



Il Commissario Straordinario del Governo
per il recupero e la valorizzazione dell'ex carcere borbonico
dell'isola di Santo Stefano - Ventotene

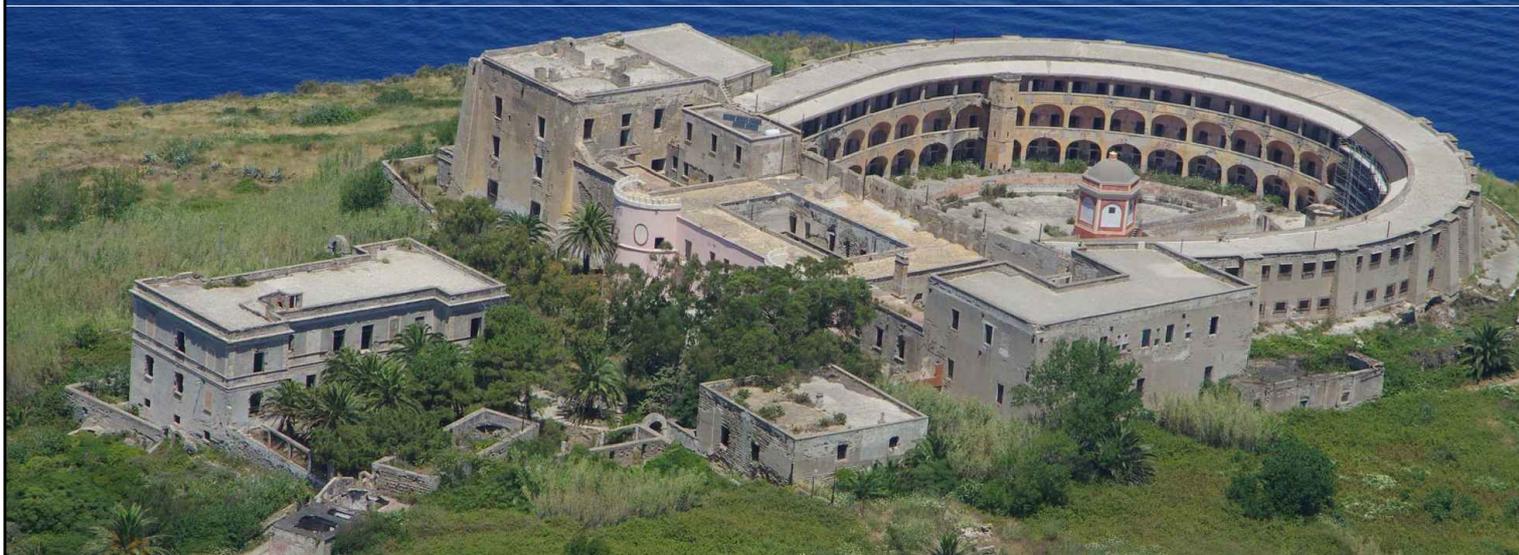


Comune di Ventotene
REGIONE LAZIO

CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO

RECUPERO E RIFUNZIONALIZZAZIONE EX CARCERE BORBONICO DELL'ISOLA DI SANTO STEFANO VENTOTENE

Intervento n. 3 'Realizzazione/adequamento degli approdi all'isola di Santo Stefano'



STAZIONE APPALTANTE



Agenzia nazionale per l'attrazione
degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA

Funzione Servizi di Ingegneria

ATTIVITA' TECNICHE
Beni Culturali e Architettura
Arch. Rosa di NUZZO

INVITALIA S.p.a.: Soggetto Attuatore in ottemperanza agli artt. 3 e 8 del Contratto Istituzionale di Sviluppo
"Recupero e rifunionalizzazione ex carcere borbonico dell'isola di Santo Stefano Ventotene"

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. ENRICO FUSCO

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE: Dott. Arch. Rosa di NUZZO

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
Dott. Arch. Massimo BARAGLI

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Dott. Ing. Letterio SONNESSA

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME
Dott. Ing. Daniele BENOTTI

RELAZIONE GEOLOGICA
Dott. Geol. Vincenzo GUIDO

PROGETTAZIONE IMPIANTI
Dott. Ing. Pierluigi ROSATI
Dott. Ing. Osvaldo PITORRI

PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA
Dott. Ing. Nunzio LAURO

PROGETTAZIONE AMBIENTALE e PROCEDURE VIA-Vinca
Dott. Luca DI NARDO

COMPUTI E STIME
Geom. Luigino D'ANGELANTONIO

RELAZIONE ARCHEOLOGICA: ASPSP Servizi Archeologici snc, Dott.ssa Laura SANNA e Francesco TIBONI

GRUPPO DI LAVORO INTERNO

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA:
Dott. Ing. Francesco DE SIMONE

Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR
Dott. Arch. Lucia PACITTO

PROGETTAZIONE STRUTTURALE:
Dott. Ing. Mario D'AMATO
Dott. Ing. Francesco DI LAURO

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME:
Dott. Ing. Leonardo GUALCO

PROGETTAZIONE IMPIANTI:
Sig. Ennio REGNICOLI

RILIEVI E RESTITUZIONE GRAFICA:
Geom. Gennaro DI MARTINO
Dott. Ing. Francesco DE SIMONE
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR

PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA
Dott. Arch. Ahmed ELGAZZAR

SUPPORTO TECNICO OPERATIVO

PROGETTAZIONE OPERE MARITTIME:
3TI Progetti Italia - Ingegneria Integrata SpA
Dott. Ing. Stefano Luca POSSATI

PROGETTAZIONE AMBIENTALE e PROCEDURE VIA-Vinca:
SETIN Servizi tecnici Infrastrutture s.r.l.
Dott. Alessandro PIAZZI

PROGETTAZIONE GEOTECNICA:
STUDIO TECNICO ASSOCIATO - SINTESI
Dott. Ing. Germano GUIDUCCI

PROGETTAZIONE IDRAULICA E MARITTIMA
DHI Srl
Dott. Ing. Luis Alberto CUSATI

INGEGNERIA NAVALE
Dott. Ing. Francesco PRINZIVALLI

CONSULENZA TECNICO-SCIENTIFICA
Prof. Ing. Paolo SAMMARCO

INDAGINI GEOGNOSTICHE :
Geodes Laboratori
Dott.ssa M. Gabriella BEVILACQUA

**INDAGINI E RILEVAZIONI AMBIENTALI,
ARCHEOLOGICHE E STRUMENTALI A MARE :**
Enviroconsult srl - Dott. Ing. Roberto SAGGIOMO

INDAGINI SULLE STRUTTURE :
ICS Centro Sperimentale di Ingegneria Srl
Dott. Ing. Giuseppe MONTELLA

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO			DATA	NOME	FIRMA
Opere Marittime Relazione di calcolo			REDATTO	13-09-2021	3TI
			VERIFICATO	13-09-2021	BENOTTI
			APPROVATO	13-09-2021	Rosa di NUZZO
			DATA	05-03-2021	CODICE BREVE
			SCALA	-	
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	CODICE ELABORATO		
Rev. 1	13-09-2021	Revisione in sede di procedura di VIA	2017E037INV-02-D-OM-RC0001		
Rev. 2			CODICE FILE		
Rev. 3			2017E037INV-02-D-OM-RC0001.dwg		

OM-RC0001

Contratto Istituzionale di Sviluppo per il recupero e la rifunzionalizzazione dell'“Ex carcere borbonico dell'isola di Santo Stefano – Ventotene” - Delibera CIPE n. 3 del 1° maggio 2016, pubblicata nella G.U.R.I. del 13 agosto 2016, n. 139, “Fondo sviluppo e coesione 2014-2020: Piano stralcio - Cultura e Turismo – (articolo 1, comma 703, lettera d) legge n. 190/2014”



Accordo Operativo tra il Ministero per i beni e le Attività Culturali e per il Turismo e l'Agencia Nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA per la realizzazione delle attività di soggetto attuatore del CIS per il RECUPERO E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DELL'“EX CARCERE BORBONICO DELL'ISOLA DI S. STEFANO-VENTOTENE”

RIF. ALLEGATO A – PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI

Intervento n. 3 – Realizzazione/adequamento degli approdi all'Isola di Santo Stefano

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO.....	3
3	NORMATIVE E ISTRUZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO	8
4	MATERIALI.....	11
4.1	<i>Calcestruzzo strutturale e non strutturale.....</i>	<i>11</i>
4.2	<i>MICROPALI</i>	<i>11</i>
4.3	<i>Scanno d'imbasamento</i>	<i>11</i>
5	AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO	13
5.1	<i>Carico di banchina.....</i>	<i>13</i>
5.2	<i>Moto ondoso</i>	<i>13</i>
5.2.1	<i>Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta</i>	<i>16</i>
5.2.2	<i>Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo.....</i>	<i>18</i>
5.2.3	<i>Considerazioni sui carichi idrodinamici sul Cassone di testa.....</i>	<i>19</i>
5.1	<i>Tiro alla bitta</i>	<i>19</i>
5.2	<i>Urti e forze di accosto trasmesse attraverso il parabordo.....</i>	<i>19</i>
5.3	<i>Sisma.....</i>	<i>20</i>
5.3.1	<i>Spinta idrodinamica indotta dal sisma.....</i>	<i>23</i>
5.3.2	<i>Forze di massa indotte dal sisma.....</i>	<i>24</i>
6	VERIFICHE DEL CASSONE.....	25
6.1	<i>Verifiche di stabilità in fase di galleggiamento.....</i>	<i>25</i>
6.2	<i>Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione.....</i>	<i>28</i>
6.1	<i>Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento.....</i>	<i>47</i>
6.2	<i>Verifiche della capacità portante del sistema terreno-cassone.....</i>	<i>55</i>
7	DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE AL PIEDE DELLA DIGA A PARETE VERTICALE	60

 Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA	2017E037INV-02-D-OM-RC0001_new
	Rev. 0
	Pag. 3 di 62

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli di verifica delle opere marittime dell'attracco in località Madonnina nell'isola di Santo Stefano.

Per il cassone di accosto si riportano quindi le verifiche di stabilità alla navigazione, alla traslazione, alla rotazione, allo schiacciamento dell'imbasamento e al carico limite secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e dalla normativa riportata nel par.3.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO

L'opera in progetto è ortogonale alla costa ed orientata in direzione sud-est/nord-ovest, con lunghezza pari a 22,10 m e larghezza in testa pari a 13,40 m. Si distinguono due tratti, entrambi a pareti verticali:

- Primo tratto: costituito da una struttura a giorno di larghezza 3 m, realizzata con pali in acciaio Φ 800 e impalcato costituito da travi principali HEB 300 e travi secondarie HEA 160, all'interno del palo sono presenti n°4 micropali armati con tubo di acciaio;
- Secondo tratto: dimensioni in pianta 13,40x13,00 m, costituito da un cassone cellulare imbasato a -7,00 m.

