vale:

$$N=1.3 \times (2820 \text{ kN/m} + 7600 \text{ kN/m} - 4400 \text{ kN/m}) = 7826 \text{ kN/m}$$

L'eccentricità del carico vale pertanto:

$$e = M/N = 2.61 \text{ m}$$

La verifica della capacità portante è stata condotta con l'ausilio del foglio di calcolo riportato nella seguente figura.

La pressione limite viene calcolata con il metodo di Vesic, tenendo conto dell'inclinazione dei carichi e dell'eccentricità dell'applicazione delle forze.

Risulta un coefficiente di sicurezza pari a:

$$\sigma_{\text{lim}} / \sigma_{\text{max}} = 1.8 > 1.4 \text{ (tabella 6.5.I, par. 6.4.2.1 del D.M. 14.01.2008)}$$

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta
DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO
PROGETTO PRELIMINARE**

Relazione tecnica opere civili

Settembre 2011

C2-REL-001

Rev.0

CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

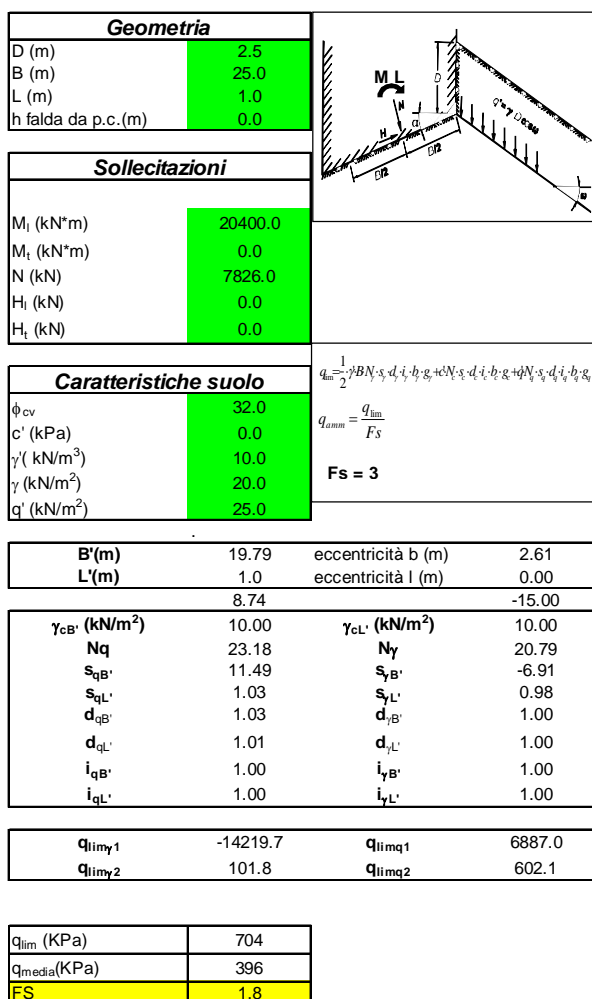


Figura 5.9 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di capacità portante

Verifiche di stabilità globale

Si è proceduto anche in questo alla verifica della sezione D-D, caratterizzata dalla presenza della del terreno a tergo del cassone.

Si sono condotte due analisi:

- SLU statica, considerando un cavo d'onda residua all'interno del bacino avente altezza di gola di 1.30 m, valore ricavato mediante modello idrodinamico (cfr. Allegato C4-

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

REL-004 – Relazione idrologica, idraulica, marittima). La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

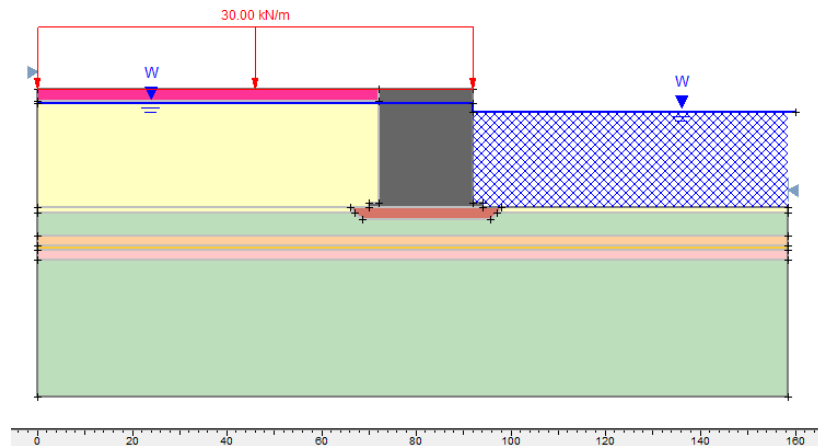


Figura 5.10 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Modello di calcolo

