



Comune di
La Maddalena
Provincia di
Olbia-Tempio

approvazione

**AGGIORNAMENTO PROGETTO
DEFINITIVO DPC**

*COMPLETAMENTO OPERE DI BONIFICA
SPECCHIO ACQUEO EX ARSENALE
MILITARE DI LA MADDALENA
AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO*

Elab. n.

R2

titolo

RELAZIONE DI CALCOLO

scala

data

Maggio 2016

committente

Comune di La Maddalena

responsabile unico procedimento

Ing. Giovanni Nicola Cossu

progetto n.

data

Maggio 2016

file

approvato

data

revisione

data

PROF. ING. PAOLO DE GIROLAMO



COMPLETAMENTO OPERE DI BONIFICA SPECCHIO ACQUEO EX ARSENALE MILITARE DI LA
MADDALENA

AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO

VERIFICHE IDRAULICHE E STRUTTURALI
DEL SISTEMA DI TENUTA AMBIENTALE

Relazione di calcolo

Indice

1	<i>Premesse.....</i>	2
2	<i>Verifica strutturale dello strato di protezione</i>	3
3	<i>Verifica di stabilità idraulica dell'elemento di protezione</i>	8
3.1	Verifica alle azioni indotte dalle eliche	8
3.2	Verifica della conterminazione orizzontale	10

1 Premesse

Con riferimento alla Determinazione n. 1501 del 05/12/2014, il Comune di La Maddalena ha conferito al Prof. Ing. Paolo De Girolamo l'incarico avente per oggetto: "Completamento opere di bonifica specchio acqueo ex arsenale militare di La Maddalena, affidamento incarico revisione progetto definitivo aspetti idraulico-marittimi" La presente relazione costituisce la Relazione di Calcolo del progetto revisionato.

Il presente documento, riporta le verifiche idrauliche e strutturali eseguite in relazione al sistema di tenuta ambientale.

In particolare lo scopo della presente relazione è quello di illustrare le verifiche effettuate per l'elemento di zavorramento e protezione strutturale. Tali verifiche sono:

- verifica strutturale dell'elemento di zavorramento e protezione strutturale prendendo in esame le azioni indotte su di esso dai corpi morti che verranno posizionati sul fondo della darsena allo scopo di ormeggiare i pontili galleggianti destinati a loro volta all'ormeggio dei natanti;
- verifica di stabilità idraulica dell'elemento di zavorramento e protezione strutturale prendendo in esame le azioni indotte su di esso dai getti delle eliche delle imbarcazioni che frequenteranno la darsena;
- verifica alla conterminazione orizzontale idraulica del sistema di tenuta ambientale rivolta ad escludere la possibilità che i contaminanti possano fuoriuscire in senso orizzontale dall'area protetta dallo stesso sistema di tenuta ambientale.

2 Verifica strutturale dello strato di protezione

Di seguito vengono riportati i calcoli necessari agli elementi di zavorramento e protezione strutturale del sistema di tenuta ambientale. Gli elementi sono costituiti da materassi a doppio strato in PET riempiti in opera con getti subacquei di malta di cemento dotati di opportuni filamenti distanziatori in PET. Lo spessore degli elementi è pari a 0,25 m e la lunghezza (misurata perpendicolarmente alla linea di banchina) è compresa tra 10,0 m e 20,0 m (dipendentemente dalla zona all'interno della darsena) come indicato nelle sezioni di progetto. Longitudinalmente gli elementi sono affiancati con giunti ogni circa 5 m.

In particolare lo scopo del calcolo esposto è verificare che il materassino appoggiato al fondale reagisca alle sollecitazioni indotte dalla presenza del corpo morto con tensioni inferiori a quelle limite di rottura del calcestruzzo a trazione per flessione.

Normativa di riferimento

Il dimensionamento del sistema di protezione del fondale è stato eseguito facendo riferimento alla normativa tecnica di seguito elencata:

- D.M. 09/11/1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 16/01/1996

Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.

- D.M. 14/01/2008

Norme tecniche per le costruzioni e relative istruzioni.

