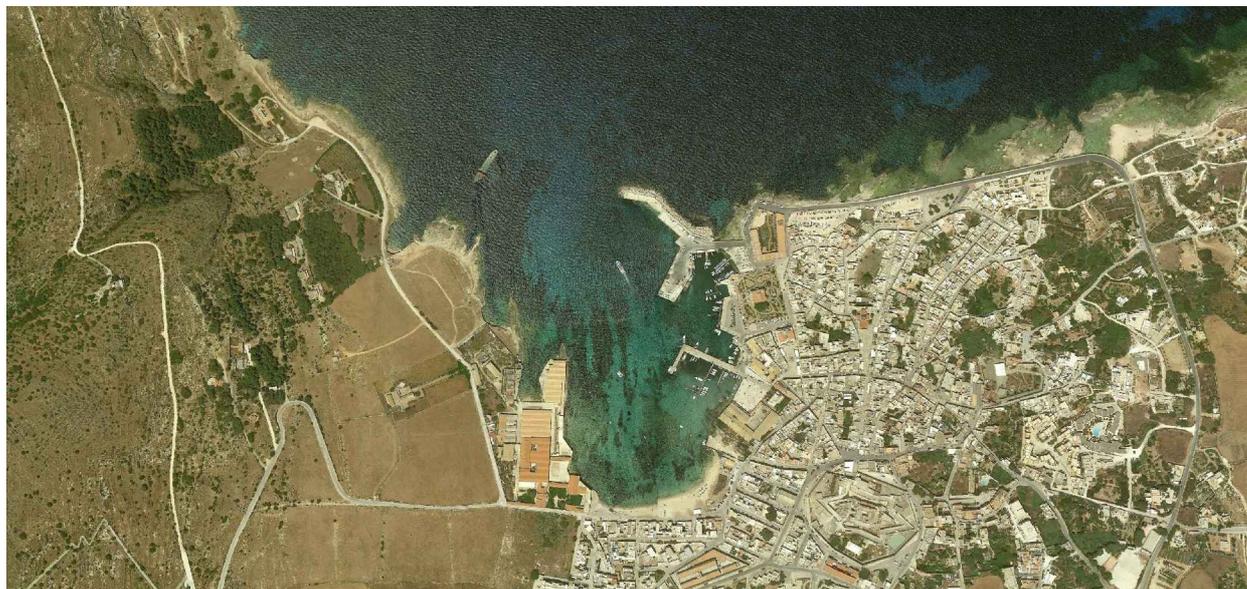




Isole Egadi  
Comune di Favignana  
Provincia Regionale di Trapani

**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*

*Dott. Ing. Gianluca Marvuglia*

*Dott. Ing. Giuseppe Scorsone*

**Collaboratori:**

*Geom. Francesco Daidone*

*Geom. Mario Lanzo*

**IL DIRIGENTE:**

*Dott. Ing. Giovanni Coppola*

**Il Progettista delle strutture:**

**DUOMI S.r.l.**  
*Ing. Guglielmo Migliorino*



2	20 MAGGIO 2020	EMISSIONE REVISIONE 2	R.M.	M.M.	G.M.
1	11 DICEMBRE 2019	EMISSIONE REVISIONE 1	R.M.	M.M.	G.M.
0	21 MAGGIO 2019	EMISSIONE	-	-	-
Rev.	Data	Descrizione	Eseguito	Controllato	Approvato

Titolo elaborato :

**Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C**

DATA	DESCRIZIONE	N°/SIGLA	REV	SCALA
20/05/2020	EMISSIONE REVISIONE 2	P E - R C S C	2	-



## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	6
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	16
2.1	Azioni, criteri di calcolo e verifica delle costruzioni.....	16
2.2	Elaborati tecnici.....	16
3	BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	17
4	MATERIALI.....	18
4.1	Caratteristiche meccaniche.....	18
4.2	Calcestruzzo classe di resistenza C35/45 (Rck 45).....	18
4.3	Acciaio per cemento armato B450C.....	19
4.4	Pesi propri.....	19
4.4.1	Calcestruzzo strutturale e non strutturale.....	19
4.4.2	Materiale di riempimento delle celle dei cassoni.....	19
5	CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	20
5.1	Verifiche di sicurezza delle opere.....	20
5.2	Combinazioni delle azioni.....	21
5.2.1	Coefficienti parziali di combinazione.....	22
6	AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	23
6.1.1	Carico di banchina.....	23
6.1.2	Moto ondoso.....	24
6.1.3	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta.....	25
6.1.4	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo.....	27
6.1.5	Pressioni sulle pareti delle celle assorbenti e sulla sovrastruttura.....	28
6.1.6	Cassone di testa.....	30
6.1.7	Tiro alla bitta.....	31
6.1.8	Urti e forze di accosto trasmesse attraverso il parabordo.....	31
6.1.9	Urto da nave fuori controllo.....	31
6.1.10	Sisma.....	32
6.1.11	Spinta idrodinamica indotta dal sisma.....	35
6.1.12	Forze di massa indotte dal sisma.....	36



7	VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURALE DEI CASSONI.....	37
7.1	Criteri generali di verifica .....	37
7.2	Solettone di fondo.....	38
7.2.1	Verifiche per situazioni transitorie.....	38
7.2.1.1	Analisi dei carichi .....	38
7.2.1.2	Combinazioni di carico .....	39
7.2.1.3	Modello di calcolo.....	39
7.2.1.4	Verifiche agli stati limite.....	45
7.2.2	Verifiche in fase definitiva.....	50
7.2.2.1	Analisi dei carichi .....	50
7.2.2.2	Combinazioni di carico .....	50
7.2.2.3	Condizioni di carico .....	53
7.2.2.3.1	Reazione del terreno.....	53
7.2.2.3.2	Carichi permanenti.....	55
7.2.2.4	Modello di calcolo.....	58
7.2.2.5	Verifiche allo SLU.....	71
7.2.2.5.1	Verifiche a flessione (SLU).....	76
7.2.2.5.2	Verifiche a taglio (SLU) .....	76
7.2.2.6	Verifiche agli stati limite di esercizio .....	77
7.2.2.6.1	Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE).....	79
7.3	Fusto e sovrastruttura.....	80
7.3.1	Verifiche per situazioni transitorie.....	80
7.3.1.1	Setti.....	80
7.3.1.1.1	Analisi dei carichi .....	81
7.3.1.1.2	Combinazioni di carico .....	81
7.3.1.1.3	Setti longitudinali – Verifiche agli stati limite ultimi.....	82
7.3.1.1.3.1	Verifiche a flessione (SLU).....	89
7.3.1.1.3.2	Verifiche a taglio (SLU) .....	90
7.3.1.2	Pareti esterne.....	90
7.3.1.2.1	Analisi dei carichi .....	90
7.3.1.2.2	Combinazioni di carico .....	91



**Comune  
di Favignana**

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

*- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-*

7.3.1.2.3	Verifiche agli stati limite ultimi.....	91
7.3.1.2.4	Pareti trasversali .....	98
7.3.1.2.4.1	Verifiche a flessione (SLU).....	107
7.3.1.2.4.2	Verifiche a taglio (SLU) .....	107
7.3.2	Verifiche in fase definitiva.....	109
7.3.2.1	Analisi dei carichi .....	109
7.3.2.1.1	Carico di banchina .....	109
7.3.2.1.2	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta .....	109
7.3.2.1.3	Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo .....	109
7.3.2.1.4	Tiro alla bitta .....	109
7.3.2.1.5	Spinta del riempimento .....	109
7.3.2.1.6	Spinta sismica del riempimento.....	110
7.3.2.1.7	Spinta idrodinamica indotta dal sisma .....	112
7.3.2.1.8	Urto eccezionale .....	113
7.3.2.2	Combinazioni dei carichi .....	114
7.3.2.3	Modello di calcolo.....	114
7.3.2.4	Pareti .....	141
7.3.2.4.1	Verifiche allo SLU.....	141
7.3.2.4.1.1	Verifiche a flessione (SLU).....	153
7.3.2.4.1.2	Verifiche a taglio (SLU) .....	154
7.3.2.4.1.3	Verifiche agli stati limite di esercizio .....	155
7.3.2.4.1.4	Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE).....	163
7.3.2.5	Setti.....	165
7.3.2.5.1	Verifiche allo SLU.....	165
7.3.2.5.1.1	Setto longitudinale LM.....	165
7.3.2.5.1.2	Setto longitudinale intermedio .....	171
7.3.2.5.1.3	Setto longitudinale LP .....	177
7.3.2.5.1.4	Setttrasversali .....	183
7.3.2.5.1.5	Verifiche a flessione (SLU).....	189
7.3.2.5.1.6	Verifiche a taglio (SLU) .....	190
7.3.2.5.2	Verifiche agli stati limite di esercizio .....	192



7.3.2.5.2.1	Setto longitudinale LM.....	192
7.3.2.5.2.2	Setto longitudinale intermedio .....	196
7.3.2.5.2.3	Setto longitudinale LP .....	200
7.3.2.5.2.4	Setti trasversali .....	204
7.3.2.5.2.5	Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE).....	207
7.3.2.6	Sovrastruttura.....	210
7.3.2.6.1	Verifiche allo SLU.....	210
7.3.2.6.1.1	Verifiche a flessione (SLU).....	214
7.3.2.6.1.2	Verifiche a taglio (SLU) .....	214
7.3.2.6.2	Verifiche agli stati limite di esercizio .....	215
7.3.2.6.2.1	Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE).....	218
7.3.3	Verifica dei ferri di cucitura del cassone.....	220
7.3.3.1	Verifica per Cresta d'Onda .....	220
7.3.3.2	Verifica per Urto Eccezionale .....	222
7.4	Cassone di testata.....	223
7.4.1	Solettone .....	223
7.4.2	Parete trasversale di testata .....	223
7.5	Verifica delle predalle .....	223
7.5.1	Determinazione delle sollecitazioni in fase di sollevamento .....	223
7.5.2	Determinazione delle sollecitazioni in fase di getto .....	229
7.5.3	Verifiche a flessione della predalla .....	238
7.5.4	Verifiche a taglio della predalla .....	239
7.5.5	Verifica dei golfari.....	240
7.6	Verifica ancoraggio delle bitte.....	241
7.6.1	Bitte da 50 t.....	241
7.6.1.1	SLU.....	241
7.6.1.2	SLE.....	241
7.6.1.3	Armatura locale di rinforzo.....	241
7.6.1.3.1	SLU.....	241
7.6.1.3.2	SLE.....	241
7.7	Verifica dei giunti tra i cassoni .....	242



---

7.7.1	Giunto tra il cassone tipo C e il cassone tipo B.....	242
7.7.1.1	Verifica delle barre di ancoraggio.....	242
7.7.1.1.1	Combinazione eccezionale.....	242
7.7.1.1.2	Combinazione SLU.....	242
7.7.1.1.3	Verifica.....	243
7.7.1.2	Verifica dei micropali.....	243
7.7.1.2.1	Combinazione eccezionale.....	243
7.7.1.2.2	Combinazione SLU.....	243
7.7.1.2.3	Verifica.....	243
7.7.2	Verifica della chiave della sovrastruttura.....	244
7.7.2.1	Combinazione eccezionale.....	244
7.7.2.2	Combinazione SLU.....	244
7.7.2.3	Verifica.....	244
8	SOFTWARE DI CALCOLO.....	247
8.1	METODO DI CALCOLO.....	247
8.2	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO.....	247
8.3	VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO SULLA LORO ACCETTABILITÀ.....	248



## 1 PREMESSA

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

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

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

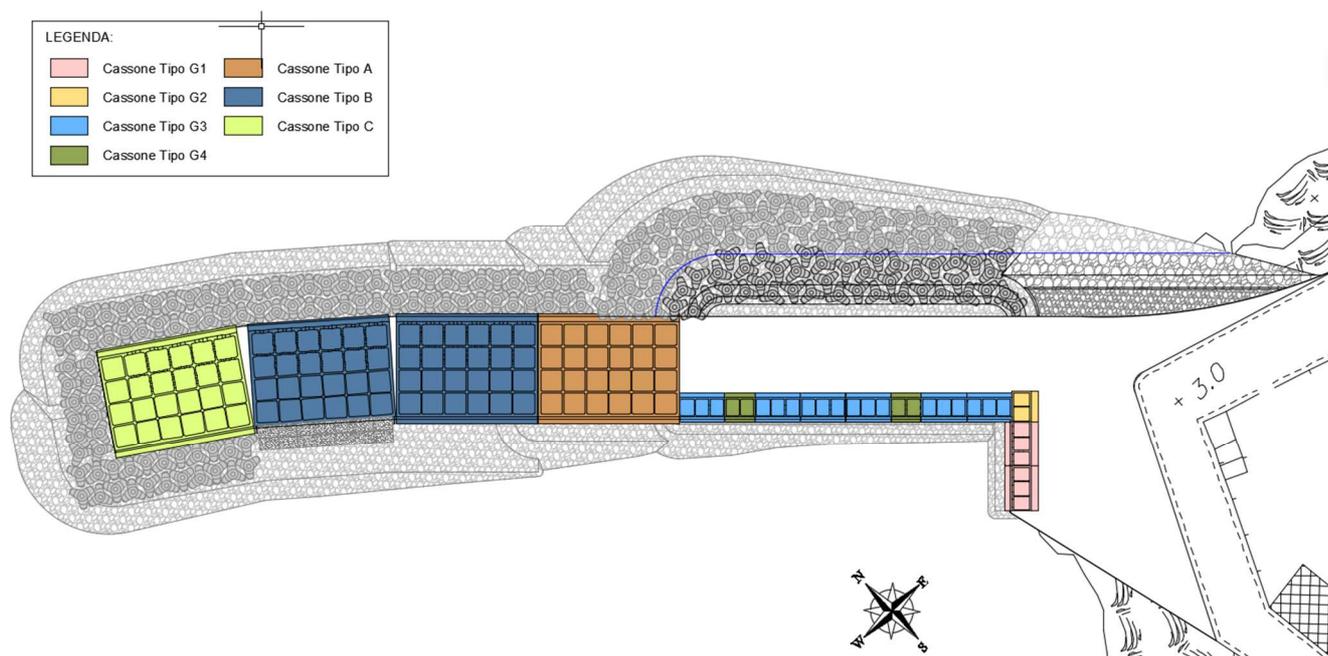


Figura 1 - Planimetria d'imbasamento dei cassoni

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

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

Le dimensioni in pianta dei cassoni sono 29,51x23,00 m (comprese le mensole di fondazione di 1,50 m). L'altezza del fusto è pari a 8,50 m per il cassone A, e pari a 11,70 m per i cassoni B e C. Le quote di posa sono pari a -8,80 m per tipo A, e -12,00 m s.l.m.m. per i tipi B e C. Il cassone emerge di 0,50 m rispetto al l.m.m.. Al di sopra di questo si sviluppa il solaio di copertura, necessario per la navigabilità del cassone, costituito da predalle prefabbricate e getto di completamento, di spessore pari a 0,20 m, e la sovrastruttura in c.a.. La quota banchina sul ciglio è pari a +2,50 m s.l.m..



**Comune  
di Favignana**

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

*- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-*

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

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

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

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

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

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

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

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

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



LATO MARE

LATO PORTO



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



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

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

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

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

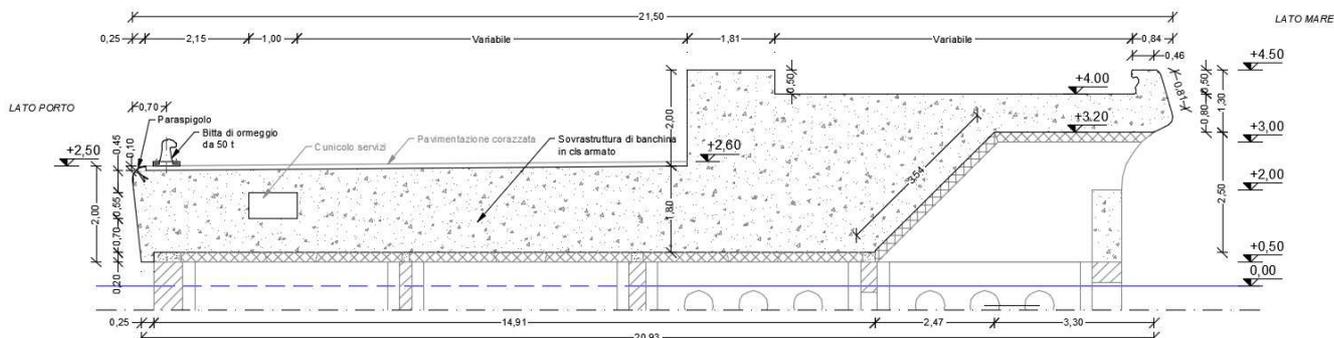


Figura 3 – Cassone tipo B - Sovrastuttura: Sezione trasversale



**Comune  
di Favignana**

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

*- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-*

È possibile ricondurre le varie tipologie di cassone sopra descritte al cassone tipo B; pertanto i calcoli e le verifiche sono riferite a quest'ultimo.

Il cassone tipo A, infatti, è più basso e le pressioni agenti sul solettone di fondazione sono inferiori rispetto a quello tipo B. Inoltre, pur essendo la parete lato mare soggetta a pressioni più elevate, a causa della maggiore riflettenza rispetto al tipo B, tuttavia la presenza del riempimento in calcestruzzo nelle celle adiacenti, necessario per rispettare le verifiche di stabilità, determina un abbattimento sensibile delle sollecitazioni.

Anche il cassone tipo C, come argomentato nel paragrafo 7.4, è soggetto a pressioni sul solettone inferiori a quello tipo B. Inoltre, per quanto riguarda la parete trasversale di testa, esposta alle azioni di moto ondoso, essa è poco sollecitata a motivo della presenza del riempimento in calcestruzzo delle celle adiacenti.

Le verifiche sono state eseguite secondo quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed alla normativa riportata nel par. 2.

Le strutture sono state calcolate come "non dissipative", e pertanto non sono soggette al rispetto delle prescrizioni del cap.7 delle NTC 2018.

Di seguito le carpenterie dei cassoni tipo A, B e C. Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

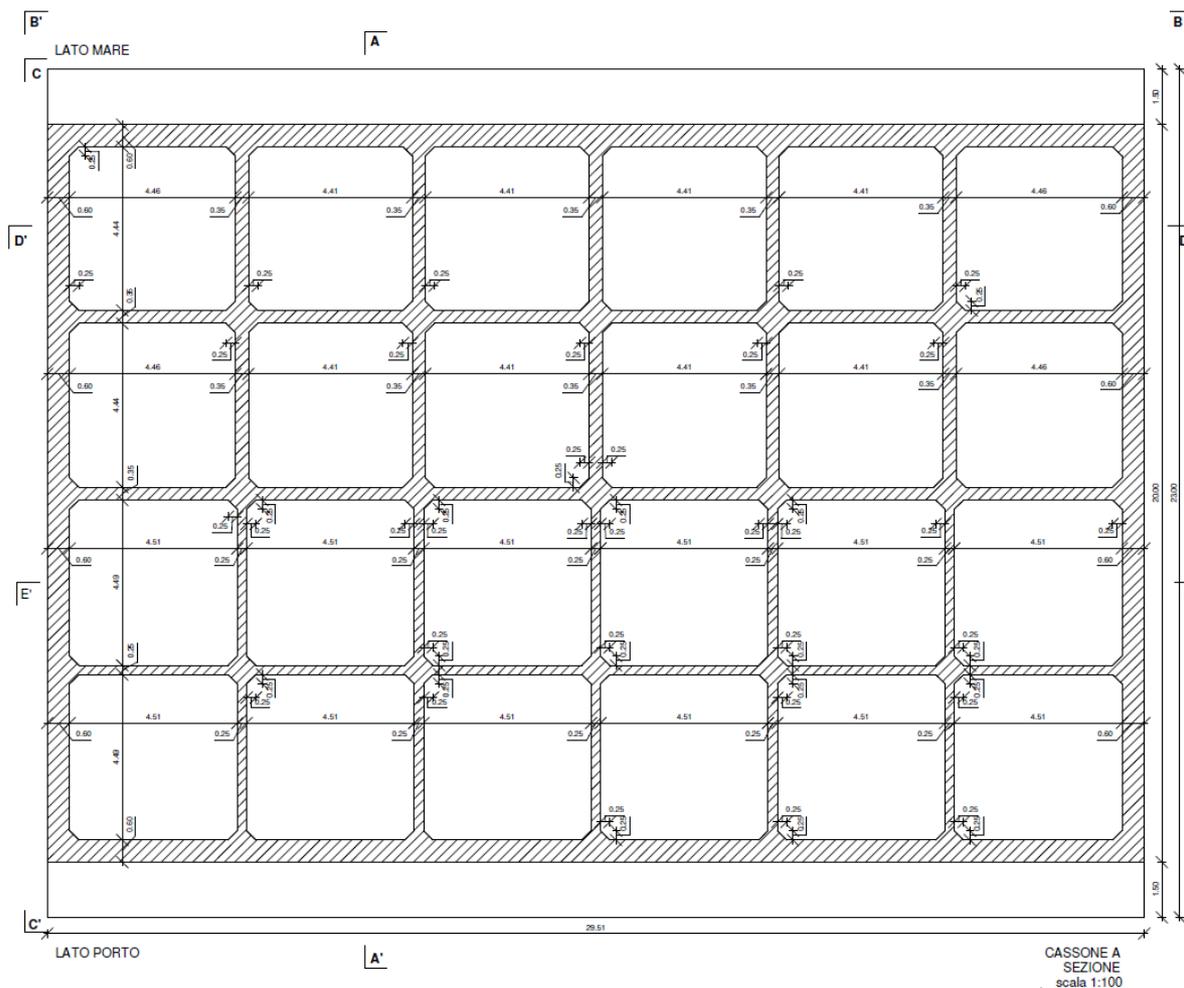


Figura 4 – Cassone tipo A: carpenteria – Sezione orizzontale

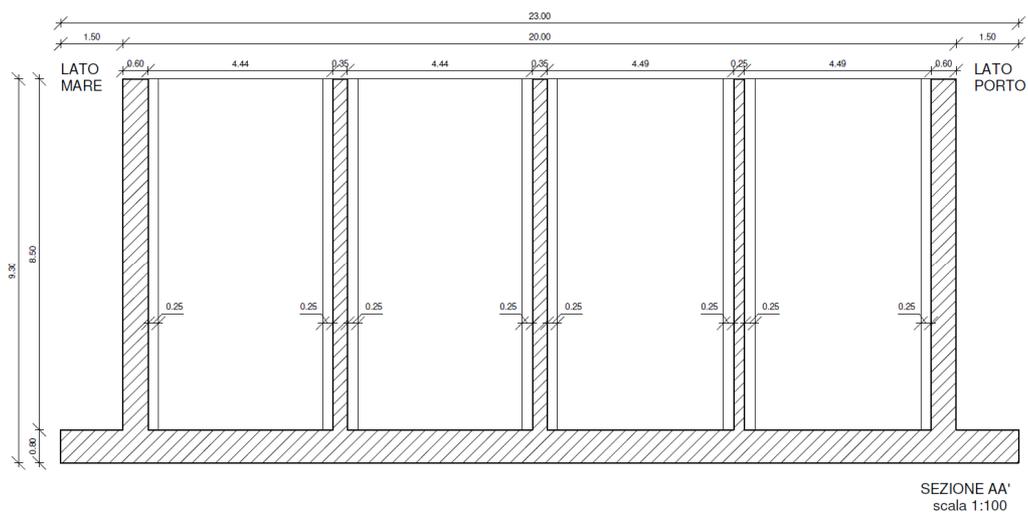


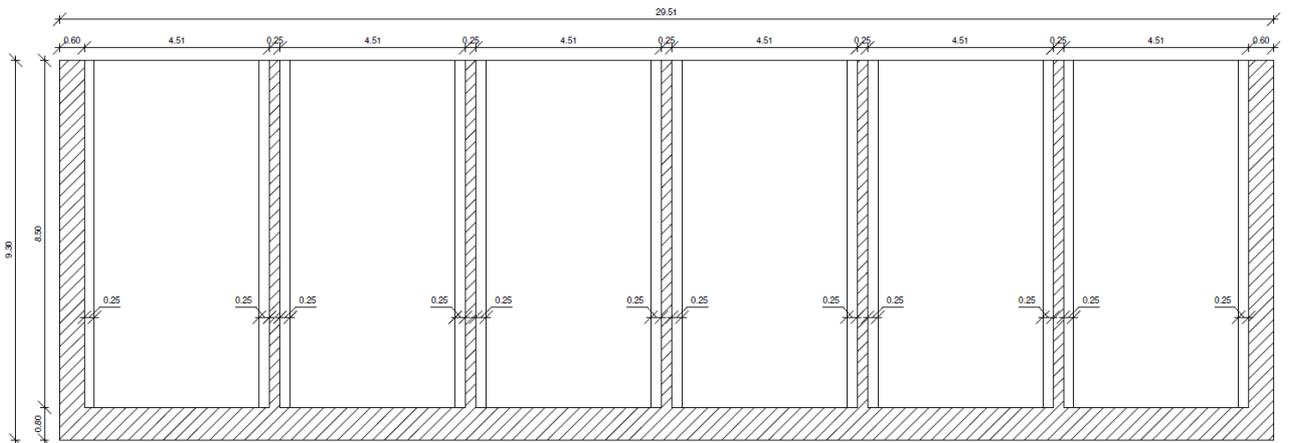
Figura 5 – Cassone tipo A: carpenteria – Sezione verticale A-A



Comune  
di Favignana

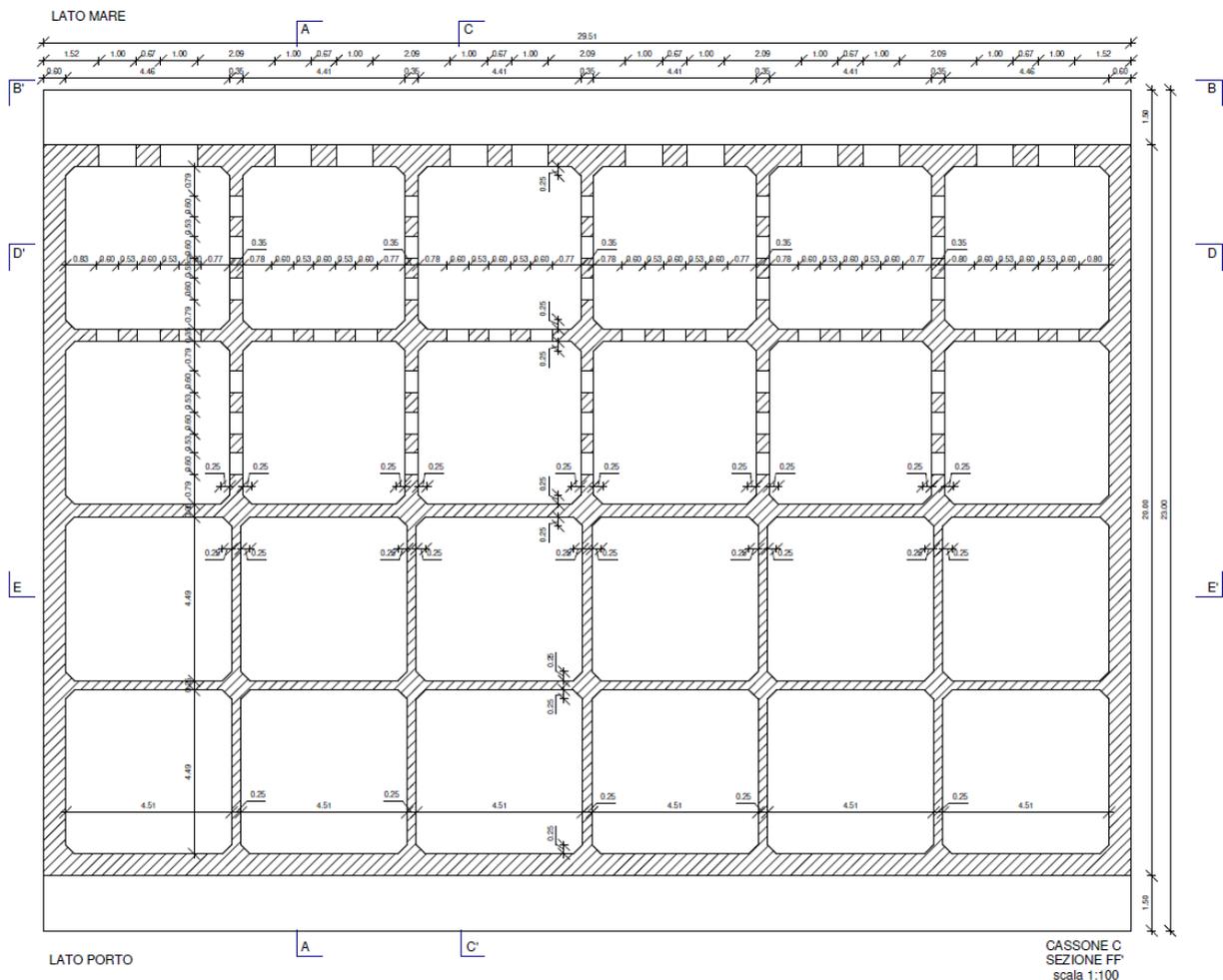
# PROGETTO ESECUTIVO 1° STRALCIO FUNZIONALE COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-



SEZIONE EE'  
scala 1:100

Figura 6 – Cassone tipo A: carpenteria – Sezione verticale E-E



CASSONE C  
SEZIONE FF'  
scala 1:100

Figura 7 – Cassoni tipo B: carpenteria – Sezione orizzontale alla quota dei fori delle celle antiriflettenti

PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

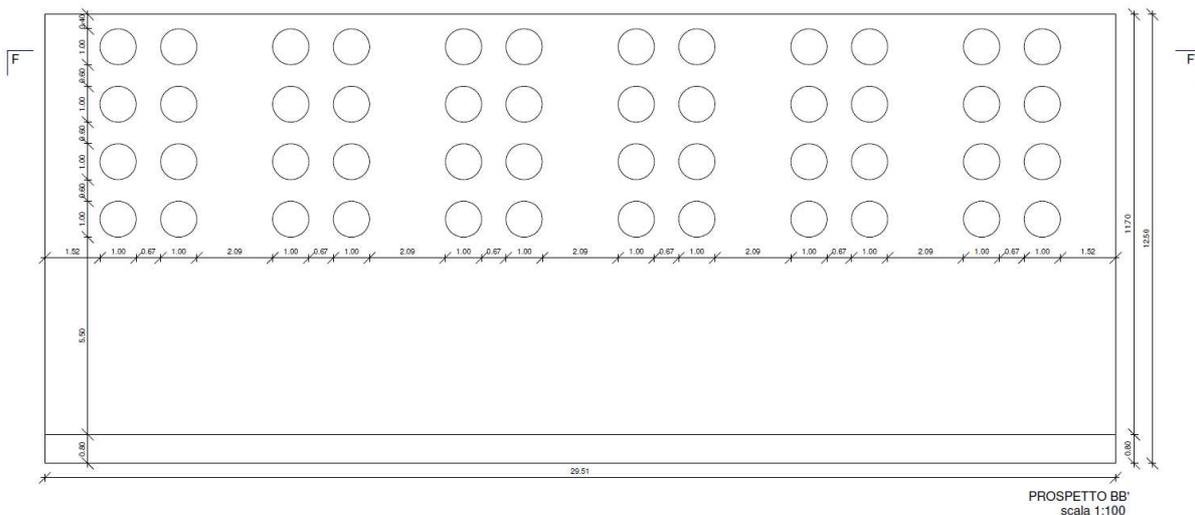


Figura 8 – Cassoni tipo B: carpenteria – Prospetto B-B

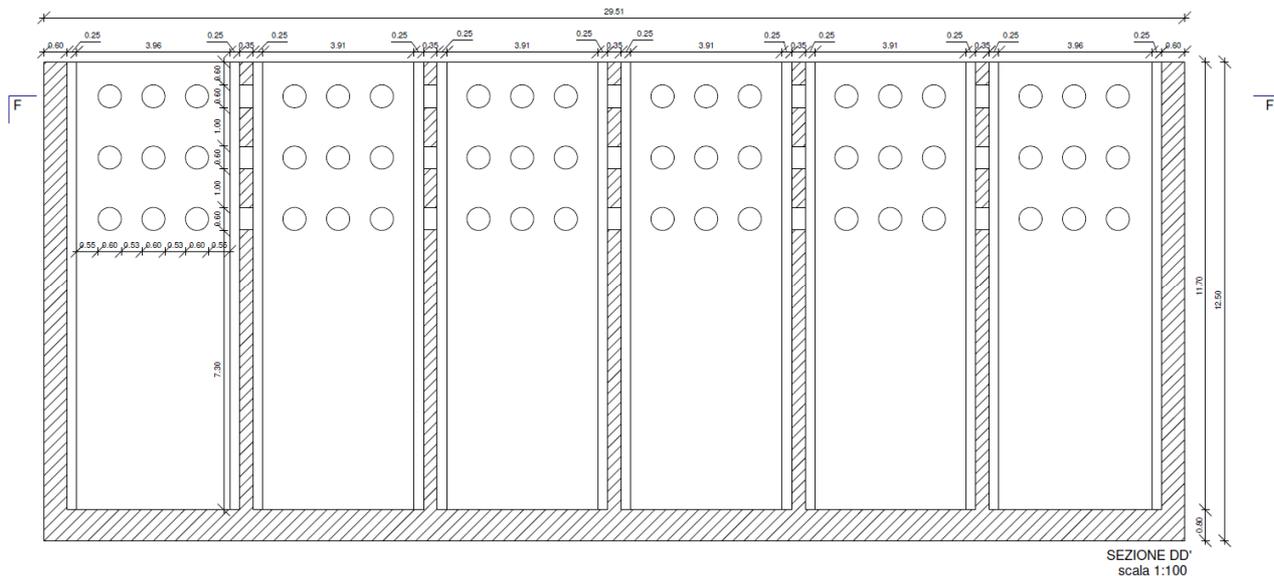


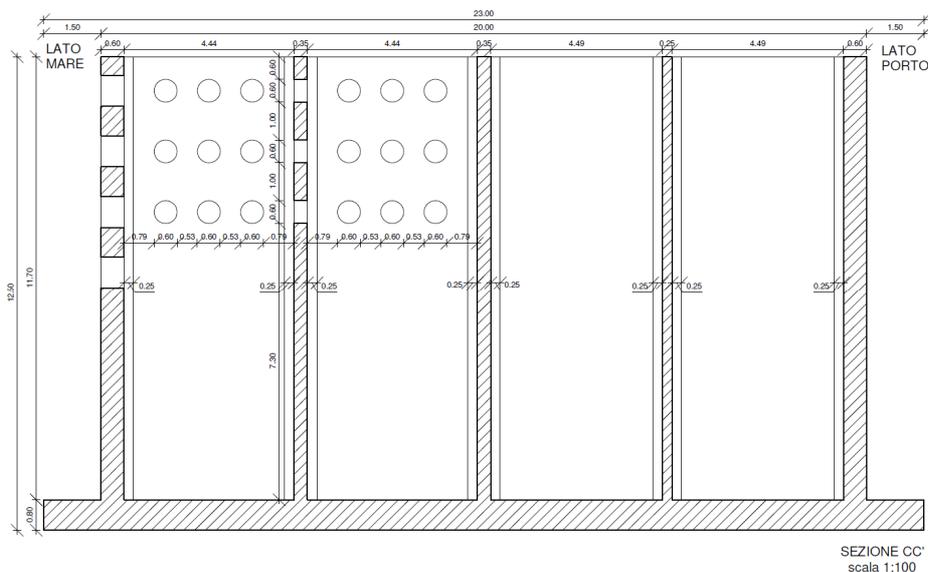
Figura 9 – Cassoni tipo B: carpenteria – Sezione verticale D-D



Comune  
di Favignana

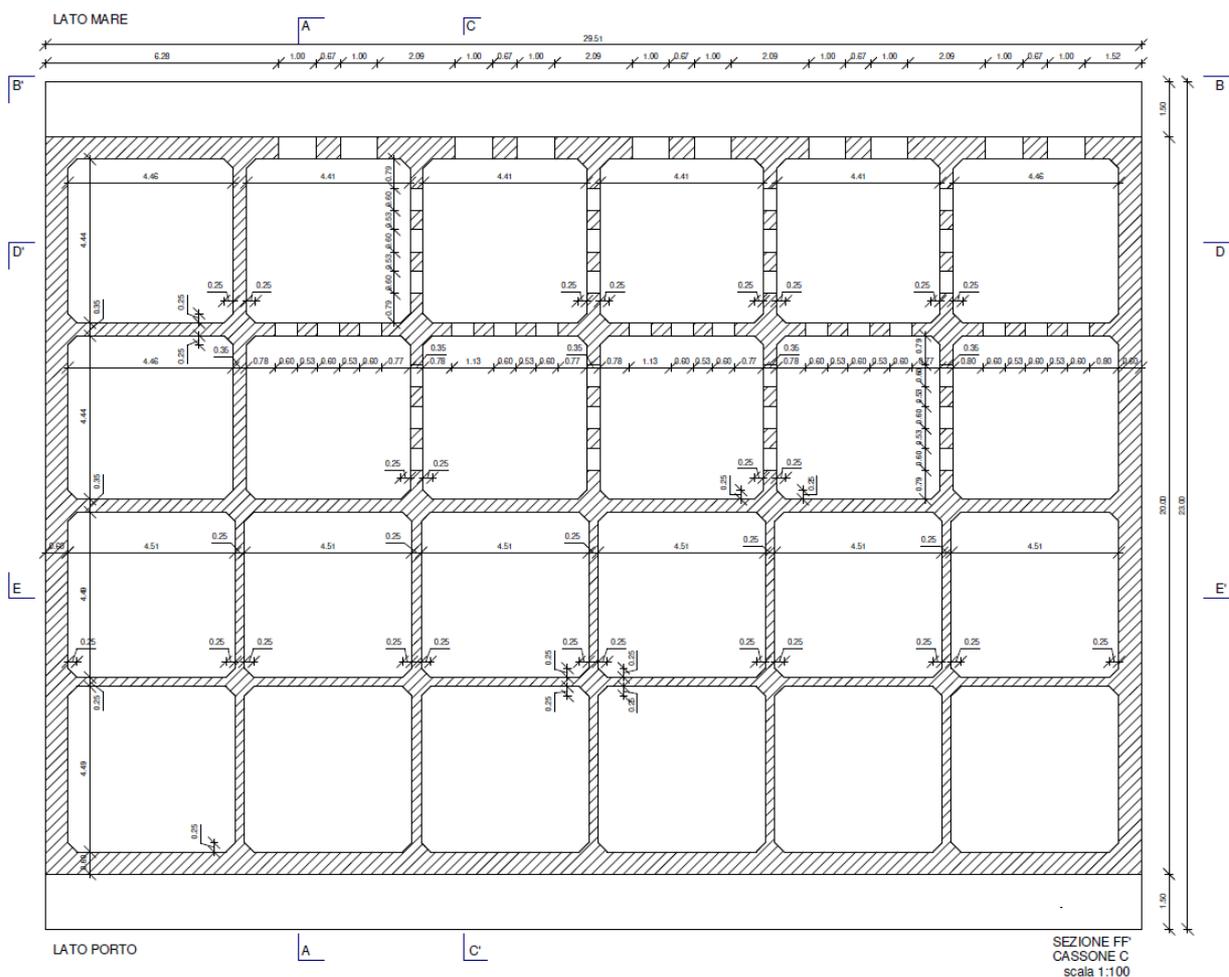
# PROGETTO ESECUTIVO 1° STRALCIO FUNZIONALE COMUNE DI FAVIGNANA - LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO DI FAVIGNANA

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-



SEZIONE CC  
scala 1:100

Figura 10 – Cassoni tipo B: carpenteria – Sezione verticale C-C



SEZIONE FF  
CASSONE C  
scala 1:100

PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:



Figura 11 – Cassone tipo C: Sezione orizzontale alla quota dei fori delle celle antiriflettenti

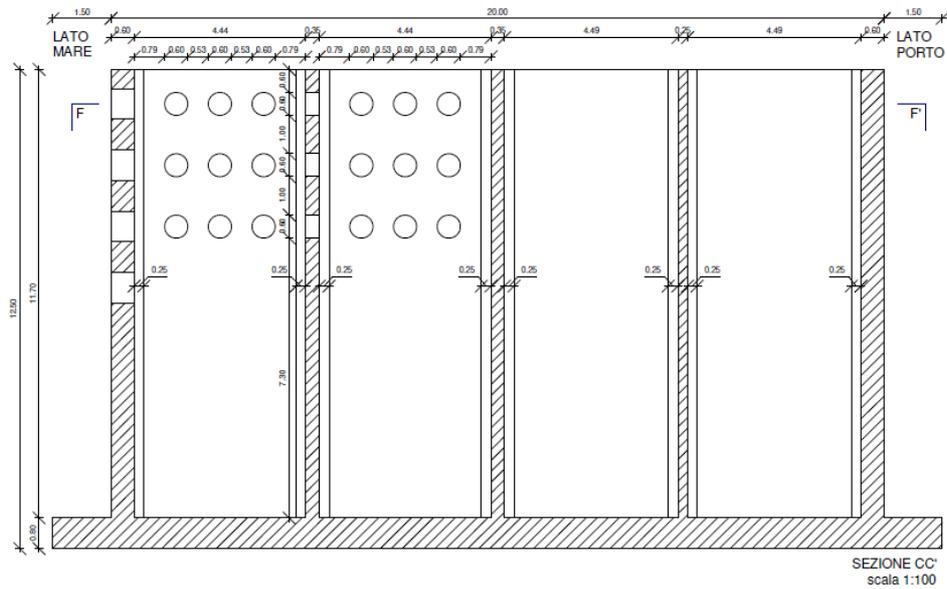


Figura 12 – Cassone tipo C: Sezione verticale C-C

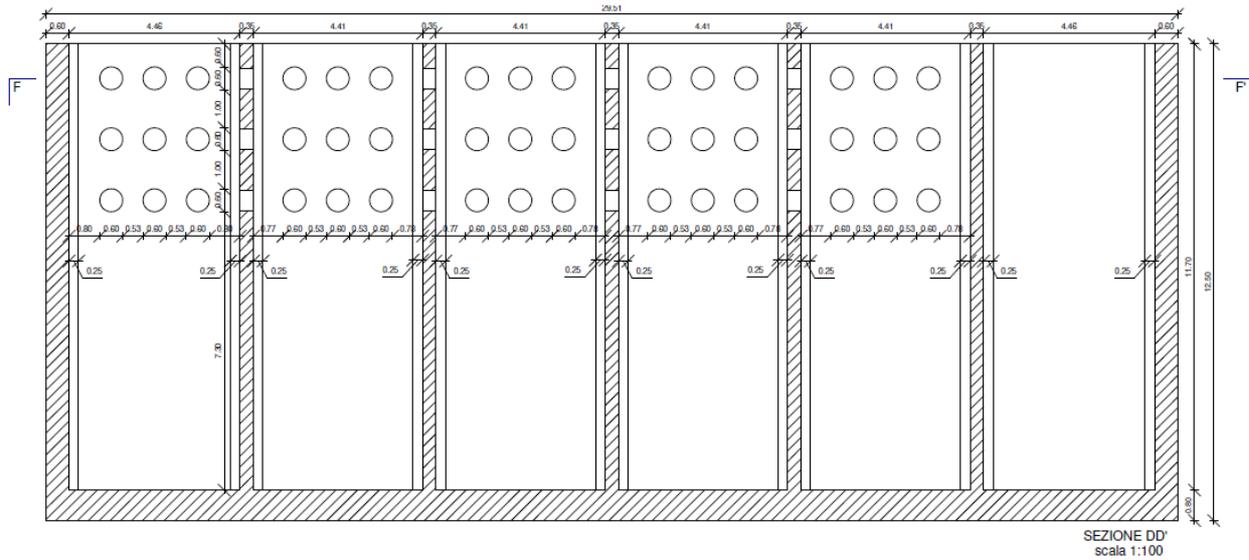


Figura 13 – Cassone tipo C: Sezione verticale D-D



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

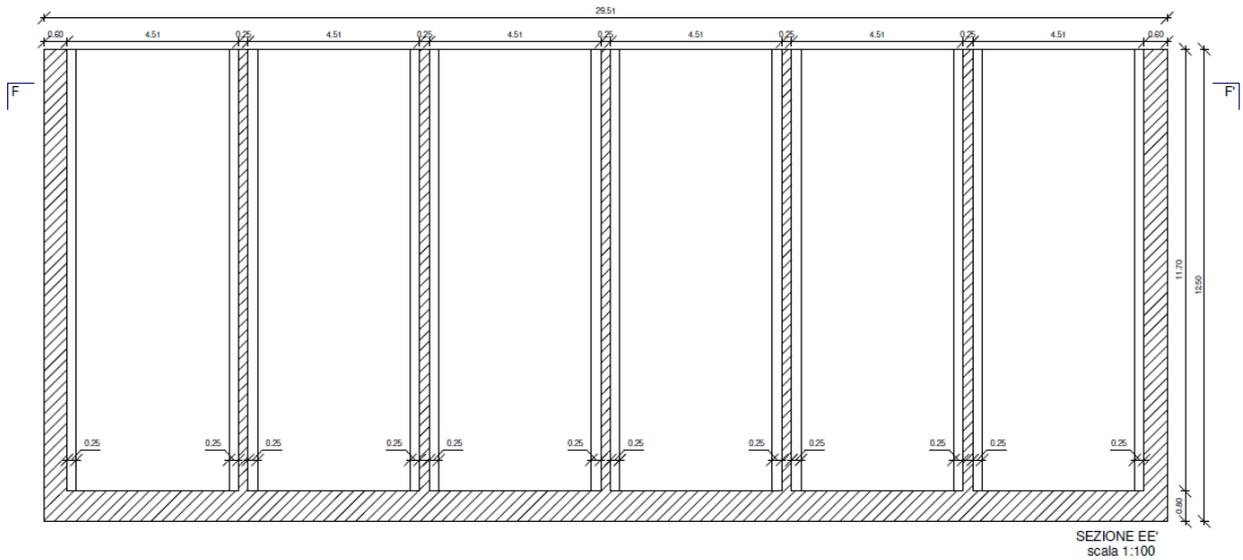


Figura 14 – Cassone tipo C: Sezione verticale E-E

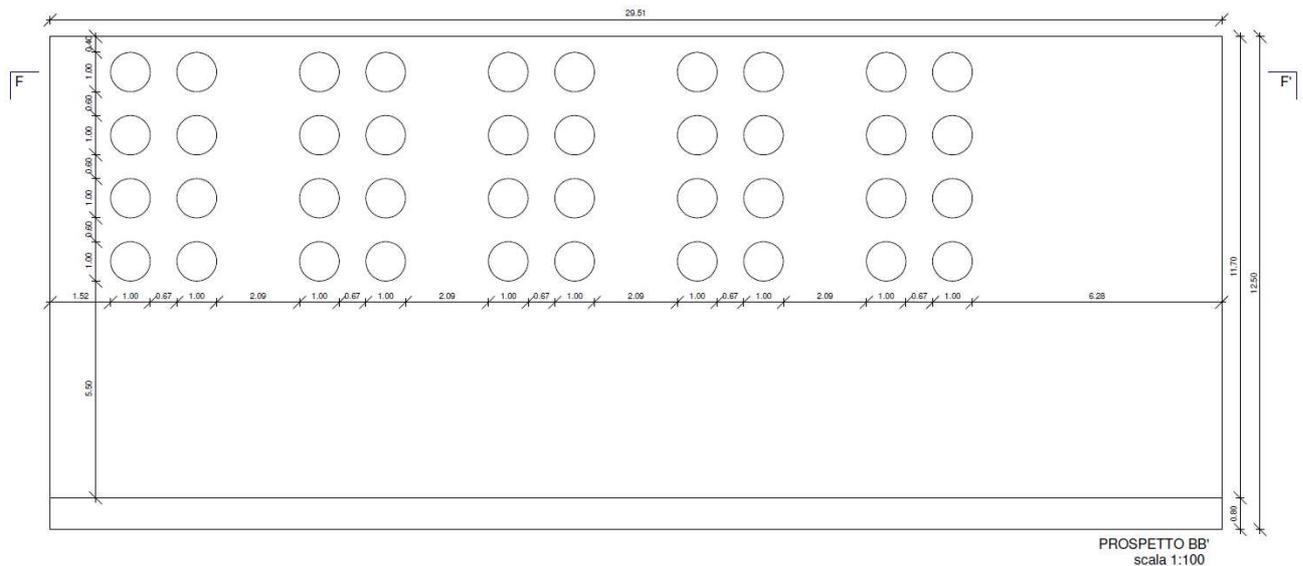


Figura 15 – Cassone tipo C: Prospetto B-B

PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:



## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 2.1 Azioni, criteri di calcolo e verifica delle costruzioni

- Circolare 21 gennaio 2019 n°7/C.S.LL.PP.;
- D.M. 17gennaio 2018 - Norme tecniche sulle costruzioni;
- Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Serv. Tecn. Centrale, 02/2008 - Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive;
- UNI EN 1998-5 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica;
- O.P. Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e succ. agg. - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Serv. Tecn. Centrale, 12/1996- Linee guida sul calcestruzzo strutturale;
- Circolare Min. LL.PP. n. 11951 14/02/1974 -Istruzioni per l'applicazione delle "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge del 02/02/1974, n°74 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Legge del 05/11/1971, n° 1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

Si è inoltre fatto riferimento a studi specifici pubblicati in letteratura scientifica:

- "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" – Ministero dei Lavori Pubblici – Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI).