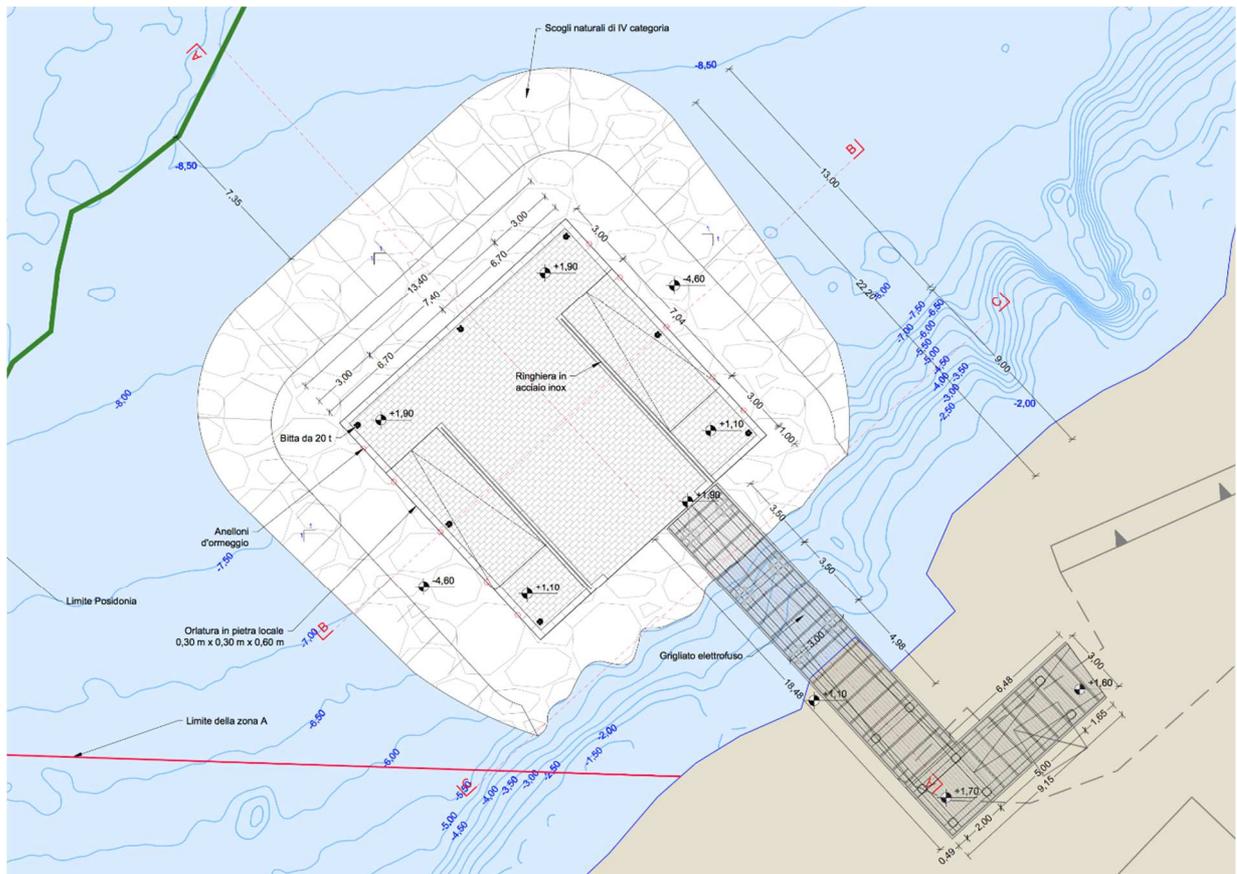


Figura 1 – Alternativa 5: Planimetria al finito

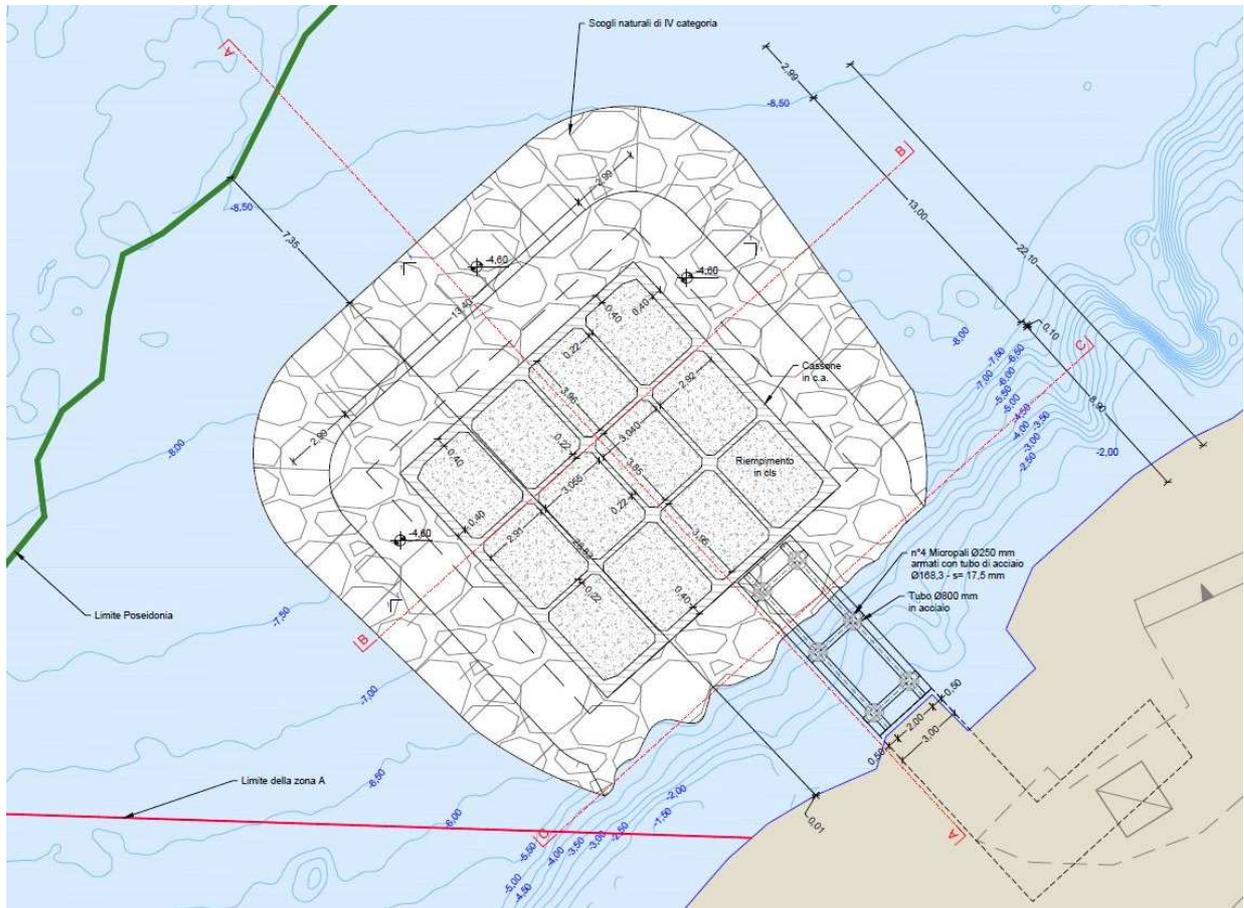


Figura 2 – Planimetria costruttiva

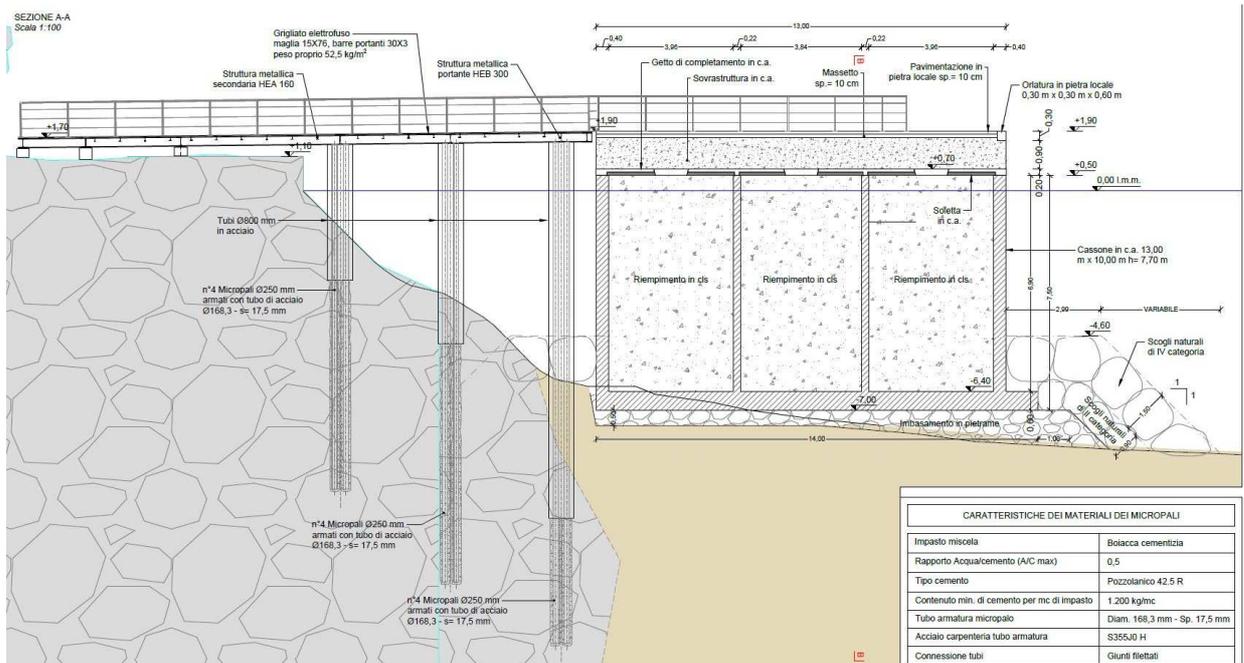


Figura 3 – Sezione longitudinale A-A

Primo tratto.

La struttura a giorno, di larghezza 3 m, è realizzata con n°6 pali in acciaio Φ 800 sp 16 mm, riempiti in calcestruzzo, e impalcato costituito da travi principali HEB 300 e travi secondarie HEA 160. All'interno del palo sono presenti n°4 micropali armati con tubo di acciaio Φ 168,3 mm, s= 17,5 m. La connessione tra le travi principali HEB 300 e il palo in acciaio avviene mediante n°8 tirafondi in acciaio 8+8 M27.

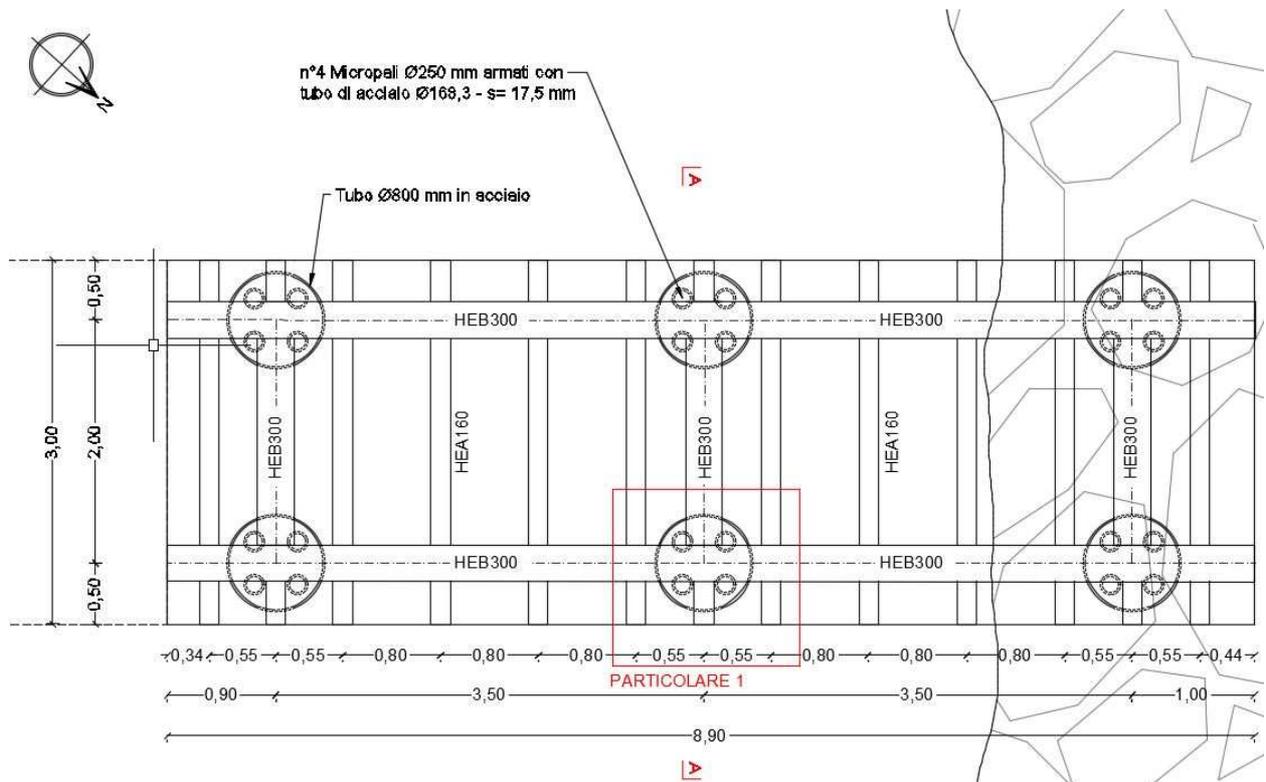
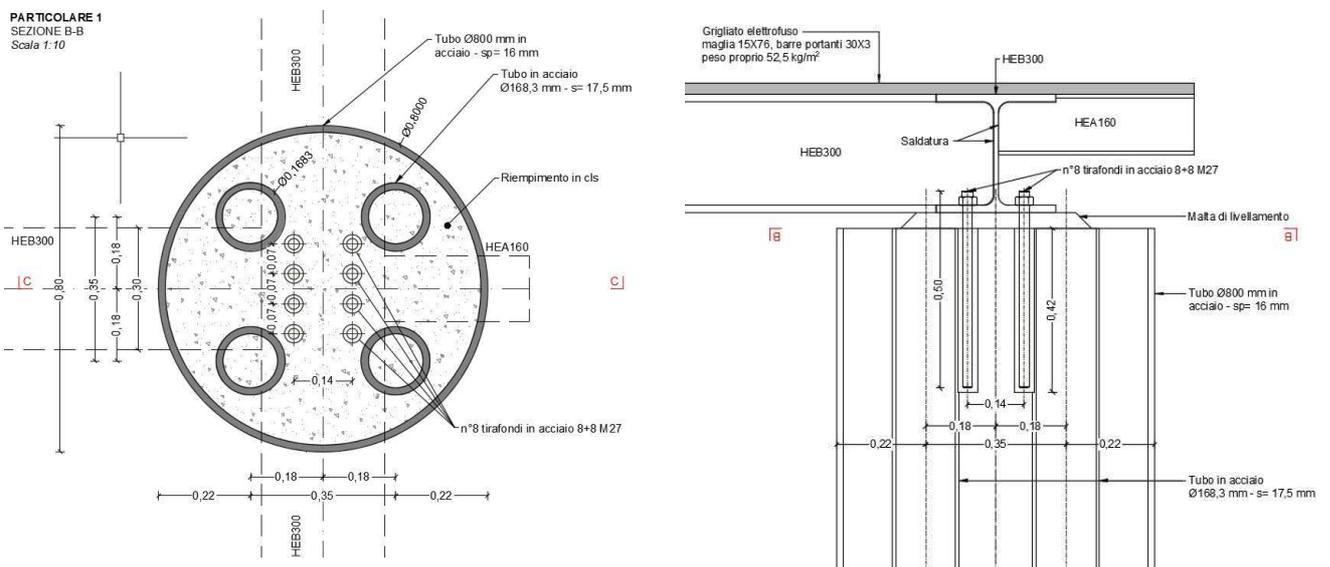