Materiali

Cls Rck 35 N/mm²

Classe di resistenza del calcestruzzo

Rck = 35.00 MPa

Resistenza cilindrica di calcolo

fcd = 19.37 MPa

Resistenza di calcolo a trazione per flessione

ftd = 1.62 MPa

Schema strutturale

Il materassino è rappresentato da una piastra su suolo elastico di dimensioni 5 m x 10 m.

Lo stato di sollecitazione è stato ricavato con un modello agli elementi finiti attraverso l'applicazione del modello numerico SAP2000. La piastra è rappresentata da elementi

bidimensionali tipo shell con caratteristiche equivalenti alle reali caratteristiche meccaniche del materassino ($E_{cls} = 33722 \text{ MPa}$; spessore 0.35 m). Il vincolo esterno è rappresentato da un letto di molle a comportamento lineare $k_z = 1000 \text{ kN/m}^3$ (sabbie molli).

Analisi e combinazioni di carico

Il carico rappresentante il corpo morto è stato simulato con elementi finiti tipo shell con caratteristiche equivalenti alle reali caratteristiche meccaniche dell'ipotizzato corpo morto ($E_{cls} = 33722 \text{ MPa}$; dimensioni $2\text{m} \times 2\text{m}$ sp. 1m). I nodi degli elementi shell rappresentanti il corpo morto ed i sottostanti elementi shell rappresentanti il materassino risultano mutuamente vincolati agli spostamenti verticali (asse z).

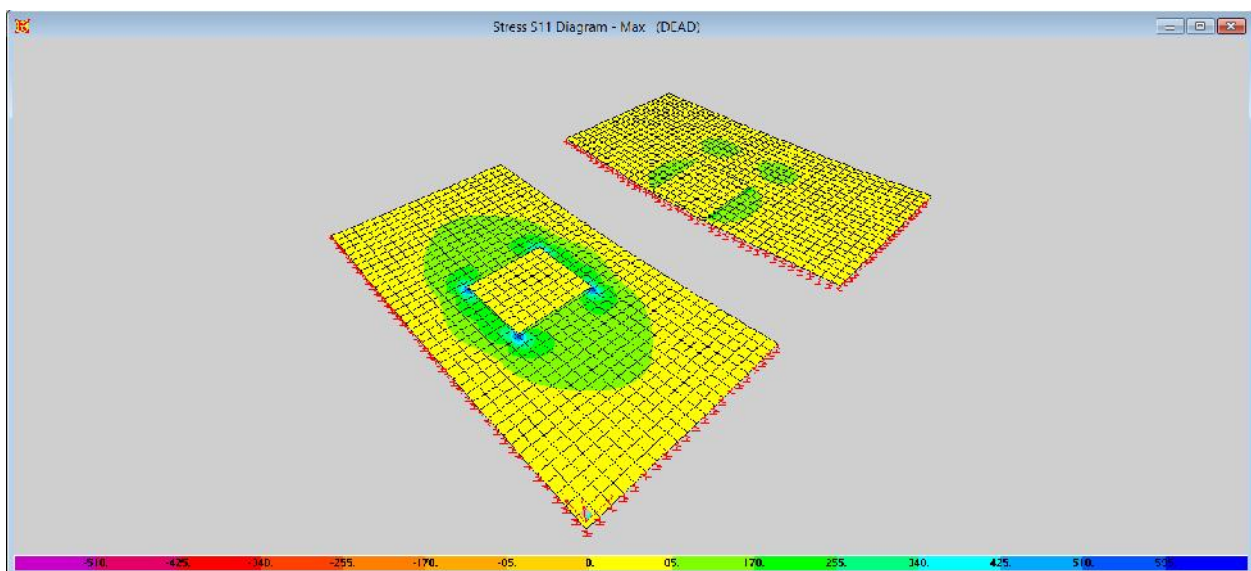
Sono state elaborate due situazioni di carico:

- carico in posizione assial simmetrica;
- carico in corrispondenza del bordo.