### 2.2 Elaborati tecnici

- CNR 10024 n° 160 del 06/10/1986 - Analisi delle strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo;
- UNI 936 Settembre 1986 Disegni tecnici – Formati e disposizioni degli elementi grafici dei fogli da disegno;
- UNI 938 Settembre 1981 Disegni tecnici – Piegatura dei fogli.



**Comune  
di Favignana**

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

*- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-*

### **3 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO**

- Technical standards for port and harbour facilities in Japan – OCDE 1991;
- Probabilistic design tools for vertical breakwaters – Maarten de Groot – 2001. Dissipative Monolithic Breakwaters – Some Aspects of Hydrodynamics – Canel M. (1995);
- Wave Forces on solid and perforated caisson breakwaters: Comparison of field and laboratory measurements – L. Franco, M. De Gerloni, G. Passoni, D. Zacconi – ICCE 1998
- Non-breaking wave overtopping of caisson breakwaters: new prediction formulae based on 2-D and 3-D model tests – C. Franco, L. Franco – EXCERPTA 1998
- Field measurements of loads acting on smooth and perforated vertical walls – P. De Girolamo, A. Noli, D. Spina – Advances in coastal structures and breakwaters – Edited by J.E. Clifford.



## 4 MATERIALI

### 4.1 Caratteristiche meccaniche

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle opere strutturali sono sinteticamente riportate di seguito.

### 4.2 Calcestruzzo classe di resistenza C35/45 (Rck 45)

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo:

- $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$
- $f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 37,35 \text{ MPa}$
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 45,35 \text{ MPa}$
- $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 21,17 \text{ MPa}$

Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo

- $f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 3,35 \text{ MPa}$
- $f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 2,35 \text{ MPa}$
- $f_{ctm} = 1,2 \times f_{ctm} = 4,02 \text{ MPa}$
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,56 \text{ MPa}$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

- $f_{bk} = 2,25 \times \eta \times f_{ctk} = 5,29 \text{ MPa}$
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3,53 \text{ Mpa}$

Modulo di elasticità, coeff. di Poisson, coeff. dilatazione termica

- $E_{cm} = 22000 \times [f_{cm}/10]^{0,3} = 34625 \text{ MPa}$
- $\nu_{cls\text{fess.}} = 0$
- $\nu_{cls\text{ non fess.}} = 0,2$
- $\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

- $\sigma_c = 0,60 \times f_{ck} = 22,41 \text{ MPa}$  per combinazione caratteristica
- $\sigma_c = 0,45 \times f_{ck} = 16,81 \text{ MPa}$  per combinazione quasi permanente

Pesi di volume

- $\gamma_{ca} = 25,00 \text{ kN/m}^3$  calcestruzzo armato
- $\gamma_{cls} = 24,00 \text{ kN/m}^3$  calcestruzzo non armato

Altre caratteristiche cemento armato

- Classe di esposizione XS3
- Rapporto A/C >0,45
- Diametro massimo inerte 32 mm
- Coprifermo solettone 5 cm
- Coprifermo pareti esterne 5 cm
- Coprifermo pareti interne 5 cm
- Coprifermo sovrastruttura 5 cm
- Coprifermo solette 5 cm



### 4.3 Acciaio per cemento armato B450C

Valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura

- $f_{ynom} = 450 \text{ MPa}$
- $f_{knom} = 540 \text{ MPa}$

Resistenza di calcolo dell'acciaio

- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ MPa}$

Tensione massima dell'acciaio nelle condizioni di esercizio

- $\sigma_s = 0,80 \times f_{yk} = 360 \text{ MPa}$  per combinazione caratteristica

Valore massimo di apertura delle fessure

- $w_1 = 0,20 \text{ mm}$  per condizioni ambientali molto aggressive (classe di esposizione XS3)

### 4.4 Pesì propri

#### 4.4.1 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:  $\gamma_{c.a.} = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Pesoper 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 parziale riempimento delle celle antiriflettenti, 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:  $\gamma'_c = 13,90 \text{ kN/m}^3$

#### 4.4.2 Materiale di riempimento delle celle dei cassoni

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

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



## 5 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

### 5.1 Verifiche di sicurezza delle opere

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza delle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Nel caso in esame, di strutture costituite da cassoni cellulari di c.a., le verifiche agli stati limite ultimi hanno riguardato:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: **EQU**
- lo stato limite di resistenza del terreno: **GEO**
- lo stato limite di resistenza degli elementi strutturali: **STR**

Nel presente documento sono riportate le verifiche dei soli stati limite ultimi di tipo strutturale (STR), rimandando alle specifiche relazioni tecniche per le verifiche di stabilità alla traslazione e al ribaltamento e di stabilità al galleggiamento.

Tenuto conto del processo costruttivo, le opere sono state analizzate, oltre che nella fase finale di esercizio (opera finita), anche nelle fasi costruttive intermedie provvisionali, e precisamente:

1. nella fase di galleggiamento;
2. nella fase di affondamento.

Le verifiche per queste situazioni transitorie sono state condotte nei confronti dei soli stati limite ultimi (par. 4.1.3 del DM/18).

In definitiva, le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi di tipo strutturale dei cassoni cellulari hanno riguardato:

- lo stato limite ultimo non sismico per situazioni transitorie (fasi costruttive): **STR-PROV**
- lo stato limite ultimo non sismico nella fase definitiva (opera finita): **STR**
- lo stato limite ultimo sismico di salvaguardia della vita nella fase definitiva: **SLV**
- lo stato limite ultimo relativo alle combinazioni di azioni eccezionali: **ECC**

Nel seguito le verifiche di resistenza STR-PROV, per brevità, vengono indicate come PROV.

Nelle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) effettuate si distinguono:

- verifiche di fessurazione ad opera finita in assenza di sisma,
- verifiche delle tensioni di esercizio ad opera finita in assenza di sisma.



## 5.2 Combinazioni delle azioni

Sulla base delle indicazioni di cui al par. 2.5.1.3 del DM/18, le azioni considerate ai fini della progettazione delle opere marittime in esame possono essere assegnate alle seguenti famiglie di carico:

- $G_1$  = carichi permanenti: peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
- forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo).
- $G_2$  = carichi permanenti: peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- $Q$  = carichi variabili;
- $E$  = carichi sismici: azioni derivanti dai terremoti.

Ai fini delle verifiche degli stati limite strutturali precedentemente definiti, sono state prese in esame le seguenti combinazioni delle azioni di progetto, esplicitate nei successivi paragrafi di verifica per ciascuna tipologia di cassone:

### **- combinazioni per le verifiche di resistenza negli elementi strutturali**

- Combinazione fondamentale (SLU-STR):  $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \dots$
- Combinazione sismica (SLV-STR):  $E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$
- Combinazione eccezionale (ECC-STR):  $E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$

### **- combinazioni per verifiche di fessurazione e delle tensioni nei materiali**

- Combinazione caratteristica o rara (SLE-RARA):  $G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{02} Q_{k2} + \Psi_{03} Q_{k3} + \dots$   
*per le verifiche delle tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio*
- Combinazione frequente (SLE-FREQ):  $G_1 + G_2 + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$   
*per le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure*
- Combinazione quasi permanente (SLE-QP):  $G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$   
*per le verifiche delle tensioni di compressione nel calcestruzzo ed allo stato limite di apertura delle fessure*

dove:

- $Q_{k1}$  = azione variabile dominante;
- $Q_{kj}$  = azioni variabili concomitanti con quella dominante;
- $\gamma_{Qi}$  = coefficiente parziale delle azioni variabili;
- $\gamma_{G1}$  = coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;
- $\gamma_{G2}$  = coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
- $\Psi_{0j}, \Psi_{1j}, \Psi_{2j}$  = coefficienti di combinazione delle azioni.

Nelle espressioni sopra riportate il simbolo + sta per *combinato con*.



### **5.2.1 Coefficienti parziali di combinazione**

In generale, nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali, impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali rispettivamente per le azioni o per l'effetto delle azioni ( $\gamma_F$ ), per i parametri geotecnici del terreno ( $\gamma_M$ ) e per le resistenze ( $\gamma_R$ ).

Il primo approccio progettuale (Approccio 1) prevede due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale, mentre la seconda è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico. Nel secondo approccio (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi di tipo strutturale (SLU-STR), riportate nel seguito, sono state eseguite facendo riferimento alla Combinazione 1 dell'Approccio 1, ovvero secondo la combinazione dei coefficienti A1+M1+R1 (vedi Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II e Tab. 6.5.I del DM 18).

Il peso delle azioni variabili, che possono agire contemporaneamente a quella dominante, interviene nella definizione delle combinazioni delle azioni attraverso i coefficienti di combinazione di cui alla Tab. 2.5.I del D.M. 17/01/2018.



## 6 AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO

Di seguito vengono illustrate le azioni sulla struttura. La determinazione delle stesse è riportata nella relazione tecnica di verifica della stabilità dei cassoni a cui si rimanda.

### 6.1.1 Carico di banchina

Il sovraccarico di banchina di progetto è pari a  $40 \text{ kN/m}^2$ .

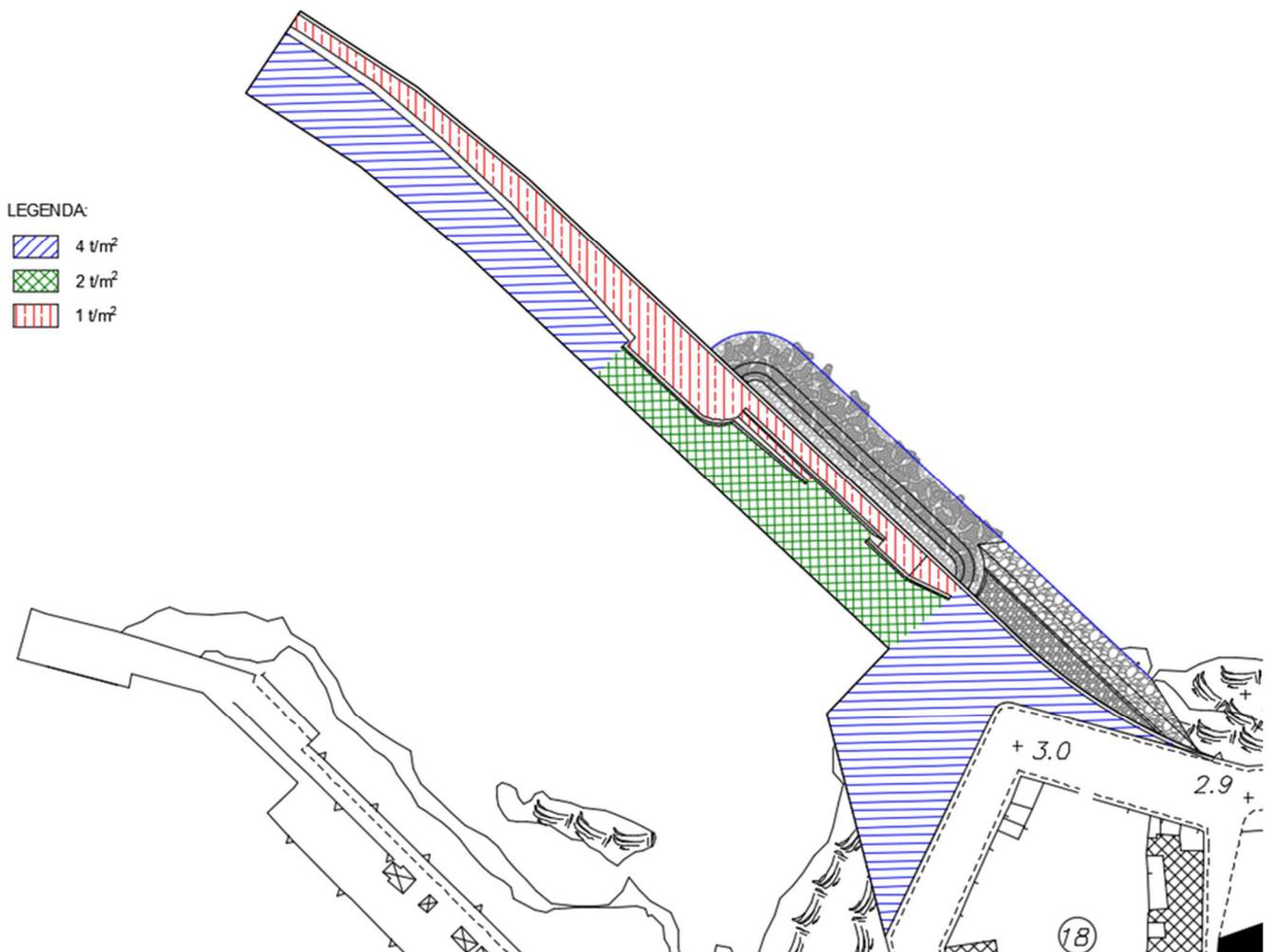


Figura 1 – Planimetria con indicazione dei sovraccarichi di progetto



### 6.1.2 Moto ondoso

Nel Progetto Definitivo l'azione del moto ondoso sulla struttura è valutata considerando eventi con tempo di ritorno di 25 anni per gli stati limiti ultimi ordinari (azione caratteristica) e di 100 anni per quelli "eccezionali" (azione eccezionale) *Tabella 1*.

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

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

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

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

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

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

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

Dove:

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

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

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

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



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

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

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

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

### 6.1.3 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta

La spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta è costituita da una componente orizzontale  $E_0$  e da una componente verticale  $E_{SS}$  (sottospinta). Le forze  $E_0$  e  $E_{SS}$  sono state determinate integrando lungo il paramento verticale le pressioni calcolate con la teoria di Goda riportata nelle Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime del CSLP.

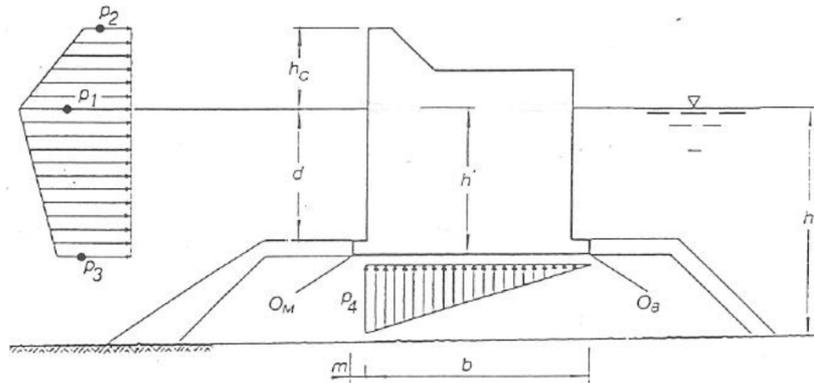


Figura 16 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cresta secondo la teoria di Goda

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



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

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

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

- $\beta$  è l'angolo di incidenza delle onde rispetto alla normale alla parete;
- L lunghezza d'onda alla profondità  $h_b$ ;
- $h_b$  è la profondità del fondale marino ad una distanza pari a  $5H$ ;
- $\vartheta'$  è l'angolo formato dal piano del fondale con l'orizzontale.

Nella *Tabella 2* sono riportate le pressioni determinate per  $Tr = 100$  anni.

GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	82.48
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	54.60
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	69.25
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	63.87

*Tabella 2 – Diga a parete verticale: pressioni per Cresta d'Onda (Tr = 100 anni)*

Nella *Tabella 3* sono riportate le pressioni determinate per  $Tr = 25$  anni.



GRANDEZZA	SIMBOLO	UNITA'	MODULO
Pressione in corrispondenza del l.m.m.	$p_1$	KN/m <sup>2</sup>	66.69
Pressione in sommità dell'opera	$p_2$	KN/m <sup>2</sup>	40.43
Pressione al piede dell'opera	$p_3$	KN/m <sup>2</sup>	54.10
Pressione sulla base della diga	$p_4$	KN/m <sup>2</sup>	50.82
NOTA: La pressione si annulla alla quota $n^* < h_c$	$\eta^*$	m	11.43

Tabella 3 – Diga a parete verticale: pressioni per Cresta d'Onda (Tr = 25 anni)

#### 6.1.4 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  $E_0$  e da una componente verticale  $E_{SS}$ . Le forze  $E_0$  e  $E_{SS}$  sono state determinate integrando lungo il paramento verticale le pressioni calcolate con la teoria di Sainflou riportata nelle Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime del CSLPP.

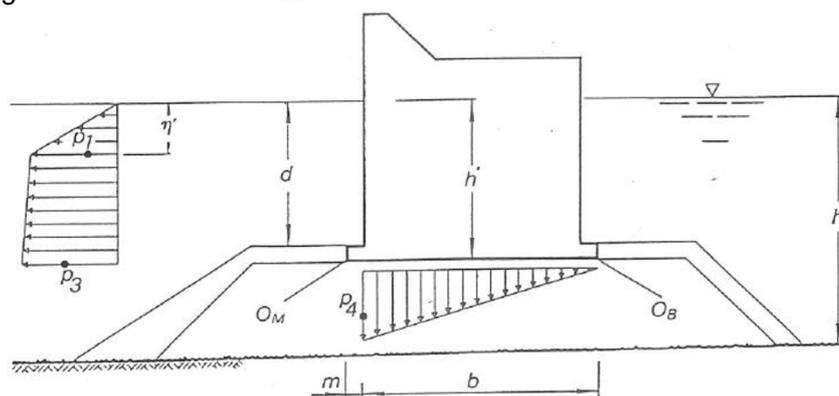


Figura 17 - Grafico delle pressioni indotte dal moto ondoso in fase di cavo secondo la teoria di Sainflou

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

$$p_1 = \gamma \eta'$$

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

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

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



dove:

- $H = H1/100 = 1,67 H_s$  altezza d'onda;
- $p_1$  = pressione a quota  $\eta'$ ;
- $p_3$  = pressione alla base del cassone;
- $p_4$  = sovrappressione sul solettone;
- $h'$  = profondità al piede;
- $\gamma$  = densità dell'acqua marina;
- $L$  = lunghezza d'onda.

Nella *Tabella 4* e nella *Tabella 5* sono riportate le pressioni determinate per  $Tr = 100$  anni e  $Tr = 25$  anni.

$\eta'$	$p_1$	$p_3$	$p_4$
[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
4.96	50.14	77.00	71.97

*Tabella 4 – Diga a parete verticale: pressioni per Cavo d'Onda ( $Tr = 100$  anni)*

$\eta'$	$p_1$	$p_3$	$p_4$
[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
4.62	46.66	63.74	59.59

*Tabella 5 – Diga a parete verticale: pressioni per Cavo d'Onda ( $Tr = 25$  anni)*

### 6.1.5 Pressioni sulle pareti delle celle assorbenti e sulla sovrastruttura

Per l'individuazione delle azioni da applicare sulle pareti delle celle assorbenti si è fatto riferimento alle esperienze riportate nell'articolo "Field measurements of loads acting on smooth and perforated vertical walls" di De Girolamo, Noli e Spina, in relazione al monitoraggio dei cassoni riflettenti ed assorbenti di Porto Torres (*Figura 18*).

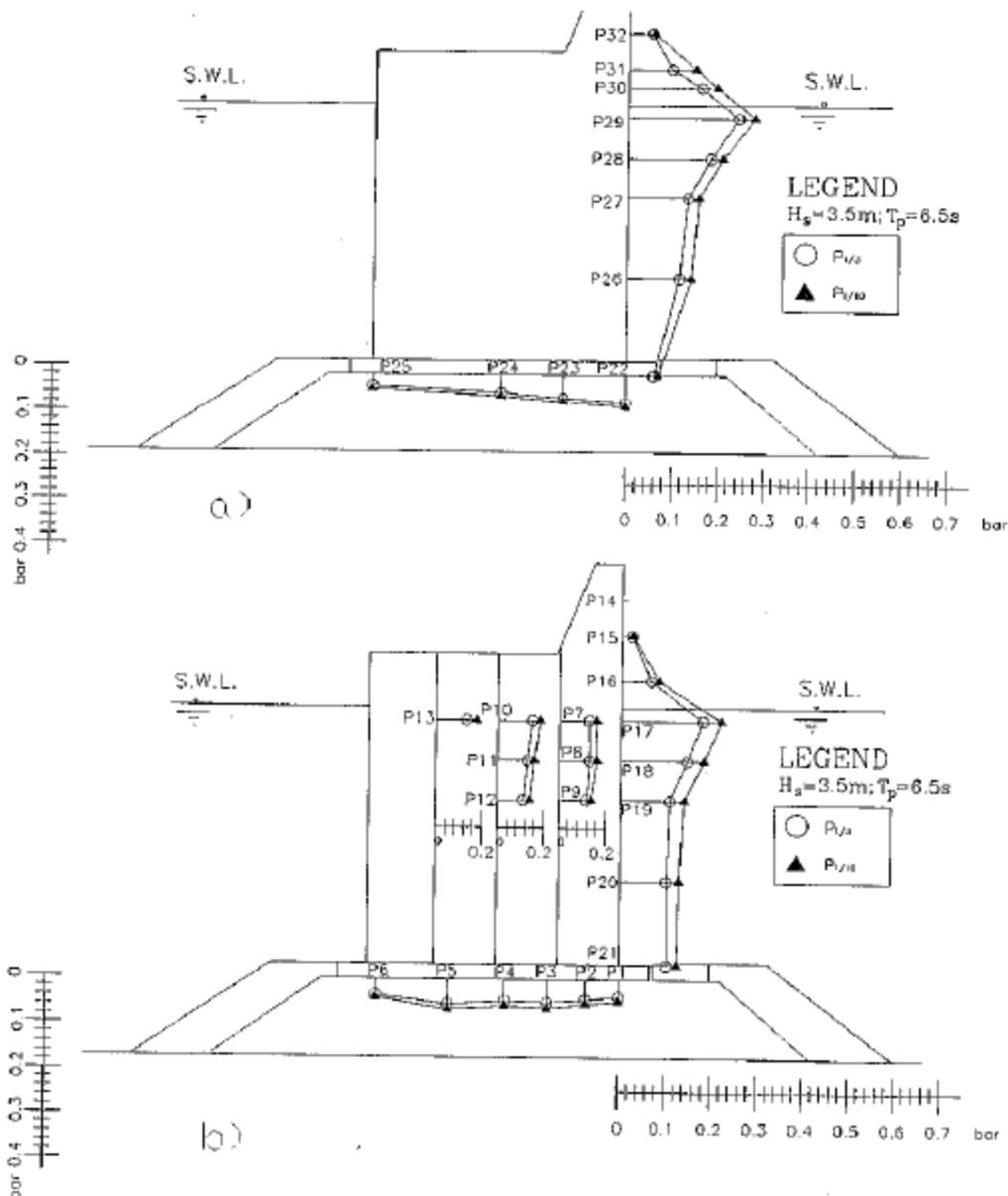


Figura 18 – Risultati del monitoraggio delle pressioni sui cassoni di Porto Torres: cassone riflettente (a); cassone assorbente (b)

Sulla base dei risultati riportati nel sopra citato articolo ed in mancanza di ulteriori dati sperimentali, si è ritenuto che fosse sufficientemente a favore di sicurezza applicare sulle pareti delle celle assorbenti una pressione uniforme pari al 70% della pressione agente sulla parete lato mare del cassone, in corrispondenza del livello idrico di riferimento (l.m.m.), sia in fase di cresta che in fase di cavo. Per quanto riguarda i setti trasversali, per i quali si sarebbe avuta una uguale azione su entrambe le facce, essa è stata, ad ulteriore favore di sicurezza, applicata solamente da un lato.

Per quanto riguarda la sovrastruttura, è stata applicata una pressione sull'intradosso pari alla massima pressione sulla parete lato mare, sia in fase di cresta che in fase di cavo.



Le seguenti figure mostrano l'applicazione dell'azione del moto ondoso sopra descritta.

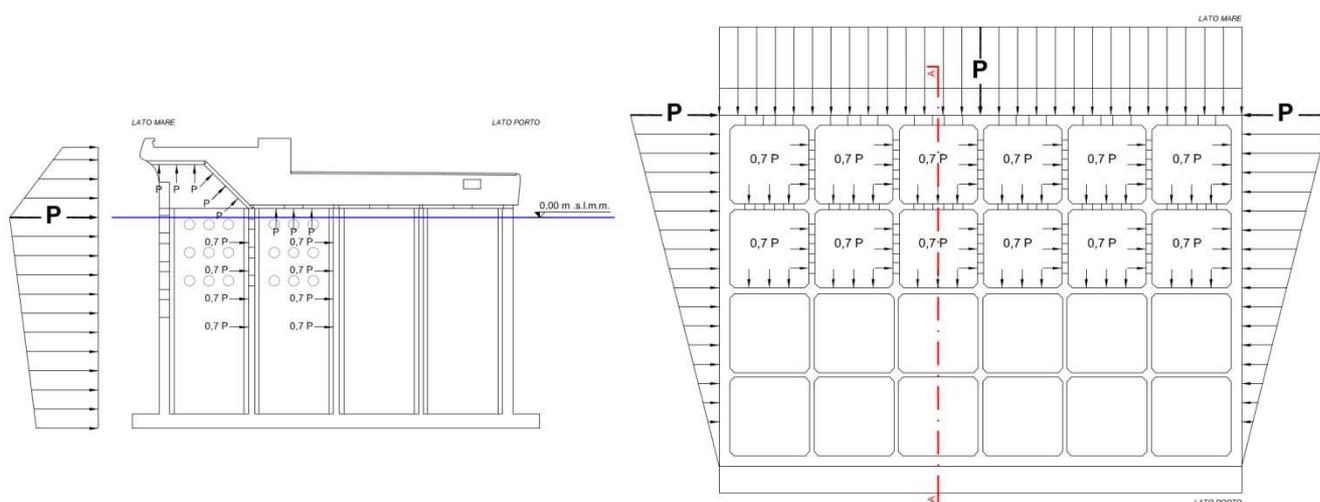


Figura 19 – Applicazione dell'azione di cresta sulle pareti delle celle assorbenti e sulla sovrastruttura

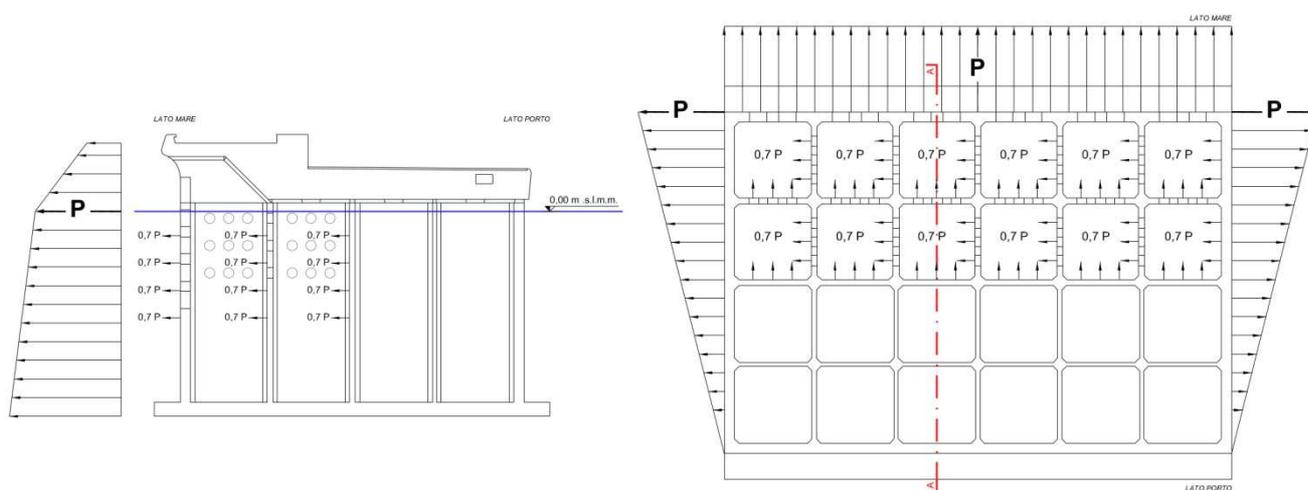


Figura 20 – Applicazione dell'azione di cavo sulle pareti delle celle assorbenti e sulla sovrastruttura

### 6.1.6 Cassone di testa

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

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

In testata, invece, l'esperienza mostra che l'agitazione ondosa sul paramento esterno presenta escursioni maggiori di quelle che si verificano in tronco-struttura. Sul paramento interno poi sono



presenti le fluttuazioni di livello dell'onda diffratta, di ampiezza decrescente via via che ci si allontana dall'estremità dell'opera.

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

Nel caso in specie, tenuto conto dell'esposizione della testa diga, rispetto alle azioni idrodinamiche della sezione di tronco (sezione composta) è stata considerata una sottospinta uniforme pari al valore  $p_4$  piuttosto che triangolare.

### 6.1.7 Tiro alla bitta

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

### 6.1.8 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.

### 6.1.9 Urto da nave fuori controllo

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

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

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

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

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

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

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

Tabella 6 – 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 fuori tutto 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 7).

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 7 – Urto eccezionale della nave di progetto

### 6.1.10 Sisma

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

In particolare i cassoni sono stati verificati allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) a cui è associata una probabilità di superamento PVR pari al 10%, considerando una Vita Nominale dell'opera pari a 50 anni ed una Classe d'Uso II. I valori dell'accelerazione sismica  $a_g$  e dello spettro  $F_o$  sono riportati nella Tabella 8.

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

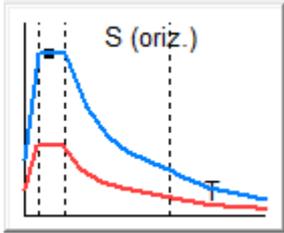


Tabella 8- Parametri sismici su sito di riferimento rigido orizzontale associati a ciascun Stato Limite



Nella Tabella 9 è riportata la descrizione delle categorie del sottosuolo previste dal D.M. 17 Gennaio 2018.

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

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

Tabella 9 - Categorie di sottosuolo previste dal D.M. 17 Gennaio 2018

Sulla base dei risultati della campagna 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 10, è possibile calcolare il Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$ .

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

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 10 - Coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  previste dal D.M. 17 Gennaio 2018

Come è possibile osservare in Tabella 11 ed in Tabella 12, 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 11 - *Categorie topografiche previste dal D.M. 17 Gennaio 2018*

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

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

Tabella 12 - *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 13 - Parametri del D.M. del 17/01/2018 relativi ai cassoni

### 6.1.11 Spinta idrodinamica indotta dal sisma

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

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

dove:

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

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

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

dove:

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



### **6.1.12 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.



## 7 VERIFICHE DI SICUREZZA STRUTTURALE DEI CASSONI

Nel presente capitolo vengono riportati i calcoli statici e le verifiche di resistenza strutturale dei cassoni cellulari in c.a., della relativa sovrastruttura e del muro paraonde.

Per ciascun elemento strutturale si riportano il modello di calcolo utilizzato, lo schema dei carichi agenti ed i diagrammi delle sollecitazioni ottenuti dall'analisi agli elementi finiti.

### 7.1 Criteri generali di verifica

Le verifiche di resistenza degli elementi strutturali nel corso della vita nominale dei cassoni sono state eseguite agli stati limite ultimi confrontando i valori delle resistenze con quelli di calcolo ottenuti dall'analisi strutturale per le diverse combinazioni di carico analizzate.

In particolare, tali verifiche (SLU-STR) sono state eseguite facendo riferimento alla Combinazione 1 dell'Approccio 1, ovvero secondo la combinazione dei coefficienti A1+M1+R1 (vedi Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II e Tab. 6.5.I del DM 18).

Per semplicità e a favore di sicurezza, ove non specificato esplicitamente nelle tabelle riassuntive, le verifiche sono state effettuate con le sollecitazioni derivanti dall'involuppo delle combinazioni, e non con i risultati delle singole combinazioni.

Le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) sono state eseguite per le combinazioni di carico relative alle condizioni di vita usuali della struttura, controllando lo stato di apertura delle fessure e le tensioni di esercizio del calcestruzzo e dell'acciaio.

Tenuto conto del processo costruttivo, le opere sono state analizzate, oltre che nella fase finale di esercizio (opera finita in esercizio), anche nelle fasi costruttive intermedie e nelle fasi di esercizio provvisori. Le verifiche per tali situazioni transitorie sono state condotte nei confronti dei soli stati limite ultimi (par. 4.1.3 del DM/18). Di seguito verrà adottata la seguente simbologia:

$B$  = larghezza della fascia analizzata (m)

$H$  = altezza della sezione resistente (m)

$c$  = ricoprimento dell'armatura (m)

$\delta$  = distanza lembo della sezione - asse ferro (m)

$d$  = altezza utile della sezione (mm)

$\Delta p_{sup}$  = interasse delle armature superiori (m)

$\Delta p_{inf}$  = interasse delle armature inferiori (m)

$N_{Ed}$  = valore di calcolo della componente assiale dell'azione (kN)

$N_{Ed} > 0$  se di trazione

$M_{Ed}$  = valore di calcolo della componente flettente dell'azione (kNm)



$M_{Rd}$  = valore di calcolo del momento resistente (kNm)

$V_{Ed}$  = valore di calcolo dello sforzo di taglio agente nella sezione (kN)

$V_{Rd}$  = valore del taglio resistente (kN)

$\sigma_c$  = tensione di compressione nel calcestruzzo ( $N/mm^2$ )

$\sigma_s$  = tensione di trazione nell'acciaio ( $N/mm^2$ )

$w$  = valore di apertura delle fessure (mm)

## 7.2 Solettone di fondo

### 7.2.1 Verifiche per situazioni transitorie

Per il solettone di fondo dei cassoni sono state prese in esame le situazioni transitorie relative alla fase di trasporto in galleggiamento ed alla fase di affondamento nel momento in cui il cassone inizia a poggiare sullo scanno di imbasamento.

#### 7.2.1.1 Analisi dei carichi

Durante le fasi transitorie il solettone risulta caricato dal basso verso l'alto dalla sottospinta idrostatica esercitata dall'acqua alla quota di immersione (galleggiamento) o di imbasamento (affondamento), e dall'alto verso il basso dal peso proprio e dal peso dell'acqua interna di zavorra, secondo il seguente schema di carico.

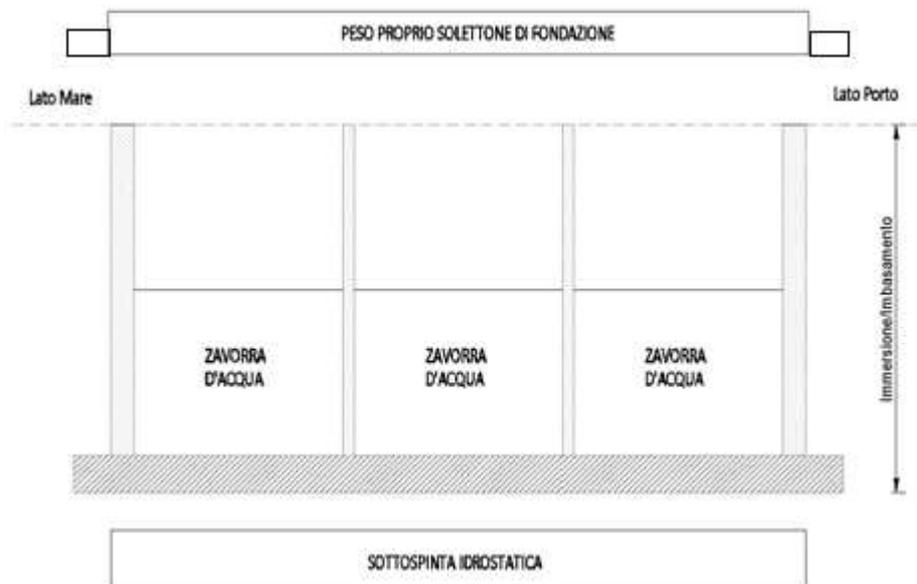


Figura 21 - Solettone di fondazione. Schema di carico – Fase Provvisionale.

In fase di galleggiamento l'immersione del cassone è pari a 9,76 m, con altezza della zavorra pari a 2,05 m.



L'altezza minima della zavorra necessaria per l'affondamento del cassone fino alla quota di imbasamento (-12,00 m s.l.m.m.) è pari a 4,82 m.

Pertanto, i valori caratteristici delle azioni risultano:

P.P. Solettone di fondo	$g_{1k} = 25,00 \times 0,80 = 20,00 \text{ kPa}$
P.P. alleggerito Mensole di fondazione	$g_{1k} = 14,90 \times 0,80 = 11,92 \text{ kPa}$
Massima pressione idrostatica in fase di galleggiamento	$10,1 \times 9,76 = 98,58 \text{ kN/m}^2$
Pressione zavorra in fase di galleggiamento	$10,1 \times 2,05 = 20,71 \text{ kN/m}^2$
Massima pressione idrostatica in fase di affondamento	$10,1 \times 12,00 = 121,20 \text{ kN/m}^2$
Pressione zavorra in fase di affondamento	$10,1 \times 4,82 = 48,68 \text{ kN/m}^2$

### 7.2.1.2 Combinazioni di carico

*Combinazioni allo stato limite ultimo (STR-PROV) per la verifica del raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.*

- PROV - Combinazione n. 1:
  - $\gamma_g \times$  Carichi permanenti - Fase di galleggiamento
- PROV - Combinazione n. 2:
  - $\gamma_g \times$  Carichi permanenti - Fase di affondamento

con:

$\gamma_g = 1,3$  - coefficiente parziale per i carichi permanenti (STR).

### 7.2.1.3 Modello di calcolo

Il modello di calcolo è stato definito nello spazio bidimensionale con elementi tipo piastra; i vincoli sono di semplice appoggio in corrispondenza delle linee medie delle pareti perimetrali e dei setti del cassone.

Sono stati impiegati elementi finiti bidimensionali di tipo Shell-Thick, in accordo alla Teoria delle piastre di Mindlin/Reissner, che comprende anche gli effetti della deformazione di taglio trasversale.

Gli elementi sono stati discretizzati secondo unamesh con dimensione massima del lato di ogni elemento generato pari al massimo a 0.40 m.

Il sistema di riferimento ha origine nello spigolo lato porto/lato testata, con asse x in direzione longitudinale e asse y in direzione trasversale.

Il solettone risulta caricato dal basso verso l'alto dalla sottospinta idrostatica (galleggiamento/affondamento) e dall'alto verso il basso dal peso proprio e dal peso delle relative zavorre liquide (galleggiamento/affondamento).

Si riporta di seguito il modello di calcolo adottato.

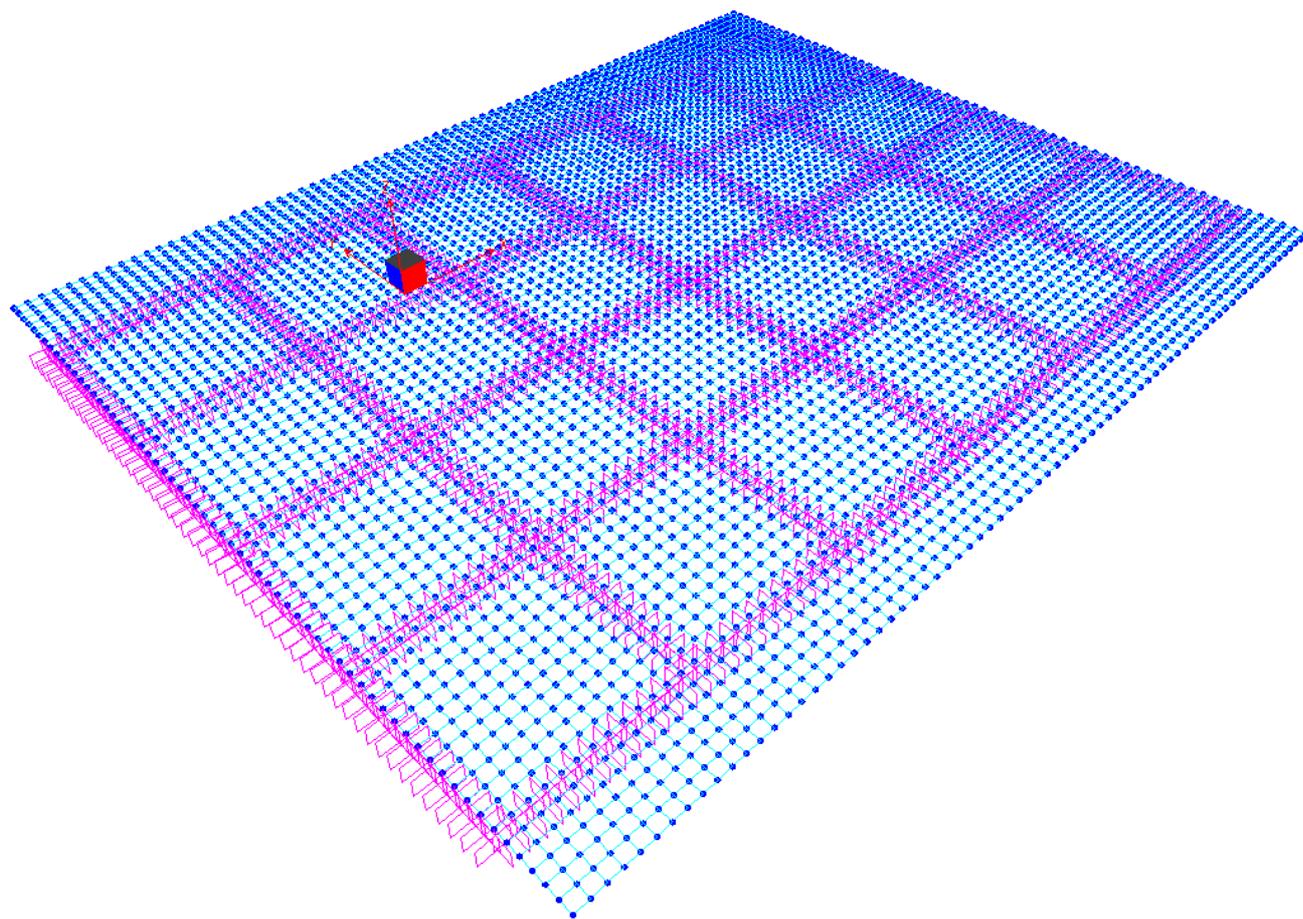


Figura 22 - Modello di calcolo del solettone di fondazione.

Si riportano di seguito gli schemi di carico e gli involuipi delle sollecitazioni relative alle combinazioni PROV. del cassone.

