



Isole Egadi  
Comune di Favignana  
Provincia Regionale di Trapani

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA



PROGETTO ESECUTIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE

Ufficio di progettazione:

Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili  
Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche  
Sicilia - Calabria  
Ufficio 3 Tecnico e Opere Marittime per la Sicilia

Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Salvatore Caruso

**I PROGETTISTI:**

Dott. Ing. Leonardo Tallo

**Collaboratori:**

Geom. Francesco Daidone

**IL DIRIGENTE:**

Dott. Ing. Giovanni Coppola

Dott. Ing. Gianluca Marvuglia

Geom. Mario Lanzo

Dott. Ing. Giuseppe Scorsone

**Il Progettista delle strutture:**

**DUOMI S.r.l.**

Ing. Guglielmo Migliorino



Rev.	Data	Descrizione	Eseguito	Controllato	Approvato
1	11 DICEMBRE 2019	EMISSIONE REVISIONE 1	M.M.	M.M.	G.M.
0	21 MAGGIO 2019	EMISSIONE	-	-	-

Titolo elaborato :

**Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C**

DATA	DESCRIZIONE	N°/SIGLA	REV	SCALA
11/12/2019	EMISSIONE REVISIONE 1	P E - R S T C	1	-



## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....	4
3	NORMATIVE E ISTRUZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	7
4	MATERIALI .....	9
4.1	Calcestruzzo strutturale e non strutturale .....	9
4.2	Materiale di riempimento delle celle dei cassoni .....	9
4.3	Scanno d'imbasamento .....	9
5	AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO .....	10
5.1	Carico di banchina.....	10
5.2	Moto ondoso .....	11
5.2.1	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta.....	12
5.2.2	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo.....	13
5.2.3	Cassone di testa.....	14
5.3	Tiro alla bitta.....	15
5.4	Urti e forze di accosto trasmesse attraverso il parabordo .....	15
5.4.1	Urto da nave fuori controllo.....	15
5.5	Sisma .....	16
5.5.1	Spinta idrodinamica indotta dal sisma .....	19
5.5.2	Forze di massa indotte dal sisma .....	19
6	VERIFICHE DEI CASSONI.....	21
6.1	Verifiche di stabilità in fase di galleggiamento .....	21
6.1.1	Cassone tipo A.....	22
6.1.2	Cassoni tipo B e C.....	25
6.2	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione .....	27
6.2.1	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo A .....	31
6.2.1	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo B .....	51
6.2.1	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo C .....	69
6.3	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento .....	89
6.3.1	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo A .....	89
6.3.1	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo B .....	96



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

*- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C –*

---

6.3.1	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo C.....	102
-------	---	-----



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

*- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C –*

---

## **1 PREMESSA**

La presente relazione illustra le verifiche di stabilità dei Cassoni cellulari del tratto a parete verticale della nuova Diga Foranea di Favignana

Per tutte le tipologie di cassone sono state eseguite le verifiche di stabilità alla navigazione, alla traslazione, alla rotazione ed allo schiacciamento dell'imbasamento.

Le verifiche sono state eseguite secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed dalla normativa riportata nel par.3.



## 2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Il Progetto Esecutivo prevede la realizzazione della Nuova Diga Foranea, orientata in direzione sud-est/nord-ovest, costituita da n°15 cassoni cellulari in c.a. Si distinguono due tratti:

- Primo Tratto: a gettata, con muro di sponda interno costituito da n°11 cassoni tipo G, imbasati a - 6,00 m s.l.m.m.;
- Secondo Tratto: a parete verticale costituito da n°4 cassoni tipo A, B e C, di dimensioni maggiori rispetto al tipo G, imbasati a - 8,80 m s.l.m.m ed a - 12,00 m s.l.m.m..

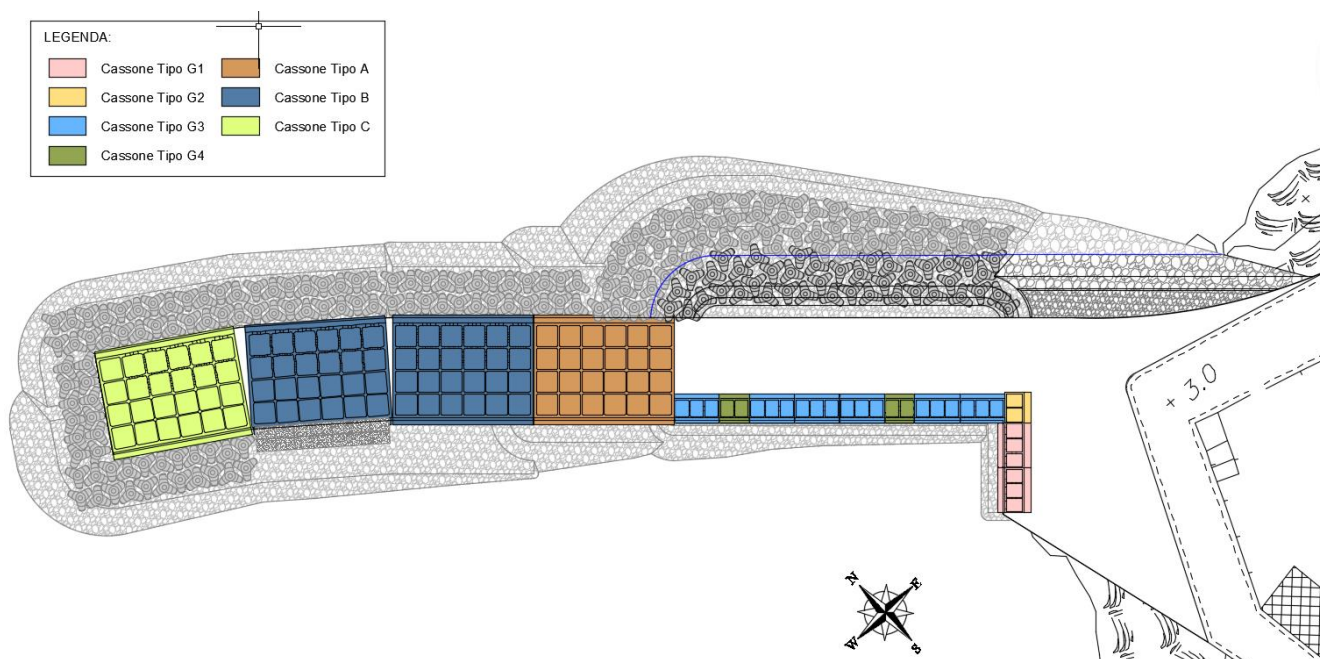


Figura 1 - Planimetria d'imbasamento dei cassoni

Il secondo tratto della Nuova Diga Foranea, a parete verticale, è costituito da n°4 cassoni rettangolari differenti tra loro per la quota di imbasamento, di cui:

- n°1 cassone tipo A, più vicino alla radice;
- n°2 cassoni tipo B;
- n°1 cassone tipo C, in testa alla diga.

Le dimensioni in pianta dei cassoni sono 29,51x23,00 m (comprese le mensole di fondazione di 1,50 m). L'altezza del fusto è pari a 8,50 m per il cassone A, e pari a 11,70 m per i cassoni B e C. Le quote di posa sono pari a -8,80 m per tipo A, e -12,00 m s.l.m.m. per i tipi B e C. 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 pari a 0,20 m, e la sovrastruttura in c.a.. La quota banchina sul ciglio è pari a +2,50 m s.l.m..

Il solettone di base ha spessore pari a 0,80 m e presenta mensole di 1,50 m su entrambi i lati, pertanto la larghezza compressiva della fondazione è pari a 23,00 m. Le pareti esterne hanno spessore pari a 0,60 m.





Le celle sono disposte su n°4 file di celle longitudinali, di cui le prime due lato mare sono antiriflettenti per i Cassoni B e C.

I primi n°2 setti longitudinali lato mare hanno spessore pari a 0,35 m, mentre il terzo ha spessore pari a 0,25 m. I n°5 setti trasversali hanno spessore pari a 0,35 m per le prime due celle lato mare, e pari a 0,25 m per le n°2 restanti celle lato porto.

Nella parete longitudinale lato mare dei Cassoni B e C sono previsti, per ogni cella, n°8 fori circolari di diametro pari a 1,00 m. Nei setti longitudinali e trasversali sono previsti, per ogni cella, n°9 fori circolari di diametro pari a 0,60 m.

A ridosso del Cassone tipo A, alla radice della diga, lato mare è previsto il tratto di testa della mantellata di protezione, che chiude a riccio sulla parete longitudinale Lato Mare del cassone stesso. Proprio per questo motivo non è prevista alcuna antiriflessione in questo cassone.

Per il Cassone tipo A, il riempimento delle celle è previsto con materiale proveniente da escavo o tout venant, ad eccezione degli ultimi 5 m di spessore delle n°2 file di celle lato mare per i quali è previsto riempimento in cls.

Per i Cassoni tipo B, il riempimento della n°2 file di celle lato mare (antiriflettenti) è previsto in cls fino alle quote -6,00 m e -4,50 m s.l.m.m.. Il riempimento delle n°2 file di celle lato porto è invece previsto con materiale proveniente da escavo o tout venant.

Per il Cassone tipo C, l'ultima fila di celle trasversali, in testata, non è dotata di antiriflessione. Il riempimento delle n°2 file longitudinali di celle lato mare è quindi previsto in cls fino alle quote -6,00 m e -4,50 m s.l.m.m, ad eccezione dell'ultima fila di celle trasversali, che viene invece riempita interamente in cls. Il riempimento delle n°2 file longitudinali di celle lato porto, è previsto interamente in cls.

Si prevede che i cassoni siano prefabbricati con altezza costante. Una volta posati in opera, in corrispondenza della file di celle antiriflettenti lato mare, viene gettata in opera l'elevazione della parete longitudinale e dei setti trasversali.



Comune  
di Favignana

# PROGETTO ESECUTIVO 1° STRALCIO FUNZIONALE COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

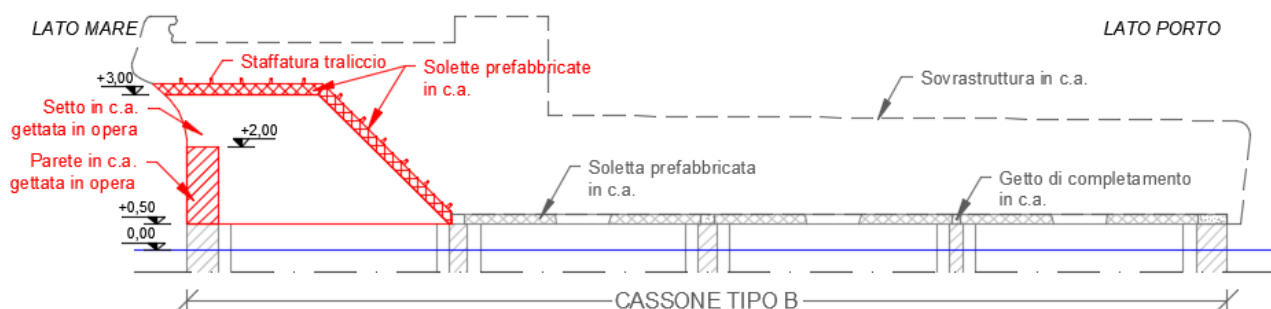
- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

LATO MARE

LATO PORTO



**FASE 1:** Demolizione delle solette prefabbricate in c.a. e parte del getto di completamento, in corrispondenza della prima fila di celle lato mare.



**FASE 2:** Elevazione delle pareti e dei setti in c.a. della prima fila di celle lato mare;

**FASE 3:** Posa in opera di solette prefabbricate in c.a. tralicciate, per successivo getto della sovrastuttura in c.a..

Figura 2 – Elevazione in opera dei cassoni lato mare: fasi esecutive

La sovrastuttura dei cassoni ha un intradosso a quota +0,70 m s.l.m.m ed un estradosso a quota variabile da quota +2,50 m s.l.m.m (ciglio banchina lato porto) a quota +2,60 m s.l.m.m. (lato mare), nel tratto carrabile, per uno spessore variabile tra 1,80 m e 1,90 m; nel tratto pedonale (passeggiata lato mare) invece l'estradosso è a quota +4,00 m s.l.m.m. per uno spessore variabile tra 0,80 m (in corrispondenza delle celle antiriflettenti) e 3,30 m (in corrispondenza delle altre celle del Cassone tipo A e quelle di testata del Cassone tipo C).

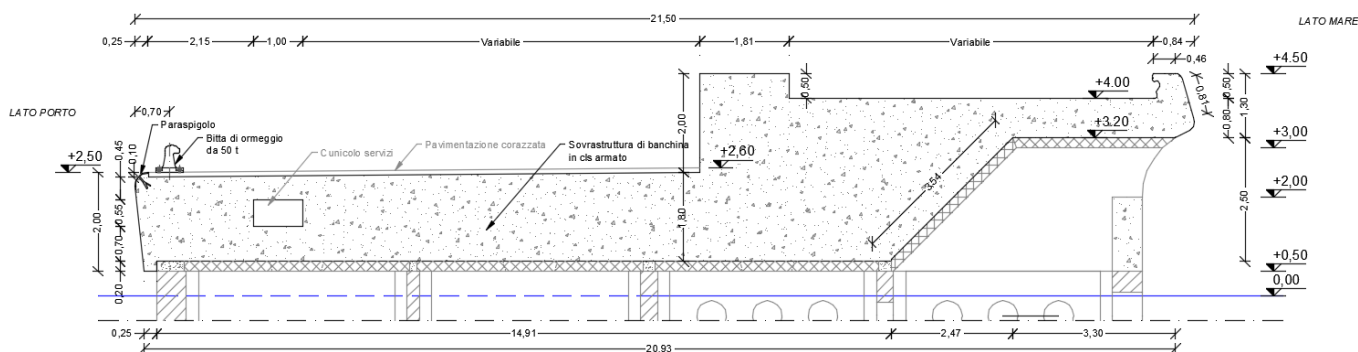


Figura 3 – Cassone tipo B - Sovrastuttura: Sezione trasversale

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.