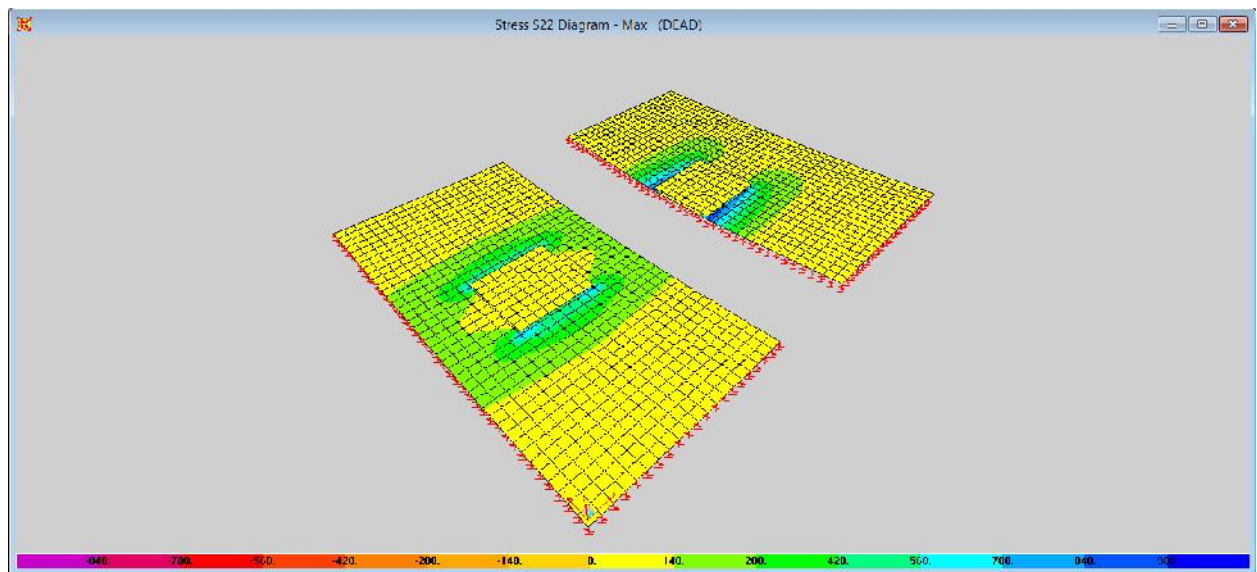
di seguito visualizzate contemporaneamente.

Verifica delle tensioni

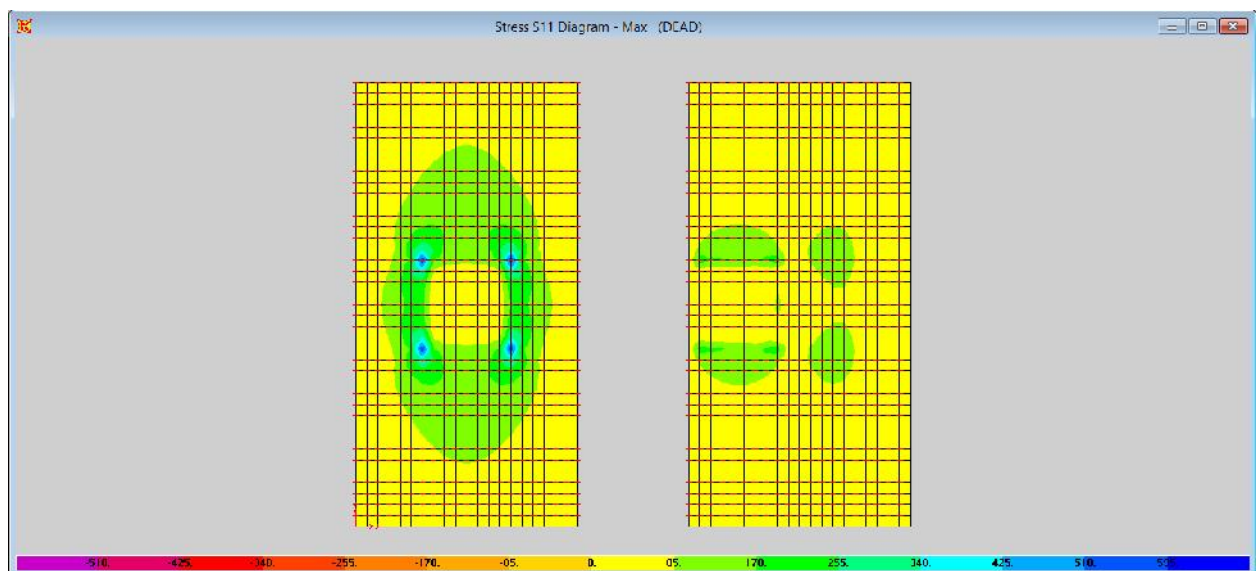
Lo scopo del calcolo esposto è verificare che il materassino appoggiato al fondale reagisca alle sollecitazioni indotte dalla presenza del corpo morto con tensioni inferiori a quelle limite di rottura del calcestruzzo a trazione per flessione. Il calcolo dimostra che il calcestruzzo si comporta come un materiale omogeneo con sezioni sollecitate nei limiti del primo stadio (assenza di fessurazione per trazione - cls reagente anche a trazione).



