Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Regione Liguria

Comune di S.Margherita Ligure (GE)



OPERE MARITTIME - RIPRISTINO E RINFORZO MOLO DI SOPRAFLUTTO A DIFESA DELL'ABITATO DI SANTA MARGHERITA LIGURE

CIG 77501856FB

PROGETTO DEFINITIVO

Responsabile del procedimento	Progettazione
Dott. Ing. Pietro Feriani	ACQUA TECNO Dott. Ing. Paolo Turbole

Titolo elaborato

RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

Elaborato

A.2255 | PD | | EG

PD.RTM

Scala

Data

Febbraio 2019

Revisione	Data			

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sommario

1. PREMESSA 3
1.1. Stato dei luoghi a seguito dei danni causati dalla mareggiata del 29 ottobre 2019 4
2. ANALISI IDRAULICO MARITTIMA 10
2.1. Moto ondoso di progetto 10
2.2. Risultati dello studio meteomarino di largo 10
2.3. Risultati dello studio della propagazione ondosa 12
2.4. Risultati dello studio della penetrazione ondosa 14
2.5. Variazioni del livello marino 16
3. DIGA DI SOPRAFLUTTO - DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE MARITTIME ESTERNE 18
3.1. Mantellata 18
3.2. Valutazione "run up" e onda trasmessa a tergo diga 23
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 29
4.1. Azioni sulle costruzioni 29
4.2. Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione 30
4.3. Elaborati tecnici 31
5. MATERIALI 32
5.1. Calcestruzzo strutturale e non strutturale 32
5.2. Terreni di rinfianco e d'imposta dei muri di banchina 32
6. AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO 33
6.1. Carico di banchina e pavimentazione 33
6.2. Tiro alla bitta 33
6.3. Sisma 34
6.4. Spinta del terreno in condizioni statiche 34
6.5. Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione 35
6.6. Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dal sovraccarico di banchina 35
6.7. Tiro alla bitta 36
6.8. Spinta del terreno in condizioni sismiche 36
6.9. Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione 38

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

6.10. Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina 38
6.11. Spinta idrodinamica indotta dal sisma 39
6.12. Forze di massa indotte dal sisma 39

7. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO 41
7.1. Coefficienti di combinazione delle azioni adottati 43
7.2. Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche 43
7.3. Verifiche allo scorrimento 44
7.4. Verifiche al ribaltamento 44
7.5. Verifiche della capacità portante in condizioni drenate 45

8. VERIFICHE BANCHINA A CASSONE MONOCELLA 47
8.1. Verifiche con livello medio mare 48
Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU) 55
Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) 59
8.2. Veridiche con sovralzo di marea +0.50 m 64
Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU) 71
Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) 74
8.3. Verifiche in condizioni di bassa marea -0.45 m 79
Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU) 86
Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) 89
8.4. Considerazioni sulle verifiche svolte 93

9. ACCESSIBILITÀ NAUTICA 95

10. CONCLUSIONI 96

11. BIBLIOGRAFIA 97

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

1. PREMESSA

Il presente elaborato, redatto ai sensi dell'art. 3 Sezione I dell'Allegato XXI al D. Lgs. 163/2006, costituisce la relazione tecnica relativa alle opere marittime del progetto definitivo degli interventi di ripristino relativi alla diga di sopraflutto del Porto di Santa Margherita Ligure.

La presente relazione tratta gli aspetti più propriamente tecnici del progetto definitivo delle opere marittime.

I suddetti aspetti concernono in particolare lo studio idraulico - marittimo ovvero l'esposizione del paraggio, il regime anemologico, il regime ondametrico di largo e sottocosta, gli eventi estremi, la rifrazione, il frangimento, l'onda di progetto e l'accessibilità dell'imboccatura.

Il territorio del Comune di S. Margherita Ligure è situato nella provincia ligure di Genova e si affaccia sul Mar Ligure nella parte settentrionale del Golfo del Tigullio.

La costa è prevalentemente rocciosa alternata a tratti ove è bassa ghiaiosa e protetta da scogliere.

A seguito dei danni verificatisi in concomitanza con la mareggiata del 29 ottobre 2019 si sono resi necessari urgenti interventi di ripristino e messa in sicurezza della diga di sopraflutto.

La diga di sopraflutto è stata ripristinata e modificata nella sua sezione tipo, rispetto a quella preesistente, nella sua parte esterna (lato mare) mediante:

1) la previsione di una mantellata di massi naturali di categoria superiore (12-15 t V categoria) e aumentando le relative quote di coronamento di circa 80 cm;

2) la posa in opera di una berma semi-affiorante larga 10 m di massi naturali di V categoria;

3) il prolungamento di circa 50 del tratto terminale della diga con un'opera a gettata a basso coronamento, non banchinata e priva di massiccio di coronamento (roteata di 60° in senso antiorario rispetto all'asse della diga).

Tali interventi hanno il duplice scopo di:

- Ridurre le tracimazioni durante gli eventi ondosi estremi (ed i rischi per persone o cose), limitando gli aumenti di quota sommitale della diga, e quindi anche i costi e l'impatto paesaggistico.
- Ridurre la penetrazione ondosa all'interno dell'area portuale.

Completano i lavori il ripristino degli impianti tecnici generali (elettromeccanici e idraulici) e delle opere interne (muri paraonde ove dissestati, pavimentazioni, e arredo portuale).

Nella progettazione è stato tenuto in particolare conto, oltre che degli aspetti tecnici sopracitati, anche della presenza di vincoli di natura ambientale che influenzano la fattibilità delle opere previste.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

I risultati della presente relazione sono stati sintetizzati nella relazione generale. Nell'elaborato in oggetto vengono esplicitate le verifiche previste dal D.M. 2018 "Norme tecniche sulle costruzioni" ed alla normativa riportata nel par. 4.

1.1. Stato dei luoghi a seguito dei danni causati dalla mareggiata del 29 ottobre 2019

La diga di sopraflutto del Porto di S. Margherita Ligure è orientata in direzione da sud ovest verso nord est ed offre riparo allo specchio acqueo portuale dalle ondazioni provenienti dal II quadrante.

Si sviluppa per circa 460 m con una parte più prossima alla costa, protetta in parte da una spiaggia e prosegue quindi con un tratto costituito da un'opera a gettata sormontata da un muro paraonde che protegge una banchina interna costituita in parte da cassoni prefabbricati ed in parte da muri a massi sovrapposti.

La larghezza della banchina è variabile (presenza di varie riseghe) così come la quota di coronamento del muro paraonde in cls (variabile da +4,50 m s.l.m.m. a +3,20 m s.l.m.m.).

La mantellata esterna di protezione dal moto ondoso è costituita da massi naturali di pezzature varie.

La predetta mareggiata del 29 ottobre 2018, che ha provocato gli ingenti danni tuttora visibili, è stata caratterizzata da un'altezza d'onda significativa di largo pari a Hs = 6,73 m, da un periodo di picco Tp = 11,2 s e da una direzione di provenienza di largo media pari a 215°N (libeccio); fonte dati: DICCA Università di Genova – punto di estrazione P2.

Tale evento è stato stimato (cfr. studio meteomarino eseguito ed allegato al presente progetto: PD.SM) avere un tempo di ritorno statistico di poco inferiori a Tr = 100 anni mentre per le condizioni progettuali (cfr. Relazione tecnica opere marittime PD.RTM) è stato adottato un Tr = 154 anni.

L'altezza d'onda massima di largo è quindi stimabile pari a circa Hmax = 1,9 Hs = 12,7 m.

Tale altezza d'onda propagata sino al porto mediante modello matematico MIKE21 SW ha permesso di valutare un'altezza d'onda significativa a ridosso della diga di sopraflutto pari a circa Hs = 3,5 m e Tp = 10,9 s (cfr. elaborato PD.SR Studio della propagazione del moto ondoso).

I valori di progetto della mantellata adottati sono però superiori in quanto relativi al Tr = 154 anni (Hs = 4,2 m e Tp = 11.2 s) (cfr. elaborato PD.SR Studio della propagazione del moto ondoso).

I danni che ha subito la diga in tale occasione sono visibili tramite confronto fotografico, restituzione video ripresa a mezzo drone e dall'esame di un rilievo topografico e batimetrico effettuato per il Comune in data 5 novembre 2018.

A tale proposito si veda il confronto fotografico 1 e 2 e il rilievo di fig. 1 meglio dettagliato nell'elaborato grafico progettuale PD.OM.02 al quale si rimanda.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



Confronto fotografico n. 1 ante-post mareggiata 29 ottobre 2018



Confronto fotografico n. 2 ante-post mareggiata 29 ottobre 2018

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

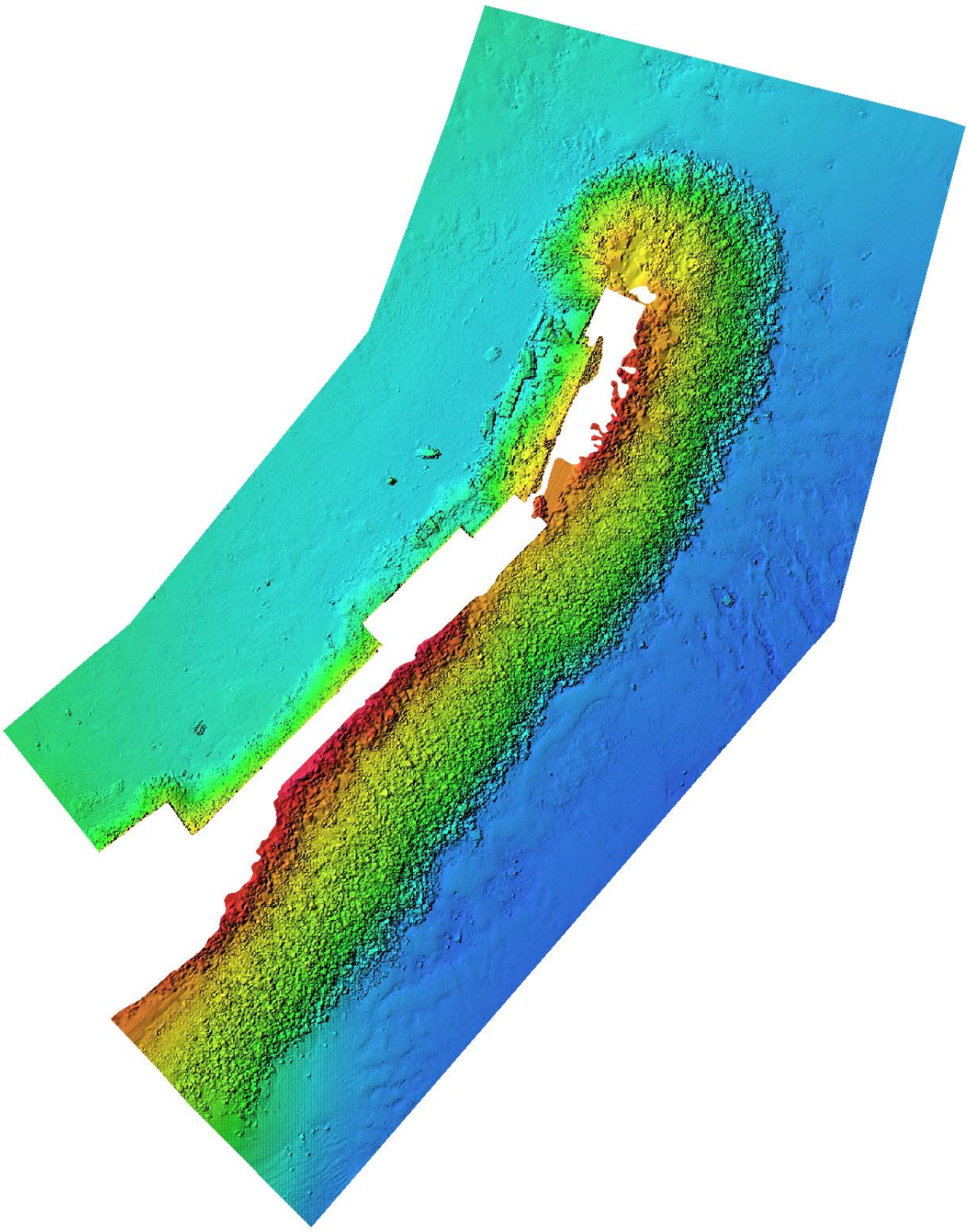
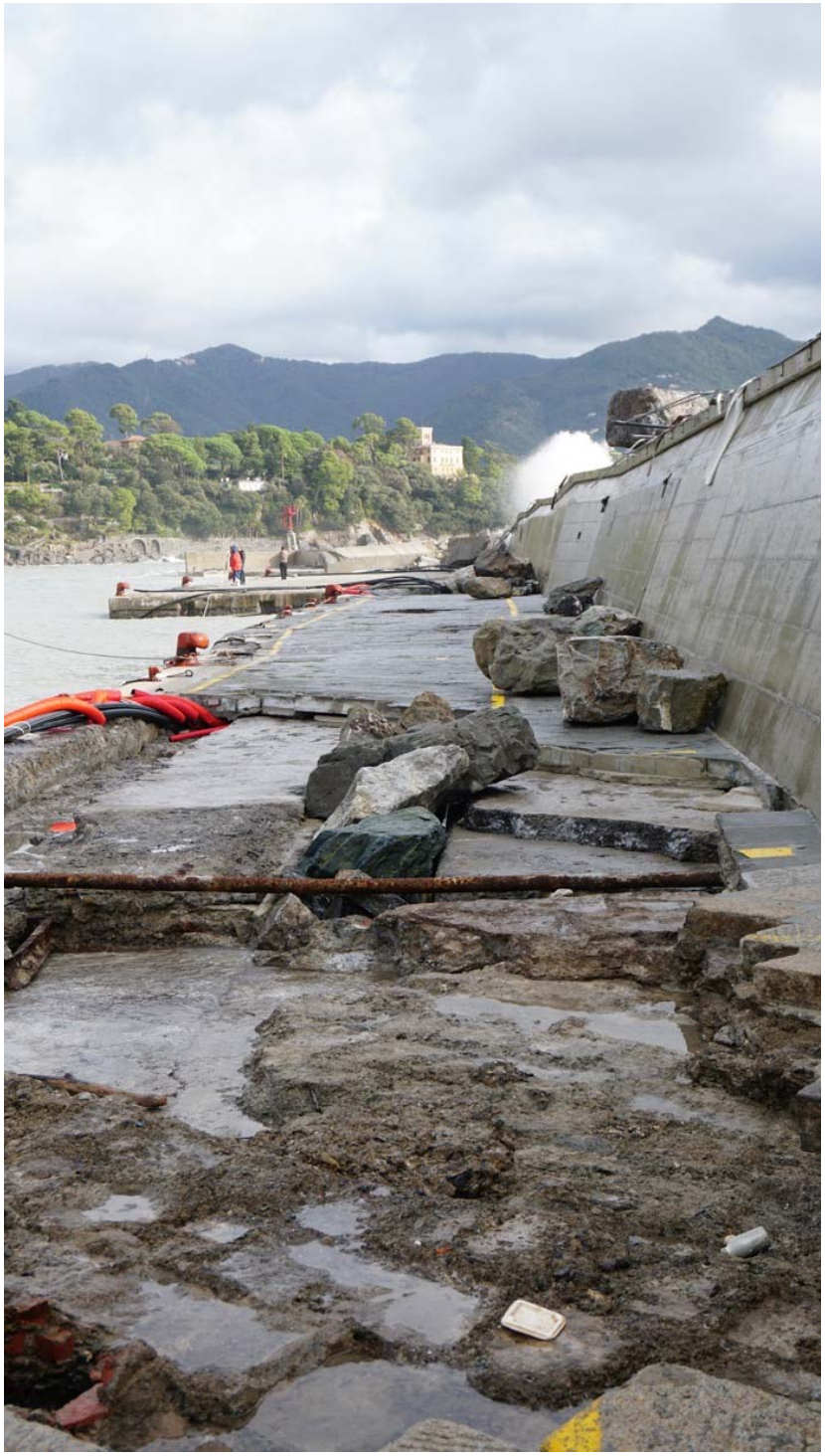


Fig. 1 – Diga di sopraflutto di S. Margherita Ligure - Rilievo batimetrico multi-beam del 15.11.2018

Di seguito sono riportate alcune riprese fotografiche della diga di sopraflutto di S. Margherita Ligure post mareggiata del 29 ottobre 2018:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo



Diga sopraflutto di S. Margherita Ligure – Danni a zona retro banchina



Diga sopraflutto di S. Margherita Ligure – Muro paraonde roto traslato



Diga sopraflutto di S. Margherita Ligure – Muro paraonde roto traslato

Dall'esame di tali elaborati/immagini e dalle risultanze dei sopralluoghi e rilievi effettuati è emerso che:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

-) Parte esterna della diga (mantellata, filtro, nucleo, muro paraonde):

- i maggiori danni sono stati riscontrati per circa 25 m di diga compresi tra circa 50 m e 75 m a partire dalla testata della diga di sopraflutto, ove si è verificata la disconnessione della parte in elevazione del muro paraonde dal solettone di base con relativa roto-traslazione dei conci di muro;
- la mantellata in massi naturali preesistente e vari strati di opera a gettata sottostanti sono stati asportati verso il largo e/o catapultati nel lato interno portuale in percentuali variabili (da circa il 10% al 100%) desumibili dal confronto tra il rilevo topo-batimetrico del Novembre 2018 ed il rilievo antecedente la mareggiata. Il valore 100% è inteso prendendo a riferimento il filo esterno del muro paraonde nei 20 m di diga a partire da 80 m dalla testata.;

-) Parte interna della diga di sopraflutto:

- la banchina a massi sovrapposti posta nel tratto degli ultimi 70 m di diga prima della testata è completamente collassata e giace sommersa con altre macerie sul lato interno della diga (eccezion fatta per gli ultimi 15 m prima della testata che sono fortemente danneggiati ma non completamente collassati come si evince dal rilievo plano-altimetrico in cui si evidenzia la rotazione del coronamento della banchina);
- per l'intero sviluppo di circa 300 m della diga a partire dalla testata si evidenziano numerosi danneggiamenti al coronamento della banchina e all'area a questa retrostante, con coinvolgimento della pavimentazione, degli impianti e dell'arredo portuale preesistente seppure il muro paraonde appaia danneggiato solo in misura minore (i danni sono dovuti ad i massi di mantellata che sono stati proiettati in banchina oltre che agli ingenti fenomeni di tracimazione ondosa).