Figura 4 - Pianta struttura a giorno



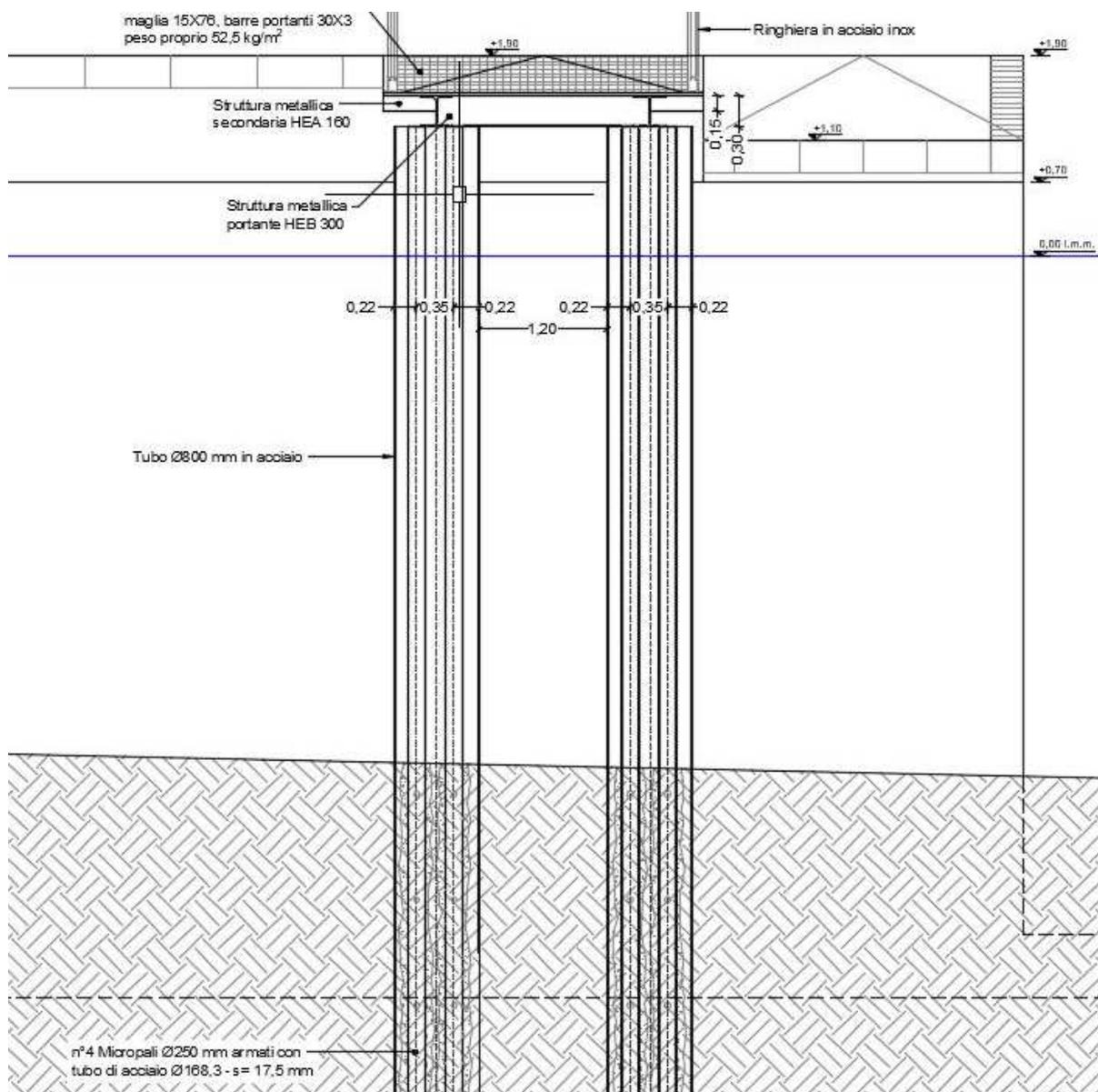


Figura 5 – Sezione trasversale C-C

Figura 6 – Particolare armature cucitura

Secondo tratto

Le dimensioni in pianta del cassone sono 13,40x13,00 m. L'altezza del fusto è pari a 7,50 m. La quota di posa del cassone è di -7,00 m s.l.m.m.. Il cassone emerge di 0,50 m rispetto al l.m.m.. Al di sopra di questo si sviluppa il solaio di copertura, necessario per la navigabilità del cassone, costituito da predalle prefabbricate e getto di completamento, di spessore totale pari a 0,20 m, e la sovrastruttura in c.a. di

sismiche”;

- o D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni”;
- o Circolare n°7 del 21/01/2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018”;
- o Servizio Tecnico Centrale presso la Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Settembre 2017 “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale”;
- o Ministero dei Lavori Pubblici Consiglio Superiore – CNR (1996) Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”.

Norme straniere e istruzioni tecniche sulle costruzioni marittime

- o BS 6349-1:2000 “Maritime structures – Part 1: Code of practice for general criteria”. British Standards Institution, London;
- o BS 6349-7:1991 “Maritime structures – Part 7: Guide to the design and construction of breakwaters”. British Standards Institution, London;
- o C.S.LL.PP., CNR-GNDCI (1996) “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”. Pubbl. GNDCI n.1450;
- o ROM 0.2-90 “Actions in the design of maritime and harbour works”. Maritime Works Recommendations, Puertos del Estado, Madrid;

Bibliografia di riferimento

- o CIRIA, CUR, CETMEF (2007) “The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)”. C683, CIRIA, London;
- o Associazione Geotecnica Italiana - “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” Linee guida – Edizione provvisoria marzo 2005;
- o EAU 2004 - “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbour and Waterways”;
- o PIANC (2001) - “Seismic Design Guidelines For Port Structures” Working Group n°34 of the Maritime Navigation Commission, International Navigation Association, Balkema, Lisse 2001;
- o OCDI - Technical standards for port and harbour facilities in Japan” - OCDI 2002;
- o Probabilistic design tools for vertical breakwaters – Maarten de Groot – 2001. Dissipative Monolithic Breakwaters – Some Aspects of Hydrodynamics – Canel M. (1995);
- o Wave Forces on solid and perforated caisson breakwaters: Comparison of field and laboratory

- measurements– L. Franco, M. De Gerloni, G. Passoni, D.Zacconi – ICCE 1998
- o Non-breaking wave overtopping of caisson breakwaters: new prediction formulae based on 2-D and 3-D model tests– C. Franco, L. Franco – EXCERPTA 1998
 - o Field measurements of loads acting on smooth and perforated vertical walls – P. De Girolamo, A. Noli, D. Spina – Advances in coastal structures and breakwaters – Edited by J.E. Clifford.

4 MATERIALI

I materiali da costruzione devono obbligatoriamente riportare la marcatura CE, così come richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, NTC del 17/01/2018.

4.1 Calcestruzzo strutturale e non strutturale

Per il calcestruzzo dei cassoni e della sovrastruttura sono stati assunti i seguenti pesi per unità di volume:

- Peso per unità di volume asciutto: $\gamma_{c.a.} = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Peso per unità di volume acqua di mare: $\gamma_w = 10,10 \text{ kN/m}^3$
- Peso per unità di volume immerso: $\gamma'_{c.a.} = 14,90 \text{ kN/m}^3$

Per il calcestruzzo utilizzato per il riempimento delle celle sono stati assunti i seguenti pesi per unità di volume:

- Peso per unità di volume asciutto: $\gamma_c = 24,00 \text{ kN/m}^3$
- Peso per unità di volume immerso: $\gamma'_c = 13,90 \text{ kN/m}^3$

4.2 MICROPALI

- Acciaio da carpenteria metallica per micropali – classe S355 secondo UNI EN 10025-2
- Valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura
- $f_{yk} = 355 \text{ Mpa}$
- $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio da carpenteria
- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,30 \text{ MPa}$

4.3 Scanno d'imbasamento

Le caratteristiche geo-meccaniche del pietrame impiegato per lo scanno d'imbasamento dei cassoni sono le seguenti:

- Peso per unità di volume asciutto: $\gamma_d = 17,50 \text{ kN/m}^3$
- Peso per unità di volume saturo: $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$

- Peso per unità di volume immerso: $\gamma' = 10,40 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza a taglio: $\varphi' = 40^\circ$
- Coesione intercetta: $c' = 0,00 \text{ kN/m}^2$

5 AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO

5.1 Carico di banchina

Il sovraccarico di banchina di progetto è pari a 20 kN/m².

5.2 Moto ondoso

Nello Studio Idraulico Marittimo è stato determinato il clima ondoso al largo e sottocosta nel paraggio oggetto d'intervento, alla profondità di -8,50 m s.l.m.m..

P02		Return Period [years]					
		1	5	10	20	50	100
		Significant Wave Height [m]					
Directional Sector [°N]	All	2.18	2.71	2.93	3.15	3.44	3.66
	0 30	0.96	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09
	210 240	2.02	2.53	2.77	3.02	3.36	3.62
	240 270	1.99	2.55	2.77	2.99	3.27	3.48
	270 300	1.66	2.07	2.26	2.44	2.69	2.88
	300 330	1.09	1.35	1.47	1.60	1.76	1.89
	330 360	1.26	1.49	1.57	1.65	1.75	1.83

T [years]	1	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.18	2.71	2.93	3.15	3.44	3.66
T01 [s]	9.43	10.37	10.73	11.08	11.51	11.82
Tp [s]	11.78	12.43	12.67	12.90	13.18	13.37

Tabella 13: Eventi estremi direzionali di moto ondoso sottocosta con $T = 1, 5, 10, 20, 50$ e 100 anni (-8.5 m) (antistante all'opera in progetto)

 Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA	2017E037INV-02-D-OM-RC0001_new		
	Rev. 0		
	Pag. 14 di 62		

Per la determinazione dell'azione caratteristica del moto ondoso si è fatto riferimento alle Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime", emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1996.

In dettaglio, il progettista deve valutare la mansione strategica dell'opera, nel senso che, una eventuale interruzione della funzione per la quale l'opera è stata progettata non provochi una condizione di emergenza. Pertanto, in relazione alla tipologia di opera da realizzare è necessario stabilire la vita utile, arco temporale entro il quale la costruzione deve poter garantire le caratteristiche funzionali e di efficienza per la quale è stata progettata, ed il conseguente tempo di ritorno dell'evento di progetto.

Per ogni opera marittima viene individuata la vita utile in relazione al progetto in cui è inserita e tenendo conto delle caratteristiche funzionali dell'opera.

Per tale motivo si procede alla valutazione del livello di rischio, ossia delle probabilità di danneggiamento ammissibile, facendo ricorso ai valori riportati nella seguente tabella.

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita in anni		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Tabella 1 – Vita utile per opere o strutture di carattere definitivo Tv

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vita umane o, in caso di danneggiamento, solo danni ambientali di non rilevante misura (difese costiere, opere in porti minori di trascurabile rilevanza, scarichi a mare, etc.). Il livello di sicurezza 2 fa riferimento ad opere di interesse generale che comportano un moderato rischio di perdita di vita umane o, ancora, di conseguenze ambientali, di un certo rilievo, in caso di danneggiamento (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, etc.). Il livello di sicurezza 3, infine, si riferisce ad opere destinate alla protezione da fenomeni di inondazione, il cui collasso comporterebbe un elevato rischio di perdite di vite umane o di danno ambientale consistente (difese di centri urbani o industriali, etc.).

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili e/o industriali che non siano destinati ad uno specifico scopo per i quali non è facilmente identificabile il termine della vita utile; per infrastrutture ad uso specifico si intendono, viceversa, le opere di difesa di singole installazioni, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, etc..

Analogamente le probabilità di danneggiamento ammissibili si ricavano dalla tabella seguente anch'esse tratte dalle già citate istruzioni tecniche.

	Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
		Limitato	Elevato
Danneggiamento incipiente	Bassa	0.50	0.30
	Media	0.30	0.20
	Alta	0.25	0.15
Distruzione totale	Bassa	0.20	0.15
	Media	0.15	0.10
	Alta	0.10	0.05

Tabella 2 – Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita utile dell'opera, E

Si assumono le probabilità, E, corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle modifiche subite dall'opera in caso di danneggiamento, nonché alle difficoltà di riparare il danno. Per strutture rigide, come le dighe a parete verticale, per le quali, com'è noto, la riparazione del danno si presenta oltremodo complessa, si assume la probabilità corrispondente alla configurazione di distruzione totale. Per strutture a gettata, per le quali è ipotizzabile un intervento di manutenzione straordinaria, si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori usualmente riconducibili a interventi di rifiorimento; al rischio limitato per la vita umana si riconducono i casi nei quali a seguito del danneggiamento, non è temuta alcuna perdita di vite umane.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono rispettivamente casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità di opere protette ed al costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

La combinazione della vita utile dell'opera T_v e della probabilità di accadimento determina il tempo di ritorno T_R dell'evento di progetto mediante la seguente espressione:

$$T_R = \frac{T_v}{[-\ln(1 - E)]}$$

Nella fattispecie, in considerazione che trattasi di un approdo di una piccola isola disabitata e quindi con un livello di sicurezza richiesto molto basso, ai soli fini della determinazione dell'evento caratteristico, è stato assunto un valore di T_v pari a 15 anni. Considerando poi una ripercussione economica per danno molto basso pari a 0,45, corrispondente ad un rischio per la vita umana molto limitato è stato assunto un valore di E pari a 0,45. Pertanto si ha un tempo di ritorno dell'evento di progetto pari a 25 anni.