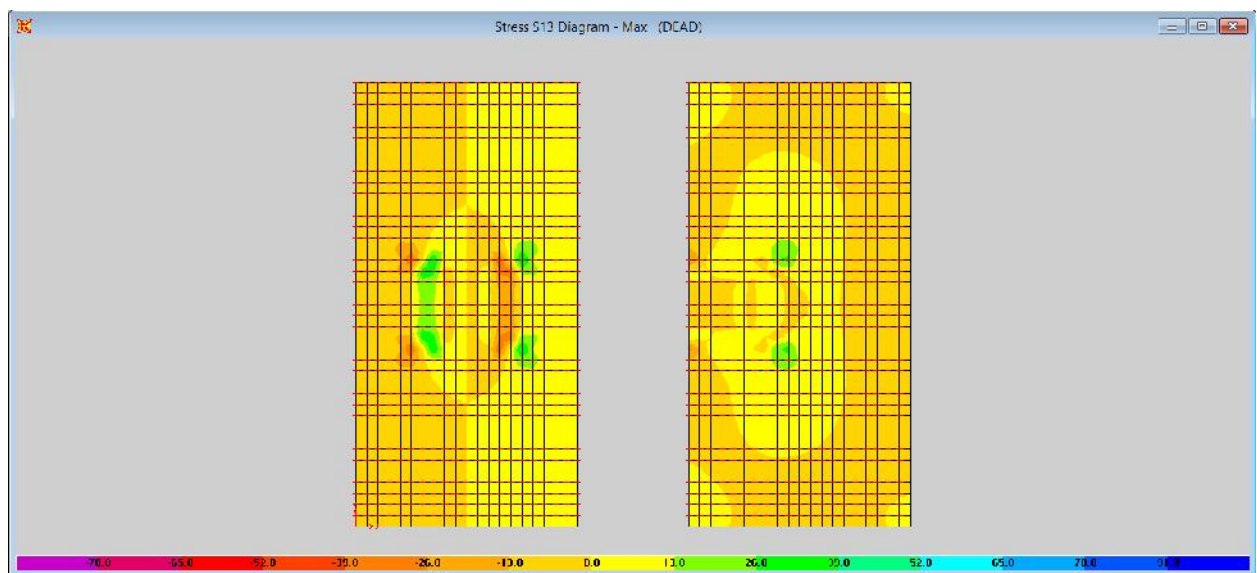
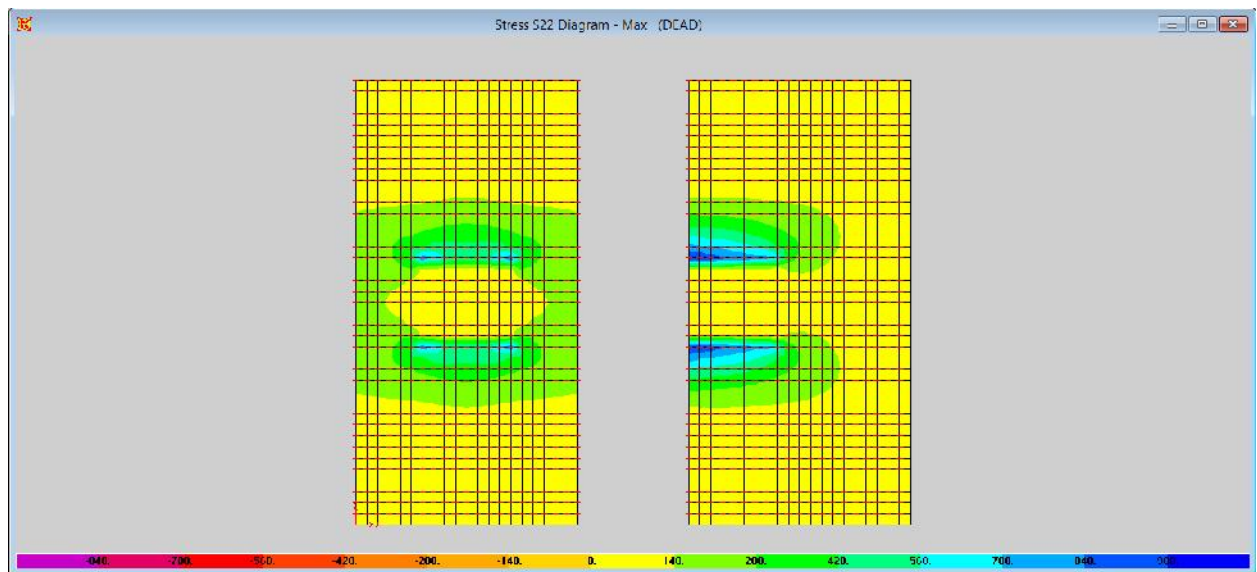
Visualizzazione assonometrica "Materassino + corpo morto": Tensioni σ_{11} [kN/m²]