### 3 NORMATIVE E ISTRUZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO

#### Normativa italiana sulle costruzioni, linee guida e istruzioni

- **Legge 05/11/71 n. 1086** “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- **Legge 02/02/74 n. 64** “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- **D.M. 17/01/2018** “Norme tecniche per le costruzioni”;
- **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”;
- **Servizio Tecnico Centrale presso la Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Settembre 2017** “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale”;
- **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

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

#### Bibliografia di riferimento

- **CIRIA, CUR, CETMEF (2007)** “The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)”. C683, CIRIA, London;
- **Associazione Geotecnica Italiana** - “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” Linee guida – Edizione provvisoria marzo 2005;
- **EAU 2004** - “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbour and Waterways”;





- **PIANC (2001)** - “Seismic Design Guidelines For Port Structures” Working Group n°34 of the Maritime Navigation Commission, International Navigation Association, Balkema, Lisse 2001;
- **OCDI** - Technical standards for port and harbour facilities in Japan” - OCDI 2002;
- Probabilistic design tools for vertical breakwaters – Maarten de Groot – 2001. Dissipative Monolithic Breakwaters – Some Aspects of Hydrodynamics – Canel M. (1995);
- 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
- 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
- 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

### 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 Materiale di riempimento delle celle dei cassoni

Il materiale inerte previsto per il riempimento delle celle proviene dall'escavo o da cava e presenta le seguenti caratteristiche geo-meccaniche:

- Peso per unità di volume saturo:  $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- Peso per unità di volume immerso:  $\gamma' = 8,90 \text{ kN/m}^3$

### 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  $40 \text{ kN/m}^2$ .

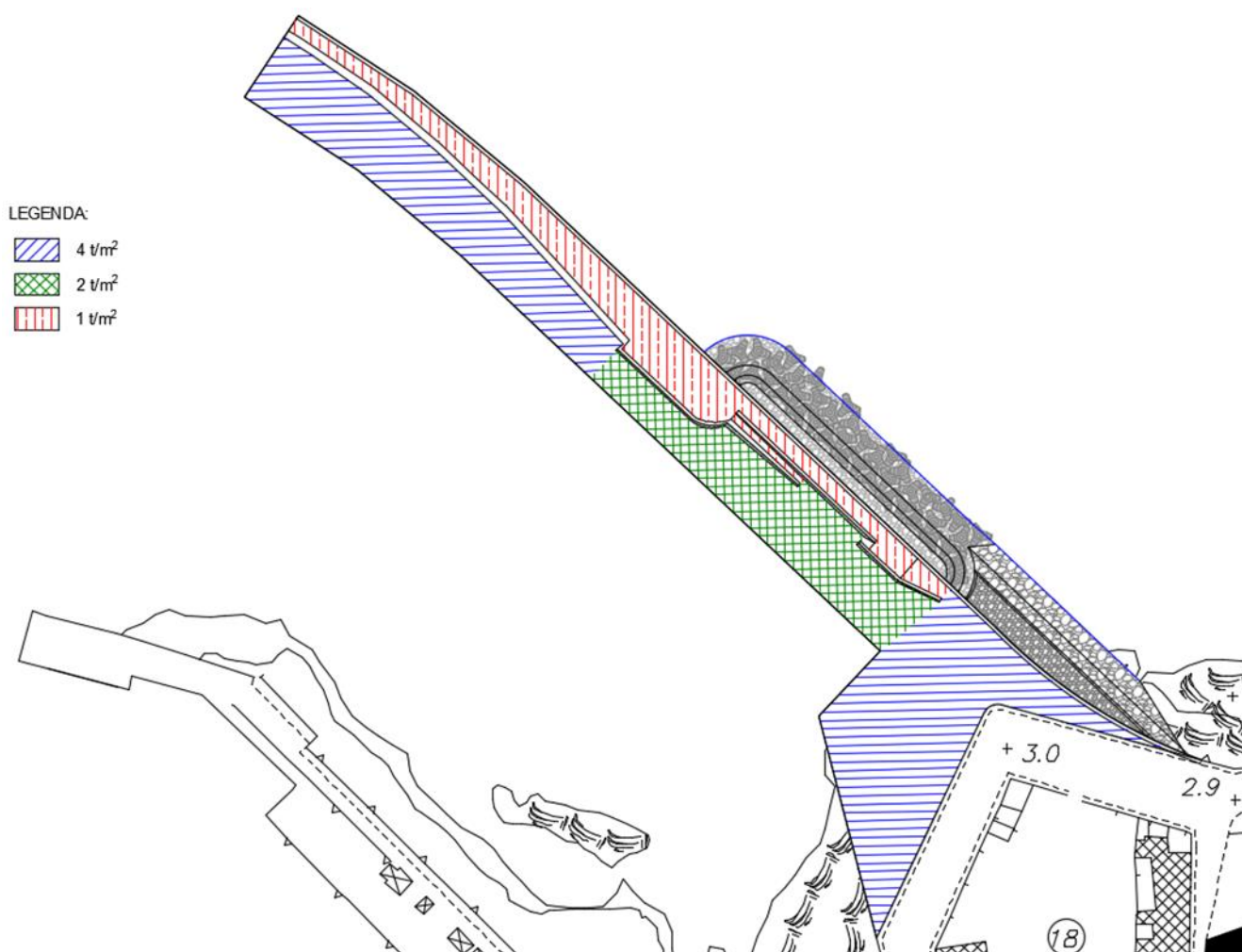


Figura 1 - Planimetria con indicazione dei sovraccarichi di progetto



## 5.2 Moto ondoso

Nel Progetto Definitivo l'azione del moto ondoso sulla struttura è valutato 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), sintetizzati in *Tabella 1*.

GRANDEZZA	U.M.	AZIONE ECCEZIONALE (Tr=100 anni)	AZIONE CARATTERISTICA (Tr=25 anni)
Altezza d'onda significativa	[m]	6,16	5,29
Lunghezza d'onda	[m]	142,60	128,60
Tempo di Ritorno	[anni]	100	25

*Tabella 1 – Onde di Progetto: Eccezionale e Caratteristica*

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

Per diminuire la riflessione del moto ondoso, le forze agenti sulla struttura e l'erosione al piede, il cassone è stato dotato di camere che assorbono parzialmente l'energia legata al moto ondoso attraverso vari meccanismi idrodinamici come la turbolenza, la vorticità e la risonanza.

Per l'analisi della risposta idraulica dei cassoni forati (coeff. di riflessione, pressioni, ecc.) si è fatto riferimento a consolidate formulazioni giapponesi, ed ai risultati di recenti ed avanzate esperienze europee sia in laboratorio (2D e 3D), che su prototipo.

Affinché le camere assorbenti abbiano efficacia è necessario che la porosità della parete sul quale agisce il moto ondoso, definita come il rapporto tra l'area totale delle aperture e l'area dell'intero muro, sia compresa tra il 15 ed il 40%. In base a dati sperimentali il Coefficiente di Riflessione  $C_r$  dipende dalla lunghezza delle celle e dalla lunghezza d'onda del moto ondoso incidente ed assume il minimo in corrispondenza di  $B'/L=0,15 \div 0,20$ . Il coefficiente di riflessione è stimabile attraverso la seguente espressione:

$$C_r = 18,6 \left( \frac{B'}{L} \right)^2 - 7,3 \left( \frac{B'}{L} \right) + 0,98$$

Dove:

- $B'$  è la larghezza della cella (pari a 9,23 m);
- $L$  è la lunghezza dell'onda di progetto a ridosso del cassone.

Per l'onda con  $Tr$  pari a 25 anni si ha  $C_r=0,55$ , mentre per l'onda con  $Tr$  pari a 100 anni si ha  $C_r=0,58$ . In via cautelativa si è assunto  $C_r=0,60$ .

Il Coefficiente  $C_r=0,60$  è sicuramente cautelativo anche perché non si tiene conto della tridimensionalità ed obliquità del moto ondoso: di fatto le diverse parti della parete vengono investite dall'onda in tempi successivi (sfasamento temporale delle pressioni), ma grazie alle aperture interne tra cella e cella nella direzione ortogonale all'onda, l'acqua tenderà ad espandersi anche su celle contigue in cui il moto ondoso non è ancora giunto, dissipando una maggiore energia.

Per la determinazione delle azioni del moto ondoso sui cassoni è stato quindi valutato l'effetto della riflessione. Tale effetto comporta una minore altezza dell'onda agente sulla struttura rispetto a quella incidente. Allo scopo è stato fatto riferimento al metodo di Canel ("Dissipative monolithic breakwater. Some aspects of hydrodynamics." MASTII-MCS, Final Project Workshop, Alderney Island GB, 1995)

in base al quale l'altezza d'onda di progetto  $H_S'$  da considerare è funzione del coefficiente di riflessione della struttura  $C_R$ :

$$H_S' = (1 + C_R)/2 \times H_S$$

La presenza delle celle assorbenti per mette quindi di utilizzare un'altezza d'onda incidente ridotta del 20%. L'inclinazione del fronte d'onda rispetto alla parete per i cassoni tipo A è assunta pari a 30°, mentre per i cassoni tipo B e C è pari a 0°.

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 CSLP.

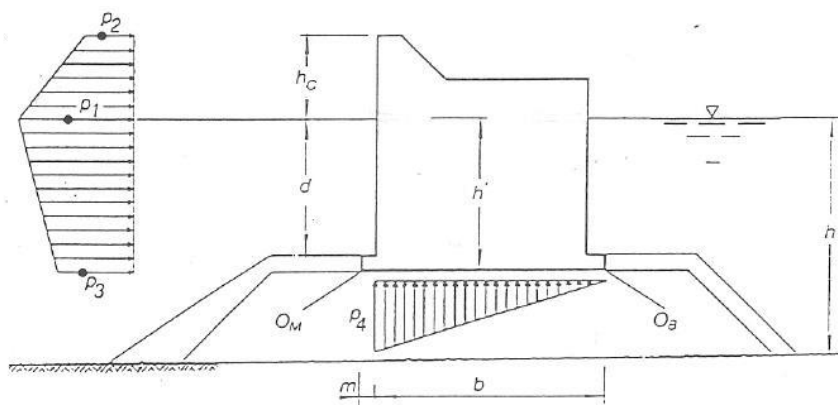


Figura 4 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cresta secondo la teoria di Goda





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:

- $\beta$  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  $5H$ ;
- $\vartheta'$  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 CSLPP.

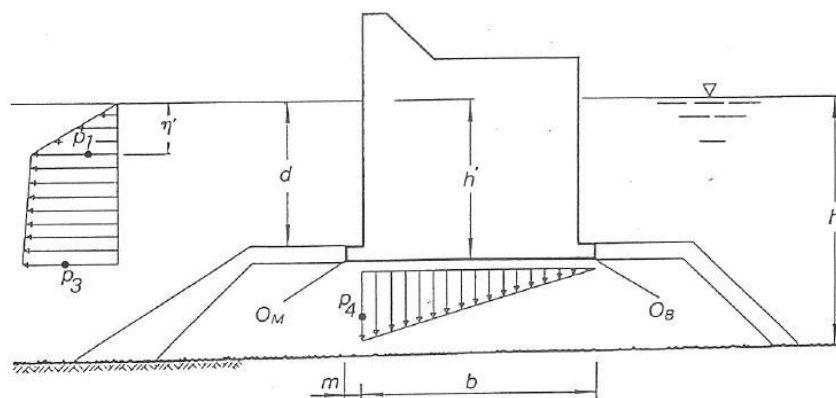


Figura 5 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

### 5.2.3 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 diga, rispetto alle azioni idrodinamiche della sezione di tronco (sezione composta) è stata considerata una sottospinta uniforme pari al valore  $p_4$  piuttosto che triangolare.

### 5.3 Tiro alla bitta

La bitta ha un tiro di progetto pari a 500 kN.

### 5.4 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 navi.

L'azione eccezionale d'impatto per imbarcazione fuori controllo è stata considerata per le verifiche di stabilità riportate nel presente documento.

L'azione d'urto dovuta alle operazioni di accosto delle navi è invece stata trascurata perché trascurabile rispetto alle altre azioni.

#### 5.4.1 Urto da nave fuori controllo

Il criterio utilizzato per il calcolo dell'azione dell'urto è quello proposto dall'Eurocodice 1 (UNI EN 1991-1-7).

Nelle verifiche si possono considerare agenti, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela ( $F_{d,x}$ ) e ortogonale ( $F_{d,y}$ ) alla direzione del moto dell'imbarcazione, con:

$$F_{d,y} = 0,50 F_{d,x}$$

L'azione tangenziale dovuta all'attrito,  $F_R$ , agente simultaneamente alla forza  $F_{d,y}$ , vale:

$$F_R = 0,40 F_{d,y}$$

In assenza di determinazioni più accurate e trascurando la capacità dissipativa della struttura, le forze statiche equivalenti per imbarcazioni marittime possono essere dedotte dalla Tab.C4.

Classe imbarcazione	Lunghezza [m]	Massa a pieno carico [t]	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Piccola	50	3.000	30.000
Media	100	10.000	80.000
Grande	200	40.000	240.000
Molto grande	300	100.000	460.000

Tabella 2 – Forze statiche equivalenti agli urti di imbarcazioni (Tabella C4 della EN 1991-1-7)

Nei porti le forze di collisione possono essere ridotte del 50 %.

Per ciascuna direzione considerata viene applicato un fattore di amplificazione dinamica, pari a 1,3 per impatto frontale e 1,7 per impatto laterale, ed un fattore di riduzione, che per impatto laterale o a poppa vale 0.3.

Il punto di impatto dipende dalla geometria della struttura e dalle dimensioni dell'imbarcazione.



Detta  $L$  la lunghezza della imbarcazione, il punto di impatto più sfavorevole può essere preso nell'intervallo compreso fra  $0,05 L$  sotto e  $0,05 L$  sopra il livello dell'acqua assunto in sede di progetto. L'area di impatto è di  $0,05 L$  in verticale per  $0,1 L$  in orizzontale, a meno che l'elemento strutturale non sia più piccolo.

La nave di progetto definita nel Progetto Definitivo ha lunghezza fuoritutto pari a 100 m, larghezza di 15 m ed immersione di 5 m. Assumendo una corrispondente massa a pieno carico pari a 10.000 t, sono stati determinati i valori dell'azione eccezionale di urto relativa alla nave di progetto, per impatto frontale alla radice e per impatto laterale, lungo il molo (Tabella 3).

Lunghezza nave di progetto	$L$	100	m
Fattore di riduzione ambito portuale		0.5	
Forza in direzione longitudinale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dx}$	80000	kN
Fattore di amplificazione dinamica - impatto frontale		1.3	
Fattore di riduzione per impatto a poppa		0.3	
Azione longitudinale di calcolo	$F_{dx,d}$	15600	kN
Forza in direzione trasversale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dy}$	40000	kN
Fattore di amplificazione dinamica - impatto laterale		1.7	
Fattore di riduzione per impatto laterale		0.3	
Azione trasversale di calcolo	$F_{dy,d}$	10200	kN

Tabella 3 – Urto eccezionale della nave di progetto

## 5.5 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 II. I valori dell'accelerazione sismica  $a_g$  e dello spettro  $F_o$  sono riportati nella Tabella 4.

S.L.	$a_g$	$S$	$F_o$	$F_v$	TB	TC	TD
SLO	0.019	1.500	2.610	0.481	0.146	0.437	1.674
SLD	0.024	1.500	2.670	0.553	0.156	0.469	1.694
SLV	0.050	1.500	2.880	0.869	0.170	0.510	1.800
SLC	0.060	1.500	2.980	0.988	0.180	0.539	1.841

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 mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 delle campagne di indagini eseguite, la Categoria del Sottosuolo è la *B*. A vantaggio di sicurezza, per le verifiche 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

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  $S_T = 1$ .





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 $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	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:

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

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
Classe d'Uso	$C_U =$	-	1.00
Periodo di Riferimento Sisma	$V_R =$	anni	50
Probabilità di Superamento	$P_{VR} =$	-	0.1
Tempo di Ritorno	$T_R =$	anni	475
Accelerazione sismica al bed rock	$a_g/g =$	[-]	0.050
Parametro Spettro	$F_0 =$	-	2.880
Categoria Terreno		-	C
Coeff. Di Amplificazione Stratigrafica	$S_S =$	[-]	1.50
Coeff. Di Amplificazione Topografica	$S_T =$	[-]	1.00
Accelerazione orizzontale max	$a_{max} =$	[g]	0.075
Riduzione accelerazione max	$\beta_m =$	[-]	0.38
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h =$	[-]	0.029
Coefficiente sismico verticale	$k_v =$	[-]	0.014

Tabella 9 - Parametri del D.M. del 17/01/2018 relativi ai cassoni

### 5.5.1 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;
- $\gamma_w$  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:

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

dove:

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

### 5.5.2 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:  $F_H = k_h \times W$



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

*- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C –*

---

- 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. 17/01/18.



