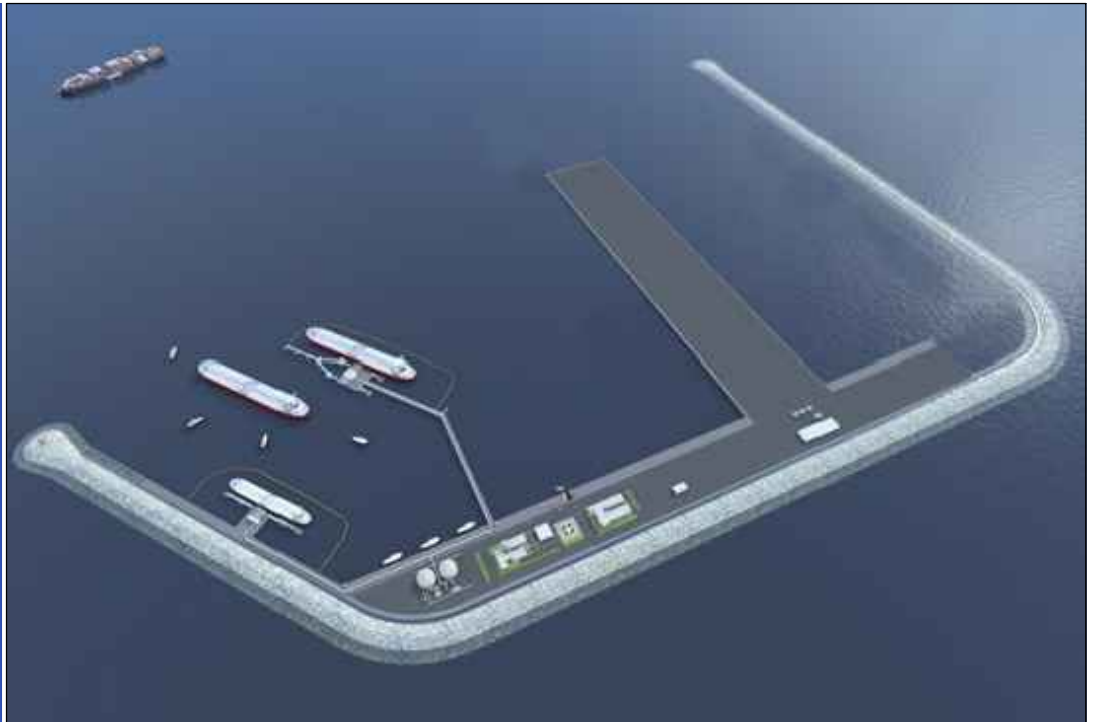




Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
MAGISTRATO ALLE ACQUE di VENEZIA



PROGETTAZIONE

Ing. P. Rossetto

Ing. G. Zoletto

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
 PROGETTO PRELIMINARE
 TERMINAL CONTAINERS**

CUP: D73B11000150001

Progettazione
 Ambientale e
 Impiantistica



Progettazione
 Infrastrutture



Progetto
**RELAZIONE TECNICA
 OPERE CIVILI**

Cod.Elabor.

C2-REL-1001

elaborato

controllato

approvato

Coordinamento alla
 Progettazione



Consorzio
 Venezia
 Nuova

Ing. M. Brotto

Marzo 2012

revisione	descrizione	elab.	contr.	appr.

TERMINAL PLURIMODALE OFF – SHORE al largo della Costa di Venezia

RELAZIONE TECNICA OPERE CIVILI

Gruppo di progettazione



TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	GEOTECNICA DI RIFERIMENTO.....	5
4	PARAMETRI SISMICI	7
5	AZIONI DA MAREA E MOTO ONDOSI.....	10
	5.1 Generalità	10
	5.2 Marea	11
	5.3 Moto ondososi.....	12
	5.4 Livello liquido di progetto	12
6	METODOLOGIA DI VERIFICA	13
7	VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE.....	15
	7.1 Generalità	15
	7.2 Terminal containers - Stabilità dei cassoni prefabbricati	17
	7.3 Banchina servizi terminal containers - Stabilità dei cassoni prefabbricati	23
8	VERIFICHE DI GALLEGGIAMENTO DEI CASSONI.....	29
	8.1 Cassoni Terminal containers	29
	8.2 Cassoni Banchina servizi terminal containers.....	30
9	PROTEZIONE DALL'EROSIONE DEL FONDALE ANTISTANTE IL TERMINAL CONTAINERS	32

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

1 PREMESSA

Il progetto generale del Terminal Plurimodale Off-Shore da realizzarsi al largo della costa veneta ricomprende, sinteticamente, le seguenti componenti funzionali :

- la **diga foranea** prevista a protezione delle funzioni petrolifere e containers;
- il **terminal petrolifero** con le opere accessorie di convogliamento dei fluidi, attraverso il mare Adriatico prima e la laguna di Venezia poi, verso il punto di distribuzione in terraferma ubicato presso l'Isola dei Serbatoi a Porto Marghera (Venezia). Sono previste, inoltre, le infrastrutture di distribuzione, a partire dalla suddetta Isola dei Serbatoi, verso ciascuna delle destinazioni finali dei fluidi petroliferi;
- il **terminal container**;
- la **piattaforma servizi** ove troveranno ubicazione gli edifici e le infrastrutture destinate alle funzioni della gestione generale e specifica del terminal plurimodale.

Del complessivo terminal plurimodale nel presente documento saranno prese in considerazione le sole opere relative al terminal container in quanto in data 27 Ottobre 2011, con Voto n° 165, è stato approvato dal Comitato Tecnico di Magistratura del Magistrato alle Acque di Venezia il Progetto Preliminare relativo alla diga foranea, al terminal petrolifero (con le annesse opere accessorie di convogliamento dei fluidi), alla porzione di banchina servizi ove troveranno ubicazione gli edifici e le infrastrutture destinate alle funzioni del terminal petrolifero e gli uffici per la gestione generale.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

2 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 sei Lavori Pubblici, pubbl.1450, Roma 1996.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

3 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 3.1 – 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-igm*”, 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 di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	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.

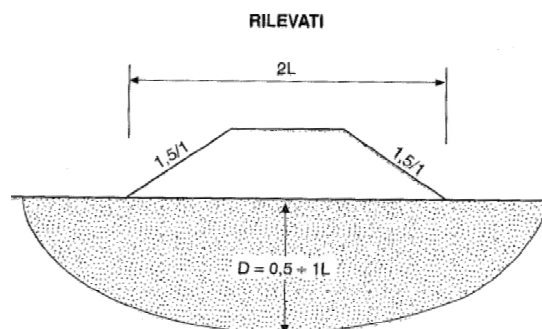


Figura 3.1 – Volume significativo di indagine (rif. “Elementi di Geotecnica, Pietro Colombo Francesco Colleselli, Ed. Zanichelli, pag.292, figura 13.1)

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 di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

4 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.

