

# AUTORITA' PORTUALE



## PORTO CANALE DI CAGLIARI AVAMPOR TO EST DISTRETTO DELLA CANTIERISTICA

### PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE

Titolo elaborato:

#### CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Scala:

1 0      0 1 5      D R      0 0 4      - 0      C S I

Committente:

AUTORITA' PORTUALE  
DI CAGLIARI

R.U.P.:

Dott. Ing. Sergio MURGIA

Progetto Opere a Mare:

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

Progetto Opere a Terra:

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

Geologia

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

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

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

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

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

Visto del Committente:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

### PORTO CANALE DI CAGLIARI

#### AVAMPORTO EST

### DISTRETTO DELLA CANTIERISTICA

### PROGETTO DEFINITIVO

### CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

#### INDICE

1. PREMESSE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE	10
6. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE	16
7. CRITERI DI VERIFICA DELLE STRUTTURE	18
8. CONSIDERAZIONI SULLA CORROSIONE DEI PALANCOLATI METALLICI	24
9. AZIONI VARIABILI	25
10. ELENCO DELLE VERIFICHE DEI PALANCOLATI	26
10.1. Verifiche eseguite per lo Stato Limite Ultimo (SLU)	26
10.2. Verifiche eseguite per lo Stato Limite di Esercizio (SLE)	29
11. CALCOLO E VERIFICA DEI PALANCOLATI	30
11.1. Calcolo e verifica dei palancolati del tratto 1	30
11.1.1. Verifica delle sezioni maggiormente sollecitate	32
11.2. Calcolo e verifica dei palancolati del tratto 2	34
11.2.1. Verifica delle sezioni maggiormente sollecitate	36
12. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA A GETTATA	38

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

12.1. Generalità	38	
12.2. Nucleo	39	
12.3. Filtri	39	
12.4. Mantellate	39	
12.5. Spessori delle "mantellate" e dello strato filtro		41
13. MURO DI BANCHINA A CASSONI		42

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 1. PREMESSE

Nella presente relazione sono riportati i risultati delle analisi finalizzate al calcolo ed alla verifica delle soluzioni progettuali delle opere previste nel progetto del "Distretto Della Cantieristica" destinato ad insediamenti industriali, artigianali e commerciali nel settore della cantieristica da diporto, con particolare riferimento al refitting di megayacht da realizzare nell'avamposto est del Porto Canale di Cagliari.

In particolare la presente relazione prende in esame le banchine che si affacciano sul bacino principale dragato a quota -5.00 m s.l.m. (banchina di riva) di seguito denominate TRATTO 1, le banchine del canale interno denominate nel seguito TRATTO 2 e le banchine a cassoni previste in corrispondenza delle testate del molo di levante previste in corrispondenza della nuova imboccatura portuale di servizio.

Infine è riportato il dimensionamento della mantellata di protezione del molo Sud e del molo Ovest che costituiscono le opere di difesa del bacino protetto su cui si affacciano i nuovi cantieri navali.

Per le verifiche geotecniche di stabilità delle varie opere e la caratterizzazione meccanica dei terreni si rimanda alla specifica Relazione Geotecnica di progetto.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione, parete integrante del progetto definitivo, è stata redatta in conformità alla vigente normativa nazionale riportata sinteticamente nel seguito:

- L. 5/11/1971 n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica.
- DM 16/1/1996 - Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- L. 2/2/1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- DM 14/1/2008 – Norme tecniche per le costruzioni e relative istruzioni.
- UNI EN 1993-5:2007 – Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e EN palancole
- "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" – Ministero dei Lavori Pubblici – Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI);
- "Technical standards for port and harbour facilities in Japan" – OCDE 1991
- "Probabilistic design tools for vertical breakwaters" – Maarten de Groot – 2001

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

### 3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Di seguito vengono riportate in sintesi i parametri relativi alla caratterizzazione sismica delle opere in oggetto.

In accordo con il DM 14/01/2008, le verifiche sulle paratie sono condotte nel rispetto degli stati limiti ultimi relative al solo SLV (cap. 7.1).

#### Periodo di riferimento per l'azione sismica

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Dove:

- $V_R$  = periodo di riferimento per l'azione sismica;
- $V_N$  = vita nominale dell'opera strutturale (è il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata). Per il caso in oggetto  $V_N \geq 50$  anni: *Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;*
- $C_U$  = classe d'uso. Per il caso in oggetto  $C_U = 1.0$  (classe d'uso II): *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

#### Parametri caratteristici della sollecitazione sismica

- $T_r$  = tempo di ritorno
- $T_c^*$  = parametro necessario per la costruzione dello spettro elastico di risposta;
- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale
- $F_0$  = fattore che quantifica amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

Tab. 3-1 – Porto di Cagliari - Valutazione dell'azione sismica – Valori di riferimento per sito su superficie piana e sottosuolo rigido				
	$T_r$ (anni)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)	$a_g$ (g)
SLV	475	2.88	0.34	0.05

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

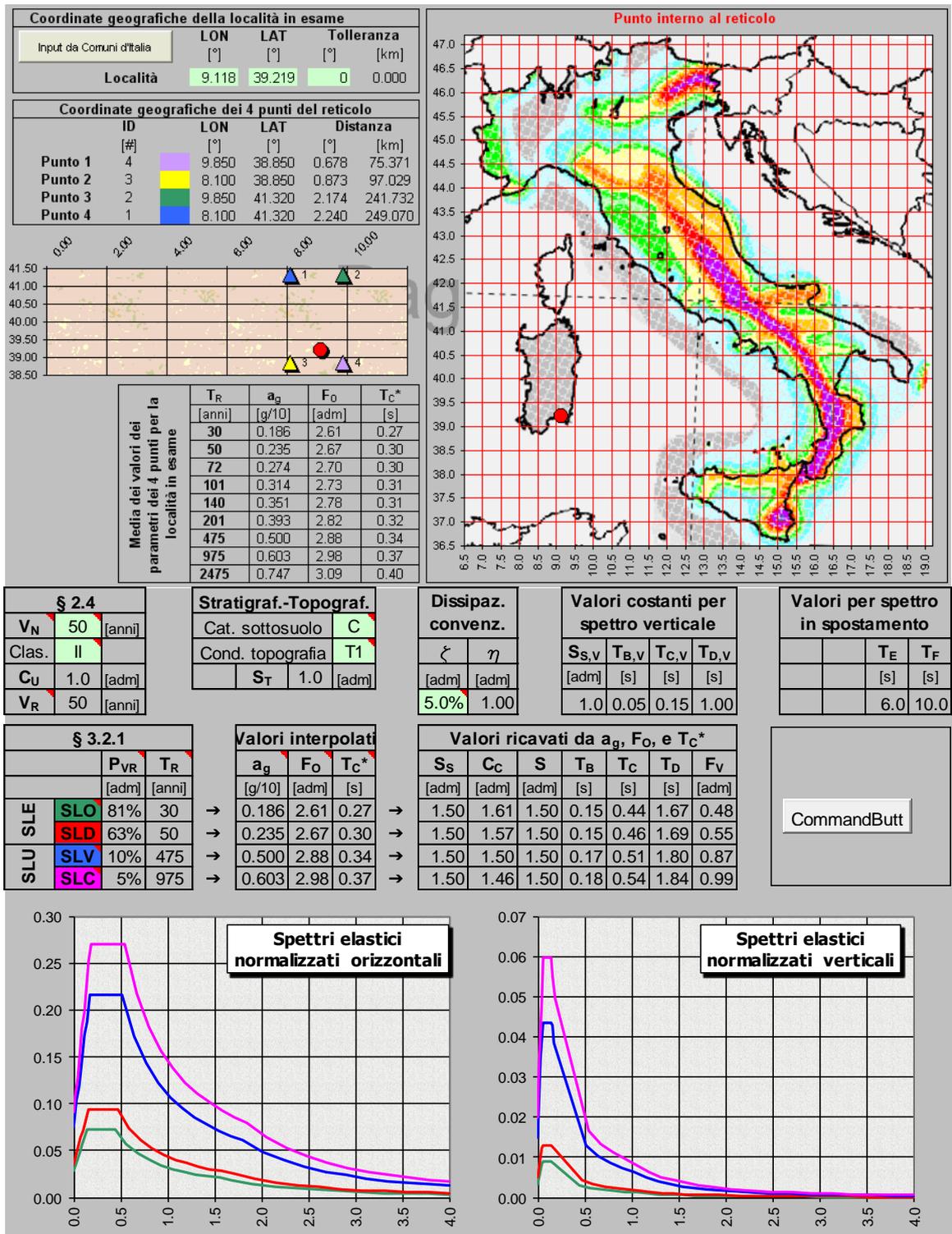


FIG. 3.1 - PORTO DI CAGLIARI - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA SECONDO D.M. 14/01/08 – (A) COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO; (B) GRAFICO DEI TEMPI DI RITORNO  $T_R$ . FONTE SOFTWARE "SPETTRI ELASTICI DM2008\_v04\_8"

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito, si calcola infine il valore massimo dell'accelerazione  $a_{max}$  da considerare nelle analisi di progetto. Tale valore deriva dall'accelerazione massima in condizione di sito di riferimento pianeggiante su suolo rigido, adeguatamente amplificata per tener conto dell'effetto delle specifiche condizioni stratigrafiche e topografiche.

