



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 G1, G2, G3 e G4

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



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	4
3	NORMATIVE E ISTRUZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO	10
4	MATERIALI	12
4.1	Calcestruzzo strutturale e non strutturale	12
4.2	Scanno d'imbasamento e rinfiango.....	12
5	AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO	13
5.1	Carico di banchina.....	13
5.2	Moto ondoso	14
5.2.1	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo.....	14
5.3	Spinta del terreno di rinfiango in condizioni statiche	15
5.4	Tiro alla bitta.....	16
5.5	Urti e forze di accosto trasmesse attraverso il parabordo	16
5.5.1	Urto da nave fuori controllo.....	16
5.6	Sisma.....	17
5.6.1	Spinta del terreno in condizioni sismiche	20
5.6.2	Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina	21
5.6.3	Spinta idrodinamica indotta dal sisma	22
5.6.4	Forze di massa indotte dal sisma	22
6	VERIFICHE DEI CASSONI.....	23
6.1	Verifiche di stabilità in fase di galleggiamento	23
6.1.1	Cassone tipo G1.....	24
6.1.2	Cassone tipo G2.....	27
6.1.3	Cassone tipo G3.....	29
6.1.1	Cassone tipo G4.....	31
6.2	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione	33
6.2.1	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo G1 (muro di sponda alla radice, a tre celle)	37
6.2.2	Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo G3 (muro di sponda lungo il molo, a tre celle).....	53
6.3	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento	69



**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 G1, G2, G3 e G4-

6.3.1	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo G1 (Muro di Sponda alla radice, a tre celle)	69
6.3.2	Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo G3 (Muro di Sponda lungo il molo, a tre celle)	74



**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 G1, G2, G3 e G4-

1 PREMESSA

La presente relazione illustra le verifiche di stabilità dei Cassoni cellulari del banchinamento alla radice della nuova Diga Foranea di Favignana.

Le verifiche di stabilità alla navigazione sono state eseguite per tutte le tipologie di cassoni (G1, G2, G3 e G4).

Le verifiche di stabilità alla traslazione, alla rotazione ed allo schiacciamento dell'imbasamento sono state eseguite soltanto per i cassoni a 3 celle (G1 e G3), dove è prevista l'installazione di una bitta da 50 t.

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. Per quanto riguarda le dimensioni geometriche, i cassoni cellulari si diversificano in due tratti:

- Primo Tratto: n°11 cassoni tipo G, di dimensioni ridotte, imbasati a – 6,00 m s.l.m.m;
- Secondo Tratto: n°4 cassoni, tipo A, B e C, di dimensioni maggiori, imbasati a – 8,80 m s.l.m.m (tipo A) e a – 12,00 m s.l.m.m. (tipo B e tipo C).

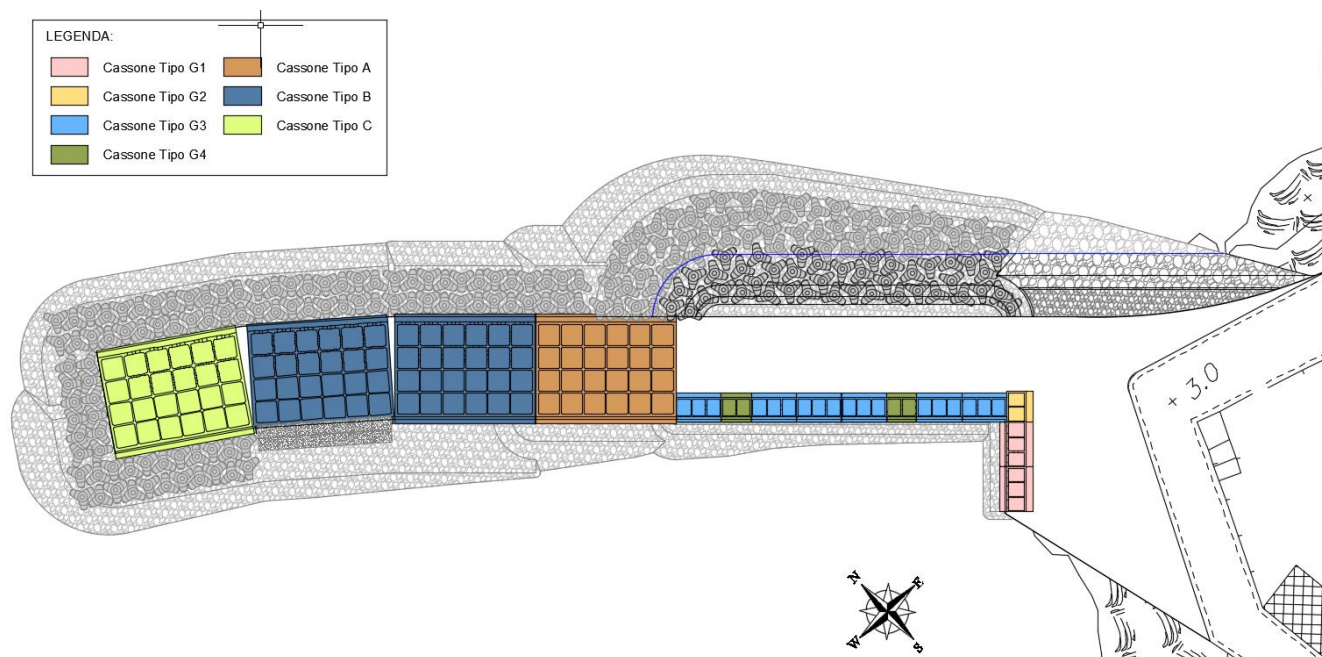


Figura 1 - Planimetria d'imbasamento dei cassoni

Il banchinamento alla radice della Nuova Diga Foranea è costituito da n°11 cassoncini tipo G a pianta rettangolare imbasati tutti a quota -6,00 m s.l.m.m.. I cassoncini di tipo G si suddividono in 4 tipologie differenti, G1, G2, G3 e G4; G1 e G3 sono cassoni a tre celle antiriflettenti con dimensione pari a 9,40x4,00x6,00 m (escluso il solettone di base) mentre G2 e G4 sono cassoni a 2 celle e presentano dimensione pari a 6,35x4,00x6,00m (escluso il solettone di base). Tutti i cassoni G hanno celle interne di uguali dimensioni (2,80x3,40 m).

Le pareti esterne longitudinali, lato porto e lato piazzale hanno spessore di 0,30 m, mentre le pareti trasversali ed i setti hanno spessore di 0,25 m.

Con riferimento ai cassoni G1, G3 e G4, nella parete longitudinale lato porto, in ciascuna cella, è presente un foro rettangolare (2,00x1,50 m), mentre su ciascun setto trasversale è presente n°1 foro rettangolare (1,70x0,90 m).

Il solettone di fondazione ha spessore pari a 0,50 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 G1, G2, G3 e G4-

I cassoni G1 e G2 si trovano alla radice del molo, in corrispondenza del poggia portellone. La fondazione ha mensole di lunghezza pari a 1,50 m. I cassoni G3 e G4 sono disposti lungo il molo ed hanno mensole di fondazione pari a 1,00 m.

Le celle dei cassoni G1, G3 e G4, sono parzialmente riempite con calcestruzzo sino a quota -2,00 m s.l.m.m., mentre per quelle del cassone G2 il riempimento in cls è previsto per l'intera altezza.

La quota di posa prevista è pari a -6,00 m s.l.m.m.. Il cassone emerge di 0,50 m rispetto al l.m.m.. Al di sopra di questo si sviluppa il solaio di copertura, necessario per la navigabilità del cassone, costituito da predalle prefabbricate e getto di completamento, di spessore pari a 0,15 m, e la sovrastruttura in c.a.. La quota banchina sul ciglio è pari a +2,50 m s.l.m..

E' prevista l'installazione di bitte da 50 t sui cassoni a n°3 celle (G1 e G3).

Tutti i tipi di cassoni G sono imbasati su uno scanno in pietrame dello spessore pari a 0,50 m. Lato piazzale, a tergo del cassone, è previsto un rinfiango in pietrame (5÷50 kg) con pendenza della scarpa pari a 1/1 e quota della berma +0,50 m s.l.m.m.

Di seguito le carpenterie dei cassoni tipo G1, G2, G3 e G4. Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici.