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

2. ANALISI IDRAULICO MARITTIMA

È stato fatto riferimento agli studi meteomarini allegati al progetto. In particolare, è stata effettuato un nuovo studio meteomarino di largo.

Inoltre, è stato redatto uno studio della penetrazione ondosa previo trasferimento sottocosta del moto ondoso di largo.

Il Tempo di ritorno statistico adottato per le azioni ondose di progetto è stato valutato seguendo le Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime fornite dal C.S.LL.PP. adottando il livello di sicurezza 2 richiesto per opere di tale natura (infrastruttura ad uso generale) che fornisce una vita utile pari a Tv = 25 anni; considerando un coefficiente pari a $p_f = 0,15$ (distruzione totale con rischio limitato per la vita umana e ripercussione economica media) si ottiene un tempo di ritorno pari a circa $Trp = Tv/(-\ln(1- p_f)) = 154$ anni.

2.1. Moto ondoso di progetto

Il Tempo di ritorno statistico adottato per le azioni ondose di progetto è stato valutato seguendo le Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime fornite dal C.S.LL.PP. adottando il livello di sicurezza 2 richiesto per opere di tale natura (infrastruttura ad uso generale) che fornisce una vita utile pari a Tv = 25 anni; considerando un coefficiente pari a pf = 0,15 (distruzione totale con rischio limitato per la vita umana e ripercussione economica media) si ottiene un tempo di ritorno pari a circa $Trp = Tv/(-\ln(1- pf)) = 154$ anni.

L'altezza d'onda di progetto è stata valutata, dopo avere determinato le condizioni ondose di largo e averle propagate sull'opera oggetto di ripristino per il tempo di ritorno pari a 154 anni.

Tale parametro progettuale è risultato pari a Hs = 4,2 m; Tm = 8,85 s per il tronco diga, pari a Hs = 3,6 m; Tm = 8,85 s per la testata attuale e Hs = 2,5 m; Tm = 8,85 s per il prolungamento a basso coronamento.

2.2. Risultati dello studio meteomarino di largo

A seguito del collasso di parte della diga di sopraflutto del porto di Santa Margherita Ligure, la società Acquatecno S.r.l. è stata incaricata da parte del Comune di Santa Margherita Ligure (GE) di redigere un progetto definitivo incentrato sulla riprogettazione della diga esistente e sullo studio di eventuali soluzioni per la modifica dell'imboccatura portuale, al fine di ottimizzare i livelli di agitazione ondosa interna al bacino.

Visti i recenti eventi di mareggiata risalenti al 29/10/2018 che hanno portato appunto alla distruzione parziale dell'opera, si è ritenuto opportuno elaborare uno studio meteomarino che tenesse in conto anche le ondazioni che hanno caratterizzato gli ultimi avvenimenti.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sono pertanto stati acquisiti, dal database di hindcast del Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università di Genova (DICCA), 20 anni di dati (gennaio 1999 – dicembre 2018) rappresentativi del clima ondoso all'interno del golfo del Tigullio (punto P1) ed un anno di dati (gennaio 2018 – dicembre 2018) al largo del promontorio di Portofino (punto P2). Dall'elaborazione della serie ventennale acquisita è stato possibile individuare una traversia principale coincidente con il settore di Ostro-Libeccio (195°N – 225°N) ed una secondaria rappresentata dal settore di Scirocco – Ostro (135°N – 195°N).

È stata altresì effettuata un'analisi statistica degli eventi estremi considerando la serie di dati tronca, avendo stimato la soglia di troncamento pari a Hs = 2.5 m. La valutazione dei campioni per la statistica è stata inizialmente condotta considerando sia un'analisi omnidirezionale, sia un'analisi direzionale secondo i due distinti settori di traversia. Dei quattro modelli statistici inizialmente considerati, Frechet è risultato più idoneo a rappresentare i campioni ottenuti. Mediante il modello sopramenzionato sono stati ricavati i valori di altezza d'onda significativa, relativi ai periodi di ritorno di 5, 10, 50, 100 e 154 anni (Tabella 1). Dalla tabella si evince che le altezze maggiori, per ogni valore del Tr, sono quelle ottenute per il settore di traversia principale.

Al fine di dimensionare correttamente l'opera in progetto è stato determinato, secondo le *Istruzioni Tecniche Italiane per la Progettazione delle dighe marittime* (1996) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, un periodo di ritorno di 154 anni. Per una ragionevole scelta dell'onda di progetto si è ritenuto opportuno considerare anche la direzione di provenienza dell'evento di mareggiata sopramenzionata. Questa infatti è stata caratterizzata da un'altezza d'onda significativa massima pari a 6.7 m, un periodo di picco pari a 11.2 s e una direzione media di provenienza pari a circa 215°N (settore Libeccio) che è stato possibile stimare analizzando i dati acquisiti per il punto P2 di largo.

Lo stesso evento di mareggiata nel punto P1 interno al golfo ha presentato un valore dell'altezza significativa massima pari a 6.51 m ed un periodo di picco pari a 11 s. A

valle dei calcoli svolti ed in seguito delle propagazioni (PD_SR_Studio di propagazione ondosa) delle onde relative al punto P1, in ragione di quanto detto a proposito della mareggiata di riferimento, è stata scelta come onda di progetto quella proveniente dal settore di traversia principale (195°N -225°N), assegnandole cautelativamente una direzione media di provenienza pari al limite inferiore del settore stesso (Tabella 2).

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Tabella 1. Valori estremi di altezza d'onda nel punto P1, divisi per tipologia di analisi e periodi di ritorno – soglia di troncamento pari a 2.5 m.

		Hs [m]		
Tr [anni]	**Ptr**	Settore 195°N - 225°N	Settore 135°N -195°N	Omnidirezionale
5	0.800	3.85	3.18	3.80
10	0.900	4.39	3.46	4.33
50	0.980	5.88	4.16	5.78
100	0.990	6.65	4.50	6.53
154	**0.994**	**7.18**	**4.73**	**7.05**

Tabella 2. Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento delle opere, corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 154 anni.

Hs [m]	**Tp [s]**	**Dir [°N]**
7.18	11.5	195

2.3. Risultati dello studio della propagazione ondosa

È stato condotto uno studio integrativo della penetrazione ondosa mediante l'applicazione del modello matematico MIKE21 BW.

Tale studio di propagazione ondosa da largo verso riva è stato sviluppato per un duplice scopo:

- Determinare le caratteristiche dell'onda di progetto (Tr = 154 anni) incidente sulla diga di sopraflutto per poter dimensionare correttamente le opere in progetto (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);
- Stimare i parametri (Hs, Tp, θm) delle onde da utilizzare per lo studio specialistico idraulico-marittimo relativo alla penetrazione ondosa, al fine di valutare i livelli di agitazione all'interno del porto (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Le onde propagate sono riassunte nella tabella che segue sono rappresentative di entrambi i settori di traversia individuati nello studio meteomarino, principale 195°N – 225°N (Ostro - Libeccio) e secondario 135°N – 195°N (Ostro – Scirocco):

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Tabella 3. Tabella riassuntiva delle onde propagate.

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]	Settore
Onda 1	154	7.18	11.5	195	Libeccio
Onda 2	154	4.73	10	165	Scirocco
Onda 3	50	5.88	10.40	195	Libeccio
Onda 4	50	3.93	9.40	165	Scirocco
Onda 5	5	3.85	9.30	195	Libeccio
Onda 6	5	2.86	8.60	165	Scirocco

Per quanto concerne la scelta dell'onda di progetto per il dimensionamento delle opere previste nel definitivo, dall'analisi dei risultati è emerso che l'Onda 1 proveniente dal settore di traversia principale (Ostro – Libeccio) comporta un'altezza significativa compresa tra 4.0 m e 4.5 m sul tronco della diga di sopraflutto esistente, a fronte di un'altezza pari a circa 3.6 m relativa alla propagazione dell'Onda 2. L'output dell'Onda 1 è stato confrontato anche con quello relativo all'onda di picco relativa alla mareggiata del 29/10/2018 (paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).
Visti i risultati del modello dunque si è cautelativamente scelta come onda di progetto l'Onda 1. Data la conformazione dell'opera in progetto i valori di altezza d'onda progettuale adottati sono rispettivamente:

- H = 4.2 m per il tronco della diga;
- H = 3.6 m per la testata della diga.
- H = 2.5 m per il prolungamento della diga

Per quanto riguarda invece le onde di interesse per lo studio dei livelli di agitazione residua all'interno del porto, sono stati ottenuti i seguenti risultati (Tabella 4):

- Confrontando le onde cinquantennali, l'Onda 3 proveniente dalla traversia principale comporta un'altezza significativa maggiore, pari a 3.50 m a fronte dei 3.38 m dell'onda 4;
- Considerando le onde quinquennali invece, l'altezza significativa maggiore ottenuta corrisponde all'Onda 6 appartenente al settore di traversia secondario.

Tabella 4. Risultati ottenuti dalla propagazione delle onde 3, 4, 5 e 6, estratti nel punto di coordinate 517706.1723 E, 4908148.3363 N (UTM 32 N).

Onde	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Onda 3	50	3.50	10.35	172
Onda 4	50	3.38	9.37	160
Onda 5	5	2.36	9.27	174
Onda 6	5	2.52	8.60	160

2.4. Risultati dello studio della penetrazione ondosa

È stato condotto uno studio della penetrazione ondosa mediante l'applicazione del Modello Mike21 BW. Tale studio è stato sviluppato al fine di determinare i livelli di agitazione ondosa all'interno del porto di Santa Margherita Ligure (GE) e sviluppare così una possibile soluzione per ottimizzarli. Sono state pertanto simulate le due condizioni ondose risultate più critiche dall'elaborato PD SR Studio di propagazione ondosa, riportate di seguito. L'Onda 1, avente un periodo di ritorno pari a 5 anni, è rappresentativa del clima ondoso di largo proveniente dalla traversia secondaria del paraggio, ovvero del settore 135°N – 195°N; l'Onda 2, caratterizzata da un periodo di ritorno di 50 anni, proviene dalle condizioni ondose di largo appartenenti al settore di traversia principale, 195°N – 225°N.

Tabella riassuntiva delle condizioni ondose simulate.

Onde simulate	Tr [anni]	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°N]
Onda1	5	2.52	8.60	160
Onda2	50	3.50	10.35	172

Entrambe le onde sono state modellate considerando due layout portuali; una configurazione di stato attuale, allo scopo di determinare l'agitazione ondosa dello stato di fatto, una possibile e ragionevole configurazione di progetto, al fine di migliorare i livelli di agitazione suddetti, costituita dal prolungamento dell'esistente diga di sopraflutto di un tratto avente lunghezza pari a 60 m e ruotato di 60° rispetto all'asse dell'opera esistente.

Dall'analisi dei risultati è emerso quanto segue. L'Onda 1 (Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N) per il layout di stato attuale, induce un'altezza d'onda significativa all'interno del porto compresa nel range 0.30 – 0.40 m nella zona subito a tergo della giga di sopraflutto, nell'intervallo 0.40 – 0.50 m nella parte centrale del porto, e anche pari a 0.50 m sul lato opposto. La stessa onda (Tr = 5 anni; Hs = 2.52 m; Tp = 8.60 s; Dir = 160°N) per la configurazione portuale prevista in progetto, comporta un'altezza d'onda significativa

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

compresa tra 0.30 m e 0.40 m in gran parte del porto, salvo per aree molto localizzate, e tra 0.20 m e 0.30 nella zona retrostante la diga di sopraflutto. Si ha quindi una diminuzione dei livelli di agitazione residua dell'ordine di 10 cm, ed in generale l'area interessata dai pontili galleggianti e quindi dall'ormeggio delle imbarcazioni risulta maggiormente protetta;

L'Onda 2 (Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N), considerando la configurazione di stato attuale del porto, porta ad un'altezza d'onda significativa compresa nell'intervallo 0.50 m – 0.60 m pressoché nell'intero specchio acqueo del porto, e nel range 0.60 m – 0.70 m nella zona opposta alla diga di sopraflutto. Relativamente al layout portuale di progetto, l'Onda 2 (Tr = 50 anni; Hs = 3.50 m; Tp = 10.35 s; Dir = 172°N) induce un'altezza significativa compresa tra 0.40 m e 0.50 m nella zona alle spalle del sopraflutto, Per il resto, lo specchio acqueo rimane caratterizzato da 0.50 m < Hs < 0.60 m, e 0.60 m < Hs < 0.70 m nell'area opposta alla diga di sopraflutto.

A valle dell'analisi dei risultati ottenuti, questi devono essere confrontati con le prescrizioni dell'AIPCN – PIANC (Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici).

Al fine di garantire l'agibilità delle opere portuali e le operazioni di ormeggio e ancoraggio infatti, si deve verificare che il livello di agitazione residua all'interno del porto sia al disotto dei valori ammissibili raccomandati. Le altezze d'onda significativa devono quindi rispettare le seguenti condizioni:

1. Condizione di "sicurezza": Hs non superiore a 0.30 m per onde con periodo di ritorno non inferiore a 5 anni;
2. Condizione "limite": Hs al massimo pari a 0.50 m per onde con periodo non inferiore a 50 anni.

I valori suddetti possono essere incrementati fino al 50 % nel caso la direzione del moto ondoso sia pressoché parallela all'asse longitudinale e/o per ormeggio con finger laterale.

Posto che le condizioni di "sicurezza" e le condizioni "limite" sopramenzionate sono rispettate incrementando i valori ammissibili fino al 50%, è opportuno evidenziare che le condizioni più frequenti, ovvero quelle con periodo di ritorno pari a 5 anni, sono quelle per cui si hanno i livelli di agitazione minori, e per le quali si riscontra un significativo miglioramento dell'agitazione ondosa (circa 10 cm) introducendo il prolungamento in progetto.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

2.5. Variazioni del livello marino

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente la marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi: per una corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere a mare e delle profondità minime richieste all'imboccatura.

Dal punto di vista geologico (lungo termine) la costa in esame si presenta abbastanza stabile; non esistono problemi di eustatismo o subsidenza.

Per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica, dall'azione del vento e della pressione atmosferica ("marea meteorologica"), le variazioni stagionali di densità ed anche il sovralzo d'onda presente sulla battigia durante le mareggiate.

Nel Mar Mediterraneo e soprattutto nel paraggio costiero di S. Stefano di Camastra le escursioni del livello del mare sono di fatto molto modeste, anche se eccezionalmente si possono verificare variazioni significative.

Marea astronomica

Le ampiezze ed i tempi di marea giornalieri sono prevedibili con esattezza per un gran numero di località e sono pubblicati annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare di Genova sulle "Tavole di Marea". Per il caso in esame si possono ben utilizzare i dati forniti per il vicino porto di Palermo, i massimi dislivelli positivi raggiungono i valori di ±0.20 m rispetto al livello medio del mare,

Variazioni meteorologiche di livello marino

Dislivello barico

Un poco maggiore risulta invece il massimo contributo che può essere fornito da variazioni della pressione atmosferica. È noto infatti che un abbassamento barico di 1 mb rispetto al valore normale (1013 mb) produce un innalzamento di circa 1 cm del livello marino e viceversa.

Nell'area di S. Stefano di Camastra i valori misurati minimi e massimi della pressione (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni) risultano pari a 978 mb e 1044 mb.

Ne consegue quale effetto "barico" un massimo sovralzo marino di 0.35 m ed un massimo abbassamento del livello di 0.31 m. In condizioni estreme eccezionali tali valori possono aumentare ancora di qualche centimetro.

Sovralzo di vento

Trascurabile, invece, risulta il contributo del vento nella zona di S. Stefano di Camastra.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Infatti il sovralzo di vento dovuto all'accumulo d'acqua sottocosta per azione di venti foranei permanenti è contenuto in pochi centimetri data la limitatissima estensione della piattaforma continentale: l'isobata -200 si trova a soli 13 Km dalla costa.