Tale amplificazione locale viene introdotta utilizzando i due coefficiente seguenti:

- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica = calcolato secondo la Tabella 3.2.V del DM 14/01/08, variabile per ogni stato limite di riferimento;
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografico = calcolato considerando le condizioni topografiche del sito secondo Tabella 3.2.VI;

L'accelerazione massima di riferimento, tenendo conto delle amplificazioni, è calcolata quindi con la seguente relazione:

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

Per quanto riguarda le condizioni stratigrafiche, la relazione geologica indica una categoria di sottosuolo di tipo C che corrisponde ad un coefficiente amplificativo  $S_s = 1,5$ .

A riguardo delle condizioni topografiche, tutte le aree interessate dalle opere di progetto sono caratterizzate da un fondale o piano campagna lievemente inclinati; per tale motivo, le analisi di stabilità in corrispondenza delle opere sono state eseguite tenendo conto di una categoria topografica T1, che secondo Tabella 3.2.IV e Tabella 3.2.VI della normativa di riferimento corrisponde ad un coefficiente amplificativo  $S_T = 1,0$ . I valori utilizzati nelle verifiche sismiche in corrispondenza delle opere sono riassunti nella Tab. 3-2.

TAB. 3-2 - PORTO DI CAGLIARI - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA – VALORI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA DELLE OPERE DOPO AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA – SEZIONI TIPO DI PROGETTO					
	Tr (anni)	$a_g$ (g)	$S_s$	$S_T$	$a_{max}$ (g)
SLV	475	0.050	1.50	1	0.075

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

Per la determinazione delle azioni sismiche agenti sulle paratie in oggetto si utilizza il metodo pseudostatico, dove l'accelerazione sismica è definita costante nello spazio e nel tempo. Le pressioni sismiche sono state ricavate applicando la teoria di Mononobe-Okabe.

L'accelerazione è definita come:

$$a_h = k_h \times g = \alpha \times \beta \times a_{max}$$

dove:

- $g$  è l'accelerazione di gravità,
- $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,
- $\alpha$  coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti l'opera;
- $\beta$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti.

Per le paratie l'accelerazione verticale  $a_v$  può essere trascurata.

Il coefficiente  $\alpha$  è funzione dell'altezza della paratia e del tipo di terreno, nel caso in esame (altezza paratia 14 m e categoria di sottosuolo tipo C)  $\alpha$  risulta pari a 1.00.

Per la valutazione della spinta passiva  $\alpha=1.00$

Inoltre, ammettendo uno spostamento pari all'0.5% dell'altezza della paratia si ottiene un valore del coefficiente  $\beta = 0.431$ , pertanto i coefficienti sismici risultano i seguenti:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

$K_h = 0.032$  – coefficiente sismico orizzontale per la spinta attiva e le forze di inerzia

$K_{hp} = 0.032$  – coefficiente sismico orizzontale per la spinta passiva.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle opere strutturali sono sinteticamente riportate nel seguito.

##### Acciaio per palancole

Tutti i palancole costituiti da palancole tipo "Z" costituiti da acciaio S355GP, normato secondo la EN 10248, avente una tensione di snervamento  $f_y \geq 355$  MPa e una tensione di rottura  $f_u \geq 480$  MPa.

##### Acciaio per pali e carpenterie metalliche

Acciaio S355J0, normato secondo la EN 10025, avente una tensione di snervamento  $f_y \geq 355$  Mpa (variabile per spessori > di 16mm);

##### Acciaio per tiranti

Barre per ancoraggi permanenti in acciaio S355J0, normato secondo la EN 10025, avente una tensione di snervamento  $f_y \geq 355$  Mpa; per diametri superiori a 100mm  $f_y \geq 295$  Mpa; Acciaio per perni: acciaio legato 38NiCrMo4  $f_y \geq 750$  Mpa;

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 5. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Di seguito vengono riportati in sintesi i parametri geotecnici caratteristici dei terreni assunti nei calcoli di dimensionamento e verifica delle opere in oggetto insieme alle sezioni stratigrafiche di calcolo maggiormente gravose così come definite nella specifica Relazione Geotecnica di progetto.

### Sezioni stratigrafiche di calcolo

#### *Sezione tipo banchina di riva lato Nord*

Formazione	Spessore (m)
Rilevato in Tout Venant	5.00
LSO*	4.00
SL2	3.50
LAS1/AS	> 2.50

#### *Sezione tipo canale di navigazione interno*

Formazione	Spessore (m)
Rilevato in Tout Venant	2.00
LSO*	7.00
SL2	3.10
LAS1/AS	> 2.50

### Parametri geotecnici caratteristici

Nella tabella seguente vengono sinteticamente riportati i parametri geotecnici di modello utilizzati per le varie unità geotecniche, determinati alla luce della caratterizzazione geotecnica di dettaglio esposta nella specifica Relazione Geotecnica.

Il valore dei moduli operativi  $E_{vc}$  come noto dipendono dal livello deformativo atteso per l'opera e nel caso in esame sono stati ricavati a partire dall'interpretazione delle prove in situ eseguite nell'area.

In particolare nel caso delle formazioni  $SL_2$  e  $LAS_1$  è stato assunto un andamento del modulo elastico di primo carico  $E_{vc}$  crescente con la profondità descritto mediante la seguente espressione generale:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

$$E_{vc} = R \cdot (p' / p_a)^n \quad \text{modulo in compressione vergine (primo carico).}$$

dove:

$p_a = 100$  kPa pressione di riferimento (pressione atmosferica 100 kPa);

$p' = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$  pressione media alla generica profondità;

R modulo elastico corrispondente a  $p' = 100$  kPa;

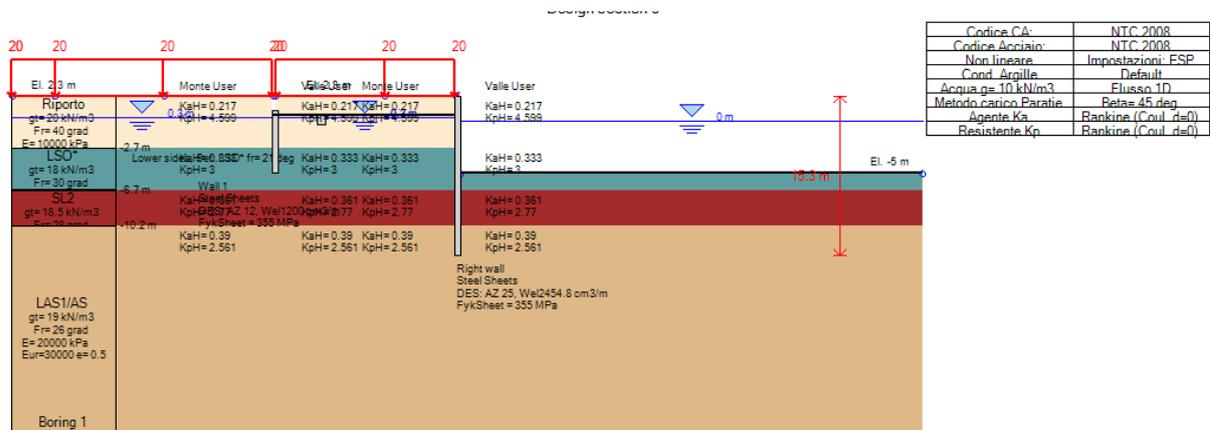
n coefficiente di forma della legge compreso tra 0 e 1 (n = 0, legge costante con la profondità, n= 1 legge variabile linearmente).