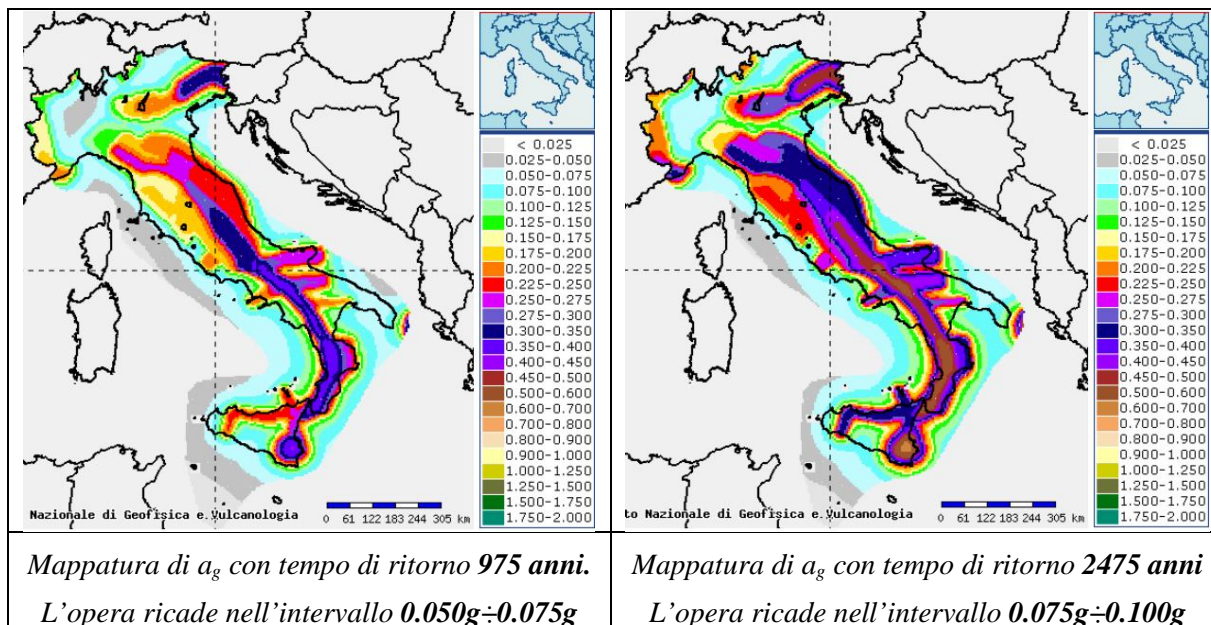


Figura 4.1 – Mappatura sismica con tempo di ritorno 975 e 2475 anni (fonte: sito internet Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

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

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

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

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 di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

5 AZIONI DA MAREA E MOTO ONDOSI

5.1 Generalità

In base alle quanto previsto dalle *Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime* del Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici, è stato innanzitutto definito il tempo di ritorno in base al quale calcolare i livelli idrici di progetto.

E' stata assunta una durata minima di vita di 100 anni per le opere definitive.

In merito a tipo di danno considerato, ripercussione economica e rischiosità per la vita umana sono state fatte le assunzioni riportate in Tabella 5.1.

Verifica	Danno considerato	Ripercussione economica	Rischio per la vita umana
Cassoni Terminal containers e Area servizi terminal containers- Stabilità globale	Distruzione totale	Media	Limitato

Tabella 5.1 – Assunzioni di tipo di danno, ripercussione economica e rischiosità per la vita umana

In base alla relazione:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{[-\ln(1 - P_f)]}$$

dove:

- T_{rp} rappresenta il tempo di ritorno di progetto,
- T_v rappresenta la vita dell'opera ipotizzata e
- P_f rappresenta la probabilità di danneggiamento,

in base ai valori di P_f ricavati da Tabella 2 delle *Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime* sulla base delle assunzioni riportate in Tabella 5.1, è stato individuato il tempo di ritorno di progetto riportato in Tabella 5.2.

Verifica	Tempo di ritorno di progetto T_{rp} (anni)
Cassoni Terminal containers e Area servizi terminal containers- Stabilità globale	615

Tabella 5.2 – Tempi di ritorno di progetto

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

In base a tale tempo di ritorno sono state valutate le condizioni di verifica dell'opera in progetto, sovrapponendo gli effetti della marea e del moto ondoso.

5.2 Marea

Per la verifica della stabilità dei cassoni è stata preso in considerazione un livello di bassa marea avente tempo di ritorno di progetto. In base al diagramma dei valori estremi dei livelli negativi di marea a Punta della Salute di seguito riportato, tale valore è stato assunto pari a -1.30 m s.m.m..

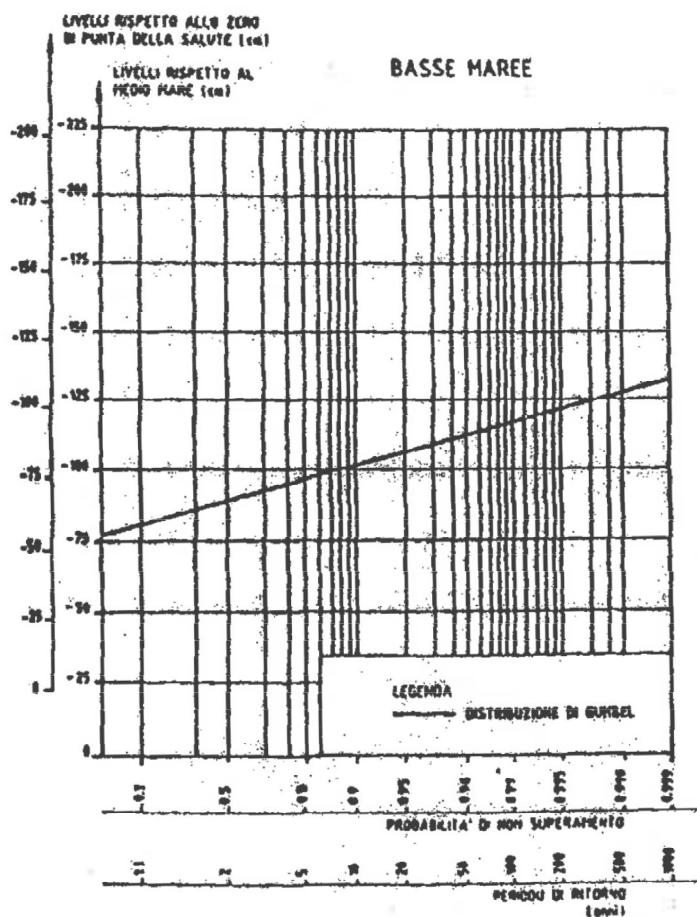


Figura 5.1 – Valori estremi dei livelli negativi di marea a Punta della Salute

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

5.3 Moto ondoso

In base ai risultati dello studio idrodinamico effettuato nell'ambito delle attività della presente progettazione, per il quale si rimanda ai relativi elaborati di progetto, sono state assunte le altezze d'onda significativa riportate nella seguente Tabella 5.3.

Verifica	Tempo di ritorno di progetto T_{rp} (anni)	Altezza d'onda significativa H_s (m)
Cassoni Terminal container - Stabilità globale	615	1.60
Cassoni Area servizi terminal containers- Stabilità globale	615	1.60

Tabella 5.3 – Altezze d'onda significative

Le verifiche sono state condotte sulla base dell'altezza d'onda di progetto riportata in Tabella 5.4, dove $H_{1/100} = 1.67H_s$.

Verifica	Altezza d'onda di progetto H_p (m)	
Cassoni Terminal container - Stabilità globale	$H_{1/100}$	2.67
Cassoni Area servizi terminal containers- Stabilità globale	$H_{1/100}$	2.67

Tabella 5.4 – Altezze d'onda di progetto

Per la verifica di stabilità dei cassoni è stata presa in considerazione la condizione più gravosa di cavo d'onda, con un livello idrico pari a metà dell'altezza d'onda di progetto, ovvero pari a -1.34 m s.m.m..

5.4 Livello liquido di progetto

In base alle considerazioni di cui sopra, sovrapponendo gli effetti di marea e moto ondoso, si ottiene un livello idrico di verifica della stabilità dei cassoni in progetto pari a -2.64 m s.m.m..

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

6 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 6.1 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.2.I

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	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>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	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 6.2 – 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 6.3 – 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 6.4 – D.M. 14.01.2008 - Tabella 6.5.I

7 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

7.1 Generalità

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.