## 6 VERIFICHE DEI CASSONI

Le verifiche eseguite hanno riguardato:

- verifiche di stabilità dei singoli cassoni in fase di galleggiamento e affondamento;
- verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione sul piano di posa (eseguite secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme tecniche sulle costruzioni" ed alla normativa riportata al capitolo 3);
- verifiche a schiacciamento dell'imbasamento.

### 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:

$$CM = \frac{I}{V} \quad \text{in assenza dello zavorramento con acqua marina;}$$
$$CM = \frac{I - S_j}{V} \quad \text{con lo zavorramento con acqua marina;}$$

dove:

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

Nel calcolo di  $\Sigma j$  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.

Si osserva che per quanto riguarda il peso del cassone, i fori delle pareti non sono stati detratti. Infatti, una delle tecniche generalmente impiegate prevede che in corrispondenza dei fori venga comunque eseguito un getto di calcestruzzo e che tale getto venga rimosso una volta affondato il cassone.

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



CASSONE	ALTEZZA ZAVORRA LIQUIDA GALLEGGIAM. [m]	IMMERSIONE [m]	FRANCO BORDO [m]	ALTEZZA METACENTRICA [m]	ALTEZZA ZAVORRA LIQUIDA AFFFONDAM [m]
A	1,02	7,43	2,07	4,35	2,72
B e C	2,05	9,76	2,94	3,34	4,82

*Tabella 10 – Verifiche a galleggiamento*

#### **6.1.1 Cassone tipo A**

Per il cassone tipo A, assumendo di utilizzare una zavorra liquida di 5.000 kN, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento  $i=7,43\text{m}$ ;
- Franco bordo  $f_b=2,07\text{ m}$ ;
- Altezza metacentrica  $MG=4,35\text{ m}$ ;

I dati geometrici e la verifica della stabilità nautica sono riportati nella *Tabella 11* e *Tabella 12*.





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 <sup>3</sup>
Peso zavorra	$\gamma_{zav}$	10,30	kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio acqua di mare	$\gamma_w$	10,30	kN/m <sup>3</sup>
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	$H_{sol}$	0,80	m
Lunghezza solettone	L	29,51	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	23,00	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,50	m
Area planimetria solettone comprese mensole	$A_{sol}$	678,73	m <sup>2</sup>
Altezza fusto	$H_{fusto}$	8,50	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	$H_{cass}$	9,30	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	$A_{fusto}$	590,20	m <sup>3</sup> /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	114,62	m <sup>3</sup> /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	475,58	m <sup>3</sup> /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,20	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	118,04	m <sup>3</sup>
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	472,16	m <sup>3</sup>
Volume mensola	$V_{mens}$	70,82	m <sup>3</sup>
Volume netto celle	$V_{celle}$	4.042,43	m <sup>3</sup>
Volume vuoto per pieno	$V_{tot}$	5.559,68	m <sup>3</sup> vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	1.517,25	m <sup>3</sup>
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,27	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	1.635,29	m <sup>3</sup>
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	3,39	m
	$Y_{G, cass+solette}$	3,82	m

Tabella 11 – Cassone A - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	$W_{zav}$	5000,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	24,00	-
Area media celle con zavorra	$A_{cella}$	19,78	m <sup>2</sup>
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	$Y_{Gzav}$	1,31	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	45.882,35	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	$Y_G$	3,55	m
Immersione in fase di galleggiamento	$i$	7,43	m
Franco Bordo	$f_b$	2,07	m
Volume parte del cassone immersa	$V_{imm}$	4.454,60	m <sup>3</sup>
Quota centro di carena	$Y_C$	3,66	m
Inerzia minima	$I_{min}$	18881,81	m <sup>4</sup>
Raggio Metacentrico ( $CM=I/V$ )	CM	4,24	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	7,90	m
Altezza metacentrica	MG	4,35	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

sottospinta di galleggiamento		76,50	kN/m <sup>2</sup>
Altezza media della zavorra in fase di galleggiamento	$h_{zav,gall}$	1,02	m

Tabella 12 – Cassone A - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 2,72 m

**Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento**

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	40.882,35	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	475,58	m <sup>2</sup>
Quota di imbasamento del cassone	$i_{imb}$	8,80	m
Spinta di Archimede	$S_W$	54.225,22	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	2,72	m

Tabella 13 – Cassone A - Altezza di zavorra liquida per affondamento



### 6.1.2 Cassoni tipo B e C

Per i cassoni tipo B e C, assumendo di utilizzare una zavorra liquida di 10.000 kN, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento  $i=9,76$  m;
- Franco bordo  $f_b=2,94$  m;
- Altezza metacentrica  $MG=3,34$  m;

I dati geometrici e la verifica della stabilità nautica sono riportati nella *Tabella 14* e *Tabella 15*.

#### 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 <sup>3</sup>
Peso zavorra	$\gamma_{zav}$	10,30	kN/m <sup>3</sup>
Peso proprio acqua di mare	$\gamma_w$	10,30	kN/m <sup>3</sup>
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	$H_{sol}$	0,80	m
Lunghezza solettone	$L$	29,51	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	$B$	23,00	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,50	m
Area planimetria solettone comprese mensole	$A_{sol}$	678,73	m <sup>2</sup>
Altezza fusto	$H_{fusto}$	11,70	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	$H_{cass}$	12,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	$A_{fusto}$	590,20	m <sup>3</sup> /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	114,62	m <sup>3</sup> /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	475,58	m <sup>3</sup> /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,20	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	118,04	m <sup>3</sup>
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	472,16	m <sup>3</sup>
Volume mensola	$V_{mens}$	70,82	m <sup>3</sup>
Volume netto celle	$V_{celle}$	5.564,29	m <sup>3</sup>
Volume vuoto per pieno	$V_{tot}$	7.448,32	m <sup>3</sup> vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	1.884,04	m <sup>3</sup>
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,25	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	2.002,08	m <sup>3</sup>
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	4,85	m
	$Y_{G, cass+solette}$	5,31	m

Tabella 14 – Cassoni B e C - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	$W_{zav}$	10000,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	24,00	-
Area media celle con zavorra	$A_{cella}$	19,78	m <sup>2</sup>
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	$Y_{Gzav}$	1,82	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	60.051,95	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	$Y_G$	4,73	m
Immersione in fase di galleggiamento	$i$	9,76	m
Franco Bordo	$f_b$	2,94	m
Volume parte del cassone immersa	$V_{imm}$	5.830,29	m <sup>3</sup>
Quota centro di carena	$Y_C$	4,82	m
Inerzia minima	$I_{min}$	18881,81	m <sup>4</sup>
Raggio Metacentrico ( $CM=I/V$ )	CM	3,24	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	8,06	m
Altezza metacentrica	MG	3,34	m
Verifica che $y_M > Y_G$		Verifica	-

sottospinta di galleggiamento		100,51	kN/m <sup>2</sup>
Altezza media della zavorra in fase di galleggiamento	$h_{zav,gall}$	2,05	m

*Tabella 15 – Cassone B e C - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati*

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 4,82 m.

**Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento**

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	50.051,95	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	475,58	m <sup>2</sup>
Quota di imbasamento del cassone	$i_{imb}$	12,00	m
Spinta di Archimede	$S_W$	73.678,21	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	4,82	m

*Tabella 16 – Cassone B e C - Altezza di zavorra liquida per affondamento*



## 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 espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ , mentre nella formulazione della resistenza compare un coefficiente  $\gamma_R$  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 esplicitate 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;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili;
- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
- $\Psi_{0j}, \Psi_{2j}$  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  $\gamma_R$  di riferimento sono quelli della Tabella 6.5.I del D.M. 17/01/2018 (Tabella 19). 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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  $\gamma_{G1}$

Tabella 17 - 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 $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 18 - Coefficienti parziali per le resistenze del terreno - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.2.II)

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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 19 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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.



	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
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 20 - 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 dei Cassoni tipo A, B e C.

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:

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-6 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

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

#### CASSONE TIPO A

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

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione-1 (ECC)	1,386	2,36
Combinazione-2 (ECC)	6,62	40,68
Combinazione-3 (STR)	1,04	1,64
Combinazione-4 (STR)	4,75	28,19
Combinazione-5 (SLV)	11,65	20,90
Combinazione-6 (ECC)	6,60	13,51

Tabella 21 - Coefficienti di sicurezza del cassone tipo A



### CASSONE TIPO B

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

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione-1 (ECC)	1,397	1,96
Combinazione-2 (ECC)	4,51	19,27
Combinazione-3 (STR)	1,02	1,36
Combinazione-4 (STR)	3,17	12,30
Combinazione-5 (SLV)	10,46	17,63
Combinazione-6 (ECC)	6,12	10,20

*Tabella 22 - Coefficienti di sicurezza del cassone tipo B*

### CASSONE TIPO C

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

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione-1 (ECC)	1,476	2,00
Combinazione-2 (ECC)	5,26	23,05
Combinazione-3 (STR)	1,04	1,37
Combinazione-4 (STR)	3,67	14,64
Combinazione-5 (SLV)	11,42	19,16
Combinazione-6 (ECC)	7,35	12,52

*Tabella 23 - Coefficienti di sicurezza del cassone tipo C*

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.



### 6.2.1 Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo A

Si riportano di seguito i dati relativi al calcolo delle azioni e i risultati delle verifiche.

#### GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}} =$	20,00	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}} =$	29,51	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}} =$	1,50	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}} =$	23,00	m
Altezza solettone	$H_B =$	0,80	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}} =$	542,98	m <sup>3</sup>

	<i>n. celle</i>	<i>Area singola cella [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Area celle [m<sup>2</sup>]</i>
Celle fila 1 (LT)	6	20,10	120,6
Celle fila 2	6	20,10	120,6
Celle fila 3	6	19,52	117,12
Celle fila 4 (LM)	6	19,52	117,12
Area totale celle			475,44

Area fusto con celle ( <i>da CAD - senza chiavi</i> )	590,20	m <sup>2</sup>
Area celle	475,44	m <sup>2</sup>
Area fusto al netto delle celle	114,76	m <sup>2</sup>

Area fusto	$A_{\text{fusto}} =$	114,76	m <sup>2</sup>
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}} =$	8,50	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}} =$	975,46	m <sup>3</sup>

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}} = V_{\text{solettone}} + V_{\text{fusto}}$	1.518,44	m <sup>3</sup>
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G =$	3,39	m
Braccio da $O_M$	$br_{IOM} =$	11,50	m

#### Cassone al netto della finestratura

Diametro finestre parete	$D_{\text{finestra, par}} =$	1,00	m
n° finestre parete	$n_{\text{finestra, par}} =$	0	-
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}} =$	0,60	m
Diametro finestre setti	$D_{\text{finestra, setti}} =$	0,60	m
n° finestre setto longitudinale	$n_{\text{finestra, setto long}} =$	0	-
Spessore finestre setto longitudinale	$S_{\text{fin, setto long}} =$	0,25	m
n° finestre setti trasversali	$n_{\text{finestra, setti trasv}} =$	0	-
Spessore finestre setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestra, est}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Volume finestre setto longitudinale	$V_{\text{finestra, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Volume finestre setti trasversali	$V_{\text{finestra, setti trasv}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio finestre parete da $O_M$	$br_{\text{fin parete, OM}} =$	1,80	m
Braccio finestre setti da $O_M$	$br_{\text{fin setti trasv, OM}} =$	6,75	m
Altezza baricentro delle finestre parete ( <i>da CAD</i> )	$Z_{G \text{ fin parete}} =$	5,98	m
Altezza baricentro delle finestre setti long. e trasv. ( <i>da CAD</i> )	$Z_{G \text{ fin setti}} =$	6,78	m
Altezza baricentro delle finestre ( <i>da CAD</i> )	$Z_G =$	5,98	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}} =$	1.518,44	m <sup>3</sup>
Braccio cassone da $O_M$	$X_{GOM} =$	11,50	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	3,39	m



*Setti superiori*

n° setti trasversali	$n_{\text{setti trasv}} =$	0	-
Area (da CAD)	$A_{\text{setti trasv}} =$	8,20	m <sup>2</sup>
Spessore setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume setti trasversali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	10,55	m

*Pareti laterali superiori*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	0	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	8,18	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	10,55	m

*Parete longitudinale superiore*

n° parete longitudinale	$n_{\text{parete longit}} =$	0	-
Area sez orizz.	$A_{\text{parete longit}} =$	17,71	m <sup>2</sup>
Altezza parete long. super.	$H_{\text{parete longit}} =$	1,50	m
Volume parete long. super	$V_{\text{parete long super}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	10,05	m

*Fori Parete longitudinale superiore*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	0	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	0,00	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	10,55	m

Volume parte superiore	$V_{\text{parte superiore}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	2,17	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	10,15	m



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**RIEMPIMENTO CASSONE**

Riempimento celle

	Area [m <sup>2</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Fila 1 (LT)	120,60	18,65	8,50	0,00	0,00
Fila 2	120,60	13,90	8,50	0,00	0,00
Fila 3	117,12	9,13	3,50	5,00	0,00
Fila 4 (LM)	117,12	4,36	3,50	5,00	0,00

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Z da O <sub>M</sub> [m]
Riempimento inerte	2.870,04	13,55	4,34
Cls	1.171,21	6,75	6,80
Acqua	0,00	4,36	9,30

Sovrastruttura in c.a.