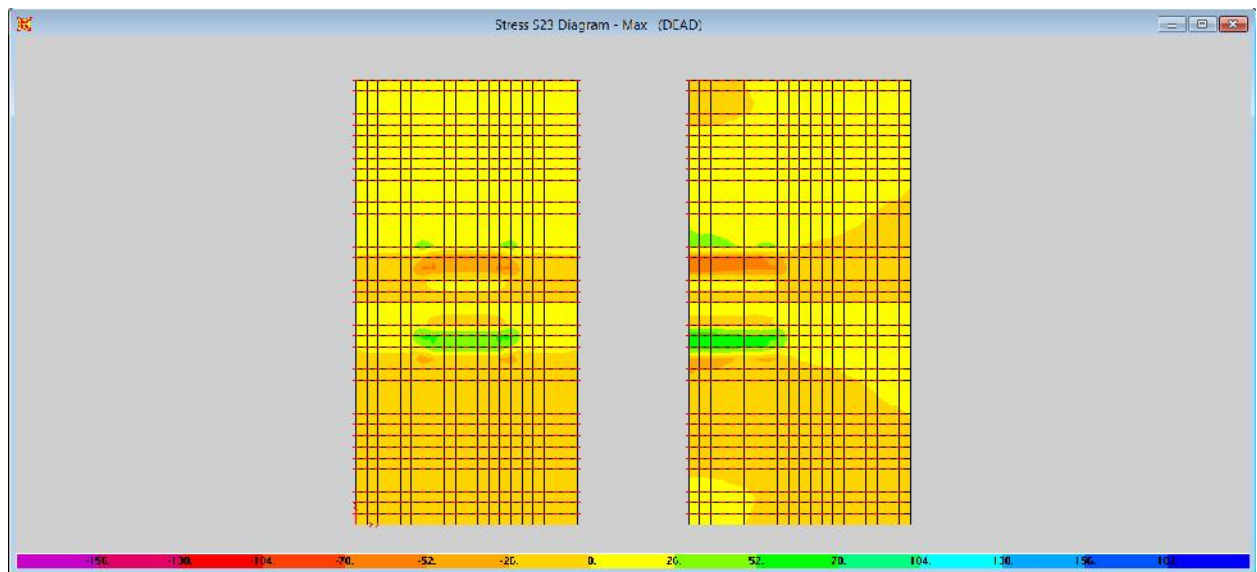


Visualizzazione assonometrica “Materassino + corpo morto”: Tensioni σ_{22} [kN/m²]



Visualizzazione piana “solo Materassino”: Tensioni σ_{11} [kN/m²]





Visualizzazione piana "solo Materassino": Tensioni τ_{23} [kN/m²]

La tensione di trazione massima risulta $\sigma_{22} = 0.96 \text{ MPa} < f_{td} = 1.62 \text{ MPa}$ per cui l'elemento di zavorramento e protezione strutturale risulta verificato.