- SLU sismica, caratterizzata dalla presenza di acqua al livello medio mare e da forze inerziali proporzionali ai coefficienti k_h e k_v visti in precedenza. La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

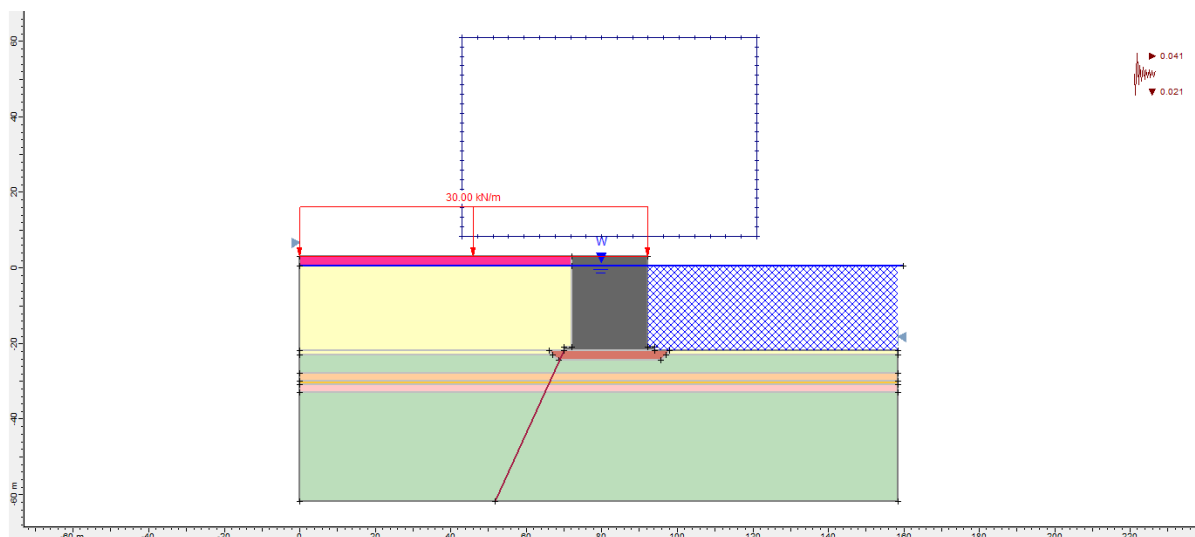


Figura 5.11 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Modello di calcolo

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

Per quanto riguarda la condizione SLU statica, l'analisi di stabilità è stata condotta con il metodo di Morgenstern – Price. La figura seguente mostra la mappatura dei coefficienti di sicurezza delle potenziali superfici di instabilità.