L'azione del moto ondoso sulla struttura è quindi valutata considerando eventi con tempo di ritorno di 25 anni per gli stati limiti ultimi ordinari (azione caratteristica), e di 100 anni per quelli "eccezionali" (azione eccezionale), come riportato in *Tabella 3*.

GRANDEZZA	U.M.	AZIONE CARATTERISTICA ($T_r=25$ anni)	AZIONE ECCEZIONALE ($T_r=100$ anni)
Altezza d'onda significativa	[m]	3,30	3,66
Periodo di Picco	[s]	12,90	13,37
Tempo di Ritorno	[anni]	25	100

Tabella 3 – Onde di Progetto (Caratteristica)

Il livello idrico di riferimento è stato considerato corrispondente al livello medio mare (l.m.m.).

Di seguito vengono illustrate le trattazioni analitiche adottate per il calcolo delle azioni del moto ondoso in fase di cresta e in fase di cavo per il tratto di diga a parete verticale.

5.2.1 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta

La spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta è costituita da una componente orizzontale E_O e da una componente verticale E_{SS} (sottospinta). Le forze E_O e E_{SS} sono state determinate integrando lungo il paramento verticale le pressioni calcolate con la teoria di Goda riportata nelle "Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime del CSLPP".

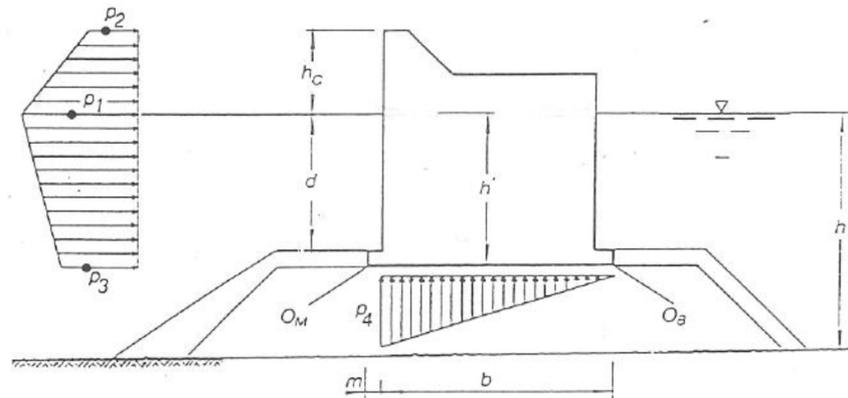


Figura 8 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cresta secondo la teoria di Goda

Le equazioni delle pressioni secondo la teoria di Goda vengono di seguito riportate:

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)H \text{ (quota massima risalita)}$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta)\gamma H$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$p_2 = p_1 \frac{\eta^* - h_c}{\eta^*}$$

$$p_4 = 0.5(1 + \cos \beta)\alpha_1 \alpha_3 \gamma H$$

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left(\frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H}{d} \right)^2; \frac{2d}{H} \right\}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left(1 - \frac{1}{\cosh kh} \right)$$

$$H = \min(1.8H_s; H_f)$$

$$H_f = 0.18 \frac{gT^2}{2\pi} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{3\pi^2 h_b}{gT^2} \left(1 + 15(\tan \vartheta')^{4/3} \right) \right] \right\}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

dove:

- β è l'angolo di incidenza delle onde rispetto alla normale alla parete;
- L lunghezza d'onda alla profondità h_b ;
- h_b è la profondità del fondale marino ad una distanza pari a $5H$;

- ϑ' è l'angolo formato dal piano del fondale con l'orizzontale.

5.2.2 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo

La spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo è costituita da una componente orizzontale E_O e da una componente verticale E_{SS} . Le forze E_O e E_{SS} sono state determinate integrando lungo il paramento verticale le pressioni calcolate con la teoria di Sainflou riportata nelle "Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime del CSLP".

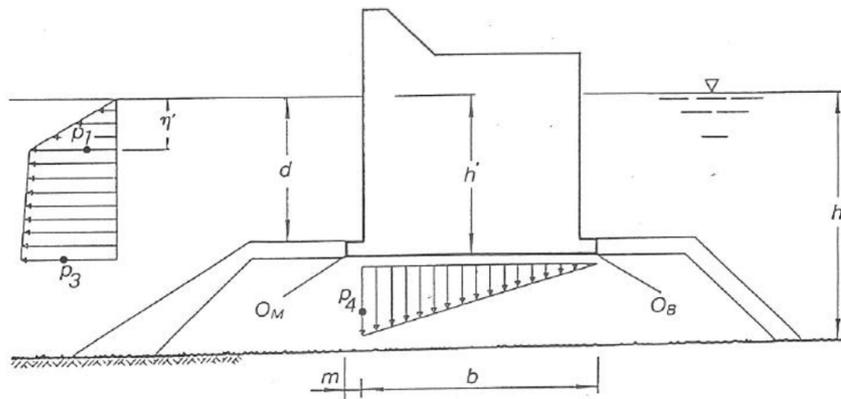


Figura 9 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

Le equazioni delle pressioni secondo la teoria di Sainflou vengono di seguito riportate:

$$p_1 = \gamma \eta'$$

$$p_3 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right) - p_1 \left(\frac{h' - d}{d - \eta'} \right)$$

$$p_4 = p_3 \frac{b}{b + m}$$

$$\eta' = H - \frac{\pi H^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

dove:

- $H = H1/100 = 1,67 H_s$ altezza d'onda;
- p_1 = pressione a quota h' ;

- p_3 = pressione alla base del cassone;
- p_4 = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità al piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda.

5.2.3 Considerazioni sui carichi idrodinamici sul Cassone di testa

Per quanto riguarda il cassone di testa, si ritiene necessario fare alcune considerazioni sui carichi idrodinamici, in quanto presentano differenze significative rispetto ai cassoni di tronco.

In tronco-struttura infatti si considerano all'esterno (lato mare) i livelli di affioramento massimo e minimo dell'onda, mentre all'interno (lato porto) si assume, data la modesta entità dell'agitazione residua, un livello costante pari a quello di riposo.

In testata, invece, l'esperienza mostra che l'agitazione ondosa sul paramento esterno presenta escursioni maggiori di quelle che si verificano in tronco-struttura. Sul paramento interno poi sono presenti le fluttuazioni di livello dell'onda diffratta, di ampiezza decrescente via via che ci si allontana dall'estremità dell'opera.

Pertanto la valutazione dei carichi idrodinamici sul cassone di testata deve essere differente rispetto ai cassoni di tronco. Per tale ragione, ad esempio, l'andamento delle sottopressioni sul solettone del cassone di testata non è più di tipo triangolare.

Nel caso in specie, tenuto conto dell'esposizione della testa del molo è stata considerata una sottospinta con diagramma delle pressioni a forma di trapezio rettangolo, piuttosto che triangolare, con valore max pari al valore p_4 e valore minimo pari a $0,1 p_4$.

5.1 Tiro alla bitta

La bitta ha un tiro di progetto pari a 100 kN. Sul ciascun lato (lungo) sono installate n°4 bitte, per un totale di 400 kN.

5.2 Urti e forze di accosto trasmesse attraverso il parabordo

Sono stati considerati due casi:

- azione eccezionale dovuta all'impatto causato da imbarcazioni fuori controllo,

- azione variabile dovuta alle operazioni di accosto delle imbarcazioni.

Considerate le ridotte dimensioni delle imbarcazioni che interesseranno il molo, entrambe le azioni sono state trascurate perché trascurabili rispetto all'azione del moto ondoso.

5.3 Sisma

Il calcolo dei coefficienti sismici orizzontale e verticale (k_h e k_v) è stato condotto secondo quanto riportato dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

In particolare i cassoni sono stati verificati allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) a cui è associata una probabilità di superamento PVR pari al 10%, considerando una Vita Nominale dell'opera pari a 50 anni ed una Classe d'Uso III, e quindi una Vita di riferimento V_R pari a 75 anni. I valori dell'accelerazione sismica a_g e dello spettro F_o sono riportati nella *Tabella 4*.

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.029	2.810	0.288
Danno (SLD)	75	0.035	2.816	0.301
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.068	3.004	0.499
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.077	3.155	0.537
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Tabella 4 - Parametri sismici su sito di riferimento rigido orizzontale associati a ciascun Stato Limite

Nella *Tabella 5* è riportata la descrizione delle categorie del sottosuolo previste dal D.M. 17 Gennaio 2018.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa medianamente addensati o terreni a grana fina medianamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 5 - *Categorie di sottosuolo previste dal D.M. 17 Gennaio 2018*

Sulla base dei risultati della campagna di indagini eseguita, viene assunta la *Categoria di Sottosuolo C*. Applicando le espressioni riportate nella *Tabella 6*, è possibile calcolare il Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica S_s .

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_s e di C_c*

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 6 - *Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s previste dal D.M. 17 Gennaio 2018*

Come è possibile osservare in Tabella 7 ed in Tabella 8, alle condizioni topografiche del sito (inclinazione media $i < 15^\circ$) corrisponde la categoria T1, per la quale è previsto un coefficiente di amplificazione S_T pari a 1,0.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 7 - *Categorie topografiche previste dal D.M. 17 Gennaio 2018*

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 8 - *Valori del coefficiente di amplificazione topografica - D.M. 17 Gennaio 2018*

Il valore dell'accelerazione massima orizzontale attesa al sito è esplicitabile mediante la seguente espressione:

$$a_{\max} = S_s \times S_T \times a_g$$

dove:

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica.

Pertanto, i valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale sono dati dalle seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

- $\beta_m = 0,38$ è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri sismici di SLV previsti dal D.M: 17/01/2018 per i cassoni in oggetto.

Vita Nominale	V_N	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	C_U	-	1,5
Periodo di Riferimento Sisma	V_R	anni	75
Tempo di Ritorno	T_R	anni	712
Accelerazione sismica al bed rock	a_g	[g]	0,066
Parametro Spettro	F_0	-	3,004
Categoria Sottosuolo		-	C
Coeff. di Amplificazione Stratigrafica	S_S	[-]	1,50
Coeff. di Amplificazione Topografica	S_T	[-]	1,00
Accelerazione orizzontale max	a_{max}	[g]	0,099
Riduzione accelerazione max	β_m	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	k_h	[-]	0,038
Coefficiente sismico verticale	k_v	[-]	0,019

Tabella 9 - Parametri del D.M. del 17/01/2018 relativo al cassone

5.3.1 Spinta idrodinamica indotta dal sisma

Sulle pareti esterne del cassone insiste la seguente pressione dell'acqua dovuta ad effetti idrodinamici indotti dal sisma (Westergaard 1931):

$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot z}$$

dove:

- k_h è il coefficiente di spinta sismica orizzontale previsto dal D.M.17/01/18;
- γ_w è il peso specifico dell'acqua marina;
- h è il tirante idrico;
- z è la coordinata verticale diretta verso il basso, con origine sul l.m.m. .

Pertanto, integrando l'espressione precedente lungo la verticale, la spinta idrodinamica E_{WD} dell'acqua ed il relativo momento sono esplicitabili mediante le seguenti relazioni:

$$E_{WD} = \frac{7}{12} \times k_h \times \gamma_w \times H_s^2$$

$$M_{E_{WD}} = \frac{7}{12} \times k_h \times \gamma_w \times H_s^2 \times \frac{3}{5} H_s$$

 Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA	2017E037INV-02-D-OM-RC0001_new
	Rev. 0
	Pag. 24 di 62

dove:

- H_F è l'altezza del tirante idrico (al di sotto del livello marino).

5.3.2 Forze di massa indotte dal sisma

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

- 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

6 VERIFICHE DEL CASSONE

Le verifiche eseguite hanno riguardato:

- verifiche di stabilità del cassone in fase di galleggiamento e affondamento;
- verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione sul piano di posa;
- verifiche a schiacciamento dell'imbasamento;
- verifiche a carico limite del sistema terreno-fondazione.

6.1 Verifiche di stabilità in fase di galleggiamento

In fase di galleggiamento e affondamento un cassone è soggetto alle seguenti azioni:

- Peso complessivo della zattera di fondazione, del fusto e della zavorra stabilizzatrice;
- Spinta di galleggiamento.

La stabilità del cassone risulta soddisfatta in due casi:

- qualora il centro di carena C (baricentro del volume immerso) si venga a trovare al di sopra del baricentro G del cassone;
- qualora, trovandosi il baricentro al di sopra del centro di carena, sia verificata la seguente relazione: $CM - CG > 0$

dove:

- CM è l'altezza metacentrica del cassone;
- CG è la distanza tra baricentro e centro di carena.

Circa l'entità di $CM - CG$, ci si accontenta generalmente di valori dell'ordine di 20 – 40 cm.