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 G1, G2, G3 e G4-

SEZIONE A-A

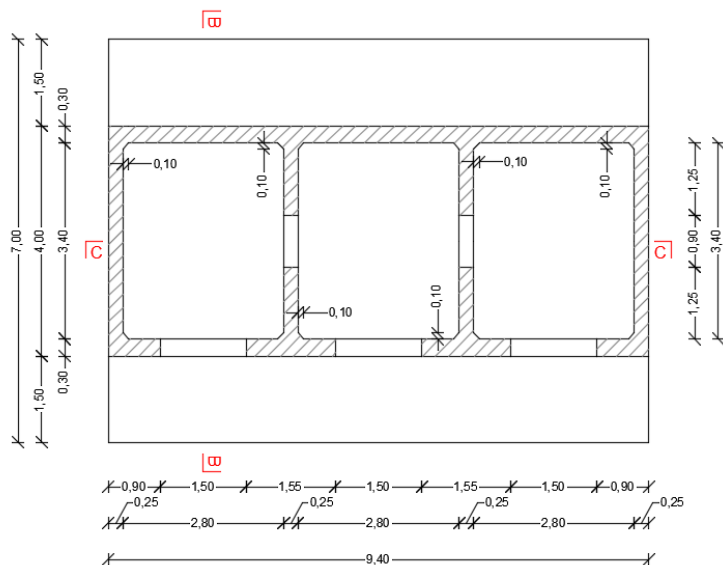


Figura 2 – Cassone tipo G1: carpenteria –
Sezione orizzontale A-A

SEZIONE B-B

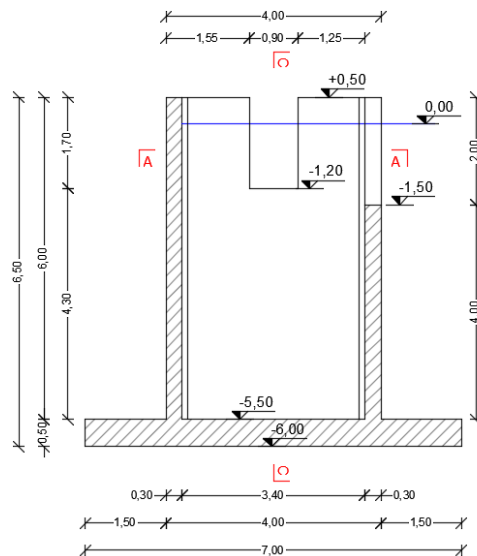


Figura 3 – Cassone tipo G1: carpenteria –
Sezione verticale B-B

SEZIONE C-C

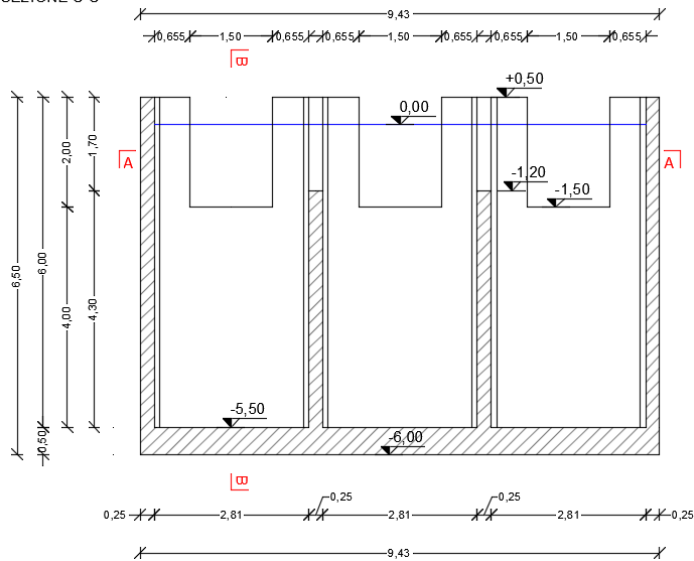


Figura 4 – Cassone tipo G1: carpenteria – Sezione verticale C-C



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 G1, G2, G3 e G4-

SEZIONE A-A

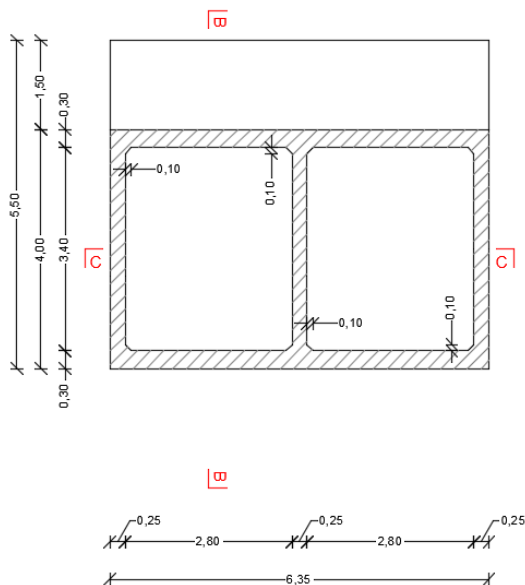


Figura 5 – Cassone tipo G2: carpenteria –
Sezione orizzontale A-A

SEZIONE B-B

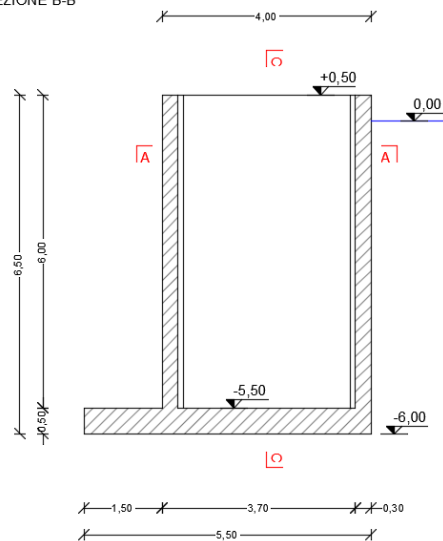


Figura 6 – Cassone tipo G2:
carpenteria – Sezione verticale B-B

SEZIONE C-C

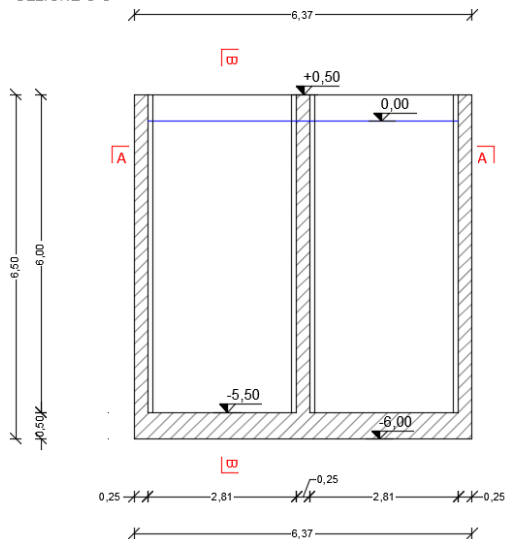


Figura 7 – Cassone tipo G2: carpenteria – Sezione verticale C-C



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 G1, G2, G3 e G4-

SEZIONE A-A

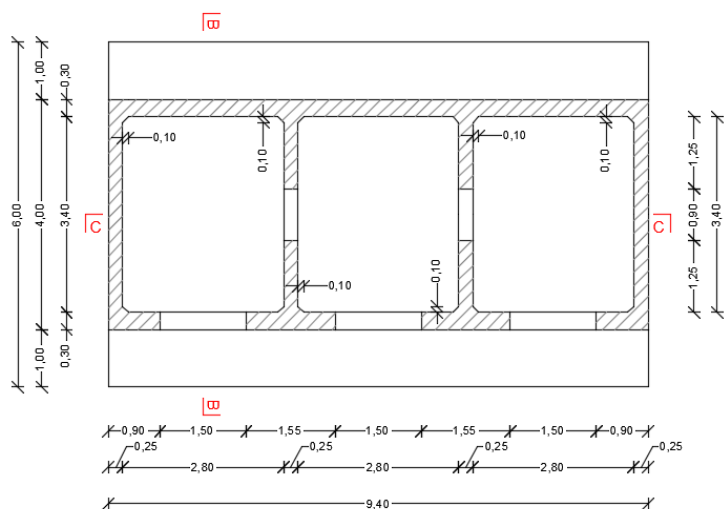


Figura 8 – Cassone tipo G3: carpenteria –
Sezione orizzontale A-A

SEZIONE B-B

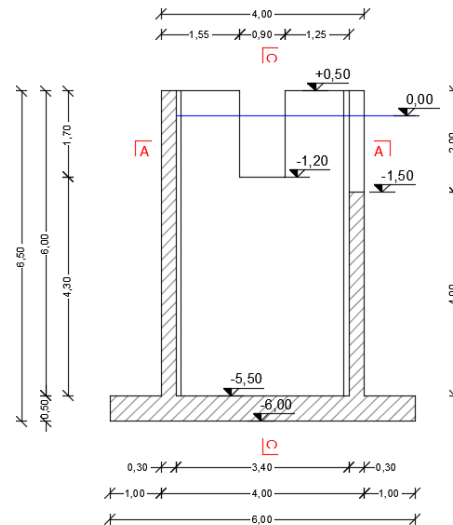


Figura 9 – Cassone tipo G3:
carpenteria – Sezione verticale B-B

SEZIONE C-C

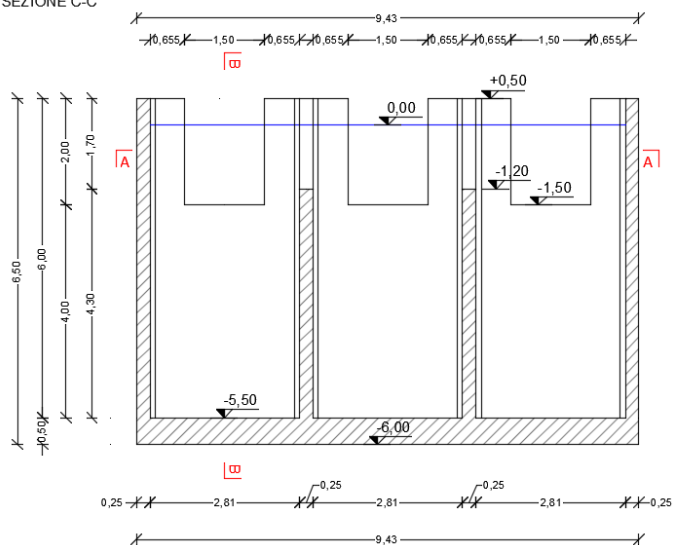


Figura 10 – Cassone tipo G3: carpenteria – Sezione verticale C-C



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 G1, G2, G3 e G4-

SEZIONE A-A

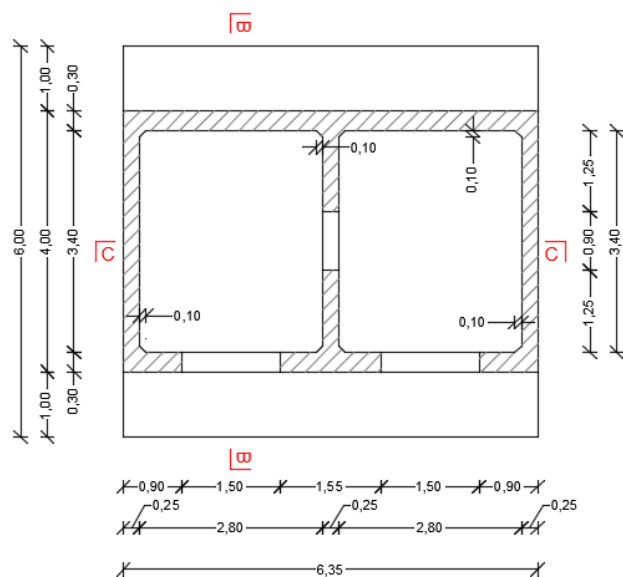


Figura 11 – Cassone tipo G4: carpenteria –
Sezione orizzontale A-A

SEZIONE B-B

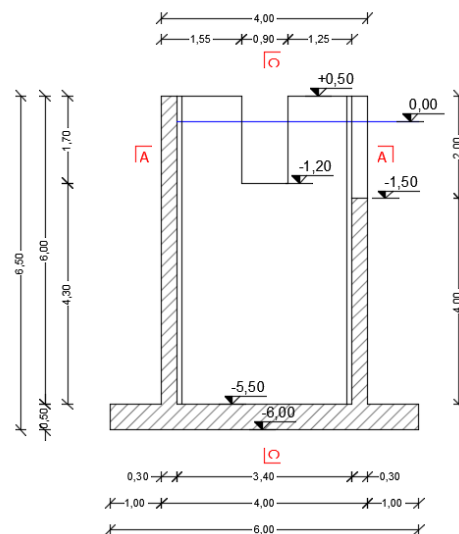


Figura 12 – Cassone tipo G4:
carpenteria – Sezione verticale B-B

SEZIONE C-C

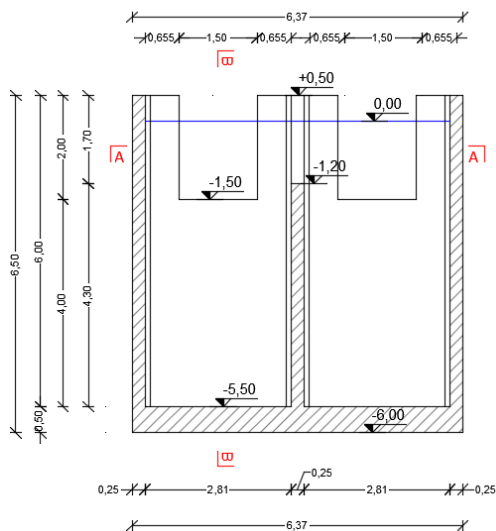


Figura 13 – Cassone tipo G4: carpenteria – Sezione verticale C-C



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”;



**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 G1, G2, G3 e G4-

- **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.



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 Scanno d'imbasamento e rinfiango

Le caratteristiche geo-meccaniche del pietrame impiegato per lo scanno d'imbasamento ed il rinfiango 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: $c' = 0,00 \text{ kN/m}^2$



**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 G1, G2, G3 e G4-

5 AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO

5.1 Carico di banchina

Il sovraccarico di banchina di progetto è pari a 40 kN/m^2 per i cassoni alla radice (G1 e G2), mentre è pari a 20 kN/m^2 per i cassoni del molo (G3 e G4).

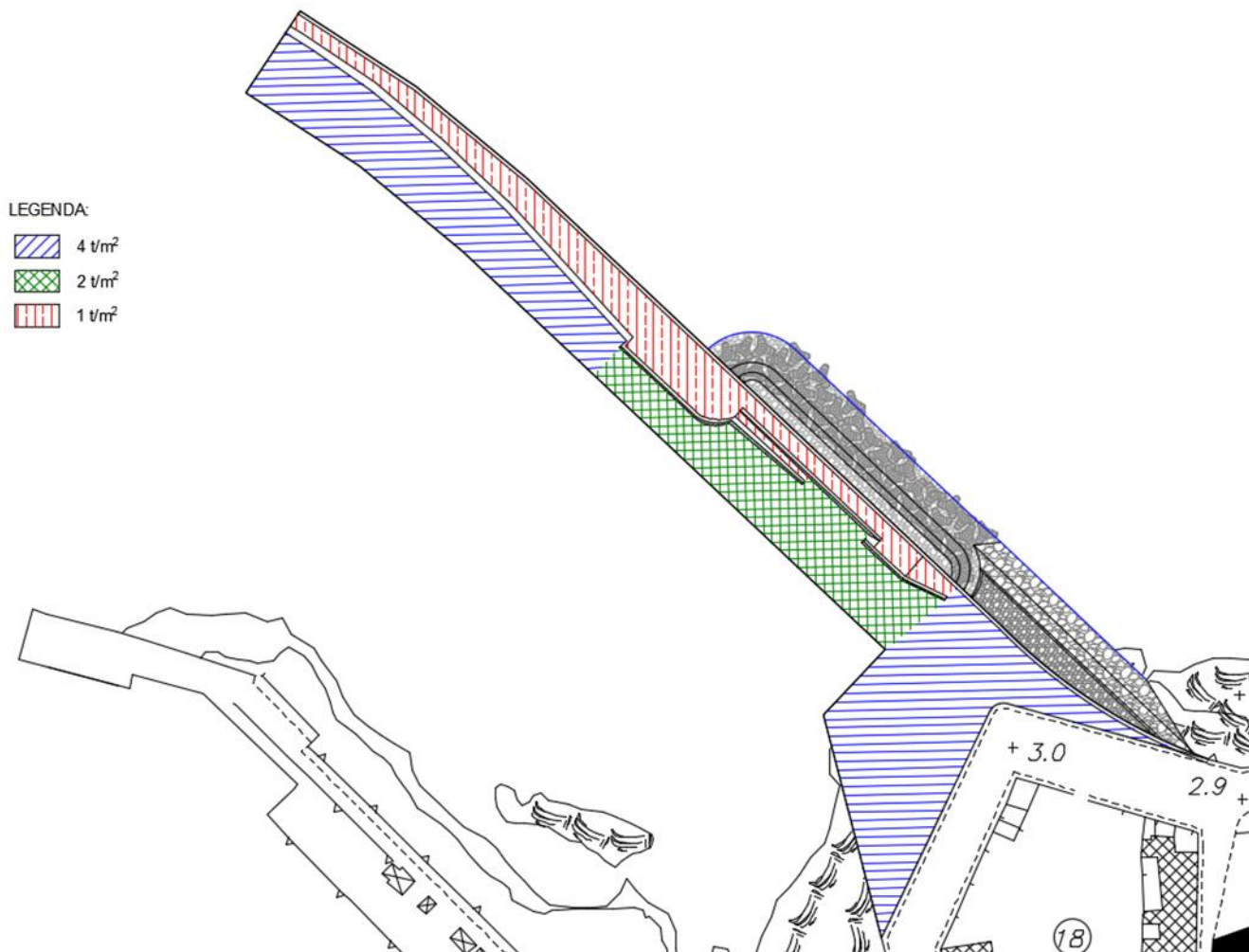


Figura 1 - Planimetria con indicazione dei sovraccarichi di progetto

5.2 Moto ondoso

Sono state definite due differenti condizioni di moto ondoso:

- condizione di cavo con altezza d'onda significativa H_s pari a 2,50 m;
- condizione di cavo con altezza d'onda significativa H_s pari a 1,50 m.

Di seguito vengono illustrate le trattazioni analitiche adottate per il calcolo delle azioni del moto ondoso.