Convenzione sui segni delle AZIONI: l'azione di segno positivo agisce dal basso verso l'alto del cassone.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

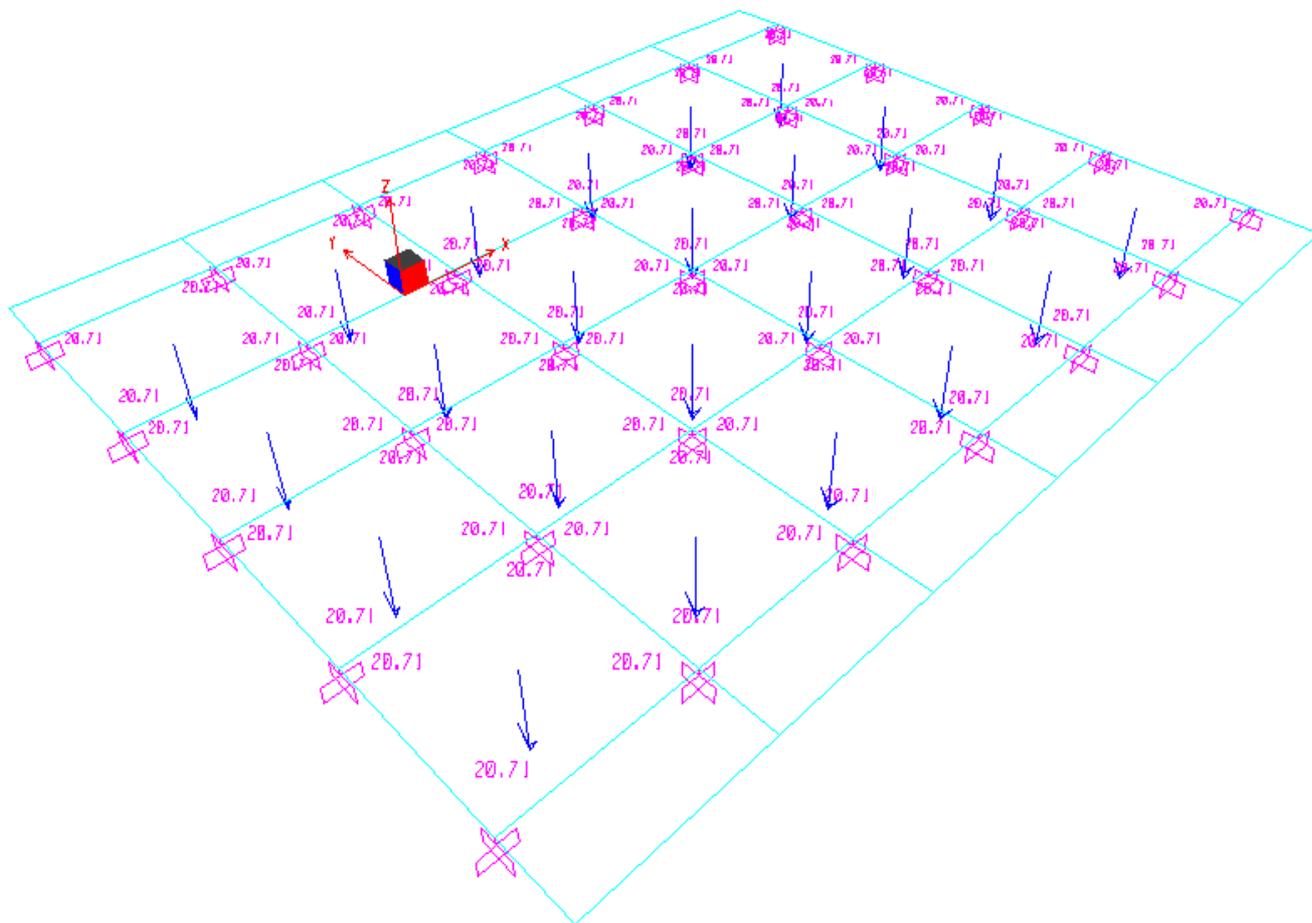


Figura 23 – Schema di carico. Pressione di zavorra in fase di galleggiamento [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

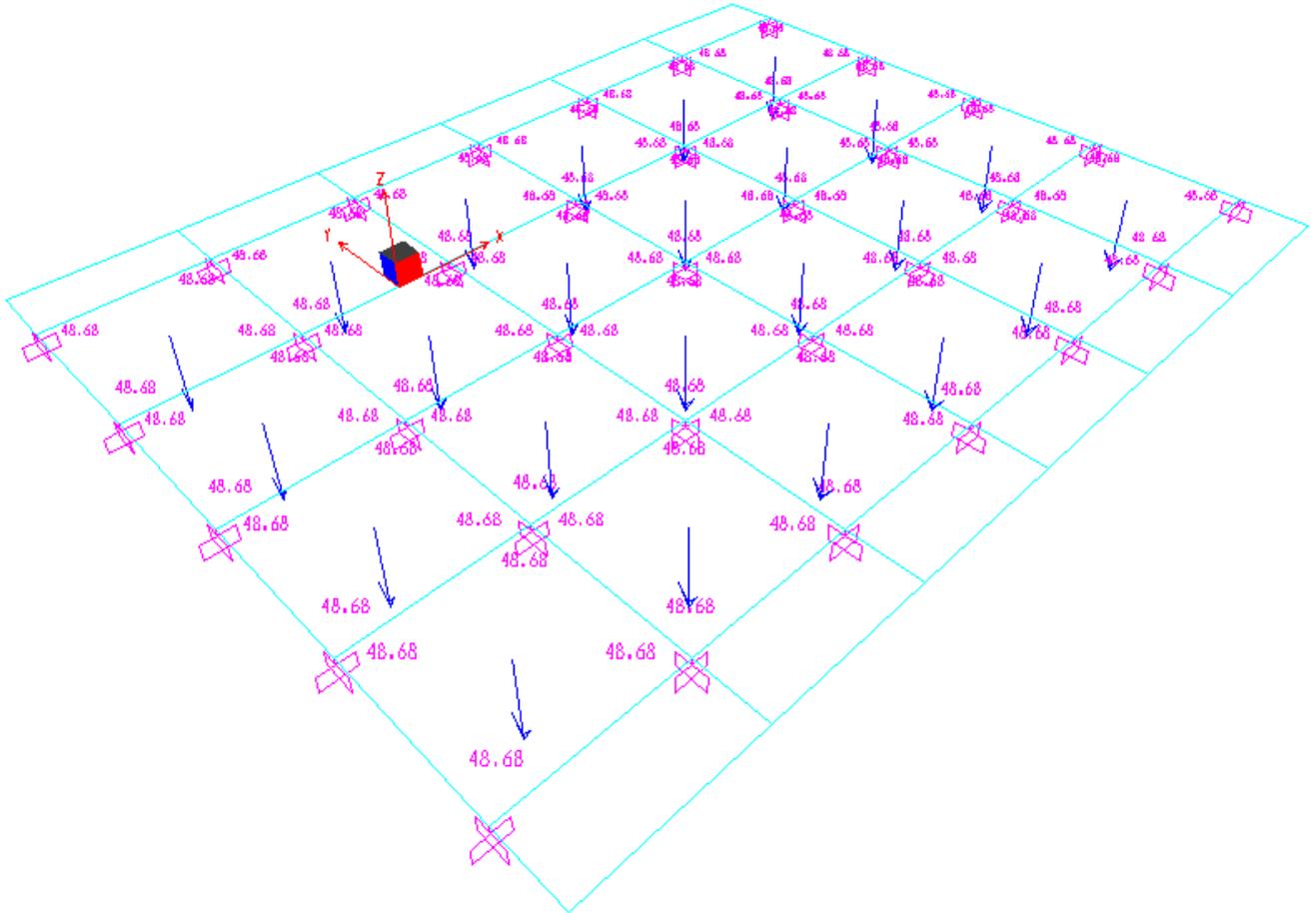


Figura 24 – Schema di carico. Pressione di zavorra in fase di affondamento [kN/m²].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

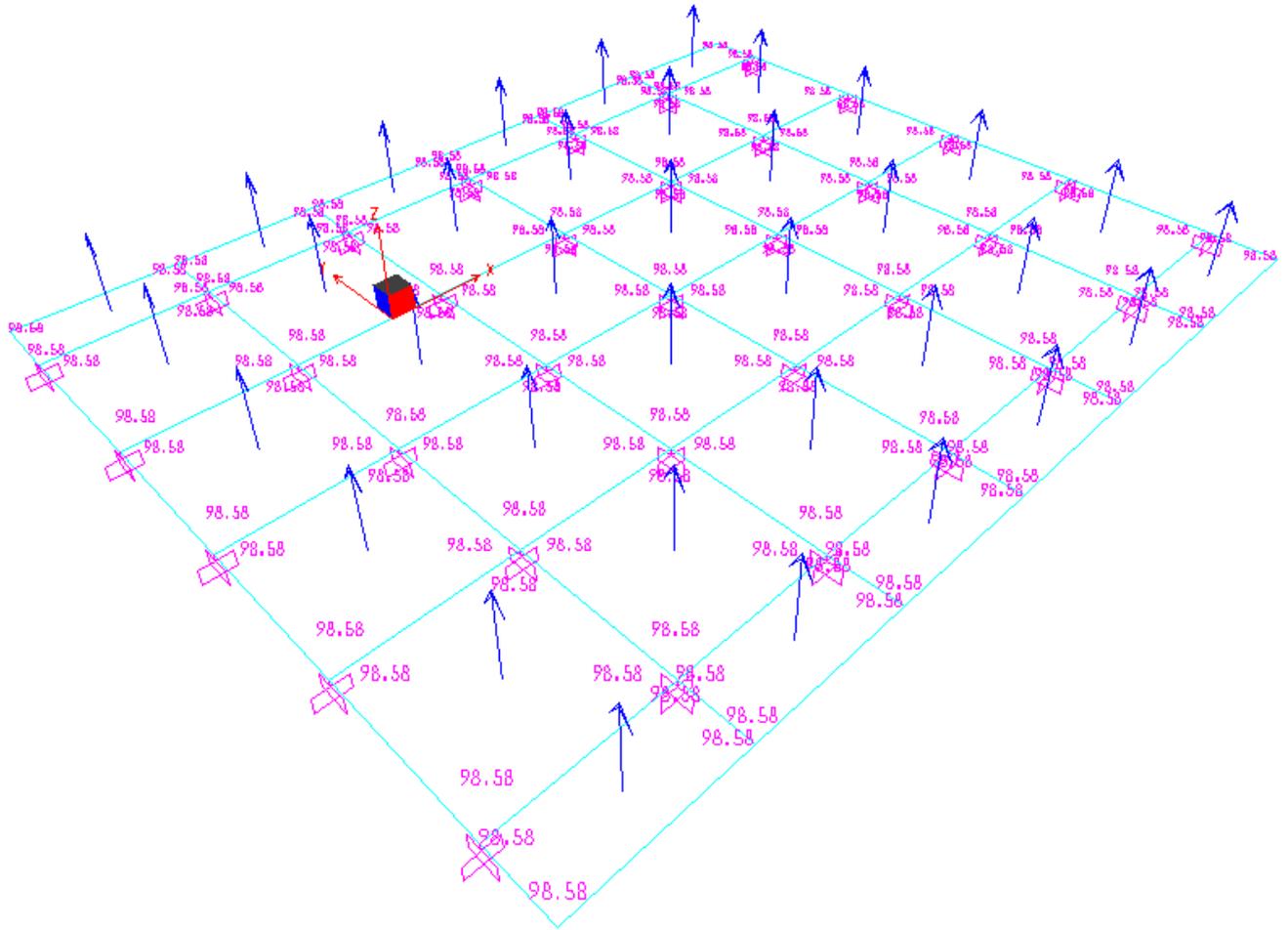


Figura 25 – Schema di carico. Sottospinta idrostatica in fase di galleggiamento [kN/m<sup>2</sup>]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

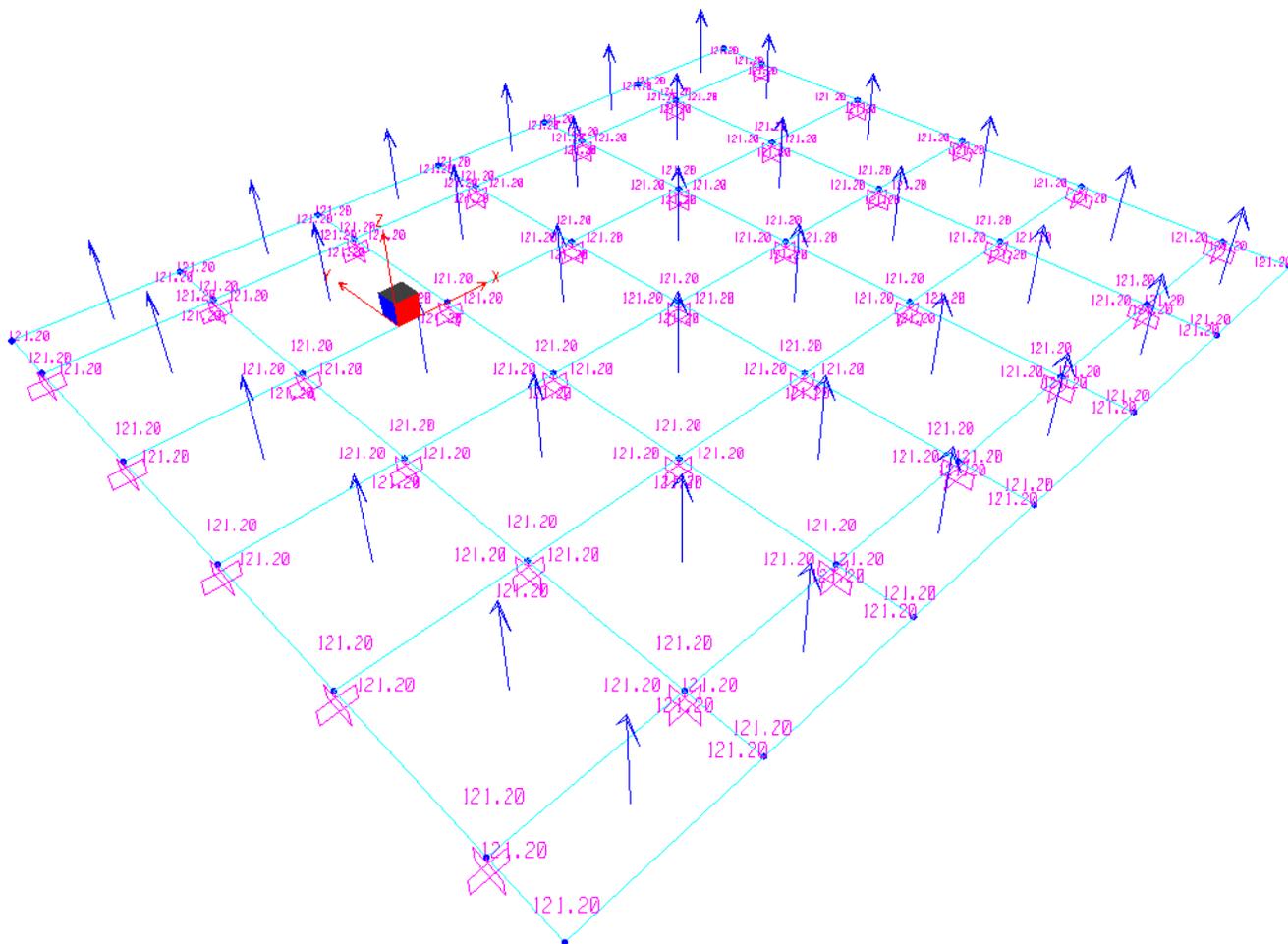


Figura 26 – Schema di carico. Sottospinta idrostatica in fase di affondamento [kN/m<sup>2</sup>]



#### 7.2.1.4 Verifiche agli stati limite

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature all'intradosso del solettone di fondazione.

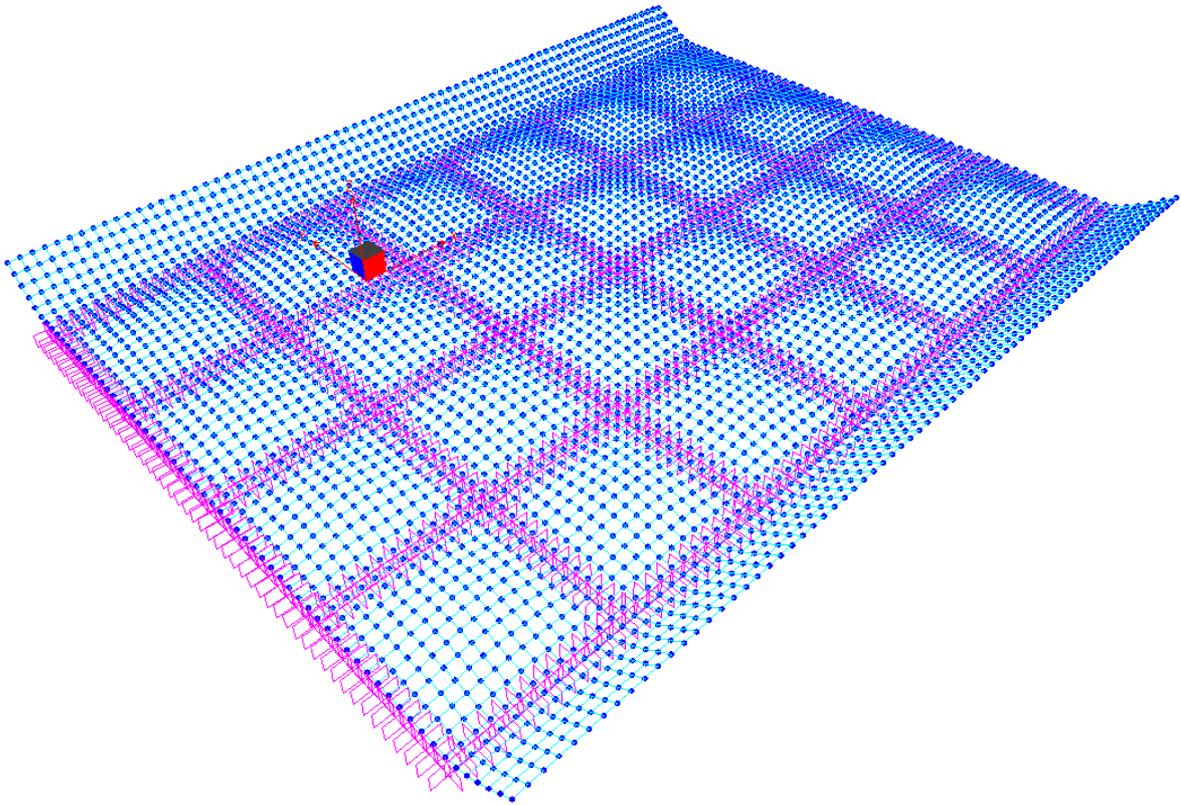


Figura 27 - Solettone di fondo. Deformata Comb. INV PROV (SLU).



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

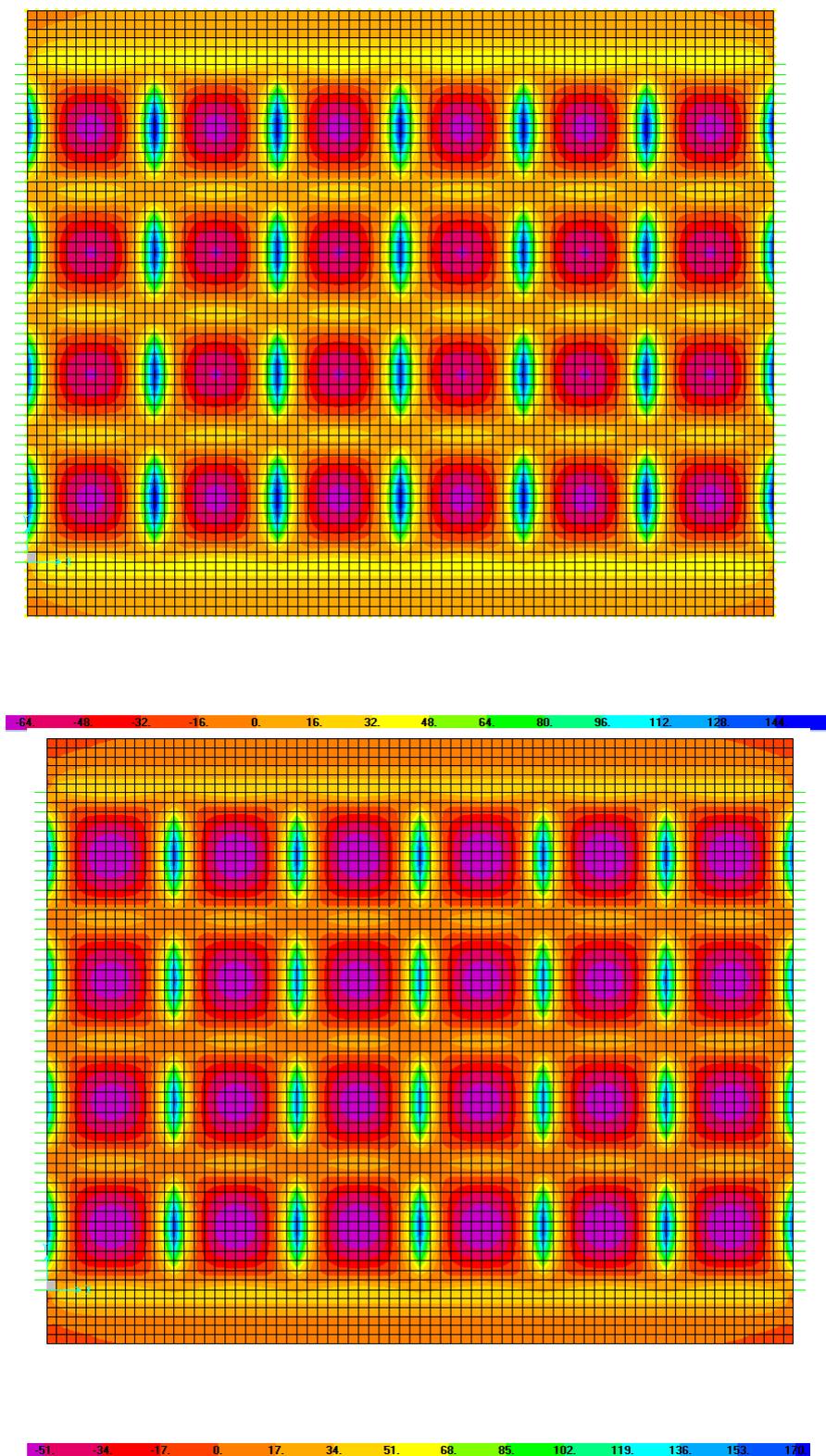


Figura 28 - Solettone di fondazione. Involuppo PROV. - M11 [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

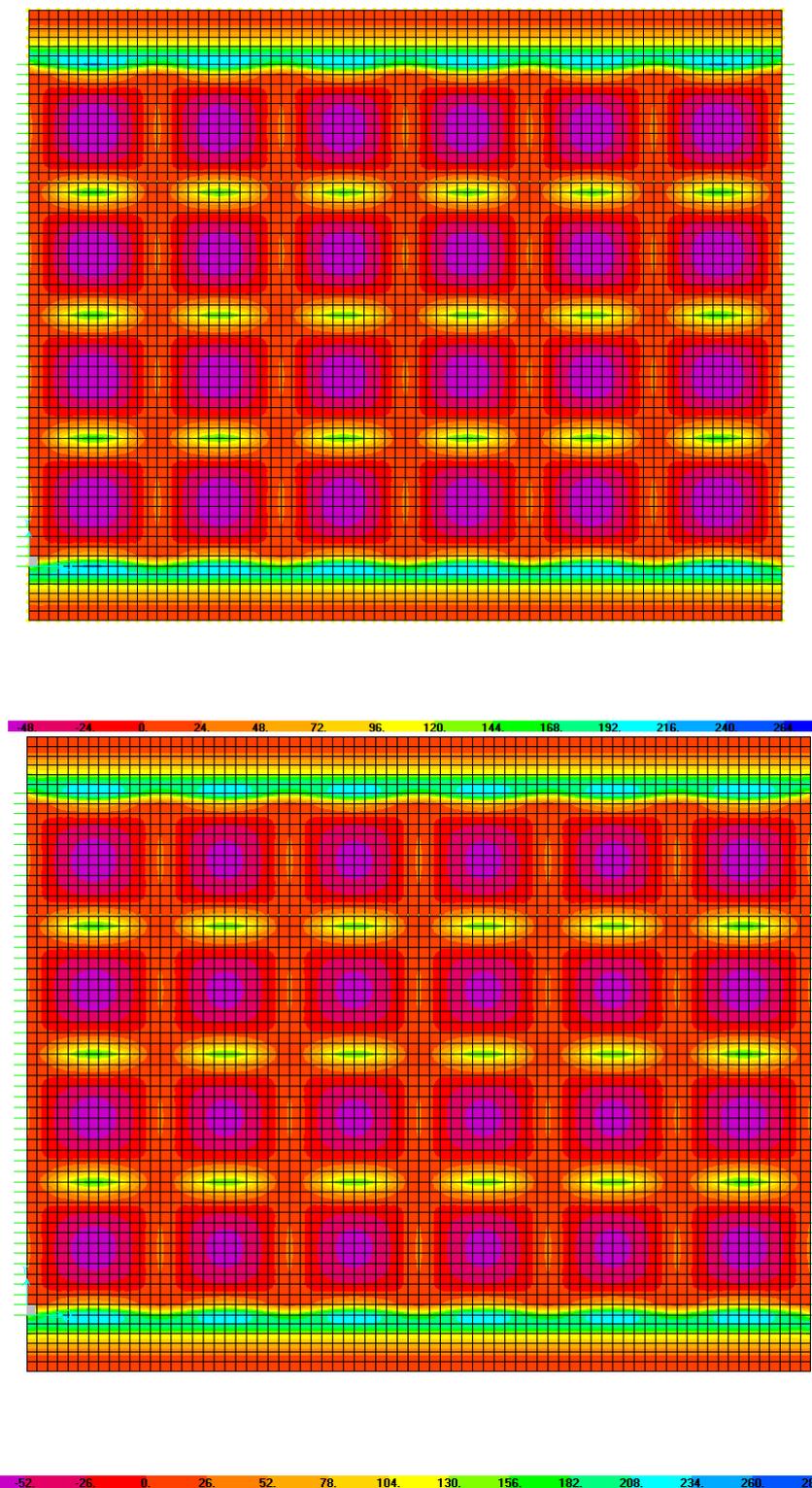


Figura 29 - Solettone di fondazione. Involuppo PROV. – M22 [kNm/m].

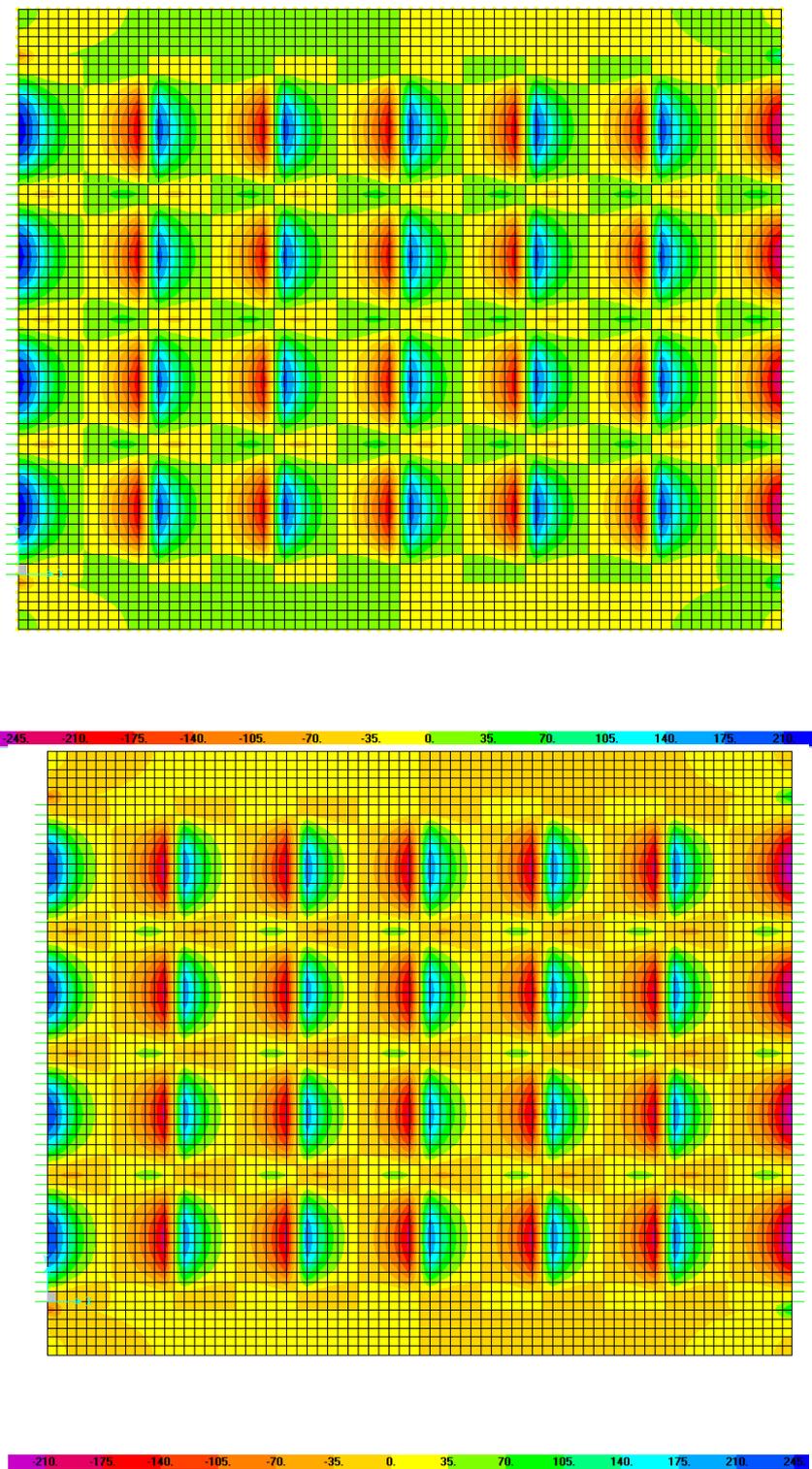


Figura 30 - Solettone di fondazione. Involuppo PROV. – V13 [kN/m].

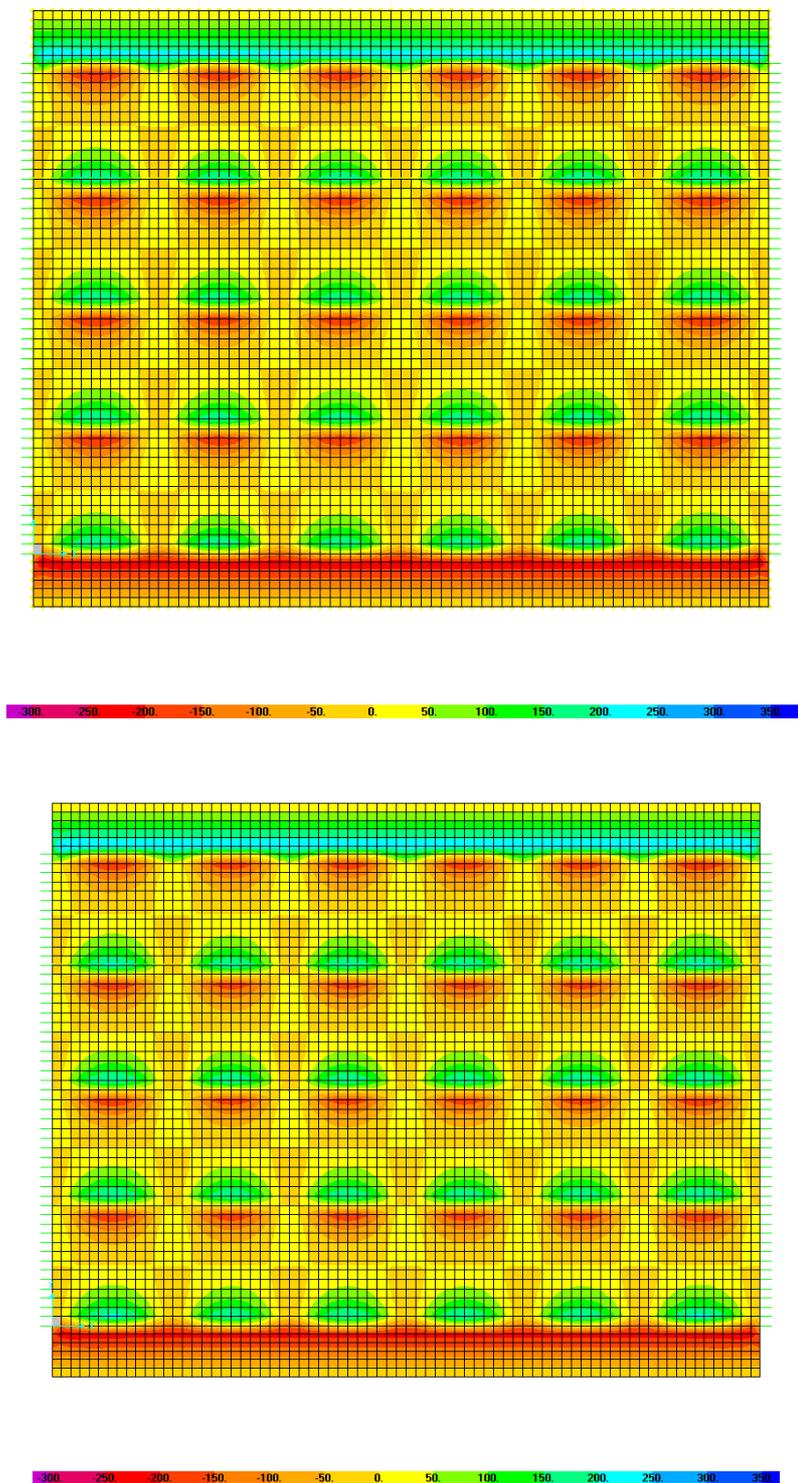


Figura 31 - Solettone di fondazione. Involuppo PROV. – V23 [kN/m].

Poiché le sollecitazioni, in fase provvisoria, sono minori di quelle presenti in fase definitiva (condizione di esercizio definitivo del solettone di fondazione), si omettono le relative verifiche.



## 7.2.2 Verifiche in fase definitiva

### 7.2.2.1 Analisi dei carichi

In fase definitiva, in accordo con le vigenti norme tecniche, i valori caratteristici delle azioni agenti sono stati combinati in relazione allo stato limite considerato.

In fase definitiva (fase di esercizio dell'opera) il solettone risulta caricato dal basso verso l'alto dalla reazione del terreno e dall'alto verso il basso dal peso proprio, dal peso del materiale di riempimento e dal sovraccarico di banchina, secondo lo schema riportato di seguito.

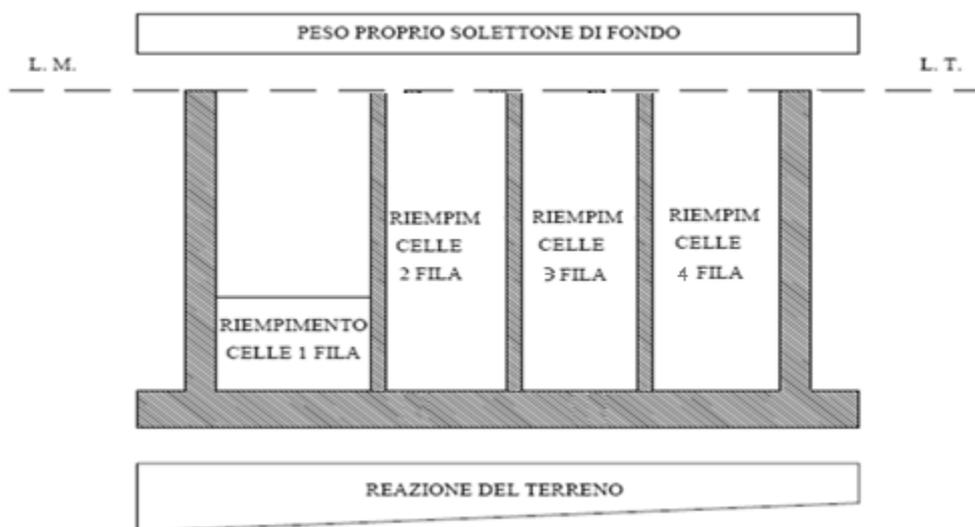


Figura 32 - Solettone di fondazione. Schema di carico – Fase Definitiva.

### 7.2.2.2 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico considerate sono:

Combinazione-1 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
Combinazione-2 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=100 anni) + Sovraccarico
Combinazione-3 (STR)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-4 (STR)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-5 (SLV)	Peso proprio cassone in opera + Sisma + Sovraccarico
Combinazione-6 (ECC)	Peso proprio cassone in opera + Urto Eccezionale + Sovraccarico
Combinazione-7 (SLE - RARA)	Peso proprio cassone in opera + Cresta d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-8 (SLE - RARA)	Peso proprio cassone in opera + Cavo d'Onda (Tr=25 anni) + Sovraccarico
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	Peso proprio cassone in opera + Sovraccarico + Cresta d'Onda (Tr=25 anni)

Vengono di seguito riportati i coefficienti di combinazione per le combinazioni di carico considerate:



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	1.00	-
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	1.00	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.00	0.70

Tabella 14 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 1 (SLU-ECC)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	1.00	-
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	1.00	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.00	0.70

Tabella 15 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 2 (SLU-ECC)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	1.50	-
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	1.50	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.50	0.70

Tabella 16 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 3a (SLU-STR)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.30	-
Momento Ribaltante	1.50	-
Resistente/Azione	1.50	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.50	0.70

Tabella 17 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 3b (SLU-STR)



Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	1.50	-
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	1.50	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.50	0.70

Tabella 18 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 4a (SLU-STR)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{0i}$ )
CASSONE IN OPERA	1.30	-
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	1.50	-
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	1.50	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.50	0.70

Tabella 19 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 4b (SLU-STR)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )
CASSONE IN OPERA	1.0	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.0	0.30
Spinta idrodinamica	1.0	-
Azione Sismica orizzontale su Cassone	1.0	-
Azione Sismica verticale su Cassone	1.0	-
Azione Sismica su sovraccarico - orizzontale	1.0	0.30
Azione Sismica su sovraccarico - verticale	1.0	0.30

Tabella 20 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 5 (SLV)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{2i}$ )
CASSONE IN OPERA	1.0	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.0	0.3
URTO ECCEZIONALE	1.0	-

Tabella 21 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 6 (SLU-ECC)



Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	1.00	-
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	1.00	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.00	0.70

Tabella 22 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 7 (SLE rara)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CAVO D'ONDA	1.00	-
SPINTA VERTICALE CAVO D'ONDA - (Sottospinta)	1.00	-
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.00	0.70

Tabella 23 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 8 (SLE rara)

Carico	Coeff. Parziali ( $\gamma_{Gi}; \gamma_{Qi}$ )	Coeff. Combin. ( $\psi_{oi}$ )
CASSONE IN OPERA	1.00	-
SPINTA ORIZZONTALE CRESTA D'ONDA	1.00	0.00
SPINTA VERTICALE CRESTA D'ONDA - (Sottospinta)	1.00	0.00
SOVRACCARICO SU CASSONE	1.00	0.50

Tabella 24 – Solettone – coefficienti di combinazione – combinazione 9 (SLE frequente)

Le combinazioni allo stato limite di esercizio (SLE) di tipo caratteristica (RARA) sono utilizzate per la verifica delle tensioni di esercizio nei materiali; quelle di tipo FREQUENTE sono utilizzate per la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

### 7.2.2.3 Condizioni di carico

#### 7.2.2.3.1 Reazione del terreno

Le reazioni del terreno sono state determinate prendendo in considerazione le seguenti azioni e le sopra riportate combinazioni delle stesse:



### Carichi permanenti

- Peso proprio del cassone;
- Peso proprio degli altri elementi strutturali (soffitto di copertura in c.a, sovrastruttura in c.a. e muro paraonde) e non strutturali (materiale di riempimento delle celle);
- Spinta di galleggiamento.

### Carichi accidentali

- Moto ondoso in fase di cresta e cavo per Tr pari a 100 anni (SLU Eccezionale) e pari a 25 anni (SLU);
- Sovraccarico accidentale di banchina;

### Azioni sismiche

In presenza di sisma, oltre a quelle già indicate, sono state considerate le seguenti forze:

- Azioni inerziali indotte nelle masse;
- Azione idrodinamica dovuta all'acqua libera sulle pareti del cassone.

I valori della reazione del terreno per le diverse combinazioni di carico analizzate sono riepilogati nella tabella seguente:

COMBINAZIONE	N'	R	e	B'	$\sigma'_{max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma'_{min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
Combinazione-1 (ECC)	96 900.01	35 966.19	4.47	21.09	311.37	0.00
Combinazione-2 (ECC)	139 995.65	16 871.07	0.42	23.00	228.66	183.86
Combinazione-3a (STR)	99 551.69	42 749.76	5.50	17.99	374.98	0.00
Combinazione-3b (STR)	130 759.27	42 749.76	4.31	21.57	410.80	0.00
Combinazione-4a (STR)	152 085.92	22 804.04	0.59	23.00	258.64	189.51
Combinazione-4b (STR)	183 293.51	22 804.04	0.40	23.00	298.58	241.53
Combinazione-5 (SLV)	107 063.67	5 983.40	0.19	23.00	165.58	149.90
Combinazione-6 (ECC)	109 655.79	10 200.00	0.52	23.00	183.69	139.43
Combinazione-7 (SLE - RARA)	101 042.89	28 499.84	3.79	23.00	295.93	1.81
Combinazione-8 (SLE - RARA)	136 065.71	15 202.69	0.31	23.00	216.81	184.13
Combinazione-9 (SLE - FREQ)	113 409.46	0.00	0.65	23.00	195.21	138.97

Tabella 25 – Solettone – reazioni del terreno



### 7.2.2.3.2 Carichi permanenti

I valori dei pesi alleggeriti del solettone e del riempimento delle celle risultano:

Peso proprio solettone	Pressione efficace riempimento celle fila 1(LP)	Pressione efficace riempimento celle fila 2	Pressione efficace riempimento celle fila 3	Pressione efficace riempimento fila 4 (LP)
[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
14,9	28,66	28,66	62,18	62,18

Tabella 26 – Solettone – pesi alleggeriti

La Pressione efficace è stata calcolata tenendo conto dell'effetto silos, secondo il procedimento riportato nell'Eurocodice 1, parte 4 (§5.2.1), secondo cui la pressione verticale alla profondità  $z$  del riempimento insilato è pari a:

$$p_v(z) = \frac{\gamma A}{K_s \mu U} C_z(z)$$

Essendo

- $A$  l'area della cella,
- $U$  il perimetro,
- $C_z(z) = 1 - e^{(-z/z_0)}$
- $z_0 = \frac{A}{K_s \mu U}$
- $K_s$  il valore di progetto del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale del materiale insilato,
- $\mu$  il valore di progetto del coefficiente di attrito di parete del materiale insilato.

A loro volta,  $K_s$  e  $\mu$  vengono determinati a partire dai valori medi  $K_{sm}$  e  $\mu_m$ , applicando il coefficiente 1,15 per ottenere valori di pressione a favore di sicurezza (§7.2-7.3).

Nei calcoli sono stati assunti i seguenti valori cautelativi, relativi ai seguenti materiali di riempimento:

cemento:  $K_{sm} = 0,5$   $\mu_m = 0,5$

sabbia asciutta:  $K_{sm} = 0,45$   $\mu_m = 0,5$

Viene di seguito riportato il calcolo per la determinazione della pressione sul fondo, denominata  $maxpv$ .

L'assunzione relativa all'effetto silos è cautelativa, rispetto al considerare l'intero peso del riempimento sul solettone.



**Comune  
di Favignana**

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

angolo effettivo di attrito interno	$\gamma$	8.9	kN/m <sup>3</sup>
	$\gamma'$	8.9	kN/m <sup>3</sup>
	$\phi$	24	°
distanza dallo scarico alla superficie equivalente dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)	h	11.7	m
	dc	4.44	m
	h/dc	2.64	
area sezione trasversale perimetro interno	A	20.0244	m <sup>2</sup>
	U	17.9	m
valore medio del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale valore medio di progetto del coefficiente di attrito di parete	Ksm	0.45	
	$\mu$	0.5	
valore di progetto del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale valore di progetto del coefficiente di attrito di parete		per pv	
	Ks	0.5175	
	$\mu$	0.575	
	z0	3.76	m
valori massimi		maxpv	
	valori massimi	28.66	kN/m <sup>2</sup>

*Tabella 27 – Fila 1 (LP): materiale insilato terreno*

angolo effettivo di attrito interno	$\gamma$	8.9	kN/m <sup>3</sup>
	$\gamma'$	8.9	kN/m <sup>3</sup>
	$\phi$	24	°
distanza dallo scarico alla superficie equivalente dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)	h	11.7	m
	dc	4.44	m
	h/dc	2.64	
area sezione trasversale perimetro interno	A	20.0244	m <sup>2</sup>
	U	17.9	m
valore medio del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale valore medio di progetto del coefficiente di attrito di parete	Ksm	0.45	
	$\mu$	0.5	
valore di progetto del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale valore di progetto del coefficiente di attrito di parete		per pv	
	Ks	0.5175	
	$\mu$	0.575	
	z0	3.76	m
valori massimi		maxpv	
	valori massimi	28.66	kN/m <sup>2</sup>

*Tabella 28 – Fila 2: materiale insilato terreno*



**Comune  
di Favignana**

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

angolo effettivo di attrito interno

$\gamma$	13.9	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma'$	13.9	kN/m <sup>3</sup>
$\phi$	24	°

distanza dallo scarico alla superficie equivalente  
dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)

h	6.7	m
dc	4.41	m
h/dc	1.52	

area sezione trasversale  
perimetro interno

A	19.5804	m <sup>2</sup>
U	13.26	m

valore medio del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale  
valore medio di progetto del coefficiente di attrito di parete

Ksm	0.45	
$\mu$	0.5	

valore di progetto del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale  
valore di progetto del coefficiente di attrito di parete

	per pv	
Ks	0.5175	
$\mu$	0.575	
z0	4.96	m

	maxpv	
valori massimi	62.18	kN/m <sup>2</sup>

*Tabella 29 – Fila 3: materiale insilato calcestruzzo*

angolo effettivo di attrito interno

$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma'$	24	kN/m <sup>3</sup>
$\phi$	24	°

distanza dallo scarico alla superficie equivalente  
dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)

h	5.2	m
dc	4.41	m
h/dc	1.18	

area sezione trasversale  
perimetro interno

A	19.5804	m <sup>2</sup>
U	13.26	m

valore medio del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale  
valore medio di progetto del coefficiente di attrito di parete

Ksm	0.45	
$\mu$	0.5	

valore di progetto del rapporto pressione orizzontale/pressione verticale  
valore di progetto del coefficiente di attrito di parete

	per pv	
Ks	0.5175	
$\mu$	0.575	
z0	4.96	m

	maxpv	
valori massimi	62.18	kN/m <sup>2</sup>

*Tabella 30 – Fila 4 (LM): materiale insilato calcestruzzo*



#### 7.2.2.4 Modello di calcolo

Il modello di calcolo è definito nello spazio bidimensionale con elementi tipo piastra; i vincoli sono di appoggio in corrispondenza delle linee mediane delle pareti perimetrali e dei setti del cassone.