Il calcolo del massimo sovralzo di vento è stato effettuato mediante una nota formulazione analitica implicita: $S = \{Kp\ Lp\ U2/[g\ (D - d - S)]\}\ \ln [D/(d + S)]$

dove:

U = velocità del vento persistente (m/s);

D = profondità limite della piattaforma continentale (200 m);

Lp = estensione della piattaforma (distanza tra d e D nella direzione del vento) (m);

d = profondità ove si calcola il sovralzo (m);

g = accelerazione di gravità (9,81 m/s2);

Kp = coefficiente pari a 3 x 10-6

Considerando l'azione di un vento costante diretto verso la costa con velocità di 28 m/s ed un'estensione della piattaforma continentale (fondale -200 m) pari a 13 km, si è ricavato un innalzamento massimo del livello del mare in corrispondenza delle opere progettate pari a 0.05 m.

Valori estremi

Considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovralzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 20% della somma dei termini di sovralzo meteorologico a quelli astronomici.

In definitiva, per i contributi positivi e negativi, si ottengono i seguenti massimi dislivelli rispetto al medio mare:

Sopralzo Su = +0.20+ 0.80 * (0.35+0.05) = +0.52 m

Abbassamento Sd = -0.20 + 0.80 * (-0.31)= -0.45 m

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

3. DIGA DI SOPRAFLUTTO - DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE MARITTIME ESTERNE

3.1. Mantellata

Tronco diga

E' stata utilizzata sia la relazione semi empirica dovuta ad Hudson:

$$P = \gamma_s H^3 / ((\gamma_s/\gamma_w - 1)^3 K_D \cot g\alpha)$$

$H = H_{1/10} = 1,27\ Hs = 1,27 \times 4,2\ m = 5,33\ m$

$\gamma_s = 2,6\ t/m^3$

$\gamma_w = 1,025\ t/m^3$

$K_D = 4,0$ (per massi naturali tronco diga con pendenza 1 su 2 ed onda non frangente)

Cotg $\alpha = 2$ (pendenza paramento esterno pari a 1 su 2)

Inserendo nella precedente relazione i valori numerici si ottiene P = 13,6 t.

È stata condotta quindi la verifica della mantellata mediante la formula di Van der Meer i cui tabulati sono riportati di seguito:

Formula di Van der Meer

Criterio discriminatore per uso Plunging/Surging

$H_{sc} = aT_m^2 =$	2,15	
ove:		
$T_m =$	8,85	s
cotg $\alpha =$	2	
P =	0,4	

Formula base per Plunging (se $H_s > H_{sc}$)

$M_{50}(t)$,$= \rho_r H_s^{2,25} T_m^{1,5} / K_{pl}^* \cot g\alpha^{1,5} \Delta^3 =$ 11,8 t no tracimazione
13,4 t tracimazione

$\rho_r =$	2,6	t/m^3	11,8 t = valore da considerare di M_{50}
$\rho_w =$	1,025	t/m^3	
$\Delta =$	1,54		
cotg $\alpha =$	2		
$T_m =$	8,85	s	
$H_s =$	4,2	m	

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

K_{pl} =	14,28	
K_{pl} *= $K_{pl}K_1K_2$ =	12,53	
P =	0,4	
S =	2	
K_1 =	1	durata mareggiate
K_2 =	1	se no tracimabilità
K_2 =	0,88	tracimabilità diga
Rc (elev. Diga) =	4,5	m s.l.m.m.

Vengono utilizzati quindi massi naturali di pezzatura compresa tra 12 e 15 t (V categoria) la cui disponibilità, non comune, si è già verificata per la realizzazione del porto di Ventimiglia presso una cava in provincia di Livorno (Venturina) con imbarco dei massi presso il porto di Piombino e trasporto via mare.

Lo spessore della mantellata è dato dalla relazione

$$r = n\, K_\Delta\, (P/\gamma s)^{1/3}$$

ove:

n = numero di strati = 2

K_Δ = coefficiente dipendente dalla forma dei massi e che per i massi naturali posti in doppio strato alla rinfusa è pari ad 1,00

Nel presente caso si ottiene r = 3,45 m.

E' previsto inoltre un sottostante strato filtro di spessore pari a 1,80 m, costituito da massi naturali di peso compreso fra 1 e 3 t.

Testata diga

E' stata utilizzata la relazione semi empirica dovuta ad Hudson:

$$P = \gamma_{cls}\, H^3 / ((\gamma_{cls}/\gamma_w - 1)^3\, K_D\, \mathrm{cotg}\alpha)$$

$H = H_{1/10} = 1{,}27\ Hs = 1{,}27 \times 3{,}6\ m = 4{,}57\ m$

$\gamma_s = 2{,}6\ t/m^3$

$\gamma_w = 1{,}025\ t/m^3$

$K_D = 2{,}8$ (per massi naturali testata diga con pendenza 1 su 2 ed onda non frangente)

Cotg $\alpha = 2$ (pendenza paramento esterno pari a 1 su 2)

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Inserendo nella precedente relazione i valori numerici si ottiene P = 12,2 t.

È stata condotta quindi la verifica della mantellata mediante la formula di Van der Meer i cui tabulati sono riportati di seguito:

Formula di Van der Meer

Criterio discriminatore per uso Plunging/Surging

$H_{sc} = aT_m^2$ =	2,15	
ove:		
T_m =	8,85	s (da correlazioni Rodolfo La Spezia)
cotg α =	2	
P =	0,4	v. fig. 2

Formula base per Plunging (se $H_s > H_{sc}$)

$M_{50}(t) = \rho_r H_s^{2,25} T_m^{1,5} / K_{pl}^{*} \cot g\alpha^{1,5} \Delta^3$ =

8,3 t no tracimazione
9,2 t tracimazione
8,3 t = valore da consid. di $M_{50\ tronco}$
testata 25% peso in più di tronco = = 10,4 t

ρ_r =	2,6	t/m^3
ρ_w =	1,025	t/m^3
Δ =	1,54	
cotg α =	2	
T_m =	8,85	s
H_s =	3,6	m
K_{pl} =	14,28	
K_{pl} *= $K_{pl}K_1K_2$ =	13,00	
P =	0,4	
S =	2	
K_1 =	1	durata mareggiate
K_2 =	1	se no tracimabilità
K_2 =	0,91	tracimabilità diga
Rc (elev. Diga) =	4	m s.l.m.m.

Vengono utilizzati quindi i medesimi massi naturali di pezzatura compresa tra 12 e 15 t (V categoria) con pendenza 1 su 2.

Prolungamento della diga di sopraflutto - tronco

Per il prolungamento a basso coronamento (+3,00 m s.l.m.m.) della diga di sopraflutto (lungo 50 m e roteato di 60° rispetto all'asse diga in senso antiorario), costituito da un'opera a gettata non banchinata

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

e priva di massiccio di coronamento, viene utilizzata l'altezza d'onda di progetto pari ad H = 2,50 m per il tronco diga e di H = 2,4 m per la testata.

E' stata utilizzata la relazione semi empirica dovuta ad Hudson:

$$P = \gamma_{cls}\, H^3 / ((\gamma_{cls}/\gamma_w - 1)^3\, K_D\, \mathrm{cotg}\alpha)$$

$H = H_{1/10} = 1{,}27\ Hs = 1{,}27 \times 2{,}5\ m = 3{,}17\ m$

$\gamma_s = 2{,}6\ t/m^3$

$\gamma_w = 1{,}025\ t/m^3$

$K_D = 4{,}0$ (per massi naturali tronco diga con pendenza 1 su 1,5 ed onda non frangente)

Cotg $\alpha = 1{,}5$ (pendenza paramento esterno pari a 1 su 1,5)

Inserendo nella precedente relazione i valori numerici si ottiene P = 3,8 t.

E' stata inoltre utilizzata anche la formula di Van der Meer

Formula di Van der Meer

Criterio discriminatore per uso Plunging/Surging

$H_{sc} = aT_m^2 =$	2,78	
ove:		
$T_m =$	8,85	s
cotg $\alpha =$	1,5	
P =	0,4	

Nel presente caso quindi occorre fare riferimento alla formulazione per frangenti di tipo surging

Formula base per Surging (se $H_s < H_{sc}$)

$M_{50}(t)\ ,= \rho_r H_s^{(3+1,5P)} T_m^{-3P} / K_{su}^{*}\ \mathrm{cotg}\alpha^{(1,5-3P)} \Delta^3 =$ 4,9 t no tracimazione

4,9 t tracimazione

4,9 t = valore da considerare di M_{50}

$\rho_r =$	2,6	t/m^3
$\rho_w =$	1,025	t/m^3
$\Delta =$	1,537	
cotg $\alpha =$	1,5	
$T_m =$	8,85	s
$H_s =$	2,5	m
$K_{su} =$	0,256	
$K_{su}^{*} = K_{su}K_1K_2 =$	0,254	
P =	0,4	
S =	2	

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

K_1 =	1	durata mareggiate
K_2 =	1	se no tracimabilità
K_2 =	0,992	tracimabilità diga
Rc (elev. Diga) =	3	m s.l.m.m.

Vengono utilizzati quindi, in favore di sicurezza, massi naturali di IV categoria del peso variabile da 7 a 10 t.

Lo spessore della mantellata è dato dalla relazione

$$r = n\, K_\Delta\, (P/\gamma s)^{1/3}$$

ove:

n = numero di strati = 2

K_Δ = coefficiente dipendente dalla forma dei massi e che per i massi naturali è pari ad 1,00

Nel presente caso si ottiene r = 3,00 m.

E' previsto inoltre un sottostante strato filtro di spessore pari a 1,80 m, costituito da massi naturali di peso compreso fra 1 e 3 t.

Prolungamento della diga di sopraflutto - testata

Per la testata del prolungamento della diga di sopraflutto l'onda di progetto è pari a H = 2,4 m e quindi le due verifiche effettuate (Hudson e Van der Meer) portano all'adozione della medesima mantellata (massi naturali da 7-10 t con pendenza 1 su 1,5.

Difatti:

Formula di Hudson:

$$P = \gamma_{cls}\, H^3 / ((\gamma_{cls}/\gamma_w - 1)^3\, K_D\, \mathrm{cotg}\alpha)$$

$H = H_{1/10} = 1{,}27\ Hs = 1{,}27 \times 2{,}4\ m = 3{,}05\ m$

$\gamma_s = 2{,}6\ t/m^3$

$\gamma_w = 1{,}025\ t/m^3$

$K_D = 2{,}8$ (per massi naturali tronco diga con pendenza 1 su 1,5 ed onda non frangente)

Cotg $\alpha = 1{,}5$ (pendenza paramento esterno pari a 1 su 1,5)

Inserendo nella precedente relazione i valori numerici si ottiene P = 4,8 t.

Con Van der Meer – frangente surging si ottiene P = 5,3 t

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

3.2. Valutazione "run up" e onda trasmessa a tergo diga

Di seguito sono riportate alcune valutazioni parametrica di larga massima che necessitano di validazione a mezzo modellazione fisica 2D la cui esecuzione è peraltro prevista nella fase progettuale esecutiva che seguirà.

Valutazione run up tratto esterno della diga di sopraflutto

La sezione del tronco della diga di sopraflutto dimensionata ha il coronamento della mantellata variabile da quota +4,50 m a +4,00 m s.l.m.m., il muro paraonde da +4,50 m a +3,20 m s.l.m.m.

E' stato effettuato un calcolo teorico del "run-up", ovvero della risalita ondosa lungo il paramento della sponda che si verifica in occasione delle mareggiate, basato sulle procedure indicate dal "Coastal Engineering Manual".

Run up con nuovo Shore Protection Manual pag VI-5-3 e VI-5-18

equazione di Delft Hydraulics n. VI-5-13
valida per
rock armoured slopes con permeabilità globale P=0,5
irregular long crested head-on waves
relatively deep water condition con spettro ondoso simile alla distribuzione di Rayleigh

$R_{ui\%}/Hs$ =	$A\xi_{om}$ =	2,59	se $1,0<\xi_{om}<=1,5$	
$R_{ui\%}/Hs$ =	$B(\xi_{om})^C$ =	1,85	se $1,5<\xi_{om}<=(D/B)^{1/C}$	ove $(D/B)^{1/C}$= 3,10
$R_{ui\%}/Hs$ =	D =	1,97	se $(D/B)^{1/C}<\xi_{om}<=7,5$	ove $(D/B)^{1/C}$= 3,10

ove:

$R_{ui\%}$ = Run up superato nell'i% dei casi = 7,76 m per i% = 2

Hs = altezza d'onda significativa incidente il piede della diga = 4,20 m

ξ_{om} = surf similarity parameter in condizioni di periodo medio (Tm) = $\tan\alpha/(s_{om})^{0,5}$ = 2,70

$\tan\alpha$ = $1/\cot g\alpha$ = 0,50

$\cot g\alpha$ = 2 pendenza paramento diga

$s_{om}=Hs/L_{om}=2\pi Hs/gT_m^2$= 0,0343 ripidità d'onda fittizia relativa a Tm

Tm = 8,85 s periodo d'onda medio

coefficienti A, B, C e D sono presi dalla tab. VI-5-5

i%	A	B	C	D
0,1	1,12	1,34	0,55	2,58
2	0,96	1,17	0,46	1,97
5	0,86	1,05	0,44	1,68

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

10	0,77	0,94	0,42	1,45
33 (significant)	0,72	0,88	0,41	1,35
50 (mean)	0,47	0,6	0,34	0,82

se invece i% = 0,1

$R_{ui\%}/Hs$ = $A\xi_{om}$ = 3,02 se $1,0<\xi_{om}<=1,5$

$R_{ui\%}/Hs$ = $B(\xi_{om})^C$ = 2,31 se $1,5<\xi_{om}<=(D/B)^{1/C}$ ove $(D/B)^{1/C}$= 2,91

$R_{ui\%}/Hs$ = D = 2,58 se $(D/B)^{1/C}<\xi_{om}<=7,5$ ove $(D/B)^{1/C}$= 2,91

ove:

$R_{ui\%}$ = Run up superato nell'i% dei casi = 9,71 m per i% = 0,1

Hs = altezza d'onda significativa incidente il piede della diga = 4,2 m

ξ_{om} = surf similarity parameter in condizioni di periodo medio (Tm) = $\tan\alpha/(s_{om})^{0,5}$ = 2,70

$\tan\alpha$ = 1/cotgα = 0,50

cotgα = 2 pendenza paramento diga

$s_{om}=Hs/L_{om}=2\pi Hs/gT_m^2$= 0,0343 ripidità d'onda fittizia relativa a Tm

Tm = 8,85 s periodo d'onda medio

coefficienti A, B, C e D sono presi dalla tab. VI-5-5

i%	A	B	C	D
0,1	1,12	1,34	0,55	2,58
2	0,96	1,17	0,46	1,97
5	0,86	1,05	0,44	1,68
10	0,77	0,94	0,42	1,45
33 (significant)	0,72	0,88	0,41	1,35
50 (mean)	0,47	0,6	0,34	0,82

Il valore di run up calcolato deve essere incrementato del sovralzo del livello medio marino derivante dalla marea astronomica, sovralzo di tempesta e sbalzo barico, determinato in precedenza (+0,50 m).

Di conseguenza le quote di coronamento adottate sono adeguate se si tollera una consistente risalita ondosa durante le mareggiate estreme (Tr = 154 anni).

Tale valutazione è di prima approssimazione e relativa ad una sezione complessa (presenza di berma semi-affiorante) e deve quindi essere validata per mezzo di idonea modellazione fisica bidimensionale.