5.2.1 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo

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

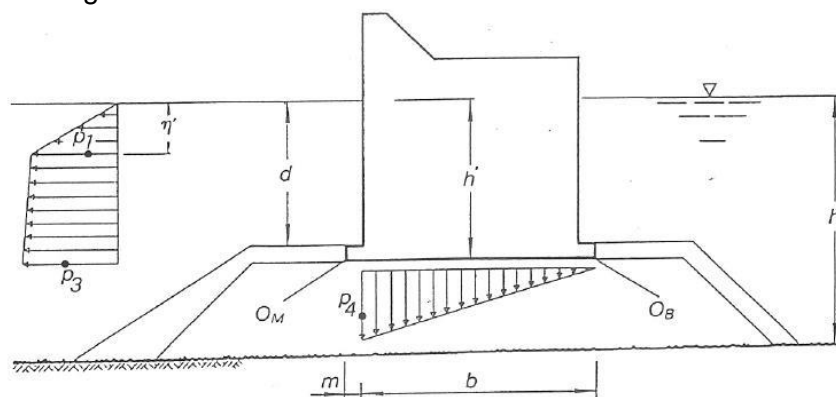


Figura 14 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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 η' ;



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

Nelle seguenti tabelle sono riportate le pressioni determinate sui cassoni alla radice (G1 e G2) e lungo il molo (G3 e G4) per $H_s=2,50$ m e $H_s=1,50$ m. A vantaggio di sicurezza i calcoli sono stati eseguiti assumendo un angolo di incidenza delle onde β pari a 0° .

η'	p_1	p_3	p_4
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
2.53	25.53	42.17	33.13

Tabella 1 – Cassoni G1 e G2: pressioni per Cavo d'Onda ($H_s=2,50$ m)

η'	p_1	p_3	p_4
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
1.91	19.31	24.50	19.25

Tabella 2 – Cassoni G1 e G2: pressioni per Cavo d'Onda ($H_s=1,50$ m)

η'	p_1	p_3	p_4
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
2,53	25,53	42,17	35,14

Tabella 3 – Cassoni G3 e G4: pressioni per Cavo d'Onda ($H_s=2,50$ m)

η'	p_1	p_3	p_4
[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
1,91	19,31	24,50	20,41

Tabella 4 – Cassoni G3 e G4: pressioni per Cavo d'Onda ($H_s=1,50$ m)

5.3 Spinta del terreno di rinfilanco in condizioni statiche

La spinta del terreno in condizioni statiche ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono stati calcolati in base alle seguenti espressioni:

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

dove:

- k_a è il coefficiente di spinta attiva;;
- γ_d è il peso per unità di volume asciutto del terreno;
- γ' è il peso per unità di volume immerso del terreno;



- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

L'angolo di resistenza a taglio dell'interfaccia muro-rinfilanco δ' è stato assunto pari a:

$$\delta' = \frac{2}{3} \varphi'$$

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

$$S_Q = k_a Q (H_d + H_s)$$
$$M_{Qr} = k_a Q (H_d + H_s) \times \frac{(H_d + H_s)}{2}$$

dove:

- k_a è il coefficiente di spinta attiva
- Q è il sovraccarico accidentale sul terrapieno alle spalle della banchina;
- γ è il peso per unità di volume immerso del terreno;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.4 Tiro alla bitta

La bitta dei Cassoni G1 e G3 ha un tiro di progetto pari a 500 kN. Sul cassone G2, che si trova confinato ad angolo tra i cassoni G1 e G3 di radice, è prevista l'installazione di una bitta da 1.000 kN. Sui cassoni G4 non si prevede l'installazione di bitte.

5.5 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.

5.5.1 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_{dx} [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 5 – 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 6).

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 6 – Urto eccezionale della nave di progetto

5.6 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_0 sono riportati nella *Tabella 7*.

S.L.	a_g	S	F_0	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

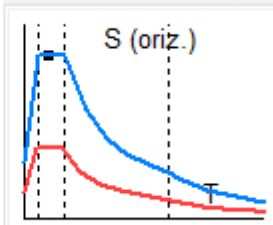


Tabella 7- Parametri sismici su sito di riferimento rigido orizzontale associati a ciascun Stato Limite

Nella *Tabella 8* 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	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.
B	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.
C	Depositi di terreni a grana grossa medianamente addensati o terreni a grana fina medianamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	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.
E	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.

Tabella 8 - 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 9*, è possibile calcolare il Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica S_s .



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

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

Tabella 9 - Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s previste dal D.M. 17 Gennaio 2018

Come è possibile osservare in Tabella 10 ed in Tabella 11, 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 10 - Categorie topografiche previste dal D.M. 17 Gennaio 2018

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

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

Tabella 11 - 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 12 - Parametri del D.M. del 17/01/2018 relativi ai cassoni

5.6.1 Spinta del terreno in condizioni sismiche

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

$$E_d = \frac{1}{2} (1 \pm k_v) K_{AD} \gamma_d H_d^2 + (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma_d H_d H_s + \frac{1}{2} (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma' H_s^2$$
$$M_{Ed} = \frac{1}{2} (1 \pm k_v) K_{AD} \gamma_d H_d^2 \times \left(H_s + \frac{H_d}{3} \right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma_d H_d H_s \times \frac{H_s}{2} + \frac{1}{2} (1 \pm k_v) K_{AS} \gamma' H_s^2 \times \frac{H_s}{3}$$

dove:

- K_v è il coefficiente sismico verticale previsto dal D.M. 17/01/18;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Monobe-Okabe);



- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Monobe-Okabe);
- γ_d è il peso per unità di volume asciutto del terreno;
- γ' è il peso per unità di volume immerso del terreno;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del livello marino);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del livello marino);
- Il coefficiente di spinta del terreno è valutato nei due casi di terreno al di sopra ed al di sotto del livello marino con l'espressione di Mononobe-Okabe:

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

dove:

- $\phi'_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{\gamma_{\phi'}} valore di progetto dell'angolo di resistenza a taglio del terreno;$
- $\gamma_{\phi'}$ coefficiente di resistenza geotecnica;
- ψ è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;
- β è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;
- $\delta_d = 0$ valore di progetto dell'angolo di attrito tra terreno e muro;
- θ è l'angolo definito nell'espressione riportata di seguito:
sotto falda:

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

sopra falda:

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

con k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale.

5.6.2 Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina

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

$$E_d = (1 \pm k_v) K_{AD} Q H_d + (1 \pm k_v) K_{AS} Q H_s$$
$$M_{Ed} = (1 \pm k_v) K_{AD} Q H_d \times \left(\frac{H_d}{2} + H_s \right) + (1 \pm k_v) K_{AS} Q H_s \times \frac{H_s}{2}$$

dove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale;



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

5.6.3 Spinta idrodinamica indotta dal sisma

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

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

dove:

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

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

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

dove:

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

5.6.4 Forze di massa indotte dal sisma

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

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

dove:

- W è il peso del singolo elemento della struttura;
- k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale previsti dal D.M. 17/01/18.



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;
- Σj = somma dei momenti d'inerzia dei singoli specchi liquidi rispetto ai relativi assi baricentrici;
- V = volume della parte immersa.

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

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. Si evidenzia che per cassoni a due celle (G2 e G4), considerato che i valori di immersione sono prossimi alla quota di posa del cassone, l'affondamento dovrà avvenire in condizioni di alta marea.



CASSONE	ALTEZZA ZAVORRA LIQUIDA GALLEGGIAM. [m]	IMMERSIONE [m]	FRANCO BORDO [m]	ALTEZZA METACENTRICA [m]	ALTEZZA ZAVORRA LIQUIDA AFFFONDAM [m]
G1	0,00	5,76	0,89	0,28	0,32
G2	0,00	5,90	0,75	0,33	0,13
G3	0,10	5,65	1,00	0,19	0,56
G4	0,10	5,80	0,85	0,24	0,37

Tabella 13 – Verifiche a galleggiamento

6.1.1 Cassone tipo G1

Per il cassone tipo G1, assumendo di non utilizzare zavorra, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento $i=5,76$ m;
- Franco bordo $f_b=0,89$ m;
- Altezza metacentrica $MG=0,28$ 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 ³
Peso zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso proprio acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	H_{sol}	0,50	m
Lunghezza solettone	L	9,40	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	7,00	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,50	m
Area planimetria solettone comprese mensole	A_{sol}	65,80	m ²
Altezza fusto	H_{fusto}	6,00	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	H_{cass}	6,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	A_{fusto}	37,60	m ³ /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	9,10	m ³ /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	28,50	m ³ /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,15	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	5,64	m ³
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	18,80	m ³
Volume mensola	V_{mens}	14,10	m ³
Volume netto celle	V_{celle}	171,00	m ³
Volume vuoto per pieno	V_{tot}	258,50	m ³ vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	87,50	m ³
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,34	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	93,14	m ³
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	2,28	m
	$Y_{G, cass+solette}$	2,54	m

Tabella 14 – Cassone G1 - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	W_{zav}	0,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	3,00	-
Area media celle con zavorra	A_{cella}	9,50	m ²
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	Y_{Gzav}	0,50	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	2.328,50	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	Y_G	2,54	m
Immersione in fase di galleggiamento	i	5,76	m
Franco Bordo	f_b	0,89	m
Volume parte del cassone immersa	V_{imm}	230,54	m ³
Quota centro di carena	Y_C	2,72	m
Inerzia minima	I_{min}	22,62	m ⁴
Raggio Metacentrico (CM=I/V)	CM	0,10	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	2,82	m
Altezza metacentrica	MG	0,28	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

Tabella 15 – Cassone G1 - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 0,32 m

Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	2.328,50	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	28,50	m ²
Quota di imbasamento del cassone	i_{imb}	6,00	m
Spinta di Archimede	S_W	2.420,97	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	0,32	m

Tabella 16 – Cassone G1 - Altezza di zavorra liquida per affondamento



6.1.2 Cassone tipo G2

Per il cassone tipo G2, assumendo di non utilizzare zavorra, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento $i=5,90$ m;
- Franco bordo $f_b=0,75$ m;
- Altezza metacentrica $MG=0,33$ m;

I dati geometrici e la verifica della stabilità nautica sono riportati nella *Tabella 17* e *Tabella 18*.

CARATTERISTICHE E DATI DI CALCOLO - CASSONE AL VARO CON SOLETTE

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

DATI DI CALCOLO DEL CASSONE			
Peso proprio del c.a. del cassone	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso proprio acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	H_{sol}	0,50	m
Lunghezza solettone	L	6,35	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	7,00	m
Larghezza mensole	$L_{mensole}$	1,50	m
Area planimetria solettone comprese mensole	A_{sol}	44,45	m ²
Altezza fusto	H_{fusto}	6,00	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	H_{cass}	6,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	A_{fusto}	25,40	m ³ /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	6,40	m ³ /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	19,00	m ³ /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,15	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	3,81	m ³
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensole)	$V_{sol, int}$	12,70	m ³
Volume mensole	V_{mens}	9,53	m ³
Volume netto celle	V_{celle}	114,00	m ³
Volume vuoto per pieno	V_{tot}	174,63	m ³ vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	60,63	m ³
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,35	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	64,44	m ³
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	2,31	m
	$Y_{G, cass+solette}$	2,56	m

Tabella 17 – Cassone G2 - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	W_{zav}	0,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	2,00	-
Area media celle con zavorra	A_{cella}	9,50	m ²
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	Y_{Gzav}	0,50	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	1.610,88	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	Y_G	2,56	m
Immersione in fase di galleggiamento	i	5,90	m
Franco Bordo	f_b	0,75	m
Volume parte del cassone immersa	V_{imm}	159,49	m ³
Quota centro di carena	Y_C	2,79	m
Inerzia minima	I_{min}	15,52	m ⁴
Raggio Metacentrico ($CM=I/V$)	CM	0,10	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	2,89	m
Altezza metacentrica	MG	0,33	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

Tabella 18 – Cassone G2 - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 0,13 m.

Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	1.610,88	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	19,00	m ²
Quota di imbasamento del cassone	i_{imb}	6,00	m
Spinta di Archimede	S_W	1.635,44	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	0,13	m

Tabella 19 – Cassone G2 - Altezza di zavorra liquida per affondamento



6.1.3 Cassone tipo G3

Per il cassone tipo G3, assumendo di utilizzare una zavorra liquida di 30 KN, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento $i=5,65$ m;
- Franco bordo $f_b=1,00$ m;
- Altezza metacentrica $MG=0,19$ m;

I dati geometrici e la verifica della stabilità nautica sono riportati nella *Tabella 20* e *Tabella 21*.