Dal punto di vista analitico, l'altezza metacentrica CM si ricava dalla seguente relazione:

$$CM = \frac{J}{V} \quad \text{in assenza dello zavorramento con acqua marina;}$$

$$CM = \frac{J - S_j}{V} \quad \text{con lo zavorramento con acqua marina;}$$

dove:

- J = momento d'inerzia baricentrico minimo della sezione di galleggiamento;
- $\sum j$ = somma dei momenti d'inerzia dei singoli specchi liquidi rispetto ai relativi assi baricentrici;
- V = volume della parte immersa.

Nel calcolo di Σj si tiene solitamente conto dei casi in cui le celle del cassone non siano tutte indipendenti ma collegate idraulicamente tra di esse in gruppi di celle. Nel caso in specie le celle sono state considerate tutte indipendenti.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle verifiche a galleggiamento.

Si assume una zavorra solida in calcestruzzo sulle n°2 celle sul lato corto opposte al lato corto di testa, per controbilanciare la mensola sul lato corto di testa.

ALTEZZA ZAVORRA SOLIDA GALLEGGIAM. (n°2 celle su lato corto opposto alla testata) [m]	IMMERSIONE [m]	FRANCO BORDO [m]	ALTEZZA METACENTRICA [m]
0,15	5,76	1,94	2,42

Tabella 10 – Verifica a galleggiamento: risultati

Nella tabella successiva si riportano i dettagli sui calcoli di verifica.

CARATTERISTICHE E DATI DI CALCOLO - CASSONE AL VARO CON SOLETTE

Calcolo dell'altezza di zavorra e dell'immersione del cassone in fase di galleggiamento

DATI DI CALCOLO DEL CASSONE			
Peso proprio del c.a. del cassone	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso zavorra	γ_{zav}	22,00	kN/m ³
Peso proprio acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	H_{sol}	0,60	m
Lunghezza solettone (compresa la mensola di testa)	L	14,00	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	15,40	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,00	m
Area planimetria solettone comprese mensole	A_{sol}	215,60	m ²
Altezza fusto	H_{fusto}	6,90	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	H_{cass}	7,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	A_{fusto}	174,20	m ³ /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	35,50	m ³ /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	138,70	m ³ /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,20	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	34,84	m ³
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	104,52	m ³
Volume mensola	V_{mens}	24,84	m ³
Volume netto celle	V_{celle}	957,03	m ³
Volume vuoto per pieno	V_{tot}	1 331,34	m ³ vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	374,31	m ³
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,28	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	409,15	m ³
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	2,75	m
	$Y_{G, cass+solette}$	3,17	m
IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	W_{zav}	150,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	4,00	-
Area media celle con zavorra	A_{cella}	11,66	m ²
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	Y_{Gzav}	0,67	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass, tot}$	10 378,75	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	Y_G	3,13	m
Immersione in fase di galleggiamento	i	5,76	m
Franco Bordo	f_b	1,94	m
Volume parte del cassone immersa	V_{imm}	1 027,60	m ³
Quota centro di carena	Y_C	2,82	m
Inerzia minima	I_{min}	2807,12	m ⁴
Raggio Metacentrico (CM=l/V)	CM	2,73	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=y_C+CM$	5,55	m
Altezza metacentrica	MG	2,42	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

Tabella 11 – Verifica di stabilità al galleggiamento: dettagli dei calcoli

6.2 Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione

Per le verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione (stato limite ultimo) è stata verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

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

L'effetto delle azioni e della resistenza possono essere espressi 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:

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

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

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

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

Combinazione Sismica SLV: $E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$

dove:

- G_1 sono i carichi permanenti strutturali;
- G_2 sono i carichi permanenti non strutturali;
- E azione sismica;
- Q_{k1} azione variabile dominante;
- Q_{kj} azioni variabili restanti;
- γ_{Q1} 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 quanto riguarda le verifiche alla traslazione e al ribaltamento, la condizione $E_d \leq R_d$ è stata verificata secondo l'Approccio 2:

(A1+M1+R3)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle.

Si precisa la diga a parete verticale è stata assimilata ad un muro di sostegno, pertanto i coefficienti di sicurezza parziale γ_R di riferimento sono quelli della Tabella 6.5.I del D.M. 17/01/2018 (Tabella 14).

L'assimilazione di una diga verticale alla tipologia di opera "muro di sostegno" deriva dall'entità dell'inclinazione della risultante delle azioni in fondazione e dal relativo valore di eccentricità rispetto al baricentro di fondazione, tipico appunto dei muri di sostegno.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 12 - Coefficienti parziali per le azioni - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.2.I)

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_Y	γ_Y	1,0	1,0

Tabella 13 - Coefficienti parziali per le resistenze del terreno - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.2.II)

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 14 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli SLU STR e GEO di muri di sostegno - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.5.I)

Nella tabella seguente si riportano i coefficienti parziali di combinazione delle azioni.

	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Sovraccarico di banchina	0,70	0,50	0,30
Moto ondoso	0,60	0,20	0,00
Tiro alla bitta	0,60	0,20	0,00

Tabella 15 - Coefficienti parziali di combinazione delle azioni

Le azioni del moto ondoso e del tiro alla bitta sono state associate al vento.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche di stabilità del cassone.

Nelle verifiche di stabilità a scorrimento e a ribaltamento il coefficiente parziale del sovraccarico di banchina sul cassone è stato considerato pari a zero, poiché è a favore della stabilità.

Sono state considerate le seguenti combinazioni:

<i>Combinazione-1 (ECC)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-2 (ECC)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-3 (STR)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-4 (STR)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-5 (SLV)</i>	Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Il segno “+” sta ad indicare “combinato con”.

La tabella riporta la sintesi dei risultati delle verifiche (Coefficienti di Sicurezza R_d/E_d).

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione-1 (ECC)	1,615	3,39
Combinazione-2 (ECC)	7,08	15,50
Combinazione-3 (STR)	1,00	2,23
Combinazione-4 (STR)	4,93	10,50
Combinazione-5 (SLV)	10,97	8,72

Tabella 16 - Coefficienti di sicurezza del cassone

Nel seguito sono riportati i dati relativi al calcolo delle azioni e i risultati delle verifiche. Si evidenzia che tutte le verifiche di stabilità fanno riferimento all'intero cassone.

GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}}=$	13,40	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}}=$	13,00	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}}=$	1,00	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}}=$	15,40	m
Lunghezza complessiva solettone	$L_{\text{solettone}}=$	14,00	m
Altezza solettone	$H_{\text{S}}=$	0,60	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}}=$	129,36	m ³

	<i>n. celle</i>	<i>Area singola cella [m²]</i>	<i>Area celle [m²]</i>
Celle fila 1 (prima cella)	1	11,36	11,36
Celle fila 1 (seconda cella)	1	11,10	11,1
Celle fila 1 (terza cella)	1	11,36	11,36
Celle fila 2 (prima cella)	1	11,96	11,96
Celle fila 2 (seconda cella)	1	11,64	11,64
Celle fila 2 (terza cella)	1	11,96	11,96
Celle fila 3 (prima cella)	1	11,96	11,96
Celle fila 3 (seconda cella)	1	11,64	11,64
Celle fila 3 (terza cella)	1	11,96	11,96
Celle fila 4 (prima cella)	1	11,36	11,36
Celle fila 4 (seconda cella)	1	11,10	11,1
Celle fila 4 (terza cella)	1	11,36	11,36
Area totale celle			138,76

Area fusto con celle (<i>da CAD - senza chiavi</i>)	174,20	m ²
Area celle	138,76	m ²
Area fusto al netto delle celle	35,44	m ²

Area fusto	$A_{\text{fusto}}=$	35,44	m ²
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}}=$	6,90	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}}=$	244,54	m ³

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}}=V_{\text{solettone}}+V_{\text{fusto}}$	373,90	m ³
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G=$	2,75	m
Braccio da O_M	$br_{iOM}=$	7,70	m

Cassone al netto della finestratura

Larghezza finestra parete corta di testa	$B_{\text{finestra, par}}=$	0,00	m
Altezza finestra parete corta di testa	$H_{\text{finestra, par}}=$	0,00	m
n° finestre parete	$n_{\text{finestra, par}}=$	0	-
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}}=$	0,00	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestre, est}}=$	0,00	m ³
Braccio finestre parete da O_M	$br_{\text{fin parete, OM}}=$	7,70	m
Altezza baricentro delle finestre parete (<i>da CAD</i>)	$Z_G=$	0,00	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}}=$	373,90	m ³
Braccio cassone da O_M	$X_{GOM}=$	7,70	m
Altezza baricentro	$Z_G=$	2,75	m

RIEMPIMENTO CASSONE

Riempimento celle

	Area [m ²]	Y da O _M [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Celle fila 1 (prima cella)	11,36	2,86	0,00	6,90	0,00
Celle fila 1 (seconda cella)	11,10	2,86	0,00	6,90	0,00
Celle fila 1 (terza cella)	11,36	2,86	0,00	6,90	0,00
Celle fila 2 (prima cella)	11,96	6,06	0,00	6,90	0,00
Celle fila 2 (seconda cella)	11,64	6,06	0,00	6,90	0,00
Celle fila 2 (terza cella)	11,96	6,06	0,00	6,90	0,00
Celle fila 3 (prima cella)	11,96	9,34	0,00	6,90	0,00
Celle fila 3 (seconda cella)	11,64	9,34	0,00	6,90	0,00
Celle fila 3 (terza cella)	11,96	9,34	0,00	6,90	0,00
Celle fila 4 (prima cella)	11,36	12,54	0,00	6,90	0,00
Celle fila 4 (seconda cella)	11,10	12,54	0,00	6,90	0,00
Celle fila 4 (terza cella)	11,36	12,54	0,00	6,90	0,00

	Volume [m ³]	Y da O _M [m]	Z da O _M [m]
Riempimento inerte	0,00	4,50	0,60
Cls	957,44	2,25	2,03
Acqua	0,00	4,50	7,50

Sovrastuttura in c.a.

Altezza sovrastruttura incluso getto di complet. (da CAD)	H _{sovrast} =	1,40	m
Sezione trasv. vert. Sovrastuttura (da CAD)	A _{sovrast} =	18,2	m ²
Volume sovrastruttura	V _{sovrast} =	243,88	m ³
Braccio da O _M (da CAD)	brs _{OM} =	7,70	m
Altezza baricentro della sovrastruttura (da CAD)	Z _G =	8,20	m

Altezza immersa cassone (da CAD)	H _{immersa} =	7,00	m
Altezza totale cassone	H _{cassone} =	7,50	m

TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME

Peso unità volume acqua di mare	γ _w	10,10	kN/m ³
Peso unità volume c.a.	γ _{c.a.}	25,00	kN/m ³
Peso unità volume c.i.s.	γ _{cls}	24,00	kN/m ³
Peso unità volume zavorra	γ _{zav}	10,10	kN/m ³
Peso unità volume riempimento	γ _{riemp}	19,00	kN/m ³

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m ³]	Peso [kN]	Z _G [m]	X _{G1} rispetto a O _P [m]	X _{G1} rispetto a O _M [m]
Peso cassone asciutto	373,90	9 347,40	2,75	7,70	7,70
Riempimento calcestruzzo	957,44	22 978,66	2,03	13,15	2,25
Acqua all'interno delle celle	0,00	0,02	7,50	10,90	4,50
Sovrastuttura	243,88	6 097,00	8,20	7,70	7,70
CASSONE ASCIUTTO		38 423,08	3,18	10,96	4,44
Spinta idrostatica	1 244,24	-12 566,82	3,44	7,70	7,70
CASSONE IMMERSO	--	25 856,26	3,06	12,54	2,86

SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	q	[kN/m ²]	20,00
Larghezza (al netto del muro paraonde)	B	[m]	8,60
Lunghezza sovrastr	L	[m]	13,34
Sovraccarico totale	Q	[kN]	2 294,48
Distanza orizzontale baricentro da O _M (braccio)	b	[m]	5,00

TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	t	[kN/m]	29,99
Tiro alla bitta totale	T	[kN]	400,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	Z_T	[m]	8,90

AZIONI SISMICHE

Vita Nominale	V_N	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	C_U	-	1,5
Periodo di Riferimento Sisma	V_R	anni	75
Tempo di Ritorno	T_R	anni	712
Accelerazione sismica al bed rock	a_g	[g]	0,066
Parametro Spettro	F_0	-	3,004
Categoria Sottosuolo		-	C
Coeff. di Amplificazione Stratigrafica	S_S	[-]	1,50
Coeff. di Amplificazione Topografica	S_T	[-]	1,00
Accelerazione orizzontale max	a_{max}	[g]	0,099
Riduzione accelerazione max	β_m	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	k_h	[-]	0,038
Coefficiente sismico verticale	k_v	[-]	0,019

SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	γ_w	[kN/m ³]	10,10
	H_w	[m]	7,00
Spinta idrodinamica	F_{sw}	[kN]	158,13
Distanza verticale da piano posa (braccio)	Z_{sw}	[m]	4,20

FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA

Cassone

Peso cassone in opera	W	[kN]	38 423,08
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	F_o	[kN]	1 445,48
braccio forza sismica orizzontale	Z_G	[m]	3,18
Forza di massa verticale indotta dal sisma	F_v	[kN]	722,74
braccio forza sismica verticale	X_{GOM}	[m]	4,44