Il modulo di scarico–ricarico ( $E_{ur}$ ) può essere assunto in un range compreso tra 1.5÷3 volte quello di primo carico.

Formazione	Tipo terreno	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$E_{vc}$ (kPa)	$E_{ur}$ (kPa)	u
Tout Venant	Sabbia	20	0	40	10000	30000	0.3
LSO*	Limo	18	0	30	5000	8000	0.3
SL <sub>2</sub>	Sabbia	18.5	0	28	R=20000 m = 0.5 $p_a = 100$	30000	0.3
LAS <sub>1</sub> /AS	Limo	19	0	26	R=20000 m = 0.5 $p_a = 100$	30000	0.3

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

### Tratto 1 – banchina del bacino dragato alla -5.00 m s.l.m.



#### Riporti (tout venant da q.ta piano campagna a q.ta -2.70 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 40^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.30 & K_a \text{ e } K_p & \text{(Met. Rankine)} & K_0 &= 0.357 \\ E_{vc}' &= 10 \text{ Mpa} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### Strato LSO\* (limi sabbiosi argillosi organici trattati da q.ta -2.70 m a q.ta -6.70 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 30^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.30 & K_a \text{ e } K_p & \text{(Met. Rankine)} & K_0 &= 0.500 \\ E_{vc}' &= 5.0 \text{ Mpa} & E_{ur}' &= 8.0 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### Strato SL2 (sabbie limose da q.ta -6.70 m a q.ta -10.20 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 18.5 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 28^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.3 & K_a \text{ e } K_p & \text{(Met. Rankine)} & K_0 &= 0.531 \\ E_{vc} &= 20 \cdot (p'/p_a)^{0.5} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

#### Strato LAS1/AS (limi argillosi e sabbie limose da q.ta -10.20 m a q.ta -25.0 m s.l.m.):

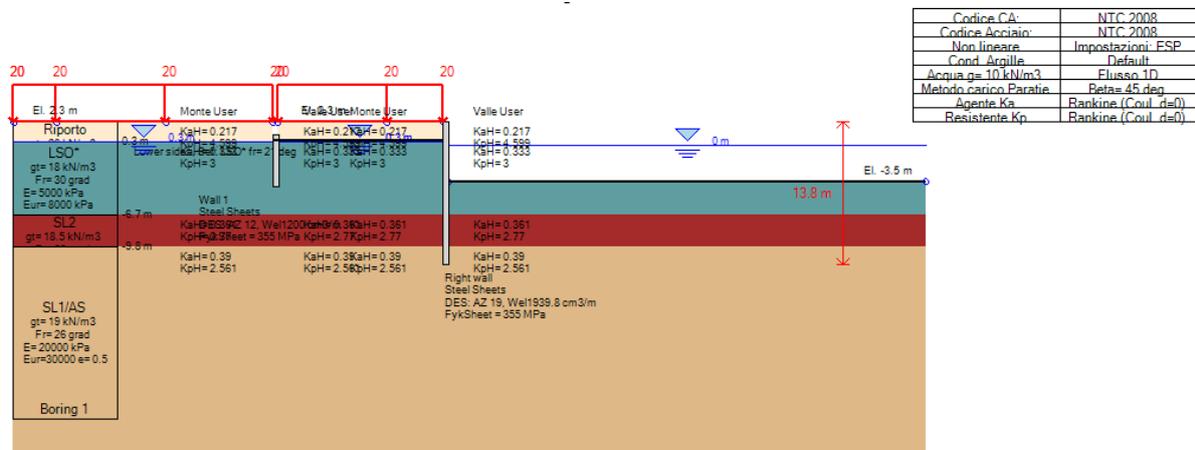
$$\begin{aligned} \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 26^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.3 & K_a \text{ e } K_p & \text{(Met. Rankine)} & K_0 &= 0.562 \\ E_{vc} &= 20 \cdot (p'/p_a)^{0.5} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

**Note:** su entrambe le paratie (paratia di banchina e paratia d'ancoraggio), ai fini della determinazione della spinta attiva e passiva del terreno sul palancoato, nei calcoli si è ipotizzato a scopo cautelativo che l'angolo di attrito terreno-parete sia nullo. Inoltre nel modello si è debitamente tenuto conto della presenza di zone di terreno pretrattato mediante vibroflottazione, imponendo differenti caratteristiche meccaniche per il terreno in posto e quello per l'appunto consolidato secondo le metodologie espresse nella specifica Relazione Geotecnica di Progetto.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## Tratto 2 – banchina del canale dragato alla -3.50 m s.l.m.m.



### Riperti (tout venant da q.ta piano campagna a q.ta +0.30 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 40^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.30 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & & K_0 &= 0.357 \\ E_{vc}' &= 10 \text{ Mpa} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} & & \end{aligned}$$

### Strato LSO\* (limi sabbiosi argillosi organici trattati da q.ta +0.30 m a q.ta -6.70 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 30^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.30 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & & K_0 &= 0.500 \\ E_{vc}' &= 5.0 \text{ Mpa} & E_{ur}' &= 8.0 \text{ Mpa} & & \end{aligned}$$

### Strato SL2 (sabbie limose da q.ta -6.70 m a q.ta -9.80 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 18.5 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 28^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.3 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & & K_0 &= 0.531 \\ E_{vc} &= 20 \cdot (p'/p_a)^{0.5} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} & & \end{aligned}$$

### Strato LAS1/AS (limi argillosi e sabbie limose da q.ta -9.80 m a q.ta -25.0 m s.l.m.):

$$\begin{aligned} \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 & \phi' &= 26^\circ & c' &= 0 \text{ kPa} \\ \nu &= 0.3 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & & K_0 &= 0.562 \\ E_{vc} &= 20 \cdot (p'/p_a)^{0.5} & E_{ur}' &= 30 \text{ Mpa} & & \end{aligned}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

**Note:** su entrambe le paratie (paratia di banchina e paratia d'ancoraggio), ai fini della determinazione della spinta attiva e passiva del terreno sul palancolato, nei calcoli si è ipotizzato a scopo cautelativo che l'angolo di attrito terreno-parete sia nullo . analogamente al caso precedente nel modello si è debitamente tenuto conto della presenza di zone di terreno pretrattato mediante vibroflottazione, imponendo differenti caratteristiche meccaniche per il terreno in posto e quello consolidato.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

## 6. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

L'ipotesi progettuale è quella di realizzare, una serie di banchinamenti attraverso la realizzazione di un robusto palancoato metallico. La quota di banchina è di +2.30 metri dal livello medio marino. Per soddisfare le previste caratteristiche prestazionali delle nuove banchine, il palancoato deve essere progettato per sostenere un sovraccarico di  $20 \text{ kN/m}^2$  e le spinte del terreno a tergo con fondali fino alla quota di  $-5.0 \text{ m s.l.m.m.}$

Le palancole indicate sono state scelte tra i prodotti tipo ARCELOR-MITTAL catalogo 2008. Ovviamente tale scelta è indicativa e sostituibile con analoghe soluzioni in fase di progettazione esecutiva, ma si è resa necessaria in questa fase della progettazione per la definizione di tutti gli elementi interferenti con i profili stessi (sistema d'ancoraggio dei tiranti, interasse dei tiranti, armatura delle travi di coronamento, verifiche delle sezioni strutturali corrose, etc.). In particolare, di seguito sono riportati i valori caratteristici minimi richiesti delle sezioni integre valide per i modelli di calcolo analizzati; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per le sezioni corrose (vedere §8).

### Tratto 1

PALANCOLATO FRONTALE: Tipo AZ 25 (L = 15.30 m; q.ta testa palancole +2.30 m s.l.m.m.; q.ta infissione -13.00 m s.l.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti:  $W_{el} = 2455 \text{ cm}^3/\text{m}$ ;  $J = 52250 \text{ cm}^4/\text{m}$ ; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere §8).