Altezza sovrastruttura escluso getto di complet. (da CAD)	H <sub>sovrastr</sub> =	2,00	m
Sezione trasv. vert. Sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	A <sub>sovrastr</sub> =	60,67	m <sup>2</sup>
Volume sovrastruttura con muro paraonde	V <sub>sovrastr</sub> =	1.790,37	m <sup>3</sup>
Braccio da O <sub>M</sub> (da CAD)	brs <sub>OM</sub> =	10,25	m
Altezza baricentro della sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	Z <sub>G</sub> =	10,89	m

Altezza immersa cassone (da CAD)	H <sub>immersa</sub> =	8,80	m
Altezza totale cassone	H <sub>cassone</sub> =	9,30	m

**TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME**

Peso unità volume acqua di mare	γ <sub>w</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.a.	γ <sub>c.a.</sub>	25,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s.	γ <sub>cls</sub>	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s. ciclopico	γ <sub>cls ciclopico</sub>	21,50	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume zavorra	γ <sub>zav</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume riempimento	γ <sub>riemp</sub>	19,00	kN/m <sup>3</sup>





## TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m <sup>3</sup> ]	Peso [kN]	Z <sub>Gi</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>P</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>M</sub> [m]
Peso cassone asciutto	1.518,44	37.961,10	3,39	11,50	11,50
Tappi dei fori parete esterna	0,00	0,00	5,98	21,20	1,80
Tappi dei fori setti interni	0,00	0,00	5,98	16,25	6,75
Parte superiore cella assorbente	0,00	0,01	10,15	20,83	2,17
Riempimento materiale inerte	2.870,04	54.530,76	4,34	9,45	13,55
Riempimento calcestruzzo	1.171,21	28.109,09	6,80	16,25	6,75
Acqua all'interno delle celle	0,00	0,01	9,30	18,64	4,36
Sovrastuttura con muro paraonde	1.790,37	44.759,29	10,89	12,75	10,25
CASSONE ASCIUTTO		165.360,26	6,31	11,97	11,03
Spinta idrostatica	5.264,58	-53.172,30	4,35	11,50	11,50
CASSONE IMMERSO	--	112.187,96	7,24	12,19	10,81



## AZIONI ACCIDENTALI

### SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	$q$	[kN/m <sup>2</sup> ]	40,00
Larghezza (al netto del muro paraonde)	$B$	[m]	8,00
Lunghezza sovrastr	$L$	[m]	29,51
Sovraccarico totale	$Q$	[kN]	9.443,20
Distanza orizzontale baricentro da O <sub>M</sub> (braccio)	$b$	[m]	17,66

### TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	$t$	[kN/m]	16,94
Tiro alla bitta totale	$T$	[kN]	500,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_T$	[m]	11,30



## AZIONI SISMICHE

Vita Nominale	$V_N$	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	$C_U$	-	1
Periodo di Riferimento Sisma	$V_R$	anni	50
Tempo di Ritorno	$T_R$	anni	475
Accelerazione sismica al bed rock	$a_g$	[g]	0,050
Parametro Spettro	$F_0$	-	2,880
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]	0,075
Riduzione accelerazione max	$\beta_m$	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	[-]	0,029
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	[-]	0,014



#### SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	$\gamma_w$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10
	$H_w$	[m]	8,80
Spinta idrodinamica	$F_{sw}$	[kN]	429,77
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_{sw}$	[m]	5,28

#### FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA

##### Cassone

Peso cassone in opera	$W$	[kN]	165.360,26
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	4.712,77
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	6,31
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	2.356,38
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	11,03

#### FORZA INDOTTA DAL SISMA SU SOVRACCARICO SUL CASSONE

Peso sovraccarico	$Q$	[kN]	9.443,20
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	269,13
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	11,30
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	134,57
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	17,66



## URTO ECCEZIONALE

Lunghezza nave di progetto	L	m	100,00
Fattore di riduzione ambito portuale			0,50
Forza in direzione longitudinale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dx}$	kN	80.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto frontale			1,30
Fattore di riduzione per impatto a poppa			0,30
Azione longitudinale di calcolo	$F_{dx,d}$	kN	15.600,00
Forza in direzione trasversale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dy}$	kN	40.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto laterale			1,70
Fattore di riduzione per impatto laterale			0,30
Azione trasversale di calcolo	$F_{dy,d}$	kN	10.200,00
Quota limite impatto (+/- sul l.m.m.)		[m]	5,00
Larghezza area di impatto totale	$L_{imp}$	[m]	10,00
Altezza area di impatto	$H_{imp}$	[m]	5,00
braccio forza $F_{d,y}$	$Z_{OM}$	[m]	8,80



### **AZIONE DI CRESTA D'ONDA (Tr=100 anni)**

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

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	15,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	h <sub>c</sub>	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di 5H <sub>1/3</sub> dalla diga	h <sub>b</sub>	m	15,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	8,00
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	h'	m	8,80
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

### **CARATTERISTICHE DELL'ONDA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	30,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,26
Altezza d'onda media del terzo più alto	H <sub>1/3</sub>	m	6,16
Coefficiente di riflessione	C <sub>r</sub>	-	1,00
	H' <sub>1/3</sub>	m	6,16
Lunghezza dell'onda	L	m	135,40
Numero d'onda	k	-	0,046
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	H <sub>f</sub>	m	15,20
Altezza d'onda incidente	H	m	11,10

### **CALCOLO DI $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ ed $\eta^*$**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,87
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,30
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	1,44
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,30
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa sulla berma	$\alpha_3$	-	0,88
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	16,36





### CALCOLO DELLE PRESSIONI

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	126,80
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	91,92
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	111,82
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	84,70

aliquota percentuale			85,00%
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1'$	KN/m <sup>2</sup>	107,78
Pressione in sommità dell'opera	$p_2'$	KN/m <sup>2</sup>	78,14
Pressione al piede dell'opera	$p_3'$	KN/m <sup>2</sup>	95,05
Pressione sulla base della diga	$p_4'$	KN/m <sup>2</sup>	72,00

### CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_1$ a $p_4$	418,32	10,93
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_3$ a $p_4$	892,46	4,49
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	1.310,78	6,55

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	1.310,78
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	38.681,17
Braccio rispetto al piano di posa	m	6,55
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	773,99
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	22.840,35
Braccio rispetto a $O_T$	m	14,33



## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=100 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSONO IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	8,00
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpie	[m]	0,80

H <sub>s</sub>	[m]	6,16
C <sub>r</sub>	[-]	1,00
H' <sub>s</sub>	[m]	6,16
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γ <sub>w</sub>	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10

H <sub>1/100</sub>	[m]	10,29
L	[m]	135,40
k=2π/L		0,05

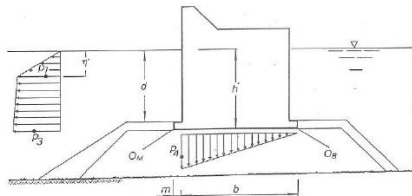


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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 = H<sub>1/100</sub> = 1,67 H<sub>s</sub> altezza d'onda;
- p<sub>1</sub> = pressione a quota η';
- p<sub>3</sub> = pressione alla base del cassone;
- p<sub>4</sub> = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

Imm+ss+em	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	η'	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	8,00	8.80	3,37	34,06	108,04	100,99	57,43	385,64	443,07	1.085,70	6,55	2,24	2,80	14,33
								max	443,07	1.085,70			2,80	14,33



## AZIONE DI 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	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	15,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	h <sub>c</sub>	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di 5H <sub>1/3</sub> dalla diga	h <sub>b</sub>	m	15,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	8,00
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	h'	m	8,80
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

### CARATTERISTICHE DELL'ONDA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	30,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,26
Altezza d'onda media del terzo più alto	H <sub>1/3</sub>	m	5,29
Coefficiente di riflessione	C <sub>r</sub>	-	1,00
	H' <sub>1/3</sub>	m	5,29
Lunghezza dell'onda	L	m	122,30
Numero d'onda	k	-	0,051
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	H <sub>f</sub>	m	15,20
Altezza d'onda incidente	H	m	9,52

### CALCOLO DI $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ ed $\eta^*$

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,84
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,22
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	1,68
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,22
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità	$\alpha_3$	-	0,86
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	14,04



#### **CALCOLO DELLE PRESSIONI**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	98,77
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	67,11
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	85,00
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	68,27
NOTA: La pressione si annulla alla quota $n^* < h_c$	$\eta^*$	m	14,04

aliquota percentuale		-	85,00%
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1'$	KN/m <sup>2</sup>	83,96
Pressione in sommità dell'opera	$p_2'$	KN/m <sup>2</sup>	57,05
Pressione al piede dell'opera	$p_3'$	KN/m <sup>2</sup>	72,25
Pressione sulla base della diga	$p_4'$	KN/m <sup>2</sup>	58,03

#### **CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE**

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_1$ a $p_2$	317,26	15,37
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_3$ a $p_1$	687,30	4,51
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	1.004,56	7,94

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	1.004,56
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	29.644,44
Braccio rispetto al piano di posa	m	7,94
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	623,81
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	18.408,75
Braccio rispetto a $O_T$	m	14,33



## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=25 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	8,00
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,80

#### LATO MARE

H <sub>s</sub>		[m]	5,29
C <sub>r</sub>		[-]	1,00
H' <sub>s</sub>		[m]	5,29
storm surge	ss=	[m]	0,00
escursione di	em=	[m]	0,00
γ <sub>w</sub>		[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10
H <sub>1/20</sub>		[m]	7,41
H <sub>1/100</sub>		[m]	8,83
L		[m]	122,30
k=2π/L			0,05

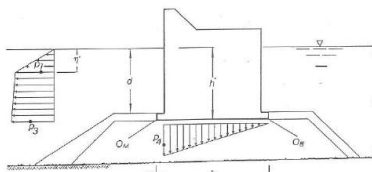


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Saintflou

Le equazioni delle pressioni secondo la teoria di Saintflou 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 = H<sub>1/100</sub> = 1,67 H<sub>s</sub>: altezza d'onda;
- p<sub>1</sub> = pressione a quota η';
- p<sub>3</sub> = pressione alla base del cassone;
- p<sub>4</sub> = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

Imm+ss+em	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB					
	d	h'	η'	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>		
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]		
	8,00	8,80	3,69	37,22	90,53	84,63	68,58	326,71	395,30	909,74	6,34	2,20	2,92	14,33		
							max	395,30	909,74						2,92	14,33

#### CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	F <sub>tot,unit</sub>	kN/m	395,30
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F <sub>tot</sub>	kN	11.665,18
Braccio rispetto al piano di posa	b <sub>ris</sub>	m	2,92
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	S <sub>w,unit</sub>	kN/m	909,74
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	S <sub>w,tot</sub>	kN	26.846,54
Braccio rispetto a O <sub>T</sub>	b <sub>w</sub>	m	14,33



**TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI**

***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		112.187,96	7,24	10,81	12,19
SOVRACCARICO SU CASSONE		9.443,20	x	17,66	5,34
TIRO ALLA BITTA		500,00	11,30	x	x
CRESTA D'ONDA $Tr=100$ anni	(spinta orizzontale)	38.681,17	6,55	x	x
	(sottospinta)	22.840,35	x	8,67	14,33
CAVO D'ONDA $Tr=100$ anni	(spinta orizzontale)	13.075,07	2,80	x	x
	(sottospinta)	32.038,86	x	8,67	14,33
CRESTA D'ONDA $Tr=25$ anni	(spinta orizzontale)	29.644,44	7,94	x	x
	(sottospinta)	18.408,75	x	8,67	14,33
CAVO D'ONDA $Tr=25$ anni	(spinta orizzontale)	11.665,18	2,92	x	x
	(sottospinta)	26.846,54	x	8,67	14,33
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	4.712,77	6,31	x	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	2.356,38	x	11,03	11,97
	Spinta idrodinamica	429,77	5,28	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	269,13	11,30	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	134,57	x	17,66	5,34
URTO ECCEZIONALE		10.200,00	8,80	x	x





## VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

### Combinazione-1 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	1,00	-	112.187,96
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	38.681,17	1,00	-	38.681,17
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	22.840,35	1,00	-	22.840,35
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	9.443,20	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	89.347,62
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	53.608,57
Forza mobilitante	[kN]	38.681,17
Resistenza/Azione	[-]	1,386

### Combinazione-2 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	1,00	-	112.187,96
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	13.075,07	1,00	-	13.075,07
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	32.038,86	1,00	-	32.038,86
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	9.443,20	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	144.226,83
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	86.536,10
Forza mobilitante	[kN]	13.075,07
Resistenza/Azione	[-]	6,62



**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	1,00	-	112.187,96
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	29.644,44	1,50	-	44.466,67
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	18.408,75	1,50	-	27.613,13
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	9.443,20	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	84.574,83
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	46.131,73
Forza mobilitante	[kN]	44.466,67
Resistenza/Azione	[-]	1,04

**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	1,00	-	112.187,96
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	11.665,18	1,50	-	17.497,77
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	26.846,54	1,50	-	40.269,82
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	9.443,20	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	152.457,78
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	83.158,79
Forza mobilitante	[kN]	17.497,77
Resistenza/Azione	[-]	4,75

**Combinazione-5 (SLV)**

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	-	-	112.187,96
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	4.712,77	-	-	4.712,77
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	2.356,38	-	-	2.356,38
Spinta idrodinamica	kN	429,77	-	-	429,77

Risultante forze verticali	[kN]	109.831,58
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	59.908,13
Forza mobilitante	[kN]	5.142,54
Resistenza/Azione	[-]	11,65



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-6 (ECC)**

*Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico*

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}$ , $\gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	112.187,96	-	-	112.187,96
URTO ECCEZIONALE	kN	10.200,00	-	-	10.200,00

Risultante forze verticali	[kN]	112.187,96
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	67.312,78
Forza mobilitante	[kN]	10.200,00
Resistenza/Azione	[-]	6,60



## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,00	-	1.367.830,19
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	38.681,17	6,55	253.237,51	1,00	-	253.237,51
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	22.840,35	14,33	327.378,30	1,00	-	327.378,30
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	0,00	0,70	0,00

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.367.830,19
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	580.615,81
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	2,356

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	1,00	-	1.212.492,98
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	13.075,07	2,80	36.628,60	1,00	-	36.628,60
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	32.038,86	8,67	277.670,14	1,00	-	277.670,14
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	0,00	0,70	0,00

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.490.163,12
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	36.628,60
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	40,68

### Combinazione-3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	0,90	-	1.231.047,17
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	29.644,44	7,94	235.401,19	1,50	-	353.101,78
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	18.408,75	14,33	263.858,82	1,50	-	395.788,23
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	0,00	0,70	0,00

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.231.047,17
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	748.890,01
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	1,644



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	0,90	-	1.091.243,68
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	11.665,18	2,92	34.064,75	1,50	-	51.097,12
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	26.846,54	8,67	232.670,04	1,50	-	349.005,07
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	0,00	0,70	0,00

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.440.248,75
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,0
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	51.097,12
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	28,19

**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 ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{zi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	-	-	1.212.492,98
Azione Sismica orizzontale su Cassone	4.712,77	6,31	29.742,34	-	-	29.742,34
Azione Sismica verticale su Cassone	2.356,38	11,03	25.991,64	-	-	25.991,64
Spinta idrodinamica	429,77	5,28	2.269,18	-	-	2.269,18

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.212.492,98
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	58.003,16
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	20,90

**Combinazione-6 (ECC)**

Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{zi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	-	-	1.212.492,98
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	8,80	89.760,00	-	-	89.760,00

Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.212.492,98
Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	89.760,00
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	13,51



## 6.2.1 Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo B

Si riportano di seguito i dati relativi al calcolo delle azioni e i risultati delle verifiche.

### GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}} =$	20,00	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}} =$	29,51	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}} =$	1,50	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}} =$	23,00	m
Altezza solettone	$H_B =$	0,80	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}} =$	542,98	m <sup>3</sup>

	$n_{\text{celle}}$	Area singola cella [m <sup>2</sup> ]	Area celle [m <sup>2</sup> ]
Celle fila 1 (LT)	6	20,10	120,6
Celle fila 2	6	20,10	120,6
Celle fila 3	6	19,52	117,12
Celle fila 4 (LM)	6	19,52	117,12
Area totale celle			475,44

Area fusto con celle ( <i>da CAD - senza chiavi</i> )	590,20	m <sup>2</sup>
Area celle	475,44	m <sup>2</sup>
Area fusto al netto delle celle	114,76	m <sup>2</sup>

Area fusto	$A_{\text{fusto}} =$	114,76	m <sup>2</sup>
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}} =$	11,70	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}} =$	1.342,69	m <sup>3</sup>

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}} = V_{\text{solettone}} + V_{\text{fusto}}$	1.885,68	m <sup>3</sup>
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G =$	4,85	m
Braccio da $O_M$	$br_{\text{IOM}} =$	11,50	m

### Cassone al netto della finestratura

Diametro finestre parete	$D_{\text{finestra, par}} =$	1,00	m
n° finestre parete	$n_{\text{finestra, par}} =$	48	-
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}} =$	0,60	m
Diametro finestre setti	$D_{\text{finestra, setti}} =$	0,60	m
n° finestre setto longitudinale	$n_{\text{finestra, setto long}} =$	54	-
Spessore finestre setto longitudinale	$S_{\text{fin, setto long}} =$	0,25	m
n° finestre setti trasversali	$n_{\text{finestra, setti trasv}} =$	90	-
Spessore finestre setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestra, est}} =$	22,61	m <sup>3</sup>
Volume finestre setto longitudinale	$V_{\text{finestra, setto long}} =$	3,82	m <sup>3</sup>
Volume finestre setti trasversali	$V_{\text{finestra, setti trasv}} =$	6,36	m <sup>3</sup>
Braccio finestre parete da $O_M$	$br_{\text{fin parete, OM}} =$	1,80	m
Braccio finestre setti da $O_M$	$br_{\text{fin setti trasv, OM}} =$	6,75	m
Altezza baricentro delle finestre parete ( <i>da CAD</i> )	$Z_{G \text{ fin parete}} =$	9,18	m
Altezza baricentro delle finestre setti long. e trasv. ( <i>da CAD</i> )	$Z_{G \text{ fin setti}} =$	9,98	m
Altezza baricentro delle finestre ( <i>da CAD</i> )	$Z_G =$	9,43	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}} =$	1.852,89	m <sup>3</sup>
Braccio cassone da $O_M$	$X_{\text{GOM}} =$	11,64	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	4,77	m





*Setti superiori*

n° setti trasversali	$n_{\text{setti trasv}} =$	5	-
Area (da CAD)	$A_{\text{setti trasv}} =$	8,20	m <sup>2</sup>
Spessore setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume setti trasversali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	10,25	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

*Pareti laterali superiori*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	2	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	8,18	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	9,82	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

*Parete longitudinale superiore*

n° parete longitudinale	$n_{\text{parete longit}} =$	1	-
Area sez orizz.	$A_{\text{parete longit}} =$	17,71	m <sup>2</sup>
Altezza parete long. super.	$H_{\text{parete longit}} =$	1,50	m
Volume parete long. super	$V_{\text{parete long super}} =$	26,56	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,25	m

*Fori Parete longitudinale superiore*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	6	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	0,00	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

Volume parte superiore	$V_{\text{parte superiore}} =$	46,63	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	2,57	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,47	m



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**RIEMPIMENTO CASSONE**

Riempimento celle

	Area [m <sup>2</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Fila 1 (LT)	120,60	18,65	11,70	0,00	0,00
Fila 2	120,60	13,90	11,70	0,00	0,00
Fila 3	117,12	9,13	0,00	6,70	4,50
Fila 4 (LM)	117,12	4,36	0,00	5,20	6,00

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Z da O <sub>M</sub> [m]
Riempimento inerte	2.822,04	16,28	6,65
Cls	1.393,73	7,05	3,82
Acqua	1.229,76	6,40	9,32

Sovrastruttura in c.a.

Altezza sovrastruttura escluso getto di complet. (da CAD)	H <sub>sovrastr</sub> =	2,00	m
Sezione trasv. vert. Sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	A <sub>sovrastr</sub> =	39,71	m <sup>2</sup>
Volume sovrastruttura con muro paraonde	V <sub>sovrastr</sub> =	1.171,84	m <sup>3</sup>
Braccio da O <sub>M</sub> (da CAD)	brs <sub>OM</sub> =	11,92	m
Altezza baricentro della sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	Z <sub>G</sub> =	13,88	m

Altezza immersa cassone (da CAD)	H <sub>immersa</sub> =	12,00	m
Altezza totale cassone	H <sub>cassone</sub> =	12,50	m

**TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME**

Peso unità volume acqua di mare	γ <sub>w</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.a.	γ <sub>c.a.</sub>	25,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s.	γ <sub>cls</sub>	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s. ciclopico	γ <sub>cls ciclopico</sub>	21,50	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume zavorra	γ <sub>zav</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume riempimento	γ <sub>riemp</sub>	19,00	kN/m <sup>3</sup>



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

*- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -*

## TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m <sup>3</sup> ]	Peso [kN]	Z <sub>Gi</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>P</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>M</sub> [m]
Peso cassone asciutto	1.885,68	47.141,90	4,85	11,50	11,50
Tappi dei fori parete esterna	-22,61	-565,20	9,43	21,20	1,80
Tappi dei fori setti interni	-10,17	-254,34	9,43	16,25	6,75
Parte superiore cella assorbente	46,63	1.165,63	13,47	20,43	2,57
Riempimento materiale inerte	2.822,04	53.618,76	6,65	6,73	16,28
Riempimento calcestruzzo	1.393,73	33.449,47	3,82	15,95	7,05
Acqua all'interno delle celle	1.229,76	12.420,58	9,32	16,60	6,40
Sovrastuttura con muro paraonde	1.171,84	29.296,05	13,88	11,08	11,92
CASSONE ASCIUTTO		176.272,85	7,05	11,20	11,80
Spinta idrostatica	7.153,22	-72.247,56	5,94	11,50	11,50
CASSONE IMMERSO	--	104.025,28	7,82	11,00	12,00



## AZIONI ACCIDENTALI

### SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	$q$	[kN/m <sup>2</sup> ]	40,00
Larghezza (al netto del muro paraonde)	$B$	[m]	15,90
Lunghezza sovrastr	$L$	[m]	29,51
Sovraccarico totale	$Q$	[kN]	18.768,36
Distanza orizzontale baricentro da $O_M$ (braccio)	$b$	[m]	13,72

### TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	$t$	[kN/m]	16,94
Tiro alla bitta totale	$T$	[kN]	500,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_T$	[m]	14,50



## URTO ECCEZIONALE

Lunghezza nave di progetto	L	m	100,00
Fattore di riduzione ambito portuale			0,50
Forza in direzione longitudinale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dx}$	kN	80.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto frontale			1,30
Fattore di riduzione per impatto a poppa			0,30
Azione longitudinale di calcolo	$F_{dx,d}$	kN	15.600,00
Forza in direzione trasversale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dy}$	kN	40.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto laterale			1,70
Fattore di riduzione per impatto laterale			0,30
Azione trasversale di calcolo	$F_{dy,d}$	kN	10.200,00
Quota limite impatto (+/- sul l.m.m.)		[m]	5,00
Larghezza area di impatto totale	$L_{imp}$	[m]	10,00
Altezza area di impatto	$H_{imp}$	[m]	5,00
braccio forza $F_{d,y}$	$Z_{OM}$	[m]	12,00



## AZIONI SISMICHE

Vita Nominale	$V_N$	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	$C_U$	-	1
Periodo di Riferimento Sisma	$V_R$	anni	50
Tempo di Ritorno	$T_R$	anni	475
Accelerazione sismica al bed rock	$a_g$	[g]	0,050
Parametro Spettro	$F_0$	-	2,880
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]	0,075
Riduzione accelerazione max	$\beta_m$	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	[-]	0,029
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	[-]	0,014



#### SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	$\gamma_w$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10
	$H_w$	[m]	12,00
Spinta idrodinamica	$F_{sw}$	[kN]	799,16
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_{sw}$	[m]	7,20

#### FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA

##### Cassone

Peso cassone in opera	$W$	[kN]	176.272,85
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	5.023,78
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	7,05
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	2.511,89
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	11,80

#### FORZA INDOTTA DAL SISMA SU SOVRACCARICO SUL CASSONE

Peso sovraccarico	$Q$	[kN]	18.768,36
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	534,90
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	14,50
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	267,45
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	13,72





### **AZIONE DI CRESTA D'ONDA (Tr=100 anni)**

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

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	17,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	$h_c$	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di $5H_{1/3}$ dalla diga	$h_b$	m	17,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	11,20
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	$h'$	m	12,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

### **CARATTERISTICHE DELL'ONDA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,00
Altezza d'onda media del terzo più alto	$H_{1/3}$	m	6,16
Coefficiente di riflessione	$C_r$	-	0,60
	$H'_{1/3}$	m	4,93
Lunghezza dell'onda	L	m	142,60
Numero d'onda	k	-	0,044
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	$H_f$	m	17,44
Altezza d'onda incidente	H	m	8,88

### **CALCOLO DI $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ ed $\eta^*$**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,85
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,07
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	2,52
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,07
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa sulla berma	$\alpha_3$	-	0,84
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	13,31



## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=100 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSI IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	11,20
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,80

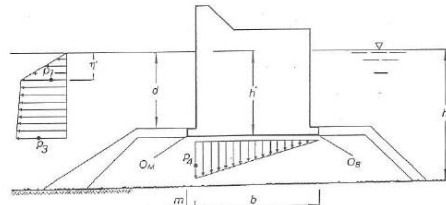


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

$$p_1 = \gamma \eta'$$

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

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

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

H <sub>s</sub>	[m]	6,16
C <sub>r</sub>	[-]	0,60
H' <sub>s</sub>	[m]	4,93
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γ <sub>w</sub>	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10

H <sub>1/100</sub>	[m]	8,23
L	[m]	142,60
k=2π/L		0,04

dove:

- H = H<sub>1/100</sub> = 1,67 H<sub>s</sub> altezza d'onda;
- p<sub>1</sub> = pressione a quota η';
- p<sub>3</sub> = pressione alla base del cassone;
- p<sub>4</sub> = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

Imm+ss+em	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	η'	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>Tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	11,20	12,00	4,96	50,14	77,00	71,97	124,48	447,23	571,71	773,72	8,69	3,27	4,45	14,33
								max	571.71	773.72			4,45	14,33

#### CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	F <sub>tot,unit</sub>	kN/m	571,71
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F <sub>tot</sub>	kN	16.871,07
Braccio rispetto al piano di posa	b <sub>ris</sub>	m	4,45
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	S <sub>w,unit</sub>	kN/m	773,72
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	S <sub>w,tot</sub>	kN	22.832,51
Braccio rispetto a O <sub>T</sub>	b <sub>w</sub>	m	14,33



## AZIONE DI 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	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	17,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	h <sub>c</sub>	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di 5H <sub>1/3</sub> dalla diga	h <sub>b</sub>	m	17,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	11,20
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	h'	m	12,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

### CARATTERISTICHE DELL'ONDA

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,00
Altezza d'onda media del terzo più alto	H <sub>1/3</sub>	m	5,29
Coefficiente di riflessione	C <sub>r</sub>	-	0,60
	H' <sub>1/3</sub>	m	4,23
Lunghezza dell'onda	L	m	128,60
Numero d'onda	k	-	0,049
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	H <sub>f</sub>	m	16,62
Altezza d'onda incidente	H	m	7,62

### CALCOLO DI $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ ed $\eta^*$

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,81
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,05
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	2,94
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,05
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa sulla berma	$\alpha_3$	-	0,81
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	11,43



Comune  
di Favignana

# PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=25 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	11,20
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,80

#### LATO MARE

H <sub>s</sub>	[m]	5,29
C <sub>r</sub>	[-]	0,60
H' <sub>s</sub>	[m]	4,23
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γ <sub>w</sub>	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10

H <sub>1/20</sub>	[m]	5,92
H <sub>1/100</sub>	[m]	7,07
L	[m]	128,60
k=2π/L		0,05

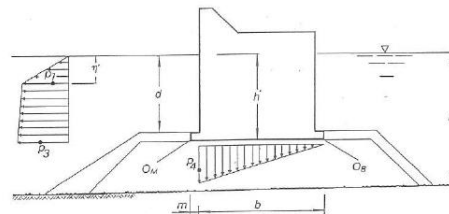


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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 = H<sub>1/100</sub> = 1,67 H<sub>s</sub> altezza d'onda;
- p<sub>1</sub> = pressione a quota η';
- p<sub>3</sub> = pressione alla base del cassone;
- p<sub>4</sub> = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	$\eta'$	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Imm+ss+em	11,20	12,00	4,62	46,66	63,74	59,59	107,77	407,40	515,17	640,55	8,92	3,50	4,63	14,33
							max		515,17	640,55			4,63	14,33

#### CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	F <sub>tot,unit</sub>	kN/m	515,17
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F <sub>tot</sub>	kN	15.202,69
Braccio rispetto al piano di posa	b <sub>ris</sub>	m	4,63
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	S <sub>w,unit</sub>	kN/m	640,55
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	S <sub>w,tot</sub>	kN	18.902,58
Braccio rispetto a O <sub>T</sub>	b <sub>w</sub>	m	14,33



**TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI**

***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		104.025,28	7,82	12,00	11,00
SOVRACCARICO SU CASSONE		18.768,36	x	13,72	9,28
TIRO ALLA BITTA		500,00	14,50	x	x
CRESTA D'ONDA Tr=100 anni	(spinta orizzontale)	35.966,19	8,18	x	x
	(sottospinta)	20.263,13	x	8,67	14,33
CAVO D'ONDA Tr=100 anni	(spinta orizzontale)	16.871,07	4,45	x	x
	(sottospinta)	22.832,51	x	8,67	14,33
CRESTA D'ONDA Tr=25 anni	(spinta orizzontale)	28.499,84	8,96	x	x
	(sottospinta)	16.120,25	x	8,67	14,33
CAVO D'ONDA Tr=25 anni	(spinta orizzontale)	15.202,69	4,63	x	x
	(sottospinta)	18.902,58	x	8,67	14,33
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.023,78	7,05	x	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	2.511,89	x	11,80	11,20
	Spinta idrodinamica	799,16	7,20	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	534,90	14,50	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	267,45	x	13,72	9,28
URTO ECCEZIONALE		10.200,00	12,00	x	x



## VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

### Combinazione-1 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	1,00	-	104.025,28
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	35.966,19	1,00	-	35.966,19
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	20.263,13	1,00	-	20.263,13
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	83.762,16
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	50.257,29
Forza mobilitante	[kN]	35.966,19
Resistenza/Azione	[-]	1,397

### Combinazione-2 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	1,00	-	104.025,28
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	16.871,07	1,00	-	16.871,07
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	22.832,51	1,00	-	22.832,51
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	126.857,80
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	76.114,68
Forza mobilitante	[kN]	16.871,07
Resistenza/Azione	[-]	4,51



**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	1,00	-	104.025,28
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	28.499,84	1,50	-	42.749,76
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	16.120,25	1,50	-	24.180,37
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	79.844,91
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	43.551,77
Forza mobilizante	[kN]	42.749,76
Resistenza/Azione	[-]	1,02

**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	1,00	-	104.025,28
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	15.202,69	1,50	-	22.804,04
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	18.902,58	1,50	-	28.353,86
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	132.379,15
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	72.206,81
Forza mobilizante	[kN]	22.804,04
Resistenza/Azione	[-]	3,17

**Combinazione-5 (SLV)**

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	-	-	104.025,28
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	5.023,78	-	-	5.023,78
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	2.511,89	-	-	2.511,89
Spinta idrodinamica	kN	799,16	-	-	799,16

Risultante forze verticali	[kN]	101.513,40
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	60.908,04
Forza mobilizante	[kN]	5.822,93
Resistenza/Azione	[-]	10,46





**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-6 (ECC)**

*Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico*

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}$ , $\gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	104.025,28	-	-	104.025,28
URTO ECCEZIONALE	kN	10.200,00	-	-	10.200,00

Risultante forze verticali	[kN]	104.025,28
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	62.415,17
Forza mobilitante	[kN]	10.200,00
Resistenza/Azione	[-]	6,12



## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	35.966,19	8,18	294.178,77	1,00	-	294.178,77
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	20.263,13	14,33	290.438,15	1,00	-	290.438,15
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.143.957,89
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	584.616,93
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	1,957

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,00	-	1.248.623,62
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	16.871,07	4,45	75.078,17	1,00	-	75.078,17
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	22.832,51	8,67	197.881,79	1,00	-	197.881,79
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.446.505,40
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	75.078,17
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	19,27

### Combinazione-3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda ( $T_r=25$  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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	383.172,32
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	16.120,25	14,33	231.056,88	1,50	-	346.585,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,15
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	994.746,00
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	729.757,65
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	1,363



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,00	-	1.248.623,62
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,15
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.299.440,96
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	105.668,38
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	12,30

**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 ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	-	-	1.248.623,62
Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.023,78	7,05	35.438,19	-	-	35.438,19
Azione Sismica verticale su Cassone	2.511,89	11,80	29.632,46	-	-	29.632,46
Spinta idrodinamica	799,16	7,20	5.753,94	-	-	5.753,94

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.248.623,62
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	70.824,58
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	17,63

**Combinazione-6 (ECC)**

Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	-	-	1.248.623,62
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	12,00	122.400,00	-	-	122.400,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.248.623,62
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	122.400,00
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	10,20



### 6.2.1 Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo C

Si riportano di seguito i dati relativi al calcolo delle azioni e i risultati delle verifiche.

#### GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}} =$	20,00	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}} =$	29,51	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}} =$	1,50	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}} =$	23,00	m
Altezza solettone	$H_{\text{so}} =$	0,80	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}} =$	542,98	m <sup>3</sup>
	$n. \text{ celle}$	$\text{Area singola cella [m}^2\text{]}$	$\text{Area celle [m}^2\text{]}$
Celle fila 1 (LT)	6	20,10	120,6
Celle fila 2	6	20,10	120,6
Celle fila 3 (prime 5 celle)	5	19,52	97,6
Celle fila 3 (sesta cella)	1	19,52	19,52
Celle fila 4 (LM)	5	19,52	97,6
Celle fila 4 (LM)	1	19,52	19,52
Area totale celle			475,44

Area fusto con celle (da CAD - senza chiavi)	590,20	m <sup>2</sup>
Area celle	475,44	m <sup>2</sup>
Area fusto al netto delle celle	114,76	m <sup>2</sup>

Area fusto	$A_{\text{fusto}} =$	114,76	m <sup>2</sup>
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}} =$	11,70	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}} =$	1.342,69	m <sup>3</sup>

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}} = V_{\text{solettone}} + V_{\text{fusto}}$	1.885,68	m <sup>3</sup>
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G =$	4,85	m
Braccio da $O_M$	$br_{iOM} =$	11,50	m

#### Cassone al netto della finestratura

Diametro finestre parete	$D_{\text{finestra, par}} =$	1,00	m
n° finestre parete	$n_{\text{finestra, par}} =$	48	-
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}} =$	0,60	m
Diametro finestre setti	$D_{\text{finestra, setti}} =$	0,60	m
n° finestre setto longitudinale	$n_{\text{finestra, setto long}} =$	54	-
Spessore finestre setto longitudinale	$S_{\text{fin, setto long}} =$	0,25	m
n° finestre setti trasversali	$n_{\text{finestra, setti trasv}} =$	90	-
Spessore finestre setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestra, est}} =$	22,61	m <sup>3</sup>
Volume finestre setto longitudinale	$V_{\text{finestra, setto long}} =$	3,82	m <sup>3</sup>
Volume finestre setti trasversali	$V_{\text{finestra, setti trasv}} =$	6,36	m <sup>3</sup>
Braccio finestre parete da $O_M$	$br_{\text{fin parete, OM}} =$	1,80	m
Braccio finestre setti da $O_M$	$br_{\text{fin setti trasv, OM}} =$	6,75	m
Altezza baricentro delle finestre parete (da CAD)	$Z_{G \text{ fin parete}} =$	9,18	m
Altezza baricentro delle finestre setti long. e trasv. (da CAD)	$Z_{G \text{ fin setti}} =$	9,98	m
Altezza baricentro delle finestre (da CAD)	$Z_G =$	9,43	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}} =$	1.852,89	m <sup>3</sup>
Braccio cassone da $O_M$	$X_{GOM} =$	11,64	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	4,77	m



*Setti superiori*

n° setti trasversali	$n_{\text{setti trasv}} =$	5	-
Area (da CAD)	$A_{\text{setti trasv}} =$	8,20	m <sup>2</sup>
Spessore setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Volume setti trasversali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	10,25	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

*Pareti laterali superiori*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	2	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	8,18	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	9,82	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	3,60	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

*Parete longitudinale superiore*

n° parete longitudinale	$n_{\text{parete longit}} =$	1	-
Area sez orizz.	$A_{\text{parete longit}} =$	17,71	m <sup>2</sup>
Altezza parete long. super.	$H_{\text{parete longit}} =$	1,50	m
Volume parete long. super	$V_{\text{parete long super}} =$	26,56	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,25	m

*Fori Parete longitudinale superiore*

n° pareti laterali	$n_{\text{pareti laterali}} =$	6	-
Area (da CAD)	$A_{\text{pareti laterali}} =$	0,00	m <sup>2</sup>
Spessore pareti laterali	$S_{\text{pareti laterali}} =$	0,60	m
Volume pareti laterali	$V_{\text{finestre, setto long}} =$	0,00	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	1,80	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,75	m

Volume parte superiore	$V_{\text{parte superiore}} =$	46,63	m <sup>3</sup>
Braccio da $O_M$	$X_{GOM} =$	2,57	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	13,47	m



#### RIEMPIMENTO CASSONE

##### Riempimento celle

	Area [m <sup>2</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Fila 1 (LT)	120,60	18,65	0,00	11,70	0,00
Fila 2	120,60	13,90	0,00	11,70	0,00
Fila 3 (prime 5 celle)	97,60	9,13	0,00	6,70	4,50
Fila 3 (sesta cella)	19,52	9,13	0,00	11,70	4,50
Fila 4 LM (prime 5 celle)	97,60	4,36	0,00	5,20	6,00
Fila 4 LM (sesta cella)	19,52	4,36	0,00	11,70	6,00

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Y da O <sub>M</sub> [m]	Z da O <sub>M</sub> [m]
Riempimento inerte	0,01	18,65	0,80
Cls	4.440,25	12,88	5,91
Acqua	1.229,76	6,40	10,30

##### Sovrastruttura in c.a.

Altezza sovrastruttura escluso getto di complet. (da CAD)	H <sub>sovrast</sub> =	2,00	m
Sezione trasv. vert. Sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	A <sub>sovrast</sub> =	39,71	m <sup>2</sup>
Volume sovrastruttura con muro paraonde	V <sub>sovrast</sub> =	1.171,84	m <sup>3</sup>
Braccio da O <sub>M</sub> (da CAD)	brs <sub>OM</sub> =	11,92	m
Altezza baricentro della sovrastruttura con muro paraonde (da CAD)	Z <sub>G</sub> =	13,88	m

Altezza immersa cassone (da CAD)	H <sub>immersa</sub> =	12,00	m
Altezza totale cassone	H <sub>cassone</sub> =	12,50	m

##### Muro paraonde testa

Lunghezza muro	L <sub>muro testa</sub> =	16,00	m
Altezza muro	H <sub>muro testa</sub> =	1,90	m
Larghezza muro	B <sub>muro testa</sub> =	1,90	m
Volume muro	V <sub>muro testa</sub> =	57,76	m <sup>3</sup>
Altezza baricentro muro di testa (da CAD)	Z <sub>G</sub> =	15,50	m
Braccio da O <sub>M</sub> (da CAD)	brs <sub>OM</sub> =	13,72	m

#### TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME

Peso unità volume acqua di mare	γ <sub>w</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.a.	γ <sub>c.a.</sub>	25,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s.	γ <sub>cls</sub>	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume c.l.s. ciclopico	γ <sub>cls ciclopico</sub>	21,50	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume zavorra	γ <sub>zav</sub>	10,10	kN/m <sup>3</sup>
Peso unità volume riempimento	γ <sub>riemp</sub>	19,00	kN/m <sup>3</sup>



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

*- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -*

## TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m <sup>3</sup> ]	Peso [kN]	Z <sub>Gi</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>P</sub> [m]	X <sub>Gi</sub> rispetto a O <sub>M</sub> [m]
Peso cassone asciutto	1.885,68	47.141,90	4,85	11,50	11,50
Tappi dei fori parete esterna	-22,61	-565,20	9,43	21,20	1,80
Tappi dei fori setti interni	-10,17	-254,34	9,43	16,25	6,75
Parte superiore cella assorbente	46,63	1.165,63	13,47	20,43	2,57
Riempimento materiale inerte	0,01	0,23	0,80	4,35	18,65
Riempimento calcestruzzo	4.440,25	106.565,95	5,91	10,12	12,88
Acqua all'interno delle celle	1.229,76	12.420,58	10,30	16,60	6,40
Sovrastruttura con muro paraonde	1.171,84	29.296,05	13,88	11,08	11,92
Muro paraonde di testa	57,76	1.444,00	15,50	9,28	13,72
CASSONE ASCIUTTO		197.214,79	7,22	11,02	11,98
Spinta idrostatica	7.153,22	-72.247,56	5,94	11,50	11,50
CASSONE IMMERSO	--	124.967,23	7,95	10,73	12,27





## AZIONI ACCIDENTALI

### SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	$q$	[kN/m <sup>2</sup> ]	40,00
Larghezza (al netto del muro paraonde)	$B$	[m]	15,90
Lunghezza sovrastr	$L$	[m]	29,51
Sovraccarico totale	$Q$	[kN]	18.768,36
Distanza orizzontale baricentro da O <sub>M</sub> (braccio)	$b$	[m]	13,72

### TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	$t$	[kN/m]	16,94
Tiro alla bitta totale	$T$	[kN]	500,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_T$	[m]	14,50



## URTO ECCEZIONALE

Lunghezza nave di progetto	L	m	100,00
Fattore di riduzione ambito portuale			0,50
Forza in direzione longitudinale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dx}$	kN	80.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto frontale			1,30
Fattore di riduzione per impatto a poppa			0,30
Azione longitudinale di calcolo	$F_{dx,d}$	kN	15.600,00
Forza in direzione trasversale (Tab. C.4 EN 1991-1-7)	$F_{dy}$	kN	40.000,00
Fattore di amplificazione dinamica - impatto laterale			1,70
Fattore di riduzione per impatto laterale			0,30
Azione trasversale di calcolo	$F_{dy,d}$	kN	10.200,00
Quota limite impatto (+/- sul l.m.m.)		[m]	5,00
Larghezza area di impatto totale	$L_{imp}$	[m]	10,00
Altezza area di impatto	$H_{imp}$	[m]	5,00
braccio forza $F_{d,y}$	$Z_{OM}$	[m]	12,00



## AZIONI SISMICHE

### AZIONI SISMICHE

Vita Nominale	$V_N$	anni	50
Coefficiente Classe d'Uso	$C_U$	-	1
Periodo di Riferimento Sisma	$V_R$	anni	50
Tempo di Ritorno	$T_R$	anni	475
Accelerazione sismica al bed rock	$a_g$	[g]	0,050
Parametro Spettro	$F_0$	-	2,880
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]	0,075
Riduzione accelerazione max	$\beta_m$	[-]	0,38
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	[-]	0,029
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	[-]	0,014



#### SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	$\gamma_w$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10
	$H_w$	[m]	12,00
Spinta idrodinamica	$F_{sw}$	[kN]	799,16
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_{sw}$	[m]	7,20

#### FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA

##### Cassone

Peso cassone in opera	$W$	[kN]	197.214,79
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	5.620,62
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	7,22
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	2.810,31
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	11,98

#### FORZA INDOTTA DAL SISMA SU SOVRACCARICO SUL CASSONE

Peso sovraccarico	$Q$	[kN]	18.768,36
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o$	[kN]	534,90
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G$	[m]	14,50
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v$	[kN]	267,45
braccio forza sismica verticale	$X_{GOM}$	[m]	13,72



### **AZIONE DI CRESTA D'ONDA (Tr=100 anni)**

#### **AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSI IN FASE DI CRESTA (GODA) direzione trasversale GEOMETRIA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	17,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	$h_c$	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di $5H_{1/3}$ dalla diga	$h_b$	m	17,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	11,20
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	$h'$	m	12,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

#### **CARATTERISTICHE DELL'ONDA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,00
Altezza d'onda media del terzo più alto	$H_{1/3}$	m	6,16
Coefficiente di riflessione	$C_r$	-	0,60
	$H'_{1/3}$	m	4,93
Lunghezza dell'onda	L	m	142,60
Numero d'onda	k	-	0,044
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	$H_f$	m	17,44
Altezza d'onda incidente	H	m	8,88



**CALCOLO DI  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  ed  $\eta^*$**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,85
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,07
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	2,52
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,07
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità relativa sulla berma	$\alpha_3$	-	0,84
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	13,31

**CALCOLO DELLE PRESSIONI**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	82,48
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	54,60
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	69,25
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	63,87

**CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE**

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_1$ a $p_2$	308,42	14,10
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_3$ a $p_1$	910,36	6,17
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	1.218,78	8,18

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	1.218,78
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	35.966,19
Braccio rispetto al piano di posa	m	8,18
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	1.235,98
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	36.473,63
Braccio rispetto a $O_T$	m	10,35



## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=100 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDO SO IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	11,20
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,80

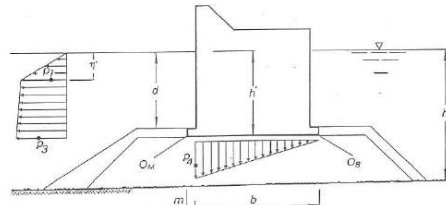


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

Hs	[m]	6,16
Cr	[-]	0,60
H's	[m]	4,93
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γw	[kN/m³]	10,10

H1/100	[m]	8,23
L	[m]	142,60
k=2π/L		0,04

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 Hs altezza d'onda;
- p1 = pressione a quota η';
- p3 = pressione alla base del cassone;
- p4 = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

Imm+ss+em	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	η'	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>Tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	11,20	12,00	4,96	50,14	77,00	71,97	124,48	447,23	571,71	773,72	8,69	3,27	4,45	14,33
	max								571.71	773.72	4,4514,33			

#### CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	Ftot,unit	kN/m	571,71
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	Ftot	kN	16.871,07
Braccio rispetto al piano di posa	bris	m	4,45
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	Sw,unit	kN/m	773,72
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	Sw,tot	kN	22.832,51
Braccio rispetto a O1	bw	m	14,33



## **AZIONE DI CRESTA D'ONDA (Tr=25 anni)**

### **AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSI IN FASE DI CRESTA (GODA) direzione trasversale GEOMETRIA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Peso specifico acqua mare	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	10,10
Profondità dell'acqua	h	m	17,00
Altezza del coronamento rispetto al livello idrico	$h_c$	m	4,50
Tirante idrico ad una distanza di $5H_{1/3}$ dalla diga	$h_b$	m	17,00
Tirante idrico sull'imbasamento	d	m	11,20
Distanza fra il livello di quiete e il fondo della diga	$h'$	m	12,00
Angolo del fondo rispetto all'orizzontale	$\theta$	gradi	5,00
Larghezza platea base meno mensola lato mare	b	m	21,50