Valutazione tracimazione sulla diga tratto banchinato

La sezione del tronco della diga di sopraflutto banchinata e con coronamento della mantellata previsto a +4,00 m s.l.m.m. (tratto terminale della diga) permette una tracimazione ondosa valutata come segue:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

CEM 2001 pag VI-5-25
Owen - bermed slope (1980, 1982)

$q/gH_sT_{m0} = a \exp(-bR_c/H_s(s_{0m}/2\pi)^{0,5}1/\gamma_r)$

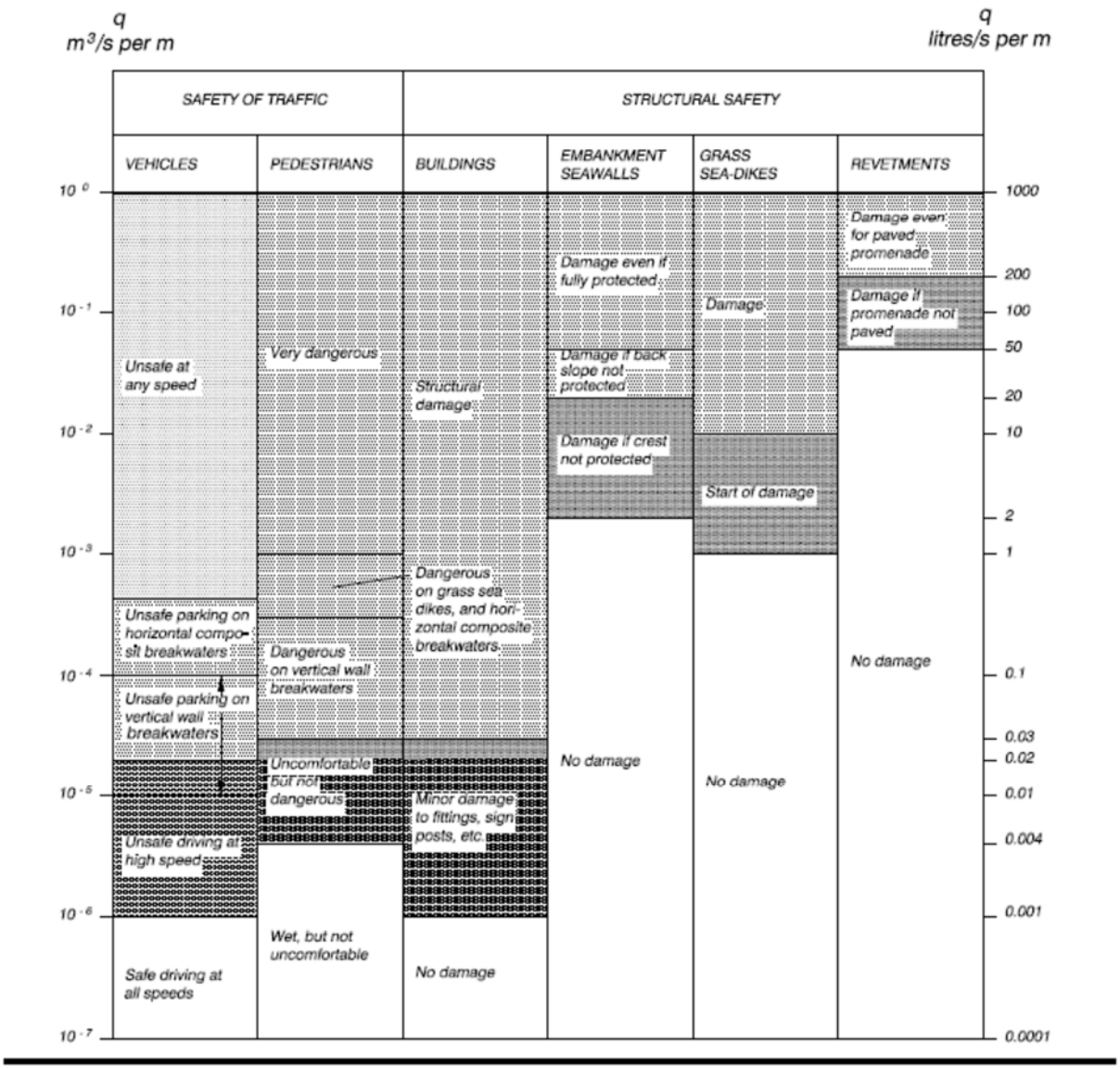
per cui si ha:

q =	**0,007161**	**m^3/s 1/m =**	**7,16 l/s 1/m**
ove:			
a x 10^4 =	290	per cui	a = 0,029
b =	57		
a e b sono tali se B =	10 m	vedi tab a pag. VI-5-25 di Cem 2001	
e se slope 1:2		vedi tab a pag. VI-5-25 di Cem 2001	
e se h_B = 0 m		vedi tab a pag. VI-5-25 di Cem 2001	
H_s =	4,2	m	
R_c =	4	m	
γ_r =	0,55	surface roughness reduction factor (v. pag. VI-5-25 CEM 2001)	
$s_{om}=H_s/L_{om}=2\pi H_s/gT_m^2$ =	0,0343		
T_{0m} =	8,85	s	

Di seguito è allegata la table VI-5-6 del Coastal Engineering Manual che fornisce alcune indicazioni utili sui livelli di tracimazione media ammissibile.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Table VI-5-6
Critical Values of Average Overtopping Discharges



È importante verificare la congruità di questi valori di portata media di tracimazione q con i limiti ammissibili forniti dal manuale Eurotop 2016 per le dighe a scogliera in relazione a diversi possibili tipi di danno (struttura, barca, impianto, veicolo, pedone).

Tali limiti sono stati aggiornati per tenere meglio in conto il ruolo cruciale dei massimi singoli volumi di sormonto, correlati con le maggiori altezze d'onda.

Infatti, a parità di portata di tracimazione media q, onde piccole possono solo produrre piccoli volumi di sormonto, e quindi trascurabili, al contrario delle onde alte. Nel caso in esame, la diga a scogliera ricade su profondità significativa (< 10 m) esposta ad onde di progetto di 3-5 m.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Pertanto, con riferimento alle tabelle riportate nel cap. 3.3 (p. 33-50) del manuale (allegate nel seguito), tenendo conto degli usi e struttura del coronamento, possono essere considerati sinteticamente i seguenti limiti ammissibili di portata media di tracimazione:

a) Sicurezza/stabilità strutturale 10-100 l/s/m
b) Sicurezza ormeggio Yacht medio-grandi 5 l/s/m
c) Sicurezza ormeggio piccole barche 1 l/s/m
d) Sicurezza transito pedoni 0,3 l/s/m

Utilizzando la formula di Owen si ottiene che:
Il rateo medio di tracimazione associato ad un tempo di ritorno pari a Tr = 154 anni è stato valutato in prima approssimazione pari a 7,16 l/s/m e risulta quindi tale da interdire il transito alle persone nelle aree di banchina a tergo del muro paraonde e l'ormeggio delle imbarcazioni medio-grandi durante il verificarsi di detti eventi estremi (Tr = 154 anni). E' assicurata però la sicurezza strutturale.
I medesimi calcoli effettuati per eventi associabili ad un Tr = 100 anni (all'incirca la mareggiata del 29 ottobre 2018) portano a valutare, in prima approssimazione un valore medio di tracimazione pari a q = 2,055 l/s/m. Sono quindi verificati quindi i limiti a e b, è interdetto solo l'ormeggio delle imbarcazioni piccole (peraltro non previste su tale tratto di banchina) ed il transito pedonale.
Per Tr = 50 anni (condizione estrema) risulta q = 0,825 l/s 1/m (verificati quindi i limiti a, b e c, è interdetto solo il traffico pedonale)
Per Tr = 5 anni si ha approssimativamente che q = 0,004 l/s 1/m (valore accettabile anche per il transito di persone).
Per mareggiate associate ad un'altezza d'onda di progetto sull'opera superiore ad H = 2,95 m (Tr pari ad un valore intermedio tra 5 e 50 anni) la tracimazione risulta pari a q = 0,3 l/s/m, limite sopra il quale non è più consentito il transito pedonale che deve pertanto essere interdetto durante il verificarsi di tali eventi.
Tali valutazioni sono comunque di larga massima ed occorre quindi effettuare l'approfondimento previsto nel progetto esecutivo mediante modellazione fisica bidimensionale (canaletta 2D).
Pur tenendo conto della intrinseca variabilità del fenomeno, è comunque raccomandabile inibire il transito pedonale sulla diga durante le mareggiate più intense.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Valutazione onda trasmessa a tergo del prolungamento della diga

La sezione del tronco del prolungamento della diga di sopraflutto con coronamento della mantellata previsto a +3,00 m s.l.m.m. (+2,50 m s.l.m.m. tenendo conto, in favore di sicurezza, del sovralzo pari a +0,50 m) permette una trasmissione ondosa valutata come segue:

Calcolo dell'altezza d'onda trasmessa dopo un low crest breakwater
(Allsop wg12 subgroup A AIPCN pag. 18 par 3.5)

nell'ipotesi semplificativa di ignorare la larghezza della cresta B e del periodo d'onda si ha:

crest level	Rc (m) =	2,50					
Coeff di trasm	Ct=Hst/Hs						
Altezza d'onda incidente	Hs (m) =	2,50					
	Rc/Hs=	1,00					
se	Rc/Hs > -2 e < -1,13		allora	Ct=	0,80	Hst (m) =	2,00
se	Rc/Hs > -1,13 e <1,2		allora	Ct=0,46-0,3Rc/Hs=	0,00	**Hst (m) =**	**0,40**
se	Rc/Hs >1,2 e <2,0		allora	Ct=	0,10	Hst (m) =	0,25

L’altezza d’onda che si riforma (Hst = 0,40 m) è del tutto tollerabile data la destinazione d’uso di tale tratto del prolungamento della diga di sopraflutto (non banchinato sul lato interno) ed il tempo di ritorno associato (154 anni).

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione delle opere in oggetto è condotta nel rispetto alle norme riportate di seguito.

4.1. Azioni sulle costruzioni

- **D.M. 17 gennaio 2018**

  Norme tecniche sulle costruzioni

- **UNI EN 1998-5 DEL 01/01/2005**

  Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

- **O.P. Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e succ. agg.**

  Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica

- **Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Serv. Tecn. Centrale, 12/1996**

  Linee guida sul calcestruzzo strutturale

- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996 e succ. agg.**

  Norme tecniche per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi. Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- **D.M. LL.PP. del 09/01/1996**

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

- **Circ.Min. LL.PP. del 24/06/1993, n° 37406/STC**

  Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14/02/1992.

- **D.M. LL.PP. del 14/02/1992**

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

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- **D.M. LL.PP. del 03/12/1987**

  Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.

- **D.M. LL.PP. del 12/02/1982**

  Aggiornamento delle norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, dei carichi e sovraccarichi.

- **Circ.Min. LL.PP. del24/05/1982, n° 22631**

  Istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni.

- **Circolare Min. LL.PP. n. 11951 14/02/1974**

  Istruzioni per l'applicazione delle "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica."

- **Legge del 05/11/1971, n° 1086**

  Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

4.2. Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione

- **D.M. LL.PP: del 11/03/1988**

  Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- **Circ.Min.LL.PP. del 24/09/1988, n° 30483**

  Ministero LL.PP. Legge 02/02/1974, n° 64 art. 1 – D.M.LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

4.3. Elaborati tecnici

- **CNR 10024 n° 160 del 06/10/1986**

  Analisi delle strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

- **UNI 936 Settembre 1986**

  Disegni tecnici – Formati e disposizioni degli elementi grafici dei fogli da disegno.

- **UNI 938 Settembre 1981**

  Disegni tecnici – Piegatura dei fogli.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

5. MATERIALI

5.1. Calcestruzzo strutturale e non strutturale

Per gli elementi in calcestruzzo armato sono stati assunti i seguenti pesi di volume:

- Peso di volume asciutto: $\gamma_c = 24.50$ kN/m^3
- Peso di volume immerso: $\gamma_{c'} = 14.45$ kN/m^3

Per gli elementi in calcestruzzo non armato, costituenti il riempimento del cassone e il getto interposto tra cassone e terrapieno, sono stati assunti i seguenti pesi di volume:

- Peso di volume asciutto: $\gamma_c = 23.50$ kN/m^3
- Peso di volume immerso: $\gamma_{c'} = 13.45$ kN/m^3

5.2. Terreni di rinfianco e d'imposta dei muri di banchina

Le caratteristiche geo-meccaniche del tout venant di cava impiegato per il rinfianco alle spalle degli elementi prefabbricati sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 26.00$ kN/m^3
- Porosità: n = 0.40
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.60$ kN/m^3
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{sat} = 19.62$ kN/m^3
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 9.57$ kN/m^3
- Angolo di attrito: $\Phi' = 40°$
- Coesione: c = 0.00 kN/m^2

Le caratteristiche geo-meccaniche del materiale impiegato per lo scanno d'imbasamento degli elementi prefabbricati sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 26.00$ kN/m^3
- Porosità: n = 0.40
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.60$ kN/m^3
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{sat} = 19.62$ kN/m^3
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 9.57$ kN/m^3
- Angolo di attrito: $\Phi' = 45°$
- Coesione: c = 0.00 kN/m^2

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

6. AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO

6.1. Carico di banchina e pavimentazione

Il valore del sovraccarico accidentale di banchina (Δq_b) è stato considerato pari a 10 kN/m^2, mentre il carico dovuto alla presenza di pavimentazione (q_p) è assunto pari a 3.68 kN/m^2.

6.2. Tiro alla bitta

Per quanto riguarda la valutazione delle azioni esercitate dalle imbarcazioni sulle banchine durante la fase di ormeggio, si è adottata la metodologia indicata da Tobiasson e Kollmeyer nel testo "Marinas and small craft harbors". Nel caso in esame si sono trascurate le azioni indotte dalle correnti e dal moto ondoso sulle imbarcazioni, mentre si sono prese in considerazione le condizioni più sfavorevoli di esposizione ai venti regnanti. In particolare, si è ipotizzata una velocità del vento massima al suolo pari a 28 m/s, proveniente dalla direzione più sfavorevole dal punto di vista del calcolo delle azioni indotte sull'imbarcazione (pressoché ortogonale alla banchina). La relazione riportata nel testo sopracitato per il calcolo della forza impressa dal vento sull'imbarcazione è di seguito riportata:

$$F = 0.72\ E\ D\ S\ V^2$$

in cui:

- $E = 0.33\ A_L$ è l'area di calcolo (vessel end area), con A_L area laterale dell'imbarcazione di progetto;
- D è il coefficiente di direzione (direction factor) il cui valore è ricavabile dal grafico riportato nella Figura 1 in funzione della direzione di provenienza del vento
- S è il coefficiente di schermatura (shielding factor) operata dalle altre imbarcazioni ($0<S<1$);
- V è la velocità del vento a terra (terrain air velocity).

Nel caso in esame si è assunto cautelativamente E pari proprio all'area laterale dell'imbarcazione di progetto, D è stato posto pari al suo massimo valore 3.25, ed S pari all'unità, ovvero rappresentativo della condizione senza schermatura. Per il banchinamento in progetto è previsto l'ormeggio di imbarcazioni caratterizzate da una lunghezza fuoritutto pari a 50 m, pertanto F risulta essere pari a 458.64 kN. Assumendo che la forza venga ripartita sui 5 m di banchina utilizzati nei calcoli seguenti, il tiro alla bitta considerato è pari a 229.32 kN/m5. T è schematizzato come forza orizzontale agente sul coronamento del muro-cassone in direzione ortogonale al filo banchina. La bitta adottata è stata invece scelta facendo l'ipotesi (cautelativa) che l'intero carico di 458,64 KN agisse su una sola cima di ormeggio, seppure per un breve periodo di tempo: di conseguenza sono state adottate bitte da 50 t.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

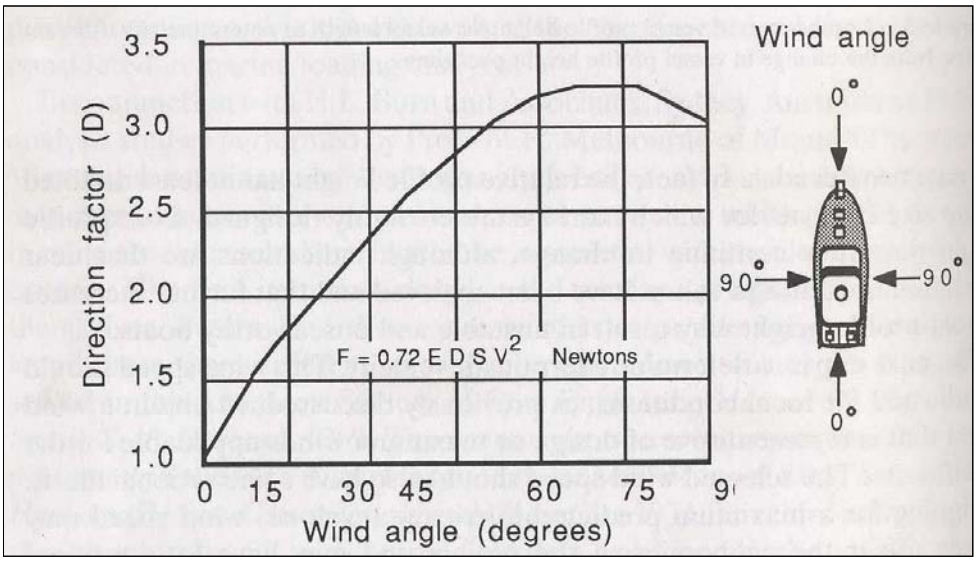


Figura 1. Valore del coefficiente D al variare della direzione del vento.

6.3. Sisma

Per il calcolo delle azioni sismiche, che verrà affrontato nei paragrafi che seguono, si è fatto riferimento a quanto riportato nell'elaborato PD_RGL_Relazione Geologico – Geotecnica. Si riportano di seguito i parametri sismici:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T_C* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Nel caso specifico delle opere di sostegno del terreno, si considera, ai fini sismici, il solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

6.4. Spinta del terreno in condizioni statiche

La spinta del terreno in condizioni statiche ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressione:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

$$S_T = \frac{1}{2} k_a \gamma_{sat} H_d^2 + k_a \gamma_{sat} H_d H_s + \frac{1}{2} k_a \gamma' H_s^2$$

$$M_{Tr} = \frac{1}{2} k_a \gamma_{sat} H_d^2 \times \left(H_s + \frac{H_d}{3} \right) + k_a \gamma_{sat} H_d H_s \times \frac{H_s}{2} + \frac{1}{2} k_a \gamma' H_s^2 \times \frac{H_s}{3}$$

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- γ_{sat} peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- γ' peso immerso dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

6.5. Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione

La spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione, posta a tergo della banchina, ed il suo momento ribaltante sono rappresentate dalle seguenti espressioni:

$$S_Q = k_a \, q_p \left(H_d + H_s \right)$$

$$M_{Qr} = k_a \, q_p \left(H_d + H_s \right) \times \frac{\left(H_d + H_s \right)}{2}$$

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- q_p carico dovuto alla pavimentazione industriale;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

6.6. Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dal sovraccarico di banchina

La spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla presenza del sovraccarico accidentale sul terrapieno alle spalle del muro di banchina ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressione:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

$$S_Q = k_a \, \Delta q_b \left(H_d + H_s \right) \tag{6}$$

$$M_{Qr} = k_a \, \Delta q_b \left(H_d + H_s \right) \times \frac{\left(H_d + H_s \right)}{2} \tag{7}$$

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- Δq_b sovraccarico accidentale sul terrapieno alle spalle della banchina;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

6.7. Tiro alla bitta

Per quanto detto nel paragrafo 6.2 il tiro alla bitta è posto pari a 229.32 kN. Tale azione, schematizzata come una forza orizzontale agente sul coronamento del muro-cassone in direzione ortogonale al filo banchina, genera un momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) pari a:

$$M_{Bitta} = T_{bitta} \quad H \tag{8}$$

dove H è l'altezza complessiva del muro-cassone + l'altezza della sovrastruttura.