TIRANTE DI ANCORAGGIO: barra in acciaio tipo Anker Schroeder da 3" acciaio S355J0, diametro nominale 62 mm (al netto della filettatura), interasse 2,52 metri, q.ta asse tirante tipo +0.50 m s.l.m.m.;

PALANCOLATO DI ANCORAGGIO: Tipo AZ 12 (L = 6.0 m; q.ta testa palancole +1.00 m s.l.m.m.; q.ta infissione -5.00 m s.l.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti:  $W_{el} = 1200 \text{ cm}^3/\text{m}$ ;  $J = 18140 \text{ cm}^4/\text{m}$ ; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere §8).

La distanza tra i due palancoati è stata posta pari a 14.0 m.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## **Tratto 2**

PALANCOLATO FRONTALE: Tipo AZ 19 (L = 13.80 m; q.ta testa palanca +2.30 m s.l.m.m.; q.ta infissione -11.50 m s.l.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti:  $W_{el} = 1940 \text{ cm}^3/\text{m}$ ;  $J = 36980 \text{ cm}^4/\text{m}$ ; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere §8).

TIRANTE DI ANCORAGGIO: barra in acciaio tipo Anker Schroeder da 2 3/4" acciaio S355J0, diametro nominale 52 mm (al netto della filettatura), interasse 2,52 metri, q.ta asse tirante tipo +0.50 m s.l.m.m.;

PALANCOLATO DI ANCORAGGIO: Tipo AZ 12 (L = 5.0 m; q.ta testa palanca +1.00 m s.l.m.m.; q.ta infissione -4.00 m s.l.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti:  $W_{el} = 1200 \text{ cm}^3/\text{m}$ ;  $J = 18140 \text{ cm}^4/\text{m}$ ; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere §8).

La distanza tra i due palancolati è stata posta pari a 13.0 m.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 7. CRITERI DI VERIFICA DELLE STRUTTURE

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) ed agli stati limite di esercizio (SLE) vengono effettuate in ottemperanza alla nuova normativa nazionale "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 18/1/2008, secondo i criteri sotto riportati.

Per le strutture di sostegno si devono considerare i seguenti stati limite ultimi:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- Collasso per atto di moto rigido
- Collasso per carico limite verticale
- Sfilamento di uno o più ancoraggi
- Instabilità globale del sistema terreno-opera

SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza di uno o più ancoraggi
- Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

SLE

- Verifica degli spostamenti del palancolato

### Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni ( $E_d$ ) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazioni per situazioni persistenti e transitorie in fase di costruzione:* valori di progetto delle azioni permanenti  $G_i$  e contemporanea presenza delle azioni variabili  $Q_j$

$$F_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_q (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk})$$

assumendo per i coefficienti parziali  $\gamma_G$  e  $\gamma_q$  e per i coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$  i valori definiti nei capitoli relativi alle singole strutture studiate.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

- *Combinazioni per situazioni persistenti e transitorie*: valori di progetto delle azioni permanenti  $G_i$  e contemporanea presenza delle azioni variabili  $Q_j$

$$F_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_q (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk})$$

assumendo per i coefficienti parziali  $\gamma_G$  e  $\gamma_q$  e per i coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$  i valori definiti nei capitoli relativi alle singole strutture studiate.

#### VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

La verifica per le opere di sostegno flessibili (paratie realizzate con palancole metalliche) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 ed M2) e per le resistenze (R1).

Pertanto i calcoli e le verifiche sono state condotte per le due combinazioni

- A1+M1+R1;
- A2+M2+R1;

dove R, relativo alle resistenze dei materiali è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica. Nel caso specifico R1 sono tutti uguali a 1.

Nella prima combinazione (A1+M1) i parametri del terreno sono quelli caratteristici ( $\gamma_M = 1$ ) e le azioni sono amplificate con coefficienti  $\gamma_F \neq 1$  (verifica strutturale, STR), mentre nella seconda

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

(A2+M2) i parametri del terreno vengono ridotti mediante coefficienti  $\gamma_M \neq 1$  e le azioni sono quelle caratteristiche (verifica geotecnica, GEO):

Azioni		Simbolo	Set	
			A1	A2
Permanenti strutturali	Sfavorevole	$\gamma_{G1}$	1,3	1,0
	Favorevole		1,0	1,0
Permanenti portati	Sfavorevole	$\gamma_{G2}$	1,5	1,0
	Favorevole		1,0	1,0
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qi}$	1,5	1,3
	Favorevole		0	0

Parametri del terreno	Simbolo	Set	
		M1	M2
Angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25(*)
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25

(\*) applicato alla  $\text{tg}\phi'$

Nei calcoli i coefficienti sono stati applicati direttamente ai valori rappresentativi delle azioni (quindi a  $\psi \cdot F_k$ ).

### **Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi in condizioni sismiche (SLU -EQK)**

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni ( $E_d$ ) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazioni per situazioni di progetto sismiche:* valori caratteristici delle azioni permanenti  $G_i$  con i valori frequenti delle azioni variabili  $Q_j$  e con il valore di progetto dell'azione sismica  $A_{Ed}$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

$$F_d = \sum_i G_{ik} + \gamma_1 A_{Ed} + \sum_j \psi_{2j} Q_{jk}$$

assumendo per i coefficienti parziali  $\gamma_G$  e  $\gamma_1$  e per i coefficienti di combinazione  $\psi_{2j}$  i valori definiti nei capitoli relativi alle singole strutture studiate.

In accordo con il DM 14/01/2008, le verifiche sono condotte nel rispetto degli stati limiti ultimi relative al solo SLV (cap. 7.1).

La verifica per le opere di sostegno flessibili (paratie realizzate con palancole metalliche) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 ed M2) e per le resistenze (R1).

Pertanto i calcoli e le verifiche sono state condotte per le due combinazioni

- A1+M1+R1;
- A2+M2+R1;

dove R, relativo alle resistenze dei materiali è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica. Nel caso specifico R1 sono tutti uguali a 1.

Nella prima combinazione (A1+M1) i parametri del terreno sono quelli caratteristici ( $\gamma_M = 1$ ) e le azioni sono amplificate con coefficienti  $\gamma_F \neq 1$  (verifica strutturale, STR), mentre nella seconda (A2+M2) i parametri del terreno vengono ridotti mediante coefficienti  $\gamma_M \neq 1$  e le azioni sono quelle caratteristiche (verifica geotecnica, GEO):

Per le verifiche sismiche i coefficienti della colonna A sono tutti uguali a 1 (vedi tabella paragrafo precedente).

L'incremento della spinta del terreno dovuta al sisma è valutata utilizzando la seguente formulazione:

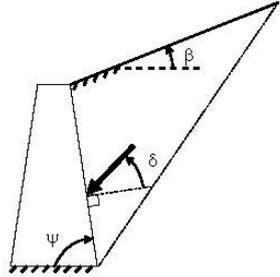
$$E_{ae} = 0.5 \times \gamma^* \times K_{ae} \times H^2$$

ove, per valutare il coefficiente di spinta attivo  $K_{ae}$  in condizioni sismiche si è utilizzato la nota espressione di MONONOBE-OKABE:

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

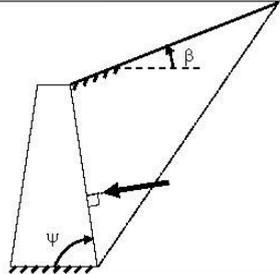
$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (3-6)$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$


CONDIZIONI DI SPINTA PASSIVA

$$K_{P,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi + \beta) \cdot \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2} \quad (\text{ECS con } (3-7))$$

$\delta = 0^\circ$ <sup>17</sup>



In presenza di acqua libera sui palancolati è necessario tenere in conto della sovrappressione dell'acqua dovuta all'effetto idrodinamico, avente risultante pari a

$$E_{d,w} = \mp \frac{7}{12} k_h \gamma_w h^2$$

essendo h l'altezza del pelo libero dalla quota di valle del terreno; tale risultante è applicata a 3/5 h dalla quota del pelo libero.