CARATTERISTICHE E DATI DI CALCOLO - CASSONE AL VARO CON SOLETTE

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

DATI DI CALCOLO DEL CASSONE			
Peso proprio del c.a. del cassone	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso proprio acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	H_{sol}	0,50	m
Lunghezza solettone	L	9,40	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	6,00	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,00	m
Area planimetria solettone comprese mensole	A_{sol}	56,40	m ²
Altezza fusto	H_{fusto}	6,00	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	H_{cass}	6,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	A_{fusto}	37,60	m ³ /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	9,10	m ³ /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	28,50	m ³ /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,15	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	5,64	m ³
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	18,80	m ³
Volume mensola	V_{mens}	9,40	m ³
Volume netto celle	V_{celle}	171,00	m ³
Volume vuoto per pieno	V_{tot}	253,80	m ³ vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	82,80	m ³
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,33	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	88,44	m ³
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	2,39	m
	$Y_{G, cass+solette}$	2,66	m

Tabella 20 – Cassone G3 - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	W_{zav}	30,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	3,00	-
Area media celle con zavorra	A_{cella}	9,50	m ²
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	Y_{Gzav}	0,55	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	2.241,00	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	Y_G	2,63	m
Immersione in fase di galleggiamento	i	5,65	m
Franco Bordo	f_b	1,00	m
Volume parte del cassone immersa	V_{imm}	221,88	m ³
Quota centro di carena	Y_C	2,72	m
Inerzia minima	I_{min}	22,62	m ⁴
Raggio Metacentrico (CM=I/V)	CM	0,10	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	2,82	m
Altezza metacentrica	MG	0,19	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

sottospinta di galleggiamento		57,08	kN/m ²
Altezza media della zavorra in fase di galleggiamento	$h_{zav,gall}$	0,10	m

Tabella 21 – Cassone G3 - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 0,56 m

Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	2.211,00	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	28,50	m ²
Quota di imbasamento del cassone	i_{imb}	6,00	m
Spinta di Archimede	S_W	2.373,50	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	0,56	m

Tabella 22 – Cassone G3 - Altezza di zavorra liquida per affondamento



6.1.1 Cassone tipo G4

Per il cassone tipo G4, assumendo di utilizzare una zavorra liquida di 30 KN, risulta:

- immersione in fase di galleggiamento $i=5,80$ m;
- Franco bordo $f_b=0,85$ m;
- Altezza metacentrica $MG=0,24$ m;

I dati geometrici e la verifica della stabilità nautica sono riportati nella *Tabella 23* e *Tabella 24*.

CARATTERISTICHE E DATI DI CALCOLO - CASSONE AL VARO CON SOLETTE

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

DATI DI CALCOLO DEL CASSONE			
Peso proprio del c.a. del cassone	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso proprio acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
DATI GEOMETRICI DEL CASSONE			
Altezza solettone	H_{sol}	0,50	m
Lunghezza solettone	L	6,35	m
Larghezza solettone (comprese le mensole)	B	6,00	m
Larghezza mensola	$L_{mensola}$	1,00	m
Area planimetria solettone comprese mensole	A_{sol}	38,10	m ²
Altezza fusto	H_{fusto}	6,00	m
Altezza cassone (compreso solettone di fondazione)	H_{cass}	6,50	m
v.v.p.p. fusto al metro (area sezione di galleggiamento compreso celle)	A_{fusto}	25,40	m ³ /m
Volume cls fusto al metro al netto delle celle (da sez. orizz.)	$A_{fusto, netto}$	6,40	m ³ /m
Volume celle al metro (da sez. orizz.)	$A_{celle unit}$	19,00	m ³ /m
Spessore solette di copertura	$s_{solette}$	0,15	m
Volume solette di copertura	$V_{solette}$	3,81	m ³
Volume del solettone interno alla sezione di galleggiamento (escluso mensola)	$V_{sol, int}$	12,70	m ³
Volume mensola	V_{mens}	6,35	m ³
Volume netto celle	V_{celle}	114,00	m ³
Volume vuoto per pieno	V_{tot}	171,45	m ³ vpp
Volume calcestruzzo cassone senza solette	$V_{c.a. cass}$	57,45	m ³
Volume c.a. /Volume vuoto per pieno	$V_{c.a. cass}/V_{tot}$	0,34	-
Volume calcestruzzo cassone con solette	$V_{c.a. cass+solette}$	61,26	m ³
Quota del baricentro del cassone vuoto rispetto al fondo del solettone	$Y_{G, cass}$	2,42	m
	$Y_{G, cass+solette}$	2,68	m

Tabella 23 – Cassone G4 - Verifica di stabilità al galleggiamento: dati geometrici



IMMERSIONE DEL CASSONE ZAVORRATO E CENTRO DI CARENA			
Peso zavorra	W_{zav}	20,00	kN
N° celle con zavorra	n° celle	2,00	-
Area media celle con zavorra	A_{cella}	9,50	m ²
Altezza baricentro zavorra da quota posa solettone	Y_{Gzav}	0,55	m
Peso del cassone + solette + zavorra	$W_{cass,tot}$	1.551,50	kN
Quota del baricentro del cassone zavorrato rispetto al fondo del solettone	Y_G	2,65	m
Immersione in fase di galleggiamento	i	5,80	m
Franco Bordo	f_b	0,85	m
Volume parte del cassone immersa	V_{imm}	153,61	m ³
Quota centro di carena	Y_C	2,79	m
Inerzia minima	I_{min}	15,52	m ⁴
Raggio Metacentrico ($CM=I/V$)	CM	0,10	m
Quota Metacentro $y_M=(y_C+MC)$	$y_M=Y_C+CM$	2,89	m
Altezza metacentrica	MG	0,24	m
Verifica che $y_M > y_G$		Verifica	-

sottospinta di galleggiamento		58,56	kN/m ²
Altezza media della zavorra in fase di galleggiamento	$h_{zav,gall}$	0,10	m

Tabella 24 – Cassone G4 - Verifica di stabilità al galleggiamento: risultati

L'altezza di zavorra liquida (acqua di mare) strettamente necessaria per affondare il cassone è pari a 0,37 m.

Calcolo dell'altezza di zavorra in fase di affondamento

Peso del cassone + solette	$W_{cass+solette}$	1.531,50	kN
Area totale delle celle con zavorra	$A_{TOT,zav}$	19,00	m ²
Quota di imbasamento del cassone	i_{imb}	6,00	m
Spinta di Archimede	S_W	1.603,38	kN
Altezza media della zavorra in fase di affondamento	$h_{zav,aff}$	0,37	m

Tabella 25 – Cassone G4 - 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/γ_M e della geometria di progetto a_d , mentre nella formulazione della resistenza compare un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema:

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

I valori delle azioni di progetto possono essere 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;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;
- γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
- Ψ_{0j}, Ψ_{2j} coefficienti di combinazione delle azioni.

Per 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.



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

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

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

Tabella 26 - Coefficienti parziali per le azioni - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.2.I)

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

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

Tabella 27 - Coefficienti parziali per le resistenze del terreno - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.2.II)

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

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

Tabella 28 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli SLU STR e GEO di muri di sostegno - D.M. 17 Gennaio 2018 (Tabella 6.5.I)

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



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

Tabella 29 - 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 seguenti:

- cassone tipo G1 (muro di sponda alla radice, a tre celle);
- cassone tipo G3 (muro di sponda lungo il molo, a tre celle).

Le verifiche dei cassoni G2 e G4 non sono state eseguite perché meno sollecitati rispetto ai rispettivi analoghi a tre celle, non avendo il tiro alla bitta.

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 A1 (STR)* P.p. cassone in opera + Sovracc. su rinterro + Tiro bitta
- *Combinazione A2 (STR)* P.p. cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs=2,50 m)
- *Combinazione A3 (STR)* P.p. cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs=1,50 m) + Sovracc su rinterro + Tiro bitta
- *Combinazione B1 (SLV)* P.p. cassone in opera + Sisma + Sovracc. su rinterro

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

CASSONE TIPO G1 (MURO DI SPONDA ALLA RADICE)

Nel seguito è riportata la tabella di sintesi dei risultati delle verifiche (Coefficienti di Sicurezza R_d/E_d).

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione A1 (STR)	1,41	1,96
Combinazione A2 (STR)	1,32	3,44
Combinazione A3 (STR)	1,05	1,83
Combinazione B1 (SLV)	2,28	3,91

Tabella 30 - Coefficienti di sicurezza del cassone tipo G1 (muro di sponda alla radice)

CASSONE TIPO G3 (MURO DI SPONDA LUNGO IL MOLO)

Nel seguito è riportata la tabella di sintesi dei risultati delle verifiche (Coefficienti di Sicurezza R_d/E_d).



**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 G1, G2, G3 e G4-

COMBINAZIONE	SCORRIMENTO	RIBALTAMENTO
Combinazione A1 (STR)	1,60	1,84
Combinazione A2 (STR)	1,22	2,64
Combinazione A3 (STR)	1,07	1,57
Combinazione B1 (SLV)	2,27	3,30

Tabella 31 - Coefficienti di sicurezza del cassone tipo G3 (muro di sponda lungo il molo)

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 G1 (muro di sponda alla radice, a tre celle)

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

GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}} =$	4,00	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}} =$	9,40	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}} =$	1,50	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}} =$	7,00	m
Altezza solettone	$H_B =$	0,50	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}} =$	32,90	m ³

	$n. \text{ celle}$	$\text{Area singola cella [m}^2\text{]}$	$\text{Area celle [m}^2\text{]}$
Celle tipo 1	3,00	9,50	28,50

Area fusto con celle (<i>da CAD - senza chiavi</i>)	37,60	m ²
Area celle	28,50	m ²
Area fusto al netto delle celle	9,10	m ²

Area fusto	$A_{\text{fusto}} =$	9,10	m ²
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}} =$	6,00	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}} =$	54,60	m ³

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}} = V_{\text{solettone}} + V_{\text{fusto}}$	87,50	m ³
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G =$	2,28	m
Braccio da O _{PIAZZALE}	$br_{IO \text{ PIAZZALE}} =$	3,50	m

Cassone al netto della finestratura

Larghezza finestre parete	$B_{\text{finestra, par}} =$	1,50	m
Altezza finestre parete	$H_{\text{finestra, par}} =$	2,00	m
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}} =$	0,30	m
Larghezza finestre setti	$B_{\text{finestra, setti}} =$	0,90	m
Altezza finestre setti	$H_{\text{finestra, setti}} =$	1,70	m
Spessore finestre setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Spessore finestre setti longitudinali	$S_{\text{fin, setti long}} =$	0,00	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestra, est}} =$	2,70	m ³
Volume finestre setti trasversali	$V_{\text{finestra, setti trasv}} =$	0,77	m ³
Volume finestre setti longitudinali	$V_{\text{finestra, setti long}} =$	0,00	m ³
Braccio finestre parete da O _{PIAZZALE}	$br_{\text{fin parete, O PIAZZALE}} =$	5,35	m
Braccio finestre setti da O _{PIAZZALE}	$br_{\text{fin setti trasv, O PIAZZALE}} =$	3,50	m
Altezza baricentro delle finestre (<i>da CAD</i>)	$Z_G =$	5,53	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}} =$	84,04	m ³
Braccio cassone da O _{PIAZZALE}	$X_{G \text{ OPIAZZALE}} =$	3,44	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	2,14	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 G1, G2, G3 e G4-

RIEMPIMENTO CASSONE

Riempimento celle

	Area [m ²]	γ da O _{PIAZZALE} [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Fila 1 (LPORTO)	28,50	3,50	3,20	0,30	2,00

	Volume [m ³]	γ da O _{PIAZZALE} [m]	Z da O _M [m]
Riempimento inerte	91,20	3,50	2,10
Cls	8,55	3,50	3,85
Acqua	57,00	3,50	5,00

SOVRASTRUTTURA IN C.A.

Sovrastuttura in c.a.

Altezza sovrastruttura escluso getto di complet. (da CAD)	H _{sovrast} =	2,00	m
Sezione trasv. vert. Sovrastuttura (da CAD)	A _{sovrast} =	6,05	m ²
Volume sovrastruttura	V _{sovrast} =	56,87	m ³
Braccio da O _{PIAZZALE} (da CAD)	brs _{OPIAZZALE} =	3,18	m
Altezza baricentro della sovrastruttura (da CAD)	Z _G =	7,38	m

	H _{immersa} =	6,00	m
Altezza totale cassone	H _{cassone} =	6,50	m

TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME

Peso unità volume acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
Peso unità volume c.a.	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso unità volume c.l.s.	γ_{cls}	24,00	kN/m ³
Peso unità volume c.l.s. ciclopico	γ_{cls} ciclopico	21,50	kN/m ³
Peso unità volume zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso unità volume riempimento	γ_{riemp}	24,00	kN/m ³



**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 G1, G2, G3 e G4-

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m ³]	Peso [kN]	Z _{Gi} [m]	X _{Gi} rispetto a O _{PORTO} [m]	X _{Gi} rispetto a O _{PIAZZALE} [m]
Peso cassone asciutto	87,50	2.187,50	2,28	3,50	3,50
Tappi dei fori parete esterna	-2,70	-67,50	5,53	1,65	5,35
Tappi dei fori setti interni	-0,77	-19,13	5,53	3,50	3,50
Riempimento materiale inerte	91,20	2.188,80	2,10	3,50	3,50
Riempimento calcestruzzo	8,55	205,20	3,85	3,50	3,50
Acqua all'interno delle celle	57,00	575,70	5,00	3,50	3,50
Sovrastuttura con muro paraonde	56,87	1.421,75	7,38	3,82	3,18
CASSONE ASCIUTTO		6.492,33	3,58	3,59	3,41
Spinta idrostatica	239,70	-2.420,97	2,84	3,50	3,50
CASSONE IMMERSO	--	4.071,36	4,03	3,64	3,36