6.8. Spinta del terreno in condizioni sismiche

La spinta del terreno in condizioni sismiche ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressione:

$$S_{Ter} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v) K_{AD} \gamma_{sat} H_d^2 + (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma_{sat} H_d H_s + \frac{1}{2}(1 \pm k_v) K_{AS} \gamma' H_s^2 \tag{9}$$

$$M_{Ter} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v) K_{AD} \gamma_{sat} H_d^2 \times \left(H_s + \frac{H_d}{3} \right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma_{sat} H_d H_s \times \frac{H_s}{2} + \frac{1}{2}(1 \pm k_v) K_{AS} \gamma' H_s^2 \times \frac{H_s}{3} \tag{10}$$

dove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale previsto dal D.M.17/01/2018;

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- γ_{sat} è il peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- γ è il peso di volume immerso del terreno di rinfianco;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del livello marino);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del livello marino).

Il coefficiente di spinta del terreno è valutato per sisma agente verso l'alto ↑ (-) e per sisma agente verso il basso ↓ (+), nei due casi di terreno al di sopra ed al di sotto del livello marino attraverso l'espressione di Mononobe-Okabe:

$$K_{a,MO}^{\pm} = \frac{\sin^2(\psi + \phi_d' - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_d' + \delta_d)\sin(\phi_d' - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta)\sin(\psi + \beta)}}\right]^2} \qquad (11)$$

dove:

- $\phi_d' = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi'}{\gamma_{\phi'}}\right)$ valore di progetto dell'angolo di resistenza a taglio del terreno;
- $\gamma_{\phi'}$ coefficiente di resistenza geotecnica previsto dal D.M. 17/01/2018;
- ψ è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;
- β è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;
- $\delta_d = 0$ valore di progetto dell'angolo di attrito tra terreno e muro;
- θ è l'angolo definito nell'espressione riportata di seguito:

nel caso di terreni in condizioni drenate sotto falda:

$$\theta = \arctan\left[\frac{\gamma_{sat} \cdot k_h}{\gamma'(1 \pm k_v)}\right] \qquad (12)$$

nel caso di terreni sopra falda:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

$$\theta = \arctan\left[\frac{k_h}{(1 \pm k_v)}\right] \tag{13}$$

con k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale previsti dal D.M. 17/01/2018.

6.9. Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione

La spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione industriale in c.a. ed il relativo momento ribaltante, sono dati dalle seguenti espressioni:

$$F_{pav} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_{pav} H_d + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_{pav} H_s$$

$$M_{pav} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_{pav} H_d \times \left(\frac{H_d}{2} + H_s\right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_{pav} H_s \times \frac{H_s}{2}$$

con:

- k_v è il coefficiente sismico verticale;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);

6.10. Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina

La spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal sovraccarico accidentale Δq_b ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressione:

$$F_{Acc} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_b H_d + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_b H_s \tag{14}$$

$$M_{Acc} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_b H_d \times \left(\frac{H_d}{2} + H_s\right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_b H_s \times \frac{H_s}{2} \tag{15}$$

dove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- γ_{sat} è il peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- γ' è il peso di volume immerso del terreno di rinfianco;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

6.11. Spinta idrodinamica indotta dal sisma

La pressione dell'acqua dovuta ad effetti idrodinamici indotti dal sisma ed agente sulle pareti esterne del muro, può essere determinata attraverso la relazione ricavata da Westergaard (1931):

$$q(z) = \mu \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{H_w \cdot z} \qquad (16)$$

dove:

- k_h è il coefficiente di spinta sismica orizzontale previsto dal D.M.17/01/2018;
- γ_w è il peso specifico dell'acqua marina valutato in kN/m^3;
- H_w è il tirante idrico espresso in metri;
- z è l'affondamento idrico determinato rispetto al l.m.m. e viene espresso in metri.

La risultante delle pressioni idrodinamiche, determinata per integrazione lungo z dell'equazione precedete, assume la seguente espressione:

$$F_w = \frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H_w^2 \qquad (17)$$

La spinta idrodinamica F_w ha verso concorde con le forze d'inerzia orizzontali agenti sul muro di banchina e va applicata ad una distanza dal piede della parete pari a 0,4 H_w.

6.12. Forze di massa indotte dal sisma

Nella fase sismica, oltre alle forze considerate, la normativa prevede che alle masse del muro di sostegno vengano applicate una forza orizzontale ed una verticale (orientata verso l'alto o verso il basso) date dalle seguenti relazioni:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- forza orizzontale: $F_H = k_h \times W$
- forza verticale: $F_V = \pm k_v \times W$

dove:

- W è il peso del singolo elemento della struttura;
- k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale previsti dal D.M. 17/01/2018.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

7. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche dei muri di banchina sono state condotte, in conformità a quanto disposto dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e nel rispetto della normativa riportata nel par. 2, attraverso il metodo dei coefficienti parziali secondo cui gli effetti delle condizioni di carico non devono superare quelle compatibili con lo stato limite considerato. Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi quanto detto si traduce nel rispetto della seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d \tag{18}$$

dove:

- E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- R_d valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'effetto delle azioni e della resistenza può essere espresso in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d, mentre nella formulazione della resistenza compare un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema:

$$E_d = E\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d\right] \tag{19}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d\right] \tag{20}$$

I valori delle azioni di progetto possono essere esplicitati mediante le seguenti combinazioni:

Combinazione SLU: $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \ldots$

Combinazione sismica: $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \ldots$

dove:

- G_1 sono i carichi permanenti strutturali;
- G_2 sono i carichi permanenti non strutturali;
- E azione sismica;
- Q_{k1} azione variabile dominante;

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- Q_{kj} azioni variabili restanti;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;
- γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
- ψ_{0j},ψ_{2j} coefficienti di combinazione delle azioni.

Per le opere in progetto la verifica condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata secondo l'Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle:

Tabella 1 *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

	Effetto	**Coefficiente parziale**	**EQU**	**(A1)**	**(A2)**
Carichi permanenti G1	Favorevole	γG1	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti G2	Favorevole	γG2	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	γQi	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 2 *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.*

Parametro	**Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale**	**Coefficiente parziale γM**	**(M1)**	**(M2)**
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tanϕ'k	γϕ'	1.0	1.25
Coesione efficace	c'k	γc'	1.0	1.25
Resistenza non drenata	cuk	γcu	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γγ	γγ	1.0	1.0

Tabella 3 *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi dei muri di sostegno.*

Verifica	**Coefficiente parziale R3**
Capacità portante della fondazione	γR = 1.4
Scorrimento	γR = 1.1
Ribaltamento	γR = 1.15
Resistenza del terreno a valle	γR = 1.4

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

7.1. Coefficienti di combinazione delle azioni adottati

Nelle verifiche riportate nei paragrafi successivi, sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di combinazione delle azioni:

Tabella 4 *Coefficienti di combinazione dei carichi accidentali utilizzati*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{2j}
Sovraccarico di banchina	0.7	0.3
Tiro alla bitta	0.6	0

I valori dei coefficienti di combinazione del tiro alla bitta sono stati associati per analogia quello previsto dal D.M. 17/01/2018 per il vento (ψ_{0j}=0.6,ψ_{2j}=0).

7.2. Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche

Nel seguito vengono riportati sinteticamente tutti i coefficienti parziali utilizzati nelle verifiche di stabilità dei muri di banchina, mediante Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3):

Tabella 5 *Coefficienti parziali per la verifica allo scorrimento.*

A1					M1		R3
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{\phi'}$	γ_{γ}	γ_{R}
1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.10
p. proprio	spinta terreno	spinta Δqp	spinta Δqb	Tiro	terreno	terreno	scorrimento

Tabella 6 *Coefficienti parziali per la verifica al ribaltamento.*

A1					M1		R3
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{\phi'}$	γ_{γ}	γ_{R}
1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.15
p. proprio	spinta terreno	spinta Δqp	spinta Δqb	Tiro	terreno	terreno	scorrimento

Tabella 7 *Coefficienti parziali per la verifica di capacità portante.*

A1					M1		R3
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{\phi'}$	γ_{γ}	γ_{R}
1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	2.30
p. proprio	spinta terreno	spinta Δqp	spinta Δqb	Tiro	terreno	terreno	scorrimento

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

In ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 17 gennaio 2018, i coefficienti parziali relativi alle azioni ed adottati nelle verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, combinazione sismica ($E+G_1+G_2+P+\psi_{21}Q_{k1}+\psi_{22}Q_{k2}+\ldots$), sono sempre unitari. Infine, per i coefficienti parziali relativi ai materiali ed alle resistenze si adottano quelli utilizzati nelle verifiche allo SLU. Per la verifica al ribaltamento in condizioni sismiche inoltre, si considera un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito incrementato del 50%, come prescritto dalla NTC 2018.

7.3. Verifiche allo scorrimento

La condizione di stabilità alla traslazione dei muri di banchina è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

dove:

- R_d è dato dal prodotto della risultante della combinazione delle forze favorevoli per il coefficiente di attrito μ
- E_d è la risultante della combinazione delle forze sfavorevoli.

Per il coefficiente di attrito μ si assumono i seguenti valori:

- $M = \tan(\phi_d)$ nel caso di verifica rispetto alla base della fondazione dell'intero muro, essendo ϕ_d l'angolo di attrito interno di progetto del terreno, ottenuto come:

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_{\varphi'}}\right)$$

  ove $\gamma_{\varphi'}$ è il coefficiente parziale riportato nella Tab. 6.2.II delle NTC 2018 dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici;

- $\mu_{cls\text{-}cls} = 0{,}4$ nel caso di verifica rispetto all'interfaccia masso-masso, essendo $\mu_{cls\text{-}cls}$ il coefficiente di attrito statico per il calcestruzzo

7.4. Verifiche al ribaltamento

La condizione di stabilità alla rotazione dei muri di banchina è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

dove:

- R_d è dato dalla risultante della combinazione dei momenti favorevoli (stabilizzanti);
- E_d è la risultante della combinazione dei momenti sfavorevoli (ribaltanti).

7.5. Verifiche della capacità portante in condizioni drenate

La verifica a collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

con:

- R_d coincidente con la tensione limite q_{lim} ammessa dal terreno;
- E_d pari alla pressione massima agente sul terreno in conseguenza dell'applicazione della combinazione delle azioni considerata.

Per la valutazione del carico unitario limite si adotta la formulazione di Brinch-Hansen per fondazione nastriforme e carico inclinato.

$$q_{\lim} = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

con:

- N_c , N_q , N_γ fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito ϕ';
- i_c , i_q , i_γ fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- d_c , d_q , d_γ fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa;

Nelle verifiche effettuate, il coefficiente γ è stato assunto pari al peso saturo dell'unità di volume γ_{sat}, nel caso di piano di fondazione sopra il l.m.m., e coincidente al peso immerso dell'unità di volume γ', nel caso di piano di fondazione posto sotto il l.m.m.. Non si considera il contributo offerto dalla presenza del masso guardiano o dei massi di protezione al piede; pertanto per il valore della pressione q agente a valle del muro ed a tergo del piano di fondazione si assume sempre il valore nullo. Tale scelta risulta cautelativa ed a vantaggio di sicurezza. Per il calcolo dei fattori di inclinazione i_q ed i_γ si adotta la formulazione di Hansen (1970), "(…) usando però un esponente 2 nell'espressione di i_q e di 3 in quella di i_γ, invece del 5…" come indicato nel testo "Foundation Analysis and Design" (Joseph E. Bowles, 1988). Rimossa l'ipotesi di carico baricentrico, il valore B' della base ridotta, definita come la minima superficie rispetto alla quale il carico risulta centrato (Meyerhof, 1953), è stato calcolato come:

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

- B'=B-2e nel caso di sezione interamente reagente, con B larghezza della fondazione ed e eccentricità data da:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_A}{E_d}$$

ove M_A rappresenta la risultante dei momenti calcolati rispetto al polo di rotazione A ed E_d risultante delle azioni verticali;

- B'=2u nel caso di parzializzazione della sezione di fondazione. In questo caso la larghezza della sezione reagente risulta pari al doppio della distanza u tra il punto di applicazione delle azioni verticali E_d ed il lembo compresso della sezione.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

8. VERIFICHE BANCHINA A CASSONE MONOCELLA

I muri di banchina costituiti da cassoni in calcestruzzo armato monocella imbasati a – 6.00 m di profondità. Al fine di verificare quale fosse la condizione più critica per la struttura, il cassone è stato verificato considerando tre condizioni di tirante idrico:

- Livello medio mare;
- Sovralzo dovuto ad alta marea pari a 0.50 m;
- Abbassamento del livello del mare dovuto a bassa marea pari a 0.45 m.

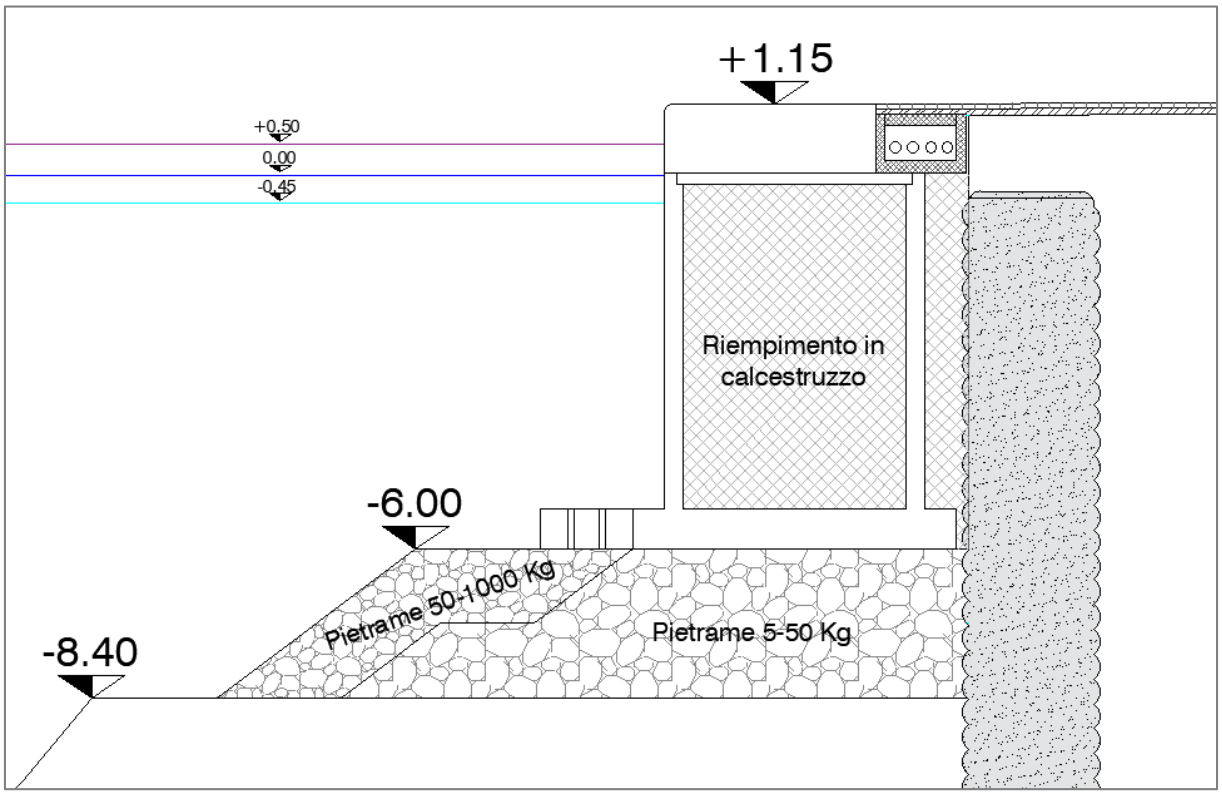


Figura 2. Schema geometrico della sezione del cassone monocella della banchina del porto di Santa Margherita Ligure. (Scala 1:100).

Nel caso in esame, sia il calcolo delle azioni che le relative verifiche sono stati eseguiti per un tratto di banchina di lunghezza pari a 5 m coincidente con lo sviluppo longitudinale del singolo elemento prefabbricato Muro-Cassone. Di seguito si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

8.1. Verifiche con livello medio mare

Peso proprio degli elementi e relativi momenti calcolati rispetto al centro di rotazione (Figura 3).