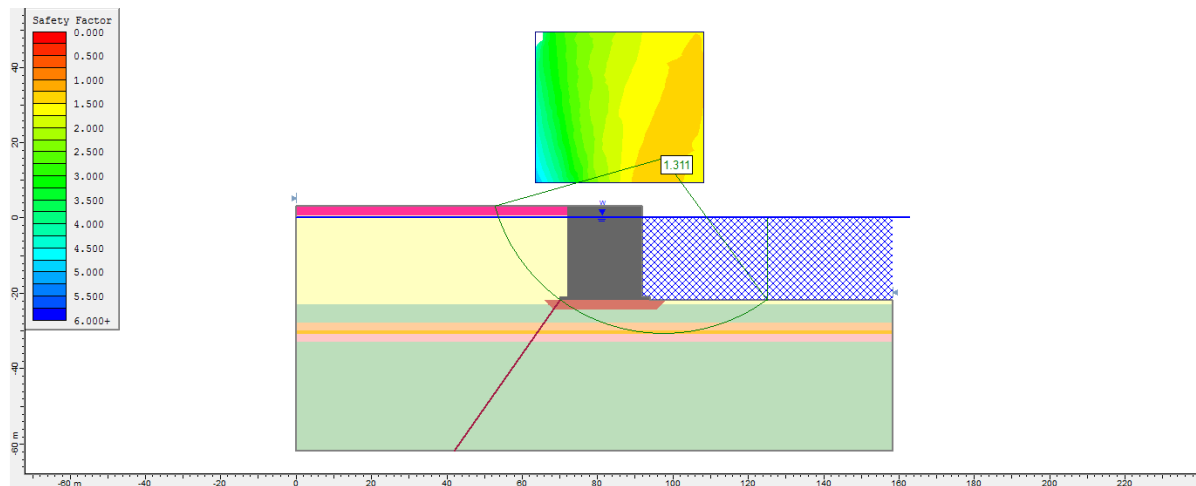


Figura 5.12 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.311 > F_{S,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

Per quanto riguarda la SLU sismica l'analisi di stabilità è stata condotta con il metodo di Morgenstern – Price inserendo i valori di k_h e k_v visti in precedenza. La figura seguente mostra la mappatura dei coefficienti di sicurezza delle potenziali superfici di instabilità.

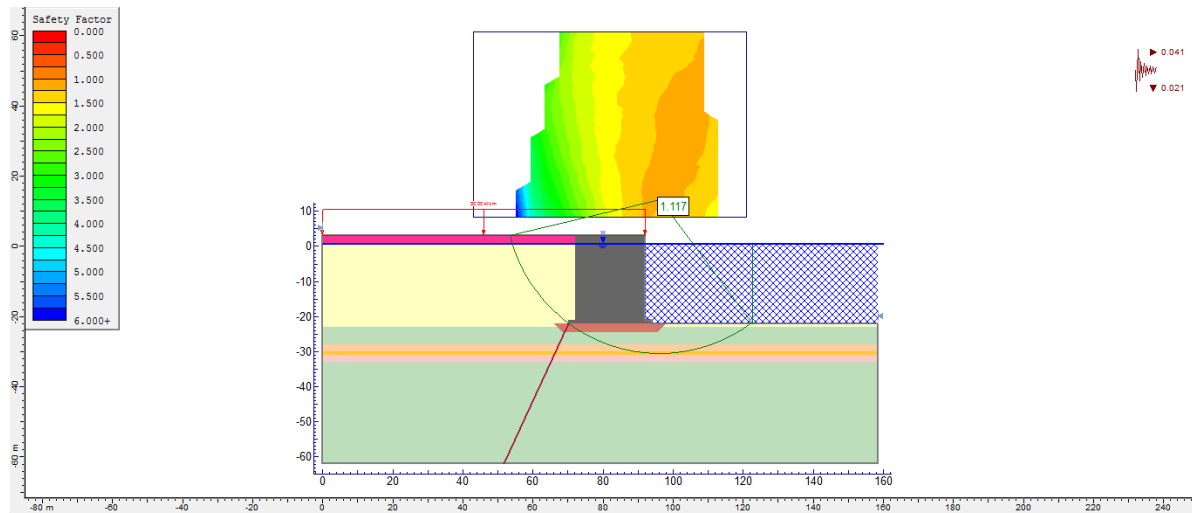


Figura 5.13 – Stabilità cassoni prefabbricati – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_s = 1.117 > F_{s,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

5.2 ANALISI DI TIPO LOCALE

5.2.1 Mantellata

L'obiettivo primario da conseguire è quello di garantire la stabilità idraulica del masso di mantellata soggetto all'azione del moto ondoso in condizioni estreme.