SPINTA RINFIANCO IN PIETrame

			M1
Altezza immersa	$H_w=$	[m]	6,00
Altezza emersa (compresa la sovrastruttura)	$H_{em}=$	[m]	2,50
Altezza totale	$H_{tot}=H_w+H_{em}$	[m]	8,50
Inclinaz. del param. int. del muro risp alla vert.	$b=$	[°]	0,00
Inclinaz. p.c. rispetto all'orizzontale	$i=$	[°]	0,00
Peso unità volume terreno asciutto sopra l.m.m.	$\gamma_1=$	[kN/m ³]	17,50
Peso unità volume efficace terreno sotto l.m.m.	$\gamma'_2=$	[kN/m ³]	10,40
Peso unità volume acqua	$\gamma_w=$	[kN/m ³]	10,10
Angolo resistenza a taglio del rinterro sopra l.m.m.	$\varphi'_1=$	[°]	40,00
Angolo attrito rinterro - muro sopra l.m.m.	$d_1=$	[°]	26,67
Angolo resist a taglio del rinterro sotto l.m.m.	$\varphi'_2=$	[°]	40,00
Angolo attrito terreno- muro sotto l.m.m.	$d_2=$	[°]	26,67
Lunghezza cassone	$L=$	[m]	9,40

Coeff. Spinta attiva rinterro sopra l.m.m.	$K_{a1}=$	[-]	0,20
Coeff. Spinta attiva rinterro sotto l.m.m.	$K_{a2}=$	[-]	0,20
Spinta attiva	$F_a=$	[kN]	948,25
Spinta attiva: componente orizzontale	$F_{ao}=$	[kN]	847,39
Spinta attiva: componente verticale	$F_{av}=$	[kN]	425,57
Spinta attiva: braccio	$Z_a=$	[m]	2,83

PESO RINTERRO SU MENSOLA DI MONTE

Peso rinterro su mensola di monte	W_r	[kN]	2.206,65
Peso immerso rinterro su mensola di monte	W'_r	[kN]	1.423,40
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO}	X_{Gi} da O _{PORTO}	[m]	6,25
Distanza orizzontale baricentro da O _{PIAZZALE}	X_{Gi} da O _{PIAZZALE}	[m]	0,75

PESO RINTERRO SU SOVRASTRUTTURA

Peso rinterro su mensola di monte	W_r	[kN]	438,39
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO}	X_{Gi} da O _{PORTO}	[m]	4,63
Distanza orizzontale baricentro da O _{PIAZZALE}	X_{Gi} da O _{PIAZZALE}	[m]	2,38



AZIONI ACCIDENTALI

AZIONI ACCIDENTALI

SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	$q=$	[kN/m ²]	40,00
Larghezza	$B=$	[m]	4,00
Lunghezza sovrastr	$L=$	[m]	9,40
Sovraccarico totale	$Q=$	[kN]	1.504,00
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO} (braccio)	$b=$	[m]	3,50

SOVRACCARICO SU MENSOLA

Sovraccarico unitario	$q=$	[kN/m ²]	40,00
Larghezza	$B=$	[m]	1,50
Lunghezza sovrastruttura	$L=$	[m]	9,40
Sovraccarico totale	$Q=$	[kN]	564,00
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO} (braccio)	$b=$	[m]	6,25

SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO

			M1
Spinta dovuta al sovraccarico sul rinterro	$S_q=$	[kN]	639,20
Distanza verticale baricentro da piano posa	$Z_G=$	[m]	4,25

TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	$t=$	[kN/m]	53,19
Tiro alla bitta totale	$T=$	[kN]	500,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_T=$	[m]	8,50



**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 G1, G2, G3 e G4-

AZIONI SISMICHE

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



SPINTA DEL TERRAPIENO IN CONDIZIONI SISMICHE

			M1
Coeff. Spinta attiva sismica rinterro sopra l.m.m.	$K_{ad1} =$	[-]	0,23
Coeff. Spinta attiva sismica rinterro sotto l.m.m.	$K_{as2} =$	[-]	0,23
Spinta attiva sismica	$F_{as} =$	[kN]	1.106,03
Spinta attiva sismica: componente orizzontale	$F_{aos} =$	[kN]	1.106,03
Spinta attiva sismica: componente verticale	$F_{avs} =$	[kN]	496,38

INCREMENTO DELLA SPINTA IN CONDIZIONI SISMICHE

Incremento Spinta attiva sismica	$\Delta F_{as} =$	[kN]	157,78
Incremento Spinta attiva sismica: componente orizzontale	$\Delta F_{aos} =$	[kN]	258,64
Incremento Spinta attiva sismica: componente verticale	$\Delta F_{avs} =$	[kN]	70,81
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$H_{\Delta as} =$	[m]	4,25

SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	$\gamma_w =$	[kN/m ³]	10,10
	$H_w =$	[m]	6,00
Spinta idrodinamica	$F_{sw} =$	[kN]	63,64
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_{sw} =$	[m]	3,60



FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA SUL CASSONE

Peso cassone in opera	W	[kN]	6.492,33
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o=$	[kN]	185,03
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G=$	[m]	3,58
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v=$	[kN]	92,52
braccio forza sismica verticale	$X_{GO PORTO}=$	[m]	3,59

FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA SUL SOVRACCARICO DEL CASSONE

Peso sovraccarico	$Q=$	[kN]	1.504,00
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o=$	[kN]	42,86
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G=$	[m]	8,50
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v=$	[kN]	21,43
braccio forza sismica verticale	$X_{GO PORTO}=$	[m]	3,50

SPINTA INDOTTA DAL SOVRACCARICO SUL TERRAPIENO IN CONDIZIONI SISMICHE

		M1	M2
Spinta dovuta al sisma del sovraccarico sul rinterro $S_q=$	[kN]	745,55	940,05
Incremento rispetto alla condizione statica $F_o=$	[kN]	106,35	109,09
$Z_G=$	[m]	4,25	4,25

FORZA DI MASSA SUL RINTERRO SULLA MENSOLA INDOTTA DAL SISMA

$F_o=$	[kN]	62,89
$Z_G=$	[m]	4,50
$F_v=$	[kN]	31,44
$X_{GO PORTO}=$	[m]	6,25

FORZA DI MASSA SUL RINTERRO SU SOVRASTRUTTURA INDOTTA DAL SISMA

$F_o=$	[kN]	12,49
$Z_G=$	[m]	7,85
$F_v=$	[kN]	6,25
$X_{GO PORTO}=$	[m]	4,63



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 G1, G2, G3 e G4-

AZIONE DI CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m)

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

Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,50
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	5,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,50

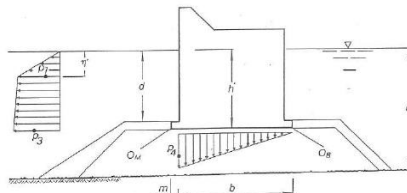


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

$$p_1 = \gamma \eta'$$

$$p_2 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right) - p_1 \left(\frac{h' - d}{d - \eta'} \right)$$

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

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

Hs	[m]	2,50
Cr	[-]	1,00
H's	[m]	2,50
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γw	[kN/m³]	10,10

H1/100	[m]	4,18
L	[m]	100,00
k=2π/L		0,06

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.

	Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
	d	h'	η'	p ₁	p ₃	p ₄	F ₁	F ₂	F _{Tot}	S _w	b ₁	b ₂	b _{ns}	b _w
	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Imm+ss+em	5,50	6,00	2,53	25,53	42,17	33,13	32,27	117,53	149,80	91,11	4,31	1,59	2,18	3,67
								max	149,80	91,11			2,18	3,67

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	Ftot,unit	kN/m	149,80
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	Ftot	kN	1.408,11
Braccio rispetto al piano di posa	bris	m	2,18
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	Sw,unit	kN/m	91,11
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	Sw,tot	kN	856,44
Braccio rispetto a OT	bw	m	3,67



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 G1, G2, G3 e G4-

AZIONE DI CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m)

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

Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,50
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	5,50
m, larghezza piede cassone	[m]	1,50
hpiede	[m]	0,50

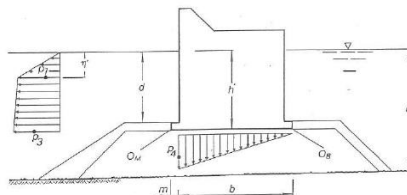


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

Hs	[m]	1,50
Cr	[-]	1,00
H's	[m]	1,50
storm surge ss=	[m]	0,00
escursione di em=	[m]	0,00
γw	[kN/m³]	10,10
H1/100	[m]	2,51
L	[m]	100,00
k=2π/L		0,06

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 ₁	p ₃	p ₄	F ₁	F ₂	F _{tot}	S _w	b ₁	b ₂	b _{ris}	b _w
	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	5,50	6,00	1,91	19,31	24,50	19,25	18,46	89,54	108,01	52,93	4,73	1,96	2,44	3,67
								max	108,01	52,93			2,44	3,67

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	Ftot,unit	kN/m	108,01
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	Ftot	kN	1.015,26
Braccio rispetto al piano di posa	b1s	m	2,44
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	Sw,unit	kN/m	52,93
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	Sw,tot	kN	497,55
Braccio rispetto a O _T	bw	m	3,67



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 G1, G2, G3 e G4-

TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI

DESCRIZIONE AZIONE		FORZA [kN]	Z _{Gi} [m]	X _{Gi} da O _{PORTO} [m]
CASSONE IN OPERA		4.071,36	4,03	3,64
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE		1.423,40	x	6,25
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA		438,39	x	4,63
SPINTA DEL RINTERRO [M1]	(spinta orizzontale)	847,39	2,83	x
	(spinta verticale)	425,57	x	7,00
SOVRACCARICO SU CASSONE		1.504,00	X	3,50
SOVRACCARICO SU MENSOLA		564,00	X	6,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]		639,20	4,25	x
TIRO ALLA BITTA		500,00	8,50	x
Cavo d'Onda Hs=2,50 m	(spinta orizzontale)	1.408,11	2,18	x
	(sottospinta)	856,44	x	3,67
Cavo d'Onda Hs=1,50 m	(spinta orizzontale)	1.015,26	2,44	x
	(sottospinta)	497,55	x	3,33
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	185,03	3,58	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	92,52	x	3,59
	Spinta idrodinamica	63,64	3,60	x
	Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	62,89	4,50	x
	Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	31,44	x	6,25
	Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	x
	Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	x	4,63
	Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	258,64	4,25	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	42,86	8,50	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	21,43	x	3,50
	Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	106,35	4,25	x



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 G1, G2, G3 e G4-

VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

Combinazione A1 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.071,36	1,0	-	4.071,36
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	1.423,40	1,0	-	1.423,40
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	639,20	1,5	1,0	958,80
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	1,5	0,6	450,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.015,26	0,0	0,0	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	kN	497,55	0,0	0,0	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	6.486,39
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	3.538,03
Forza mobilitata	[kN]	2.510,40
Resistenza/Azione	[-]	1,41

Combinazione A2 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.071,36	1,0	-	4.071,36
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	1.423,40	1,0	-	1.423,40
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	639,20	0,0	0,0	0,00
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	0,0	0,0	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.408,11	1,5	1,0	2.112,17
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	kN	856,44	1,5	1,0	1.284,66

Risultante forze verticali	[kN]	7.771,05
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	4.238,75
Forza mobilitata	[kN]	3.213,77
Resistenza/Azione	[-]	1,32



**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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs=1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.071,36	1,0	-	4.071,36
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	1.423,40	1,0	-	1.423,40
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	639,20	1,5	0,7	671,16
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	1,5	0,6	450,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.015,26	1,5	1,0	1.522,89
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	kN	497,55	1,5	1,0	746,33

Risultante forze verticali	[kN]	7.232,72
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	3.945,12
Forza mobilitata	[kN]	3.745,65
Resistenza/Azione	[-]	1,05

Combinazione B1 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.071,36	1,0	-	4.071,36
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	1.423,40	1,0	-	1.423,40
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,0	-	847,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,0	-	425,57
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	639,20	1,0	0,3	191,76
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	185,03	1,0	-	185,03
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	92,52	1,0	-	92,52
Spinta idrodinamica	kN	63,64	1,0	-	63,64
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	kN	62,89	1,0	-	62,89
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	kN	31,44	1,0	-	31,44
Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	kN	258,64	1,0	-	258,64
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	kN	106,35	1,0	0,3	31,91

Risultante forze verticali	[kN]	6.234,76
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	3.740,85
Forza mobilitante	[kN]	1.641,25
Resistenza/Azione	[-]	2,28



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 G1, G2, G3 e G4-

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Combinazione A1 (STR) Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{oi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{oi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	7,00	3.313,57	1,30	-	4.307,65
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	830,96	4,25	3.531,58	1,50	1,0	5.297,37
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	0,00	0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	497,55	3,33	1.658,51	0,00	0,00	0,00

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	30.061,01
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	13.314,79
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	1,96



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A2 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{Qi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	7,00	3.313,57	1,30	-	4.307,65
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	830,96	4,25	3.531,58	0,00	0,0	0,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	0,00	0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	1.408,11	2,18	3.069,69	1,50	1,00	4.604,54
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	856,44	3,67	3.140,29	1,50	1,00	4.710,43

Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	34.771,44
Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	8.796,96
Resistente/Azione	M_{Res}/M_{Rib}	[kNm]	3,44

Combinazione A3 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs1,50) + Sovaccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{Qi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	7,00	3.313,57	1,30	-	4.307,65
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	830,96	4,25	3.531,58	1,50	0,7	3.708,16
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,50	1,00	3.708,93
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	497,55	3,33	1.658,51	1,50	1,00	2.487,77

Momento Resistente	M_{Res}	[kNm]	32.548,78
Coeff. parziale resistenza	γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante	M_{Rib}	[kNm]	15.434,51
Resistente/Azione	M_{Res}/M_{Rib}	[kNm]	1,83



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione B1 (SLV) Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