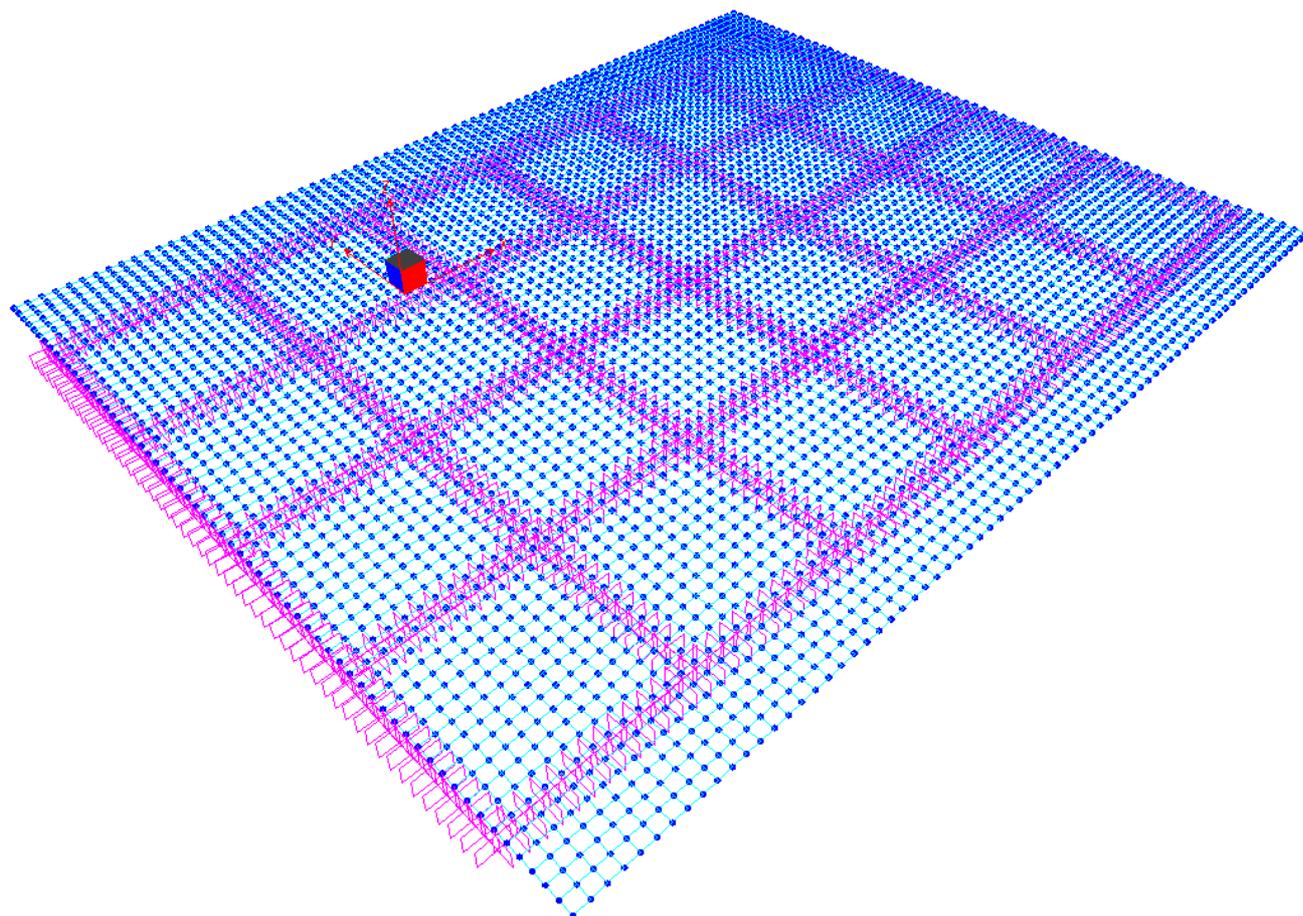


Figura 33 - Modello di calcolo utilizzato per il solettone di fondo

Si riportano di seguito gli schemi di carico e gli involuipi delle sollecitazioni relative alle combinazioni in fase definitiva del cassone.

Convenzione sui segni delle AZIONI: l'azione di segno positivo agisce dal basso verso l'alto del cassone.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

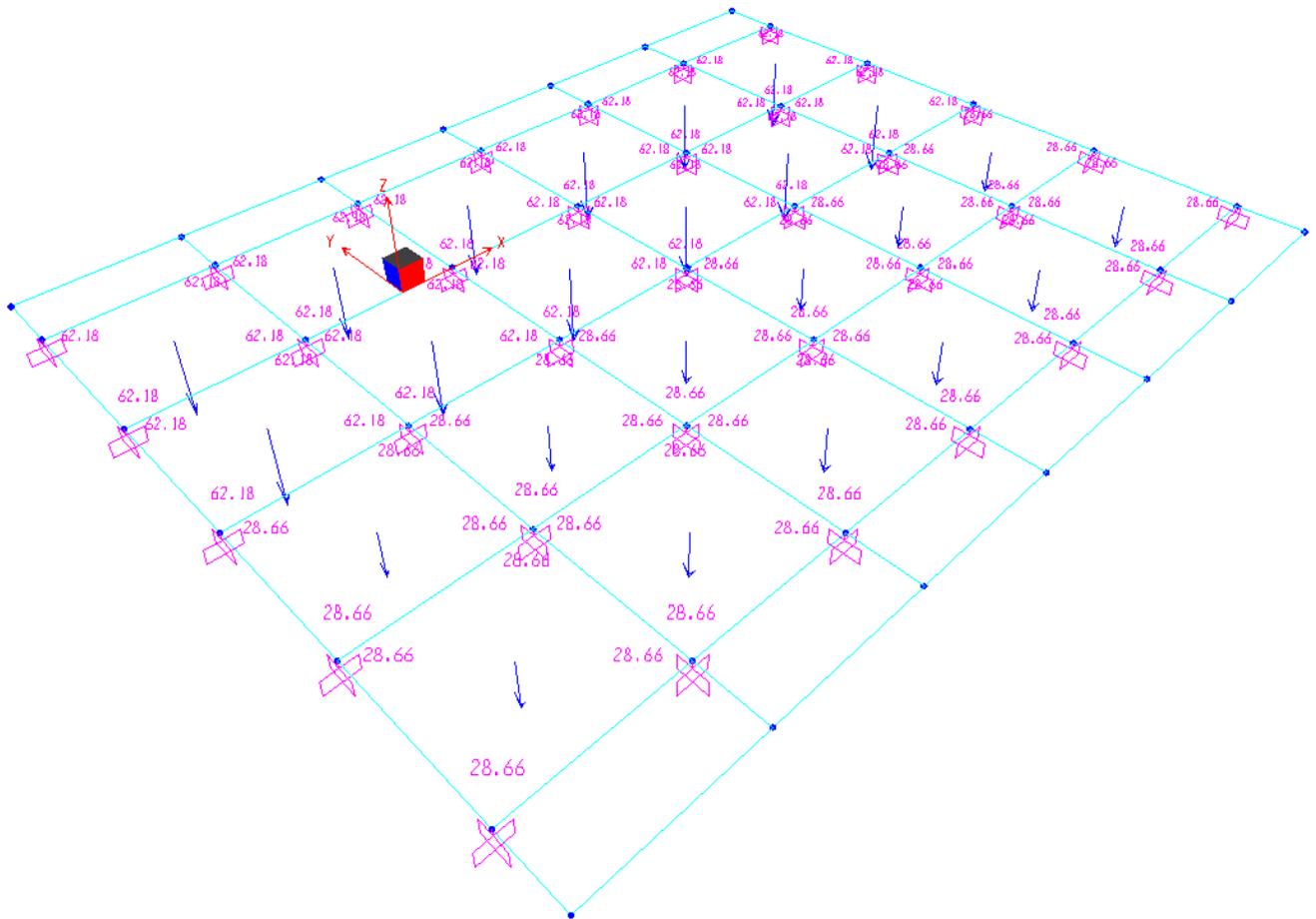


Figura 34 – Schema di carico. Pressione di riempimento delle celle [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

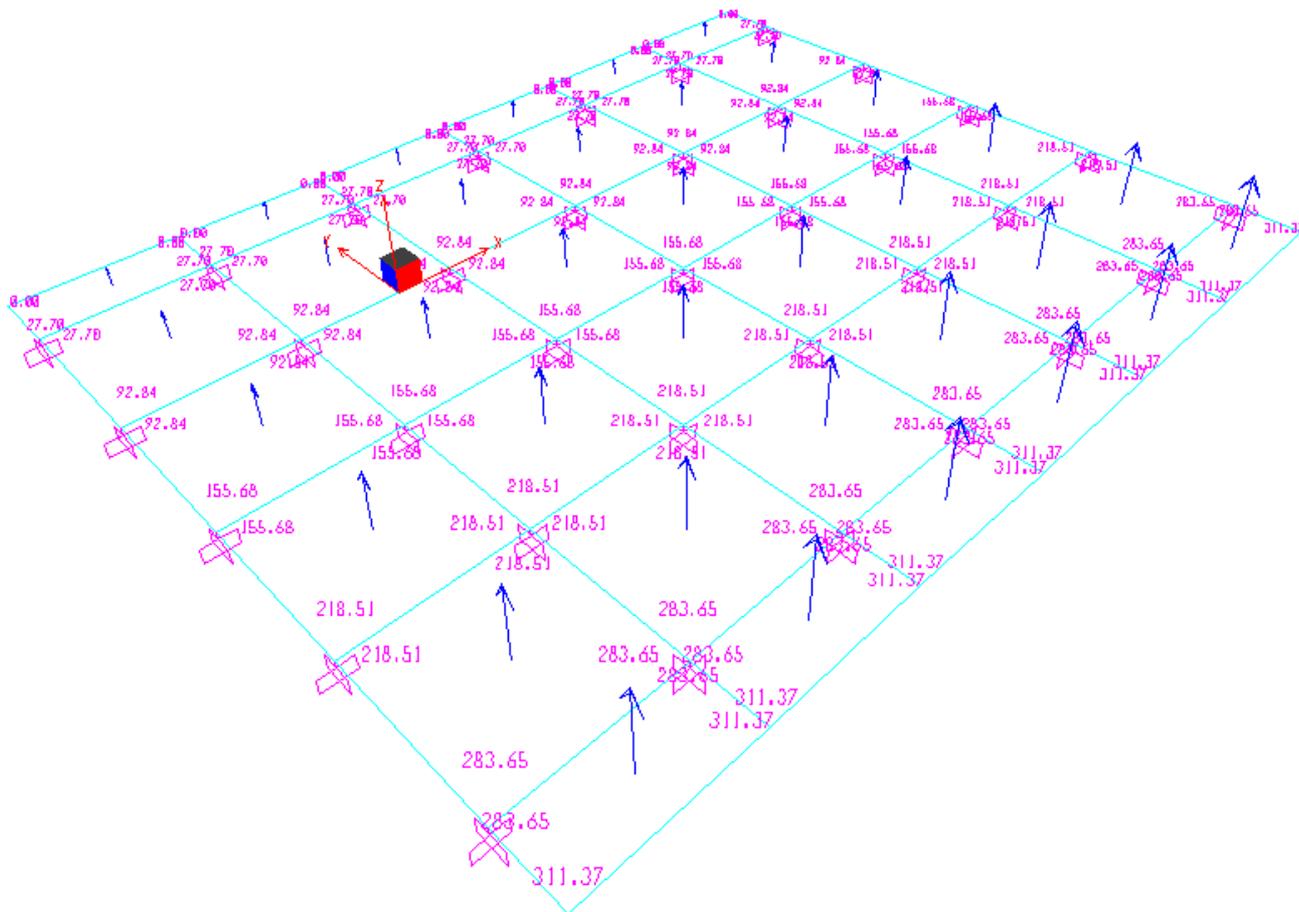


Figura 35 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 1 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

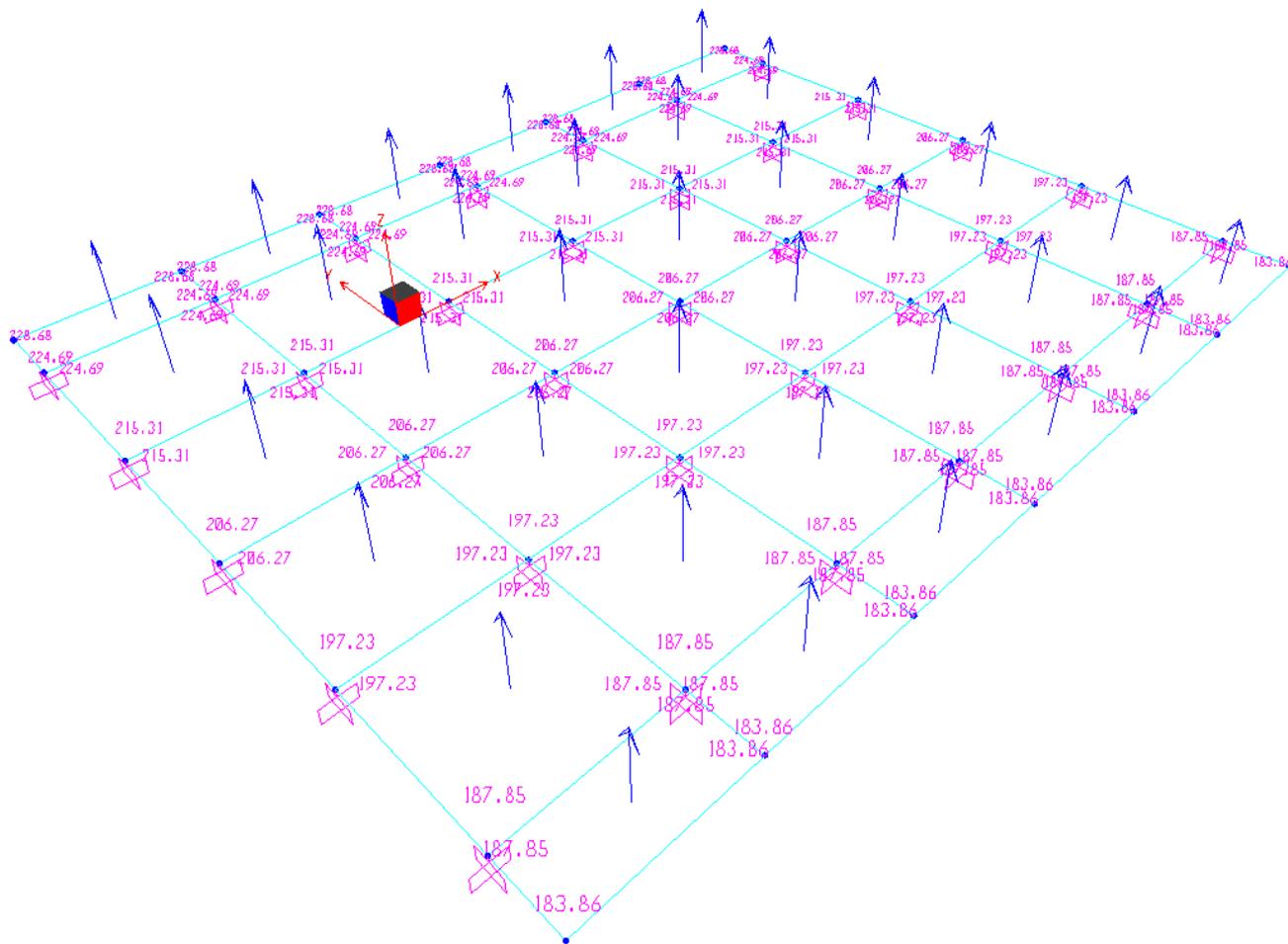


Figura 36 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 2 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

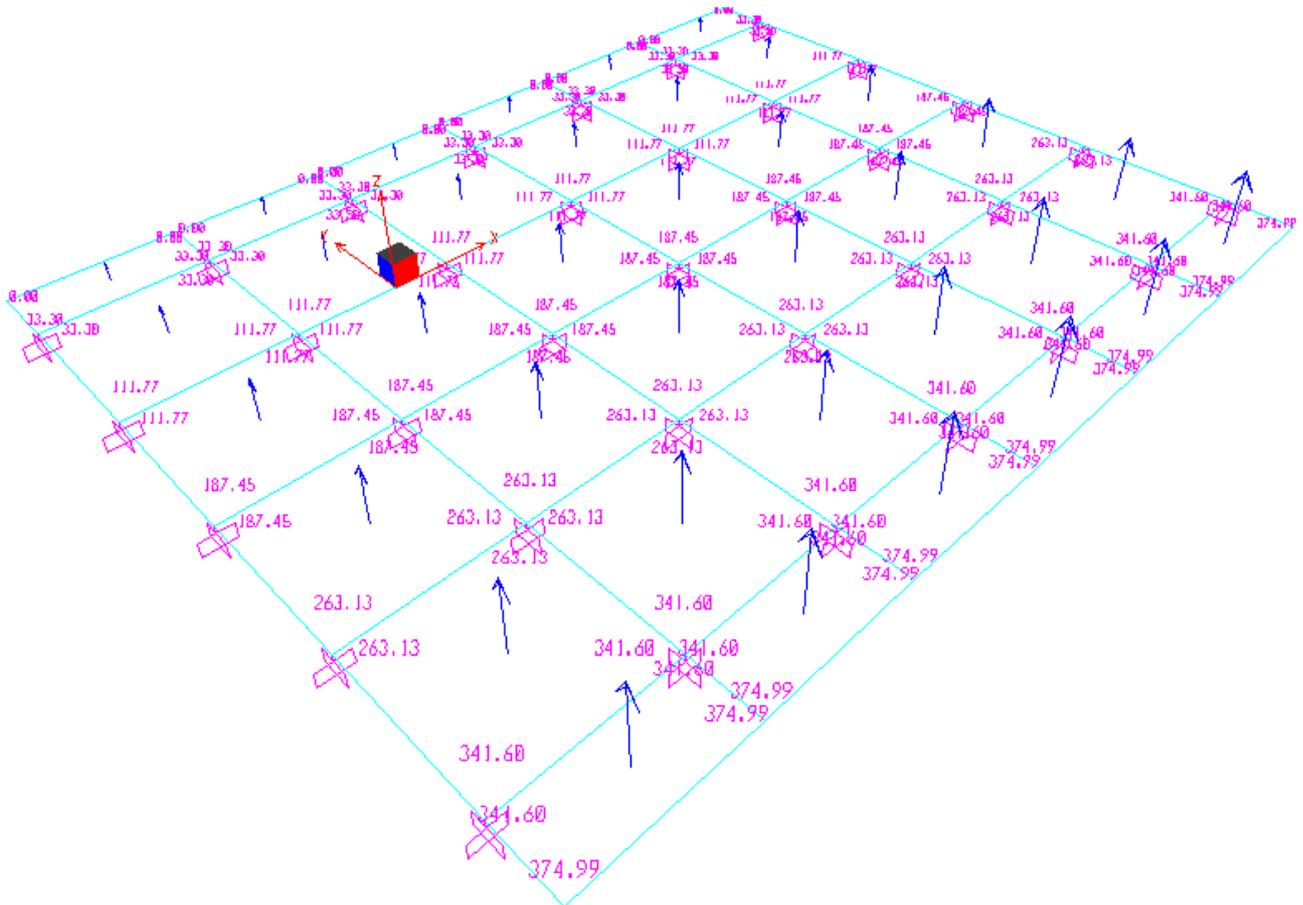


Figura 37 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 3a [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

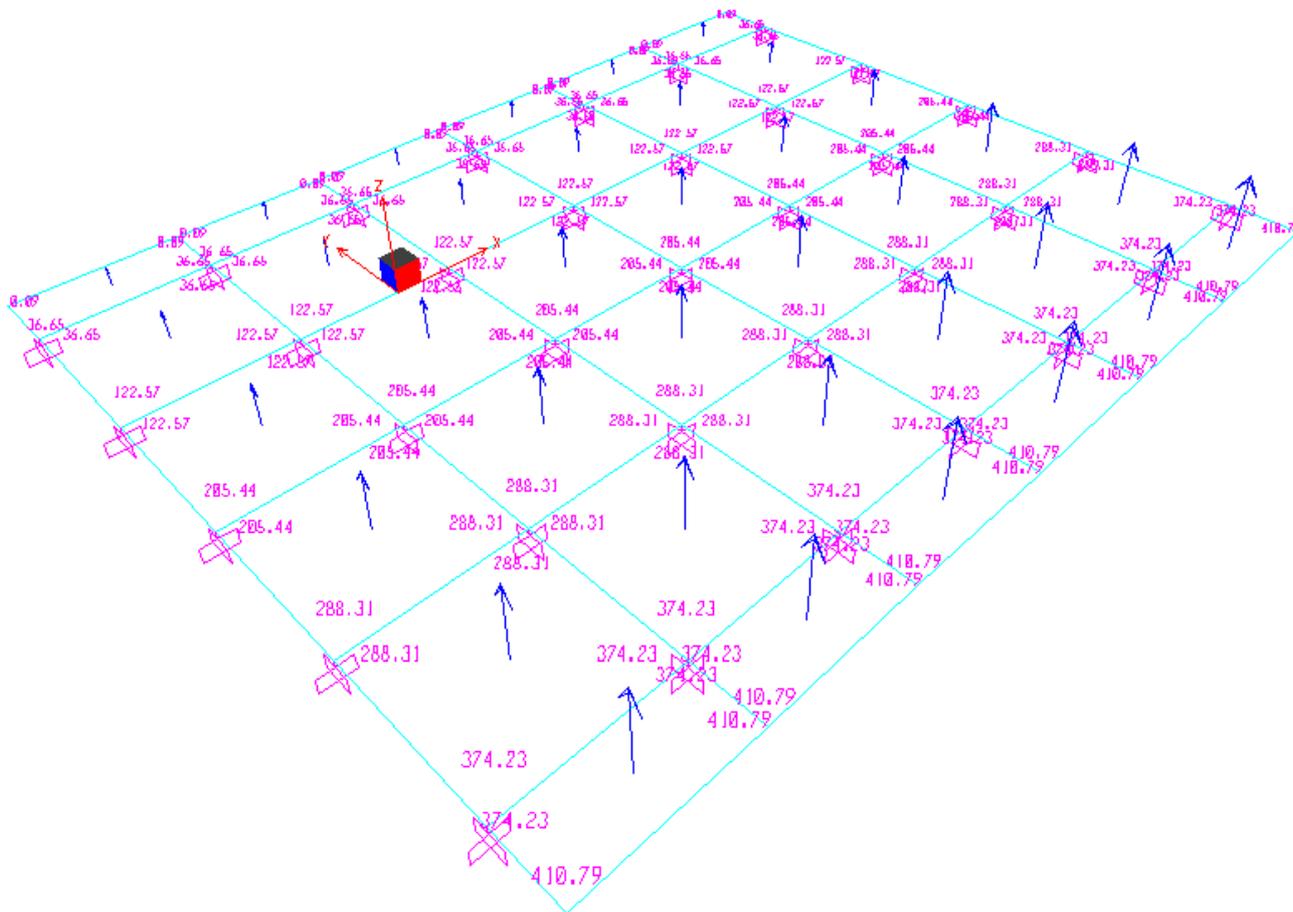


Figura 38 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 3b [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

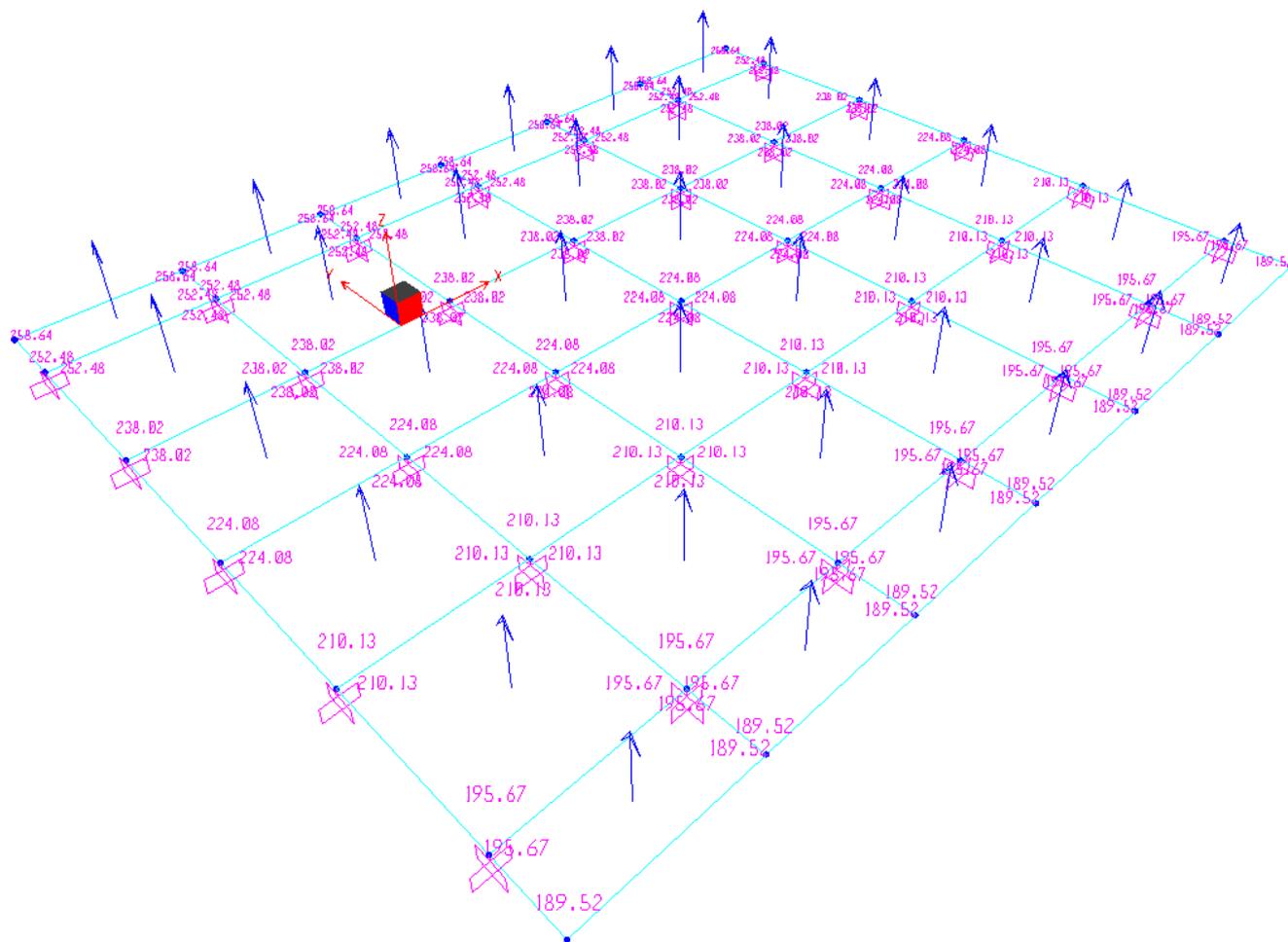


Figura 39 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 4a [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

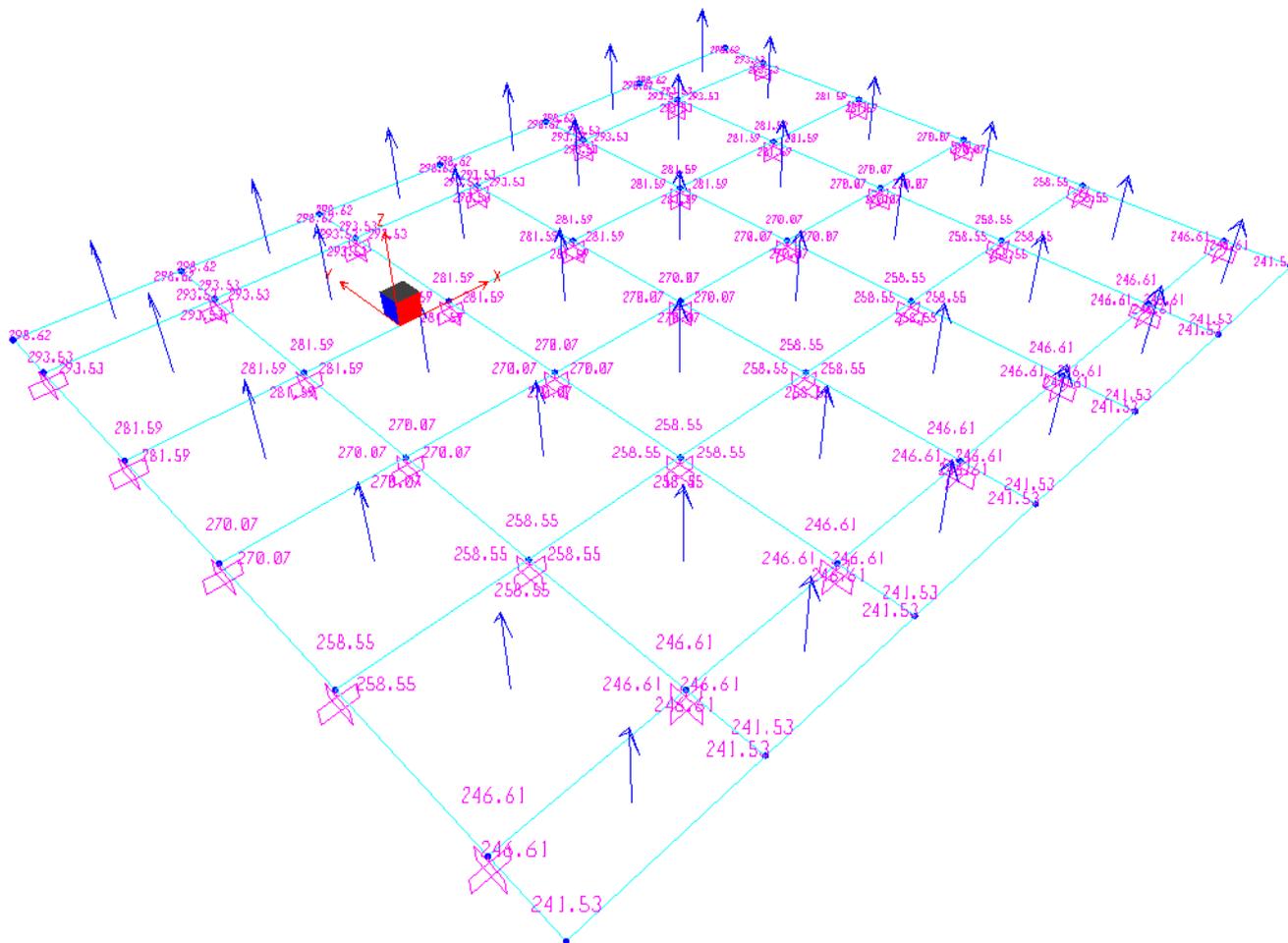


Figura 40 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 4b [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

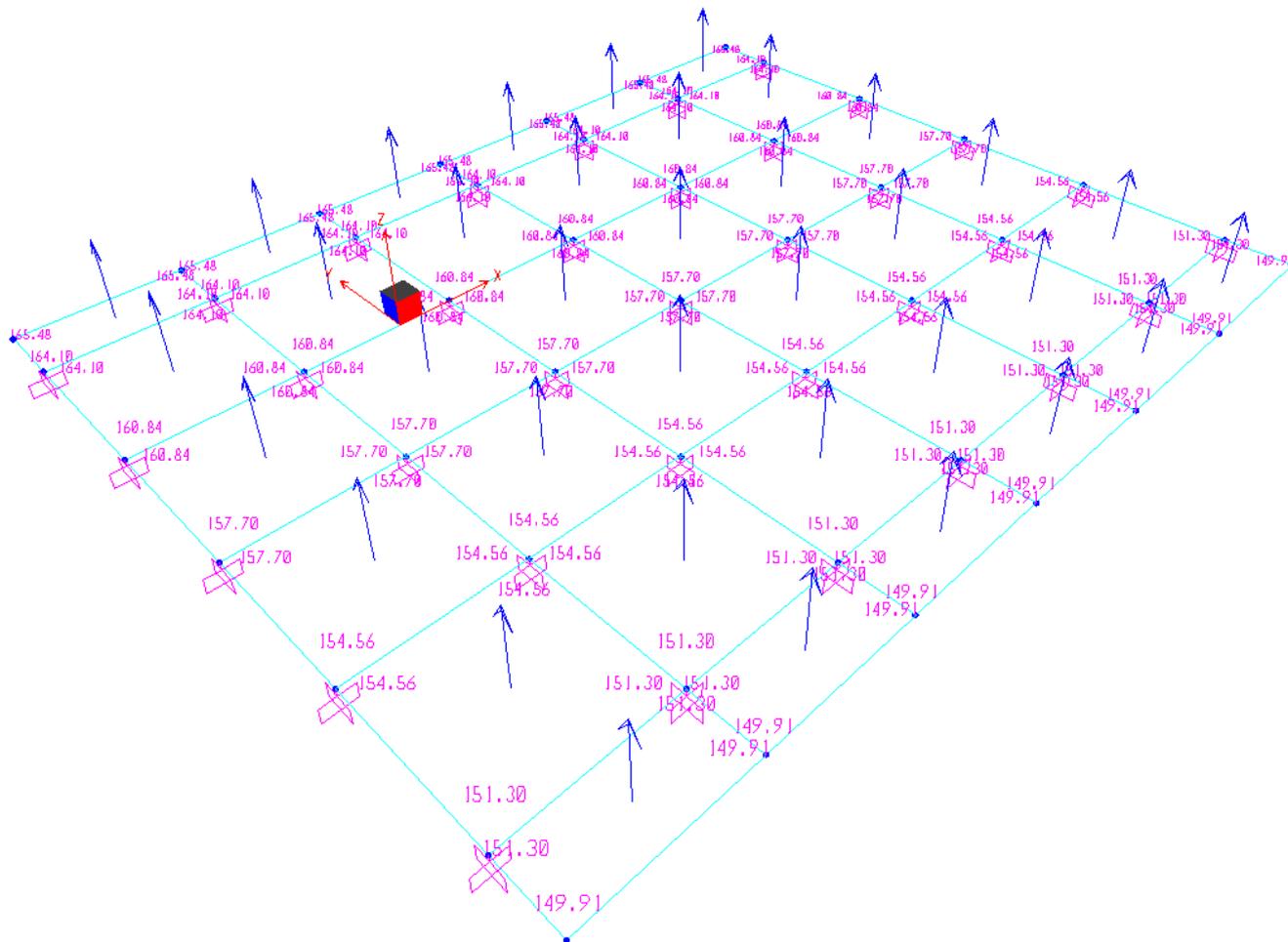


Figura 41 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 5 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

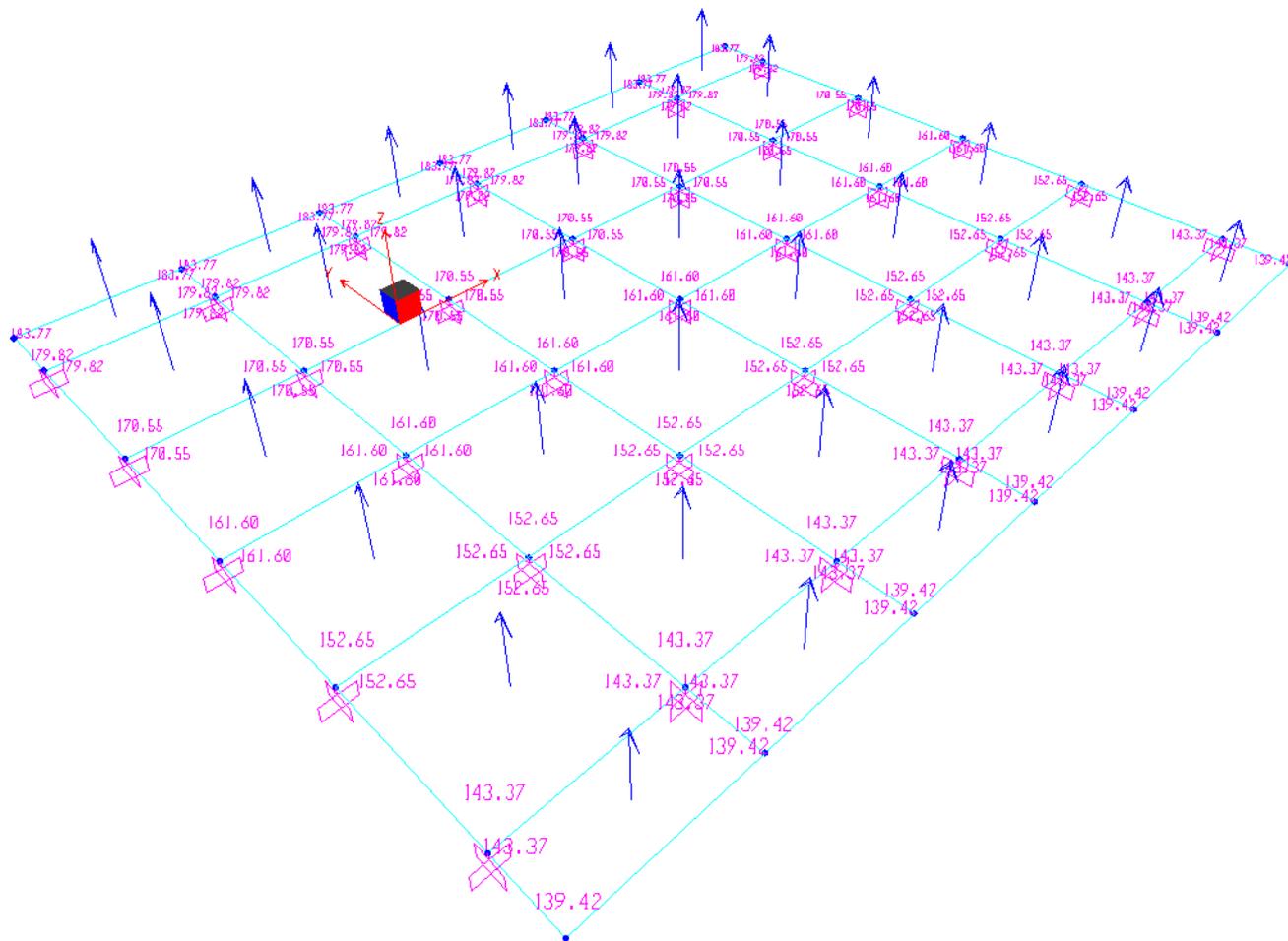


Figura 42 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 6 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

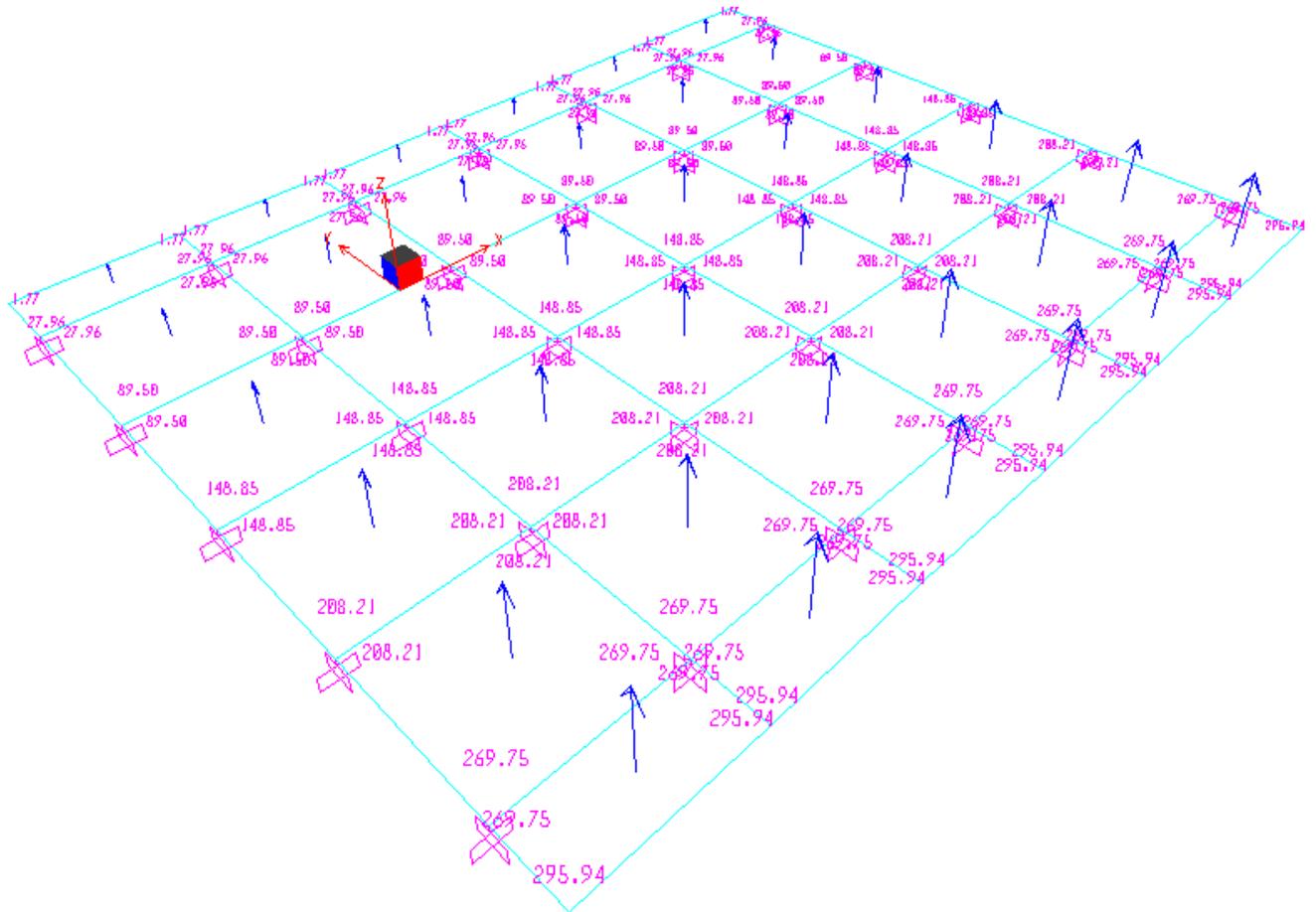


Figura 43 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 7 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

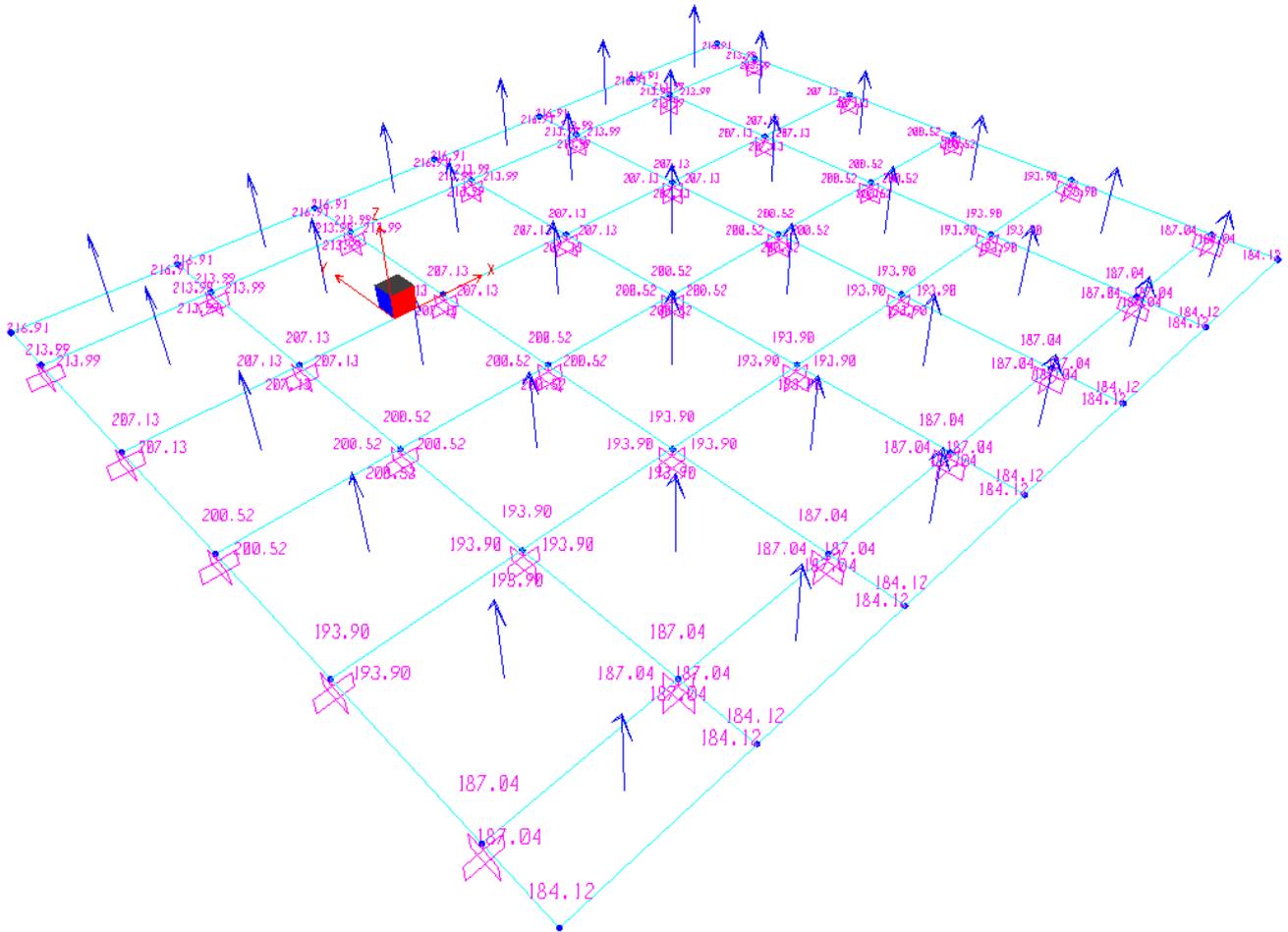


Figura 44 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 8 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

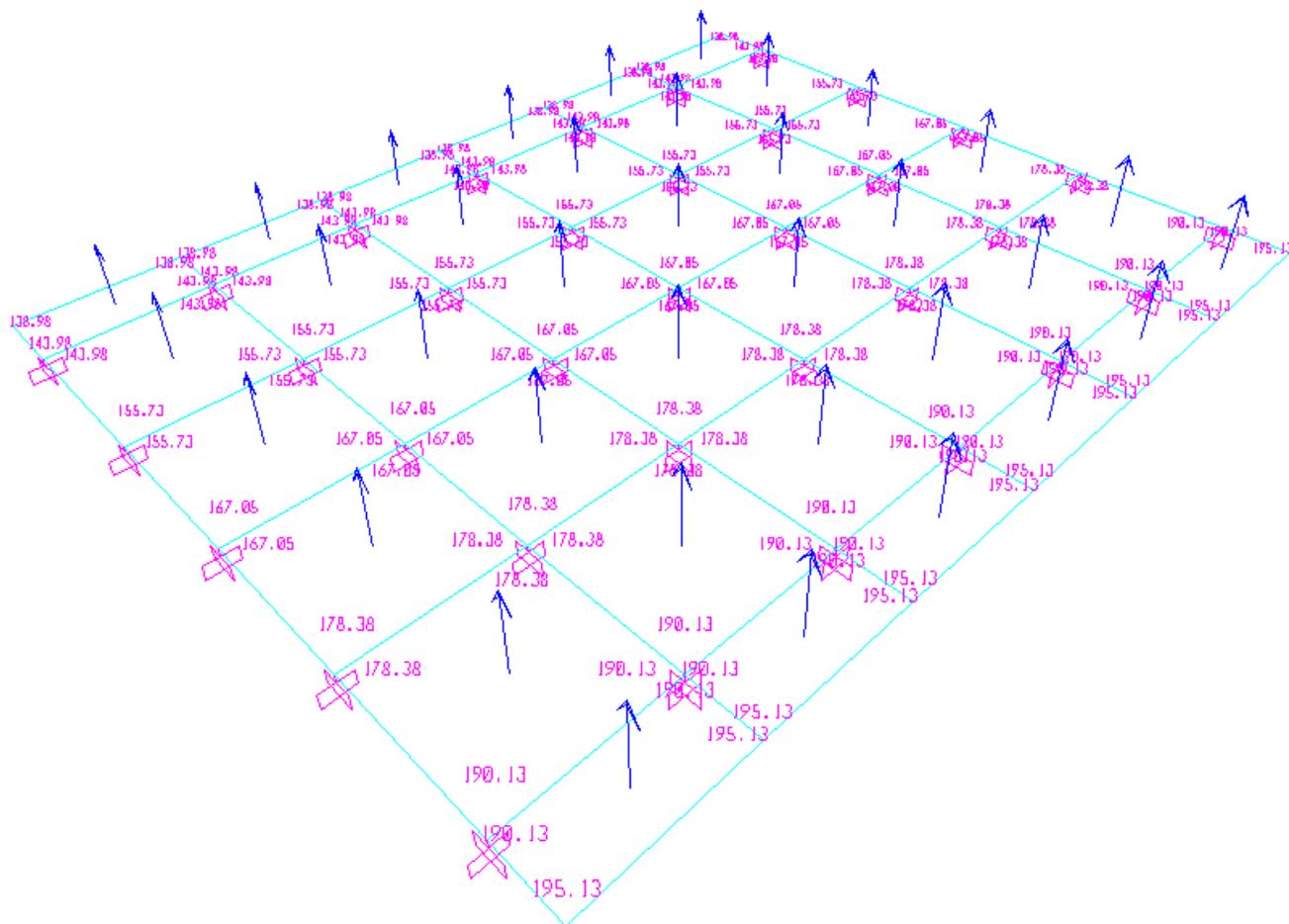


Figura 45 – Schema di carico. Reazione del terreno in Comb. 9 [kN/m<sup>2</sup>].