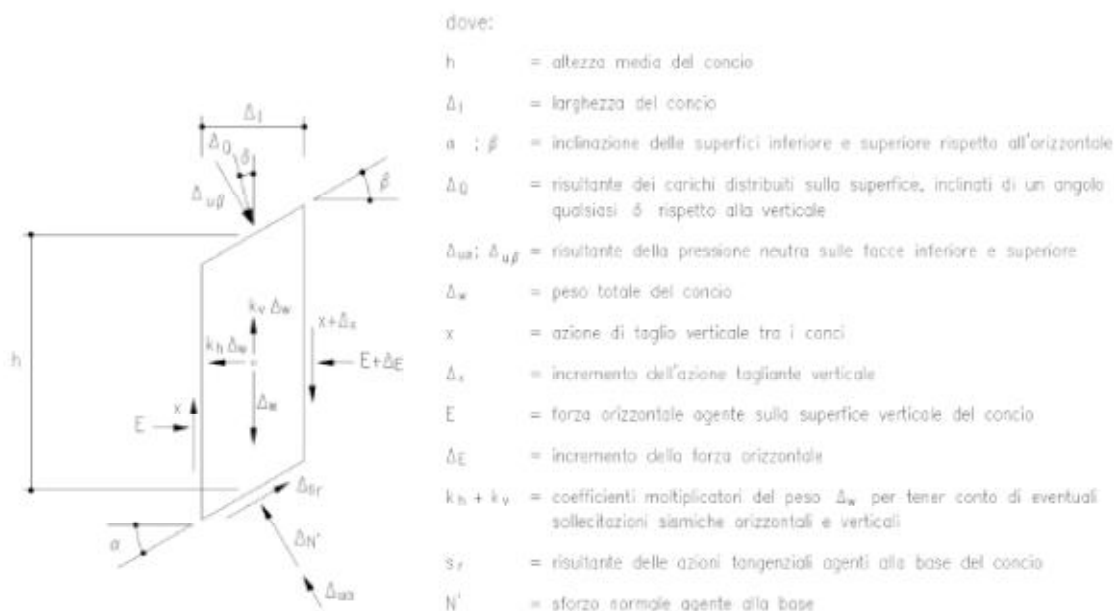


Figura 7.1 – Forze agenti sul singolo concio

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

Le forze agenti sono:

- W=Peso del concio,
- S=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio,
- P=Forza peso normale alla base del concio,
- U=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base,
- T=Forza verticale laterale al concio,
- E=Forza orizzontale laterale al concio.

Le forze T ed E di interazione tra i conci adiacenti rimangono solitamente incognite. Nelle procedure di calcolo più rigorose esse non vengono trascurate, tuttavia vengono fatte alcune assunzioni per permettere ugualmente la risoluzione della (1). Le varie procedure di calcolo nell'ambito del metodo dell'equilibrio limite si diversificano proprio per il tipo di assunti per eliminare alcune incognite nella equazione che permette il calcolo di F. Tale equazione deve essere risolta sempre in modo iterativo, essendo espressa in forma implicita con l'incognita (F) in entrambi i membri, assumendo un valore di tentativo iniziale per F nel membro di destra e ripetendo i calcoli fino a convergenza quando la differenza tra i due F diventa minore di un certo valore assunto. Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di F.

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.

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

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.

7.2 Terminal containers - Stabilità dei cassoni prefabbricati

Nei seguenti sottoparagrafi vengono illustrate le verifiche geotecniche dei cassoni prefabbricati utilizzati come marginamento e contenimento del terrapieno nel terminal containers.

Il terminal containers è progettato per un sovraccarico uniformemente distribuito sul terrapieno di 10 t/m^2 . I cassoni previsti presentano un'altezza di 23 m e sono posati su uno scanno di imbasamento di altezza 2.0 m. La larghezza del fusto dei cassoni è pari a 22 m.

I cassoni sono suddivisi, in senso longitudinale al marginamento, in 4 file di celle. Si prevede il riempimento differenziato di tali file di celle mediante sabbia (peso specifico considerato pari a 19 kN/m^3) e acqua in modo da stabilizzare il cassone nei confronti degli atti di moto rigido, e ridurre nel contempo le pressioni sul terreno sottostante. In particolare si prevede di riempire:

- la fila di celle lato mare con 7 m di sabbia e acqua sino a quota medio mare;
- le altre tre file di celle con sabbia satura sino a quota medio mare.

Nei calcoli statici si è considerato un livello idrico di fronte ai cassoni pari a -2.64 m s.m.m. (cfr. capitolo 5).

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.

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia
 PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS**

Relazione tecnica opere civili

Marzo 2012

C2-REL-1001

Rev.0

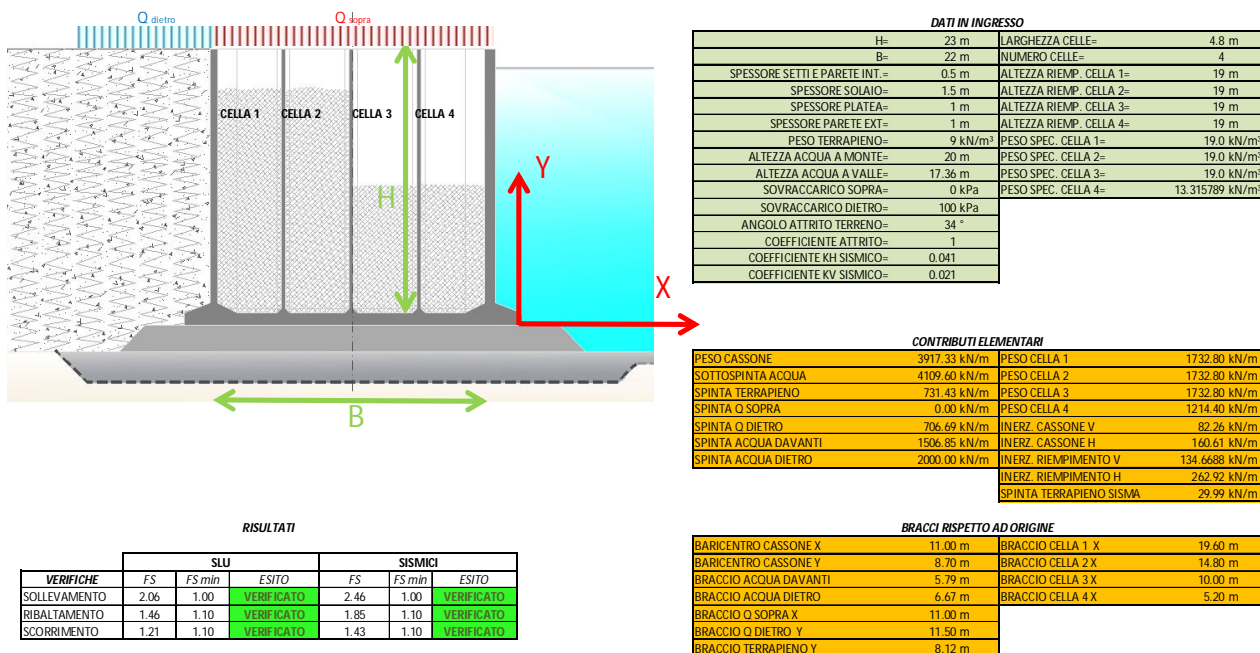


Figura 7.2 – Stabilità cassoni prefabbricati terminal containers – Verifiche di stabilità rispetto ad atti di moto rigido

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:

$$M= 14749.6 \times m/m$$

L'azione assiale sulla fondazione vale:

$$N= 8086.7 \text{ kN/m}$$

L'eccentricità del carico vale pertanto:

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

$$e = M/N = 1.82\text{m}$$

Azione orizzontale di progetto:

$$V = 1931.3\text{kN/m}$$

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:

$$\sigma_{\text{lim}} / \sigma_{\text{max}} = 2.19 > 1.4 \text{ (tabella 6.5.I, par. 6.4.2.1 del D.M. 14.01.2008)}$$