### **CARATTERISTICHE DELL'ONDA**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete	$\beta'$	gradi	0,00
Inclinazione dell'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°	$\beta$	radianti	0,00
Altezza d'onda media del terzo più alto	$H_{1/3}$	m	5,29
Coefficiente di riflessione	$C_r$	-	0,60
	$H'_{1/3}$	m	4,23
Lunghezza dell'onda	L	m	128,60
Numero d'onda	k	-	0,049
Limite superiore fisicamente possibile delle onde progressive	$H_f$	m	16,62
Altezza d'onda incidente	H	m	7,62





#### **CALCOLO DI $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ ed $\eta^*$**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Coefficiente che tiene conto della profondità relativa h/L sulle azioni di tipo pulsating	$\alpha_1$	-	0,81
1° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	0,05
2° termine di confronto per il calcolo di $\alpha_2$	-	-	2,94
Coefficiente che tiene conto delle azioni di tipo impact causate dall'altezza dell'imbasamento	$\alpha_2$	-	0,05
Coefficiente che tiene conto degli effetti congiunti dell'altezza relativa del cassone e della profondità	$\alpha_3$	-	0,81
Quota del punto dove si annulla la pressione	$\eta^*$	m	11,43

#### **CALCOLO DELLE PRESSIONI**

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	66,69
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	40,43
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	54,10
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	50,82
NOTA: La pressione si annulla alla quota $n^* < h_c$	$\eta^*$	m	11,43

#### **CALCOLO DELLE SPINTE SUL CASSONE**

	Risultante	Braccio
	KN/m	[m]
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_1$ a $p_2$	241,02	17,25
Risultante Spinta Orizzontale Cresta d'Onda da $p_3$ a $p_1$	724,75	6,21
Spinta Orizzontale Onda fase Cresta unitaria	965,77	8,96

GRANDEZZA	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	965,77
Spinta Orizzontale Cresta d'Onda	kN	28.499,84
Braccio rispetto al piano di posa	m	8,96
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda unitaria	kN/m	983,28
Risultante Spinta Verticale Cresta d'Onda	kN	29.016,45
Braccio rispetto a $O_T$	m	10,75



Comune  
di Favignana

# PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

## AZIONE DI CAVO D'ONDA (Tr=25 anni)

### AZIONE INDOTTA DAL MOTO ONDOSO IN FASE DI CAVO (SAINFLU) direzione trasversale

#### Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	11,20
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	21,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,80

#### LATO MARE

H <sub>s</sub>	[m]	5,29
C <sub>r</sub>	[-]	0,60
H' <sub>s</sub>	[m]	4,23
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γ <sub>w</sub>	[kN/m <sup>3</sup> ]	10,10

H <sub>1/20</sub>	[m]	5,92
H <sub>1/100</sub>	[m]	7,07
L	[m]	128,60
k=2π/L		0,05

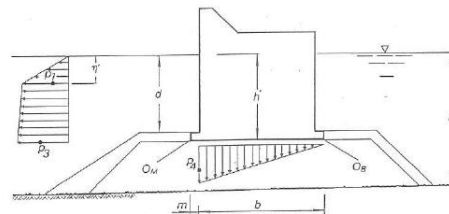


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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 = H<sub>1/100</sub> = 1,67 H<sub>s</sub> altezza d'onda;
- p<sub>1</sub> = pressione a quota η';
- p<sub>3</sub> = pressione alla base del cassone;
- p<sub>4</sub> = sovrappressione sul solettone;
- h' = profondità all'intradosso del piede;
- d = profondità all'estradosso del piede;
- γ = densità dell'acqua marina;
- L = lunghezza d'onda;
- K = 2π/L.

	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	η'	p <sub>1</sub>	p <sub>3</sub>	p <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>tot</sub>	S <sub>w</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>ris</sub>	b <sub>w</sub>
	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Imm+ss+em	11,20	12,00	4,62	46,66	63,74	59,59	107,77	407,40	515,17	640,55	8,92	3,50	4,63	14,33
							max		515,17	640,55			4,63	14,33

#### CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	F <sub>tot,unit</sub>	kN/m	515,17
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	F <sub>tot</sub>	kN	15.202,69
Braccio rispetto al piano di posa	b <sub>ris</sub>	m	4,63
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	S <sub>w,unit</sub>	kN/m	640,55
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	S <sub>w,tot</sub>	kN	18.902,58
Braccio rispetto a O <sub>T</sub>	b <sub>w</sub>	m	14,33



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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		124.967,23	7,95	12,27	10,73
SOVRACCARICO SU CASSONE		18.768,36	x	13,72	9,28
TIRO ALLA BITTA		500,00	14,50	x	x
CRESTA D'ONDA $Tr=100$ anni	(spinta orizzontale)	35.966,19	8,18	x	x
	(sottospinta)	36.473,63	x	12,65	10,35
CAVO D'ONDA $Tr=100$ anni	(spinta orizzontale)	16.871,07	4,45	x	x
	(sottospinta)	22.832,51	x	8,67	14,33
CRESTA D'ONDA $Tr=25$ anni	(spinta orizzontale)	28.499,84	8,96	x	x
	(sottospinta)	29.016,45	x	12,25	10,75
CAVO D'ONDA $Tr=25$ anni	(spinta orizzontale)	15.202,69	4,63	x	x
	(sottospinta)	18.902,58	x	8,67	14,33
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.620,62	7,22	x	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	2.810,31	x	11,98	11,02
	Spinta idrodinamica	799,16	7,20	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	534,90	14,50	x	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	267,45	x	13,72	9,28
URTO ECCEZIONALE		10.200,00	12,00	x	x



## VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

### Combinazione-1 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	1,00	-	124.967,23
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	35.966,19	1,00	-	35.966,19
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	36.473,63	1,00	-	36.473,63
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	88.493,60
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	53.096,16
Forza mobilitante	[kN]	35.966,19
Resistenza/Azione	[-]	1,476

### Combinazione-2 (ECC)

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

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	1,00	-	124.967,23
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	16.871,07	1,00	-	16.871,07
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	22.832,51	1,00	-	22.832,51
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	147.799,75
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	88.679,85
Forza mobilitante	[kN]	16.871,07
Resistenza/Azione	[-]	5,26



**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	1,00	-	124.967,23
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	kN	28.499,84	1,50	-	42.749,76
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	kN	29.016,45	1,50	-	43.524,67
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	81.442,56
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	44.423,22
Forza mobilizante	[kN]	42.749,76
Resistenza/Azione	[-]	1,04

**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. ( $\psi_{Qi}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	1,00	-	124.967,23
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	kN	15.202,69	1,50	-	22.804,04
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	kN	18.902,58	1,50	-	28.353,86
SOVRACCARICO SU CASSONE	kN	18.768,36	0,00	0,70	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	153.321,10
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,10
Forza resistente	[kN]	83.629,69
Forza mobilizante	[kN]	22.804,04
Resistenza/Azione	[-]	3,67

**Combinazione-5 (SLV)**

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	-	-	124.967,23
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	5.620,62	-	-	5.620,62
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	2.810,31	-	-	2.810,31
Spinta idrodinamica	kN	799,16	-	-	799,16

Risultante forze verticali	[kN]	122.156,92
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	73.294,15
Forza mobilizante	[kN]	6.419,78
Resistenza/Azione	[-]	11,42



**Comune  
di Favignana**

**PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA**

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-6 (ECC)**

*Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico*

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}$ , $\gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	124.967,23	-	-	124.967,23
URTO ECCEZIONALE	kN	10.200,00	-	-	10.200,00

Risultante forze verticali	[kN]	124.967,23
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza $\gamma_R$	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	74.980,34
Forza mobilitante	[kN]	10.200,00
Resistenza/Azione	[-]	7,35



## VERIFICA AL RIBALTAMENTO

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	35.966,19	8,18	294.178,77	1,00	-	294.178,77
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	36.473,63	10,35	377.569,60	1,00	-	377.569,60
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.341.500,43
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	671.748,37
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	1,997

### 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,00	-	1.532.745,91
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	16.871,07	4,45	75.078,17	1,00	-	75.078,17
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	22.832,51	8,67	197.881,79	1,00	-	197.881,79
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.730.627,70
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	75.078,17
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	23,05

### Combinazione-3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	383.172,32
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	29.016,45	10,75	311.926,79	1,50	-	467.890,19
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	0,00	0,70	0,00

Coeff. parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,15
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.166.522,11
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	851.062,51
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	1,371



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{oi}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,00	-	1.532.745,91
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	0,00	0,70	0,00

Coeff.parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,15
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.546.503,82
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	105.668,38
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	14,64

**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 ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	-	-	1.532.745,91
Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.620,62	7,22	40.566,33	-	-	40.566,33
Azione Sismica verticale su Cassone	2.810,31	11,98	33.681,20	-	-	33.681,20
Spinta idrodinamica	799,16	7,20	5.753,94	-	-	5.753,94

Coeff.parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.532.745,91
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	80.001,46
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	19,16

**Combinazione-6 (ECC)**

Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	-	-	1.532.745,91
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	12,00	122.400,00	-	-	122.400,00

Coeff.parziale resistenza	$\gamma_R$	[-]	1,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.532.745,91
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	122.400,00
Resistente/Azione	$M_{res}/M_{rib}$	[kNm]	12,52





### 6.3 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<sup>2</sup>.

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:

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-6 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico
Combinazione-7 (SLE - RARA)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-8 (SLE - RARA)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Cresta d'Onda (Tr=25 anni)

#### 6.3.1 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo A

La seguente tabella riporta la sintesi dei risultati delle verifiche eseguite.

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	$\sigma'_{\max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma'_{\min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Combinazione-1 (ECC)	95.957,86	38.681,17	2,93	23,00	249,38	33,38
Combinazione-2 (ECC)	150.837,07	13.075,07	1,09	23,00	285,40	159,06
Combinazione-3a (STR)	94.490,19	44.466,67	4,39	21,33	300,20	0,00
Combinazione-3b (STR)	128.146,58	44.466,67	3,05	23,00	339,26	38,35
Combinazione-4a (STR)	162.373,14	17.497,77	1,12	23,00	309,10	169,36
Combinazione-4b (STR)	196.029,53	17.497,77	1,05	23,00	367,64	209,99
Combinazione-5 (SLV)	112.624,17	5.223,28	0,82	23,00	201,40	130,46
Combinazione-6 (ECC)	115.020,92	10.200,00	1,30	23,00	227,11	111,82
Combinazione-7 (SLE - RARA)	100.389,45	29.644,44	2,50	23,00	244,23	51,59
Combinazione-8 (SLE - RARA)	145.644,75	11.665,18	1,01	23,00	271,11	158,05
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	116.909,56	0,00	0,42	23,00	190,92	153,57



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,00	-	112.187,96	1.367.830,19
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	38.681,17	6,55	253.237,51	1,00	-	38.681,17	253.237,51
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	22.840,35	14,33	327.378,30	1,00	-	22.840,35	327.378,30
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	1,00	0,70	6.610,24	35.298,68

Risultante forze verticali	N'	[kN]	95.957,86
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	38.681,17
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.403.128,87
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	580.615,81
Eccentricità	e	[m]	2,93
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	249,38
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	33,38

**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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	1,00	-	112.187,96	1.212.492,98
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	13.075,07	2,80	36.628,60	1,00	-	13.075,07	36.628,60
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	32.038,86	8,67	277.670,14	1,00	-	32.038,86	277.670,14
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	1,00	0,70	6.610,24	116.736,84

Risultante forze verticali	N'	[kN]	150.837,07
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	13.075,07
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.606.899,96
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	36.628,60
Eccentricità	e	[m]	1,09
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	285,40
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	159,06



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-3a (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,00	-	112.187,96	1.367.830,19
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	29.644,44	7,94	235.401,19	1,50	-	44.466,67	353.101,78
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	18.408,75	14,33	263.858,82	1,50	-	27.613,13	395.788,23
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	1,50	0,70	9.915,36	52.948,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	94.490,19
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	44.466,67
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.420.778,21
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	748.890,01
Eccentricità	e	[m]	4,39
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	21,33
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	300,20
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	0,00

**Combinazione-3b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,30	-	145.844,35	1.778.179,24
Momento Ribaltante	29.644,44	7,94	235.401,19	1,50	-	44.466,67	353.101,78
Resistente/Azione	18.408,75	14,33	263.858,82	1,50	-	27.613,13	395.788,23
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	1,50	0,70	9.915,36	52.948,02

Risultante forze verticali	N'	[kN]	128.146,58
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	44.466,67
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.831.127,26
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	748.890,01
Eccentricità	e	[m]	3,05
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	339,26
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	38,35



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-4a (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	1,00	-	112.187,96	1.212.492,98
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	11.665,18	2,92	34.064,75	1,50	-	17.497,77	51.097,12
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	26.846,54	8,67	232.670,04	1,50	-	40.269,82	349.005,07
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	1,50	0,70	9.915,36	175.105,26

Risultante forze verticali	N'	[kN]	162.373,14
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	17.497,77
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.736.603,30
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	51.097,12
Eccentricità	e	[m]	1,12
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	309,10
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	169,36

**Combinazione-4b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	1,30	-	145.844,35	1.576.240,87
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	11.665,18	2,92	34.064,75	1,50	-	17.497,77	51.097,12
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	26.846,54	8,67	232.670,04	1,50	-	40.269,82	349.005,07
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	1,50	0,70	9.915,36	175.105,26

Risultante forze verticali	N'	[kN]	196.029,53
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	17.497,77
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	2.100.351,20
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	51.097,12
Eccentricità	e	[m]	1,05
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	367,64
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	209,99



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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 ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	-	-	112.187,96	1.212.492,98
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	-	0,30	2.832,96	50.030,07
Spinta idrodinamica	429,77	5,28	2.269,18	-	-	429,77	2.269,18
Azione Sismica orizzontale su Cassone	4.712,77	6,31	29.742,34	-	-	4.712,77	29.742,34
Azione Sismica verticale su Cassone	2.356,38	11,03	25.991,64	-	-	2.356,38	25.991,64
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	269,13	11,30	3.041,18	-	0,30	80,74	912,35
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	134,57	17,66	2.376,43	-	0,30	40,37	712,93

Risultante forze verticali	N'	[kN]	112.624,17
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	5.223,28
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.262.523,05
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	59.628,45
Eccentricità	e	[m]	0,82
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	201,40
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	130,46

**Combinazione-6 (ECC)**

Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	-	-	112.187,96	1.212.492,98
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	-	0,30	2.832,96	50.030,07
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	8,80	89.760,00	-	-	10.200,00	89.760,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	115.020,92
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	10.200,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.262.523,05
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	89.760,00
Eccentricità	e	[m]	1,30
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	227,11
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	111,82



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-7 (SLE - RARA)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{G1}, \gamma_{Q1}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{01}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,00	-	112.187,96	1.367.830,19
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	29.644,44	7,94	235.401,19	1,00	-	29.644,44	235.401,19
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	18.408,75	14,33	263.858,82	1,00	-	18.408,75	263.858,82
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	1,00	0,70	6.610,24	35.298,68

Risultante forze verticali	N'	[kN]	100.389,45
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	29.644,44
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.403.128,87
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	499.260,00
Eccentricità	e	[m]	2,50
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	244,23
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	51,59

**Combinazione-8 (SLE - RARA)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{G1}, \gamma_{Q1}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{01}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	10,81	1.212.492,98	1,00	-	112.187,96	1.212.492,98
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	11.665,18	2,92	34.064,75	1,00	-	11.665,18	34.064,75
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	26.846,54	8,67	232.670,04	1,00	-	26.846,54	232.670,04
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	17,66	166.766,91	1,00	0,70	6.610,24	116.736,84

Risultante forze verticali	N'	[kN]	145.644,75
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	11.665,18
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.561.899,86
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	34.064,75
Eccentricità	e	[m]	1,01
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	271,11
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	158,05



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-9 (SLE - FREQ)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{G1}, \gamma_{Q1}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{1b}, \psi_{2l}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	112.187,96	12,19	1.367.830,19	1,00	-	112.187,96	1.367.830,19
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	29.644,44	7,94	235.401,19	1,00	0,00	0,00	0,00
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	18.408,75	14,33	263.858,82	1,00	0,00	0,00	0,00
SOVRACCARICO SU CASSONE	9.443,20	5,34	50.426,69	1,00	0,50	4.721,60	25.213,34

Risultante forze verticali	N'	[kN]	116.909,56
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	0,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.393.043,53
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	0,00
Eccentricità	e	[m]	0,42
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	190,92
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	153,57



### 6.3.1 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo B

La seguente tabella riporta la sintesi dei risultati delle verifiche eseguite.