#### 7.2.2.5 Verifiche allo SLU

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature all'intradosso del solettone.

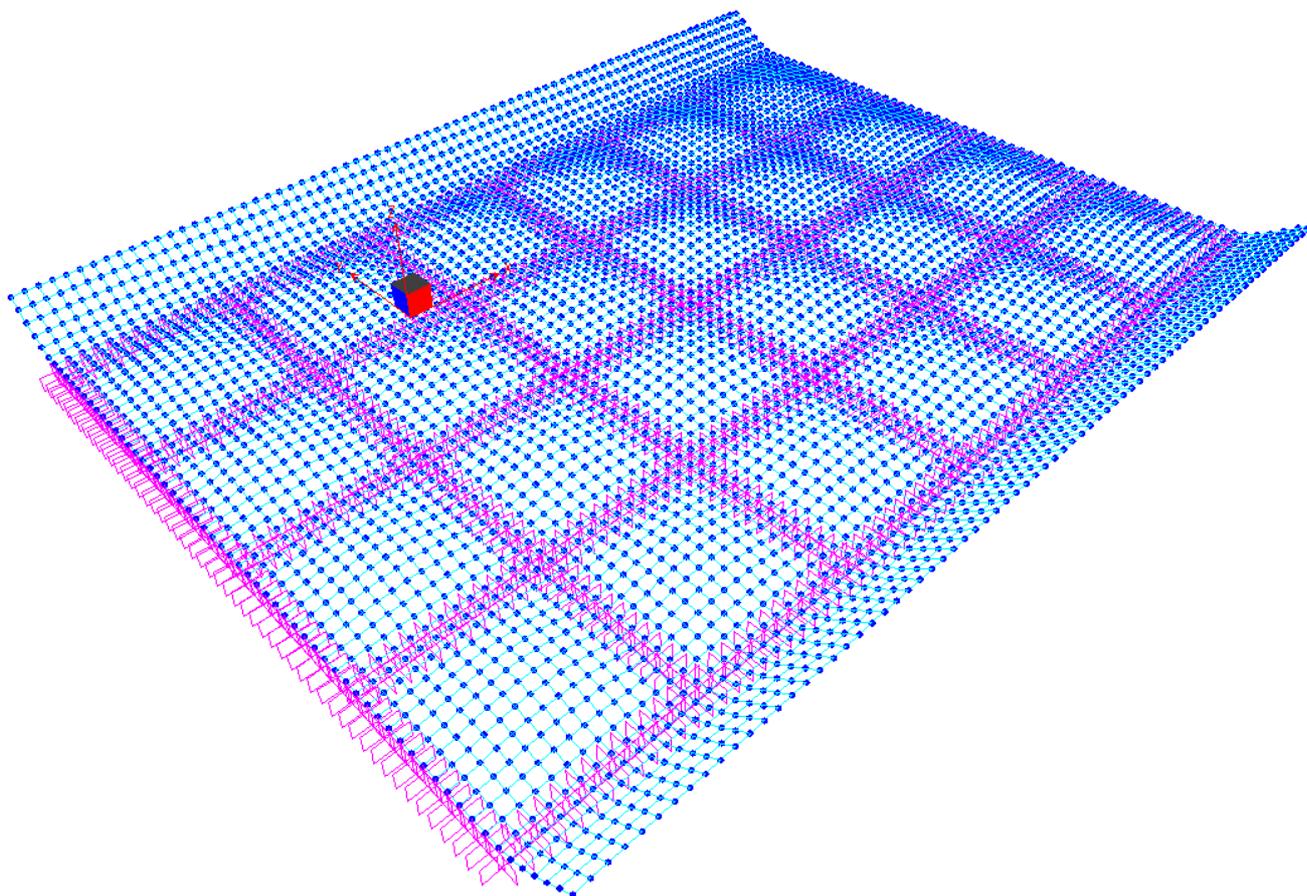


Figura 46 - Solettone di fondazione. Deformata Inviluppo ECC/STR/SLV (SLU).



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

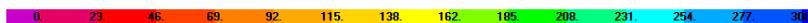
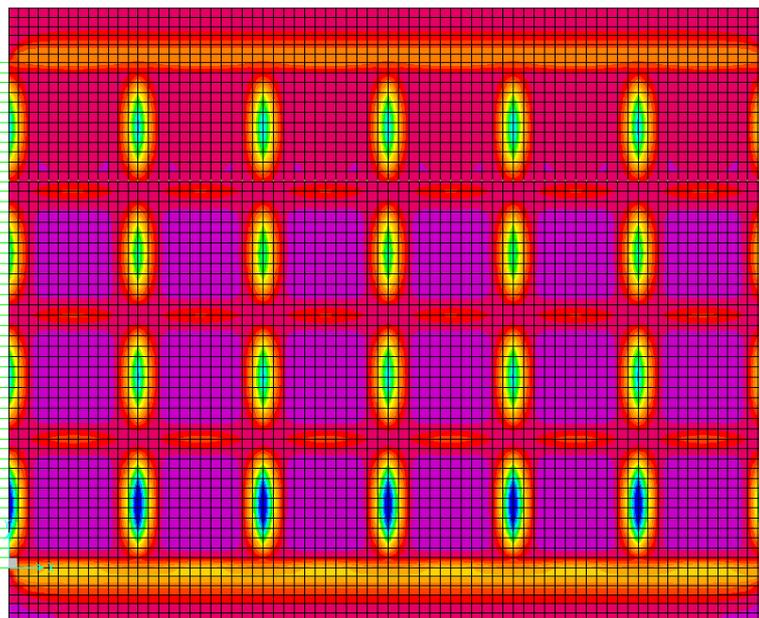
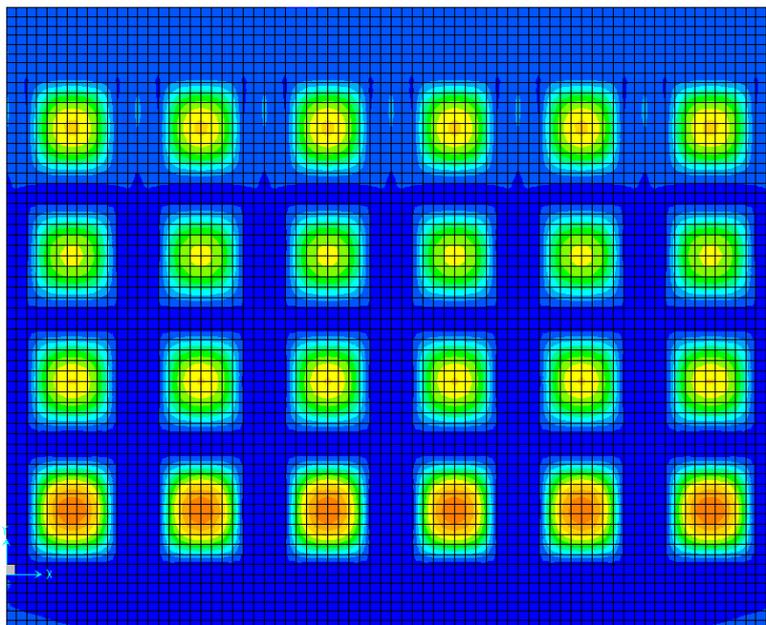


Figura 47 - Solettone di fondazione. Involuppo combinazioni SLU (ECC/STR/SLV)- M11 [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

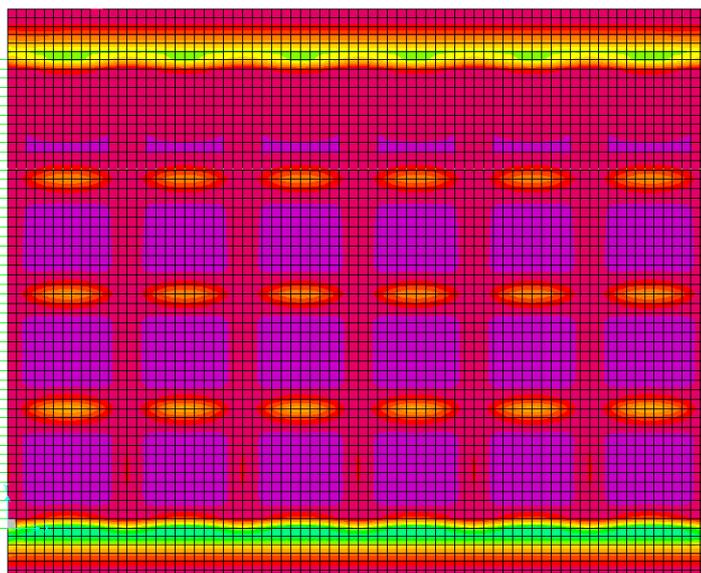
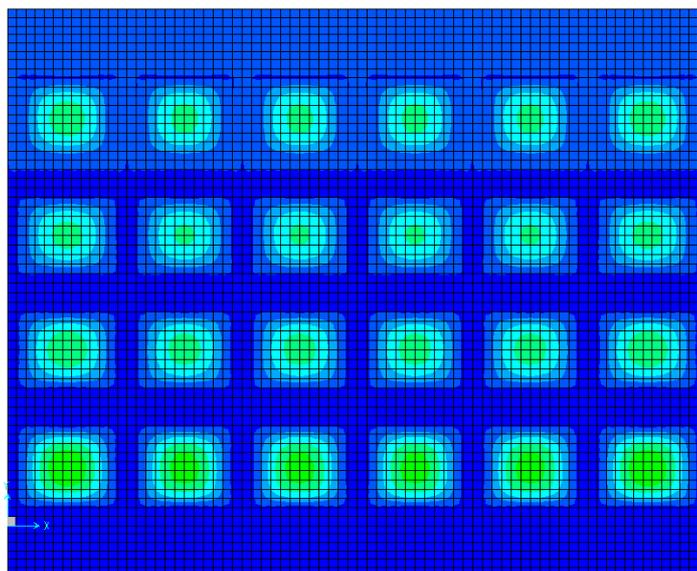


Figura 48 - Solettone di fondazione. Involuppo combinazioni SLU (ECC/STR/SLV) - M22 [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

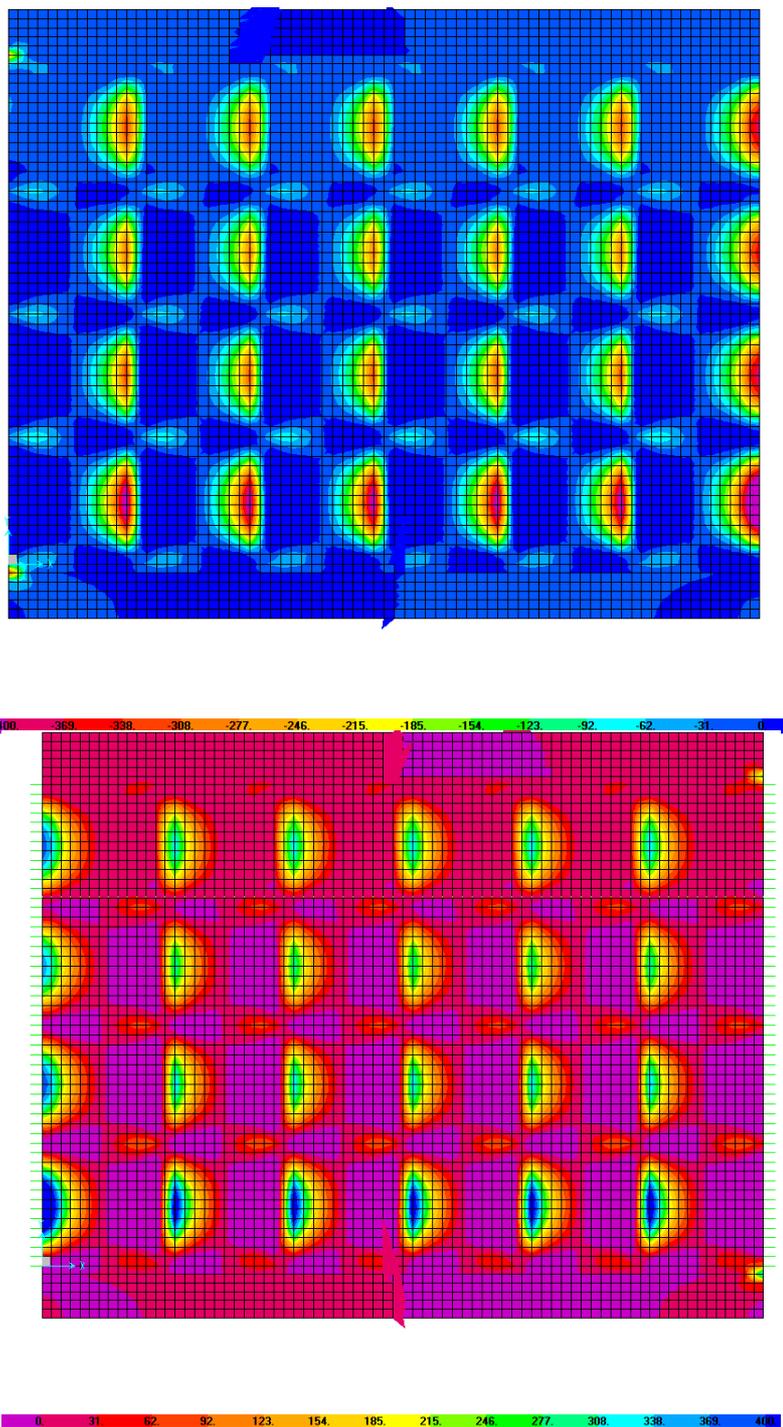


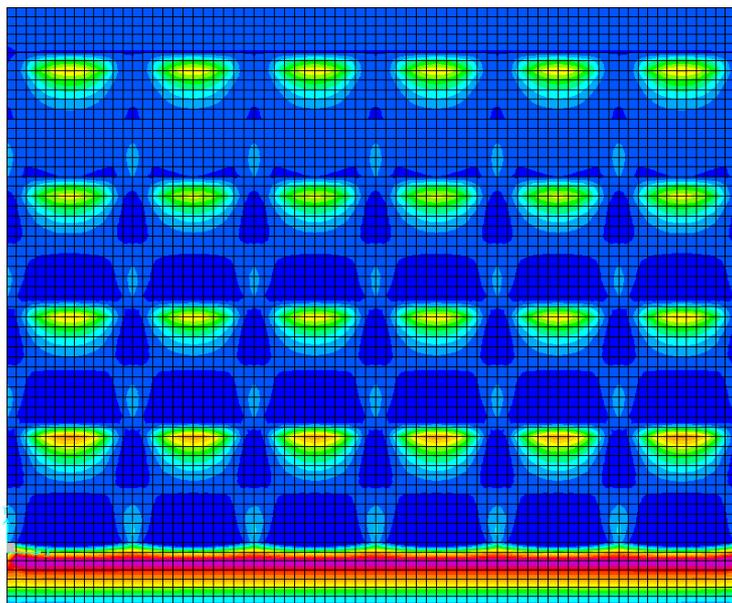
Figura 49 - Solettone di fondazione. Involuppo combinazioni SLU (ECC/STR/SLV) - V13 [kN/m].



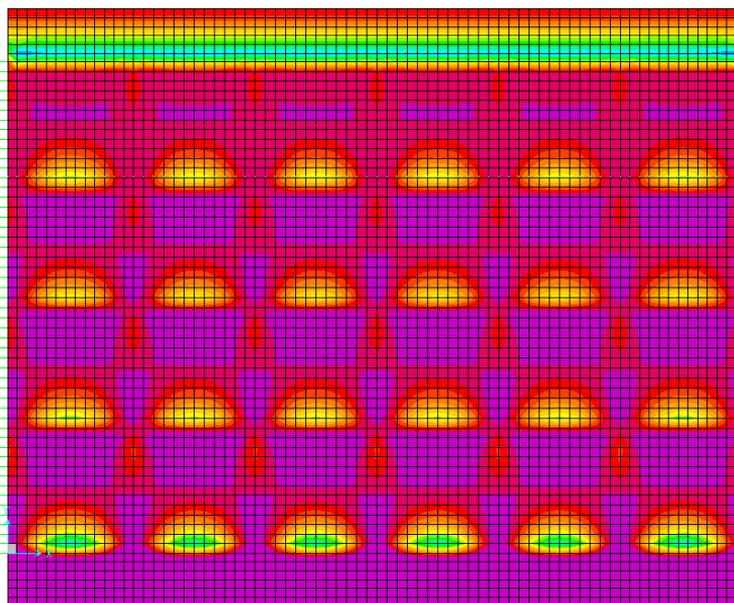
Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-



600 554 508 462 415 369 323 277 231 185 138 92 46 0



0 46 92 138 185 231 277 323 369 415 462 508 554 600

Figura 50 - Solettone di fondazione. Inviluppo combinazioni SLU (ECC/STR/SLV) - V23 [kN/m].



### 7.2.2.5.1 Verifiche a flessione (SLU)

La sezione di verifica è rettangolare avente base  $B = 1,00$  m ed altezza  $H = 0,80$  m.

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm superiore		Arm. inferiore		$M_{ED}$ [kNm]	$M_{RD}$ [kNm]	$M_{RD}/M_{ED}$
					1°	2°	1°	2°			
Direzione Longitudinale	Filo setti trasversali (celle)	$M_{11,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	257	297	1.16
	Filo setti trasversali (celle LM e interne)	$M_{11,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	182	297	1.63
	Campata delle celle	$M_{11,min}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-151	-297	1.97
Direzione Trasversale	Mensola LP (filo parete LP)	$M_{22,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	5 $\Phi$ 20	599	710	1.19
	Mensola LM (filo parete LM)	$M_{22,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	5 $\Phi$ 20	440	710	1.61
	Mensola LP (60 cm da filo parete LP)	$M_{22,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	216	297	1.38
	Mensola LM (60 cm da filo parete LM)	$M_{22,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	188	297	1.58
	Filo setti longitudinali	$M_{22,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	225	297	1.32
	Campata delle celle	$M_{22,min}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-152	-297	1.95

Tabella 31 – Solettone – verifiche a flessione per combinazioni SLU (ECC/STR/SLV)

### 7.2.2.5.2 Verifiche a taglio (SLU)

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza.

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm tesa		$V_{ED}$ [kN]	Arm taglio	$V_{RDclis}$ [kN]	$V_{RSD}$ [kN]	$V_{RCD}$ [kN]	$V_{RD}$ [kN]	$V_{RD}/V_{ED}$ -
					1°	2°							
Direzione Longitudinale	Filo pareti e setti (celle)	$V_{13,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	460	2 file ferri piegati $\Phi$ 16/20	291	632	3120	632	1.37
	80 cm da filo pareti e setti (celle)	$V_{23,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	210	-	291	-	-	291	1.39
Direzione Trasversale	Filo parete (mensola)	$V_{23,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 26	-	715	2 file ferri piegati $\Phi$ 20/20	291	988	3120	988	1.38
	Filo parete e setti (cella)	$V_{23,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	332	2 file ferri piegati $\Phi$ 16/20	291	632	3120	632	1.90
	100 cm da filo parete (mensola e cella)	$V_{23,max}$	1.00	0.80	5 $\Phi$ 16	-	222	-	291	-	-	291	1.31

Tabella 32 – Solettone – verifiche a taglio per combinazioni SLU (ECC/STR/SLV)



### 7.2.2.6 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati dell'analisi numerica inerenti lo stato limite di esercizio del solettone di base.

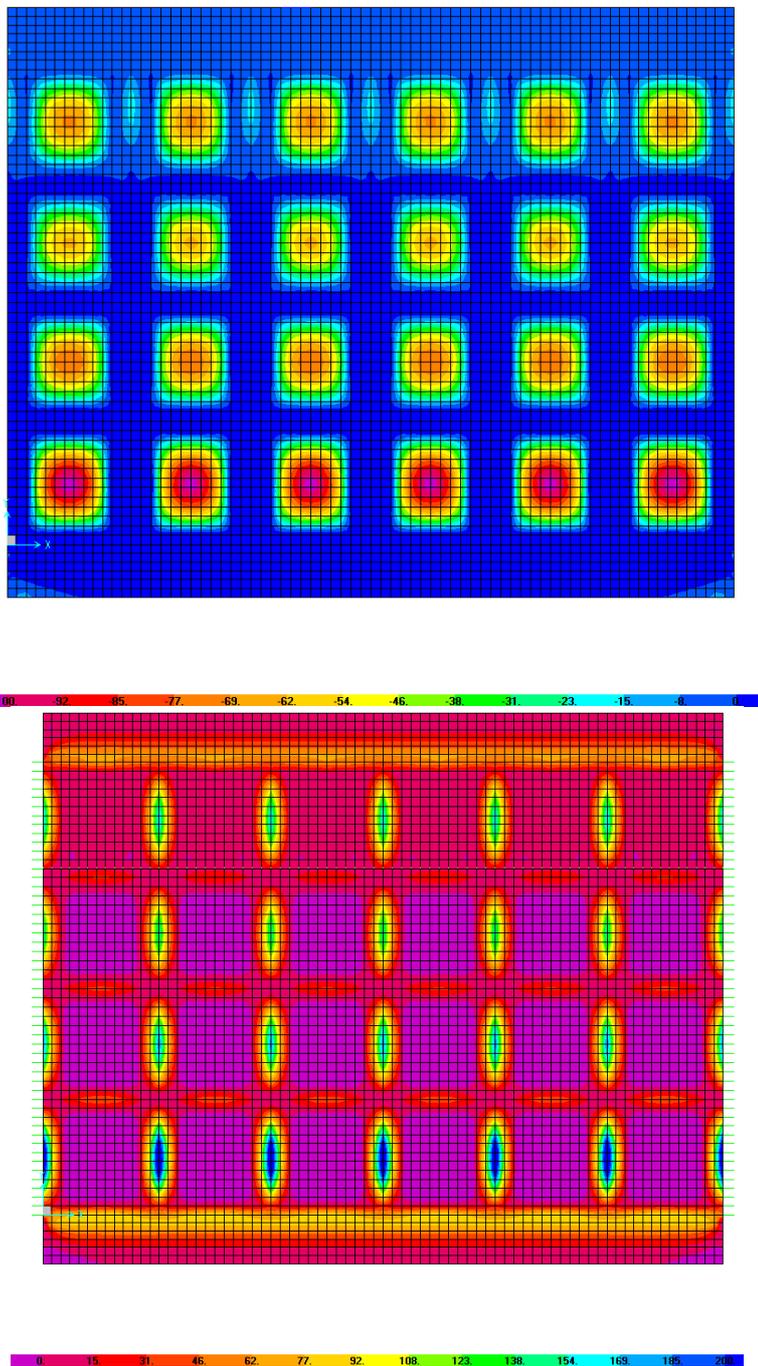


Figura 51 - Solettone di fondazione. Involuppo Comb RARA (SLE) - M11[kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

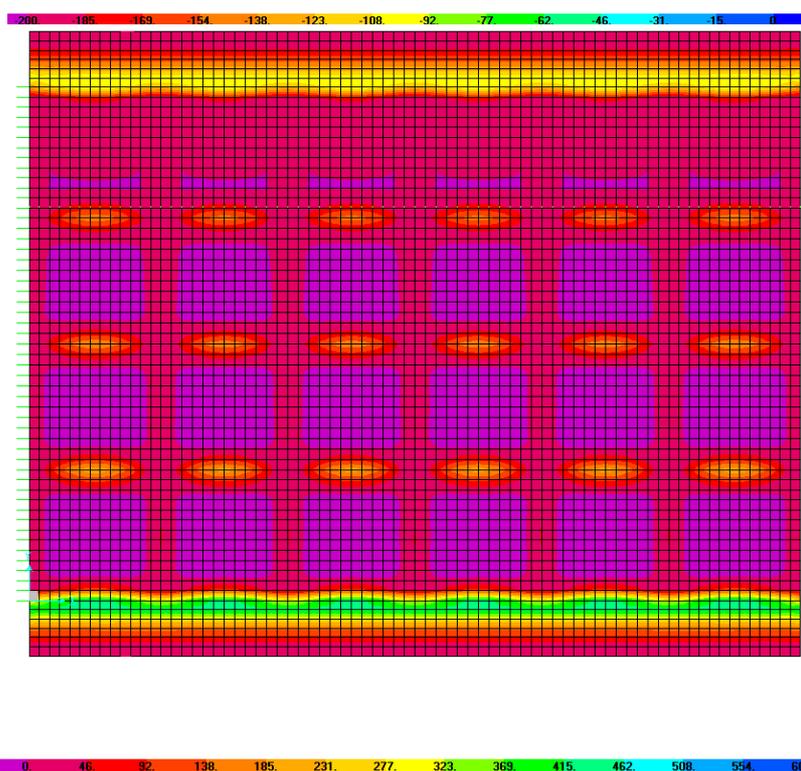
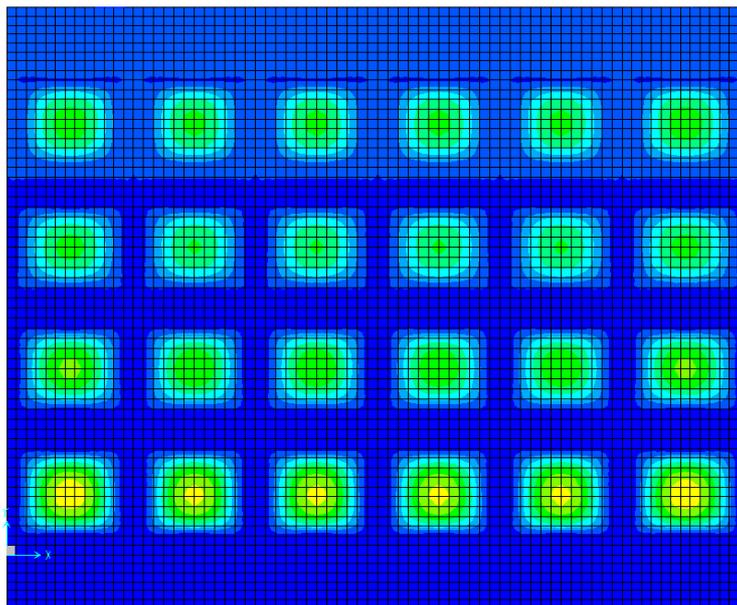


Figura 52 - Solettone di fondazione. Involuppo Comb RARA (SLE) – M22 [kNm/m]

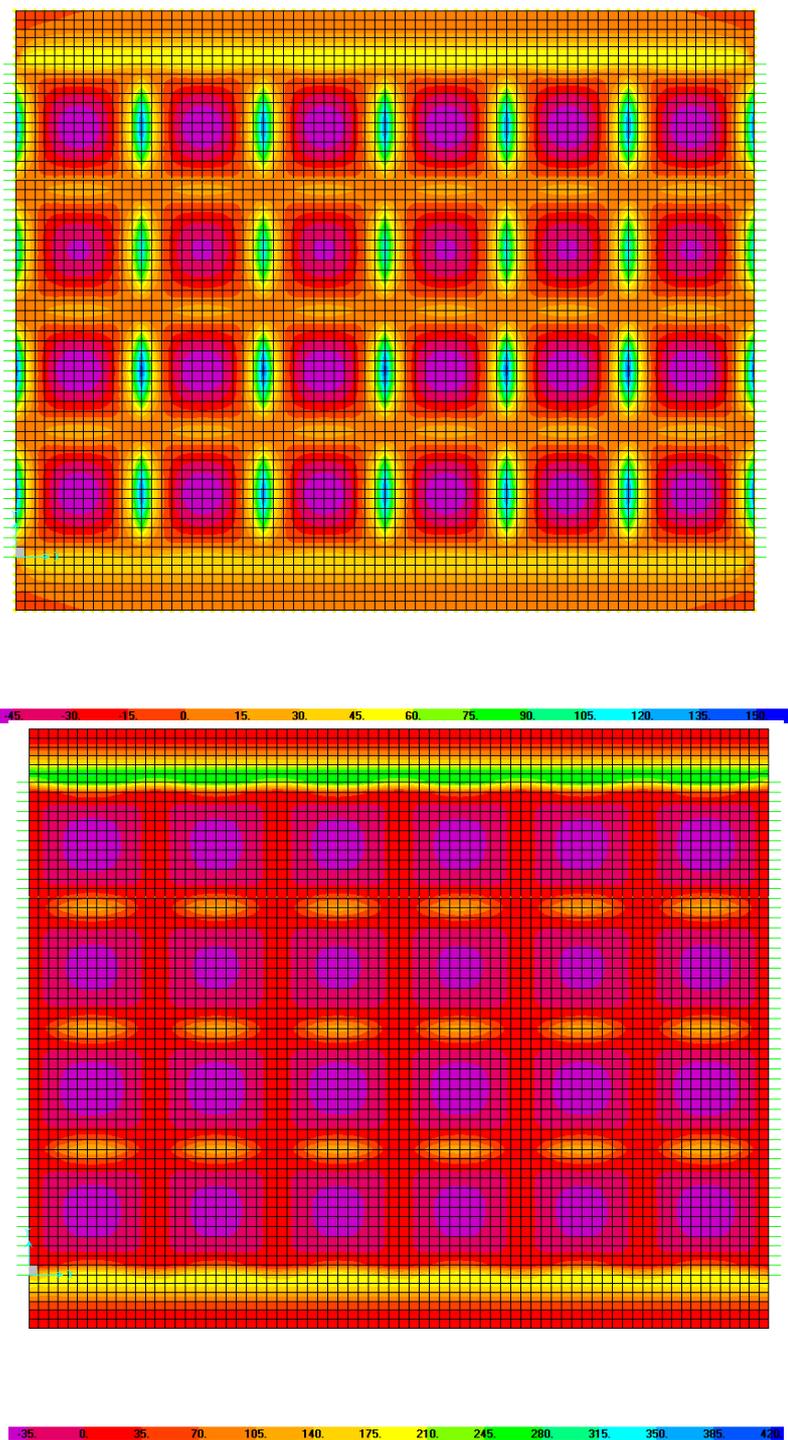


Figura 53 - Solettone di fondazione. Comb FREQUENTE (SLE) -  $M_{11}$  (sopra) e  $M_{22}$  (sotto) [kNm/m]

#### 7.2.2.6.1 Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE)

La sezione di verifica è rettangolare avente base  $B = 1,00$  m ed altezza  $H = 0,80$  m.



Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti per le combinazioni di carico analizzate e le verifiche delle tensioni di esercizio nei materiali (Comb. RARA) ed allo stato limite di formazione delle fessure (Comb. FREQUENTE).

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm superiore		Arm. inferiore		$M_{ED}$	$\sigma_c$	$0,60 f_{ck}$	$\sigma_c < 0,60 f_{ck}$	$\sigma_s$	$0,8 f_{yk}$	$\sigma_s < 0,80 f_{ck}$
				1°	2°	1°	2°							
		[m]	[m]					[kNm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-
Direzione Longitudinale	Cella (filo setto trasv.)	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	172.00	3.29	21.00	ok	250.39	360.00	ok
	Campata cella	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	-103.00	1.97	21.00	ok	149.94	360.00	ok
Direzione Trasversale	Mensola (filo parete)	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	5Φ20	427.00	6.02	21.00	ok	249.30	360.00	ok
	mensola a 80 cm da filo parete e cella a filo pareti	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	180.00	3.44	21.00	ok	262.00	360.00	ok
	Campata cella	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	-104.00	1.99	21.00	ok	151.38	360.00	ok

Tabella 33 – Solettone – verifiche allo SLE

Viene verificato lo stato limite di formazione delle fessure, così come previsto nelle NTC2008 (§4.1.2.2.4.1), considerando la sezione non fessurata (I stadio, a differenza della sezione parzializzata che viene definita al II stadio) e specificando la verifica per sollecitazioni derivanti da flessione, verificando pertanto che la tensione al lembo teso del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}/1,2$ .

SLE - Comb. FREQUENTE		B	H	Arm superiore		Arm. inferiore		Tensioni I stadio				
				1°	2°	1°	2°	$M_{ED}$	$\sigma_{c, traz}$	$f_{ctm}/1,2$	$\sigma_{c, traz} < f_{ctm}/1,2$	
		[m]	[m]						[kNm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-
Direzione Longitudinale	Cella (filo setto trasv.)	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	102.00	0.86	3.35	ok	
	Campata cella	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	-57.00	0.48	3.35	ok	
Direzione Trasversale	Mensola (filo parete)	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	5Φ20	281.00	2.37	3.35	ok	
	mensola a 80 cm da filo parete e cella a filo pareti	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	114.00	0.96	3.35	ok	
	Campata cella	1.00	0.8	5Φ16	-	5Φ16	-	-57.00	0.48	3.35	ok	

Tabella 34 – Solettone – verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

## 7.3 Fusto e sovrastruttura

### 7.3.1 Verifiche per situazioni transitorie

#### 7.3.1.1 Setti

Per le pareti interne dei cassoni sono state prese in esame le situazioni transitorie relative alle fasi di zavorramento per il trasporto in galleggiamento e per l'affondamento.



### 7.3.1.1.1 Analisi dei carichi

E' stato ipotizzato, durante la fase di zavorramento, un dislivello massimo di livello idrico tra celle contigue pari a 1,50 m:

- la quota del riempimento a destra è il livello del mare; conseguentemente la massima pressione da destra in corrispondenza del fondo della cella, posto alla profondità di 11,20 m, è pari a  $10,10 \cdot 11,20 = 113,12 \text{ kN/m}^2$ ;
- la quota del riempimento a sinistra è di -1,50 m; conseguentemente la massima pressione da sinistra in corrispondenza del fondo della cella, posto alla profondità di 11,20 m, è pari a  $10,10 \cdot (11,20 - 1,50) = 97,97 \text{ kN/m}^2$ .

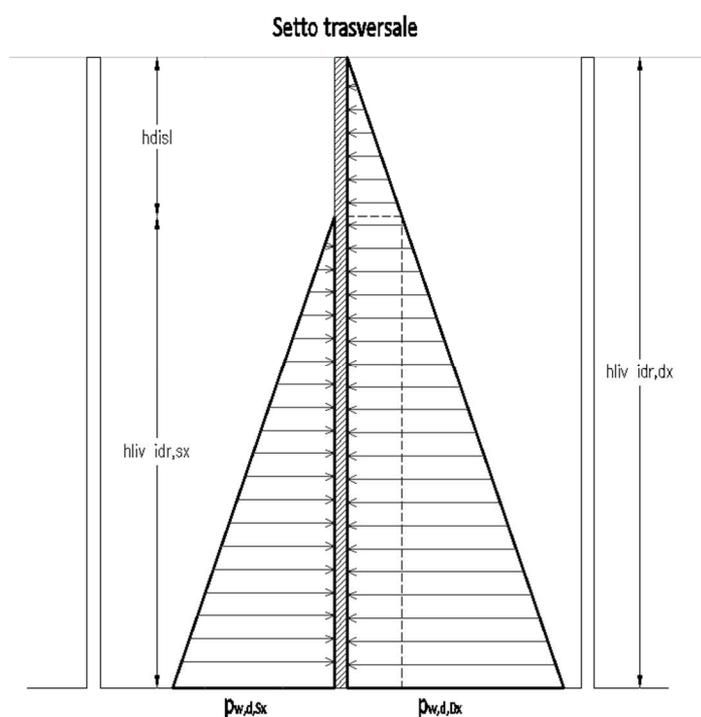


Figura 54 – Schema di carico del setto– Fase Provvisoria.

### 7.3.1.1.2 Combinazioni di carico

Combinazioni allo stato limite ultimo (STR-PROV) per la verifica del raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

- PROV - Combinazione n. 1:
  - $\gamma_g \times$  Spinta idrostatica del livello idrico lato Dx
  - $\gamma_g \times$  Spinta idrostatica del livello idrico lato Sx

con:

$\gamma_g = 1.3$  - coefficiente parziale per i carichi permanenti (STR).



### *7.3.1.1.3 Setti longitudinali – Verifiche agli stati limite ultimi*

Poiché le celle sono quadrate, la verifica viene fatta soltanto sul setto longitudinale lato porto, di spessore pari a 0,25 m.

Sono stati realizzati due modelli di calcolo, definiti nello spazio bidimensionale con elementi tipo piastra:

- nel primo è modellata esclusivamente una cella di bordo, i vincoli con gli elementi ortogonali sono di incastro su un lato e appoggio sull'altro lato, mentre i vincoli con il solettone sono modellati come incastri; in tal modo si ottengono le sollecitazioni più sfavorevoli agli attacchi con gli elementi ortogonali;
- nel secondo è modellata esclusivamente una cella interna, i vincoli sono di appoggio in corrispondenza delle linee mediane dei setti ortogonali e di incastro in corrispondenza della sezione di attacco al solettone di base; in tal modo si ottengono le sollecitazioni più sfavorevoli nella mezzeria delle celle.

Le sollecitazioni di verifica sono le massime tra i due modelli.

Nelle figure seguenti si riportano i modelli di calcolo ed i risultati dell'analisi numerica. A sinistra sono riportate le immagini del primo modello, a destra quelle del secondo modello.

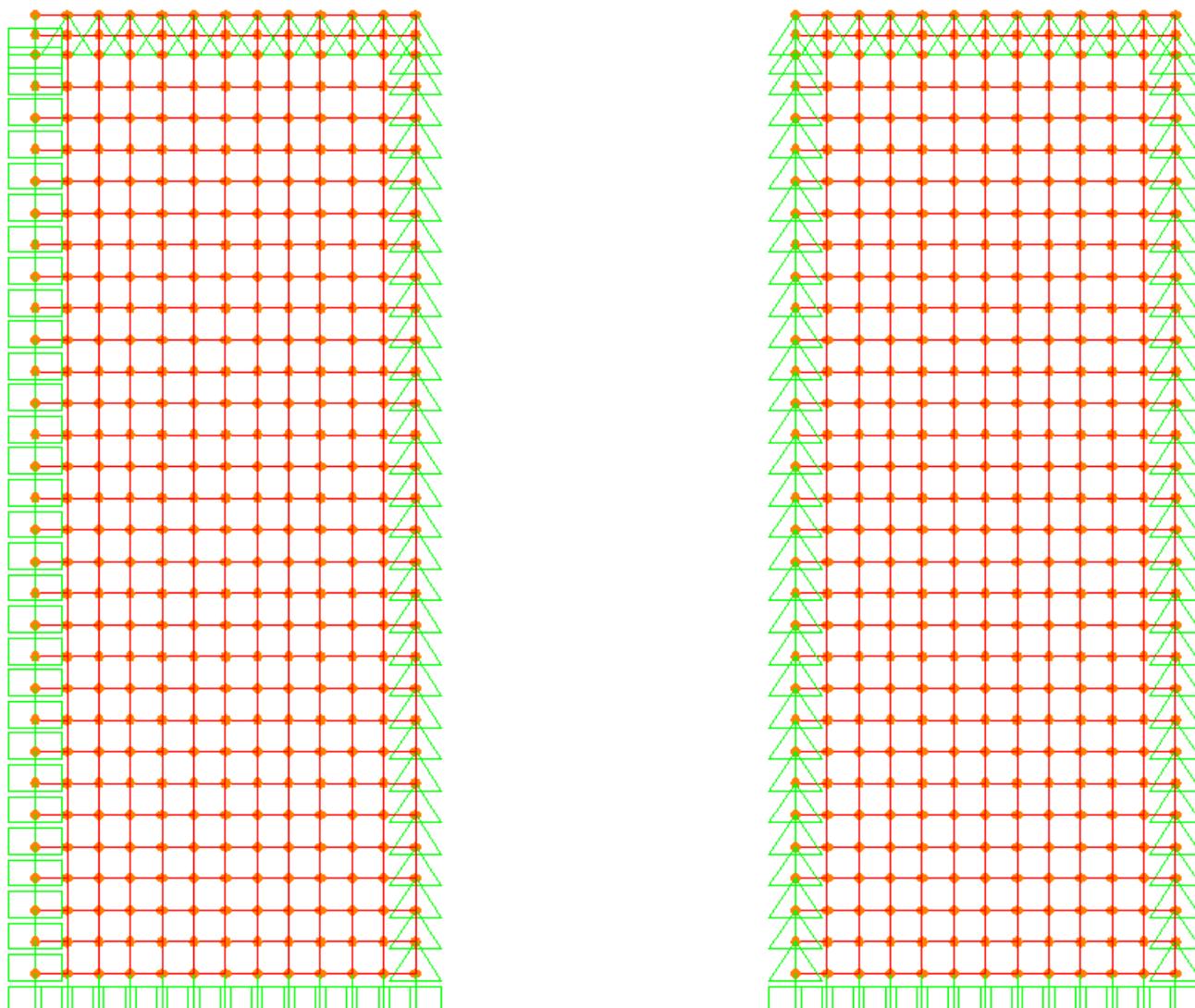


Figura 55 – Modello di calcolo dei setti. Fase provvisoria.