CARICO	MODULO DEL CARICO [kN]	BRACCIO [m]	MOMENTO [kNm]	COEFF. PARZIALE ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	COEFF. COMBINAZIONE (ψ_{zi})	MOMENTO DI CALCOLO [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	-	-	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	-	-	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	-	-	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	-	-	3.224,94
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	1,00	-	2.979,01
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	830,96	4,25	3.531,58	-	0,30	1.059,47
Azione Sismica orizzontale su Cassone	185,03	3,58	662,95	-	-	662,95
Azione Sismica verticale su Cassone	92,52	3,59	332,07	-	-	332,07
Spinta idrodinamica	63,64	3,60	229,10	-	-	229,10
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	62,89	4,50	283,00	-	-	283,00
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	31,44	6,25	196,53	-	-	196,53
Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	98,08	-	-	98,08
Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	4,63	28,89	-	-	28,89
Incremento spinta orizzontale per sisma [M2]	256,34	4,25	1.089,45	-	-	1.089,45
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M2]	109,09	4,25	463,62	-	0,30	139,09

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	28.732,37
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,00
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	7.343,57
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	3,91



**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 G1, G2, G3 e G4-

6.2.2 Verifiche di stabilità al ribaltamento e alla traslazione del Cassone tipo G3 (muro di sponda lungo il molo, a tre celle)

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



GEOMETRIA E VOLUMI CASSONE

Larghezza cassone	$B_{\text{cassone}} =$	4,00	m
Lunghezza cassone	$L_{\text{cassone}} =$	9,40	m
Larghezza mensola	$B_{\text{mensola}} =$	1,00	m
Larghezza complessiva solettone	$B_{\text{solettone}} =$	6,00	m
Altezza solettone	$H_B =$	0,50	m
Volume solettone	$V_{\text{solettone}} =$	28,20	m ³

	n. celle	Area singola cella [m ²]	Area celle [m ²]
Celle tipo 1	3,00	9,50	28,50

Area fusto con celle (<i>da CAD - senza chiavi</i>)	37,60	m ²
Area celle	28,50	m ²
Area fusto al netto delle celle	9,10	m ²

Area fusto	$A_{\text{fusto}} =$	9,10	m ²
Altezza fusto	$H_{\text{fusto}} =$	6,00	m
Volume fusto	$V_{\text{fusto}} =$	54,60	m ³

Volume cassone compresa la finestratura	$V_{\text{cassone}} = V_{\text{solettone}} + V_{\text{fusto}}$	82,80	m ³
Altezza baricentro cassone compresa la finestratura	$Z_G =$	2,39	m
Braccio da O _{PIAZZALE}	$br_{IO \text{ PIAZZALE}} =$	3,00	m

Cassone al netto della finestratura

Larghezza finestre parete	$B_{\text{finestra, par}} =$	1,50	m
Altezza finestre parete	$H_{\text{finestra, par}} =$	2,00	m
Spessore finestre parete	$S_{\text{finestra, par}} =$	0,30	m
Larghezza finestre setti	$B_{\text{finestra, setti}} =$	0,90	m
Altezza finestre setti	$H_{\text{finestra, setti}} =$	1,70	m
Spessore finestre setti trasversali	$S_{\text{fin, setti trasv}} =$	0,25	m
Spessore finestre setti longitudinali	$S_{\text{fin, setti long}} =$	0,00	m
Volume finestre parete	$V_{\text{finestra, est}} =$	2,70	m ³
Volume finestre setti trasversali	$V_{\text{finestra, setti trasv}} =$	0,77	m ³
Volume finestre setti longitudinali	$V_{\text{finestra, setti long}} =$	0,00	m ³
Braccio finestre parete da O _{PIAZZALE}	$br_{\text{fin parete, O PIAZZALE}} =$	4,85	m
Braccio finestre setti da O _{PIAZZALE}	$br_{\text{fin setti trasv, O PIAZZALE}} =$	3,00	m
Altezza baricentro delle finestre (<i>da CAD</i>)	$Z_G =$	5,53	m
Volume cassone al netto della finestratura	$V_{\text{cassone}} =$	79,34	m ³
Braccio cassone da O _{PIAZZALE}	$X_{G \text{ OPIAZZALE}} =$	2,94	m
Altezza baricentro	$Z_G =$	2,26	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 G1, G2, G3 e G4-

RIEMPIMENTO CASSONE

Riempimento celle

	Area [m ²]	γ da O _{PIAZZALE} [m]	Altezza riempimento inerte [m]	Altezza cls [m]	Altezza acqua [m]
Fila 1 (LPORTO)	28,50	3,00	3,20	0,30	2,00

	Volume [m ³]	γ da O _{PIAZZALE} [m]	Z da O _M [m]
Riempimento inerte	91,20	3,00	2,10
Cls	8,55	3,00	3,85
Acqua	57,00	3,00	5,00

SOVRASTRUTTURA IN C.A.

Sovrastuttura in c.a.

Altezza sovrastruttura escluso getto di complet. (da CAD)	H _{sovrast} =	2,00	m
Sezione trasv. vert. Sovrastuttura (da CAD)	A _{sovrast} =	6,05	m ²
Volume sovrastruttura	V _{sovrast} =	56,87	m ³
Braccio da O _{PIAZZALE} (da CAD)	brs _{OPIAZZALE} =	3,18	m
Altezza baricentro della sovrastruttura (da CAD)	Z _G =	7,38	m

	H _{immersa} =	6,00	m
Altezza totale cassone	H _{cassone} =	6,50	m

TABELLA DEI PESI PER UNITA' DI VOLUME

Peso unità volume acqua di mare	γ_w	10,10	kN/m ³
Peso unità volume c.a.	$\gamma_{c.a.}$	25,00	kN/m ³
Peso unità volume c.l.s.	γ_{cls}	24,00	kN/m ³
Peso unità volume c.l.s. ciclopico	γ_{cls} ciclopico	21,50	kN/m ³
Peso unità volume zavorra	γ_{zav}	10,10	kN/m ³
Peso unità volume riempimento	γ_{riemp}	24,00	kN/m ³



**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 G1, G2, G3 e G4-

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

TABELLA DEI PESI DEL CASSONE IN OPERA

PARTE D'OPERA	Volume [m ³]	Peso [kN]	Z _{Gi} [m]	X _{Gi} rispetto a O _{PORTO} [m]	X _{Gi} rispetto a O _{PIAZZALE} [m]
Peso cassone asciutto	82,80	2.070,00	2,39	3,00	3,00
Tappi dei fori parete esterna	-2,70	-67,50	5,53	1,15	4,85
Tappi dei fori setti interni	-0,77	-19,13	5,53	3,00	3,00
Riempimento materiale inerte	91,20	2.188,80	2,10	3,00	3,00
Riempimento calcestruzzo	8,55	205,20	3,85	3,00	3,00
Acqua all'interno delle celle	57,00	575,70	5,00	3,00	3,00
Sovrastuttura con muro paraonde	56,87	1.421,75	7,38	2,82	3,18
CASSONE ASCIUTTO		6.374,83	3,64	2,98	3,02
Spinta idrostatica	235,00	-2.373,50	2,89	3,00	3,00
CASSONE IMMERSO	--	4.001,33	4,09	2,97	3,03



SPINTA RINFIANCO IN PIETrame

			M1
Altezza immersa	$H_w=$	[m]	6,00
Altezza emersa (compresa la sovrastruttura)	$H_{em}=$	[m]	2,50
Altezza totale	$H_{tot}=H_w+H_{em}$	[m]	8,50
Inclinaz. del param. int. del muro risp alla vert.	$b=$	[°]	0,00
Inclinaz. p.c. rispetto all'orizzontale	$i=$	[°]	0,00
Peso unità volume terreno asciutto sopra l.m.m.	$\gamma_1=$	[kN/m ³]	17,50
Peso unità volume efficace terreno sotto l.m.m.	$\gamma'_2=$	[kN/m ³]	10,40
Peso unità volume acqua	$\gamma_w=$	[kN/m ³]	10,10
Angolo resistenza a taglio del rinterro sopra l.m.m.	$\varphi'_1=$	[°]	40,00
Angolo attrito rinterro - muro sopra l.m.m.	$d_1=$	[°]	26,67
Angolo resist a taglio del rinterro sotto l.m.m.	$\varphi'_2=$	[°]	40,00
Angolo attrito terreno- muro sotto l.m.m.	$d_2=$	[°]	26,67
Lunghezza cassone	$L=$	[m]	9,40

Coeff. Spinta attiva rinterro sopra l.m.m.	$K_{a1}=$	[-]	0,20
Coeff. Spinta attiva rinterro sotto l.m.m.	$K_{a2}=$	[-]	0,20
Spinta attiva	$F_a=$	[kN]	948,25
Spinta attiva: componente orizzontale	$F_{ao}=$	[kN]	847,39
Spinta attiva: componente verticale	$F_{av}=$	[kN]	425,57
Spinta attiva: braccio	$Z_a=$	[m]	2,83

PESO RINTERRO SU MENSOLA DI MONTE

Peso rinterro su mensola di monte	W_r	[kN]	1.471,10
Peso immerso rinterro su mensola di monte	W'_r	[kN]	948,93
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO}	X_{Gi} da O _{PORTO}	[m]	5,50
Distanza orizzontale baricentro da O _{PIAZZALE}	X_{Gi} da O _{PIAZZALE}	[m]	0,50

PESO RINTERRO SU SOVRASTRUTTURA

Peso rinterro su mensola di monte	W_r	[kN]	438,39
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO}	X_{Gi} da O _{PORTO}	[m]	4,13
Distanza orizzontale baricentro da O _{PIAZZALE}	X_{Gi} da O _{PIAZZALE}	[m]	1,88



AZIONI ACCIDENTALI

AZIONI ACCIDENTALI

SOVRACCARICO ACCIDENTALE SU CASSONE

Sovraccarico unitario	$q=$	[kN/m ²]	20,00
Larghezza	$B=$	[m]	4,00
Lunghezza sovrastr	$L=$	[m]	9,40
Sovraccarico totale	$Q=$	[kN]	752,00
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO} (braccio)	$b=$	[m]	3,00

SOVRACCARICO SU MENSOLA

Sovraccarico unitario	$q=$	[kN/m ²]	20,00
Larghezza	$B=$	[m]	1,00
Lunghezza sovrastruttura	$L=$	[m]	9,40
Sovraccarico totale	$Q=$	[kN]	188,00
Distanza orizzontale baricentro da O _{PORTO} (braccio)	$b=$	[m]	5,50

SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO

			Tipo di verifica	
			M1	M2
Spinta dovuta al sovraccarico sul rinterro	$S_q=$	[kN]	319,60	415,48
Distanza verticale baricentro da piano posa	$Z_G=$	[m]	4,25	4,25

TIRO ALLA BITTA

Tiro alla bitta unitario	$t=$	[kN/m]	53,19
Tiro alla bitta totale	$T=$	[kN]	500,00
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_T=$	[m]	8,50



AZIONI SISMICHE

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

SPINTA DEL TERRAPIENO IN CONDIZIONI SISMICHE

			Tipo di verifica	
			M1	M2
Coeff. Spinta attiva sismica rinterro sopra l.m.m.	$K_{ad1}=$	[-]	0,23	0,29
Coeff. Spinta attiva sismica rinterro sotto l.m.m.	$K_{as2}=$	[-]	0,23	0,29
Spinta attiva sismica	$F_{as}=$	[kN]	1.106,03	1.394,55
Spinta attiva sismica: componente orizzontale	$F_{aos}=$	[kN]	1.106,03	1.394,55
Spinta attiva sismica: componente verticale	$F_{avs}=$	[kN]	496,38	535,51

INCREMENTO DELLA SPINTA IN CONDIZIONI SISMICHE

Incremento Spinta attiva sismica	$\Delta F_{as}=$	[kN]	157,78	161,83
Incremento Spinta attiva sismica: componente orizzontale	$\Delta F_{aos}=$	[kN]	258,64	256,34
Incremento Spinta attiva sismica: componente verticale	$\Delta F_{avs}=$	[kN]	70,81	62,14
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$H_{\Delta as}=$	[m]	4,25	4,25

SPINTA IDRODINAMICA INDOTTA DAL SISMA

	$\gamma_w=$	[kN/m ³]	10,10
	$H_w=$	[m]	6,00
Spinta idrodinamica	$F_{sw}=$	[kN]	63,64
Distanza verticale da piano posa (braccio)	$Z_{sw}=$	[m]	3,60



**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 G1, G2, G3 e G4-



FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA SUL CASSONE

Peso cassone in opera	W	[kN]	6.374,83
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o=$	[kN]	181,68
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G=$	[m]	3,64
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v=$	[kN]	90,84
braccio forza sismica verticale	$X_{GO PORTO}=$	[m]	2,98

FORZA DI MASSA INDOTTA DAL SISMA SUL SOVRACCARICO DEL CASSONE

Peso sovraccarico	$Q=$	[kN]	752,00
Forza di massa orizzontale indotta dal sisma	$F_o=$	[kN]	21,43
braccio forza sismica orizzontale	$Z_G=$	[m]	8,50
Forza di massa verticale indotta dal sisma	$F_v=$	[kN]	10,72
braccio forza sismica verticale	$X_{GO PORTO}=$	[m]	3,00

SPINTA INDOTTA DAL SOVRACCARICO SUL TERRAPIENO IN CONDIZIONI SISMICHE

		M1	M2
Spinta dovuta al sisma del sovraccarico sul rinterro $S_q=$	[kN]	372,78	470,02
Incremento rispetto alla condizione statica $F_o=$	[kN]	53,18	54,54
$Z_G=$	[m]	4,25	4,25