Elementi geometrici	Componente statica						
Calcestruzzo	A [mq]	V [mc]	ɣc.a. [kN/mc]	ɣ'c.a. [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 1	3.38	16.9	-	14.448	244.1712	2.6	634.84512
elemento 2	3.74	18.7	24.50	-	458.15	2.20	1007.93
elemento 3	1.6	8	-	14.448	115.584	0.65	75.1296
elemento 4	1.6	8	-	14.448	115.584	4.55	525.9072
elemento 6	0.722	3.61	-	14.448	52.15728	2.6	135.608928
elemento 8	0.716	3.58	24.5	-	87.71	4.625	405.65875
elemento 7	2.7	13.5	-	13.448	181.548	4.95	898.6626
Terreno	A [mq]	V [mc]	ɣt [kN/mc]	ɣ't [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 5	18.756	93.78	-	13.448	1261.15344	2.6	3278.998944
				Risultanti	[kN]		[kNm]
					2516.05792		6962.741142

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

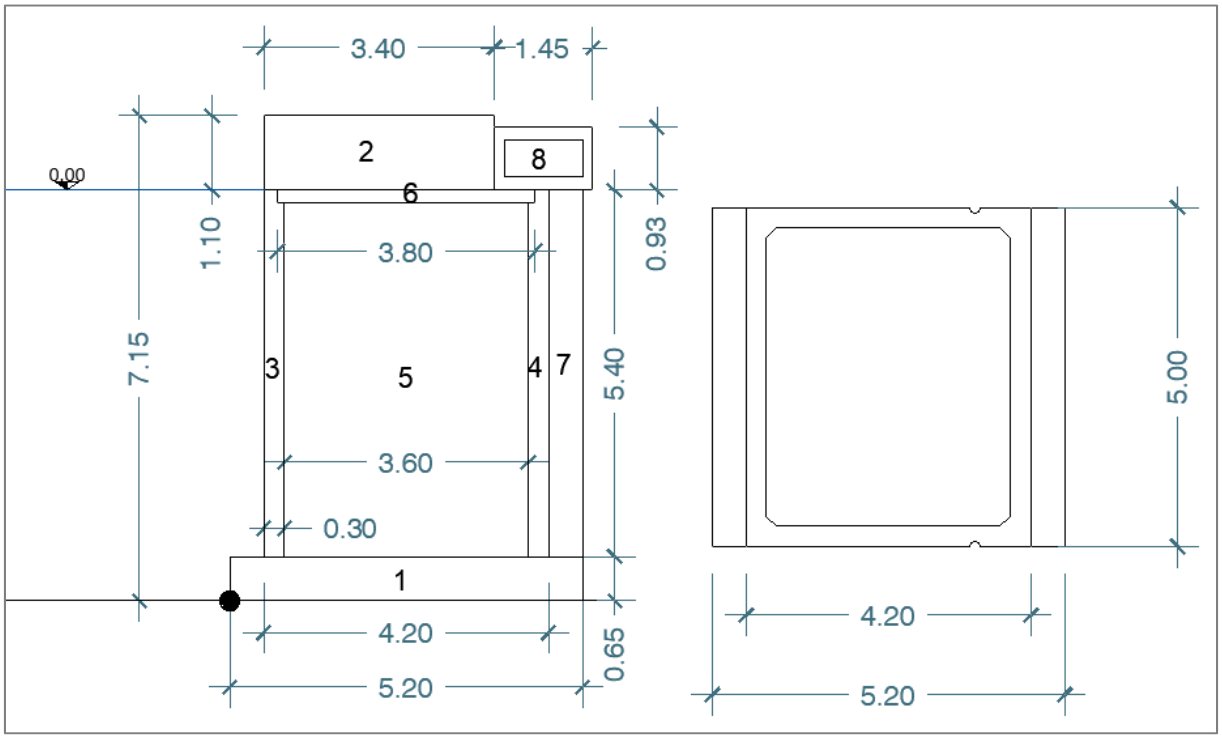


Figura 3. Sezione trasversale e pianta per il calcolo della forza peso di una porzione di banchina di lunghezza pari alla lunghezza dell'elemento Muro-Cassone – configurazione con livello medio mare.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Parametri sismici per il calcolo delle azioni

Verifiche di scorrimento e schiacciamento				
Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.380	βm	0.380	
kh	0.004	kh	0.004	
kv (-)	0.002	kv (+)	0.002	
Ka,MOD	0.220	Ka,MOD	0.220	Sopra falda
SKa,MOS	0.223	Ka,MOS	0.223	Sotto falda

Verifica al ribaltamento				
Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.570	βm	0.570	
kh	0.006	kh	0.006	
kv (-)	0.003	kv (+)	0.003	
Ka,MOD	0.221	Ka,MOD	0.221	Sopra falda
Ka,MOS	0.225	Ka,MOS	0.225	Sotto falda

Parametri geometrici per il calcolo delle azioni

altezza della parte al di sopra del l.m.m.	Hd [m]	0.95	altezza totale della struttura (include sovrastruttura)	Htot [m]	7.00
altezza della parte al di sotto del l.m.m.	Hs [m]	6.05	tirante	Hw [m]	6.05

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Azioni in condizioni statiche

Tiro alla bitta	Tbitta [kN]	**229.32**
Momento alla bitta	Mbitta [kNm]	**1605.24**

					Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta terreno condizioni statiche	ST [kN/m]	1.93	24.52	38.08	**64.53**	**322.63**	[kN]
	bracci [m]	6.37	3.03	2.02			
Momento di ST condizioni statiche	MTr [kN]	12.26	74.18	76.79	**163.23**	**816.13**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico condizioni statiche	Sbanchina [kN/m]	**15.22**	**76.10**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Sbanchina condizioni statiche	Mbanchina [kN]	**53.27**	**266.37**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione condizioni statiche	Spav [kN/m]	**5.60**	**28.01**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Spav condizioni statiche	Mpav [kN]	**19.60**	**98.02**	[kNm]

Azioni in condizioni sismiche per verifiche a scorrimento e a schiacciamento

Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	1.95	25.15	39.05	66.15	**330.77**	[kN]
	bracci [m]	6.37	3.03	2.02			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	12.42	76.08	78.76	167.26	**836.29**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	1.94	25.04	38.89	65.87	**329.37**	[kN]
	bracci [m]	6.37	3.03	2.02			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	12.37	75.75	78.43	166.55	**832.75**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	0.93	**4.65**	[kN]
	braccio [m]	2.42		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	2.25	**11.25**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	2.09	13.49	15.59	**77.93**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	13.66	40.81	54.47	**272.37**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	2.08	13.44	15.52	**77.60**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	13.60	40.64	54.24	**271.22**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	0.77	13.49	14.26	**71.31**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Spav sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	5.03	40.81	45.84	**229.20**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	0.77	13.44	14.20	**71.01**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Spav sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	5.01	40.64	45.65	**228.24**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Azioni in condizioni sismiche per verifiche a ribaltamento

					Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	1.96	25.47	39.55	66.98	**334.90**	[kN]
	bracci [m]	6.37	3.03	2.02			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	12.51	77.04	79.76	169.30	**846.51**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	1.95	25.31	39.30	66.56	**332.81**	[kN]
	bracci [m]	6.37	3.03	2.02			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	12.43	76.56	79.26	168.24	**841.21**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	1.39	**6.97**	[kN]
	braccio [m]	2.42		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	3.38	**16.88**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	2.11	13.66	15.77	**78.85**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	13.75	41.33	55.08	**275.42**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	2.09	13.58	15.67	**78.36**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	13.67	41.07	54.74	**273.69**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	0.78	13.66	14.44	**72.19**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Spav sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	5.06	41.33	46.39	**231.96**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	0.77	13.58	14.35	**71.74**	[kN]
	bracci [m]	6.53	3.03			
Momento di Spav sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	5.03	41.07	46.10	**230.51**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Forze di inerzia indotte dal sisma

Elementi	per verifiche allo scorrimento e allo schiacciamento						
Calcestruzzo	fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
elemento 1	0.53	1.38	-0.53	-1.38	1.06	0.33	0.34
elemento 2	0.99	2.18	-0.99	-2.18	1.98	6.60	13.10
elemento 3	0.25	0.16	-0.25	-0.16	0.50	3.35	1.68
elemento 4	0.25	1.14	-0.25	-1.14	0.50	3.35	1.68
elemento 6	0.11	0.29	-0.11	-0.29	0.23	5.95	1.34
elemento 8	0.19	0.88	-0.19	-0.88	0.38	6.52	2.48
elemento 7	0.39	1.95	-0.39	-1.95	0.79	3.35	2.63
Terreno							
elemento 5	2.73	7.10	-2.73	-7.10	5.46	3.26	17.78
tot	5.45	15.08	-5.45	-15.08	10.90		41.04

Elementi	per verifiche al ribaltamento						
Calcestruzzo	fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
elemento 1	0.79	2.06	-0.79	-2.06	1.59	0.33	0.52
elemento 2	1.49	3.27	-1.49	-3.27	2.98	6.60	19.65
elemento 3	0.38	0.24	-0.38	-0.24	0.75	3.35	2.52
elemento 4	0.38	1.71	-0.38	-1.71	0.75	3.35	2.52
elemento 6	0.17	0.44	-0.17	-0.44	0.34	5.95	2.02
elemento 8	0.28	1.32	-0.28	-1.32	0.57	6.52	3.71
elemento 7	0.59	2.92	-0.59	-2.92	1.18	3.35	3.95
Terreno							
elemento 5	4.10	10.65	-4.10	-10.65	8.19	3.26	26.67
tot	8.17	22.62	-8.17	-22.62	16.35		61.55

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1	-	-	2516.06
Spinta terreno (ter)	1.5	-	322.63	-
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-
Spinta pav.	1.5	-	28.01	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2516.06**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav} * (F_{o,ter+Fo,pav}) + \gamma_{Q,sfav} * (F_{o,acc} + \psi_{0j} * F_{o,bitt})$		**846.49**
R_d/E_d	2.97	> 1.10	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2516.06**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav} * (Fo,ter+Fo,pav) + \gamma_{Q,sfav} * (\psi_{0j} * F_{o,acc} + F_{o,bitt})$		**949.84**
R_d/E_d	2.65	> 1.10	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	-	816.13
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	-	266.37
Spinta pav.	1.5	-	-	98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	-	1605.24

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6962.74**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(M_{rib,ter+Mrib,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(M_{rib,acc} + \psi_{0j}*M_{rib,bitt})$		**3215.50**
R_d/E_d	2.17	> 1.15	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6962.74**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(Mrib,ter+Mrib,pav) + \gamma_{Q,sfav}*(\psi_{0j}*M_{rib,acc} + M_{rib,bitt})$		**4058.78**
R_d/E_d	1.72	> 1.15	**SODDISFATTA**

Verifica di capacità portante in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	-	2516.06	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	322.63	-	-	816.13
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-	-	266.37
Spinta pav.	1.5		28.01			98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-	-	1605.24

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2516.06	3747.24	1.11	2.98
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	γ' [kN/mc]	N_q	N_c	N_γ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	i_q	i_c	i_γ
2516.06	846.49	0.69	0.69	0.45
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		d_q	d_c	d_γ
0		1	1	1
E_d [kN]		$\gamma_{G1,fav} * F_v$		**2516.06**
R_d [kN]		$q_{lim} = L*B'*(c'*N_c*d_c*i_c + q*N_q*d_q*i_q + 0.5*\gamma'*B'*N_\gamma*i_\gamma*d_\gamma)$		**23882.17**
R_d/E_d	9.49	>	2.3	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2516.06	2903.97	1.45	2.31
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	γ' [kN/mc]	N_q	N_c	N_γ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	i_q	i_c	i_γ
2516.06	949.84	0.66	0.66	0.40
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		d_q	d_c	d_γ
0		1	1	1
E_d [kN]		$\gamma_{G1,fav} * F_v$		**2516.06**
R_d [kN]		$q_{lim} = L*B'*(c'*N_c*d_c*i_c + q*N_q*d_q*i_q + 0.5*\gamma'*B'*N_\gamma*i_\gamma*d_\gamma)$		**12784.61**
R_d/E_d	5.08	>	2.3	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

$N_q = tg^2(45+\phi'/2)\cdot e^{p\cdot tg\phi'}$ *(Prandtl, 1921)*

$N_c = (N_q-1)/tg\phi'$ *(Reissner, 1924)*

$N_\gamma = 2\cdot(N_q+1)\cdot tg\phi'$ *(Vesic, 1970)*

$i_q = [1-0.5\cdot H/(V+B'\cdot L\cdot c'\cdot cotg\phi')]^2$ *(Hansen, 1970)*

$i_c = i_q - [(1-i_q)/(1-N_q)]$ *(Hansen-Vesic, 1973)*

$i_\gamma = [1-0.7\cdot H/(V+B'\cdot L\cdot c'\cdot cotg\phi')]^3$ *(Hansen, 1970)*

$d_q = 1+ 2\cdot D/B'\cdot tan\phi'\cdot(1-sen\phi')^2$ *(Brinch-Hansen, 1970)*

$d_c = 1+0.4\cdot D/B'$ *(Brinch-Hansen, 1970)*

$d_\gamma = 1$ *(Brinch-Hansen, 1970)*

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.0	-	-	2516.06
Spinta terreno (ter)	1.0	-	329.37	-
Spinta pavimentazione	1.0	-	71.01	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.0	0.3	77.60	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.0	0.0	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.0	-	4.65	-
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.0	-	-	-5.45
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.0	-	10.90	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina			
R_d [kN]		$F_v + F_{v-}$	**2510.61**
E_d [kN]		$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$	**439.21**
R_d/E_d	5.72	> 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.0	-	-	2516.06
Spinta terreno (ter)	1.0	-	329.37	-
Spinta pavimentazione	1.0	-	71.31	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.0	0.3	77.60	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.0	0.0	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.0	-	4.65	-
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.0	-	-	5.45
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.0	-	10.90	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina			
R_d [kN]	$F_v + F_{v+}$		**2521.51**
E_d [kN]	$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$		**439.51**
R_d/E_d	5.74	> 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	841.21
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	71.74
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.3	-	273.69
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	16.88
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-22.62
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	61.55

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante		
R_d [kN]	$M_{stab,pp}$	**6962.74**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + M_{rib,v-} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$	**1050.86**
R_d/E_d	6.63 > 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	841.21
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	72.19
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	-	273.69
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	16.88
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.00	-	22.62	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	61.55

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante		
R_d [kN]	$M_{stab,pp} + M_{stab,v+}$	**6985.36**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$	**1073.94**
R_d/E_d	6.50 > 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica di capacità portante in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	γ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2516.06	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	329.37	-	-	832.75
Spinta pavimentazione	1.00	-	71.01	-	-	71.74
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.60	-	-	271.22
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	4.65	-	-	11.25
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-5.45	-	-22.62
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.90	-	-	61.55

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2510.61	5926.70	0.24	4.72
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	γ' [kN/mc]	N_q	N_c	N_γ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	i_q	i_c	i_γ
2510.61	439.21	1.00	1.00	0.68
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		d_q	d_c	d_γ
0		1	1	1
E_d [kN]	$F_v + F_{v-}$			**2510.61**
R_d [kN]	$q_{lim} = L*B'*(c'*N_c*d_c*i_c + q*N_q*d_q*i_q + 0.5*\gamma'*B'*N_\gamma*i_\gamma*d_\gamma)$			**90748.03**
R_d/E_d	36.15	>	1.2	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2516.06	6962.74	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	330.77	-	-	816.13
Spinta pavimentazione	1.00	-	71.31	-	-	72.19
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.93	-	-	266.37
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	4.65	-	-	11.25
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	5.45	22.62	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.90	-	-	61.55

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2521.51	5944.33	0.24	4.71
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	N_q	N_c	$N_ɣ$
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	i_q	i_c	$i_ɣ$
2521.51	441.01	1.00	1.00	0.68
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		d_q	d_c	$d_ɣ$
0		1	1	1
E_d [kN]		$F_v + F_{v+}$		**2521.51**
R_d [kN]		$q_{lim} = L*B'*(c'*N_c*d_c*i_c + q*N_q*d_q*i_q + 0.5*ɣ'*B'*N_ɣ*i_ɣ*d_ɣ)$		**90510.49**
R_d/E_d	35.90	>	1.2	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

8.2. Veridiche con sovralzo di marea +0.50 m

Peso proprio degli elementi e relativi momenti calcolati rispetto al centro di rotazione (Figura 4).