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia
PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS**

Relazione tecnica opere civili

Marzo 2012

C2-REL-1001

Rev.0

CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

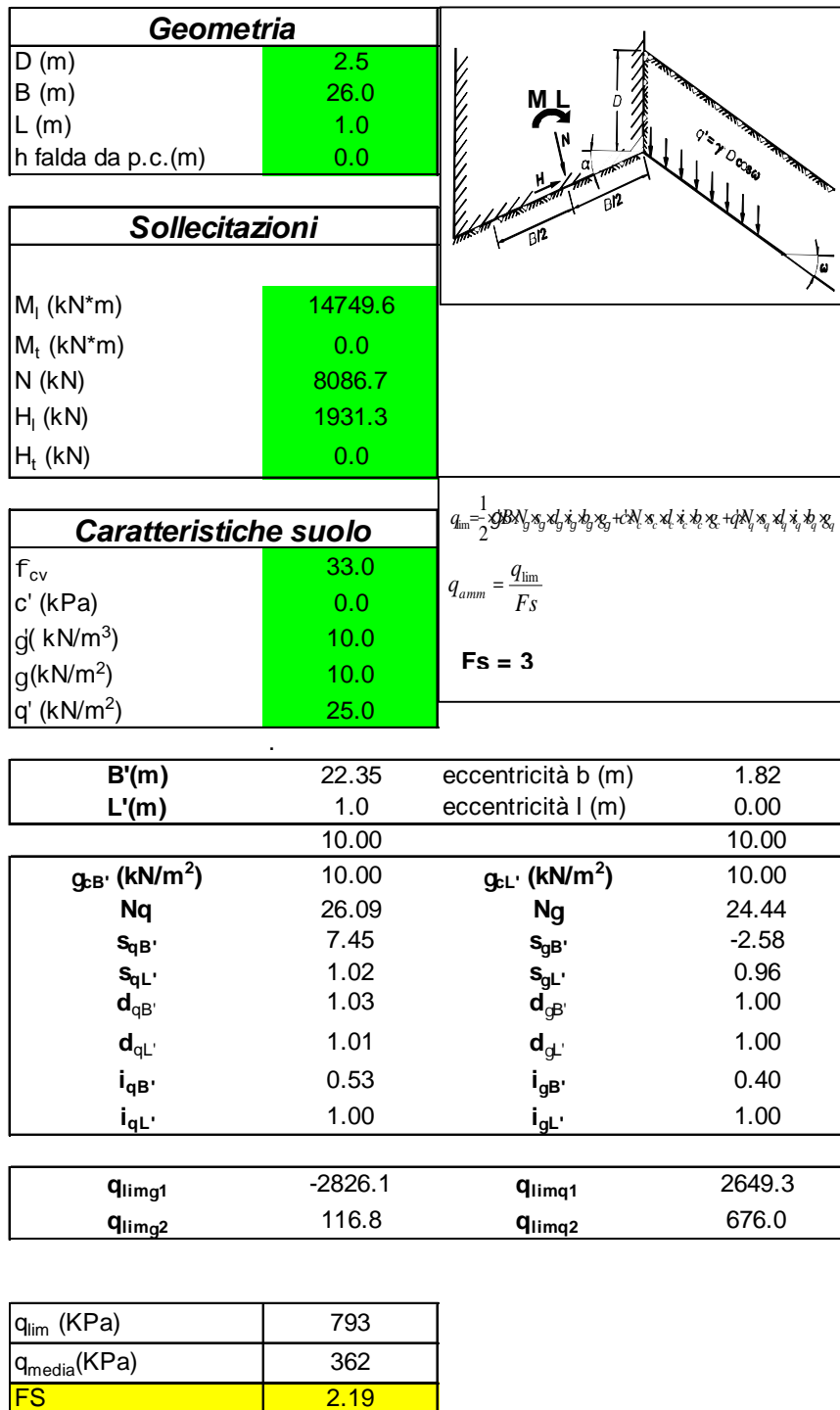


Figura 7.3 – Stabilità cassoni prefabbricati Terminal containers – Verifiche di capacità portante

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

Verifiche di stabilità globale

Si sono condotte due analisi:

- SLU statica, nella quale si è considerato un livello idrico di fronte al cassone pari a -2.64 m s.m.m.. La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

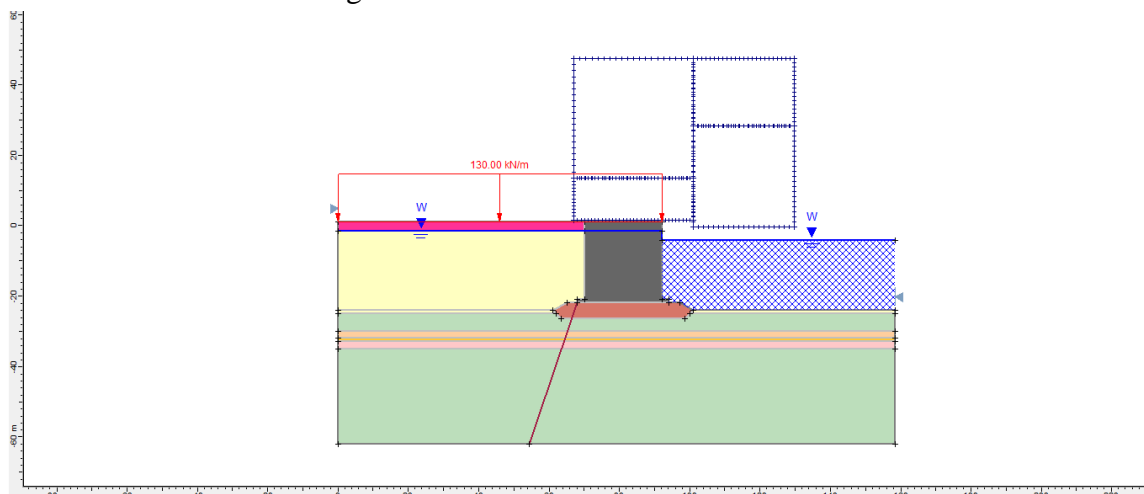


Figura 7.4 – Stabilità cassoni prefabbricati Terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Modello di calcolo

- SLU sismica, caratterizzata da un livello idrico di fronte al cassone pari 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:

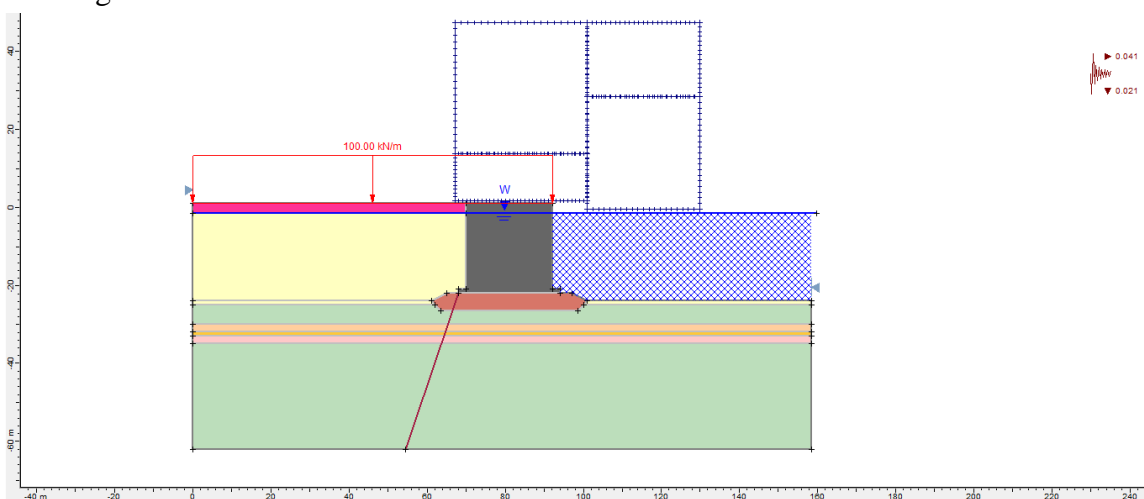


Figura 7.5 – Stabilità cassoni prefabbricati Terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Modello di calcolo

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	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.