Si riportano di seguito gli schemi di carico e gli involuipi delle sollecitazioni relative alle combinazioni in fase provvisoria del setto longitudinale.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

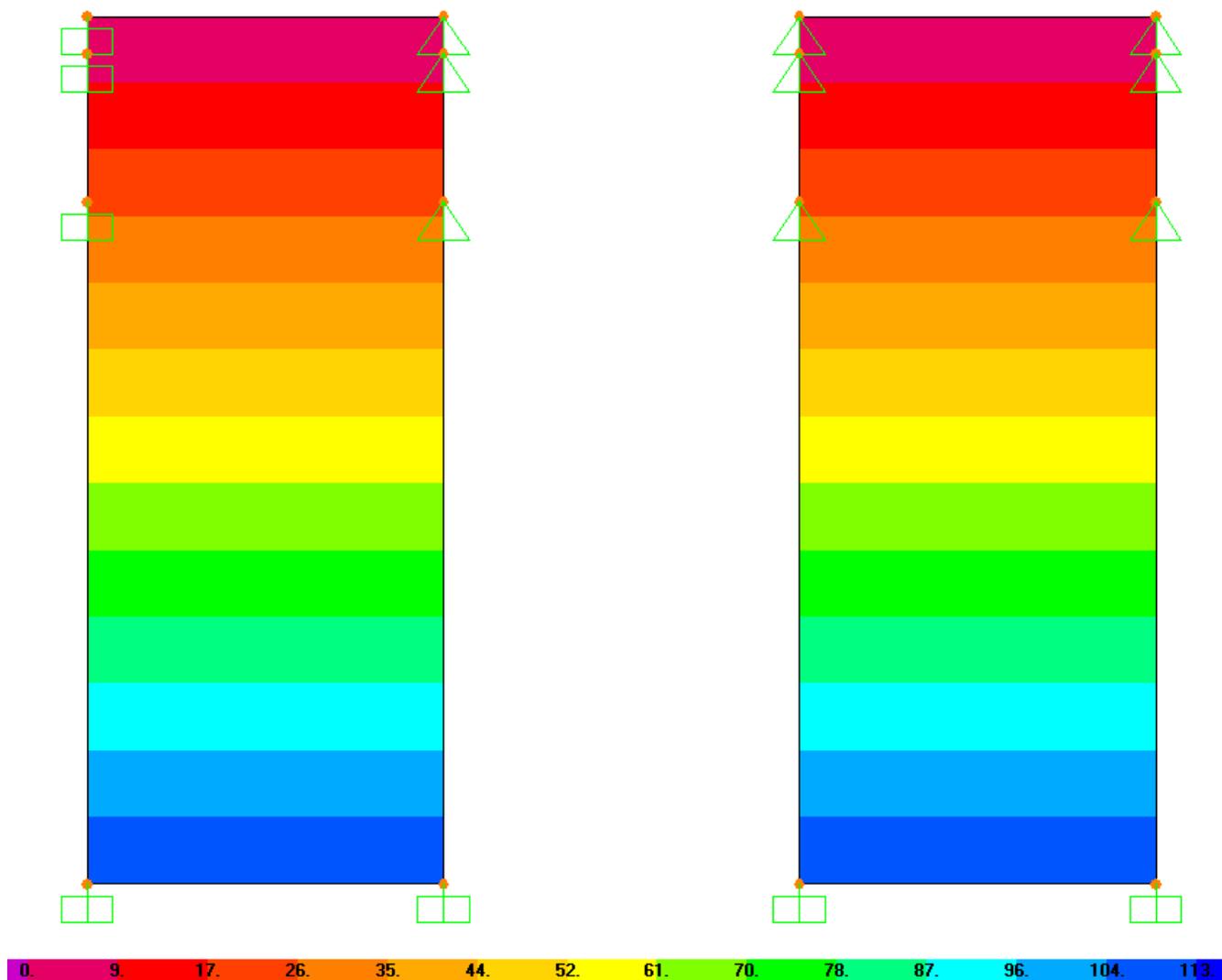


Figura 56 – Schema di carico. Spinta idrostatica della zavorra lato Dx [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

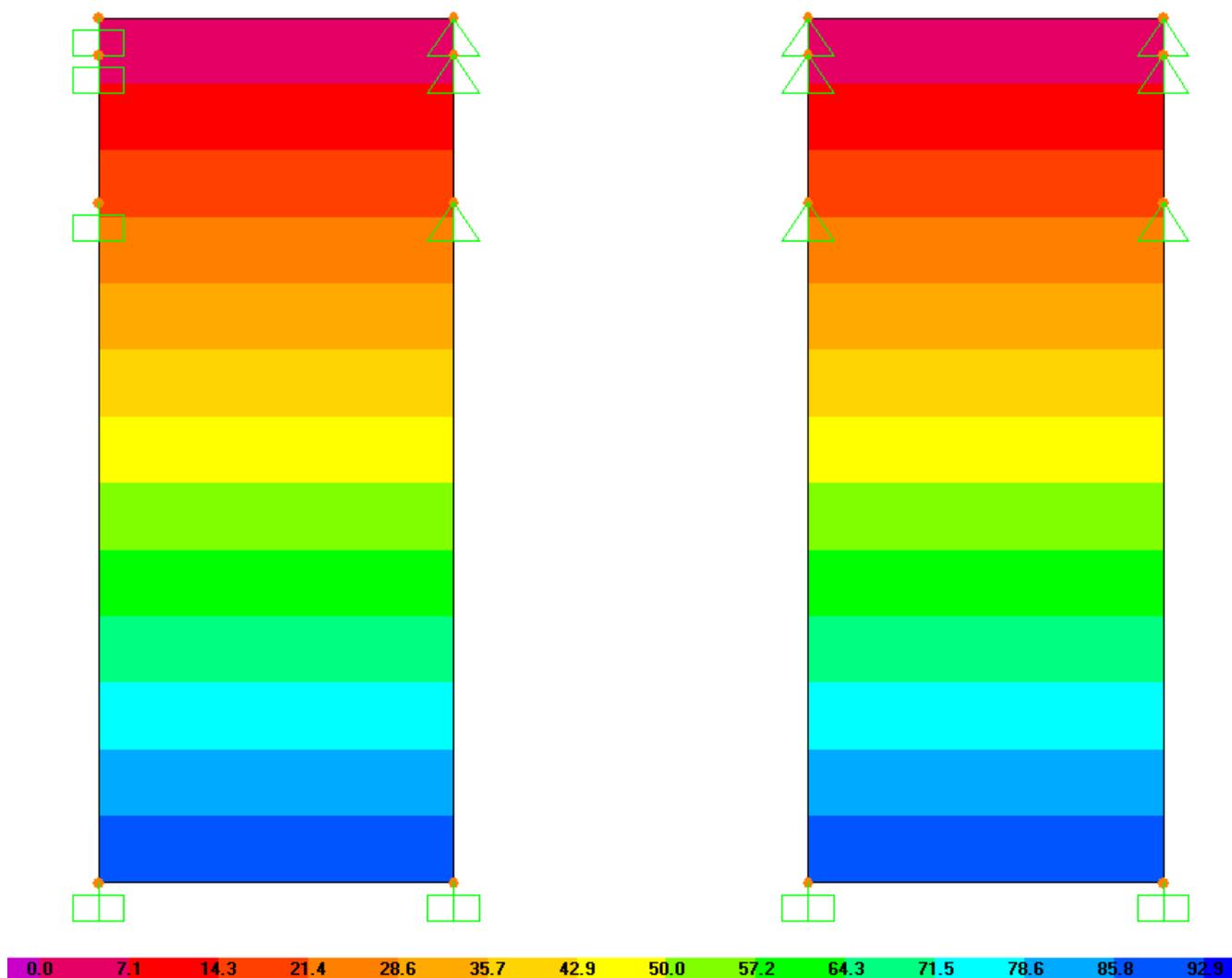


Figura 57 – Schema di carico. Spinta idrostatica della zavorra lato  $S_x$  [ $\text{kN/m}^2$ ].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

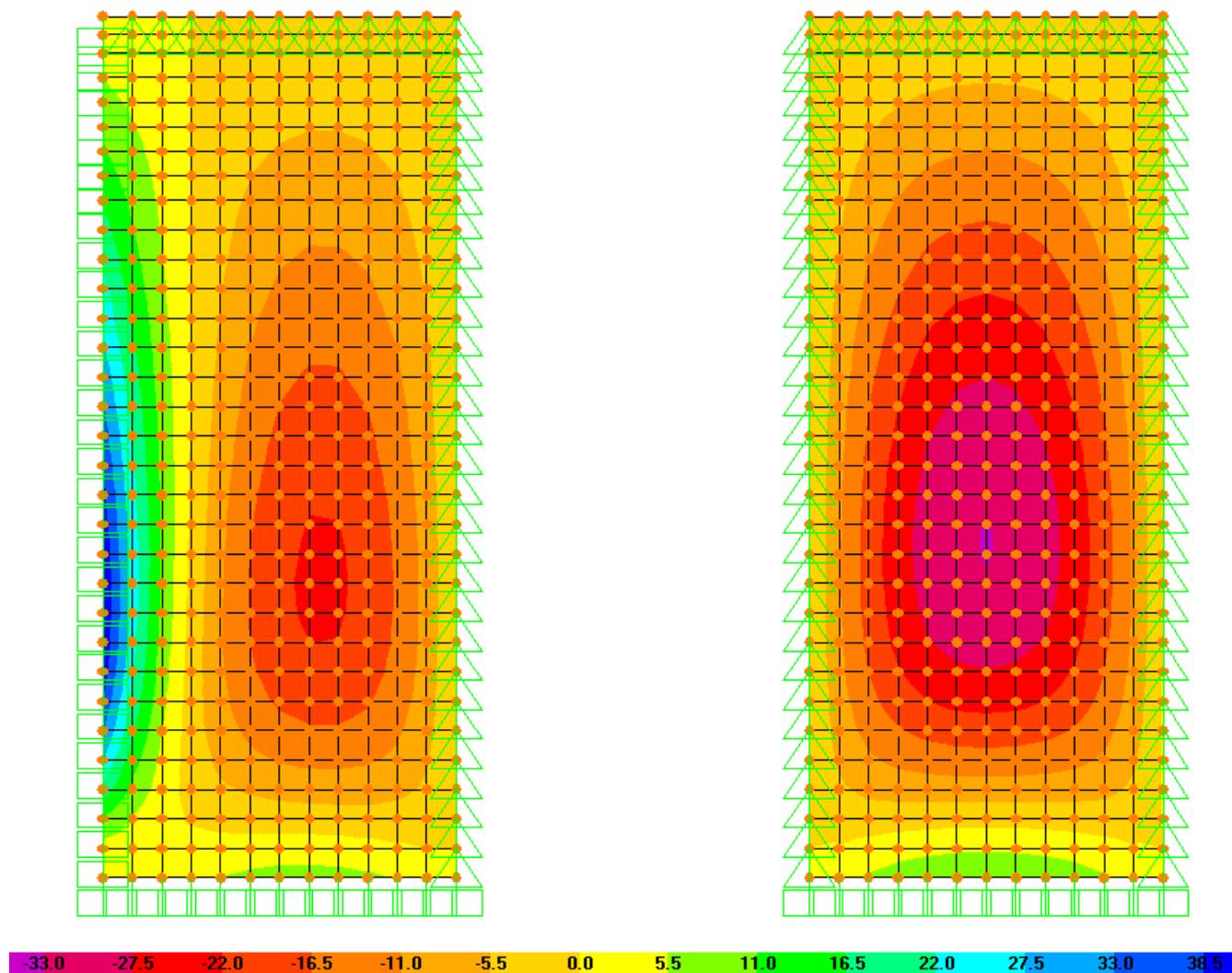


Figura 58 – Setti. Comb PROV (SLU) -  $M_{11}$  [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

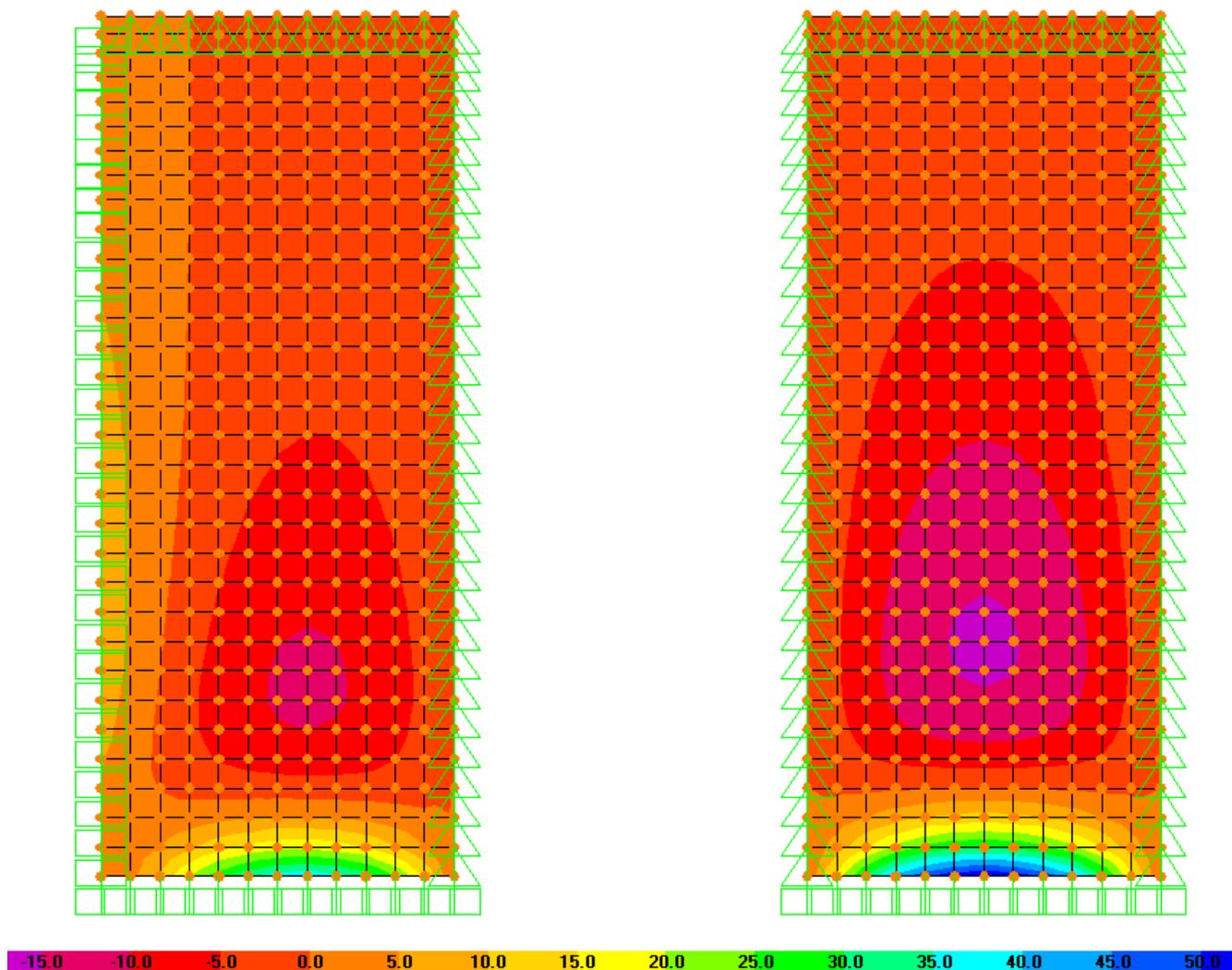


Figura 59 – Setti. Comb PROV (SLU) - M22 [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

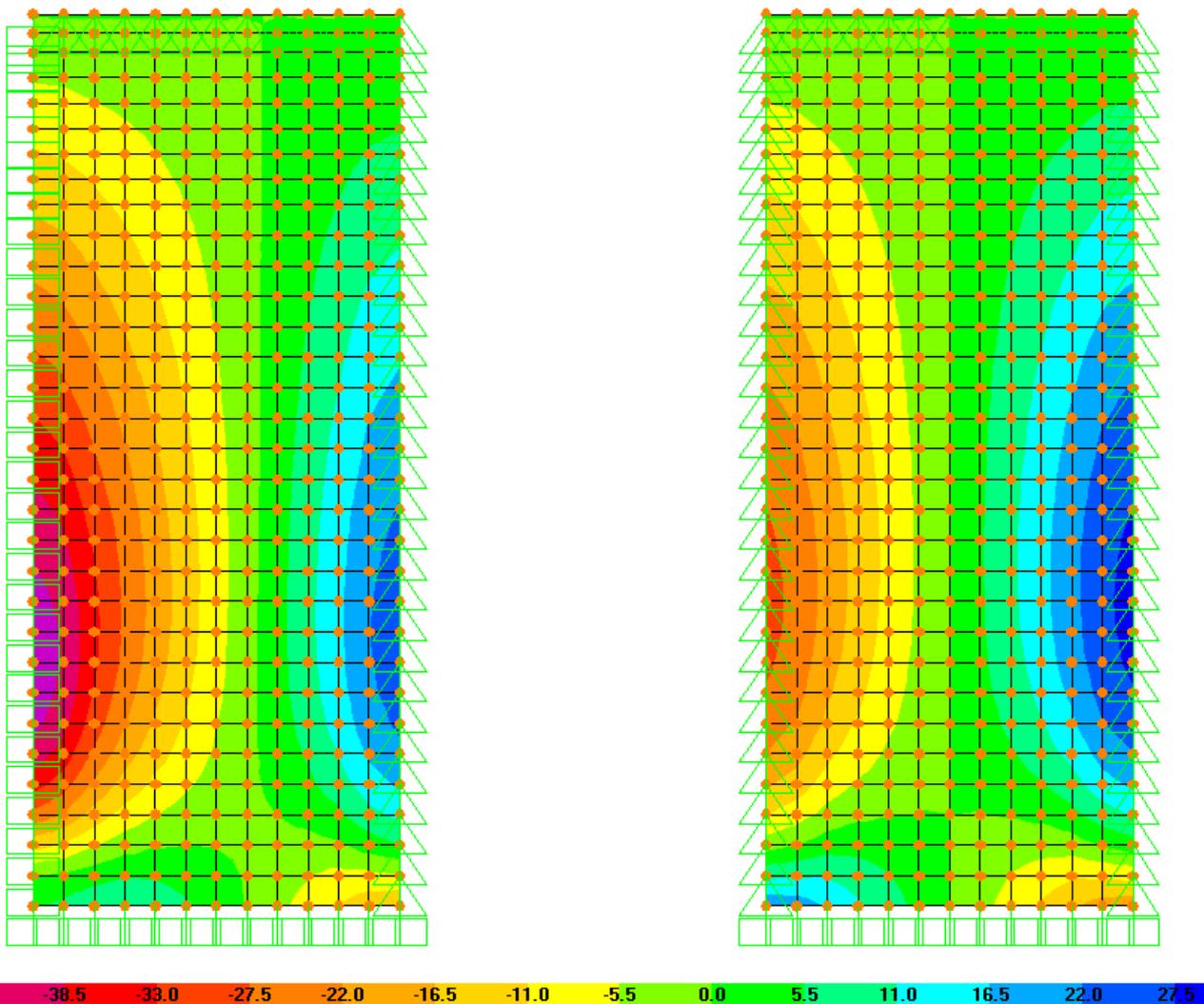


Figura 60 – Setti. Comb PROV (SLU) - V13 [kN/m].

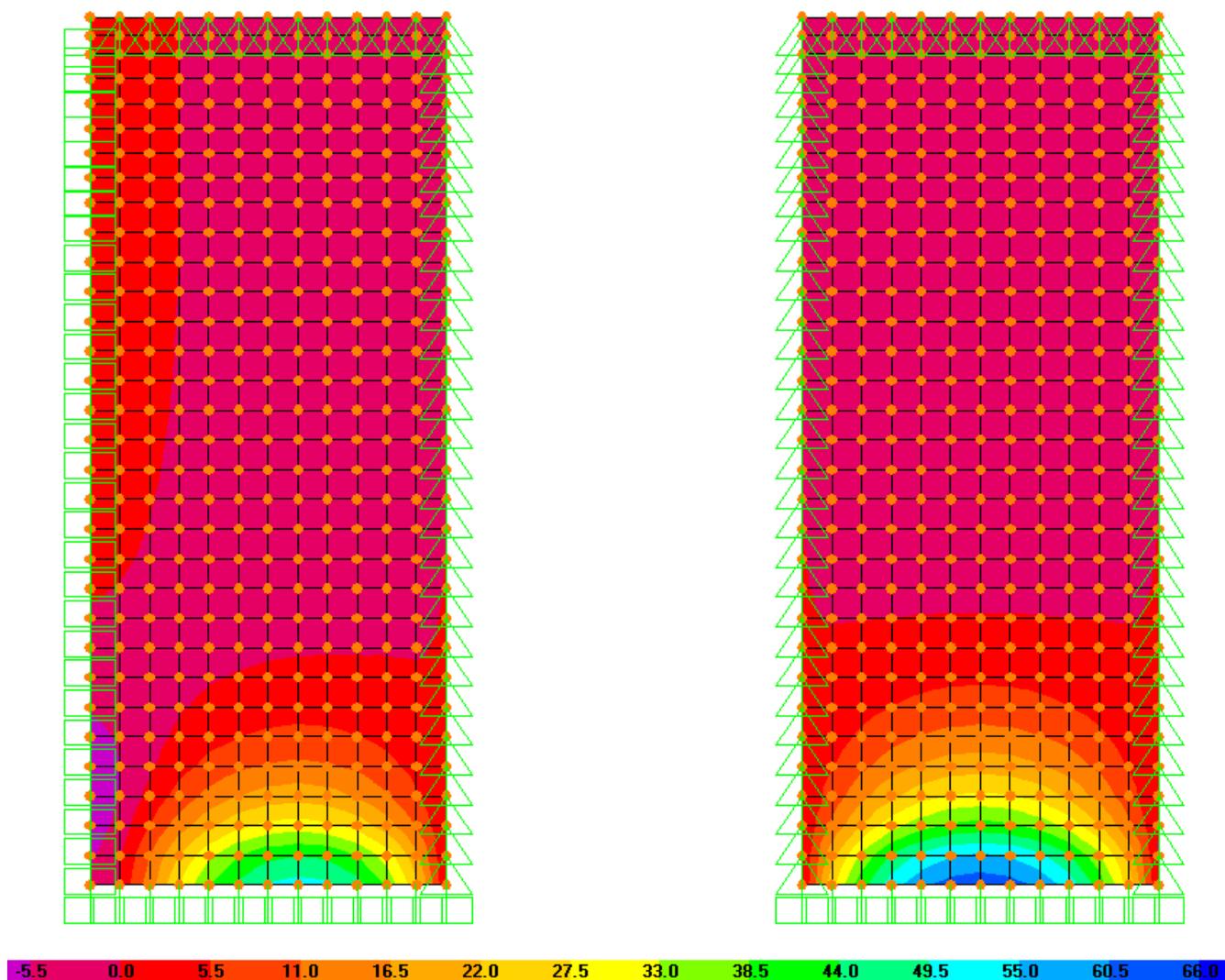


Figura 61 – Setti. Comb PROV (SLU) - V23 [kN/m].

#### 7.3.1.1.3.1 Verifiche a flessione (SLU)

La sezione di verifica è rettangolare avente base  $B = 1,00$  m ed altezza  $H = 0,25$  m.

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.



SLU - STR/SLV			B [m]	H [m]	Arm. interna		Arm. Esterna		M <sub>ED</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub>
					1°	2°	1°	2°			
Direzione Orizzontale	Filo elementi trasversali	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	5ϕ14	-	43.00	66.00	1.53
	Campata	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	5ϕ14	-	-33.00	-66.00	2.00
Direzione Verticale	Filo solettone	M <sub>22,max</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	5ϕ14	-	54.00	66.00	1.22
	Campata	M <sub>22,min</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	5ϕ14	-	-16.00	-66.00	4.13

Tabella 35 – Setti - Verifiche a flessione in fase transitoria

### 7.3.1.1.3.2 Verifiche a taglio (SLU)

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio e le rispettive verifiche di resistenza.

SLU			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub>
					1°	2°							
Direzione Orizzontale	Filo setti e pareti trasversali	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	48	-	106	-	-	106	2.21
Direzione Verticale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.25	5ϕ14	-	64	-	106	-	-	106	1.66

Tabella 36 – Setti - Verifiche a taglio in fase transitoria

### 7.3.1.2 Pareti esterne

Le pareti dei cassoni oggetto di verifica sono le pareti trasversali, la parete longitudinale LP e la parete longitudinale LM; le situazioni transitorie sono quelle relative alla fase di trasporto in galleggiamento ed alla fase di affondamento.

#### 7.3.1.2.1 Analisi dei carichi

Le azioni agenti sono la pressione idrostatica esterna e quella interna dovuta alla zavorra di acqua, con un diagramma risultante di tipo trapezoidale. La quota di immersione dall'intradosso del solettone di fondazione in fase di galleggiamento è pari a -9,76 m s.l.m.m., mentre in fase di affondamento è pari a -12,00 m s.l.m.m. L'altezza della zavorra in fase di galleggiamento è pari a 2,05 m, mentre quella in fase di affondamento è pari a 4,82 m.

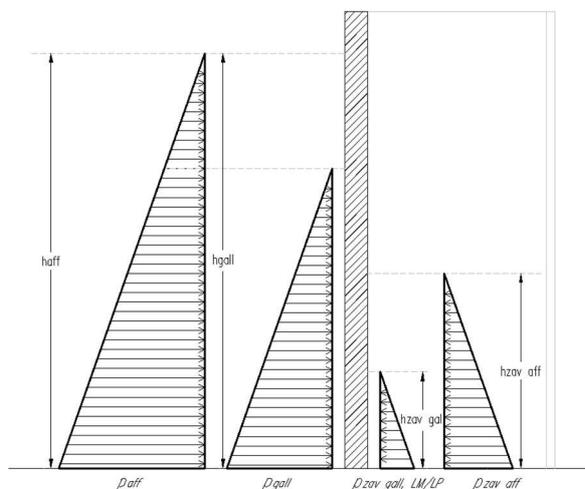


Figura 62 –Schema di carico – Fase Provvisoria.

#### 7.3.1.2.2 Combinazioni di carico

Combinazioni allo stato limite ultimo (STR-PROV) per la verifica del raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

- PROV - Combinazione n. 1:
  - $\gamma_g \times$  Spinte idrostatiche - Fase di galleggiamento
- PROV - Combinazione n. 2:
  - $\gamma_g \times$  Spinte idrostatiche - Fase di affondamento

con:

$\gamma_g = 1,3$  - coefficiente parziale per i carichi permanenti (STR).

#### 7.3.1.2.3 Verifiche agli stati limite ultimi

Le verifiche strutturali sono state condotte secondo il seguente modello di calcolo, definito nello spazio tridimensionale con elementi tipo piastra; i vincoli sono di incastro all'attacco con il solettone.

Sono stati impiegati elementi finiti bidimensionali di tipo Shell-Thick, in accordo alla Teoria delle piastre di Mindlin/Reissner, che comprende anche gli effetti della deformazione di taglio trasversale. Gli elementi sono stati discretizzati secondo una mesh con dimensione massima del lato di ogni elemento generato pari al massimo a 0.40 m.

Il sistema di riferimento ha origine nello spigolo lato porto/lato testata alla quota di attacco con il solettone, con asse x in direzione longitudinale, asse y in direzione trasversale e asse z verticale.

Nelle figure seguenti si riportano il modello di calcolo e gli schemi di carico.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

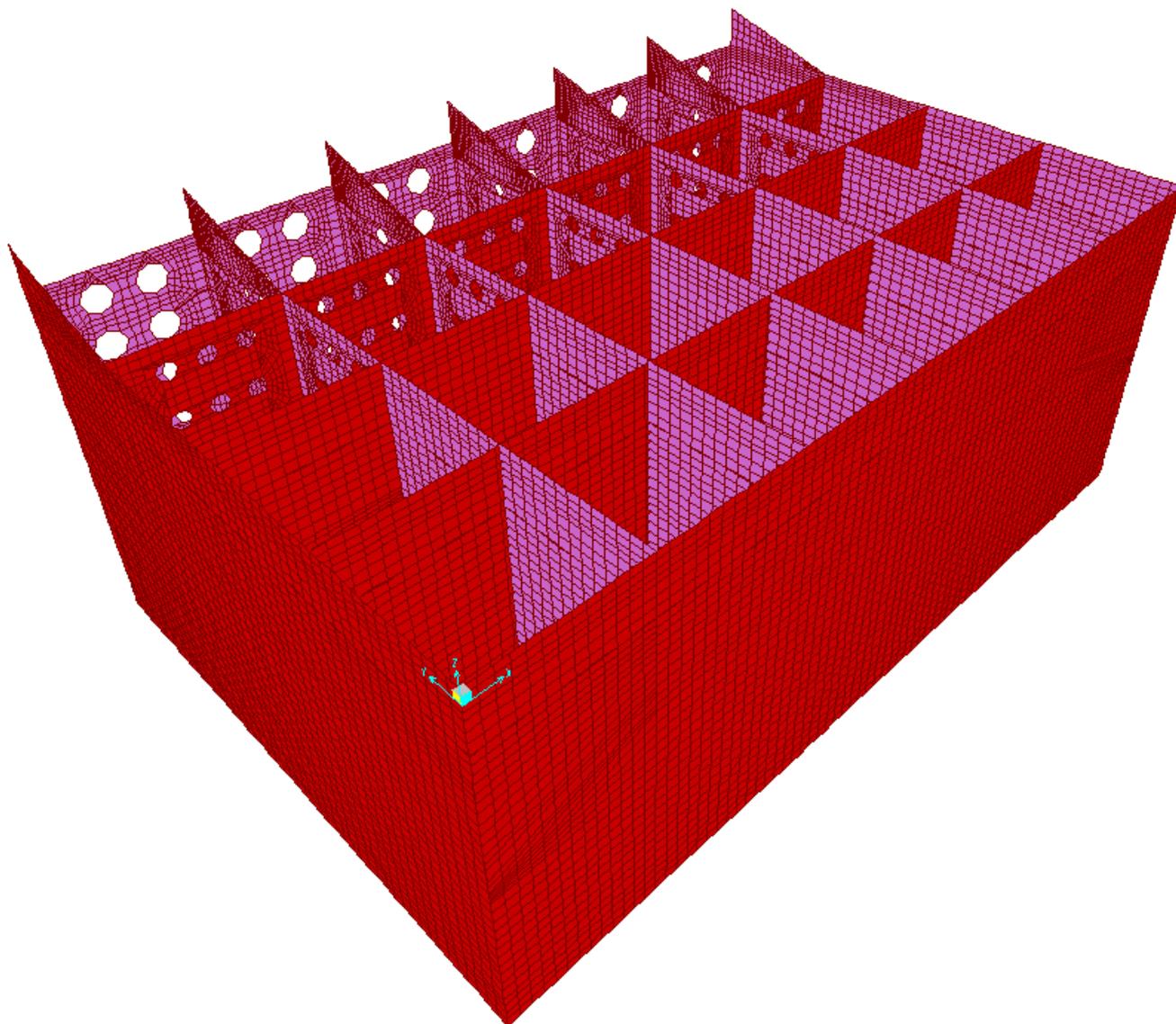


Figura 63 - Fusto. Modello di calcolo - Fase Provvisoria – vista 1

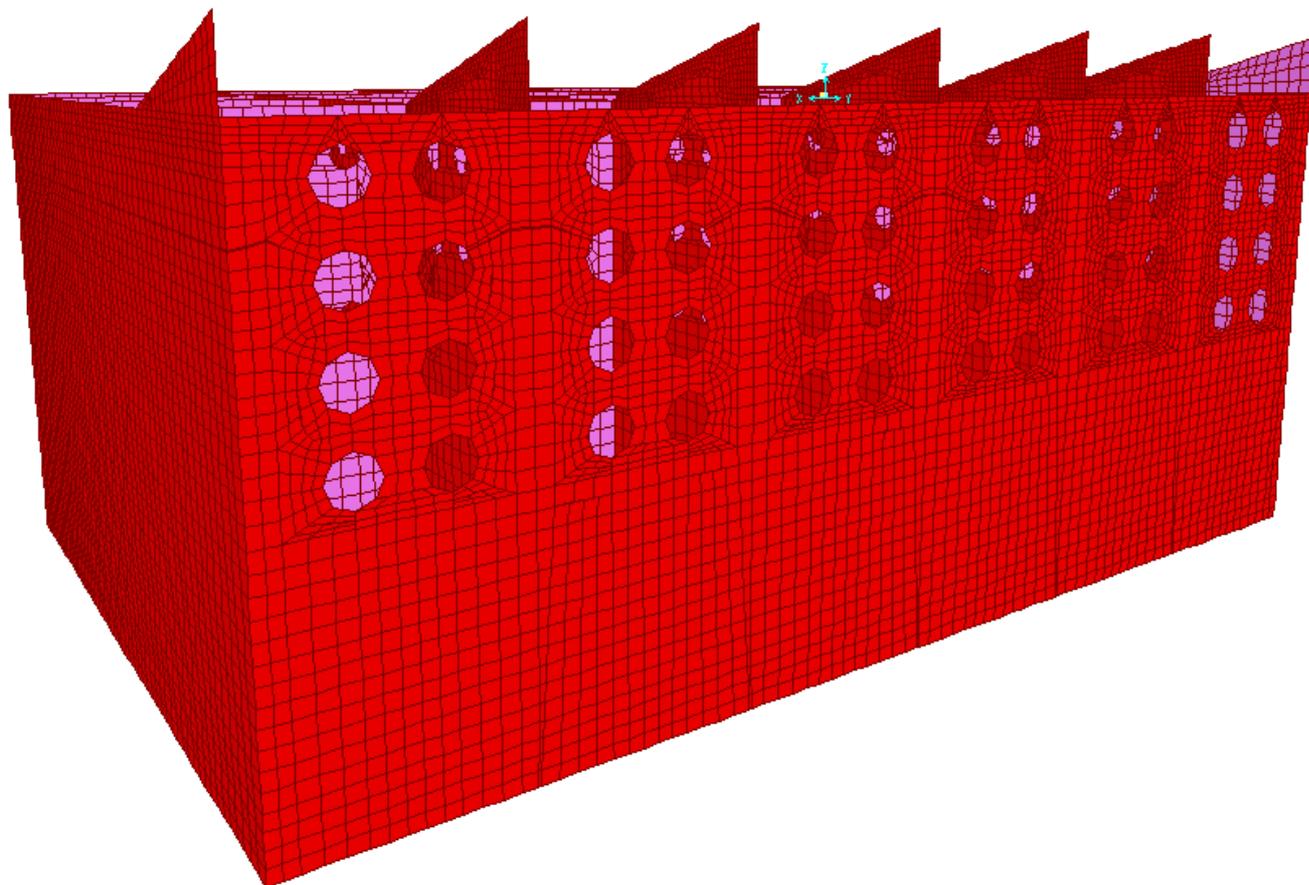


Figura 64 - Fusto. Modello di calcolo - Fase Provvisoria – vista 2

Per maggiore semplicità, nelle seguenti figure vengono nascosti i setti longitudinali e trasversali.

Le pressioni massime alla base delle pareti riportate nei diagrammi che seguono sono riferite alla mezzeria del solettone.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

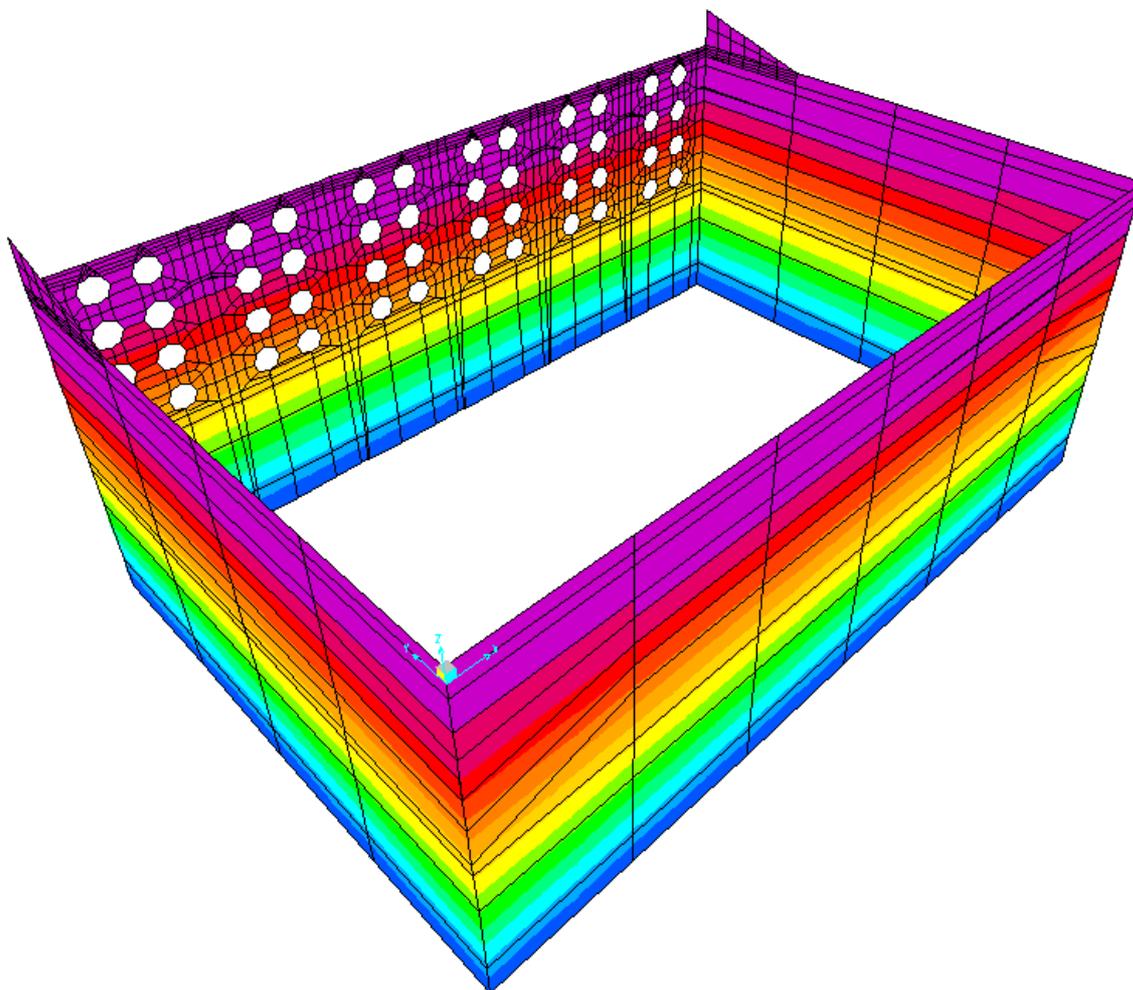


Figura 65 – Schema di carico. Spinta idrostatica in fase di galleggiamento [kN/m<sup>2</sup>] (dall'esterno verso l'interno).

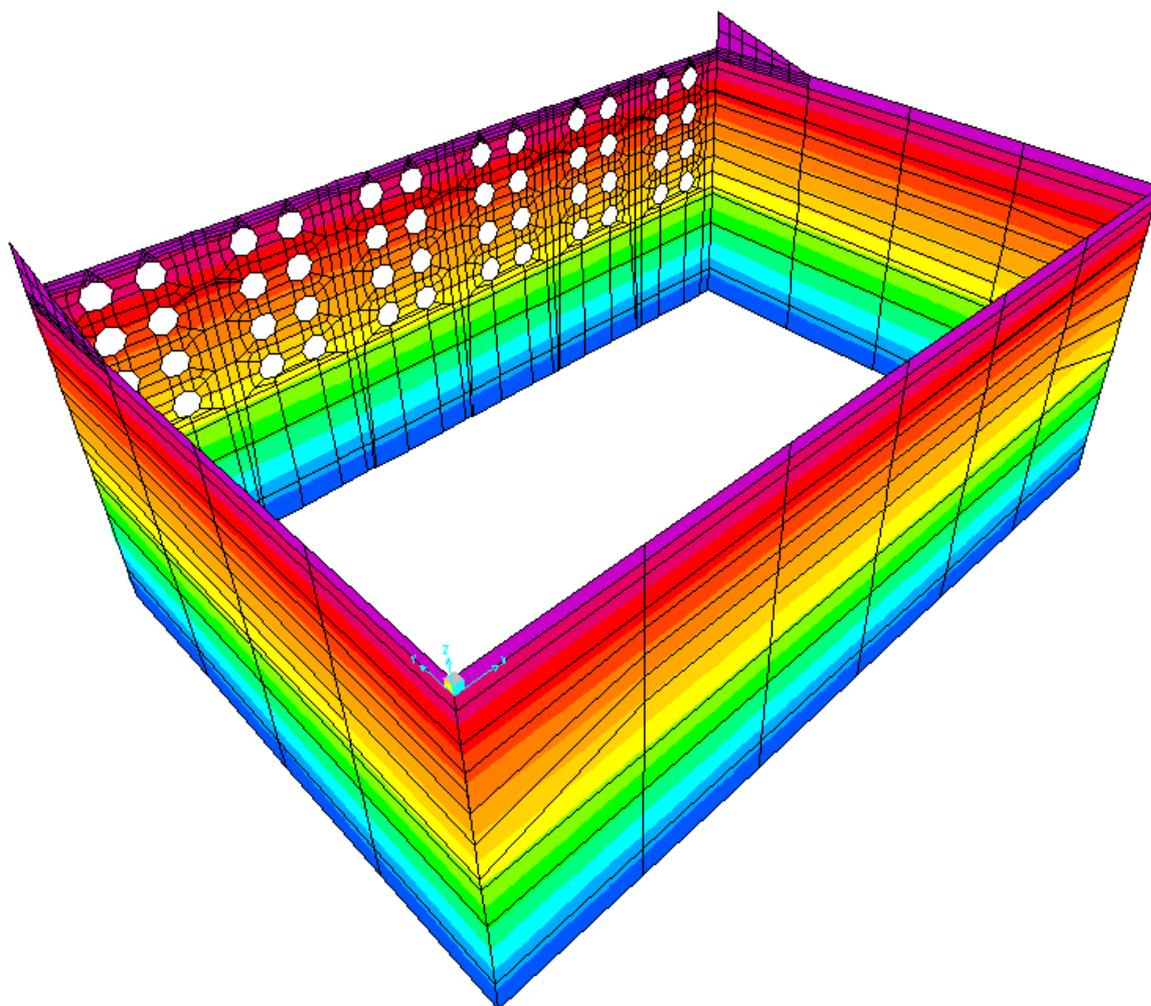


Figura 66 – Schema di carico. Spinta idrostatica in fase di affondamento  $[kN/m^2]$  (dall'esterno verso l'interno).



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

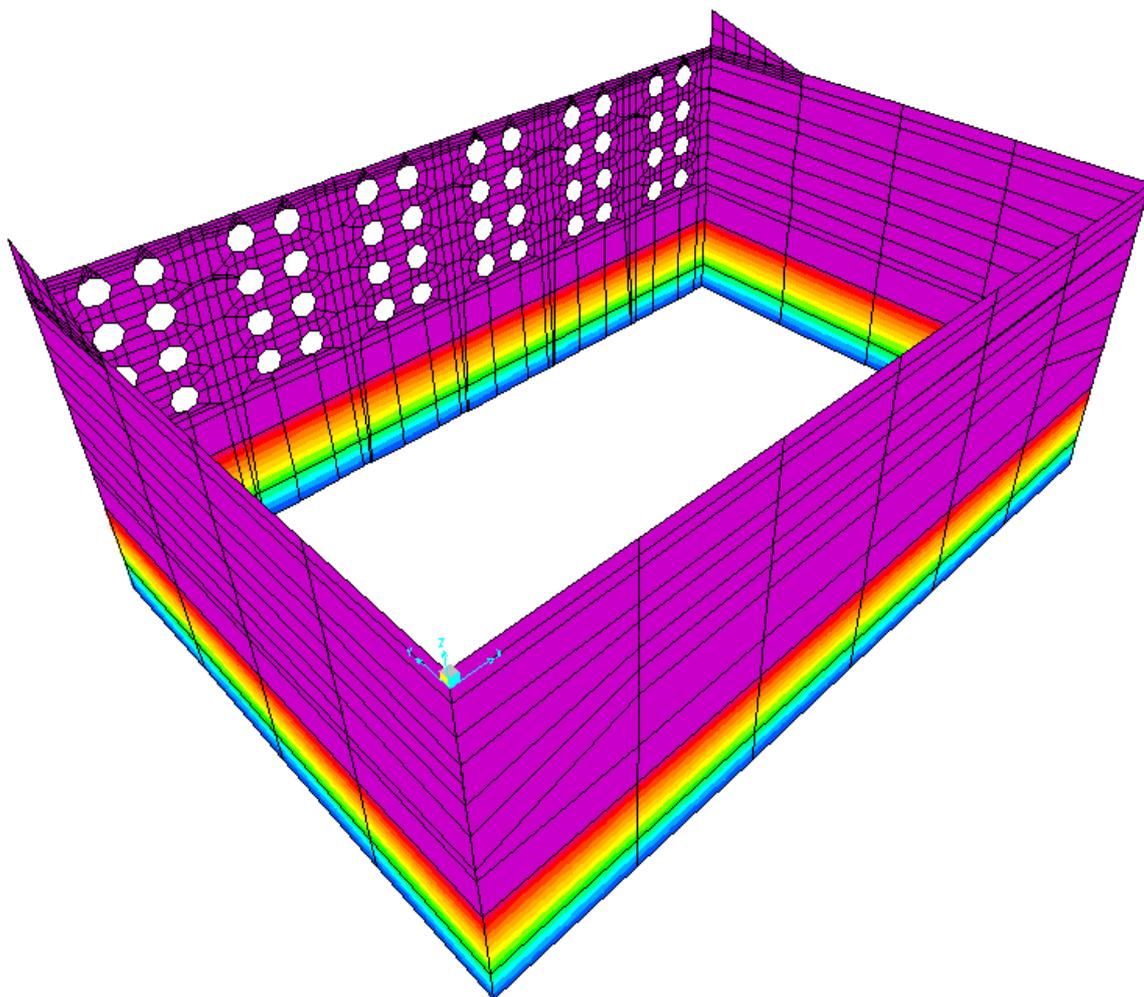


Figura 67 – Schema di carico. Spinta idrostatica della zavorra in fase di galleggiamento [ $kN/m^2$ ]  
(dall'interno verso l'esterno).

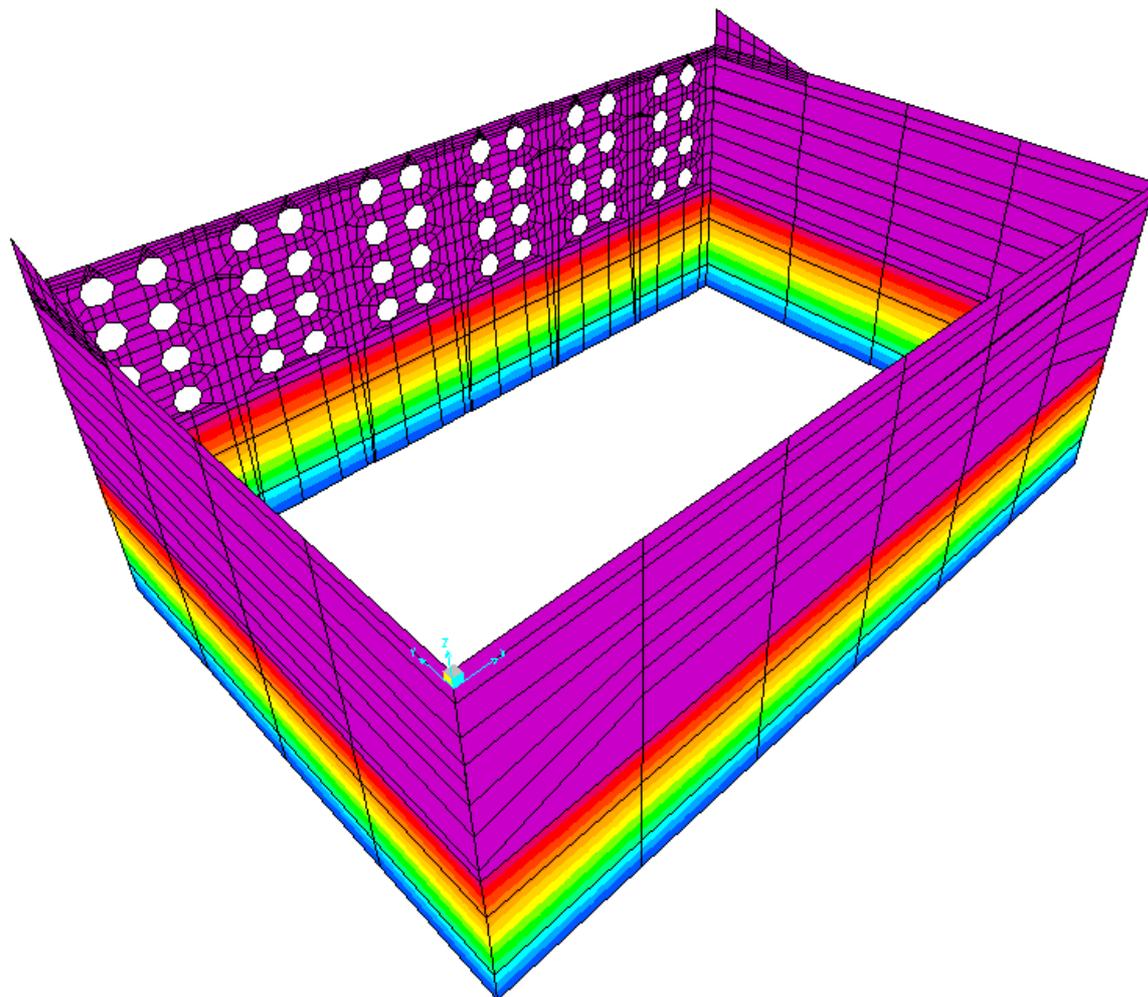


Figura 68 – Schema di carico. Spinta idrostatica della zavorra in fase di affondamento [kN/m<sup>2</sup>]  
(dall'interno verso l'esterno).