Seguendo il metodo proposto da Hudson si procede come segue:

$$W_{50} = \frac{\gamma_s \cdot H_i^3}{K_D \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1 \right)^3} \cdot \frac{1}{\cot g\alpha}$$

I simboli hanno il seguente significato:

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

- W_{50} è il peso del masso mediano di mantellata, ossia il peso rappresentativo del masso che si colloca al 50% della curva di distribuzione – volume;
- γ_s e γ_0 sono i pesi specifici degli elementi costituenti la mantellata e dell'acqua;
- H_i è l'altezza d'onda incidente, che può essere assunta pari ad $H_{1/10}$, ossia l'altezza d'onda mediata sul decimo più alto della registrazione. Analisi statistiche hanno mostrato che si può cautelativamente porre $H_{1/10} = 1.27 \times H_s$;
- $\cot\alpha$ rappresenta l'inclinazione della scarpa del paramento lato mare dell'opera;
- K_D rappresenta un coefficiente adimensionale a "danneggiamento nullo" in quanto corrisponde ad una situazione di perdita molto limitata e facilmente riparabile degli elementi.

Nel caso in esame si assumono i seguenti parametri di calcolo:

- $\gamma_s = 2.5 \text{ t/m}^3$,
- $\gamma_0 = 1.03 \text{ t/m}^3$,
- $H_i = 1.27 \times 3.5 \text{ m} = 4.45 \text{ m}$,
- $\cot\alpha = 2.5$,
- $K_D = 4.0$ (massi naturali a spigoli vivi, cfr. tabella 5.1),

TIPO MASSO	SEZ. CORRENTE		TESTATA		P%	K_A
	H_b	H	H_b	H		
	K_D		K_D			
Scogli:						
tondeggianti	1,2	2,4	1,1	1,9	38	1,02
spigolosi	2,0	4,0	1,6	2,8	37	1,00
cubi	4,0	5,0	-	3,0	47	1,10
tetrapodi	7,0	8,0	4,5	5,5	50	1,04
dolos*	8,0	16,0	7,0	14,0	55	0,94
accropodi*	10,0	12,0	7,5	8,5	50	1,28
core-loc*	16,0	-	13,0	-	60	1,50
tout-venant K_{RE}	2,2	2,5	-	-	35	-

N.B.: I valori in corsivo non sono confortati da sufficienti prove di laboratorio.
 E' consigliabile per i massi con * riconsiderare K_A con la pendenza di scarpata e con prove fisiche ad hoc.

Tabella 5.1 – Matteotti G., Lineamenti di costruzioni marittime, Tab.5.I, Valori indicativi di K_D , K_A e P per vari massi

in base ai quali si ottiene un valore di W_{50} pari a 8.0t.

Si potranno in opera scogli di IV categoria con un valore mediano del peso pari a $W_{50} = 10 \text{ t}$.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa Veneta DIGA FORANEA E TERMINAL PETROLIFERO PROGETTO PRELIMINARE		
Relazione tecnica opere civili		
Settembre 2011	C2-REL-001	Rev.0

5.2.2 Filtro

Per il dimensionamento dei massi del filtro si possono impiegare le classiche regole empiriche che fissano il peso dei massi del filtro come frazione di quelli della mantellata. Nel caso in esame si pone cautelativamente un peso mediano dei massi del filtro pari al 1/15 di quello della mantellata.

Si ottiene pertanto:

$$W_{50 \text{ filtro}} = W_{50 \text{ mantellata}}/15 = 10t /15 = 0.67 t$$

Per il filtro si impiegheranno massi naturali di peso variabile tra **0.3 ÷ 1.0 t**, con $W_{50 \text{ filtro}} \geq 670\text{kg}$.

5.2.3 Nucleo

Anche per il dimensionamento del nucleo si può fare riferimento alle formule empiriche richiamate nel paragrafo precedente.

Si ottiene:

$$W_{50 \text{ nucleo}} = W_{50 \text{ filtro}}/15 = 670\text{kg} /15 = 45 \text{ kg}$$

Si può quindi realizzare il nucleo con tout-venant di cava avente pezzatura compresa tra **2÷100kg** con un $W_{50 \text{ nucleo}} \geq 45\text{kg}$.

A maggiore protezione della parte superiore della scogliera, sottoposta alle azioni idrodinamiche più intense, si preferisce sostituire il tout venant del nucleo con scogli di pezzatura maggiore. A partire da quota -4.0 m s.m.m. per la Sezione tipo AA e -7.0 m s.m.m. per la Sezione tipo BB, pertanto, il nucleo sarà costituito da massi di pezzatura **5÷500kg**.