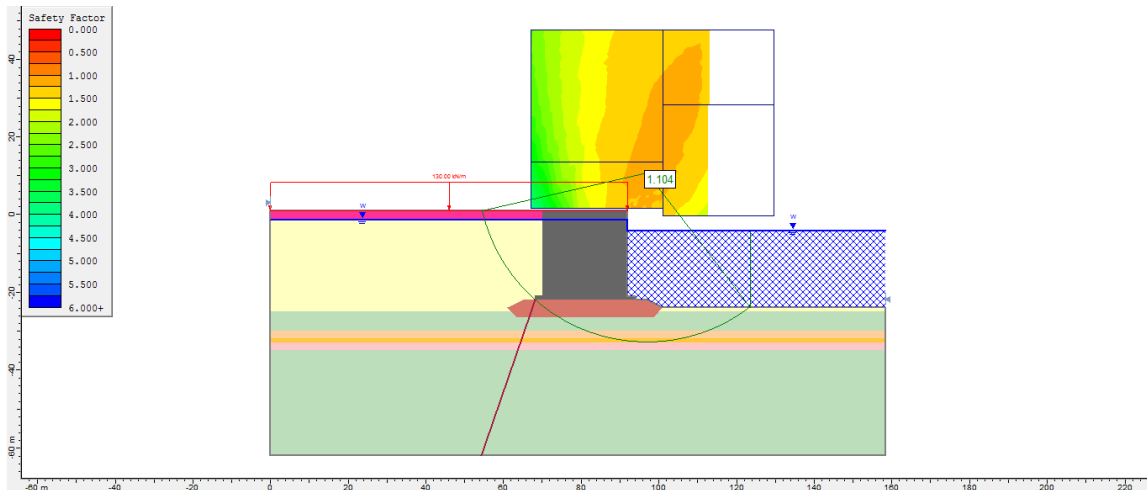


Figura 7.6 – Stabilità cassoni prefabbricati Terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.104 > F_{S,min} = 1.100$. **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.

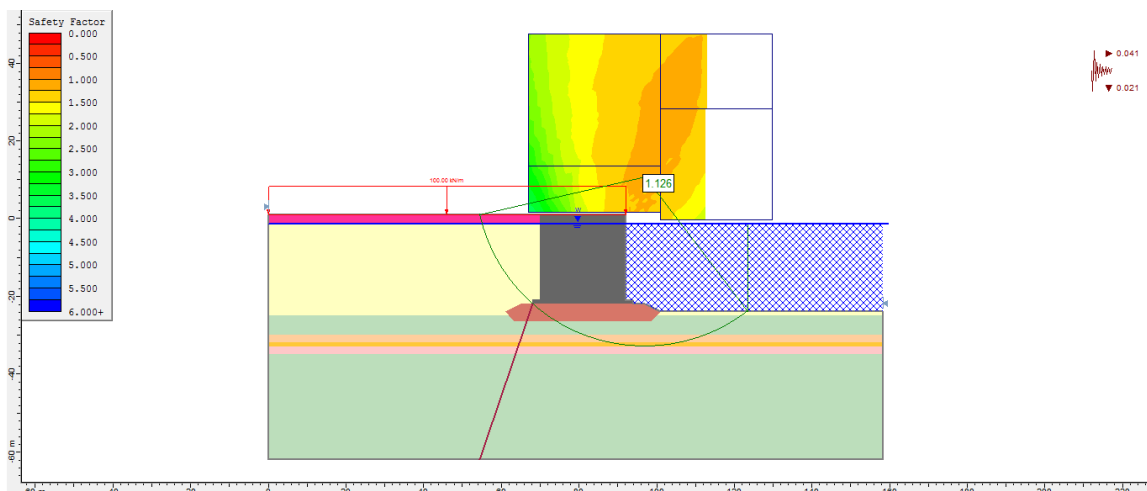


Figura 7.7 – Stabilità cassoni prefabbricati Terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.126 > F_{S,min} = 1.100$. **La verifica risulta pertanto soddisfatta.**

7.3 Banchina servizi terminal containers - Stabilità dei cassoni prefabbricati

Nei seguenti sottoparagrafi vengono illustrate le verifiche geotecniche dei cassoni prefabbricati utilizzati come marginamento e contenimento del terrapieno della banchina a servizio terminal containers.

La banchina servizi del terminal containers è progettata per un sovraccarico uniformemente distribuito sul terrapieno di 3 t/m^2 . I cassoni previsti presentano un'altezza di 25 m. La larghezza del fusto dei cassoni è pari a 20 m.

I cassoni sono suddivisi, in senso longitudinale al marginamento, in 4 file di celle. Si prevede il riempimento differenziato di tali file di celle mediante sabbia (peso specifico considerato pari a 19 kN/m^3) e acqua in modo da stabilizzare il cassone nei confronti degli atti di moto rigido, e ridurre nel contempo le pressioni sul terreno sottostante. In particolare si prevede di riempire:

- la prima fila di celle lato mare con acqua sino a quota medio mare;
- la seconda fila di celle, procedendo verso il terrapieno, con 6 m di sabbia e acqua sino a quota medio mare;
- le due file di celle lato terrapieno, con 12 m di sabbia e acqua sino a quota medio mare.

Nei calcoli statici si è considerato un livello idrico di fronte ai cassoni pari a -2.64 m s.m.m. (cfr. capitolo 5).

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.

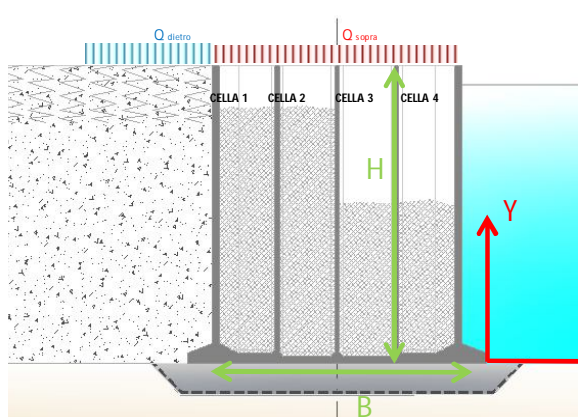
**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia
 PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS**

Relazione tecnica opere civili

Marzo 2012

C2-REL-1001

Rev.0



DATI IN INGRESSO			
H=	25 m	LARGHEZZA CELLE=	4,8 m
B=	20 m	NUMERO CELLE=	4
SPESSORE SETTI E PARETE INT=		ALTEZZA RIEMP. CELLA 1=	
1,5 m		21 m	
SPESSORE SOLAIO=		ALTEZZA RIEMP. CELLA 2=	
1,5 m		21 m	
SPESSORE PLATEA=		ALTEZZA RIEMP. CELLA 3=	
1 m		21 m	
SPESSORE PARETE EXT=		ALTEZZA RIEMP. CELLA 4=	
1 m		21 m	
PESO TERRAPIENO=		PESO SPEC. CELLA 1=	
9 kN/m ³		15,1 kN/m ³	
ALTEZZA ACQUA A MONTE=		PESO SPEC. CELLA 2=	
22 m		15,1 kN/m ³	
ALTEZZA ACQUA A VALLE=		PESO SPEC. CELLA 3=	
19,36 m		12,6 kN/m ³	
SOVRACCARICO SOPRA=		PESO SPEC. CELLA 4=	
0 kPa		10 kN/m ³	
SOVRACCARICO DIETRO=			
30 kPa			
ANGOLO ATTRITO TERRENO=			
34 °			
COEFFICIENTE ATTRITO=			
1			
COEFFICIENTE KH SISMICO=			
0,041			
COEFFICIENTE KV SISMICO=			
0,021			