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	$\sigma'_{\max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma'_{\min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Combinazione-1 (ECC)	96.900,01	35.966,19	4,47	21,09	311,37	0,00
Combinazione-2 (ECC)	139.995,65	16.871,07	0,42	23,00	228,66	183,86
Combinazione-3a (STR)	99.551,69	42.749,76	5,50	17,99	374,98	0,00
Combinazione-3b (STR)	130.759,27	42.749,76	4,31	21,57	410,80	0,00
Combinazione-4a (STR)	152.085,92	22.804,04	0,59	23,00	258,64	189,51
Combinazione-4b (STR)	183.293,51	22.804,04	0,40	23,00	298,58	241,53
Combinazione-5 (SLV)	107.063,67	5.983,40	0,19	23,00	165,58	149,90
Combinazione-6 (ECC)	109.655,79	10.200,00	0,52	23,00	183,69	139,43
Combinazione-7 (SLE - RARA)	101.042,89	28.499,84	3,79	23,00	295,93	1,81
Combinazione-8 (SLE - RARA)	136.065,71	15.202,69	0,31	23,00	216,81	184,13
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	113.409,46	0,00	0,65	23,00	195,21	138,97

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

Ribaltamento rispetto a O<sub>r</sub>

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	104.025,28	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	35.966,19	8,18	294.178,77	1,00	-	35.966,19	294.178,77
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	20.263,13	14,33	290.438,15	1,00	-	20.263,13	290.438,15
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,70	13.137,85	121.919,27

Risultante forze verticali	N'	[kN]	96.900,01
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	35.966,19
Momento Resistente	M <sub>Res</sub>	[kNm]	1.265.877,16
Momento Ribaltante	M <sub>Rib</sub>	[kNm]	584.616,93
Eccentricità	e	[m]	4,47
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	21,09
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{\max}$	[kPa]	311,37
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{\min}$	[kPa]	0,00





Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,00	-	104.025,28	1.248.623,62
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	16.871,07	4,45	75.078,17	1,00	-	16.871,07	75.078,17
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	22.832,51	8,67	197.881,79	1,00	-	22.832,51	197.881,79
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,00	0,70	13.137,85	180.251,33

Risultante forze verticali	N'	[kN]	139.995,65
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	16.871,07
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.626.756,73
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	75.078,17
Eccentricità	e	[m]	0,42
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	228,66
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	183,86

**Combinazione-3a (STR)** Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	104.025,28	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	42.749,76	383.172,32
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	16.120,25	14,33	231.056,88	1,50	-	24.180,37	346.585,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,50	0,70	19.706,78	182.878,90

Risultante forze verticali	N'	[kN]	99.551,69
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	42.749,76
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.326.836,79
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	729.757,65
Eccentricità	e	[m]	5,50
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	17,99
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	374,98
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	0,00



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-3b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,30	-	135.232,87	1.487.145,26
Momento Ribaltante	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	42.749,76	383.172,32
Resistente/Azione	16.120,25	14,33	231.056,88	1,50	-	24.180,37	346.585,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,50	0,70	19.706,78	182.878,90

Risultante forze verticali	N'	[kN]	130.759,27
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	42.749,76
Momento Resistente	M <sub>Res</sub>	[kNm]	1.670.024,16
Momento Ribaltante	M <sub>Rib</sub>	[kNm]	729.757,65
Eccentricità	e	[m]	4,31
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	21,57
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	410,80
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	0,00

**Combinazione-4a (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,00	-	104.025,28	1.248.623,62
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	22.804,04	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	28.353,86	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,50	0,70	19.706,78	270.376,99

Risultante forze verticali	N'	[kN]	152.085,92
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	22.804,04
Momento Resistente	M <sub>Res</sub>	[kNm]	1.764.734,09
Momento Ribaltante	M <sub>Rib</sub>	[kNm]	105.668,38
Eccentricità	e	[m]	0,59
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	258,64
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	189,51



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-4b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,30	-	135.232,87	1.623.210,70
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	22.804,04	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	28.353,86	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,50	0,70	19.706,78	270.376,99

Risultante forze verticali	N'	[kN]	183.293,51
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	22.804,04
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	2.139.321,18
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	105.668,38
Eccentricità	e	[m]	0,40
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	298,58
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	241,53

**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 ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	-	-	104.025,28	1.248.623,62
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	-	0,30	5.630,51	77.250,57
Spinta idrodinamica	799,16	7,20	5.753,94	-	-	799,16	5.753,94
Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.023,78	7,05	35.438,19	-	-	5.023,78	35.438,19
Azione Sismica verticale su Cassone	2.511,89	11,80	29.632,46	-	-	2.511,89	29.632,46
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	534,90	14,50	7.756,02	-	0,30	160,47	2.326,81
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	267,45	13,72	3.669,40	-	0,30	80,23	1.100,82

Risultante forze verticali	N'	[kN]	107.063,67
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	5.983,40
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.325.874,19
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	74.252,21
Eccentricità	e	[m]	0,19
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	165,58
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	149,90



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-6 (ECC)** Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	-	-	104.025,28	1.248.623,62
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	-	0,30	5.630,51	77.250,57
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	12,00	122.400,00	-	-	10.200,00	122.400,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	109.655,79
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	10.200,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.325.874,19
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	122.400,00
Eccentricità	e	[m]	0,52
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	183,69
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	139,43

**Combinazione-7 (SLE - RARA)** Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda ( $T_r=25$  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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	104.025,28	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,00	-	28.499,84	255.448,22
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	16.120,25	14,33	231.056,88	1,00	-	16.120,25	231.056,88
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,70	13.137,85	121.919,27

Risultante forze verticali	N'	[kN]	101.042,89
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	28.499,84
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.265.877,16
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	486.505,10
Eccentricità	e	[m]	3,79
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	295,93
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	1,81



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-8 (SLE - RARA)**

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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	12,00	1.248.623,62	1,00	-	104.025,28	1.248.623,62
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,00	-	15.202,69	70.445,59
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,00	-	18.902,58	163.822,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,00	0,70	13.137,85	180.251,33

Risultante forze verticali	N'	[kN]	136.065,71
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	15.202,69
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.592.697,27
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	70.445,59
Eccentricità	e	[m]	0,31
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	216,81
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	184,13

**Combinazione-9 (SLE - FREQ)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	104.025,28	11,00	1.143.957,89	1,00	-	104.025,28	1.143.957,89
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,00	0,00	0,00	0,00
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	16.120,25	14,33	231.056,88	1,00	0,00	0,00	0,00
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,50	9.384,18	87.085,19

Risultante forze verticali	N'	[kN]	113.409,46
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	0,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.231.043,09
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	0,00
Eccentricità	e	[m]	0,65
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	195,21
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	138,97



### 6.3.1 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo C

La seguente tabella riporta la sintesi dei risultati delle verifiche eseguite.

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	$\sigma'_{\max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma'_{\min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Combinazione-1 (ECC)	101.631,46	35.966,19	3,71	23,00	294,67	4,80
Combinazione-2 (ECC)	160.937,60	16.871,07	0,09	23,00	242,87	231,36
Combinazione-3a (STR)	101.149,34	42.749,76	4,84	19,97	343,28	0,00
Combinazione-3b (STR)	138.639,51	42.749,76	3,74	23,00	403,58	4,94
Combinazione-4a (STR)	173.027,87	22.804,04	0,27	23,00	272,85	237,01
Combinazione-4b (STR)	210.518,04	22.804,04	0,09	23,00	317,06	303,27
Combinazione-5 (SLV)	127.707,19	6.580,25	0,45	23,00	210,42	165,89
Combinazione-6 (ECC)	130.597,74	10.200,00	0,11	23,00	197,90	186,93
Combinazione-7 (SLE - RARA)	109.088,64	28.499,84	3,29	23,00	298,50	22,95
Combinazione-8 (SLE - RARA)	157.007,66	15.202,69	0,01	23,00	231,63	231,02
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	134.351,41	0,00	0,87	23,00	242,70	153,19

**Combinazione-1 (ECC)** Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda ( $T_r=100$  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. ( $\psi_{oi}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	124.967,23	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	35.966,19	8,18	294.178,77	1,00	-	35.966,19	294.178,77
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	36.473,63	10,35	377.569,60	1,00	-	36.473,63	377.569,60
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,70	13.137,85	121.919,27

Risultante forze verticali	N'	[kN]	101.631,46
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	35.966,19
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.463.419,70
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	671.748,37
Eccentricità	e	[m]	3,71
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{\max}$	[kPa]	294,67
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{\min}$	[kPa]	4,80



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**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. ( $\psi_{oi}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,00	-	124.967,23	1.532.745,91
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	16.871,07	4,45	75.078,17	1,00	-	16.871,07	75.078,17
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	22.832,51	8,67	197.881,79	1,00	-	22.832,51	197.881,79
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,00	0,70	13.137,85	180.251,33

Risultante forze verticali	N'	[kN]	160.937,60
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	16.871,07
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.910.879,03
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	75.078,17
Eccentricità	e	[m]	0,09
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	242,87
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	231,36

**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 ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	124.967,23	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	42.749,76	383.172,32
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	29.016,45	10,75	311.926,79	1,50	-	43.524,67	467.890,19
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,50	0,70	19.706,78	182.878,90

Risultante forze verticali	N'	[kN]	101.149,34
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	42.749,76
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.524.379,33
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	851.062,51
Eccentricità	e	[m]	4,84
sezione parzializzata		[-]	SI
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	19,97
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	343,28
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	0,00



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-3b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Ql}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0l}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,30	-	162.457,40	1.743.950,56
Momento Ribaltante	28.499,84	8,96	255.448,22	1,50	-	42.749,76	383.172,32
Resistente/Azione	29.016,45	10,75	311.926,79	1,50	-	43.524,67	467.890,19
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,50	0,70	19.706,78	182.878,90

Risultante forze verticali	N'	[kN]	138.639,51
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	42.749,76
Momento Resistente	M <sub>Res</sub>	[kNm]	1.926.829,46
Momento Ribaltante	M <sub>Rib</sub>	[kNm]	851.062,51
Eccentricità	e	[m]	3,74
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	403,58
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	4,94

**Combinazione-4a (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Ql}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0l}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,00	-	124.967,23	1.532.745,91
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	22.804,04	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	28.353,86	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,50	0,70	19.706,78	270.376,99

Risultante forze verticali	N'	[kN]	173.027,87
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	22.804,04
Momento Resistente	M <sub>Res</sub>	[kNm]	2.048.856,39
Momento Ribaltante	M <sub>Rib</sub>	[kNm]	105.668,38
Eccentricità	e	[m]	0,27
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	272,85
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	237,01





Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-4b (STR)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,30	-	162.457,40	1.992.569,68
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,50	-	22.804,04	105.668,38
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,50	-	28.353,86	245.733,48
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,50	0,70	19.706,78	270.376,99

Risultante forze verticali	N'	[kN]	210.518,04
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	22.804,04
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	2.508.680,16
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	105.668,38
Eccentricità	e	[m]	0,09
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	317,06
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	303,27

**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 ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	-	-	124.967,23	1.532.745,91
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	-	0,30	5.630,51	77.250,57
Spinta idrodinamica	799,16	7,20	5.753,94	-	-	799,16	5.753,94
Azione Sismica orizzontale su Cassone	5.620,62	7,22	40.566,33	-	-	5.620,62	40.566,33
Azione Sismica verticale su Cassone	2.810,31	11,98	33.681,20	-	-	2.810,31	33.681,20
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	534,90	14,50	7.756,02	-	0,30	160,47	2.326,81
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	267,45	13,72	3.669,40	-	0,30	80,23	1.100,82

Risultante forze verticali	N'	[kN]	127.707,19
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	6.580,25
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.609.996,48
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	83.429,09
Eccentricità	e	[m]	0,45
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	210,42
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	165,89



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-6 (ECC)** Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico

Ribaltamento rispetto a  $O_M$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	-	-	124.967,23	1.532.745,91
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	-	0,30	5.630,51	77.250,57
URTO ECCEZIONALE	10.200,00	12,00	122.400,00	-	-	10.200,00	122.400,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	130.597,74
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	10.200,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.609.996,48
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	122.400,00
Eccentricità	e	[m]	0,11
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	197,90
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	186,93

**Combinazione-7 (SLE - RARA)** Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda ( $T_r=25$  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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	124.967,23	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,00	-	28.499,84	255.448,22
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	29.016,45	10,75	311.926,79	1,00	-	29.016,45	311.926,79
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,70	13.137,85	121.919,27

Risultante forze verticali	N'	[kN]	109.088,64
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	28.499,84
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.463.419,70
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	567.375,01
Eccentricità	e	[m]	3,29
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	298,50
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	22,95



Comune  
di Favignana

PROGETTO ESECUTIVO I° STRALCIO FUNZIONALE  
COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni cellulari tipo A, B e C -

**Combinazione-8 (SLE - RARA)**

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. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	12,27	1.532.745,91	1,00	-	124.967,23	1.532.745,91
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	15.202,69	4,63	70.445,59	1,00	-	15.202,69	70.445,59
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	18.902,58	8,67	163.822,32	1,00	-	18.902,58	163.822,32
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	13,72	257.501,90	1,00	0,70	13.137,85	180.251,33

Risultante forze verticali	N'	[kN]	157.007,66
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	15.202,69
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.876.819,56
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	70.445,59
Eccentricità	e	[m]	0,01
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	231,63
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	231,02

**Combinazione-9 (SLE - FREQ)**

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

Ribaltamento rispetto a  $O_T$

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}, \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	124.967,23	10,73	1.341.500,43	1,00	-	124.967,23	1.341.500,43
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	28.499,84	8,96	255.448,22	1,00	0,00	0,00	0,00
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	29.016,45	10,75	311.926,79	1,00	0,00	0,00	0,00
SOVRACCARICO SU CASSONE	18.768,36	9,28	174.170,38	1,00	0,50	9.384,18	87.085,19

Risultante forze verticali	N'	[kN]	134.351,41
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	0,00
Momento Resistente	$M_{Res}$	[kNm]	1.428.585,62
Momento Ribaltante	$M_{Rib}$	[kNm]	0,00
Eccentricità	e	[m]	0,87
sezione parzializzata		[-]	NO
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	23,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	29,51
tensione verticale efficace massima	$\sigma'_{max}$	[kPa]	242,70
tensione verticale efficace minima	$\sigma'_{min}$	[kPa]	153,19