FORZA DI MASSA SUL RINTERRO SULLA MENSOLA INDOTTA DAL SISMA

$F_o=$	[kN]	41,93
$Z_G=$	[m]	4,50
$F_v=$	[kN]	20,96
$X_{GO PORTO}=$	[m]	5,50

FORZA DI MASSA SUL RINTERRO SU SOVRASTRUTTURA INDOTTA DAL SISMA

$F_o=$	[kN]	12,49
$Z_G=$	[m]	7,85
$F_v=$	[kN]	6,25
$X_{GO PORTO}=$	[m]	4,13



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 G1, G2, G3 e G4-

AZIONE DI CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m)

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

Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,50
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	5,00
m, larghezza piede cassone	[m]	1,00
hpiede	[m]	0,50

H _s		[m]	2,50
C _r		[-]	1,00
H' _s		[m]	2,50
storm surge	ss=	[m]	0,00
escursione di	em=	[m]	0,00
γ _w		[kN/m ³]	10,10

H1/100	[m]	4,18
L	[m]	100,00
k=2π/L		0,06

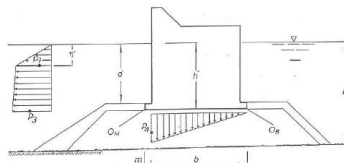


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

$$p_1 = \gamma \eta'$$
$$p_2 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right) - p_1 \left(\frac{h' - d}{d - \eta'} \right)$$
$$p_4 = p_3 \frac{b}{b + m}$$
$$\eta' = H - \frac{\pi H^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

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 ₁	p ₃	p ₄	F ₁	F ₂	F _{tot}	S _w	b ₁	b ₂	b _{rib}	b _w
	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
	5,50	6,00	2,53	25,53	42,17	35,14	32,27	117,53	149,80	87,85	4,31	1,59	2,18	3,33
							max	149.80	87.85				2.18	3.33

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	Ftot,unit	kN/m	149,80
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	Ftot	kN	1.408,11
Braccio rispetto al piano di posa	b1s	m	2,18
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	Sw,unit	kN/m	87,85
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	Sw,tot	kN	825,77
Braccio rispetto a O7	b1w	m	3,33



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 G1, G2, G3 e G4-

AZIONE DI CAVO D'ONDA (Hs=1.50 m)

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

Geometria cassone

d, profondità di imbasamento rispetto il l.m.m.	[m]	5,50
b, larghezza cassone escluso piede	[m]	5,00
m, larghezza piede cassone	[m]	1,00
hpiede	[m]	0,50

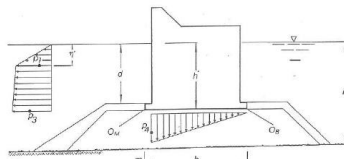


Figura 1 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

$$p_1 = \gamma \eta'$$

$$p_2 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right) - p_1 \left(\frac{h' - d}{d - \eta'} \right)$$

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

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

Hs	[m]	1,50
Cr	[-]	1,00
H's	[m]	1,50
storm surge	ss=	[m] 0,00
escursione di	em=	[m] 0,00
γw	[kN/m³]	10,10

H1/100	[m]	2,51
L	[m]	100,00
k=2π/L		0,06

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.

Possibili condizioni di livelli idrici			Pressioni sulla parete			Forze risultanti				bracci delle forze rispetto OB			
d	h'	η'	p1	p3	p4	F1	F2	Ftot	Sw	b1	b2	b1s	bw
[m]	[m]	[m]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[m]	[m]
5,50	6,00	1,91	19,31	24,50	20,41	18,46	89,54	108,01	51,04	4,73	1,96	2,44	3,33
						max		108,01	51,04			2,44	3,33

CALCOLO DELLE SPINTE

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda unitaria	Ftot,unit	kN/m	108,01
Spinta Orizzontale Cavo d'Onda	Ftot	kN	1.015,26
Braccio rispetto al piano di posa	b1s	m	2,44
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda unitaria	Sw,unit	kN/m	51,04
Risult. Spinta Vert. Cavo d'Onda	Sw,tot	kN	479,73
Braccio rispetto a O7	bw	m	3,33



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 G1, G2, G3 e G4-

TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI

TABELLA DI SINTESI DELLE AZIONI

DESCRIZIONE AZIONE		FORZA [kN]	Z _{Gi} [m]	X _{Gi} da O _{PORTO} [m]
CASSONE IN OPERA		4.001,33	4,09	2,97
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE		948,93	x	5,50
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA		438,39	x	4,13
SPINTA DEL RINTERRO [M1]	(spinta orizzontale)	847,39	2,83	x
	(spinta verticale)	425,57	x	6,00
SPINTA DEL RINTERRO [M2]	(spinta orizzontale)	1.138,21	2,83	x
	(spinta verticale)	473,37	x	6,00
SOVRACCARICO SU CASSONE		752,00	X	3,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA		188,00	X	5,50
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]		319,60	4,25	x
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]		415,48	4,25	x
TIRO ALLA BITTA		500,00	8,50	x
Cavo d'Onda Hs=2,50 m	(spinta orizzontale)	1.408,11	2,18	x
	(sottospinta)	825,77	x	3,33
Cavo d'Onda Hs=1,50 m	(spinta orizzontale)	1.015,26	2,44	x
	(sottospinta)	479,73	x	2,67
SISMA	Azione Sismica orizzontale su Cassone	181,68	3,64	x
	Azione Sismica verticale su Cassone	90,84	x	2,98
	Spinta idrodinamica	63,64	3,60	x
	Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	41,93	4,50	x
	Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	20,96	x	5,50
	Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	x
	Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	x	4,13
	Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	258,64	4,25	x
	Incremento spinta orizzontale per sisma [M2]	256,34	4,25	x
	Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	21,43	8,50	x
	Azione Sismica su sovraccarico - verticale	10,72	x	3,00
	Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	53,18	4,25	x
	Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M2]	54,54	4,25	x



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 G1, G2, G3 e G4-

VERIFICA ALLA TRASLAZIONE SUL PIANO DI POSA

Combinazione A1 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($g_{Gi}; g_{Qi}$)	Coeff. Combin. (γ_{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.001,33	1,0	-	4.001,33
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	948,93	1,0	-	948,93
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0	-	438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	319,60	1,5	1,0	479,40
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	1,5	0,6	450,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.015,26	0,0	0,0	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	kN	479,73	0,0	0,0	0,00

Risultante forze verticali	[kN]	5.941,89
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g_R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	3.241,03
Forza mobilitata	[kN]	2.031,00
Resistenza/Azione	[-]	1,60

Combinazione A2 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali ($g_{Gi}; g_{Qi}$)	Coeff. Combin. (γ_{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.001,33	1,0	-	4.001,33
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	948,93	1,0	-	948,93
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0	-	438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	319,60	0,0	0,0	0,00
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	0,0	0,0	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.408,11	1,5	1,0	2.112,17
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	kN	825,77	1,5	1,0	1.238,66

Risultante forze verticali	[kN]	7.180,55
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g_R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	3.916,66
Forza mobilitata	[kN]	3.213,77
Resistenza/Azione	[-]	1,22



**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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.001,33	1,0	-	4.001,33
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	948,93	1,0	-	948,93
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,3	-	1.101,60
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,3	-	553,25
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	319,60	1,5	0,7	335,58
TIRO ALLA BITTA	kN	500,00	1,5	0,6	450,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	kN	1.015,26	1,5	1,0	1.522,89
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	kN	479,73	1,5	1,0	719,60

Risultante forze verticali	[kN]	6.661,50
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,1
Forza resistente	[kN]	3.633,54
Forza mobilitata	[kN]	3.410,07
Resistenza/Azione	[-]	1,07

Combinazione B1 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

Azione	U.M.	Intensità dell'Azione	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Azione di calcolo
CASSONE IN OPERA	kN	4.001,33	1,0	-	4.001,33
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	kN	948,93	1,0	-	948,93
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	kN	438,39	1,0		438,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	kN	847,39	1,0	-	847,39
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	kN	425,57	1,0	-	425,57
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	kN	319,60	1,0	0,3	95,88
Azione Sismica orizzontale su Cassone	kN	181,68	1,0	-	181,68
Azione Sismica verticale su Cassone	kN	90,84	1,0	-	90,84
Spinta idrodinamica	kN	63,64	1,0	-	63,64
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	kN	41,93	1,0	-	41,93
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	kN	20,96	1,0	-	20,96
Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	kN	258,64	1,0	-	258,64
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	kN	53,18	1,0	0,3	15,95

Risultante forze verticali	[kN]	5.702,42
Coeff. Attrito	[-]	0,60
Coeff. Parziale resistenza g _R	[-]	1,00
Forza resistente	[kN]	3.421,45
Forza mobilitante	[kN]	1.505,11
Resistenza/Azione	[-]	2,27



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 G1, G2, G3 e G4-

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Combinazione A1 (STR) Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{Qi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,00	-	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	6,00	2.840,21	1,30	-	3.692,27
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	415,48	4,25	1.765,79	1,50	1,0	2.648,69
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	0,00	0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	479,73	2,67	1.279,29	0,00	0,00	0,00

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	22.592,69
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	10.666,10
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	1,84

Combinazione A2 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{Qi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,00	-	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	6,00	2.840,21	1,30	-	3.692,27
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	415,48	4,25	1.765,79	0,00	0,0	0,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	0,00	0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	1.408,11	2,18	3.069,69	1,50	1,00	4.604,54
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	825,77	3,33	2.752,57	1,50	1,00	4.128,85

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	26.721,54
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	8.796,96
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	2,64



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	Coeff. Combin. (ψ_{Gi})	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1808,4	1,00	-	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	1,30	-	4.192,42
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	473,37	6,00	2.840,21	1,30	-	3.692,27
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	415,48	4,25	1.765,79	1,50	0,7	1.854,08
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,50	1,00	3.708,93
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	479,73	2,67	1.279,29	1,50	1,00	1.918,94

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	24.511,63
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,15
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	13.580,43
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	1,57

Combinazione B1 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

CARICO	MODULO DEL CARICO [kN]	BRACCIO [m]	MOMENTO [kNm]	COEFF. PARZIALE ($\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$)	COEFF. COMBINAZIONE (ψ_{Gi})	MOMENTO DI CALCOLO [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	-	-	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	-	-	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1808,4	-	-	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - orizzontale	1.138,21	2,83	3.224,94	-	-	3.224,94
SPINTA DEL RINFIANCO [M2] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	1,00	-	2.553,44
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M2]	415,48	4,25	1.765,79	-	0,30	529,74
Azione Sismica orizzontale su Cassone	181,68	3,64	662,11	-	-	662,11
Azione Sismica verticale su Cassone	90,84	2,98	270,66	-	-	270,66
Spinta idrodinamica	63,64	3,60	229,10	-	-	229,10
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	41,93	4,50	188,67	-	-	188,67
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	20,96	5,50	115,30	-	-	115,30
Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	98,08	-	-	98,08
Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	4,13	25,77	-	-	25,77
Incremento spinta orizzontale per sisma [M2]	256,34	4,25	1.089,45	-	-	1.089,45
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M2]	54,54	4,25	231,81	-	0,30	69,54

Momento Resistente		M _{Res}	[kNm]	21.453,86
Coeff. parziale resistenza		γ_R	[-]	1,00
Momento Ribaltante		M _{Rib}	[kNm]	6.503,35
Resistente/Azione		M _{res} /M _{rib}	[kNm]	3,30



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^2 .