FORZA INDOTTA DAL SISMA SU SOVRACCARICO SUL CASSONE

Peso sovraccarico	Q	[kN]	2 294,48
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	F_o	[kN]	86,32
braccio forza sismica orizzontale	Z_G	[m]	8,90
Forza di massa verticale indotta dal sisma	F_v	[kN]	43,16
braccio forza sismica verticale	X_{GOM}	[m]	5,00

AZIONE DEL MOTO ONDOSO

CRESTA D'ONDA (TR=100 ANNI)

GEOMETRIA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	γ	KN/m ³	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	8,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	h_c	m	1,90
Tirante idrico ad una distanza di $5H_{1/3}$ dalla diga	h_b	m	9,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	5,80
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	h'	m	7,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	θ	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	14,40

CARATTERISTICHE DELL'ONDA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	β'	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	β	radianti	0,00
Periodo di Picco	T	s	13,37
Altezza d'onda media del terzo più alto	$H_{1/3}$	m	3,66
Coefficiente di riflessione	C_r	-	1,00
	$H'_{1/3}$	m	3,66
Lunghezza dell'onda	L	m	121,38
Numero d'onda	k	-	0,052
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	H_f	m	10,74
Altezza d'onda incidente	H	m	6,59

CALCOLO DI α_1 , α_2 , α_3 ed η^*

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	α_1	-	1,00
1° termine di confronto per il calcolo di α_2	-	-	0,15
2° termine di confronto per il calcolo di α_2	-	-	1,76
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	α_2	-	0,15
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa sulla berma	α_3	-	0,93
Quota del punto dove si annulla la pressione	η^*	m	9,88

CALCOLO DELLE PRESSIONI

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	p_1	KN/m ²	76,70
Pressione in sommità dell'opera	p_2	KN/m ²	61,95
Pressione al piede dell'opera	p_3	KN/m ²	71,33
Pressione sulla base della diga	p_4	KN/m ²	61,87

CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da p_1 a p_2	131,72	7,92
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da p_3 a p_1	518,10	3,54
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	649,82	4,43

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	649,82
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	8 447,71
Braccio rispetto al piano di posa	m	4,43
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	489,99
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	6 369,89
Braccio rispetto a O_T	m	9,16

CAVO D'ONDA (TR=100 ANNI)

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,80
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	14,40
m, larghezza piede cassone	[m]	1,00
hpiede	[m]	0,60

H_s	[m]	3,66
C_r	[-]	1,00
H'_s	[m]	3,66
ss, storm surge	[m]	0,00
em, escursione di marea	[m]	0,00
γ_w	[kN/m ³]	10,10

$H_{1/100}$	[m]	6,11
L	[m]	121,38
$k=2\pi/L$		0,05

			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB				
d	h'	η'	p_1	p_3	p_4	F_1	F_2	F_{tot}	S_w	b_1	b_2	b_{ris}	b_w	
[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
5,80	7,00	2,80	28,23	71,36	66,73	39,46	209,38	248,85	528,50	5,14	1,80	2,33	9,16	
						max	248,85	528,50					2,33	9,16

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	$F_{tot,unit}$	kN/m	248,85
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F_{tot}	kN	3 234,99
Braccio rispetto al piano di posa	b_{ris}	m	2,33
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	$S_{w,unit}$	kN/m	528,50
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	$S_{w,tot}$	kN	6 870,49
Braccio rispetto a O_T	b_w	m	9,16

CRESTA D'ONDA (TR=25 ANNI)

AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO IN FASE DI CRESTA (GODA) *direzione trasversale*

GEOMETRIA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	γ	KN/m ³	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	8,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	h_c	m	1,90
Tirante idrico ad una distanza di $5H_{1/3}$ dalla diga	h_b	m	9,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	5,80
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	h'	m	7,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	θ	gradi	0,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	14,40

CARATTERISTICHE DELL'ONDA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	β'	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	β	radianti	0,00
Periodo di Picco	T	s	12,90
Altezza d'onda media del terzo più alto	$H_{1/3}$	m	3,30
Coefficiente di riflessione	C_r	-	1,00
	$H'_{1/3}$	m	3,30
Lunghezza dell'onda	L	m	116,80
Numero d'onda	k	-	0,054
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	H_f	m	7,04
Altezza d'onda incidente	H	m	5,94

CALCOLO DI α_1 , α_2 , α_3 ed η^*

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	α_1	-	0,99
1° termine di confronto per il calcolo di α_2	-	-	0,12
2° termine di confronto per il calcolo di α_2	-	-	1,95
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	α_2	-	0,12
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa	α_3	-	0,92
Quota del punto dove si annulla la pressione	η^*	m	8,91

CALCOLO DELLE PRESSIONI

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	p_1	KN/m ²	67,02
Pressione in sommità dell'opera	p_2	KN/m ²	52,73
Pressione al piede dell'opera	p_3	KN/m ²	61,98
Pressione sulla base della diga	p_4	KN/m ²	55,09
NOTA: La pressione si annulla alla quota $n^* < h_c$	η^*	m	8,91

CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da p_1 a p_2	113,77	7,91
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da p_3 a p_1	451,53	3,55
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	565,30	4,42

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	565,30
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	7 348,84
Braccio rispetto al piano di posa	m	4,42
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	436,28
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	5 671,70
Braccio rispetto a O_T	m	9,16

CAVO D'ONDA (TR=25 ANNI)

Geometria cassone

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,80
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	14,40
m, larghezza piede cassone	[m]	1,00
hpiede	[m]	0,60

H_s	[m]	3,30
C_r	[-]	1,00
H'_s	[m]	3,30
ss, storm surge	[m]	0,00
em, escursione di marea	[m]	0,00
γ_w	[kN/m ³]	10,10

$H_{1/100}$	[m]	5,51
L	[m]	116,80
$k=2\pi/L$	[-]	0,05

Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
d	h'	η'	p_1	p_3	p_4	F_1	F_2	F_{tot}	S_w	b_1	b_2	b_{ris}	b_w
[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
5,80	7,00	2,81	28,37	62,97	58,88	39,83	191,41	231,24	466,31	5,13	1,83	2,40	9,16
						max	231,24	466,31					
										2,40		9,16	

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	$F_{tot,unit}$	kN/m	231,24
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F_{tot}	kN	3 006,13
Braccio rispetto al piano di posa	b_{ris}	m	2,40
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	$S_{w,unit}$	kN/m	466,31
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	$S_{w,tot}$	kN	6 061,99
Braccio rispetto a O_T	b_w	m	9,16

TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI

DESCRIZIONE AZIONE		FORZA [kN]	Z _{Gi} [m]	X _{Gi} da O _M [m]	X _{Gi} da O _P [m]
CASSONE IN OPERA		25 856,26	3,06	2,86	12,54
SOVRACCARICO SU CASSONE		2 294,48	x	5,00	10,40
TIRO ALLA BITTA		400,00	8,90	x	x
CRESTA D'ONDA Tr=100 anni	(spinta orizzontale)	8 447,71	4,43	x	x
	(sottospinta)	6 369,89	x	6,24	9,16
CAVO D'ONDA Tr=100 anni	(spinta orizzontale)	3 234,99	2,33	x	x
	(sottospinta)	6 870,49	x	6,24	9,16
CRESTA D'ONDA Tr=25 anni	(spinta orizzontale)	7 348,84	4,42	x	x
	(sottospinta)	5 671,70	x	6,24	9,16
CAVO D'ONDA Tr=25 anni	(spinta orizzontale)	3 006,13	2,40	x	x
	(sottospinta)	6 061,99	x	6,24	9,16
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	1 445,48	3,18	x	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	722,74	x	4,44	10,96
	Spinta idrodinamica	158,13	4,20	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	86,32	8,90	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	43,16	x	5,00	10,40

COMBINAZIONI DI CARICO

- Combinazione-1 (ECC)* Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
- Combinazione-2 (ECC)* Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
- Combinazione-3 (STR)* Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
- Combinazione-4 (STR)* Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
- Combinazione-5 (SLV)* Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

VERIFICHE A SCORRIMENTO

VERIFICA A SCORRIMENTO (Approccio 2 (A1+M1+R3))

Combinazione-1 (ECC)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	25 856,26	1,00	-	25 856,26
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	8 447,71	1,00	-	8 447,71
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	6 369,89	1,00	-	6 369,89
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	2 294,48	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	19 486,37
Coeff. Attrito	[-]	0,70
Coeff. Parziale resistenza γ_R	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	13 640,46
Forza mobilitante	[kN]	8 447,71
Resistenza/Azione	[-]	1,615

Combinazione-2 (ECC)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	25 856,26	1,00	-	25 856,26
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	3 234,99	1,00	-	3 234,99
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	6 870,49	1,00	-	6 870,49
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	2 294,48	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	32 726,75
Coeff. Attrito	[-]	0,70
Coeff. Parziale resistenza γ_R	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	22 908,73
Forza mobilitante	[kN]	3 234,99
Resistenza/Azione	[-]	7,08

Combinazione-3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	25 856,26	1,00	-	25 856,26
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	7 348,84	1,50	-	11 023,26
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	5 671,70	1,50	-	8 507,55
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	2 294,48	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	17 348,71
Coeff. Attrito	[-]	0,70
Coeff. Parziale resistenza γ_R	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	11 040,09
Forza mobilitante	[kN]	11 023,26
Resistenza/Azione	[-]	1,00

Combinazione-4 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	25 856,26	1,00	-	25 856,26
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	3 006,13	1,50	-	4 509,20
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	6 061,99	1,50	-	9 092,99
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	2 294,48	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	34 949,25
Coeff. Attrito	[-]	0,70
Coeff. Parziale resistenza γ_R	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	22 240,43
Forza mobilitante	[kN]	4 509,20
Resistenza/Azione	[-]	4,93

Combinazione-5 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{2i})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	25 856,26	-	-	25 856,26
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	1 445,48	-	-	1 445,48
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	722,74	-	-	722,74
Spinta idrodinamica	kN	158,13	-	-	158,13

Risultante forze verticali	[kN]	25 133,52
Coeff. Attrito	[-]	0,70
Coeff. Parziale resistenza γ_R	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	17 593,46
Forza mobilitante	[kN]	1 603,61
Resistenza/Azione	[-]	10,97

VERIFICHE A RIBALTAMENTO

Combinazione-1 (ECC)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_r

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	25 856,26	12,54	324 325,48	1,00	-	324 325,48
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	8 447,71	4,43	37 414,40	1,00	-	37 414,40
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	6 369,89	9,16	58 371,32	1,00	-	58 371,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	10,40	23 862,59	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,00
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	324 325,48
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	95 785,72
Resistente/Azione	M_{res}/M_{rib}	[kNm]	3,386

Combinazione-2 (ECC)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_m

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	25 856,26	2,86	73 860,88	1,00	-	73 860,88
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	3 234,99	2,33	7 531,41	1,00	-	7 531,41
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	6 870,49	6,24	42 846,89	1,00	-	42 846,89
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,00
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	116 707,77
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	7 531,41
Resistente/Azione	M_{res}/M_{rib}	[kNm]	15,50

Combinazione-3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_r

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	25 856,26	12,54	324 325,48	1,00	-	324 325,48
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	7 348,84	4,42	32 514,15	1,50	-	48 771,22
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	5 671,70	9,16	51 973,38	1,50	-	77 960,08
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	10,40	23 862,59	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,15
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	282 022,15
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	126 731,30
Resistente/Azione	M_{res}/M_{rib}	[kNm]	2,225

Combinazione-4 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_m

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	25 856,26	2,86	73 860,88	1,00	-	73 860,88
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	3 006,13	2,40	7 211,58	1,50	-	10 817,36
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	6 061,99	6,24	37 804,79	1,50	-	56 707,19
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,15
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	113 537,45
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	10 817,36
Resistente/Azione	M_{res}/M_{rib}	[kNm]	10,50

Combinazione-5 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{\alpha}$)	Coeff. Combin. (ψ_{2i})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	25 856,26	2,86	73 860,88	-	-	73 860,88
Azione Sismica orizzontale su Cassone	1 445,48	3,18	4 599,30	-	-	4 599,30
Azione Sismica verticale su Cassone	722,74	4,44	3 209,46	-	-	3 209,46
Spinta idrodinamica	158,13	4,20	664,15	-	-	664,15

Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,00
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	73 860,88
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	8 472,91
Resistente/Azione	M_{res}/M_{rib}	[kNm]	8,72

6.1 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento

Per la verifica di schiacciamento dell'imbasamento si è considerato un valore di tensione verticale efficace massima ammissibile pari a 500 kN/m^2 .

Nelle combinazioni di carico, al contrario delle verifiche a scorrimento e a ribaltamento, è stato considerato il sovraccarico sui cassoni, per massimizzare le tensioni all'interfaccia imbasamento-fondazione.

Sono state considerate le seguenti combinazioni:

<i>Combinazione-1 (ECC)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-2 (ECC)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-3 (STR)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-4 (STR)</i>	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
<i>Combinazione-5 (SLV)</i>	Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Le seguenti tabelle riportano le sintesi dei risultati delle verifiche eseguite: con sovraccarico di banchina; senza sovraccarico di banchina.