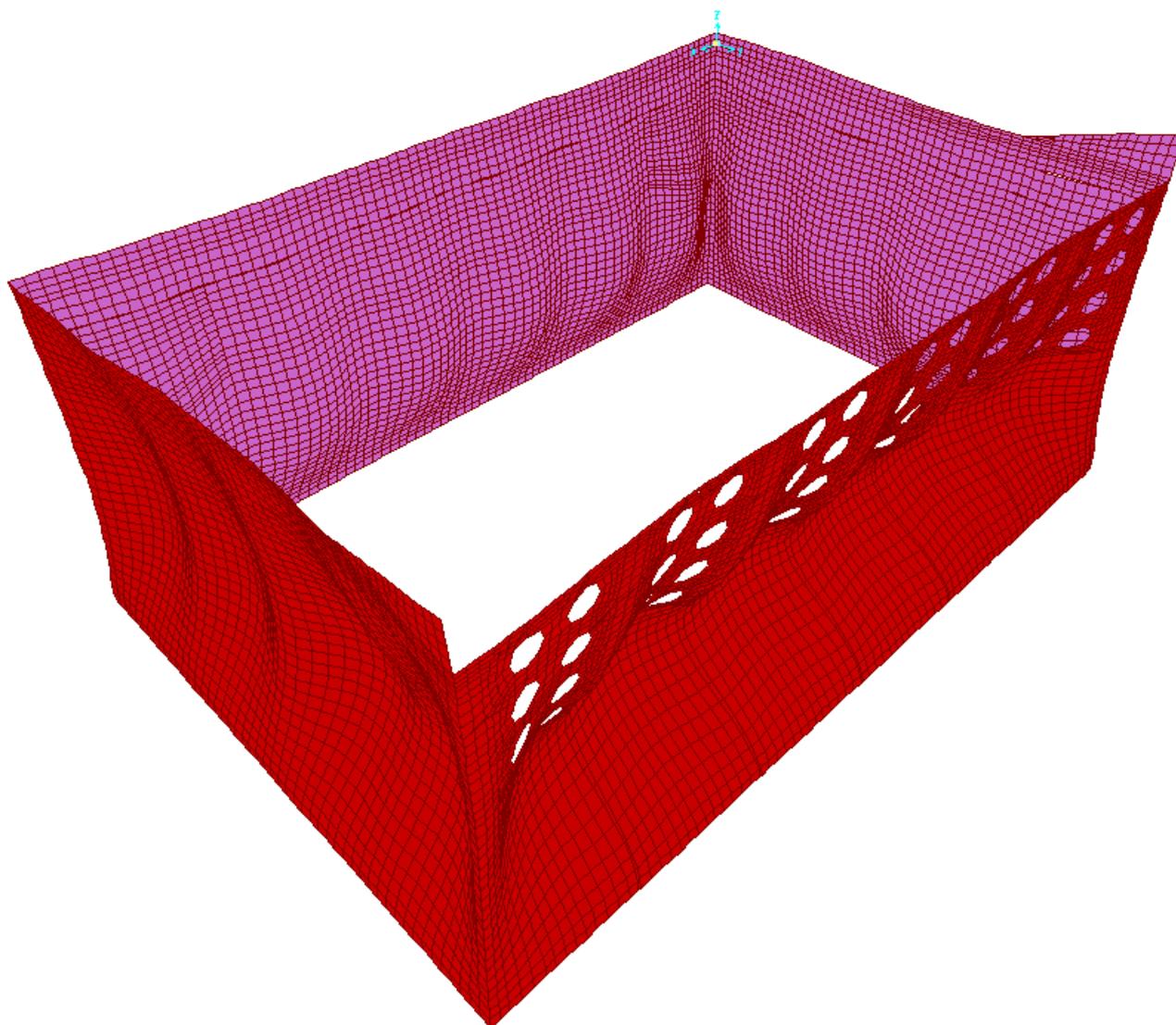


Figura 69 – Pareti. Deformata INV PROV (SLU).

#### 7.3.1.2.4 Pareti trasversali

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

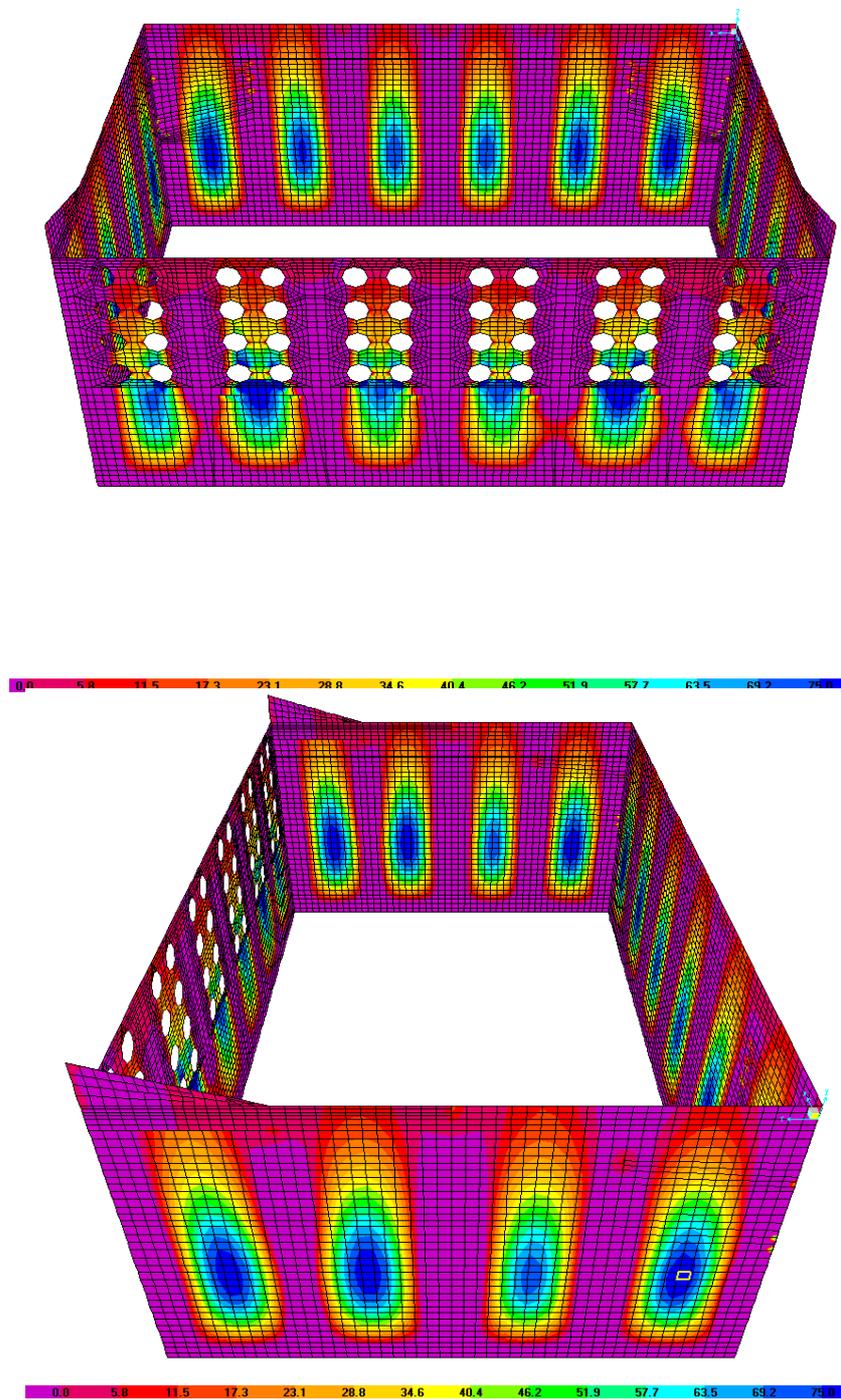


Figura 70 - Pareti. Involuppo PROV - M11 max [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

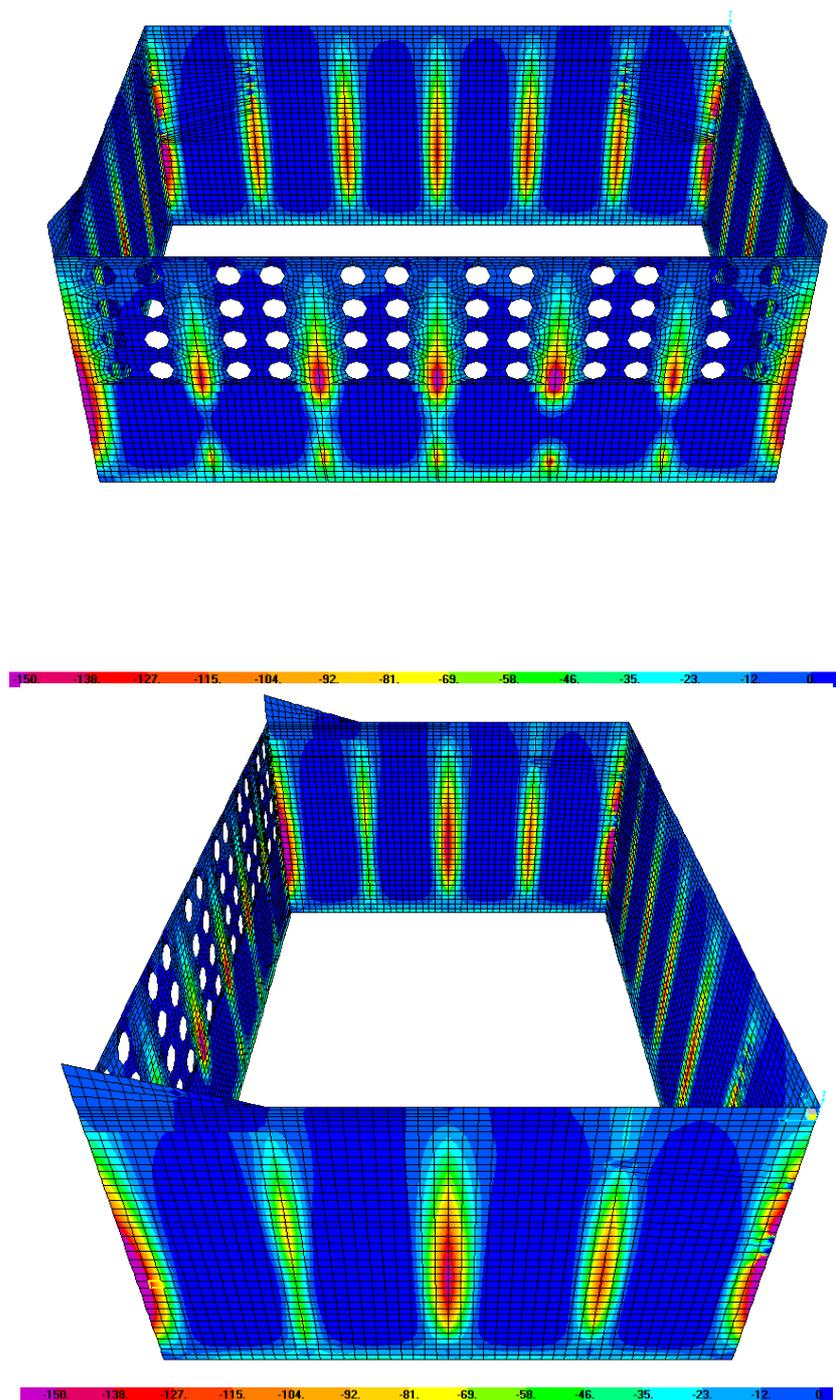


Figura 71 - Pareti. Involuppo PROV - M11 min [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

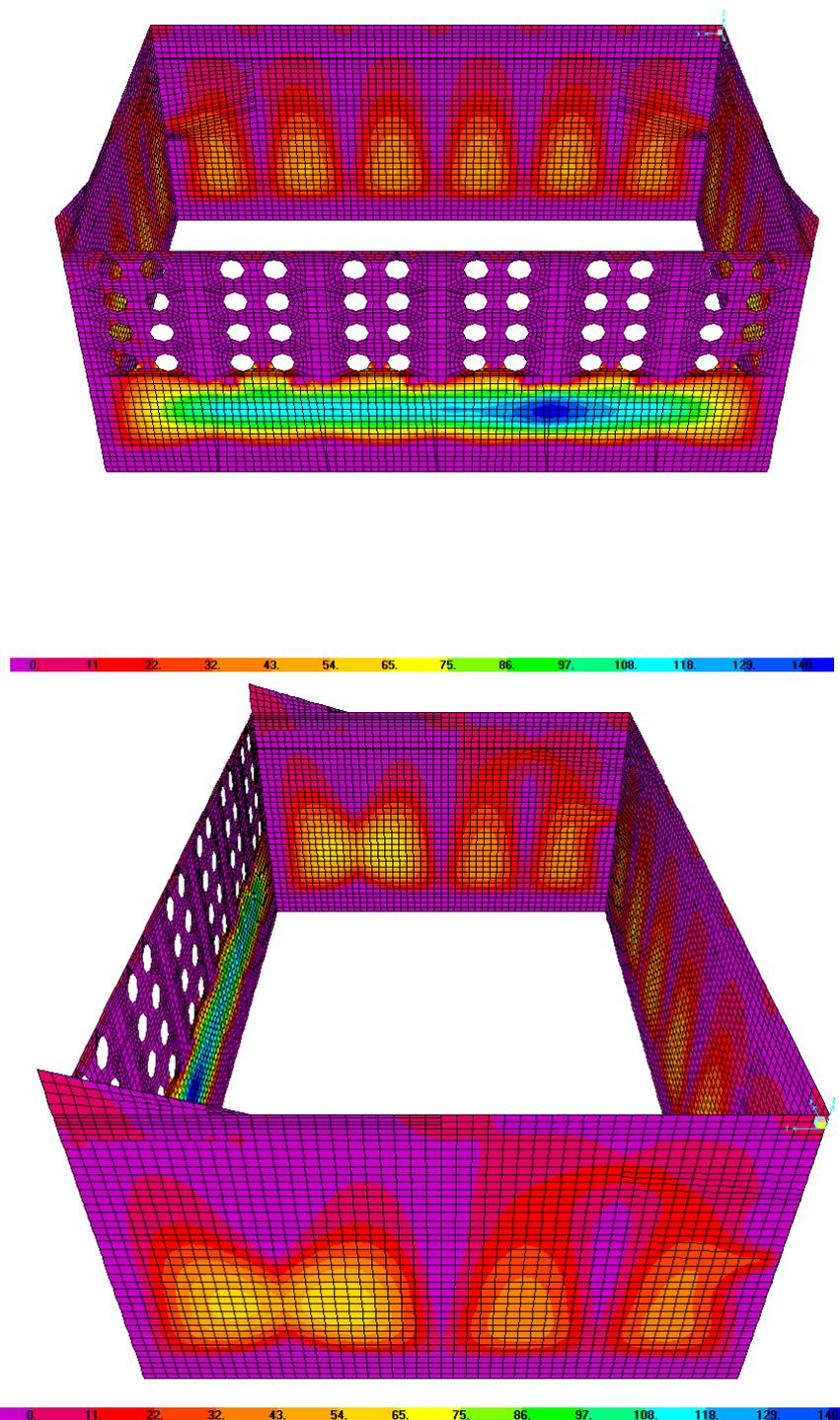


Figura 72 - Pareti. Involuppo PROV - M22 max [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

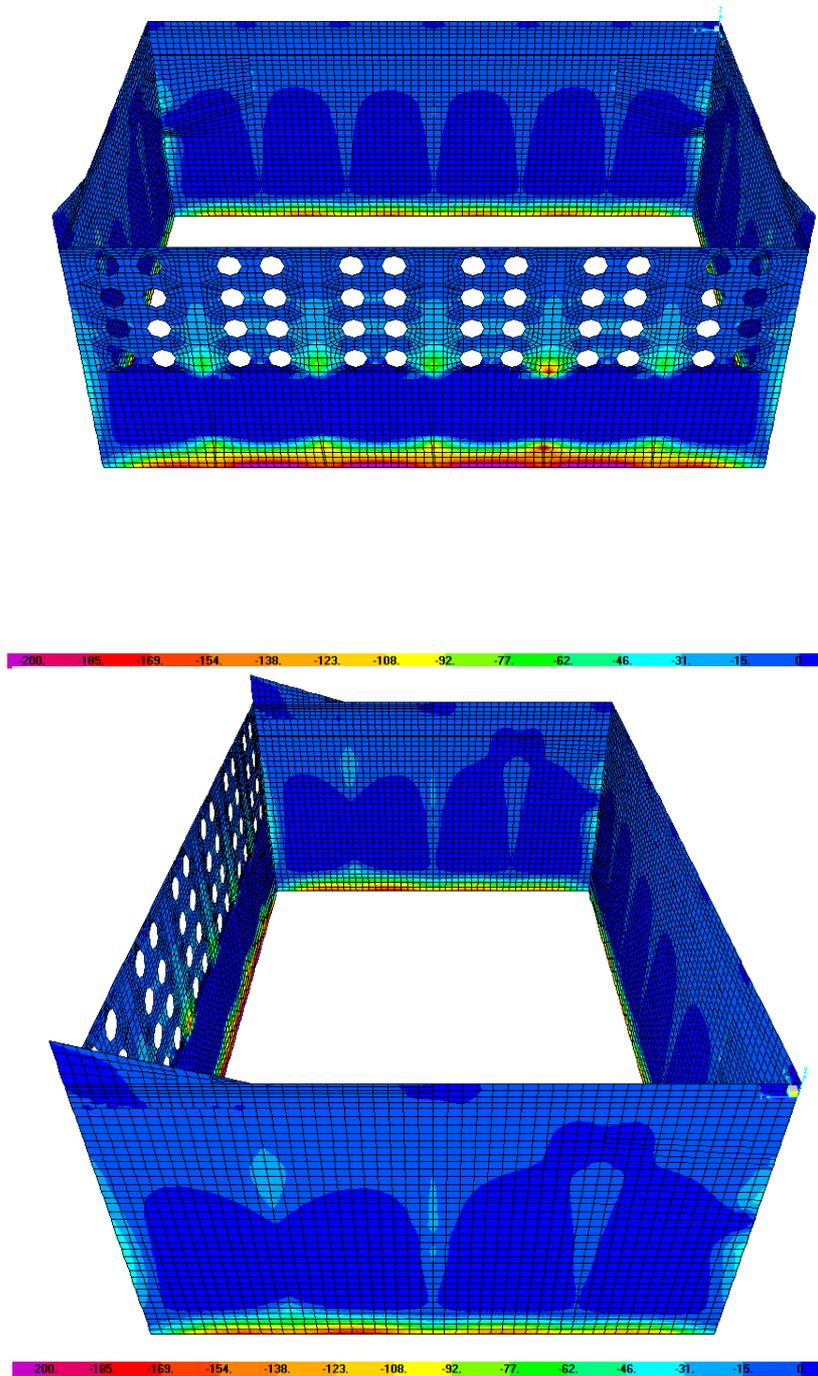


Figura 73 - Pareti. Involuppo PROV - M22 min [kNm/m].

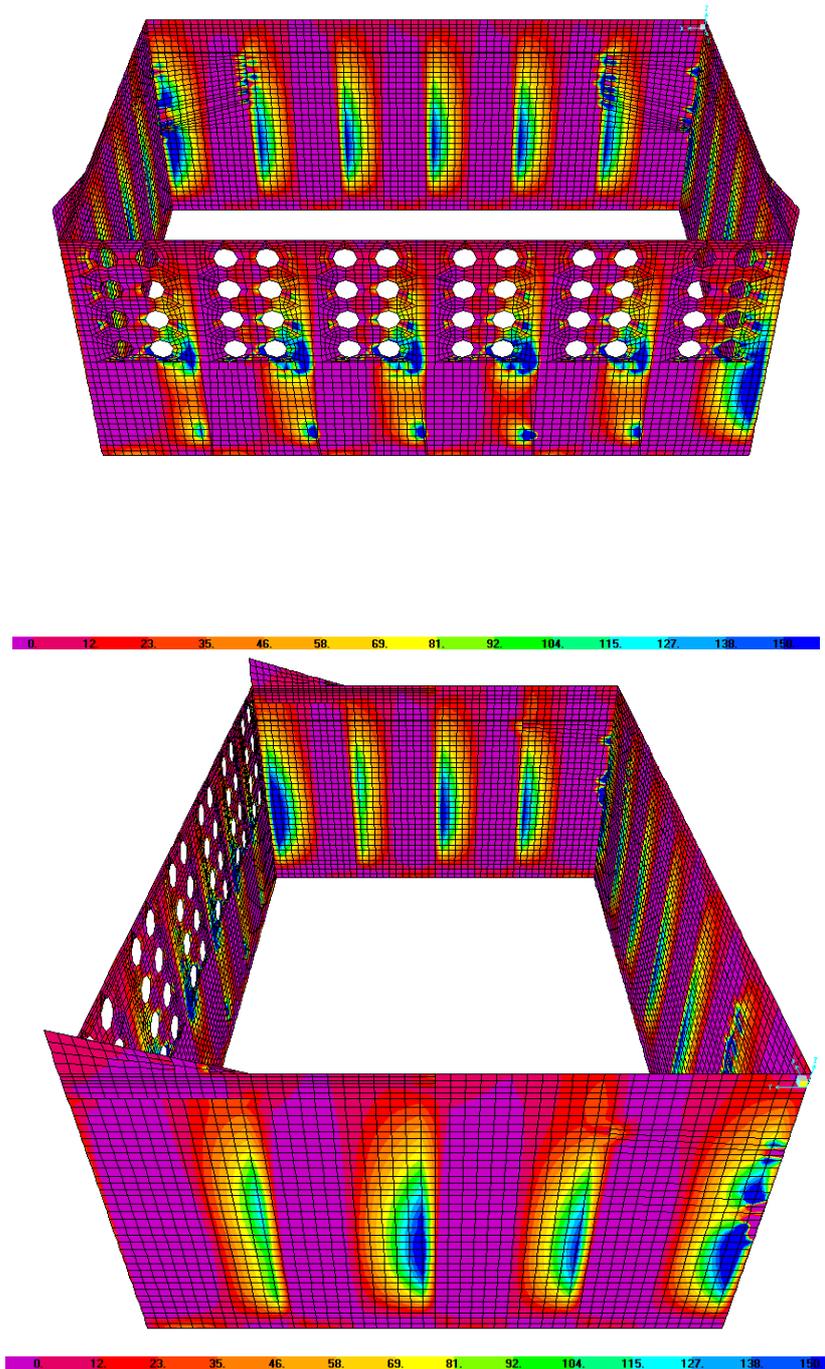


Figura 74 - Pareti. Inviluppo PROV - V13 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

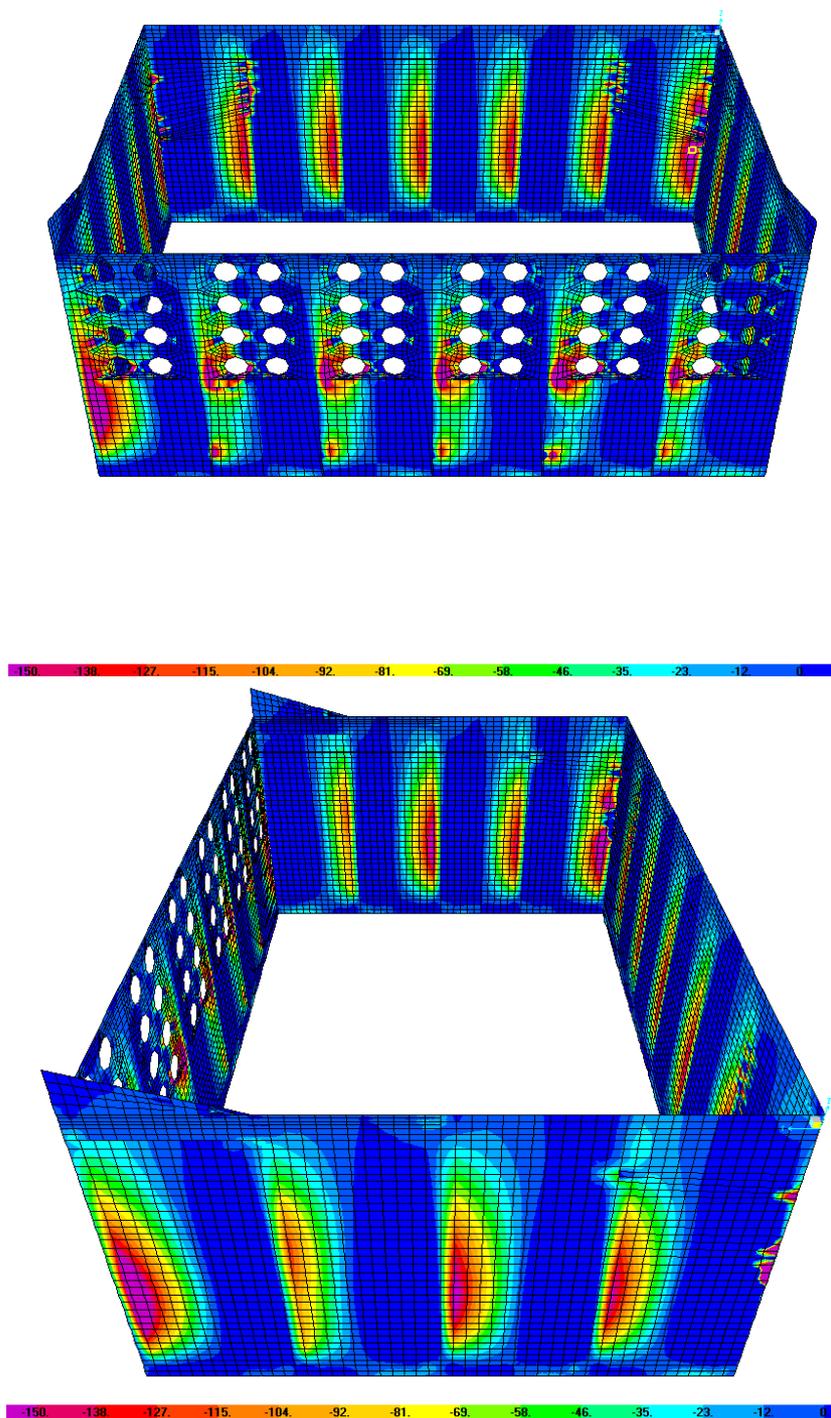


Figura 75 - Pareti. Involuppo PROV - V13 min [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

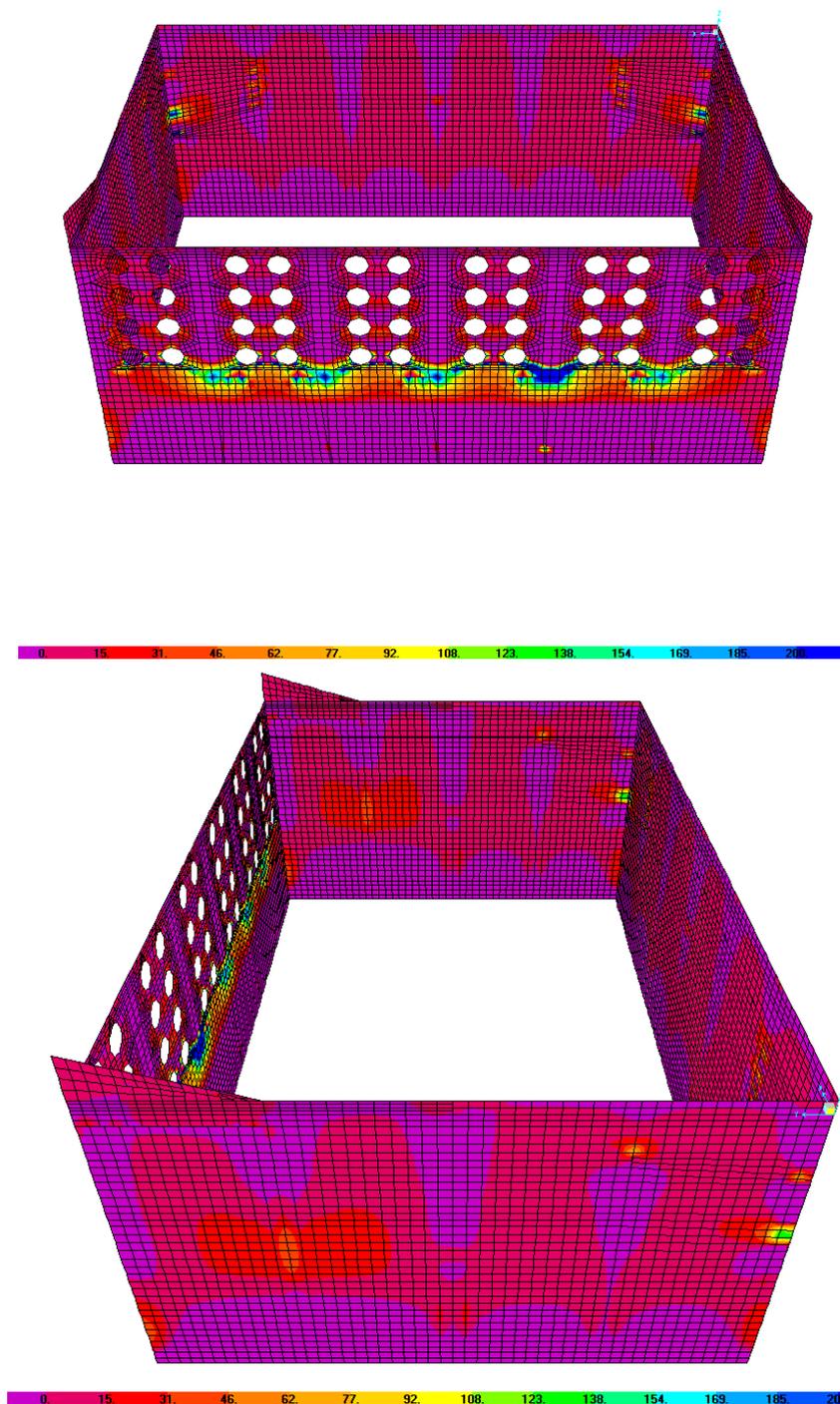


Figura 76 - Pareti. Involuppo PROV - V23 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

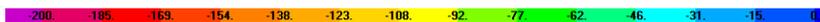
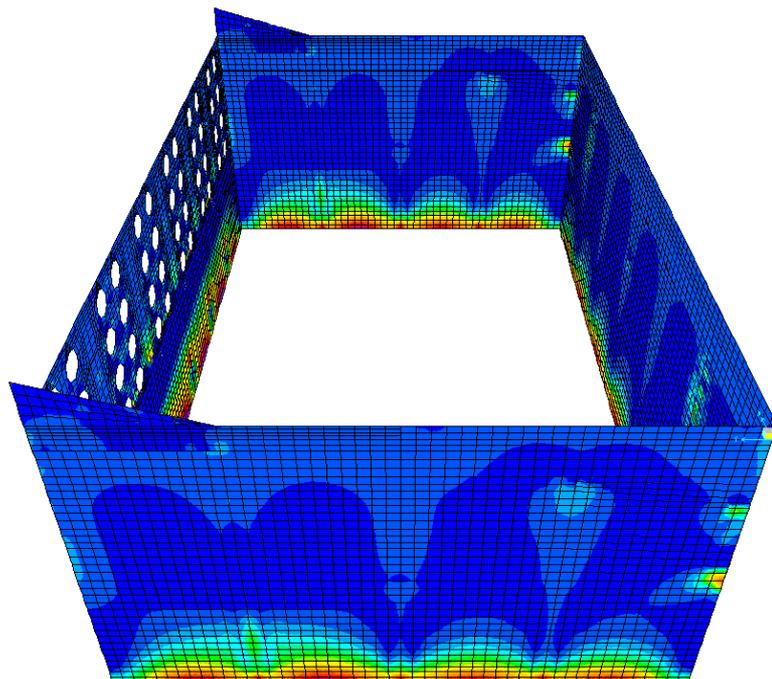
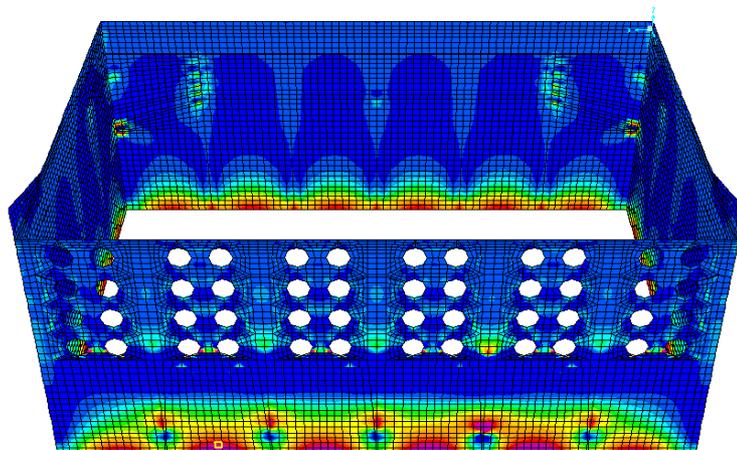


Figura 77 - Pareti. Inviluppo PROV - V23 min [kN/m].



### 7.3.1.2.4.1 Verifiche a flessione (SLU)

Nella tabella seguente vengono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

SLU - STR/SLV			B [m]	H [m]	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub>
					1°	2°	1°	2°			
Direzione Orizzontale	Campata celle	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	81	190	2.35
	Filo pareti trasversali	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-166	-190	1.14
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	147	190	1.29
	Filo solettone	M <sub>22,min</sub>	1.00	0.60	5Φ20	-	5Φ16	-	-196	-295	1.51

Tabella 37 – Parete LM – verifiche a flessione allo SLU – fase transitoria

SLU - STR/SLV			B [m]	H [m]	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub>
					1°	2°	1°	2°			
Direzione Orizzontale	Campata celle	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	80	190	2.38
	Filo pareti trasversali	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-130	-190	1.46
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	45	190	4.22
	Filo solettone	M <sub>22,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-113	-190	1.68

Tabella 38 – Parete LP – verifiche a flessione allo SLU – fase transitoria

SLU - STR/SLV			B [m]	H [m]	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub>
					1°	2°	1°	2°			
Direzione Orizzontale	Campata cella	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	81	190	2.35
	Filo pareti trasversali	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-142	-190	1.34
Direzione Verticale	Campata cella	M <sub>22,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	64	190	2.97
	Filo solettone	M <sub>22,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-141	-190	1.35

Tabella 39 – Pareti trasversali – verifiche a flessione allo SLU – fase transitoria

### 7.3.1.2.4.2 Verifiche a taglio (SLU)

SLU			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub>
					1°	2°							
Direzione Orizzontale	Filo pareti trasversali (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5Φ16	-	215	9Φ10/m <sup>2</sup>	290	480	2535	480	2.23
	Filo pareti trasversali (sezione corrente)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	182	9Φ10/m <sup>2</sup>	215	325	1714	325	1.79
Direzione Verticale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ20	-	214	9Φ10/m <sup>2</sup>	215	325	1714	325	1.52

Tabella 40 – Parete LM – verifiche a taglio allo SLU – fase transitoria



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

SLU			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub> -
					1°	2°							
Direzione Orizzontale	Filo pareti trasversali (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5φ14	-	223	-	290	-	-	290	1.30
	Filo pareti trasversali (sezione non ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5φ14	-	169	-	215	-	-	215	1.27
Direzione Vericale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5φ14	-	168	-	215	-	-	215	1.28

Tabella 41 – Parete LP – verifiche a taglio allo SLU – fase transitoria

SLU			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub> -
					1°	2°							
Direzione Orizzontale	Filo pareti longitudinali (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5φ16	-	209	-	290	-	-	290	1.39
	Filo pareti longitudinali (sezione corrente)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5φ16	-	168	-	215	-	-	215	1.28
Direzione Vericale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5φ16	-	184	-	215	-	-	215	1.17

Tabella 42 – Pareti trasversali – verifiche a taglio allo SLU – fase transitoria

A favore di sicurezza non si è tenuto conto del contributo delle spille ai fini della resistenza a taglio.



### 7.3.2 Verifiche in fase definitiva

#### 7.3.2.1 Analisi dei carichi

Le azioni considerate sono quelle descritte nel §6. Vengono di seguito riportati i valori utilizzati per l'implementazione del modello di calcolo

##### 7.3.2.1.1 Carico di banchina

È stato inserito un carico uniformemente distribuito pari a 40 kN/m<sup>2</sup>.

Sulla parte della sovrastruttura destinata a passeggiata, si prevede un carico uniformemente distribuito pari a 10kN/m<sup>2</sup>.

##### 7.3.2.1.2 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cresta

I valori delle pressioni implementati sono quelli riportati nelle tabelle del §6.1.2.

##### 7.3.2.1.3 Spinta indotta dal moto ondoso in fase di cavo

I valori delle pressioni implementati sono quelli riportati nelle tabelle del §6.1.4.

##### 7.3.2.1.4 Tiro alla bitta

È stato inserito un carico concentrato pari a 500 kN.

##### 7.3.2.1.5 Spinta del riempimento

La spinta del materiale di riempimento è calcolata tenendo conto dell'effetto silo. In particolare, si fa riferimento al metodo riportato nelle "Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan", part IV, §1.4.5. Si assume un coefficiente di spinta del materiale insilato pari a 0,6. La pressione del riempimento è linearmente crescente con la profondità rispetto alla quota di massimo riempimento, fino ad una profondità pari alla dimensione della cella in direzione perpendicolare alla parete rispetto alla quale viene calcolata l'azione; per profondità maggiori, la pressione rimane costante.

direzione trasversale:

Dimensione minima cella in direzione trasv.	4.44	m
Massimo riempimento dal fondo cella	11.7	m
Peso specifico riempimento	19	kN/mc

z (m)	p <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	
0.5	0	(massimo riempimento)
-3.94	23.7096	
0	23.7096	(fondo cassone)

direzione longitudinale:

Dimensione minima cella in direzione long.	4.51	m
Massimo riempimento dal fondo cella	11.7	m
Peso specifico riempimento	19	kN/mc

z (m)	p <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	
0.5	0	(massimo riempimento)
-4.01	24.0834	
0	24.0834	(fondo cassone)

Tabella 43 – Spinta del riempimento - Celle fila 1 (lato porto)



direzione trasversale:

Dimensione minima cella in direzione trasv.	4.44	m
Massimo riempimento dal fondo cella	11.7	m
Peso specifico riempimento	19	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
0.5	0	(massimo riempimento)
-3.94	23.7096	
0	23.7096	(fondo cassone)

direzione longitudinale:

Dimensione minima cella in direzione long.	4.51	m
Massimo riempimento dal fondo cella	11.7	m
Peso specifico riempimento	19	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
0.5	0	(massimo riempimento)
-4.01	24.0834	
0	24.0834	(fondo cassone)

Tabella 44 – Spinta del riempimento - Celle fila 2

direzione trasversale:

Dimensione minima cella in direzione trasv.	4.44	m
Massimo riempimento dal fondo cella	6.7	m
Peso specifico riempimento	24	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
-4.5	0	(massimo riempimento)
-8.94	37.0296	
0	37.0296	(fondo cassone)

direzione longitudinale:

Dimensione minima cella in direzione long.	4.41	m
Massimo riempimento dal fondo cella	6.7	m
Peso specifico riempimento	24	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
-4.5	0	(massimo riempimento)
-8.91	36.7794	
0	36.7794	(fondo cassone)

Tabella 45 – Spinta del riempimento - Celle fila 3

direzione trasversale:

Dimensione minima cella in direzione trasv.	4.44	m
Massimo riempimento dal fondo cella	5.2	m
Peso specifico riempimento	24	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
-6	0	(massimo riempimento)
-10.44	37.0296	
0	37.0296	(fondo cassone)

direzione longitudinale:

Dimensione minima cella in direzione long.	4.41	m
Massimo riempimento dal fondo cella	5.2	m
Peso specifico riempimento	24	kN/mc

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )	
-6	0	(massimo riempimento)
-10.41	36.7794	
0	36.7794	(fondo cassone)

Tabella 46 – Spinta del riempimento - Celle fila 4 (lato mare)

### 7.3.2.1.6 Spinta sismica del riempimento

La sovrappressione in direzione orizzontale del materiale di riempimento in fase sismica è calcolata in analogia a quanto previsto dalle NTC2018 per le opere di sostegno, applicando alla massa sismica del riempimento l'accelerazione massima attesa ridotta del coefficiente di riduzione  $\beta_m$ .



**Comune  
di Favignana**

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)  
larghezza cella (direzione trasversale)  
lunghezza cella (direzione longitudinale)  
accelerazione sismica

dc	4.44	m
wl	4.44	m
wt	4.51	m
ag/g	0.075	
$\gamma$	19	kN/m <sup>3</sup>
$\beta_m$	0.38	
h	11.7	m
phstrasv	2.40	kN/m
phlong	2.44	kN/m

altezza riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento

*Tabella 47 – Spinta sismica del riempimento - Celle fila 1 (lato porto)*

dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)  
larghezza cella (direzione trasversale)  
lunghezza cella (direzione longitudinale)  
accelerazione sismica

dc	4.44	m
wl	4.44	m
wt	4.51	m
ag/g	0.075	
$\gamma$	19	kN/m <sup>3</sup>
$\beta_m$	0.38	
h	11.7	m
phstrasv	2.40	kN/m
phlong	2.44	kN/m

altezza riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento

*Tabella 48 – Spinta sismica del riempimento - Celle fila 2*

dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)  
larghezza cella (direzione trasversale)  
lunghezza cella (direzione longitudinale)  
accelerazione sismica

dc	4.41	m
wl	3.71	m
wt	4.8	m
ag/g	0.175	
$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>
$\beta_m$	0.24	
h	6.7	m
phstrasv	3.74	kN/m
phlong	4.84	kN/m

altezza riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento

*Tabella 49 – Spinta sismica del riempimento - Celle fila 3*

dimensione della sezione trasversale caratteristica (lato minore)  
larghezza cella (direzione trasversale)  
lunghezza cella (direzione longitudinale)  
accelerazione sismica

dc	4.41	m
wl	3.71	m
wt	4.8	m
ag/g	0.175	
$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>
$\beta_m$	0.24	
h	5.2	m
phstrasv	3.74	kN/m
phlong	4.84	kN/m

altezza riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento  
pressione orizzontale dovuta al sisma del riempimento

*Tabella 50 – Spinta sismica del riempimento – Celle fila 4 (lato mare)*



La spinta sismica in direzione y è applicata alternativamente nel verso da LP a LM e nel verso da LM a LP; la spinta in direzione x invece, data la simmetria del modello, è applicata esclusivamente nel verso positivo. Per semplicità e a favore di sicurezza viene utilizzato per ciascuna fila di celle in entrambe le direzioni il valore massimo delle pressioni sopra determinate.

#### 7.3.2.1.7 Spinta idrodinamica indotta dal sisma

Vengono di seguito riportate le pressioni dovute alla spinta idrodinamica indotta dal sisma alle varie quote rispetto al livello del mare:

z (m)	$p_h$ (kN/m <sup>2</sup> )
0	0.00
0.42	0.57
1.3	1.00
2.02	1.24
2.9	1.49
3.62	1.66
4.5	1.85
5.22	1.99
6	2.14
11.6	2.97

Tabella 51 – Spinta idrodinamica indotta dal sisma in corrispondenza delle diverse quote dei nodi del modello

La spinta sismica in direzione y è applicata alternativamente nel verso da LP a LM e nel verso da LM a LP; la spinta in direzione x invece, data la simmetria del modello, è applicata esclusivamente nel verso positivo.



### 7.3.2.1.8 Urto eccezionale

Larghezza massima di ripartizione dell'urto	10.00	m
Larghezza dell'elemento strutturale	29.51	m
Larghezza effettiva di ripartizione dell'urto	10.00	m
Altezza massima di ripartizione dell'urto	5.00	m
Altezza della sovrastruttura	2.00	m
Area della sovrastruttura su cui insiste l'urto	20.00	m <sup>2</sup>
Altezza della parte del cassone su cui insiste l'urto	3.00	m
Numero di fori	0.00	
Base singolo foro	0.00	m
Altezza singolo foro	0.00	m
Area di ripartizione dell'urto al netto dei fori	50.00	m <sup>2</sup>
Forza d'urto	10200	kN
Pressione media dovuta all'urto	204	kN/m <sup>2</sup>
Parte dell'urto assorbita dalla sovrastruttura	4080	kN
Parte dell'urto assorbita dal cassone	6120	kN

Tabella 52 – Determinazione delle azioni dovute all'urto sugli elementi strutturali

La forza è applicata in 3 differenti configurazioni più sfavorevoli:

- sulla parte sinistra della parete LP;
- al centro della parete LP;
- sulla parte destra della parete LP.