### **Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)**

Le combinazioni da considerare per le verifiche agli stati limite di esercizio sono definite dalle seguenti espressioni:

*Combinazione caratteristica (o rara):*

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

*Combinazione frequente:*

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

*Combinazione quasi permanente:*

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Nelle condizioni di servizio si controllano le ampiezze degli spostamenti delle paratie in relazione alle prestazioni attese per l'opera stessa.

Nel caso in esame è stato verificato che il valore di progetto dell'effetto delle azioni  $E_d$  risultasse minore del valore di progetto limite dell'effetto delle azioni  $C_d$ , esplicitando pertanto le prestazioni attese per l'opera stessa e confrontandole con le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili.

Per ciascun stato limite di esercizio in condizioni statiche deve infatti essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura. Si ritiene accettabile il valore inferiore a 7.3 cm corrispondente all'1% dell'altezza di scavo per la banchina del "tratto 1", il valore inferiore a 5.8 cm corrispondente all'1% dell'altezza di scavo per la banchina del "tratto 2".

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 8. CONSIDERAZIONI SULLA CORROSIONE DEI PALANCOLATI METALLICI

Imponendo un tempo di vita per la struttura pari a 50 anni, ed adottando per le verifiche la norma europea EN 1993:5-2007, tab.F2, che distingue la zona di attacco massimo (bagnasciuga) da quella ad immersione permanente, si ha:

### Zona di attacco massimo

In mancanza di rilevazioni dirette in situ, si accetta una corrosione pari a 0,075 mm/anno dal lato a contatto col mare, e 0,024 mm/anno lato terra. Ciò premesso, nel corso dei 50 anni si accumuleranno complessivi 4,95 mm di corrosione, dei quali 3,75 mm dal lato esterno ed 1,20 mm da quello interno. Il modulo di resistenza a 50 anni è stato calcolato sullo spessore residuo del profilo.

### Zona di immersione permanente

Si accetta una corrosione pari a 0,035 mm/anno dal lato a contatto col mare, e 0,024 mm/anno lato terra. Ciò premesso, nel corso dei 50 anni si accumuleranno complessivi 2,95 mm di corrosione, dei quali 1,75 mm dal lato esterno ed 1,20 mm da quello interno. Il modulo di resistenza a 50 anni è stato calcolato sullo spessore residuo del profilo.

Nelle verifiche di resistenza delle sezioni dei palancolati metallici sono state considerate le sezioni corrose a 50 anni.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 9. AZIONI VARIABILI

Le azioni variabili (Q ) sono le azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

Nel caso in esame è stata considerata la seguente azione variabile:

**Sovraccarico banchina 20 kN/m<sup>2</sup>;**

come carico orizzontale uniformemente ripartito.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 10. ELENCO DELLE VERIFICHE DEI PALANCOLATI

### 10.1. Verifiche eseguite per lo Stato Limite Ultimo (SLU)

#### SLU di tipo geotecnico (GEO) - collasso per rotazione - plasticizzazione del terreno resistente, sistema labile

Verifica 1 – Tratto 1	in condizioni non sismiche
Combinazione fondamentale (SLU)	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$
$G_1$ = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
$\gamma_{G1}$ = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 favorevole ; 1.0 sfavorevole
$Q_{k1}$ = azione variabile	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_{Qi}$ = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 0.0 favorevole ; 1.3 sfavorevole

Verifica 5 – Tratto 2	in condizioni non sismiche
Combinazione fondamentale (SLU)	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$
$G_1$ = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
$\gamma_{G1}$ = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 favorevole ; 1.0 sfavorevole
$Q_{k1}$ = azione variabile	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_{Qi}$ = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 0.0 favorevole ; 1.3 sfavorevole

Verifica 2 – Tratto 1	in condizioni sismiche
Combinazione fondamentale (SLV)	$E_d = E + G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$
E = carichi sismici	forza di inerzia indotta nella massa della sovrastruttura, incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
$G_1$ = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
$Q_{k1}$ = azione variabile dominante	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
$\Psi_{21}$ = coefficiente di combinazione delle azioni	0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008)

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

<b>Verifica 6 – Tratto 2</b>	<b>in condizioni sismiche</b>
Combinazione fondamentale (SLV)	$E_d = E + G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$
E = carichi sismici	forza di inerzia indotta nella massa della sovrastruttura, incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
G <sub>1</sub> = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
Q <sub>k1</sub> = azione variabile dominante	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
Ψ <sub>21</sub> = coefficiente di combinazione delle azioni	0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008)

**SLU di tipo strutturale (STR) - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia di banchina, della paratia di ancoraggio dei tiranti e dei tiranti**

<b>Verifica 3 – Tratto 1</b>	<b>in condizioni non sismiche</b>
Combinazione fondamentale (SLU)	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$
G <sub>1</sub> = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
γ <sub>G1</sub> = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.0 favorevole ; 1.3 sfavorevole
Q <sub>k1</sub> = azione variabile	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
γ <sub>Q1</sub> = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 0.0 favorevole ; 1.5 sfavorevole

<b>Verifica 7 – Tratto 2</b>	<b>in condizioni non sismiche</b>
Combinazione fondamentale (SLU)	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1}$
G <sub>1</sub> = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
γ <sub>G1</sub> = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.0 favorevole ; 1.3 sfavorevole
Q <sub>k1</sub> = azione variabile	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
γ <sub>Q1</sub> = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 0.0 favorevole ; 1.5 sfavorevole

<b>Verifica 4 – Tratto 1</b>	<b>in condizioni sismiche</b>
Combinazione fondamentale (SLV)	$E_d = E + G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$
E = carichi sismici	forza di inerzia indotta nella massa della sovrastruttura, incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
G <sub>1</sub> = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
Q <sub>k1</sub> = azione variabile dominante	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
Ψ <sub>21</sub> = coefficiente di combinazione delle azioni	0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008)

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

<b>Verifica 8 – Tratto 2</b>	<b>in condizioni sismiche</b>
Combinazione fondamentale (SLV)	$E_d = E + G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$
E = carichi sismici	forza di inerzia indotta nella massa della sovrastruttura, incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
G <sub>1</sub> = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
Q <sub>k1</sub> = azione variabile dominante	Sovraccarico banchina 20 kN/m <sup>2</sup>
Ψ <sub>21</sub> = coefficiente di combinazione delle azioni	0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008)

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 10.2. Verifiche eseguite per lo Stato Limite di Esercizio (SLE)

La struttura deve essere verificata nelle seguenti combinazioni dei carichi:

- $Ed_1 = G + Q_{k1}$  combinazione "rara"
- $Ed_2 = G + \psi_{11} \times Q_{k1}$  combinazione "frequente"
- $Ed_3 = G + \psi_{21} \times Q_{k1}$  combinazione "quasi permanente"

dove:

- $\psi_{0i} = 0.7$
- $\psi_{1i} = 0.7$
- $\psi_{2i} = 0.6$

In particolare saranno calcolati i valori di deformazioni/spostamenti massimi delle palancole in termini di freccia massima orizzontale ( $\delta_{max}$ ) che corrispondono a quelli indotti esclusivamente dall'azione dei carichi e sovraccarichi accidentali in combinazione "rara".

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 11. CALCOLO E VERIFICA DEI PALANCOLATI

Per il calcolo e la verifica delle banchine del porto di Cagliari è stato utilizzato il software specialistico PARATIE PLUS di Harpaceas srl.

PARATIE PLUS è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale. Il problema è ricondotto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente. La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno. La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un’analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

Il modello di calcolo tiene conto degli elementi caratteristici della sezione in oggetto:

- caratteristiche geotecniche degli strati interessati (vedere § 5);
- caratteristiche geometriche e meccaniche costituenti la struttura in oggetto (vedere § 6);
- fasi costruttive.

### 11.1. Calcolo e verifica dei palancolati del tratto 1

Le fasi costruttive considerate nel modello di calcolo per la banchina del tratto 1 prevedono:

- l’infissione delle palancole di banchina con un fondale di lavoro (materiale di riporto) con quota +1.00 m s.l.m.m.;

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

- lo scavo del terreno tra le due paratie alla q.ta +0.50 m s.l.m.m. per la messa in opera del sistema d'ancoraggio;
- la realizzazione del sistema d'ancoraggio (palancola d'ancoraggio e tirante di collegamento);
- il riempimento-ricoprimento del sistema d'ancoraggio fino a q.ta +2.30 m s.l.m.m.;
- il dragaggio a tergo del palancolato fino a q.ta -5.00 m s.l.m.m.;
- l'applicazione del carico variabile;
- l'applicazione del sisma.