CONTRIBUTI ELEMENTARI			
PESO CASSONE	3917,33 kN/m	PESO CELLA 1	1526,40 kN/m
SOTTOSPINTA ACQUA	4136,00 kN/m	PESO CELLA 2	1526,40 kN/m
SPINTA TERRAPIENO	864,16 kN/m	PESO CELLA 3	1267,20 kN/m
SPINTA Q SOPRA	0,00 kN/m	PESO CELLA 4	1008,00 kN/m
SPINTA Q DIETRO	230,44 kN/m	INERZ. CASSONE V	82,26 kN/m
SPINTA ACQUA DAVANTI	1874,05 kN/m	INERZ. CASSONE H	160,61 kN/m
SPINTA ACQUA DIETRO	2420,00 kN/m	INERZ. RIEMPIIMENTO V	111,889 kN/m
		INERZ. RIEMPIIMENTO H	218,45 kN/m
		SPINTA TERRAPIENO SISMA	35,43 kN/m

RISULTATI

VERIFICHE	SLU			SISMICI		
	FS	FS min	ESITO	FS	FS min	ESITO
SOLLEVAMENTO	1,83	1,00	VERIFICATO	2,19	1,00	VERIFICATO
RIBALTAMENTO	1,30	1,10	VERIFICATO	1,46	1,10	VERIFICATO
SCORRIMENTO	1,15	1,10	VERIFICATO	1,32	1,10	VERIFICATO

BRACCI RISPETTO AD ORIGINE			
BARICENTRO CASSONE X	10,00 m	BRACCIO CELLA 1 X	17,60 m
BARICENTRO CASSONE Y	9,45 m	BRACCIO CELLA 2 X	12,80 m
BRACCIO ACQUA DAVANTI	6,45 m	BRACCIO CELLA 3 X	8,00 m
BRACCIO ACQUA DIETRO	7,33 m	BRACCIO CELLA 4 X	3,20 m
BRACCIO Q SOPRA X	10,00 m		
BRACCIO Q DIETRO Y	12,50 m		
BRACCIO TERRAPIENO Y	8,12 m		

Figura 7.8 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di stabilità rispetto ad atti di moto rigido

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:

$$M= 13543.2\text{kN}\times\text{m}/\text{m}$$

L'azione assiale sulla fondazione vale:

$$N= 6642.13\text{kN}/\text{m}$$

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

L'eccentricità del carico vale pertanto:

$$e = M/N = 2.04\text{m}$$

Azione orizzontale di progetto:

$$V = 1640.6\text{kN/m}$$

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:

$$\sigma_{\text{lim}} / \sigma_{\text{max}} = 2.38 > 1.4 \text{ (tabella 6.5.I, par. 6.4.2.1 del D.M. 14.01.2008)}$$

**TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia
PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS**

Relazione tecnica opere civili

Marzo 2012

C2-REL-1001

Rev.0

CAPACITA' PORTANTE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

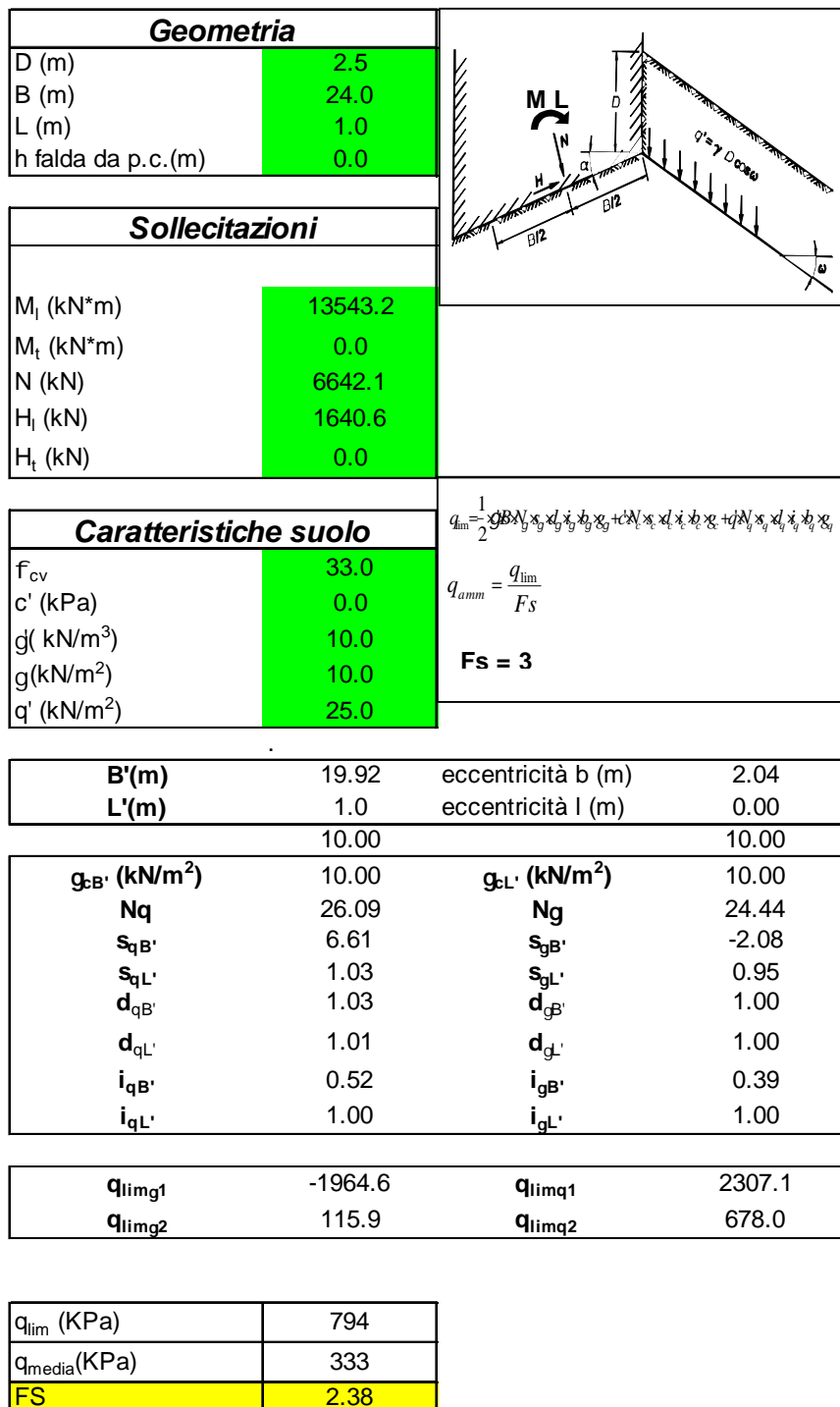


Figura 7.9 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di capacità portante

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

Verifiche di stabilità globale

Si sono condotte due analisi:

- SLU statica, nella quale si è considerato un livello idrico di fronte al cassone pari a -2.64 m s.m.m.. La figura sottostante mostra il modello di calcolo:

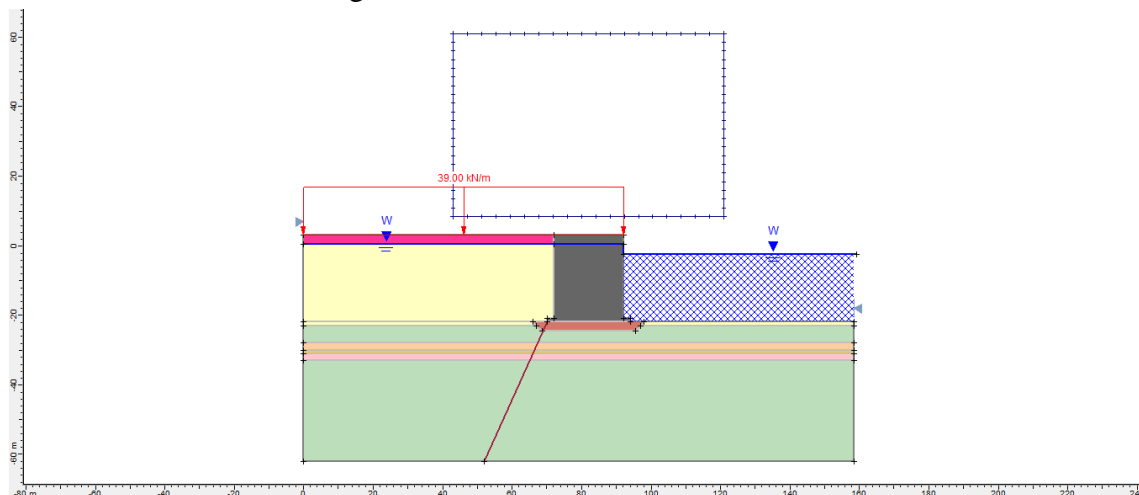


Figura 7.10 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Modello di calcolo

- 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:

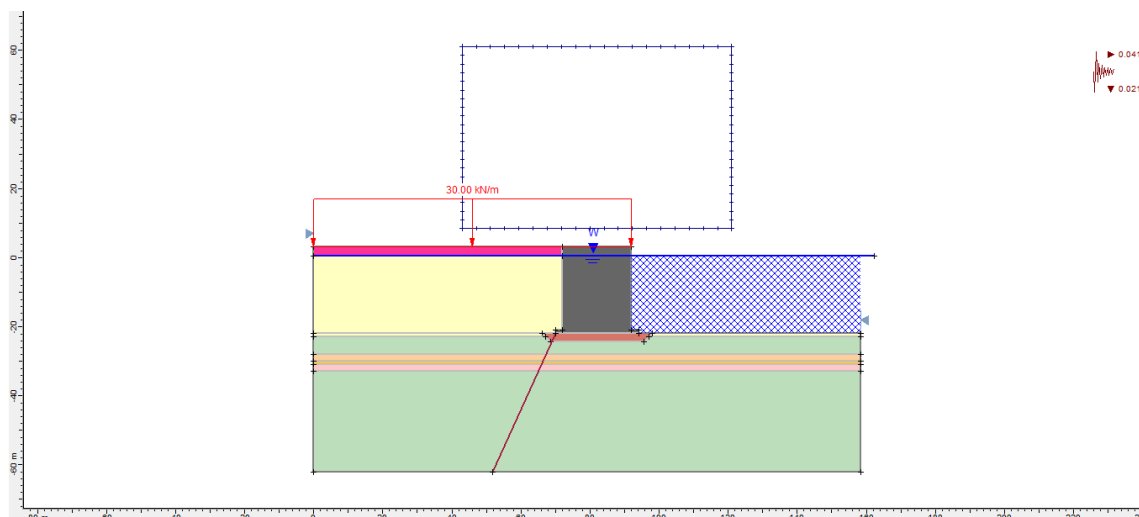


Figura 7.11 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Modello di calcolo

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	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.

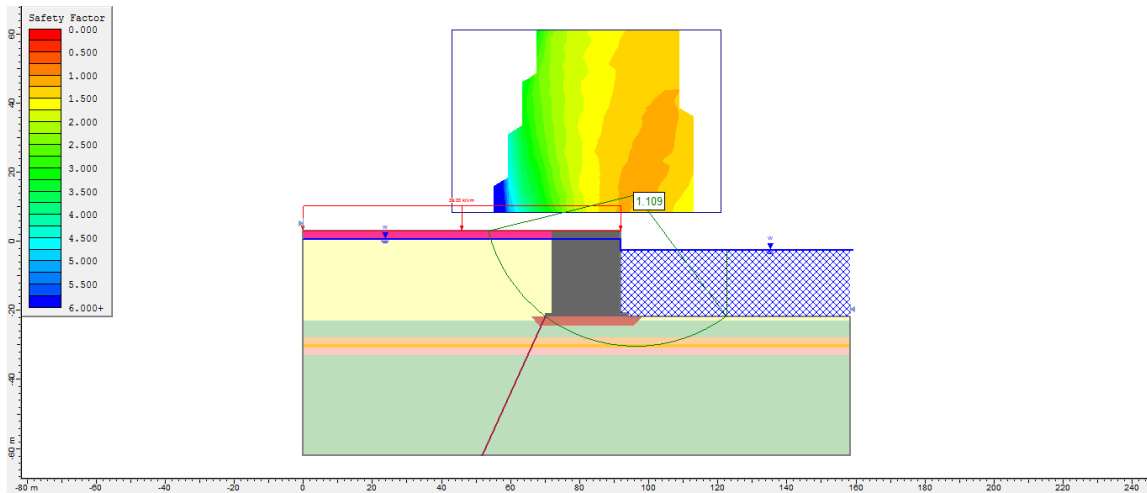


Figura 7.12 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU statica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza minimo risulta pari a $F_S = 1.109 > F_{S,min} = 1.100$. **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.

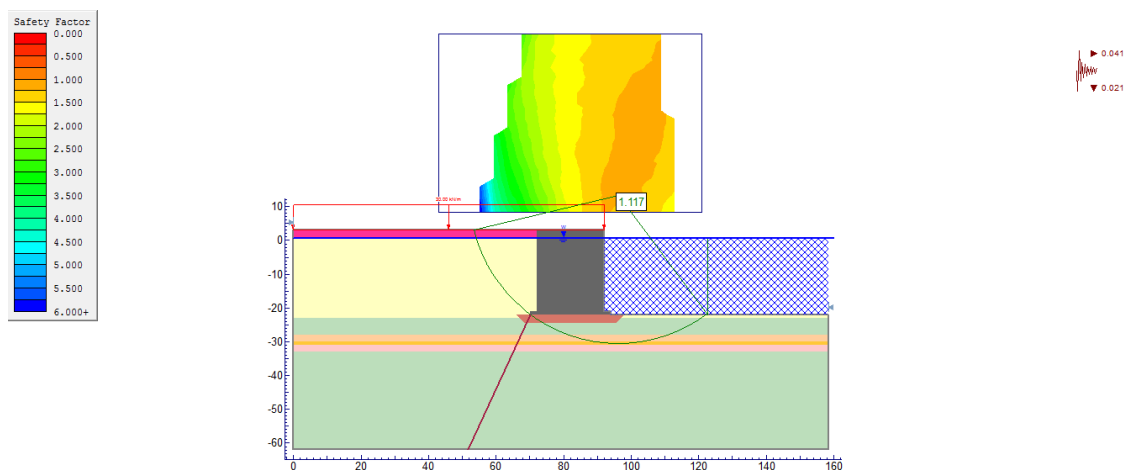


Figura 7.13 – Stabilità cassoni prefabbricati Banchina servizi terminal containers – Verifiche di stabilità globale – Analisi SLU sismica – Mappatura dei coefficienti di sicurezza

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

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

8 VERIFICHE DI GALLEGGIAMENTO DEI CASSONI

8.1 Cassoni Terminal containers

I cassoni in esame verranno trasferiti nel luogo di posa privi della soletta superiore, che verrà gettata in opera. Il volume di cemento armato costituente il cassone senza soletta superiore è pari a circa $3'530 \text{ m}^3$, che moltiplicato per il peso specifico del calcestruzzo, assunto pari a 26 kN/m^3 , dà un peso del cassone in aria pari a circa $91'780 \text{ kN}$.