CON SOVRACCARICO DI BANCHINA

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	σ'_{\max} [kN/m ²]	σ'_{\min} [kN/m ²]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
Combinazione-1 (ECC)	16 507,72	5 609,67	1,69	9,92	256,06	0,00
Combinazione-2 (ECC)	21 891,90	2 538,23	0,39	10,00	207,58	129,22
Combinazione-3a (STR)	16 344,29	7 511,86	2,29	8,14	308,73	0,00
Combinazione-3b (STR)	21 618,53	7 511,86	1,73	9,82	338,79	0,00
Combinazione-4a (STR)	23 624,41	3 572,42	0,51	10,00	237,31	126,14
Combinazione-4b (STR)	28 898,65	3 572,42	0,42	10,00	277,88	166,71
Combinazione-5 (SLV)	17 783,10	1 130,24	0,30	10,00	161,70	111,88

SENZA SOVRACCARICO DI BANCHINA

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	σ'_{max} [kN/m ²]	σ'_{min} [kN/m ²]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
Combinazione-1 (ECC)	14 901,58	5 609,67	1,88	9,37	244,66	0,00
Combinazione-2 (ECC)	20 285,76	2 538,23	0,42	10,00	195,22	116,86
Combinazione-3a (STR)	13 935,09	7 511,86	2,68	6,96	308,06	0,00
Combinazione-3b (STR)	19 209,33	7 511,86	1,94	9,17	322,38	0,00
Combinazione-4a (STR)	21 215,21	3 572,42	0,57	10,00	218,78	107,61
Combinazione-4b (STR)	26 489,45	3 572,42	0,45	10,00	259,35	148,18
Combinazione-5 (SLV)	17 107,70	1 104,34	0,30	10,00	155,37	107,82

Di seguito i dettagli sulle verifiche.

VERIFICHE CON SOVRACCARICO DI BANCHINA

Combinazione-1 (ECC) Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_T

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	5 609,67	4,64	26 015,11	1,00	-	5 609,67	26 015,11
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	2 679,23	5,73	15 344,68	1,00	-	2 679,23	15 344,68
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,70	1 606,14	8 030,68

Risultante forze verticali	N'	[kN]	16 507,72
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	5 609,67
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	95 934,72
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	41 359,79
Eccentricità	e	[m]	1,69
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	9,92
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	256,06
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-2 (ECC) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda ($T_r=100$ anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_m

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 538,23	2,57	6 521,74	1,00	-	2 538,23	6 521,74
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 704,95	4,27	11 557,52	1,00	-	2 704,95	11 557,52
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,70	1 606,14	8 030,68

Risultante forze verticali	N'	[kN]	21 891,90
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2 538,23
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	107 492,24
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	6 521,74
Eccentricità	e	[m]	0,39
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	207,58
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	129,22

Combinazione-3a (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_r

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA DONDA	5 007,91	4,62	23 131,78	1,50	-	7 511,86	34 697,67
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	2 430,48	5,73	13 920,03	1,50	-	3 645,72	20 880,05
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,50	0,70	2 409,20	12 046,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	16 344,29
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	7 511,86
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	99 950,06
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	55 577,72
Eccentricità	e	[m]	2,29
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	8,14
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	308,73
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-3b (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_r

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,30	-	22 855,05	114 275,26
Momento Ribaltante	5 007,91	4,62	23 131,78	1,50	-	7 511,86	34 697,67
Resistente/Azione	2 430,48	5,73	13 920,03	1,50	-	3 645,72	20 880,05
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,50	0,70	2 409,20	12 046,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	21 618,53
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	7 511,86
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	126 321,28
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	55 577,72
Eccentricità	e	[m]	1,73
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	9,82
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	338,79
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-4a (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda + Sovraccarico

Ribalamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0d})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 381,61	2,63	6 266,53	1,50	-	3 572,42	9 399,79
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 422,93	4,27	10 352,53	1,50	-	3 634,40	15 528,80
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,50	0,70	2 409,20	12 046,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	23 624,41
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3 572,42
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	115 478,86
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	9 399,79
Eccentricità	e	[m]	0,51
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	237,31
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	126,14

Combinazione-4b (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda + Sovraccarico

Ribalamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0d})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,30	-	22 855,05	114 275,26
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 381,61	2,63	6 266,53	1,50	-	3 572,42	9 399,79
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 422,93	4,27	10 352,53	1,50	-	3 634,40	15 528,80
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,50	0,70	2 409,20	12 046,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	28 898,65
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3 572,42
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	141 850,07
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	9 399,79
Eccentricità	e	[m]	0,42
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	277,88
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	166,71

Combinazione-5 (SLV) Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (γ_G, γ_Q)	Coeff. Combin. (ψ_{2i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	-	-	17 580,81	87 904,04
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	-	0,30	688,34	3 441,72
Spinta idrodinamica	158,13	4,20	664,15	-	-	158,13	664,15
Azione Sismica orizzontale su Cassone	946,21	4,74	4 486,88	-	-	946,21	4 486,88
Azione Sismica verticale su Cassone	473,10	5,00	2 365,52	-	-	473,10	2 365,52
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	86,32	9,50	820,02	-	0,30	25,90	246,01
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	43,16	5,00	215,80	-	0,30	12,95	64,74

Risultante forze verticali	N'	[kN]	17 783,10
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1 130,24
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	91 345,76
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	7 827,29
Eccentricità	e	[m]	0,30
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ^+_{max}	[kPa]	161,70
tensione verticale efficace minima	σ^+_{min}	[kPa]	111,88

VERIFICHE SENZA SOVRACCARICO DI BANCHINA

Combinazione-1 (ECC) Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda ($T_r=100$ anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_T

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	5 609,67	4,64	26 015,11	1,00	-	5 609,67	26 015,11
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	2 679,23	5,73	15 344,68	1,00	-	2 679,23	15 344,68
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	14 901,58
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	5 609,67
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	87 904,04
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	41 359,79
Eccentricità	e	[m]	1,88
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	9,37
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	244,66
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-2 (ECC) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda ($T_r=100$ anni) + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 538,23	2,57	6 521,74	1,00	-	2 538,23	6 521,74
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 704,95	4,27	11 557,52	1,00	-	2 704,95	11 557,52
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,0	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	20 285,76
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2 538,23
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	99 461,56
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	6 521,74
Eccentricità	e	[m]	0,42
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	195,22
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	116,86

Combinazione-3a (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda

Ribalamento rispetto a O_T

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{G1}; \gamma_{Q1}$)	Coeff. Combin. (ψ_{01})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	5 007,91	4,62	23 131,78	1,50	-	7 511,86	34 697,67
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	2 430,48	5,73	13 920,03	1,50	-	3 645,72	20 880,05
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	13 935,09
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	7 511,86
Momento Resistente	M_{RES}	[kNm]	87 904,04
Momento Ribaltante	M_{RIB}	[kNm]	55 577,72
Eccentricità	e	[m]	2,68
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,96
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	308,06
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-3b (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda

Ribalamento rispetto a O_T

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{G1}; \gamma_{Q1}$)	Coeff. Combin. (ψ_{01})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,30	-	22 855,05	114 275,26
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	5 007,91	4,62	23 131,78	1,50	-	7 511,86	34 697,67
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	2 430,48	5,73	13 920,03	1,50	-	3 645,72	20 880,05
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	19 209,33
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	7 511,86
Momento Resistente	M_{RES}	[kNm]	114 275,26
Momento Ribaltante	M_{RIB}	[kNm]	55 577,72
Eccentricità	e	[m]	1,94
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	9,17
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	322,38
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	0,00

Combinazione-4a (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda

Ribalamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{G1}; \gamma_{Q1}$)	Coeff. Combin. (ψ_{01})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,00	-	17 580,81	87 904,04
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 381,61	2,63	6 266,53	1,50	-	3 572,42	9 399,79
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 422,93	4,27	10 352,53	1,50	-	3 634,40	15 528,80
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,0	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	21 215,21
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3 572,42
Momento Resistente	M_{RES}	[kNm]	103 432,84
Momento Ribaltante	M_{RIB}	[kNm]	9 399,79
Eccentricità	e	[m]	0,57
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ'_{max}	[kPa]	218,78
tensione verticale efficace minima	σ'_{min}	[kPa]	107,61

Combinazione-4b (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda

Ribaltamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{0d})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	1,30	-	22 855,05	114 275,26
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	2 381,61	2,63	6 266,53	1,50	-	3 572,42	9 399,79
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	2 422,93	4,27	10 352,53	1,50	-	3 634,40	15 528,80
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	1,00	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	26 489,45
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3 572,42
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	129 804,05
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	9 399,79
Eccentricità	e	[m]	0,45
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ^+_{max}	[kPa]	259,35
tensione verticale efficace minima	σ^-_{min}	[kPa]	148,18

Combinazione-5 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a O_M

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qd}$)	Coeff. Combin. (ψ_{2d})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	17 580,81	5,00	87 904,04	-	-	17 580,81	87 904,04
SOVRACCARICO SU CASSONE	2 294,48	5,00	11 472,40	-	0,00	0,00	0,00
Spinta idrodinamica	158,13	4,20	664,15	-	-	158,13	664,15
Azione Sismica orizzontale su Cassone	946,21	4,74	4 486,88	-	-	946,21	4 486,88
Azione Sismica verticale su Cassone	473,10	5,00	2 365,52	-	-	473,10	2 365,52
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	86,32	9,50	820,02	-	0,00	0,00	0,00
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	43,16	5,00	215,80	-	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	17 107,70
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1 104,34
Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	87 904,04
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	7 516,55
Eccentricità	e	[m]	0,30
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	10,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	13,00
tensione verticale efficace massima	σ^+_{max}	[kPa]	155,37
tensione verticale efficace minima	σ^-_{min}	[kPa]	107,82

6.2 Verifiche della capacità portante del sistema terreno-cassone

Le verifiche della capacità portante del sistema terreno-fondazione sono state eseguite con riferimento alla combinazione A1+M1+R3 secondo l'Approccio 2.

Il calcolo della resistenza di progetto R_d è stata eseguita con la nota formula di Brinch Hansen (1970) utilizzando i parametri geotecnici caratteristici di progetto (M1). I cassoni sono stati assimilati ad un'opera di sostegno considerando valori del coefficiente riduttivo globale g_R pari ad 1,4 (Combinazione A1+M1+R3).

In base alle condizioni stratigrafiche medie, le verifiche della capacità portante sono state riferite al caso di fondazione su terreno "granulare", e sono state eseguite in termini di tensioni efficaci assumendo i corrispondenti parametri geotecnici di resistenza al taglio caratteristici.

La capacità portante è stata calcolata con la ben nota formula di Brinch Hansen e le verifiche sono state riferite al singolo cassone sottoposto alle combinazioni di carico riportate successivamente.

Nel caso di fondazione su terreno "granulare" il carico limite è dato da:

$$q_{ult} = \gamma' DN_q s_q d_q i_q b_q g_q + \frac{1}{2} \gamma' B^* N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma}$$

Per tener conto dell'eccentricità e della risultante dei carichi, il valore della larghezza B da introdurre nel calcolo della capacità portante è quello relativo all'area effettiva equivalente, la minima superficie ridotta rispetto alla quale la risultante risulta centrata.

A partire dai valori dell'eccentricità nella direzione di B , $e_B = M_b/N$, la larghezza "fittizia" da adottare nel calcolo della capacità portante è pari a:

$$B' = B - 2 \cdot e \quad (\text{Meyerhof, 1953})$$

Nei calcoli lo strato più superficiale costituito dallo scanno di imbasamento di pietrame 50 cm è considerato come strato di ripartizione con angolo di diffusione pari a ϕ' , per cui la larghezza della fondazione è pari a $B' = B + 2 \cdot h \cdot \tan(\phi')$.

Trattandosi di terreno stratificato si è operato come segue:

- determinazione della profondità $H = \frac{B'}{2} \tan\left(45 + \frac{\phi_1}{2}\right)$;
- se $H < d_1$ si considera soltanto lo strato più superficiale;
- se $H > d_1$ si determinano le seguenti caratteristiche meccaniche fittizie:

$$\gamma' = \frac{d_1 \gamma'_1 + (H - d_1) \gamma'_2}{H} \quad c' = \frac{d_1 c_1 + (H - d_1) c_2}{H} \quad \phi' = \frac{d_1 \phi_1 + (H - d_1) \phi_2}{H}$$

Le combinazioni di carico (di seguito illustrate) sono state definite sia considerando che trascurando il sovraccarico sul cassone.

La determinazione dei risultanti in fondazione con sovraccarico è riportata nelle Relazioni tecniche di verifica di stabilità dei cassoni cellulari, a proposito delle verifiche a schiacciamento. La determinazione dei risultanti “senza sovraccarico” è invece riportata in Appendice.

La campagna di indagini geognostiche eseguita ha previsto l'esecuzione di due sondaggi offshore (ST1 e ST2) a profondità di -8,00 m e -7,00 m s.l.m.m. con lunghezza pari a 23 m e 22 m dal l.m.m. con numerose prove SPT e prelievo di campioni a varie profondità. La stratigrafia riscontrata consiste in un'alternanza di livelli di ghiaia piroclastica, sabbia e ciottoli con vario grado di addensamento.

Per le verifiche è stata assunta la seguente schematizzazione stratigrafica, assai cautelativa consistente in uno strato omogeneo con le seguenti caratteristiche geotecniche:

Peso dell'unità di volume saturo	γ	[kN/m ³]	19,00
Coesione intercetta	c'	[kN/m ²]	0,00
Angolo di resistenza a taglio	ϕ'	[°]	38,00

Tabella 17 – Verifiche a carico limite: parametri geotecnici di calcolo

In tutti i casi sono risultati coefficienti di sicurezza superiori a $\gamma_R=1,40$.