Con riferimento alle verifiche indicate nel §10 di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU\_STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU\_GEO indice di stabilità dell'opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente);
- le deformazioni massime generate dai carichi variabili relative alle verifiche SLE.

		Spostamento paratia (cm)	Momento paratia (kN-m/m)	Taglio paratia (kN/m)	Max. reazione vincoli (kN/m)
Verifica 3 - STR	0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	0.34	312.2	126.57	152.88
Verifica 4 - STR+SISMA	0: DM08_ITA: EQK - STR	0.42	262.32	109.91	132.91

#### Risultati analisi

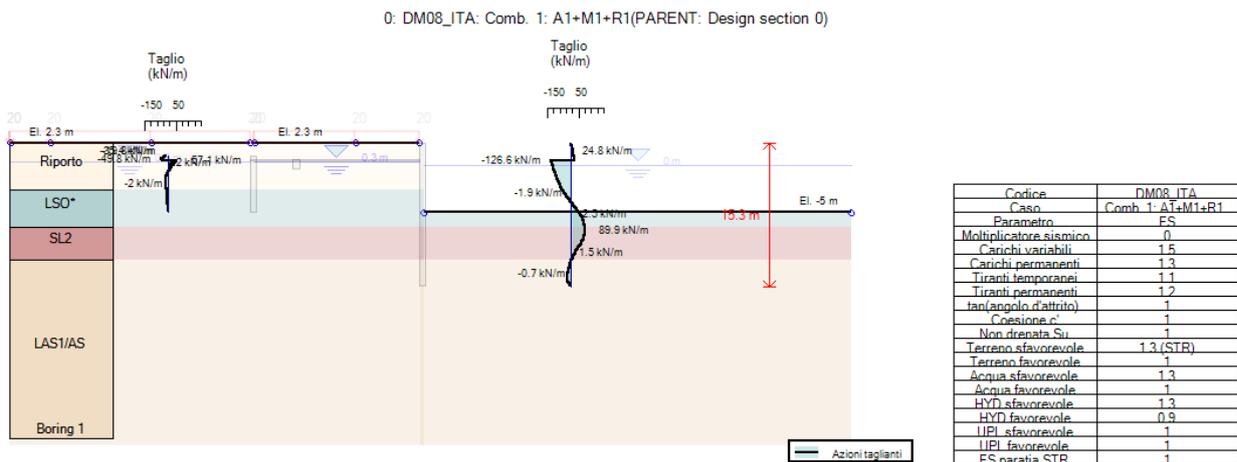
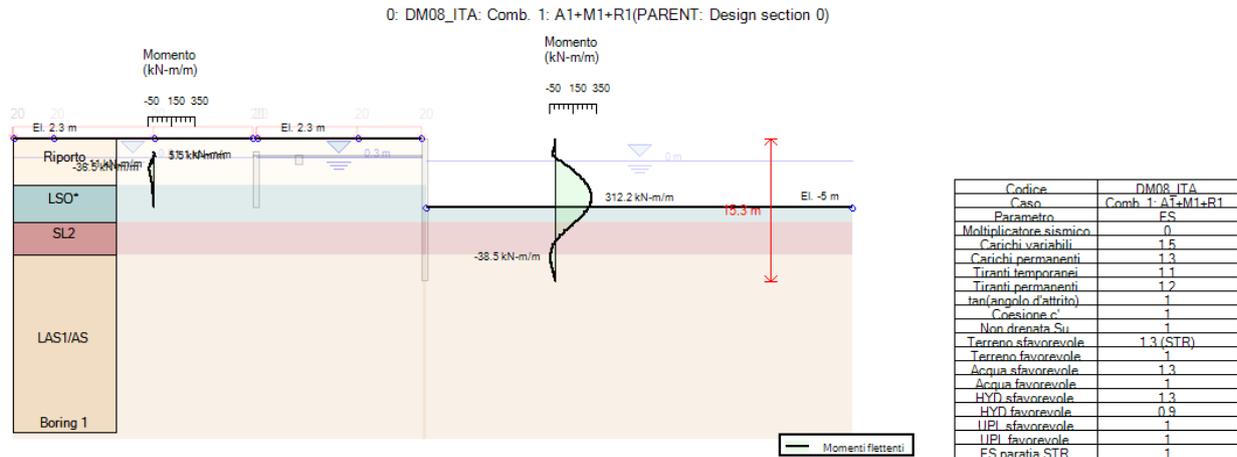
Verifica 1 - GEO	0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	la soluzione converge
Verifica 2 - GEO + SISMA	0: DM08_ITA: EQK - GEO	la soluzione converge

	Spostamento paratia (cm)	
SLE_combinazione rara	3.03	< 1% h paratia.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

### 11.1.1. Verifica delle sezioni maggiormente sollecitate

#### Banchina (verifica 3)



La combinazione di carico più gravosa è “verifica 3 (vedere §10)” per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in “zona di immersione permanente” (vedere §8) per la verifica dell’azione flettente e la sezione corrosa in “zona di attacco massimo” (vedere §8) per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 126.6 \text{ kN} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{106.7 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 2083 \text{ kN}$$

Essendo  $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$ , non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 312.2 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,726 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,05} = 583.4 \text{ kNm}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

### Ancoraggio (verifica 3)

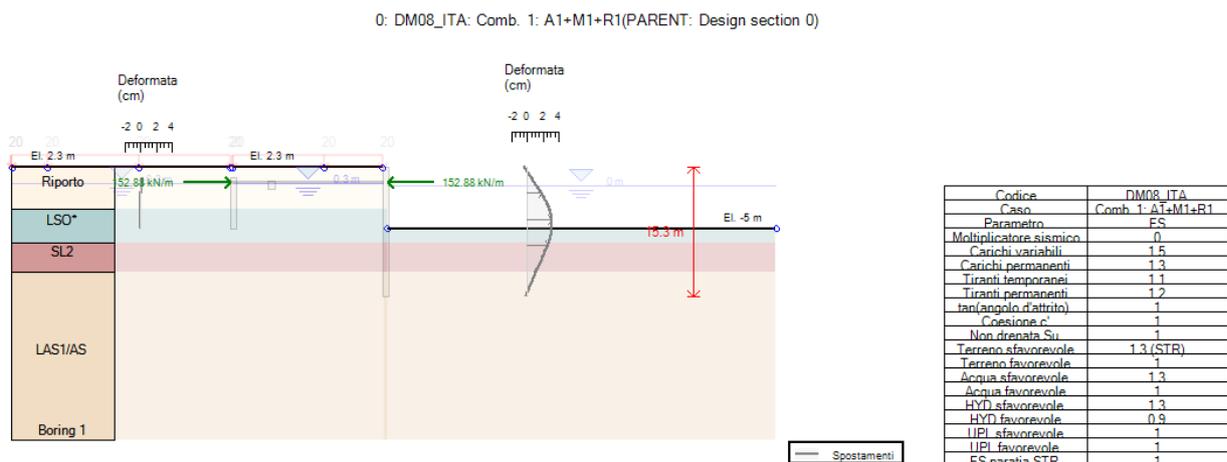
La combinazione di carico più gravosa è “verifica 3 (vedere §10)” per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in “zona di immersione permanente” (vedere §8):

$$V_{sd} = 57.1 \text{ kN} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{42.54 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 830 \text{ kN}$$

Essendo  $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$ , non c'è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 36.5 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,819 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,05} = 277 \text{ kNm}$$

### Tirante (verifica 3)



La combinazione di carico più gravosa è “verifica 3 (vedere §10)” per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in “zona di immersione permanente” (vedere §8):

$N_{sd} = 385.3 \text{ kN/tirante}$  (interasse tiranti  $\phi_{min} 62 \text{ mm} = 2.52 \text{ m}$ )

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.355 \times 2739}{1,05} = 926 \text{ kN} > N_{sd}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## 11.2. Calcolo e verifica dei palancolati del tratto 2

Le fasi costruttive considerate nel modello di calcolo per la banchina del tratto 2 prevedono:

- l'infissione delle palancole di banchina con un fondale di lavoro (materiale di riporto) con q.ta +1.00 m s.l.m.;
- lo scavo del terreno tra le due paratie alla q.ta +0.50 m s.l.m. per la messa in opera del sistema d'ancoraggio;
- la realizzazione del sistema d'ancoraggio (palanca d'ancoraggio e tirante di collegamento);
- il riempimento-ricoprimento del sistema d'ancoraggio fino a q.ta +2.30 m s.l.m.;
- il dragaggio a tergo del palancolato fino a q.ta -3.50 m s.l.m.;
- l'applicazione del carico variabile;
- l'applicazione del sisma.