Elementi geometrici	Componente statica						
Calcestruzzo	A [mq]	V [mc]	ɣc.a. [kN/mc]	ɣ'c.a. [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 1	3.38	16.90	-	14.45	244.17	2.60	634.85
elemento 2	1.70	8.50	-	14.45	122.81	2.20	270.18
elemento 2bis	2.04	10.20	24.50	-	249.90	2.20	
elemento 3	1.60	8.00	-	14.45	115.58	0.65	75.13
elemento 4	1.60	8.00	-	14.45	115.58	4.55	525.91
elemento 6	0.72	3.61	-	14.45	52.16	2.60	135.61
elemento 8	0.38	1.90	-	14.45	27.45	4.63	126.96
elemento 8bis	0.34	1.68	24.50	-	41.16	4.63	190.37
elemento 7	2.70	13.50	-	13.45	181.55	4.95	898.66
Terreno	A [mq]	V [mc]	ɣt [kN/mc]	ɣ't [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 5	18.76	93.78	-	13.45	1261.15	2.60	3279.00
				Risultanti	[kN]		[kNm]
					2411.52		6136.66

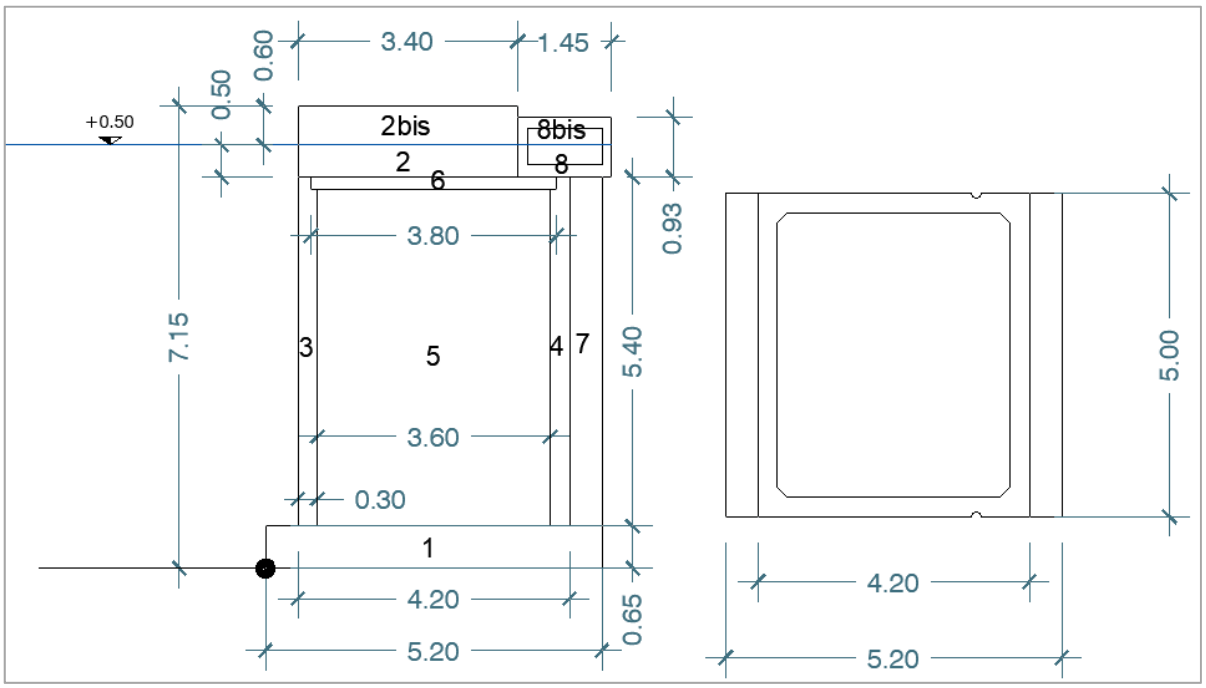


Figura 4. Sezione trasversale e pianta per il calcolo della forza peso di una porzione di banchina di lunghezza pari alla lunghezza dell'elemento Muro-Cassone – configurazione con sovralzo di mare +0.50 m.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Parametri sismici per il calcolo delle azioni

Verifiche di scorrimento e schiacciamento

Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.380	βm	0.380	
kh	0.004	kh	0.004	
kv (-)	0.002	kv (+)	0.002	
Ka,MOD	0.220	Ka,MOD	0.220	Sopra falda
SKa,MOS	0.223	Ka,MOS	0.223	Sotto falda

Verifica al ribaltamento

Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.570	βm	0.570	
kh	0.006	kh	0.006	
kv (-)	0.003	kv (+)	0.003	
Ka,MOD	0.221	Ka,MOD	0.221	Sopra falda
Ka,MOS	0.225	Ka,MOS	0.225	Sotto falda

Parametri geometrici per il calcolo delle azioni

altezza della parte al di sopra del l.m.m.	Hd [m]	0.45	altezza totale della struttura (include sovrastruttura)	Htot [m]	7.00
altezza della parte al di sotto del l.m.m.	Hs [m]	6.55	tirante	Hw [m]	6.55

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Azioni in condizioni statiche

Tiro alla bitta	Tbitta [kN]	**229.32**
Momento alla bitta	Mbitta [kNm]	**1605.24**

					Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta terreno condizioni statiche	ST [kN/m]	0.43	12.58	44.63	57.64	**288.20**	[kN]
	bracci [m]	6.70	3.28	2.18			
Momento di ST condizioni statiche	MTr [kN]	2.89	41.18	97.45	141.53	**707.63**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico condizioni statiche	Sbanchina [kN/m]	15.22	**76.10**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Sbanchina condizioni statiche	Mbanchina [kN]	53.27	**266.37**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione condizioni statiche	Spav [kN/m]	5.60	**28.01**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Spav condizioni statiche	Mpav [kN]	19.60	**98.02**	[kNm]

Azioni in condizioni sismiche per verifiche a scorrimento e a schiacciamento

					Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	0.44	12.90	45.78	59.11	**295.55**	[kN]
	bracci [m]	6.70	3.28	2.18			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	2.93	42.24	99.94	145.12	**725.58**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	0.44	12.84	45.58	58.86	**294.31**	[kN]
	bracci [m]	6.70	3.28	2.18			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	2.92	42.06	99.52	144.50	**722.51**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	1.09	**5.45**	[kN]
	braccio [m]	2.62		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	2.86	**14.28**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	0.99	14.61	15.60	**77.99**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	6.72	47.84	54.56	**272.79**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	0.99	14.55	15.53	**77.66**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	6.69	47.64	54.33	**271.63**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	0.36	14.61	14.97	**74.86**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Spav sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	2.47	47.84	50.31	**251.56**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	0.36	14.55	14.91	**74.54**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Spav sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	2.46	47.64	50.10	**250.49**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Azioni in condizioni sismiche per verifica al ribaltamento

				Risultanti al metro		Risultanti	
Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	0.44	13.06	46.36	59.86	**299.28**	[kN]
	bracci [m]	6.70	3.28	2.18			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	2.95	42.77	101.21	146.94	**734.68**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	0.44	12.98	46.07	59.48	**297.41**	[kN]
	bracci [m]	6.70	3.28	2.18			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	2.93	42.51	100.58	146.02	**730.08**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	1.63	**8.17**	[kN]
	braccio [m]	2.62		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	4.28	**21.41**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	1.00	14.79	15.79	**78.95**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	6.76	48.44	55.21	**276.04**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	0.99	14.70	15.69	**78.46**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	6.72	48.14	54.86	**274.31**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	0.37	14.79	15.16	**75.80**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Spav sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	2.49	48.44	50.93	**254.67**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	0.37	14.70	15.06	**75.32**	[kN]
	bracci [m]	6.78	3.28			
Momento di Spav sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	2.47	48.14	50.61	**253.07**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Forze di inerzia indotte dal sisma

per verifiche allo scorrimento e a schiacciamento						
fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
0.53	1.38	-0.53	-1.38	1.06	0.325	0.34
0.27	0.59	-0.27	-0.59	0.53	6.3	3.35
0.54	1.19	-0.54	-1.19	1.08	6.6	7.14
0.25	0.16	-0.25	-0.16	0.50	3.35	1.68
0.25	1.14	-0.25	-1.14	0.50	3.35	1.68
0.11	0.29	-0.11	-0.29	0.23	5.95	1.34
0.06	0.27	-0.06	-0.27	0.12	6.3	0.75
0.09	0.41	-0.09	-0.41	0.18	6.765	1.21
0.39	1.95	-0.39	-1.95	0.79	3.35	2.63
2.73	7.10	-2.73	-7.10	5.46	3.255	17.78
5.22	14.48	-5.22	-14.48	10.45		37.91

per verifica al ribaltamento						
fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
0.79	2.06	-0.79	-2.06	1.59	0.325	0.52
0.40	0.88	-0.40	-0.88	0.80	6.3	5.03
0.81	1.79	-0.81	-1.79	1.62	6.6	10.72
0.38	0.24	-0.38	-0.24	0.75	3.35	2.52
0.38	1.71	-0.38	-1.71	0.75	3.35	2.52
0.17	0.44	-0.17	-0.44	0.34	5.95	2.02
0.09	0.41	-0.09	-0.41	0.18	6.3	1.12
0.13	0.62	-0.13	-0.62	0.27	6.765	1.81
0.59	2.92	-0.59	-2.92	1.18	3.35	3.95
4.10	10.65	-4.10	-10.65	8.19	3.255	26.67
7.84	21.72	-7.84	-21.72	15.67		56.87

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni	
	γ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1	-	-	2411.52
Spinta terreno (ter)	1.5	-	288.20	-
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-
Spinta pav.	1.5	-	28.01	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2411.52**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(F_{o,ter+Fo,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(F_{o,acc} + \psi_{0j}*F_{o,bitt})$		**794.86**
R_d/E_d	3.03	> 1.10	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2411.52**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(Fo,ter+Fo,pav) + \gamma_{Q,sfav}*(\psi_{0j}*F_{o,acc} + F_{o,bitt})$		**898.20**
R_d/E_d	2.68	> 1.10	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	-	707.63
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	-	266.37
Spinta pav.	1.5	-	-	98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	-	1605.24

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6136.66**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(M_{rib,ter+Mrib,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(M_{rib,acc} + \psi_{0j}*M_{rib,bitt})$		**3052.75**
R_d/E_d	2.01	> 1.15	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6136.66**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(Mrib,ter+Mrib,pav) + \gamma_{Q,sfav}*(\psi_{0j}*M_{rib,acc} + M_{rib,bitt})$		**3896.03**
R_d/E_d	1.58	> 1.15	**SODDISFATTA**

Verifica di capacità portante in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	-	2411.52	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	288.20	-	-	707.63
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-	-	266.37
Spinta pav.	1.5		28.01			98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-	-	1605.24

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2411.52	3083.91	1.32	2.56
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2411.52	794.86	0.70	0.70	0.46
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	ɣG,fav * Fv			**2411.52**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**17940.44**
Rd/Ed	7.44	>	2.3	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2411.52	2240.63	1.67	1.86
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2411.52	898.20	0.66	0.66	0.40
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	ɣG,fav * Fv			**2411.52**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**8405.16**
Rd/Ed	3.49	>	2.3	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.00	-	-	2411.52
Spinta terreno (ter)	1.00	-	294.31	-
Spinta pavimentazione	1.00	-	74.54	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.66	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	5.45	-
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-5.22
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.45	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina			
R_d [kN]	$F_v + F_{v-}$		**2406.29**
E_d [kN]	$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$		**408.05**
R_d/E_d	5.90	> 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.00	-	-	2411.52
Spinta terreno (ter)	1.00	-	294.31	-
Spinta pavimentazione	1.00	-	74.86	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.66	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	5.45	-
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.00	-	-	5.22
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.45	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina			
R_d [kN]	$F_v + F_{v+}$		**2416.74**
E_d [kN]	$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$		**408.36**
R_d/E_d	5.92	> 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	730.08
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	75.32
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	-	274.31
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	21.41
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-21.72
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	56.87

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$M_{stab,pp}$		**6136.66**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + M_{rib,v-} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$		**944.26**
R_d/E_d	6.50	> 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	730.08
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	75.80
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	-	274.31
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	21.41
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.00	-	21.72	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	56.87

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$M_{stab,pp} + M_{stab,v+}$		**6158.38**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$		**966.46**
R_d/E_d	6.37	> 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica di capacità portante in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2411.52	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	294.31	-	-	722.51
Spinta pavimentazione	1.00	-	74.54	-	-	75.32
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.66	-	-	271.63
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	5.45	-	-	14.28
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-5.22	-	-21.72
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.45	-	-	56.87

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2406.29	5207.91	0.44	4.33
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2406.29	408.05	1.00	1.00	0.68
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	Fv + Fv-			**2406.29**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**77262.09**
Rd/Ed	32.11	>	1.2	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	γ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2411.52	6136.66	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	295.55	-	-	707.63
Spinta pavimentazione	1.00	-	74.86	-	-	75.80
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.99	-	-	266.37
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	5.45	-	-	14.28
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	5.22	21.72	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.45	-	-	56.87

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2416.74	5223.89	0.44	4.32
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	γ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nγ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iγ
2416.74	409.71	1.00	1.00	0.68
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dγ
0		1	1	1
Ed [kN]	Fv + Fv+			**2416.74**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*γ'*B'*Nγ*iγ*dγ)			**77074.72**
Rd/Ed	31.89	>	1.2	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

8.3. Verifiche in condizioni di bassa marea -0.45 m

Peso proprio degli elementi e relativi momenti calcolati rispetto al centro di rotazione (Figura 5).

Elementi geometrici	Componente statica						
Calcestruzzo	A [mq]	V [mc]	ɣc.a. [kN/mc]	ɣ'c.a. [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 1	3.38	16.90	-	14.45	244.21	2.60	634.93
elemento 2	3.74	18.70	24.50	-	458.15	2.20	1007.93
elemento 3	1.49	7.43	-	14.45	107.29	0.65	69.74
elemento 3 bis	0.12	0.58	24.50	-	14.09	0.65	9.16
elemento 4	1.49	7.43	-	14.45	107.29	4.55	488.18
elemento 4 bis	0.12	0.58	24.50	-	14.09	4.55	64.10
elemento 6	0.72	3.61	24.50		88.45	2.60	229.96
elemento 8	0.72	3.58	24.50	-	87.71	4.63	405.66
elemento 7	2.48	12.38	-	13.45	166.42	4.95	823.77
elemento 7 bis	0.23	1.13	23.50	-	26.44	4.95	130.87
Terreno	A [mq]	V [mc]	ɣt [kN/mc]	ɣ't [kN/mc]	Nstab [kN]	braccio [m]	Mstab [kNm]
elemento 5	17.82	89.10	-	13.45	1198.22	2.60	3115.36
elemento 5 bis	0.94	4.68	23.50	-	109.98	2.60	285.95
				Risultanti	[kN]		[kNm]
					2485.90		6848.79

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

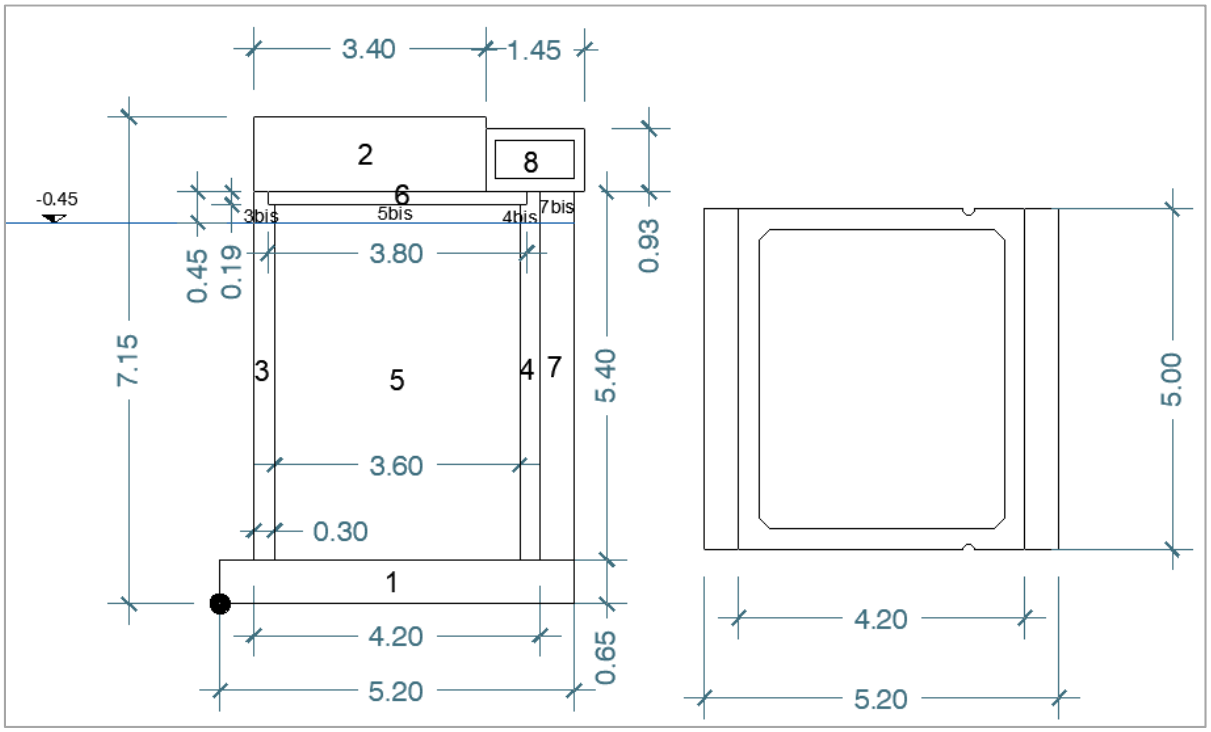


Figura 5. Sezione trasversale e pianta per il calcolo della forza peso di una porzione di banchina di lunghezza pari alla lunghezza dell'elemento Muro-Cassone – configurazione abbassamento -0.45 m.