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

Sono state considerate le seguenti combinazioni:

- *Combinazione A1 (STR)* P.p. cassone in opera + Sovraccarico + Tiro bitta
- *Combinazione A2 (STR)* P.p. cassone in opera + Cavo d'Onda ($H_s=2,50 \text{ m}$)
- *Combinazione A3 (STR)* P.p. cassone in opera + Cavo d'Onda ($H_s=1,50 \text{ m}$) + Sovraccarico + Tiro bitta
- *Combinazione B1 (SLV)* P.p. cassone in opera + Sisma + Sovraccarico
- *Combinazione C1 (SLE RARA)* P.p. cassone in opera + Sovraccarico + Tiro bitta
- *Combinazione C2 (SLE RARA)* P.p. cassone in opera + Cavo d'Onda ($H_s=1,50 \text{ m}$) + Sovraccarico + Tiro bitta
- *Combinazione D (SLE FREQ)* P.p. cassone in opera + Sovraccarico + Tiro bitta

6.3.1 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo G1 (Muro di Sponda alla radice, a tre celle)

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

COMBINAZIONE	N'	R	e	SCHIACCIAMENTO		
	[kN]	[kN]	[m]	B' [m]	s'_{\max} [kN/m ²]	s'_{\min} [kN/m ²]
Combinazione A1 (STR)	9.588,39	2.510,40	0,18	7,00	168,79	122,65
Combinazione A2 (STR)	7.771,05	3.213,77	0,08	7,00	125,76	110,44
Combinazione A3 (STR)	9.404,12	3.745,65	0,54	7,00	209,09	76,75
Combinazione B1 (SLV)	6.842,48	1.667,43	0,15	7,00	157,20	122,08
Combinazione C1 (SLE RARA)	8.426,72	1.786,59	0,04	7,00	132,76	123,37
Combinazione C2 (SLE RARA)	8.303,87	2.610,09	0,22	7,00	150,24	102,16
Combinazione 1 (SLE FREQ)	7.392,72	1.166,99	0,47	7,00	157,85	66,85



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A1 (STR) Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-		4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-		1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-		438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-		1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	1,30	-		553,25	3.872,72
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	1,50	1,00		958,80	4.074,90
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	1,50	1,00		2.256,00	7.896,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	1,50	1,00		846,00	5.287,50
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60		450,00	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	0,00	0,00		0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	497,55	3,33	1.658,51	0,00	0,00		0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	9.588,39
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2.510,40
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	42.809,58
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	11.021,10
Eccentricità	e	[m]	0,18
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	168,79
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	122,65

Combinazione A2 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ;g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-		4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-		1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-		438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-		1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	1,30	-		553,25	3.872,72
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	0,00	0,00		0,00	0,00
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	0,00	0,00		0,00	0,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	0,00	0,00		0,00	0,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	0,00	0,00		0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	1.408,11	2,18	3.069,69	1,50	1,00		2.112,17	4.604,54
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	856,44	3,67	3.140,29	1,50	1,00		1.284,66	4.710,43

Risultante forze verticali	N'	[kN]	7.771,05
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3.213,77
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	34.336,51
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	7.725,74
Eccentricità	e	[m]	0,08
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	125,76
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	110,44



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A3 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	1,00	-		4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	1,00	-		1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,00	-		438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-		1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	1,30	-		553,25	3.872,72
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	1,50	0,70		671,16	2.852,43
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	1,50	0,70		1.579,20	5.527,20
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	1,50	0,70		592,20	3.701,25
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60		450,00	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,50	1,00		1.522,89	3.708,93
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	497,55	3,33	1.658,51	1,50	1,00		746,33	2.487,77

Risultante forze verticali	N'	[kN]	9.404,12
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3.745,65
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	41.342,30
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	13.507,56
Eccentricità	e	[m]	0,54
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	S' _{max}	[kPa]	209,09
tensione verticale efficace minima	S' _{min}	[kPa]	76,75

Combinazione B1 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	-	-		4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	-	-		1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,0	-		438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-		847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	1,00	-		425,57	2.979,01
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	-	0,30		451,20	1.579,20
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	-	0,30		169,20	1.057,50
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	-	0,30		191,76	814,98
Azione Sismica orizzontale su Cassone	185,03	3,58	662,95	-	-		185,03	662,95
Azione Sismica verticale su Cassone	92,52	3,59	332,07	-	-		92,52	332,07
Spinta idrodinamica	63,64	3,60	229,10	-	-		63,64	229,10
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	62,89	4,50	283,00	-	-		62,89	283,00
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	31,44	6,25	196,53	-	-		31,44	196,53
Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	98,08	-	-		12,49	98,08
Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	4,63	28,89	-	-		6,25	28,89
Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	258,64	4,25	1.099,22	-	-		258,64	1.099,22
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	42,86	8,50	364,34	-	0,30		12,86	109,30
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	21,43	3,50	75,01	-	0,30		6,43	22,50
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	109,09	4,25	463,62	-	0,30		32,73	139,09

Risultante forze verticali	N'	[kN]	6.842,48
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.667,43
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	31.369,07
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	6.416,64
Eccentricità	e	[m]	0,15
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	7,00
tensione verticale efficace massima	S' _{max}	[kPa]	157,20
tensione verticale efficace minima	S' _{min}	[kPa]	122,08



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione C1 (SLE RARA) Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	-	-	4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	-	-	1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	-	-	438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	-	-	425,57	2.979,01
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	-	1,0	639,20	2.716,60
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	-	1,0	1.504,00	5.264,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	-	1,0	564,00	3.525,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0,6	300,00	2.550,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	8.426,72
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.786,59
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	37.521,37
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	7.667,53
Eccentricità	e	[m]	0,04
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	132,76
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	123,37

Combinazione C2 (SLE RARA) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs=1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	-	-	4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	-	-	1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	-	-	438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	-	-	425,57	2.979,01
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	-	0,70	447,44	1.901,62
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	-	0,70	1.052,80	3.684,80
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	-	0,70	394,80	2.467,50
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0,60	300,00	2.550,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,00	1,00	1.015,26	2.472,62
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	497,55	3,33	1.658,51	1,00	1,00	497,55	1.658,51

Risultante forze verticali	N'	[kN]	8.303,87
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2.610,09
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	36.543,19
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	9.325,17
Eccentricità	e	[m]	0,22
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	150,24
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	102,16



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione 1 (SLE FREQ)

Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _j)		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.071,36	3,64	14.829,58	-	-		4.071,36	14.829,58
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	1.423,40	6,25	8.896,22	-	-		1.423,40	8.896,22
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,63	2027,6	1,0	-		438,39	2.027,57
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-		847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	7,00	2.979,01	-	-		425,57	2.979,01
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	639,20	4,25	2.716,60	-	0,5		319,60	1.358,30
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.504,00	3,50	5.264,00	-	0,5		752,00	2.632,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	564,00	6,25	3.525,00	-	0,5		282,00	1.762,50
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0		0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	7.392,72
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.166,99
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	33.126,87
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	3.759,23
Eccentricità	e	[m]	0,47
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	7,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	157,85
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	66,85



6.3.2 Verifiche a schiacciamento dell'imbasamento del Cassone tipo G3 (Muro di Sponda lungo il molo, a tre celle)

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

COMBINAZIONE	N'	R	e	SCHIACCIAMENTO		
	[kN]	[kN]	[m]	B' [m]	s' _{max} [kN/m ²]	s' _{min} [kN/m ²]
Combinazione A1 (STR)	7.351,89	2.031,00	0,53	6,00	199,23	61,48
Combinazione A2 (STR)	7.180,55	3.213,77	0,41	6,00	179,06	75,57
Combinazione A3 (STR)	7.648,50	3.410,07	0,97	6,00	267,41	3,81
Combinazione B1 (SLV)	5.974,95	1.524,44	0,19	6,00	196,95	134,99
Combinazione C1 (SLE RARA)	6.754,22	1.466,99	0,27	6,00	152,17	87,34
Combinazione C2 (SLE RARA)	6.951,96	2.386,37	0,60	6,00	197,62	48,90
Combinazione 1 (SLE FREQ)	6.284,22	1.007,19	0,19	6,00	132,10	90,75

Combinazione A1 (STR)

Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g ₀ ; g ₀)	Coeff. Combin. (y ₀)	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-	4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-	948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,00	-	438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-	1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	1,30	-	553,25	3.319,47
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	1,50	1,00	479,40	2.037,45
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	1,50	1,00	1.128,00	3.384,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	1,50	1,00	282,00	1.551,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60	450,00	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	0,00	0,00	0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	479,73	2,67	1.279,29	0,00	0,00	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	7.351,89
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2.031,00
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	27.154,89
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	8.983,65
Eccentricità	e	[m]	0,53
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	199,23
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	61,48



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione A2 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs2,50)
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-		4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-		948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,00	-		438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-		1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	1,30	-		553,25	3.319,47
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	0,00	0,00		0,00	0,00
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	0,00	0,00		0,00	0,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	0,00	0,00		0,00	0,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	0,00	0,00		0,00	0,00
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Orizzontale	1.408,11	2,18	3.069,69	1,50	1,00		2.112,17	4.604,54
CAVO D'ONDA (Hs=2,50 m): Spinta Verticale	825,77	3,33	2.752,57	1,50	1,00		1.238,66	4.128,85

Risultante forze verticali	N'	[kN]	7.180,55
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3.213,77
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	26.348,74
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	7.725,74
Eccentricità	e	[m]	0,41
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	S' _{max}	[kPa]	179,06
tensione verticale efficace minima	S' _{min}	[kPa]	75,57

Combinazione A3 (STR) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Qi})		Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	1,00	-		4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	1,00	-		948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,00	-		438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	1,30	-		1.101,60	3.121,20
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	1,30	-		553,25	3.319,47
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	1,50	0,70		335,58	1.426,22
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	1,50	0,70		789,60	2.368,80
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	1,50	0,70		197,40	1.085,70
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	1,50	0,60		450,00	3.825,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,50	1,00		1.522,89	3.708,93
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	479,73	2,67	1.279,29	1,50	1,00		719,60	1.918,94

Risultante forze verticali	N'	[kN]	7.648,50
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	3.410,07
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	27.593,33
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	12.081,35
Eccentricità	e	[m]	0,97
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	S' _{max}	[kPa]	267,41
tensione verticale efficace minima	S' _{min}	[kPa]	3,81



**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 G1, G2, G3 e G4-



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione B1 (SLV)

Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{2i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	-	-	4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	-	-	948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1808,4	1,0	-	438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	1,00	-	425,57	2.553,44
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	-	0,30	225,60	676,80
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	-	0,30	56,40	310,20
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	-	0,30	95,88	407,49
Azione Sismica orizzontale su Cassone	181,68	3,64	662,11	-	-	181,68	662,11
Azione Sismica verticale su Cassone	90,84	2,98	270,66	-	-	90,84	270,66
Spinta idrodinamica	63,64	3,60	229,10	-	-	63,64	229,10
Azione Sismica orizzontale su rinterro su mensola	41,93	4,50	188,67	-	-	41,93	188,67
Azione Sismica verticale su rinterro su mensola	20,96	5,50	115,30	-	-	20,96	115,30
Azione Sismica orizzontale su rinterro su sovrastruttura	12,49	7,85	98,08	-	-	12,49	98,08
Azione Sismica verticale su rinterro su sovrastruttura	6,25	4,13	25,77	-	-	6,25	25,77
Incremento spinta orizzontale per sisma [M1]	258,64	4,25	1.099,22	-	-	258,64	1.099,22
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	21,43	8,50	182,17	-	0,30	6,43	54,65
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	10,72	3,00	32,15	-	0,30	3,21	9,64
Azione Sismica spinta per sovraccarico su rinterro [M1]	54,54	4,25	231,81	-	0,30	16,36	69,54

Risultante forze verticali	N'	[kN]	5.974,95
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.524,44
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	22.440,86
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	5.631,16
Eccentricità	e	[m]	0,19
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	6,00
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	196,95
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	134,99

Combinazione C1 (SLE RARA)

Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta

verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{0i})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	-	-	4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	-	-	948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1808,4	-	-	438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	-	-	425,57	2.553,44
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	-	1,0	319,60	1.358,30
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	-	1,0	752,00	2.256,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	-	1,0	188,00	1.034,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0,6	300,00	2.550,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	6.754,22
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.466,99
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	24.743,86
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	6.309,23
Eccentricità	e	[m]	0,27
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	152,17
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	87,34



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 G1, G2, G3 e G4-

Combinazione C2 (SLE RARA) Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Hs=1,50) + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Gi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	-	-	4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	-	-	948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	-	-	438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	-	-	425,57	2.553,44
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	-	0,70	223,72	950,81
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	-	0,70	526,40	1.579,20
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	-	0,70	131,60	723,80
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0,60	300,00	2.550,00
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Orizzontale	1.015,26	2,44	2.472,62	1,00	1,00	1.015,26	2.472,62
CAVO D'ONDA (Hs=1,50 m): Spinta Verticale	479,73	2,67	1.279,29	1,00	1,00	479,73	1.279,29

Risultante forze verticali	N'	[kN]	6.951,96
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	2.386,37
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	25.036,15
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	8.374,36
Eccentricità	e	[m]	0,60
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	197,62
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	48,90

Combinazione 1 (SLE FREQ) Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Tiro alla bitta
verso specchio acqueo - Ribaltamento rispetto a O_{PORTO}

Carico	Modulo caratteristico del Carico [kN]	Braccio [m]	Momento [kNm]	Coeff. Parziali (g _{Gi} ; g _{Qi})	Coeff. Combin. (γ _{Gi})	Forza di calcolo [kN]	Momento di Calcolo [kNm]
CASSONE IN OPERA	4.001,33	2,97	11.872,94	-	-	4.001,33	11.872,94
RINTERRO IN OPERA SU MENSOLA DI MONTE	948,93	5,50	5.219,12	-	-	948,93	5.219,12
RINTERRO IN OPERA SU SOVRASTRUTTURA	438,39	4,13	1.808,4	1,0	-	438,39	1.808,37
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - orizzontale	847,39	2,83	2.400,93	-	-	847,39	2.400,93
SPINTA DEL RINFIANCO [M1] - verticale	425,57	6,00	2.553,44	-	-	425,57	2.553,44
SPINTA SOVRACCARICO SU RINTERRO [M1]	319,60	4,25	1.358,30	-	0,5	159,80	679,15
SOVRACCARICO SU CASSONE	752,00	3,00	2.256,00	-	0,5	376,00	1.128,00
SOVRACCARICO SU MENSOLA	188,00	5,50	1.034,00	-	0,5	94,00	517,00
TIRO ALLA BITTA	500,00	8,50	4.250,00	-	0	0,00	0,00

Risultante forze verticali	N'	[kN]	6.284,22
Risultante forze orizzontali	R	[kN]	1.007,19
Momento Resistente	M _{Res}	[kNm]	23.098,86
Momento Ribaltante	M _{Rib}	[kNm]	3.080,08
Eccentricità	e	[m]	0,19
sezione parzializzata		[-]	0,00
larghezza fondazione efficace	B'	[m]	6,00
lunghezza fondazione	L'	[m]	9,40
tensione verticale efficace massima	s' _{max}	[kPa]	132,10
tensione verticale efficace minima	s' _{min}	[kPa]	90,75