Combinazione-1 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
Combinazione-2 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
Combinazione-3 (STR)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-4 (STR)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-5 (SLV)	Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

COMBINAZIONE	N'	R	e	VER. CARICO LIMITE
	[kN]	[kN]	[m]	q_{limd}/q_{es}
Combinazione-1 (ECC)	16 507,72	5 609,67	1,69	5,82
Combinazione-2 (ECC)	21 891,90	2 538,23	0,39	14,87
Combinazione-3a (STR)	16 344,29	7 511,86	2,29	2,61
Combinazione-3b (STR)	21 618,53	7 511,86	1,73	4,25
Combinazione-4a (STR)	23 624,41	3 572,42	0,51	11,98
Combinazione-4b (STR)	28 898,65	3 572,42	0,42	10,92
Combinazione-5 (SLV)	17 783,10	1 130,24	0,30	21,73

Tabella 18 – Verifiche a carico limite: Combinazioni di carico con sovraccarico – sintesi dei risultati

COMBINAZIONE	N'	R	e	VER. CARICO LIMITE
	[kN]	[kN]	[m]	q_{limd}/q_{es}
Combinazione-1 (ECC)	14 901,58	5 609,67	1,88	5,11
Combinazione-2 (ECC)	20 285,76	2 538,23	0,42	15,49
Combinazione-3a (STR)	13 935,09	7 511,86	2,68	1,60
Combinazione-3b (STR)	19 209,33	7 511,86	1,94	3,61
Combinazione-4a (STR)	21 215,21	3 572,42	0,57	12,43
Combinazione-4b (STR)	26 489,45	3 572,42	0,45	11,40
Combinazione-5 (SLV)	17 107,70	1 104,34	0,30	22,54

Tabella 19 – Verifiche a carico limite: Combinazioni di carico senza sovraccarico – sintesi dei risultati

VERIFICA A CARICO LIMITE CD

CON SOVRACCARICO

Fondazione

B	[m]	10,00
L	[m]	14,00
D	[m]	0,00
ω	[°]	0,00

Imbasamento

h	[m]	1,00
φ'	[°]	40,00

Terreno 1 Terreno 2

γ'	[kN/m ³]	8,90	10,00
c'	[kN/m ²]	0,00	0,00
φ'	[°]	38,00	38,00
d _t	[m]	20,00	-

COMBINAZIONE		ECC	ECC	STR	STR	STR	STR	SLV
		1	2	3a	3b	4a	4b	5
ΣV	[kN]	16 507,72	21 891,90	16 344,29	21 618,53	23 624,41	28 898,65	17 783,10
ΣH	[kN]	5 609,67	2 538,23	7 511,86	7 511,86	3 572,42	3 572,42	1 130,24
e _B	[m]	1,69	0,39	2,29	1,73	0,51	0,42	0,30
e _L	[m]	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
B'	[m]	6,61	9,22	5,43	6,54	8,98	9,17	9,39
B*	[m]	8,29	10,90	7,11	8,22	10,66	10,84	11,07
L'	[m]	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Area fondaz.	[m ²]	116,06	152,64	99,51	115,12	149,22	151,83	155,00
q _{es}	[MPa]	0,14	0,14	0,16	0,19	0,16	0,19	0,11
q _H	[MPa]	0,05	0,02	0,08	0,07	0,02	0,02	0,01

H [m]	[m]	8,50	11,18	7,29	8,43	10,93	11,12	11,35
c' [kPa]	[kPa]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
φ' [°]	[°]	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00

K _p	[-]	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
N _q	[-]	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87
N _c	[-]	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27
N _{γ}	[-]	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93

Inclinazione del carico

ϑ [°]	[°]	18,77	6,61	24,68	19,16	8,60	7,05	3,64
m=m _b	[-]	1,63	1,56	1,66	1,63	1,57	1,56	1,56
β_a	[-]	0,51	0,82	0,36	0,50	0,77	0,81	0,90
β_c	[-]	0,50	0,82	0,35	0,49	0,77	0,81	0,90
β_γ	[-]	0,34	0,73	0,19	0,33	0,66	0,71	0,85

Forma della fondazione

ζ'_q	[-]	1,46	1,61	1,40	1,46	1,59	1,61	1,62
ζ'_c	[-]	1,47	1,62	1,40	1,47	1,61	1,62	1,63
ζ'_γ	[-]	0,76	0,69	0,80	0,77	0,70	0,69	0,68

Inclinazione della superficie del terreno

ζ''_q	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ζ''_c	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ζ''_γ	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

q _{lim}	[MPa]	0,83	2,13	0,43	0,80	1,90	2,08	2,49
------------------	-------	------	------	------	------	------	------	------

q _{limd} /q _{es}	[-]	5,82	14,87	2,61	4,25	11,98	10,92	21,73
η_{cp}	[-]	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
		LA VERIFICA E' SODDISFATTA						

Tabella 20 – Verifiche a carico limite: Combinazioni di carico con sovraccarico – calcoli di verifica

**VERIFICA A CARICO LIMITE CD
SENZA SOVRACCARICO**

Fondazione

B	[m]	10,00
L	[m]	14,00
D	[m]	0,00
ω	[°]	0,00

Imbasamento

h	[m]	1,00
φ'	[°]	40,00

		Terreno 1	Terreno 2
γ'	[kN/m ³]	8,90	10,00
c'	[kN/m ²]	0,00	0,00
φ'	[°]	38,00	38,00
d ₁	[m]	20,00	-

COMBINAZIONE		ECC	ECC	STR	STR	STR	STR	SLV
		1	2	3a	3b	4a	4b	5
ΣV	[kN]	14 901,58	20 285,76	13 935,09	19 209,33	21 215,21	26 489,45	17 107,70
ΣH	[kN]	5 609,67	2 538,23	7 511,86	7 511,86	3 572,42	3 572,42	1 104,34
e _B	[m]	1,88	0,42	2,68	1,94	0,57	0,45	0,30
e _L	[m]	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
B'	[m]	6,25	9,16	4,64	6,11	8,86	9,09	9,40
B*	[m]	7,93	10,84	6,32	7,79	10,54	10,77	11,08
L'	[m]	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Area fondaz.	[m ²]	110,95	151,78	88,45	109,05	147,60	150,77	155,06
q _{es}	[MPa]	0,13	0,13	0,16	0,18	0,14	0,18	0,11
q _H	[MPa]	0,05	0,02	0,08	0,07	0,02	0,02	0,01

H	[m]	8,12	11,11	6,48	7,99	10,81	11,04	11,35
c'	[kPa]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
φ'	[°]	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
K _p	[-]	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
N _q	[-]	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87
N _c	[-]	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27	61,27
N _{γ}	[-]	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93

Inclinazione del carico

ψ	[°]	20,63	7,13	28,33	21,36	9,56	7,68	3,69
m=m _b	[-]	1,64	1,56	1,69	1,64	1,57	1,57	1,56
β_q	[-]	0,46	0,81	0,27	0,44	0,75	0,80	0,90
β_c	[-]	0,45	0,81	0,26	0,43	0,74	0,79	0,90
β_γ	[-]	0,29	0,71	0,12	0,27	0,62	0,69	0,84

Forma della fondazione

ζ_q	[-]	1,44	1,61	1,35	1,43	1,59	1,60	1,62
ζ_c	[-]	1,45	1,62	1,36	1,44	1,60	1,61	1,63
ζ_γ	[-]	0,77	0,69	0,82	0,78	0,70	0,69	0,68

Inclinazione della superficie del terreno

ζ_q^*	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ζ_c^*	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ζ_γ^*	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

q _{lim}	[MPa]	0,69	2,07	0,25	0,64	1,79	2,00	2,49
------------------	-------	------	------	------	------	------	------	------

q _{lim} /q _{es}	[-]	5,11	15,49	1,60	3,61	12,43	11,40	22,54
η_{cp}	[-]	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40

LA VERIFICA E' SODDISFATTA							
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

COMBINAZIONE		ECC	ECC	STR	STR	STR	STR	SLV
		1	2	3a	3b	4a	4b	5
q _{lim}	[MPa]	0,69	2,07	0,25	0,64	1,79	2,00	2,49
q _{es}	[MPa]	0,13	0,13	0,16	0,18	0,14	0,18	0,11
q _{lim} /q _{es}	[-]	5,11	15,49	1,60	3,61	12,43	11,40	22,54

Tabella 21 – Verifiche a carico limite: Combinazioni di carico senza sovraccarico – calcoli di verifica

7 DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE AL PIEDE DELLA DIGA A PARETE VERTICALE

Tanimoto et al (1982) e successivamente Kimura et al (1994-1996) hanno sviluppato una metodologia che consente il dimensionamento della scogliera di protezione (mantella e berma) dell'imbasamento di una diga a parete verticale, basata su analisi teoriche suffragate da prove su modello fisico (con onde irregolari).

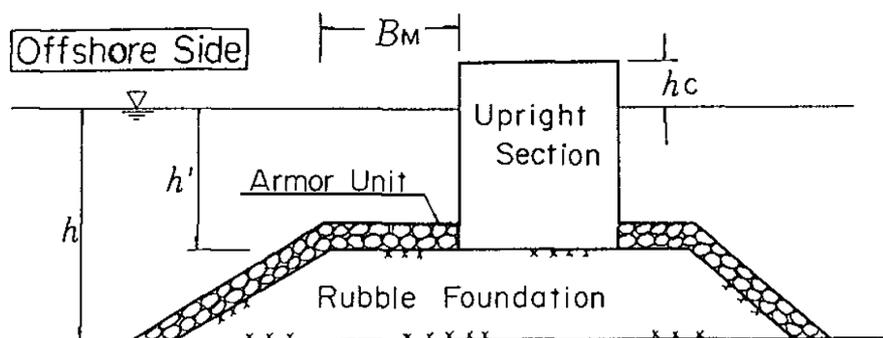


Figura 10 - Sezione tipologica - principali grandezze dimensionali

La metodologia proposta da Tanimoto et al. estende la collaudata formula di Hudson anche per le scogliere di fondazione dei cassoni:

$$W = \frac{\rho_s}{N_s^3 \cdot (\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1)} \cdot H_s^3$$

dove:

- ρ_{sm} peso specifico massi naturali;
- ρ_w peso specifico acqua di mare;
- H_s altezza significativa del moto ondoso di progetto calcolata al piede dell'opera
- T_p periodo di picco del moto ondoso;
- h' profondità di imbasamento dei cassoni;
- N_s Numero di stabilità; funzione delle caratteristiche del moto ondoso, delle dimensioni e della tipologia della scogliera; per massi naturali e con $N = 500$ onde e con un grado di danneggiamento della scogliera del 1% fornito dalla seguente relazione:

$$N_s = \max \left\{ 1.8; 1.3 \cdot \frac{1-k}{k^{1/3}} \cdot \frac{h'}{H_s} + 1.8 \cdot e^{-1.5 \cdot \frac{(1-k)^2}{k^{1/3}} \cdot \frac{h'}{H_s}} \right\} \quad \text{Per } B_M/L' < 0.25$$

Il parametro "k" dipende dalla velocità delle particelle in corrispondenza dello scanno di imbasamento (Kimura et al); per la sezione corrente si ha:

$$k = \frac{4\pi \cdot h'/L'}{\sinh(4\pi \cdot h'/L')} \cdot k_2$$

$$k_2 = \max \left\{ 0.45 \cdot \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \left(\frac{2\pi \cdot x}{L'} \cdot \cos \beta \right); \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \left(\frac{2\pi \cdot x}{L'} \cdot \cos \beta \right) \right\}$$

con

- β - angolo tra la direzione del moto ondoso incidente e la normale all'asse della diga;
- x - distanza tra la parete verticale ed il punto interessato sulla berma;
- L' - lunghezza dell'onda di progetto compatibile con la profondità del fondale h' .

Considerando una durata della mareggiata di almeno 3 ore, il numero di onde agenti sulla struttura è pari a circa 1000; di conseguenza il numero di stabilità della scogliera si riduce: $N_{s1000} = 0.96 \times N_{s500}$ (Sudo et al - 1995).

Per la sezione di testa si assume poi che il peso minimo sia pari a 1,3 volte quello minimo richiesto per la sezione corrente.

Nella *Tabella 22* sono riportati i calcoli per la determinazione del peso nominale di calcolo del masso, per la protezione al piede del cassone di testa. I risultati sono i seguenti:

- il peso nominale di calcolo è pari a 2,96 kN, si assumono massi da 30-70 kN.

Profondità imbasamento	h'	[m]	5,80
Lunghezza d'onda compatibile	L'	[m]	105,45
Angolo incidenza moto ondoso	b	[°]	0,00
Distanza parete ver. - berma	x	[m]	5,20
Parametro	k_2	[-]	0,093
Parametro	k	[-]	0,086
Altezza moto ondoso	H_s	[m]	3,30
Numero di stabilità	N_s	[-]	4,74
	N_{s1000}	[-]	4,55
Peso spec. Massi naturali	$\rho_{s,m}$	[kN/m ³]	25,00
Peso spec. Acqua di mare	ρ_w	[kN/m ³]	10,10
Peso nominale del masso di calcolo	W	[kN]	2,96
Pesi dei massi di progetto	W_{prog}	[kN]	30-70

Tabella 22 – Verifica della protezione al piede della diga a parete verticale