3 Verifica di stabilità idraulica dell'elemento di protezione

3.1 Verifica alle azioni indotte dalle eliche

La velocità sul fondo V_b è funzione della velocità in uscita dalle eliche V_{ass} (*"Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls"*, Pianc, Report of Working Group 22, Supplement to Bulletin no. 96, 1997):

$$V_b = e V_{ass} \left(\frac{H_p}{D_p} \right)^a$$

Nella quale "e" vale 0,71 per elica singola e 0,42 per elica doppia. L'esponente "a" è pari a -1 per elica singola e -0,28 per elica doppia. Il termine H_p indica l'altezza dell'asse del getto uscente dall'elica valutata rispetto alla posizione del fondale. Pertanto H_p è funzione del pescaggio del natante (T) e del tirante drico bcale (h) e dalla distanza tra il punto più basso dell'elica e il fondo chiglia del natante (d_e). Per cui si ottiene

$$H_p = h - T + d_e + \frac{D_p}{2}$$

La velocità V_{ass} può essere calcolata dalla formula seguente:

$$V_{ass} = c \left(\frac{P}{\rho_w D_p} \right)^{1/3}$$

Nella quale P è la potenza del motore (kW), ρ è la densità dell'acqua (kg/m^3) e c è un coefficiente pari a 1,48 nel caso di eliche libere.

Per la velocità in corrispondenza del fondo discende:

$$V_b = c \left(\frac{P}{\rho_w D_p} \right)^{1/3} e \left(\frac{H_p}{D_p} \right)^a$$

Sulla base dell'intensità di velocità al fondo è possibile valutare la tensione tangenziale al fondo:

$$\tau_c = \rho_w C_d V_b^2$$

Nella quale C_d , coefficiente di resistenza, è espresso dalla:

$$C_d = \left(\frac{k}{1 + \log \frac{z_c}{h}} \right)^2$$

Nella quale k è la costante di Von Karman, dipende dalla scabrezza del fondo espressa secondo la scabrezza equivalente di Nikuradse.

Per il caso in esame, pertanto, è possibile stimare le massime azioni tangenziali indotte dal passaggio dei natanti. Si osserva che tale tensione cresce al crescere della potenza dei motori, della dimensione delle eliche, del pescaggio del natante e al diminuire del tirante idrico locale. Pertanto, con l'intento di fornire una stima conservativa, si considera il passaggio di un natante in corrispondenza di una profondità pari a 3,0 m, approssimativamente coincidente con la minor profondità presente in corrispondenza delle banchine. Sulla base delle dimensioni tipiche dei natanti di dimensione compatibile con lo darsena in oggetto ($D_p=0,50$ m, $T=1,00$ m) si ottiene un valore della distanza dell'asse dell'elica dal fondo pari a $H_p = 1,75$ m. Considerando una propulsione a doppia elica con potenza complessiva $P=800$ kW in condizioni di piena potenza si ottiene:

$$V_b = 0,51 \text{ m/s}$$

Dalla quale discende un valore della tensione tangenziale sul fondo pari a:

$$\tau_c \approx 1,91 \text{ N/m}^2$$

Il valore di tensione tangenziale è pertanto molto limitato e, in virtù dei tipici valori caratteristici di resistenza del calcestruzzo all'abrasione, non comporta fenomeni di asportazione di materiale dall'elemento di zavorramento e protezione strutturale.

Per quanto riguarda la verifica allo scorrimento è necessario definire ulteriormente l'area in corrispondenza della quale agisce istantaneamente la tensione tangenziale indotta dal passaggio di un natante. La risultante di tali azioni deve essere contrastata dalla forza di attrito (F_a) che si esplica alla base dell'elemento di zavorramento. Considerando un elemento di dimensioni 10 m x 5 m di spessore 0,25 m e un coefficiente di attrito pari a 0,3 si ottiene:

$$F_a = 9,2 \text{ kN}$$

Considerando, a favore di sicurezza, che l'azione del natante si espliciti su tutta

l'estensione dell'elemento di zavorramento considerato, si ottiene un'azione tangenziale totale F_{nat} pari a:

$$F_{nat} = 0,10 \text{ kN}$$

Notevolmente inferiore alla forza F_a .