Con riferimento alle verifiche indicate nel §10 di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU\_STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU\_GEO indice di stabilità dell'opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente);
- le deformazioni massime generate dai carichi variabili relative alle verifiche SLE.

		Spostamento paratia (cm)	Momento paratia (kN-m/m)	Taglio paratia (kN/m)	Max. reazione vincoli (kN/m)
Verifica 7 - STR	0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	0.26	175.27	105.38	125.35
Verifica 8 - STR+SISMA	0: DM08_ITA: EQK - STR	0.32	136.4	84.52	103.81

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

**Risultati analisi**

<b>Verifica 5 - GEO</b>	<b>0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1</b>	la soluzione converge
<b>Verifica 6 - GEO + SISMA</b>	<b>0: DM08_ITA: EQK - Seismic</b>	la soluzione converge

	<b>Spostamento paratia (cm)</b>
SLE_combinazione rara	1.85

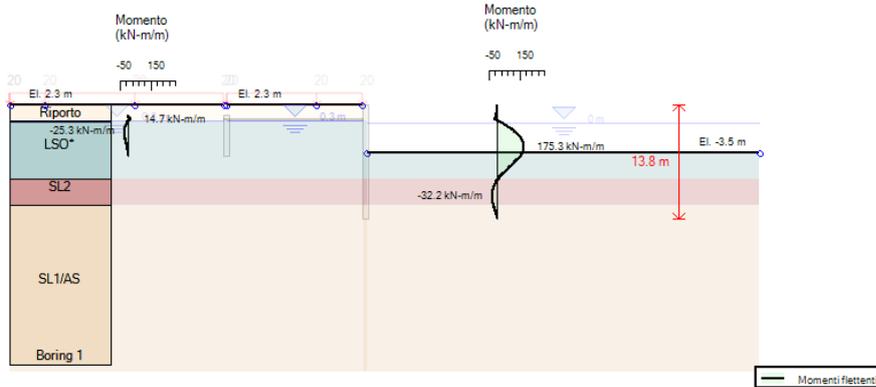
< 1% h paratia.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

### 11.2.1. Verifica delle sezioni maggiormente sollecitate

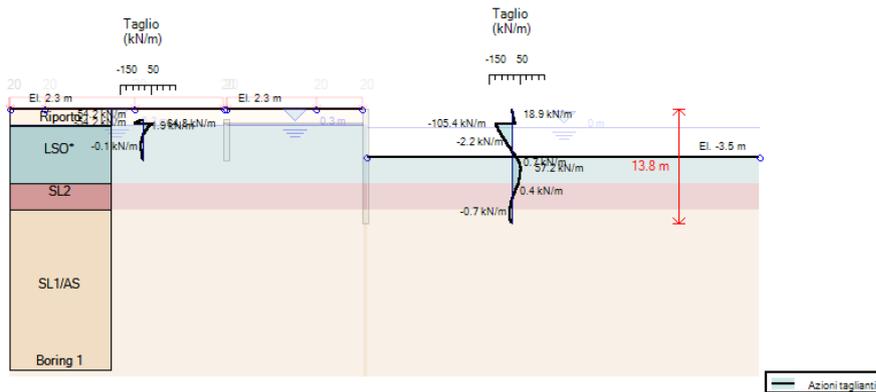
#### Banchina (verifica 7)

0: DM08\_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(PARENT: Design section 0)



Codice	DM08_ITA
Caso	Comb. 1: A1+M1+R1
Parametro	ES
Moltiplicatore sismico	0
Carichi variabili	1.5
Carichi permanenti	1.3
Tiranti temporanei	1.1
Tiranti permanenti	1.2
tan(angolo d'attrito)	1
Coesione c'	1
Non drenata Su	1
Terreno sfavorevole	1.3 (STR)
Terreno favorevole	1
Acqua sfavorevole	1.3
Acqua favorevole	1
HYD sfavorevole	1.3
HYD favorevole	0.9
IJPI sfavorevole	1
IJPI favorevole	1
ES paratia STR	1

0: DM08\_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(PARENT: Design section 0)



Codice	DM08_ITA
Caso	Comb. 1: A1+M1+R1
Parametro	ES
Moltiplicatore sismico	0
Carichi variabili	1.5
Carichi permanenti	1.3
Tiranti temporanei	1.1
Tiranti permanenti	1.2
tan(angolo d'attrito)	1
Coesione c'	1
Non drenata Su	1
Terreno sfavorevole	1.3 (STR)
Terreno favorevole	1
Acqua sfavorevole	1.3
Acqua favorevole	1
HYD sfavorevole	1.3
HYD favorevole	0.9
IJPI sfavorevole	1
IJPI favorevole	1
ES paratia STR	1

La combinazione di carico più gravosa è "verifica 7 (vedere §10)" per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in "zona di immersione permanente" (vedere §8) per la verifica dell'azione flettente e la sezione corrosa in "zona di attacco massimo" (vedere §8) per la verifica dell'azione tagliente:

$$V_{sd} = 105.4 \text{ kN} < V_{rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{87.84 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 1715 \text{ kN}$$

Essendo  $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$ , non c'è interazione tra azione flettente e tagliente; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 175.3 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,415 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,05} = 478.4 \text{ kNm}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

## Ancoraggio (verifica 7)

La combinazione di carico più gravosa è “verifica 7 (vedere §10)” per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in “zona di immersione permanente” (vedere §8):

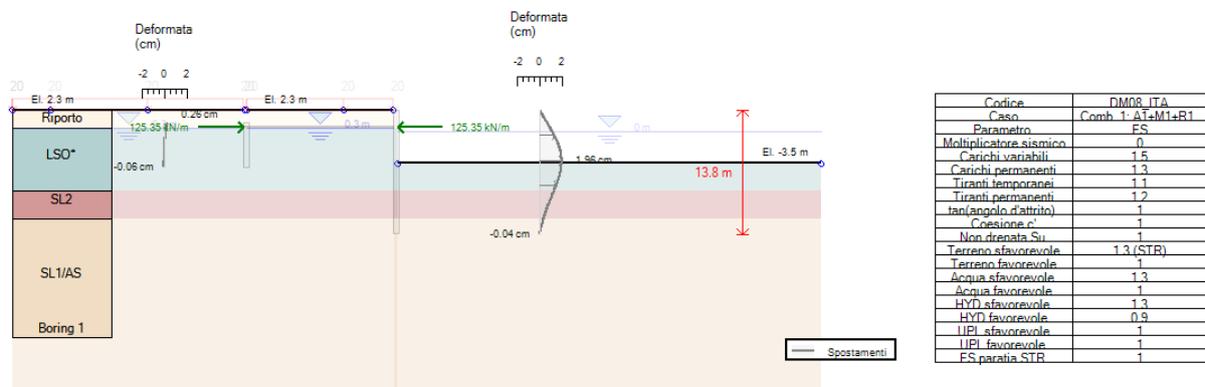
$$V_{sd} = 64.8 \text{ kN} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{42.54 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 830 \text{ kN}$$

Essendo  $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$ , non c'è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 25.3 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,819 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,05} = 277 \text{ kNm}$$

## Tirante (verifica 7)

0: DM08\_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(PARENT: Design section 0)



La combinazione di carico più gravosa è “verifica 7 (vedere §10)” per la quale si è ipotizzata la sezione corrosa in “zona di immersione permanente” (vedere §8):

$$N_{sd} = 315.9 \text{ kN/tirante (interasse tiranti } \phi_{\min} 52 \text{ mm} = 2.52 \text{ m)}$$

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.355 \times 2124}{1.05} = 639 \text{ kN} > N_{sd}$$

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

## 12. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA A GETTATA

### 12.1. Generalità

Il presente capitolo riguarda il dimensionamento della mantellata di protezione esterna dell'opera di difesa principale (molo Sud) del bacino dove si affacciano i nuovi cantieri navali e le banchine delle aree destinate a servizi ancillari (banchina Est e banchina interna molo Nord), e dell'opera di difesa secondaria (molo Ovest).