Parametri sismici per il calcolo delle azioni

Verifiche di scorrimento e schiacciamento

Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.380	βm	0.380	
kh	0.004	kh	0.004	
kv (-)	0.002	kv (+)	0.002	
Ka,MOD	0.220	Ka,MOD	0.220	Sopra falda
SKa,MOS	0.223	Ka,MOS	0.223	Sotto falda

Verifica al ribaltamento

Sisma verso l'alto		Sisma verso il basso		
βm	0.570	βm	0.570	
kh	0.006	kh	0.006	
kv (-)	0.003	kv (+)	0.003	
Ka,MOD	0.221	Ka,MOD	0.221	Sopra falda
Ka,MOS	0.225	Ka,MOS	0.225	Sotto falda

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Parametri geometrici per il calcolo delle azioni

altezza della parte al di sopra del l.m.m.	Hd [m]	1.40	altezza totale della struttura (include sovrastruttura)	Htot [m]	7.00
altezza della parte al di sotto del l.m.m.	Hs [m]	5.60	tirante	Hw [m]	5.60

Azioni in condizioni statiche

Tiro alla bitta	Tbitta [kN]	**229.32**
Momento alla bitta	Mbitta [kNm]	**1605.24**

				Risultanti al metro		Risultanti	
Spinta terreno condizioni statiche	ST [kN/m]	4.18	33.45	32.62	70.25	**351.27**	[kN]
	bracci [m]	6.07	2.80	1.87			
Momento di ST condizioni statiche	MTr [kN]	25.37	93.66	60.90	179.92	**899.60**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico condizioni statiche	Sbanchina [kN/m]	15.22	**76.10**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Sbanchina condizioni statiche	Mbanchina [kN]	53.27	**266.37**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione condizioni statiche	Spav [kN/m]	5.60	**28.01**	[kN]
	braccio [m]	3.50		
Momento di Spav condizioni statiche	Mpav [kN]	19.60	**98.02**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Azioni in condizioni sismiche per verifiche a scorrimento e a schiacciamento

				Risultanti al metro		Risultanti	
Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	4.24	34.31	33.46	72.00	**360.01**	[kN]
	bracci [m]	6.07	2.80	1.87			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	25.71	96.05	62.46	184.22	**921.11**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	4.22	34.16	33.32	71.70	**358.49**	[kN]
	bracci [m]	6.07	2.80	1.87			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	25.60	95.65	62.20	183.44	**917.21**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	0.80	**3.98**	[kN]
	braccio [m]	2.24		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	1.78	**8.92**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	3.09	12.49	15.57	**77.87**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	19.44	34.97	54.41	**272.03**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	3.07	12.44	15.51	**77.54**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	19.35	34.82	54.18	**270.88**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	1.14	12.49	13.62	**68.12**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	7.15	34.97	42.12	**210.61**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	1.13	12.44	13.57	**67.83**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Spav sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	7.12	34.82	41.94	**209.71**	[kNm]

Azioni in condizioni sismiche per verifica al ribaltamento

				Risultanti al metro		Risultanti	
Spinta terreno sisma verso il basso (+)	STsisma [kN/m]	4.27	34.74	33.88	72.89	**364.45**	[kN]
	bracci [m]	6.07	2.80	1.87			
Momento di Stsisma sisma verso il basso (+)	MTsisma [kN]	25.88	97.27	63.25	186.40	**932.01**	[kNm]
Spinta terreno sisma verso l'alto (-)	STsisma [kN/m]	4.24	34.52	33.67	72.43	**362.17**	[kN]
	bracci [m]	6.07	2.80	1.87			
Momento di Stsisma sisma verso l'alto (-)	MTsisma [kN]	25.72	96.66	62.85	185.23	**926.17**	[kNm]

		Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta idrodinamica indotta dal sisma	Swsisma [kN/m]	1.19	**5.97**	[kN]
	braccio [m]	2.24		
Momento della spinta idrodinamica indotta dal sisma	Mwsisma [kN]	2.68	**13.38**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta sovraccarico sisma verso il basso (+)	Ssovr,sisma [kN/m]	3.11	12.65	15.75	**78.76**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso il basso (+)	Msovr,sisma [kN]	19.57	35.41	54.98	**274.90**	[kNm]
Spinta sovraccarico sisma verso l'alto (-)	Ssovr,sisma [kN/m]	3.09	12.57	15.65	**78.27**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Msovr,sisma [kN]	19.44	35.19	54.63	**273.17**	[kNm]

				Risultanti al metro	Risultanti	
Spinta pavimentazione sisma verso il basso (+)	Spav,sisma [kN/m]	1.14	12.65	13.79	**68.95**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Spav sisma verso il basso (+)	Mpav,sisma [kN]	7.20	35.41	42.61	**213.06**	[kNm]
Spinta pavimentazione sisma verso l'alto (-)	Spav,sisma [kN/m]	1.14	12.57	13.70	**68.52**	[kN]
	bracci [m]	6.30	2.80			
Momento di Ssovr sisma verso l'alto (-)	Mpav,sisma [kN]	7.16	35.19	42.34	**211.72**	[kNm]

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Forze di inerzia indotte dal sisma

per verifiche allo scorrimento e di schiacciamento						
fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
0.53	1.38	-0.53	-1.38	1.06	0.325	0.34
0.99	2.18	-0.99	-2.18	1.98	6.6	13.10
0.23	0.15	-0.23	-0.15	0.46	3.13	1.45
0.03	0.02	-0.03	-0.02	0.06	5.825	0.36
0.23	1.06	-0.23	-1.06	0.46	3.13	1.45
0.03	0.14	-0.03	-0.14	0.06	5.825	0.36
0.19	0.50	-0.19	-0.50	0.38	5.95	2.28
0.19	0.88	-0.19	-0.88	0.38	6.515	2.48
0.36	1.78	-0.36	-1.78	0.72	3.125	2.25
0.06	0.28	-0.06	-0.28	0.11	5.825	0.67
2.60	6.75	-2.60	-6.75	5.19	3.125	16.22
0.24	0.62	-0.24	-0.62	0.48	5.73	2.73
5.44	15.12	-5.44	-15.12	10.88		40.96

per verifica al ribaltamento						
fv. in +	Mvin +	fv. in -	Mvin -	fh	bracci	Mhin
0.79	2.06	-0.79	-2.06	1.59	0.325	0.52
1.49	3.27	-1.49	-3.27	2.98	6.6	19.65
0.35	0.23	-0.35	-0.23	0.70	3.13	2.18
0.05	0.03	-0.05	-0.03	0.09	5.825	0.53
0.35	1.59	-0.35	-1.59	0.70	3.13	2.18
0.05	0.21	-0.05	-0.21	0.09	5.825	0.53
0.29	0.75	-0.29	-0.75	0.57	5.95	3.42
0.28	1.32	-0.28	-1.32	0.57	6.515	3.71
0.54	2.68	-0.54	-2.68	1.08	3.125	3.38
0.09	0.43	-0.09	-0.43	0.17	5.825	1.00
3.89	10.12	-3.89	-10.12	7.79	3.125	24.33
0.36	0.93	-0.36	-0.93	0.71	5.73	4.09
8.16	22.68	-8.16	-22.68	16.33		61.44

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni	
	γ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1	-	-	2485.90
Spinta terreno (ter)	1.5	-	351.27	-
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-
Spinta pav.	1.5	-	28.01	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2485.90**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(F_{o,ter+Fo,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(F_{o,acc} + \psi_{0j}*F_{o,bitt})$		**889.46**
R_d/E_d	2.79	> 1.10	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * \mu * F_v$		**2485.90**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(F_{o,ter+Fo,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(\psi_{0j}*F_{o,acc} + F_{o,bitt})$		**992.81**
R_d/E_d	2.50	> 1.10	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	-	899.60
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	-	266.37
Spinta pav.	1.5	-	-	98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	-	1605.24

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6848.79**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(M_{rib,ter+Mrib,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(M_{rib,acc} + \psi_{0j}*M_{rib,bitt})$		**3340.71**
R_d/E_d	2.05	> 1.15	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante			
R_d [kN]	$\gamma_{G1,fav} * M_{stab}$		**6848.79**
E_d [kN]	$\gamma_{G2,sfav}*(M_{rib,ter+Mrib,pav}) + \gamma_{Q,sfav}*(\psi_{0j}*M_{rib,acc} + M_{rib,bitt})$		**4183.99**
R_d/E_d	1.64	> 1.15	**SODDISFATTA**

Verifica allo schiacciamento in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ0J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	-	2485.90	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.5	-	351.27	-	-	899.60
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.5	0.7	76.10	-	-	266.37
Spinta pav.	1.5		28.01			98.02
Tiro alla bitta (bitt)	1.5	0.6	229.32	-	-	1605.24

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2485.90	3508.08	1.19	2.82
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2485.90	889.46	0.67	0.68	0.42
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	ɣG,fav * Fv			**2485.90**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**20207.77**
Rd/Ed	8.13	>	2.3	**SODDISFATTA**

Combinazione di carico con tiro alla bitta accidentale dominante				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2485.90	2664.80	1.53	2.14
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2485.90	992.81	0.64	0.64	0.37
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	ɣG,fav * Fv			**2485.90**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**10354.20**
Rd/Ed	4.17	>	2.3	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)

Verifica allo scorrimento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.00	-	-	2485.90
Spinta terreno (ter)	1.00	-	358.49	-
Spinta pavimentazione	1.00	-	67.83	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.54	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	3.98	-
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-5.44
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.88	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina		
R_d [kN]	$F_v + F_{v-}$	**2480.46**
E_d [kN]	$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$	**464.45**
R_d/E_d	5.34 > 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]
Peso proprio	1.00	-	-	2485.90
Spinta terreno (ter)	1.00	-	358.49	-
Spinta pavimentazione	1.00	-	68.12	
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.54	-
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	3.98	-
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.00	-	-	5.44
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.88	-

ϕ'k [°]	ϕ'd [°]	μ	Coefficiente di attrito opera-terreno di imbasamento
45	45	1	

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina			
R_d [kN]	$F_v + F_{v+}$		**2491.35**
E_d [kN]	$F_{o,ter} + F_{o,pav} + F_{h+} + F_{o,w} + \psi_{2J} * F_{o,acc}$		**464.74**
R_d/E_d	5.36	> 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica al ribaltamento

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1	-	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	926.17
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	68.52
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	-	273.17
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	13.38
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-22.68
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	61.44

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$M_{stab,pp}$		**6848.79**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + M_{rib,v-} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$		**1128.78**
R_d/E_d	6.07	> 1.00	**SODDISFATTA**

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	-	926.17
Spinta pavimentazione	1.00	-	-	68.95
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	-	273.17
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	-	13.38
Forza di inerzia verticale (Fv+)	1.00	-	22.68	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	-	61.44

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina dominante			
R_d [kN]	$M_{stab,pp} + M_{stab,v+}$		**6871.46**
E_d [kN]	$M_{rib,ter} + M_{rib,pav} + M_{rib,w} + M_{rib,h} + \psi_{2J} * M_{rib,acc}$		**1151.89**
R_d/E_d	5.97	> 1.00	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Verifica di capacità portante in condizioni drenate

Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Sisma verso l'alto (-) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2485.90	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	358.49	-	-	917.21
Spinta pavimentazione	1.00	-	67.83	-	-	68.52
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.54	-	-	270.88
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	3.98	-	-	8.92
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	-5.44	-	-22.68
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.88	-	-	61.44

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2480.46	5734.11	0.29	4.62
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento		fattori di capacità portante	
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico		fattori correttivi per carichi inclinati	
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2480.46	464.45	1.00	1.00	0.66
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	Fv + Fv-			**2480.46**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**84486.54**
Rd/Ed	34.06	>	1.2	**SODDISFATTA**

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

Sisma verso il basso (+) e verso il mare

	coefficienti SLU		Azioni		Momenti	
	ɣ	ψ2J	Fo [kN]	Fv [kN]	Mstab [kNm]	Mrib [kNm]
Peso proprio	1.00	-	-	2485.90	6848.79	-
Spinta terreno (ter)	1.00	-	360.01	-	-	899.60
Spinta pavimentazione	1.00	-	68.12	-	-	68.95
Spinta sovr. Banc. (acc)	1.00	0.30	77.87	-	-	266.37
Tiro alla bitta (bitt)	1.00	0.00	229.32	-	-	1605.24
Spinta idrodinamica (w)	1.00	-	3.98	-	-	8.92
Forza di inerzia verticale (Fv-)	1.00	-	-	5.44	22.68	-
Forza di inerzia orizzontale (Fh+)	1.00	-	10.88	-	-	61.44

Combinazione di carico con sovraccarico accidentale di banchina				
lunghezza della base B [m]	sforzo normale agente sulla base [kN]	momento risultante agente sulla base [kNm]	eccentricità e [m]	lunghezza corretta B' [m]
5.2	2491.35	5752.64	0.29	4.62
coesione efficace del pietrame di imbasamento	peso immerso del pietrame di imbasamento	fattori di capacità portante		
c' [kPa]	ɣ' [kN/mc]	Nq	Nc	Nɣ
0	9	134.87	133.87	267.75
componente verticale del carico	componente orizzontale del carico	fattori correttivi per carichi inclinati		
V [kN]	H [kN]	iq	ic	iɣ
2491.35	466.36	1.00	1.00	0.66
pressione a tergo del piano di posa della fondazione q [kN/mq]	D/B' < 1	fattori correttivi per la profondità		
		dq	dc	dɣ
0		1	1	1
Ed [kN]	Fv + Fv+			**2491.35**
Rd [kN]	qlim = L*B'*(c'*Nc*dc*ic + q*Nq*dq*iq + 0.5*ɣ'*B'*Nɣ*iɣ*dɣ)			**84302.69**
Rd/Ed	33.84	>	1.2	**SODDISFATTA**

8.4. Considerazioni sulle verifiche svolte

Tutte le verifiche svolte, sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, per tutti i livelli idrici (medio mare, alta marea e bassa marea) risultano soddisfatte da NTC - 2018.

La condizione meno critica è rappresentata dalla configurazione con livello medio mare, per cui tutte le verifiche sono ampiamente soddisfatte. Il caso con abbassamento dovuto a bassa marea (- 0.45 m) invece

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

risulta intermedio; la condizione più critica infatti è rappresentata dalla configurazione con sovralzo dovuto ad alta marea (+ 0.50 m), almeno per quanto riguarda le verifiche a ribaltamento e d capacità portante in condizioni drenate. In generale, per ogni tipo di verifica e configurazione studiata, le condizioni sismiche sono risultate meno gravose di quelle effettuate in assenza di sisma.

Si precisa che per tutte le verifiche di capacità portante si è assunto cautelativamente un coefficiente γr pari a 2.3, considerando l'imbasamento alla stregua di un piano di fondazione.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

9. ACCESSIBILITÀ NAUTICA

L'imboccatura di accesso al porto è rivolta in direzione Nord Est ed è sagomata in modo tale da costituire un invito alle rotte di accesso e di partenza dall'approdo che dovranno effettuare una correzione di lieve entità, provenendo le imbarcazioni dal paraggio antistante.

Tale considerazione è valida sia per lo stato attuale che per la configurazione proposta con prolungamento della diga di sopraflutto di circa 50 m.

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

10. CONCLUSIONI

La presente relazione di calcolo delle opere marittime relative al progetto definitivo degli interventi di ripristino della diga di sopraflutto del porto di S. Margherita Ligure ha trattato gli aspetti progettuali previsti ex allegato XXI art. 164 e quelli necessari ad una corretta progettazione delle opere previste.
Per gli aspetti relativi alla tracimazione ondosa si rimarca la necessità di un necessario approfondimento tecnico di verifica a mezzo delle previste prove su modello fisico in canaletta (modello 2D).

Comune di Santa Margherita Ligure, Prot. N. 0009218 del 13-03-2019 in arrivo

11. BIBLIOGRAFIA

- U.S. CORP OF ENGINEERS – Coastal Engineering Manual - Coastal Engineering Research Center, Washington D.C., 2001.
- U.S. CORP OF ENGINEERS - Shore Protection Manual - Coastal Engineering Research Center, Washington D.C., 1984.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA MILITARE – Portolano dei mari d'Italia, vol. 1B – Genova.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA MILITARE – Tavole di marea 1998 – Genova.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA MILITARE – Carte nautiche n. 330 (scala1:1.700.000), n. 916 (scala 1:250.000), n. 15 (scala 1:100.000) - Genova
- J.E. Bowles – Foundation Analysis and Design – Mc Graw Hill 4th ed.
- Noli ed altri – Opere esterne di difesa dei porti – Esa ed. Roma, 1980.
- R. Lancellotta – Geotecnica – Zanichelli ed., Torino.
- R. Lancellotta, D. Costanzo, S. Foti – Progettazione geotecnica – Hoepli ed., Milano, 2011.
- G. Calabresi – Tecnica delle fondazioni e costruzioni in terra, Università degli Studi "La Sapienza", Roma.
- B.O. Tobiasson & Al. – Marinas and small craft harbors – Van Nostrand Reinhold, 1991.
- C.A. Thoresen – Port Designer's handbook: Recommendations and Guidelines – Thomas Telford, 2003.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni (pubblicato su S.O. n. 30 della G.U. 4 febbraio 2008, n.29).
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare esplicativa n. 617 del 2.2.2009 (pubblicata su S.O. n. 27 della G.U. 26 febbraio 2009, n. 47).
- Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici EN 1998-5.
- Associazione Geotecnica Italiana – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: Linee Guida – Bologna 2005.