Pescaggio e baricentro

Il calcolo del pescaggio dei cassoni si ottiene imponendo l'uguaglianza tra il peso del cassone in aria e la spinta di Archimede, pari al peso del volume di liquido spostato. Considerando un peso specifico dell'acqua di mare pari a 10.3 kN/m^3 , si ottiene un pescaggio pari a 13.29 m .

La realizzazione dei cassoni è prevista in un'opportuna area di prefabbricazione che non consente il galleggiamento dei cassoni in relazione al pescaggio suddetto. Si prevede pertanto una costruzione parziale dei cassoni in asciutto, il loro successivo trasferimento in area di varo, e il loro completamento, ad esclusione della soletta superiore, in condizione di galleggiamento in area protetta.

Il baricentro dei cassoni senza soletta superiore risulta posizionato ad un'altezza di 9.17 m dalla base del cassone, ovvero a quota -4.12 m s.m.m. .

Centro di carena

Si definisce volume di carena di un natante la parte immersa del natante stesso. Il baricentro di tale volume, ovvero il punto di applicazione della spinta di Archimede, è il centro di carena. Nel caso in esame, il centro di carena dei cassoni senza soletta superiore risulta posizionato ad un'altezza di 6.55 m dalla base del cassone, ovvero a quota -6.74 m s.m.m. .

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

Stabilità al galleggiamento

In condizioni di riposo del natante, i punti y_G e y_C sono allineati lungo l'asse di galleggiamento.

In condizioni inclinate y_G rimane nella stessa posizione, mentre il centro di carena subisce uno spostamento nel centro del nuovo volume di carena. L'intersezione tra l'asse di galleggiamento e la retta d'azione della spinta applicata al nuovo centro di carena, definisce un punto chiamato metacentro. Se il metacentro risulta più alto del baricentro, l'equilibrio al galleggiamento si definisce stabile. Il raggio metacentrico, ovvero la distanza tra il metacentro e il centro di carena, si calcola mediante la seguente equazione:

$$r = \frac{J_y}{V_{immerso}}$$

dove J_y rappresenta il momento d'inerzia della sezione del cassone in corrispondenza al pelo libero rispetto all'asse di rotazione. La condizione più sfavorevole è quella corrispondente al raggio metacentrico minimo, ovvero al momento d'inerzia J_y minimo. Nel caso in esame, in cui la sezione del cassone in corrispondenza al pelo libero è rettangolare, la condizione più sfavorevole si verifica nel caso di rotazione intorno all'asse parallelo al lato più lungo del cassone stesso.

In particolare risulta $r_{min} = 3.04$ m, cui corrisponde un'altezza del metacentro dalla base del cassone di 9.58 m, ovvero una quota del metacentro pari a -3.70 m s.m.m..

Il metacentro risulta pertanto più alto del baricentro, e quindi il galleggiamento risulta stabile. La riserva di galleggiamento, ovvero la differenza fra le quote del metacentro e del baricentro, risulta però è di 42 cm, ed è quindi piuttosto esigua. Si prevede pertanto, prima di procedere al trasferimento dei cassoni in mare aperto, di zavorrare con sabbia i cassoni in modo da incrementare opportunamente la loro stabilità.

8.2 Cassoni Banchina servizi terminal containers

I cassoni in esame verranno trasferiti nel luogo di posa privi della soletta superiore, che verrà gettata in opera. Il volume di cemento armato costituente il cassone senza soletta superiore è pari a circa

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

3'502 m³, che moltiplicato per il peso specifico del calcestruzzo, assunto pari a 26 kN/m³, dà un peso del cassone in aria pari a circa 91'040 kN.

Pescaggio e baricentro

Il calcolo del pescaggio dei cassoni si ottiene imponendo l'uguaglianza tra il peso del cassone in aria e la spinta di Archimede, pari al peso del volume di liquido spostato. Considerando un peso specifico dell'acqua di mare pari a 10.3 kN/m³, si ottiene un pescaggio pari a 14.50 m.

La realizzazione dei cassoni è prevista in un'opportuna area di prefabbricazione che non consente il galleggiamento dei cassoni in relazione al pescaggio suddetto. Si prevede pertanto una costruzione parziale dei cassoni in asciutto, il loro successivo trasferimento in area di varo, e il loro completamento, ad esclusione della soletta superiore, in condizione di galleggiamento in area protetta.

Il baricentro dei cassoni senza soletta superiore risulta posizionato ad un'altezza di 10.08 m dalla base del cassone, ovvero a quota -4.41 m s.m.m..

Centro di carena

Si definisce volume di carena di un natante la parte immersa del natante stesso. Il baricentro di tale volume, ovvero il punto di applicazione della spinta di Archimede, è il centro di carena. Nel caso in esame, il centro di carena dei cassoni senza soletta superiore risulta posizionato ad un'altezza di 7.14 m dalla base del cassone, ovvero a quota -7.35 m s.m.m..

Stabilità al galleggiamento

In condizioni di riposo del natante, i punti y_G e y_C sono allineati lungo l'asse di galleggiamento.

In condizioni inclinate y_G rimane nella stessa posizione, mentre il centro di carena subisce uno spostamento nel centro del nuovo volume di carena. L'intersezione tra l'asse di galleggiamento e la retta d'azione della spinta applicata al nuovo centro di carena, definisce un punto chiamato metacentro. Se il metacentro risulta più alto del baricentro, l'equilibrio al galleggiamento si definisce stabile. Il raggio metacentrico, ovvero la distanza tra il metacentro e il centro di carena, si calcola mediante la seguente equazione:

TERMINAL PLURIMODALE OFF-SHORE al largo della Costa di Venezia PROGETTO PRELIMINARE TERMINAL CONTAINERS		
Relazione tecnica opere civili		
Marzo 2012	C2-REL-1001	Rev.0

$$r = \frac{J_y}{V_{immerso}}$$

dove J_y rappresenta il momento d'inerzia della sezione del cassone in corrispondenza al pelo libero rispetto all'asse di rotazione. La condizione più sfavorevole è quella corrispondente al raggio metacentrico minimo, ovvero al momento d'inerzia J_y minimo. Nel caso in esame, in cui la sezione del cassone in corrispondenza al pelo libero è rettangolare, la condizione più sfavorevole si verifica nel caso di rotazione intorno all'asse parallelo al lato più lungo del cassone stesso.

In particolare risulta $r_{\min} = 2.30$ m, cui corrisponde un'altezza del metacentro dalla base del cassone di 9.44 m, ovvero una quota del metacentro pari a -5.05 m s.m.m..

Il metacentro risulta pertanto più basso del baricentro, e quindi il galleggiamento risulta non stabile. La differenza fra le quote del metacentro e del baricentro risulta pari a 64 cm. Si prevede pertanto, prima di procedere al trasferimento dei cassoni in mare aperto, di zavorrare con sabbia i cassoni in modo da incrementare opportunamente la loro stabilità.

9 PROTEZIONE DALL'EROSIONE DEL FONDALE ANTISTANTE IL TERMINAL CONTAINERS

In base alle caratteristiche delle navi porta-container di cui si prevede l'accosto e ai fondali di progetto sono state valutate le azioni dinamiche prodotte dalle eliche delle imbarcazioni in fase di accosto e partenza dal terminal in progetto. In base a tali valutazioni si è prevista la protezione del fondale con massi da 60-300 kg per uno spessore di 1.0 m. Al di sotto di tale strato si prevede la posa di un materassino filtrante.