La scarpata esterna del molo Sud è protetta da due strati di massi naturali del peso compreso tra 3 e 5 t, messi in opera secondo una pendenza 2/1, al disotto dei quali è prevista la posa in opera di uno strato filtro costituito da massi naturali del peso compreso tra 50 e 1.000 kg che a sua volta si appoggia sul nucleo in tout venant. Superiormente la scogliera di protezione perviene fino a quota +3.90. La sezione tipo dell'opera è completata da un muro paraonde di c.a. che perviene fino alla stessa quota della scogliera (+3.90 m s.m.) mentre il piazzale a tergo si trova a quota +2.30 m s.m.

Nel molo Ovest la scarpata esterna è protetta da due strati di massi naturali del peso compreso tra 1 e 3 t, messi in opera secondo una pendenza 3/2, mentre la scarpata interna è protetta da due strati di massi naturali del peso compreso tra 0.1 e 1 t. In entrambi i casi al disotto delle mantellate di protezione è prevista la posa in opera di uno strato filtro costituito da tessuto non tessuto da 500 gr/m<sup>2</sup> che verrà steso direttamente sul perimetro esterno del nucleo in tout venant. Superiormente la scogliera di protezione lato mare perviene fino a quota +2.90. La sezione tipo dell'opera è completata da un massiccio di coronamento di c.a. largo 3.80 m e alto 1.20 m che perviene fino a quota +2.30 m s.m.

Per la definizione delle caratteristiche del moto ondoso a ridosso delle opere si è fatto riferimento allo studio di penetrazione del moto ondoso allegato al progetto. Questa informazione, unita alla conoscenza della morfologia (pendenza) dei fondali antistanti permette di procedere al predimensionamento degli elementi (massi naturali) costituenti la mantellata di protezione esterna dell'opera.

Attualmente il dimensionamento delle mantellate di opera frangiflutti a gettata viene eseguito utilizzando metodi di calcolo sia deterministici sia probabilistici.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l. Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica		Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE		10	015	DRM	004	-1	CSI

Nel presente caso, dove il fondale medio in corrispondenza dell'opera di fatto non limita l'altezza dell'onda incidente, il cui valore è quindi dipendente dal tempo di ritorno, si è scelto di utilizzare un metodo probabilistico per scogliera emersa.

### 12.2. Nucleo

Il corpo centrale dell'opera a gettata è costituito da tout-venant di cava, ossia materiale lapideo di pezzatura assortita (0.1-500 kg) relativamente "chiuso".

Tale gradazione conferisce al nucleo il richiesto grado di impermeabilità, utilizzando il materiale più "povero" ottenuto dalla cava.

La quota di sommità del nucleo si trova a quota +1.60 m s.l.m.m.; tale soluzione consente l'esecuzione dell'opera con mezzi terrestri anche in presenza di moto ondoso e nel contempo di economizzare sui volumi da porre in opera.

### 12.3. Filtri

Fra il nucleo ed il rivestimento esterno della diga di sopraflutto (molo Sud), allo scopo di impedire l'asportazione del materiale di nucleo attraverso quello di rivestimento per azione di filtrazione, è prevista la posa in opera di uno strato filtro costituito da massi naturali del peso compreso tra 50 e 1000 kg, mentre nel molo di sottoflutto (molo Ovest) la stessa funzione verrà assolta da un tessuto non tessuto da 500 gr/m<sup>2</sup>.

Il dimensionamento dello strato filtro della diga di sopraflutto è stato eseguito facendo riferimento alla regola secondo la quale il peso medio del materiale di filtro (500 kg) deve essere pari a circa 1/10 del peso medio del materiale sovrastante (4000 kg).

### 12.4. Mantellate

Per le mantellate delle opere di difesa del bacino la scelta è ricaduta sui classici massi naturali che assicurano una struttura robusta ed una buona dissipazione dell'energia del moto ondoso, oltre a risultare esteticamente preferibili ai massi artificiali di calcestruzzo.

Per la mantellata esterna della diga di sopraflutto è stata adottata la categoria di massi di peso compreso tra 3 e 5 t, mentre per quella della diga di sottoflutto la scelta è ricaduta su massi di I categoria di peso compreso tra 1 e 3 t.

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

La messa in opera dei massi naturali dovrà essere effettuata alla rinfusa, nel senso che i massi sono posti in maniera disordinata ma tale da garantire comunque una porosità di circa il 37% . Si è proceduto ad una verifica della congruità dei pesi adottati utilizzando la collaudata formula di Hudson facendo riferimento cautelativamente per la sezione corrente alle sezioni dei moli più prossime alla linea di riva dove si realizza il frangimento del moto ondosso incidente. Si ricorda che la relazione semiempirica di Hudson è espressa dalla :

$$P = \gamma_m H_s^3 / [(\gamma_m / \gamma_a - 1)^3 K_d \cot \alpha]$$

dove:

P = peso medio dei singoli massi (t)

$\gamma_m$  = il peso dell'unità di volume dei massi, assunto pari a 2,50 t/m<sup>3</sup> per quelli naturali

$\gamma_a$  = peso specifico dell'acqua marina, pari a 1,03 t/m<sup>3</sup>

$K_d$  = coefficiente di stabilità dipendente da numerosi parametri quali il tipo di massa, la pendenza, il tipo di onda, la percentuale di danneggiamento, ecc. Per le condizioni di onda non frangente e massi naturali in doppio strato si assume pari a 2.0 per la sezione corrente.

$\alpha$  = pendenza della scarpata sull'orizzontale pari a 2 per il molo sud e 1.5 per il molo Ovest

$H_s$  = altezza d'onda significativa (in m)

Per la definizione dell'altezza d'onda  $H_s$  al piede dell'opera sono stati utilizzati i risultati dello studio di penetrazione del moto ondosso dai quali si ricava che le caratteristiche del moto ondosso a ridosso delle opere sono le seguenti:

- altezza d'onda significativa a ridosso del molo Ovest 2,50 m
- altezza d'onda significativa a ridosso del molo Sud 1,50 m
- periodo di picco 11 s

Sostituendo i valori numerici si ottiene per il molo Sud un valore del peso medio degli elementi della mantellata pari a 3,35 t perfettamente compatibile con la categoria dei massi previsti per la realizzazione della mantellata esterna (3-5 t), mentre per il molo Ovest un valore del peso medio degli elementi della mantellata pari a 0.97 t perfettamente compatibile con la categoria dei massi previsti per la realizzazione della mantellata esterna (1-3 t).

Autorità Portuale di Cagliari	Raggruppamento: Modimar s.r.l.	Titolo Elaborato: Calcoli preliminari delle strutture					
Porto Canale di Cagliari Distretto della Cantieristica	Dolmen s.r.l. V.D.P. s.r.l.	Data: dicembre 2011					
PROGETTO DEFINITIVO OPERE A MARE	Dott. Geol. Marcello Ghigliotti Dott. Simone Tempesti	10	015	DRM	004	-1	CSI

### 12.5. Spessori delle “mantellate” e dello strato filtro

Lo spessore delle mantellate e degli strati filtro sottostanti si ricava dalla formula:

$$S = 2 K ( P / \gamma_m )^{0.333}$$

dove:

- 2 è il numero degli strati
- K è il coefficiente di strato che per i massi naturali è pari a 1.025
- P è il peso medio degli elementi (massi) che costituiscono la mantellata
- $\gamma_m$  è il peso dell'unità di volume dei massi, assunto pari a 2,50 t/m<sup>3</sup>

Sostituendo i valori numerici si ottiene uno spessore pari a 2,40 m per la mantellata esterna (massi da 3-5 t), pari a 1,20 m per la mantellata interna e lo strato filtro (massi da 50-1.000 kg) e pari a 1.90 m per la mantellata in massi da 1-3 t.