In sintesi, la verifica idraulica illustrata, seppur ampiamente conservativa, evidenzia che l'elemento di zavorramento e di protezione strutturale non soffre dell'azione dei natanti.

3.2 Verifica della conterminazione orizzontale

Il "sistema di tenuta ambientale del fondale" che verrà posizionato al margine delle banchine nella zona che non sarà oggetto di dragaggio a causa della necessità di non compromettere la stabilità delle stesse banchine, include lo "strato di protezione passiva", costituito da un telo impermeabile in HPDE, per le cui specifiche si rimanda ai documenti e alle tavole di progetto, la cui funzione è quella di escludere la possibilità che i contaminanti presenti nel sedime portuale possano contaminare la colonna d'acqua sovrastante a causa dei moti verticali di tipo diffusivo e/o dispersivo degli stessi contaminanti.

L'oggetto della presente analisi riguarda la conterminazione orizzontale dei contaminanti. A tal fine, in primo luogo è necessario descrivere la fenomenologia per cui l'eventuale presenza di materiale inquinante possa migrare orizzontalmente verso l'area bonificata. La migrazione può avvenire secondo due meccanismi principali noti come la diffusione e la dispersione che, in linea generale, possono agire nelle tre direzioni spaziali. Tuttavia, lungo la direzione verticale il meccanismo di migrazione è sostanzialmente annullato dalla realizzazione strato di protezione passiva (membrana HPDE) e dall'assenza, nel caso in esame, di cause che possano dare luogo a moti di filtrazione con rilevanti componenti verticali della velocità. Inoltre, sempre per il caso in esame, il meccanismo diffusivo è di intensità notevolmente inferiore al meccanismo dispersivo (alti valori del numero di Peclet) e la migrazione orizzontale può essere stimata sulla base di informazioni legate all'agitazione cinetica in corrispondenza del fondo. Il campo idrodinamico è indotto sostanzialmente solo dall'azione del moto ondoso che, seppur di natura oscillatoria, induce velocità in prossimità del fondo notevolmente superiori alle altre forzanti meteomarine (costituite principalmente dalla circolazione idrodinamica indotta sia dalla propagazione dell'onda di marea sia dall'azione del vento). Tale aspetto è da imputare al fatto che nel caso in esame si esclude la possibilità che si possano instaurare gradienti di livello tali da indurre, in

prossimità del fondo, velocità idrodinamiche significativamente intense.

Di conseguenza a causa della natura esclusivamente oscillatoria (in senso orizzontale) dei moti idrodinamici in prossimità del fondo, per garantire la conterminazione orizzontale del sistema di tenuta ambientale, è sufficiente prevedere in corrispondenza del lembo esterno del sistema di tenuta ambientale, un tratto di sovrapposizione “di valle” che vada ad interessare la zona bonificata come descritto nella specifica tavola di progetto.

Per il dimensionamento di tale tratto di sovrapposizione si è utilizzata la metodologia di seguito descritta.

Con un approccio semplificato, ma a favore di sicurezza, è possibile stimare la velocità orizzontale massima in corrispondenza del fondo e il relativo “cammino” di una particella passiva (lagrangiana) che viene dispersa durante un semiperiodo del moto ondoso. Con riferimento allo “Studio di penetrazione del moto ondoso” e allo “Studio Meteomarino” allegati al presente progetto, si è scelta una condizione di moto ondoso caratterizzata da un'altezza d'onda di 2,0 m ed un periodo di 6,0 s, la quale presenta una frequenza di accadimento media annuale non superiore al 2% (pari a circa 7 giorni annui) nel punto prospiciente la darsena. Trasferendo, a favore di sicurezza, tali caratteristiche all'interno della darsena, ed utilizzando la teoria lineare delle onde monocromatiche si ottiene il valore caratteristico della distanza di migrazione pari a 4,4 m in corrispondenza di un tirante idrico pari a 3,0 m.

Alla luce di tale risultato, ottenuto con ipotesi ampiamente cautelative, è possibile porre pari a 5,0 metri l'estensione della sovrapposizione di valle per la conterminazione orizzontale.