Nel modello il paramento lato porto della sovrastruttura è modellato con elementi di altezza pari a 1,35 m. Pertanto, la pressione applicata su tale elemento è pari alla parte di urto assorbita dalla sovrastruttura divisa per l'altezza dell'elemento e la lunghezza dell'area di impatto:

$$4080 \text{ kN} / (1,35 \text{ m} \times 10 \text{ m}) = 302 \text{ kN/m}^2$$



### 7.3.2.2 Combinazioni dei carichi

$\gamma^* \psi$	Comb. SLU-ECC 1 (ECC)	Comb. SLU-ECC 2 (ECC)	Comb. SLU-ECC 3 (ECC)	Comb. SLU-1 (STR)	Comb. SLU-2 (STR)	Comb. SLV-1 (SLV)	Comb. SLV-2 (SLV)	Comb. SLE-R1 (SLE - RARA)	Comb. SLE-R2 (SLE - RARA)	Comb. SLE-R3 (SLE - RARA)	Comb. SLE-R4 (SLE - RARA)	Comb. SLE-R5 (SLE - RARA)	Comb. SLE-R6 (SLE - RARA)	Comb. SLE-F1 (SLE - FREQ.)	Comb. SLE-F2 (SLE - FREQ.)	Comb. SLE-F3 (SLE - FREQ.)	Comb. SLE-F4 (SLE - FREQ.)
Peso proprio e carichi permanenti	1,00	1,00	1,00	1,30/1,00	1,30/1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Riempimento celle	1,00	1,00	1,00	1,30/1,00	1,30/1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sovraccarico accidentale di banchina su sovrastruttura	0,30/-	0,30/-	0,30/-	1,50/-	1,50/-	0,30/-	0,30/-	1,00/-	1,00/-	0,70/-	0,70/-	0,70/-	0,70/-	1,00/-	0,30/-	0,30/-	0,30/-
Moto ondoso in fase di Cresta (Tr = 100 anni)	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moto ondoso in fase di Cresta (Tr = 25 anni)	-	-	-	1,50	-	-	-	0,60	-	1,00	-	0,60	-	-	0,20	-	-
Moto ondoso in fase di Cavo (Tr = 100 anni)	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moto ondoso in fase di Cavo (Tr = 25 anni)	-	-	-	-	1,50	-	-	-	0,60	-	1,00	-	0,60	-	-	0,20	-
Tiro alla bitta	-	-	-	1,50/-	1,50/-	-	-	-	0,60/-	0,60/-	0,60/-	1,00/-	1,00/-	-	-	-	0,20/-
Azioni inerziali dir.x	-	-	-	-	-	1,00	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azioni inerziali dir.y	-	-	-	-	-	0,30	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incremento spinta sismica riempimento dir.x	-	-	-	-	-	1,00	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incremento spinta sismica riempimento dir.y	-	-	-	-	-	0,30	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spinta sismica acqua dir.x	-	-	-	-	-	1,00	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spinta sismica acqua dir.y	-	-	-	-	-	0,30	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Urto Eccezionale	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 53 – Fusto e sovrastruttura – coefficienti di combinazione dei carichi

### 7.3.2.3 Modello di calcolo

Il modello di calcolo è definito nello spazio tridimensionale con elementi tipo piastra; i vincoli sono di incastro all'attacco con il solettone.

Gli elementi sono stati discretizzati secondo unamesh con dimensione massima del lato di ogni elemento generato pari al massimo a 0.40 m.

La sovrastruttura è stata collegata al fusto mediante elementi shell opportunamente modificati in maniera da trasmettere azioni taglianti ortogonali al piano delle pareti e dei setti e non trasmettere momenti flettenti.

Il sistema di riferimento ha origine nello spigolo lato porto/lato testata (guardando dal porto, sulla parete lato porto in basso a sx) alla quota del livello del mare, con asse x in direzione longitudinale, asse y in direzione trasversale e asse z verticale.

Le figure seguenti illustrano il modello di calcolo.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

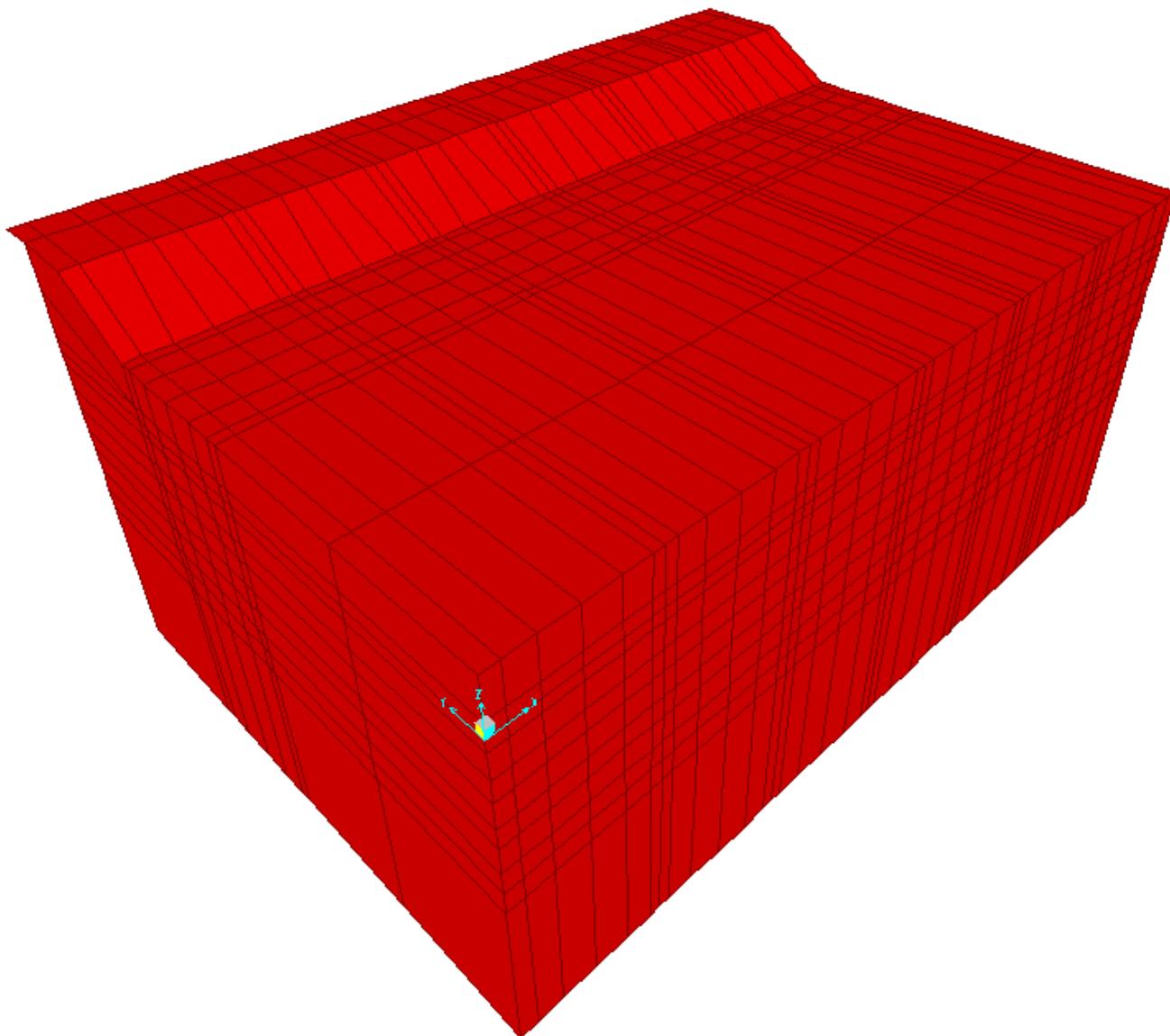


Figura 78 – Modello di calcolo del fusto e della sovrastruttura. Fase definitiva.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

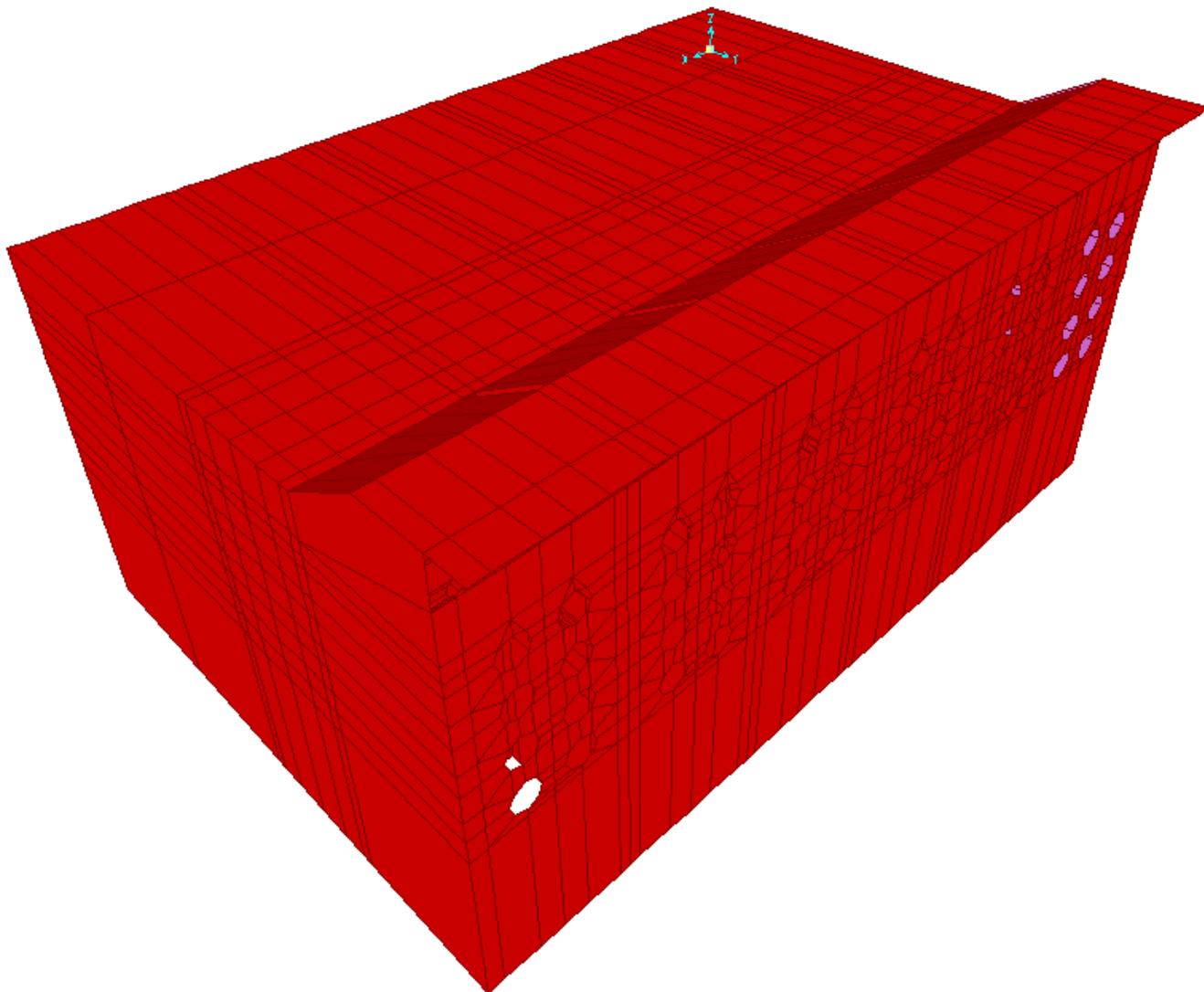


Figura 79 – Modello di calcolo del fusto e della sovrastruttura. Fase definitiva.

Si riportano di seguito gli schemi di carico.

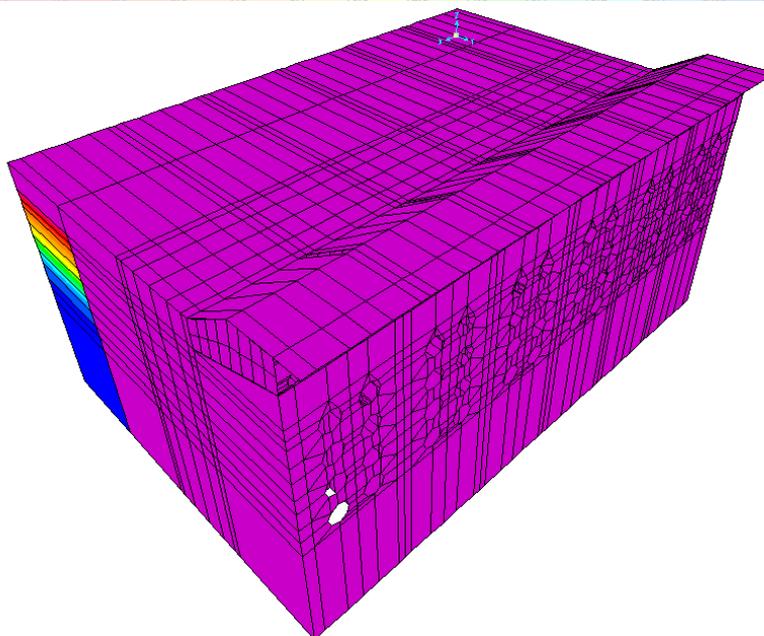
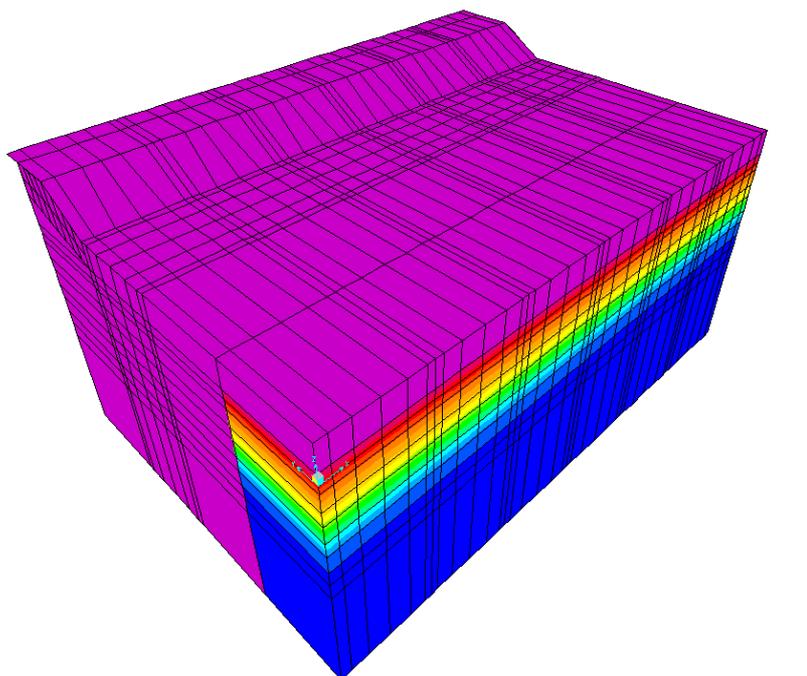


Figura 80 – Schema di carico. Spinta del riempimento celle LM [kN/m<sup>2</sup>].

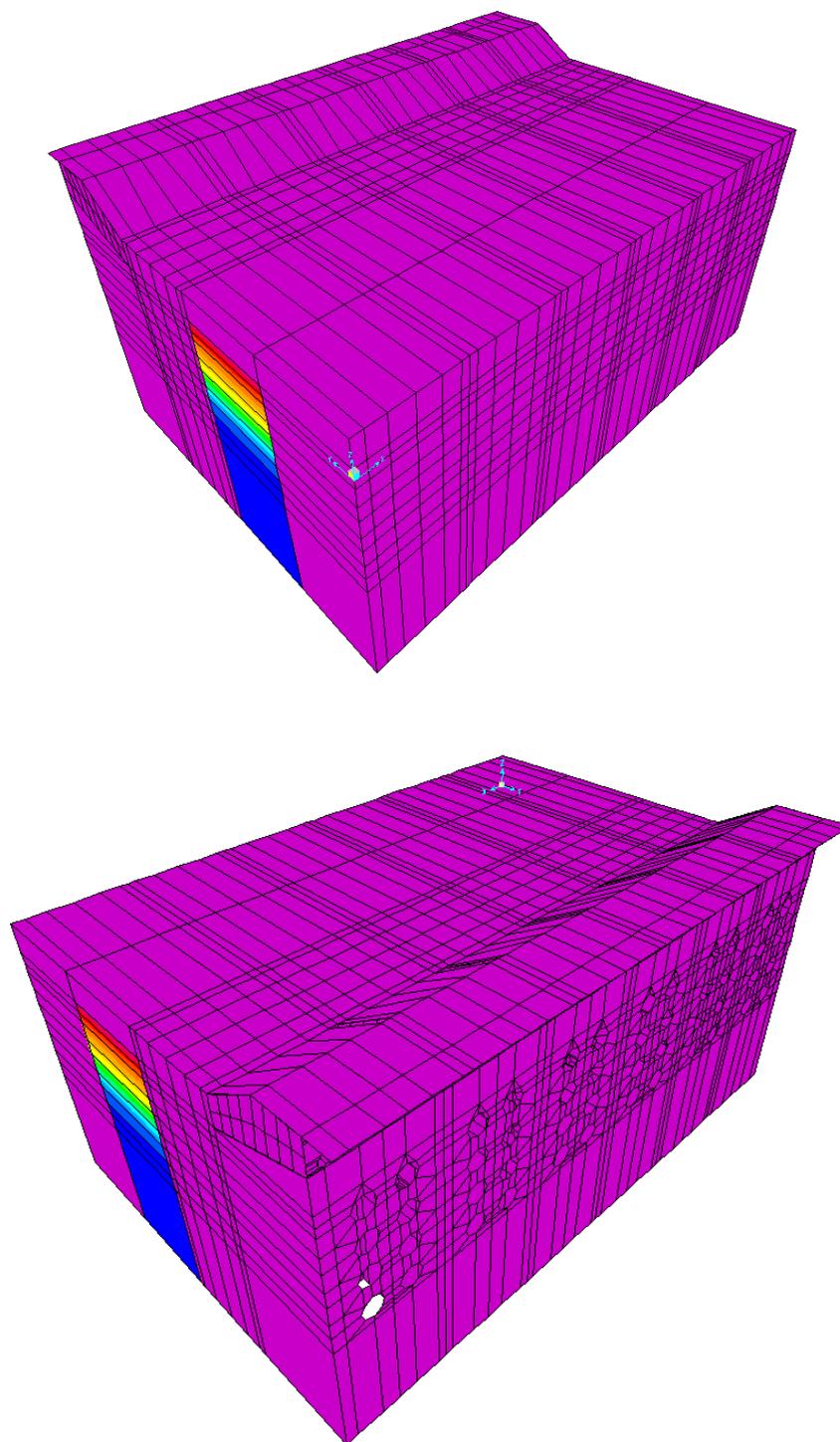


Figura 81 – Schema di carico. Spinta del riempimento celle 2a fila [kN/m<sup>2</sup>].

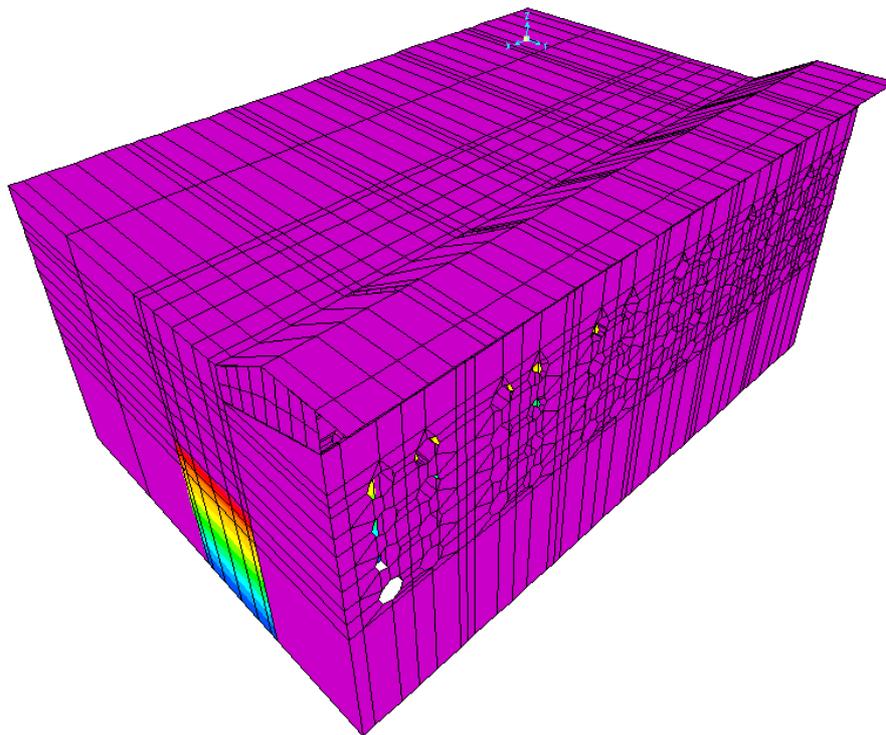
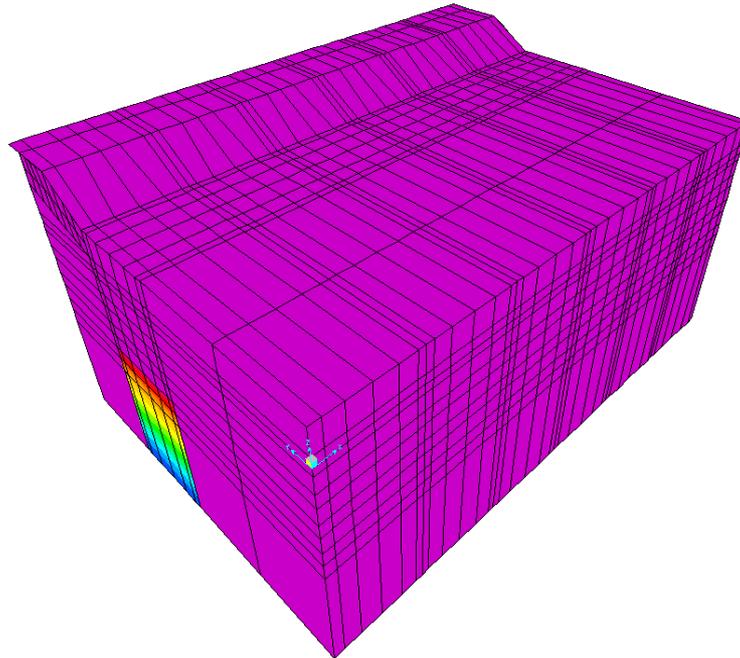


Figura 82 – Schema di carico. Spinta del riempimento celle 3a fila [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

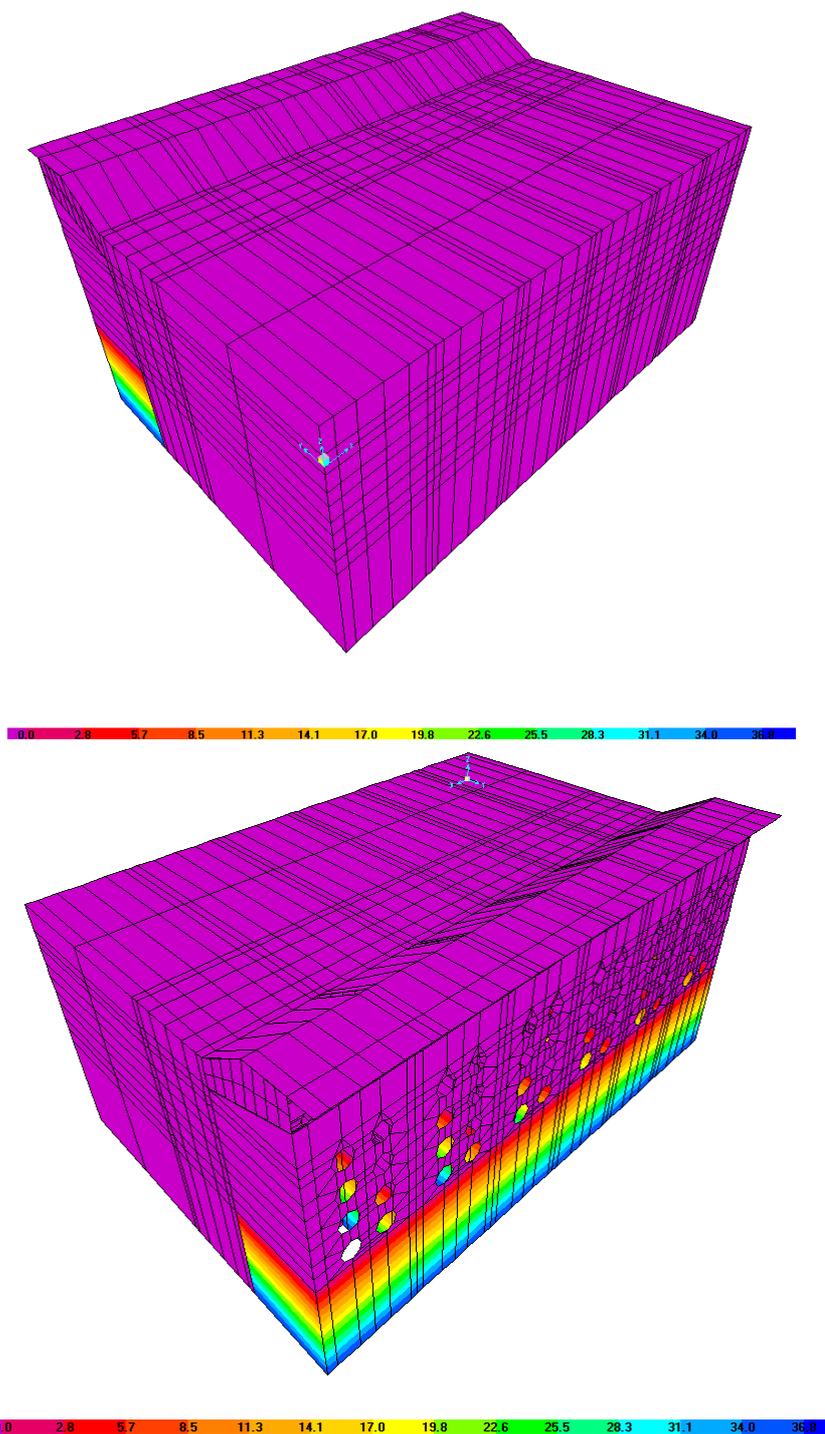


Figura 83 – Schema di carico. Spinta del riempimento celle LP [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

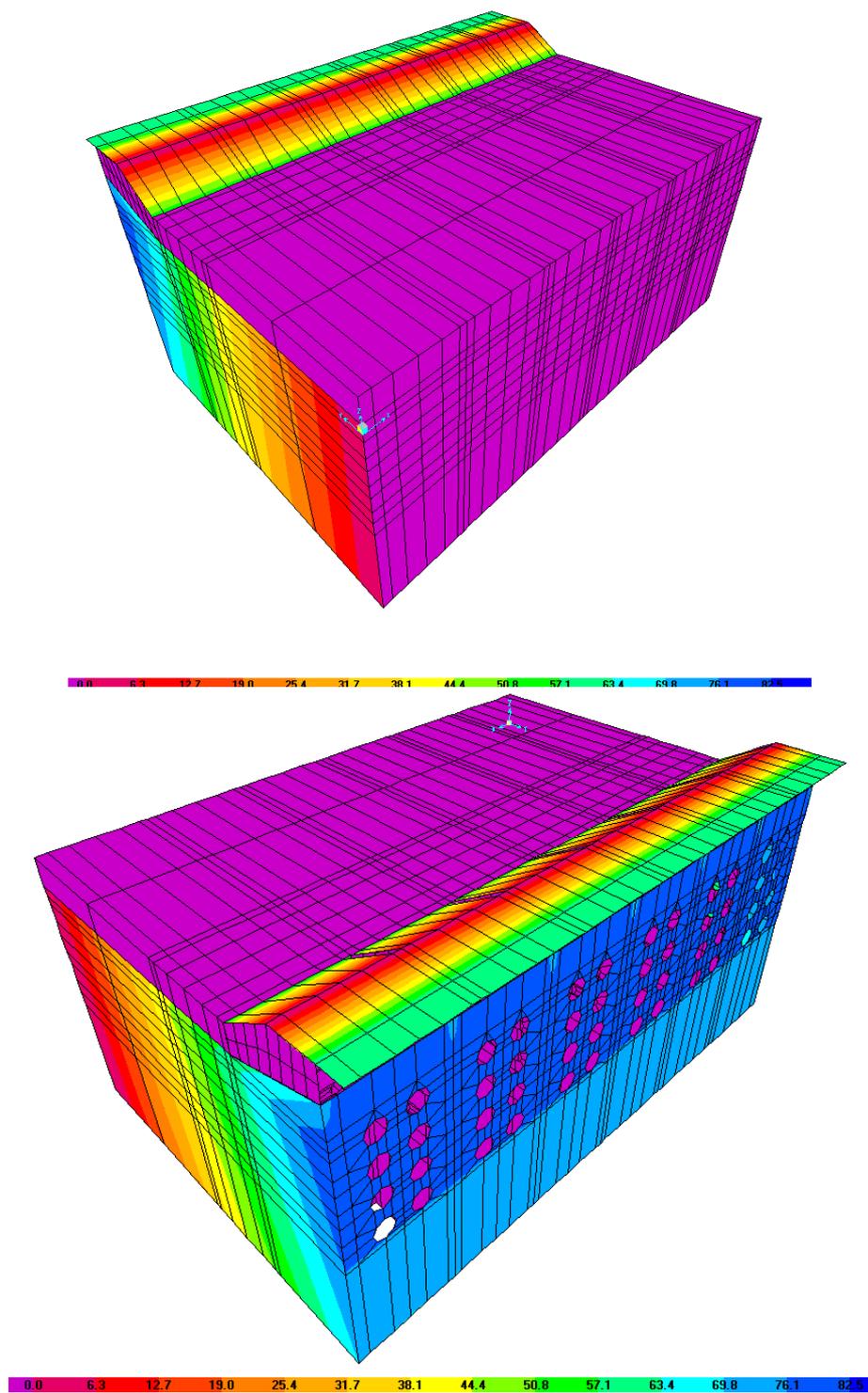


Figura 84 – Schema di carico. Cresta ( $T_r = 100$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ].

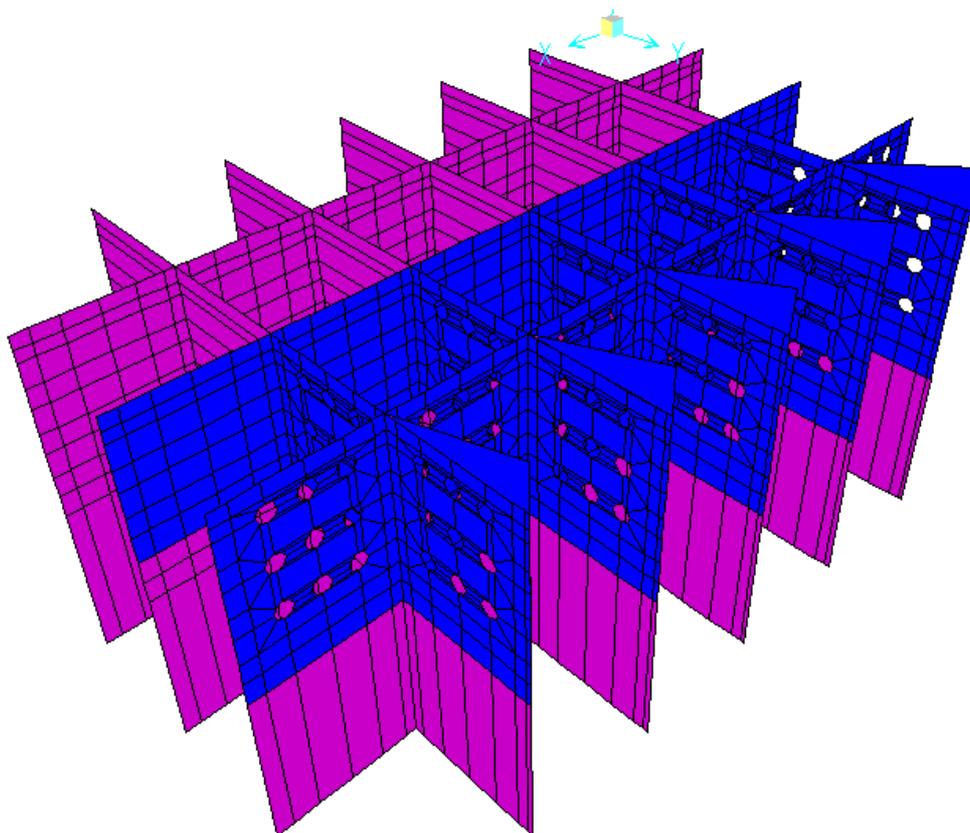


Figura 85 – Schema di carico. Cresta ( $T_r = 100$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ] sui setti.

L'azione del moto ondoso sui setti è applicata per intero e successivamente ridotta, moltiplicandola per 0,70, in fase di calcolo.

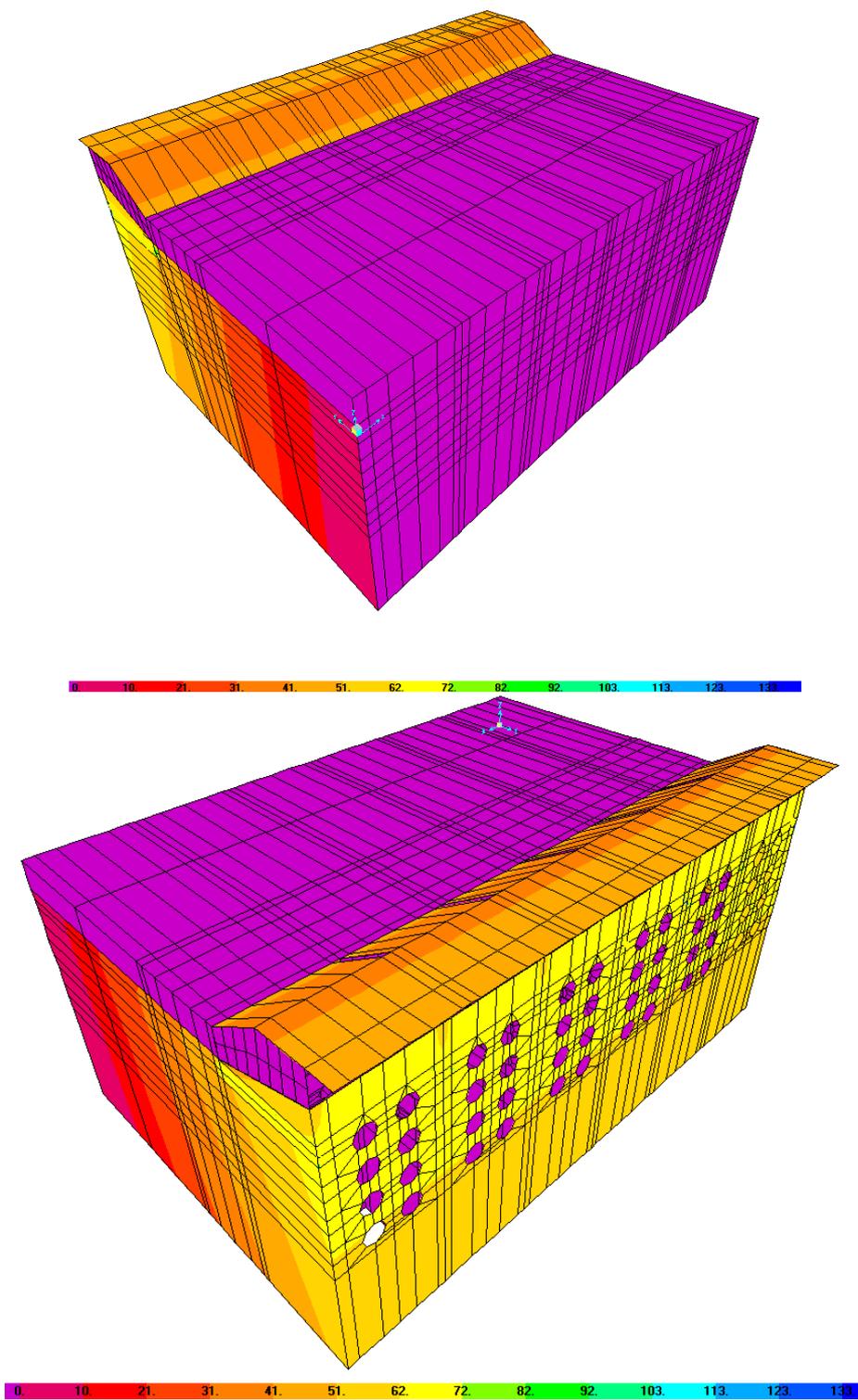


Figura 86 – Schema di carico. Cresta ( $T_r = 25$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ].

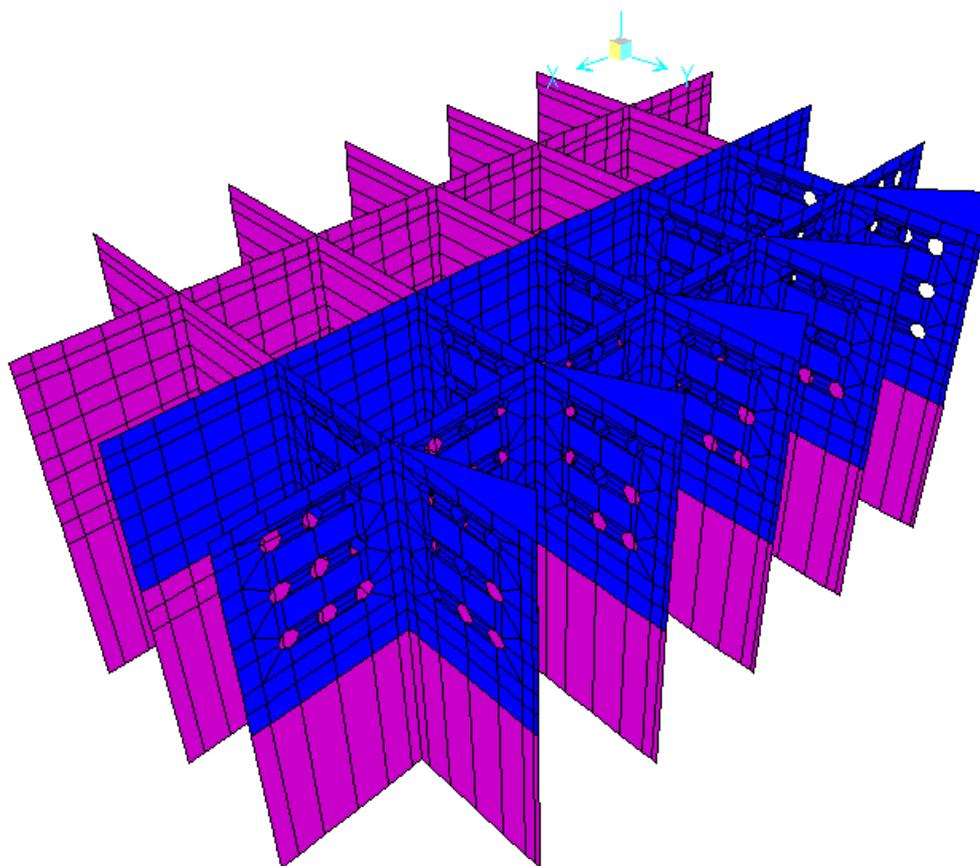


Figura 87 – Schema di carico. Cresta ( $Tr = 25$  anni) [ $kN/m^2$ ] sui setti.

L'azione del moto ondoso sui setti è applicata per intero e successivamente ridotta, moltiplicandola per 0,70, in fase di calcolo.

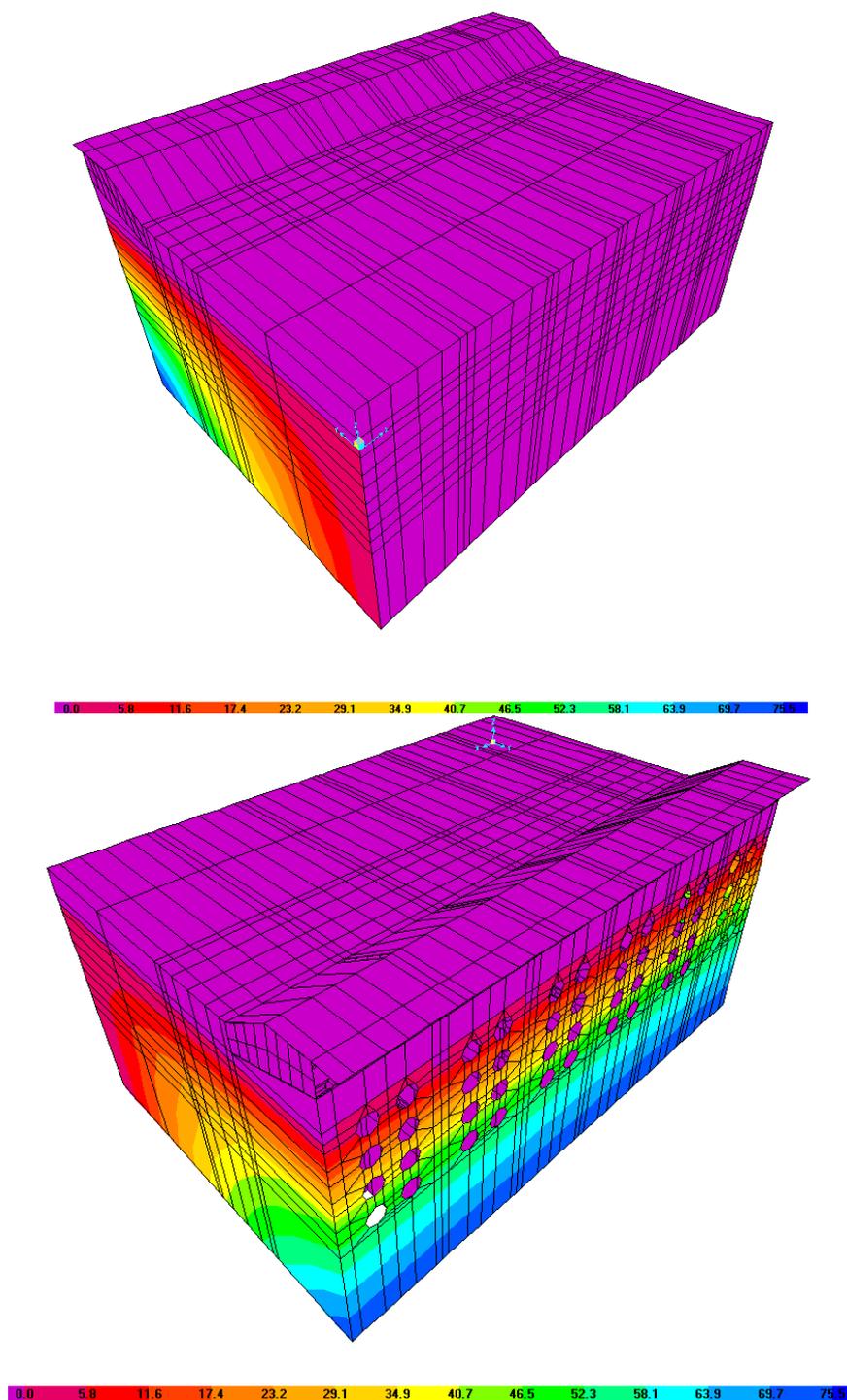


Figura 88 – Schema di carico. Cavo ( $T_r = 100$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ].

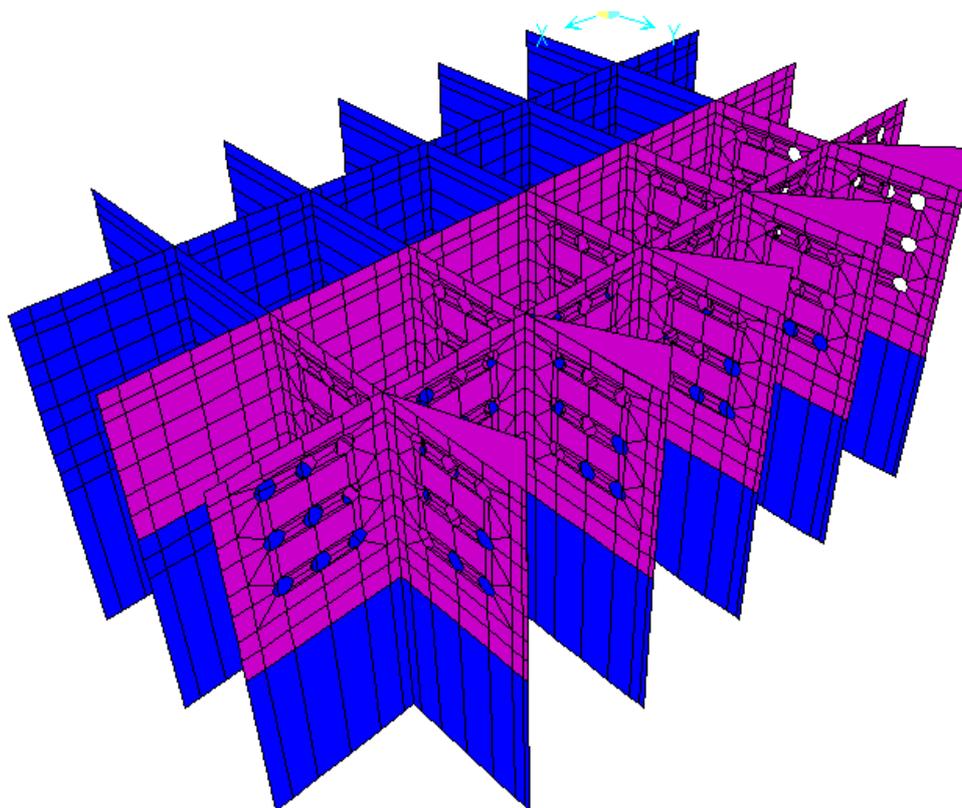


Figura 89 – Schema di carico. Cavo ( $Tr = 100$  anni) [ $kN/m^2$ ] sui setti.

L'azione del moto ondoso sui setti è applicata per intero e successivamente ridotta, moltiplicandola per 0,70, in fase di calcolo.

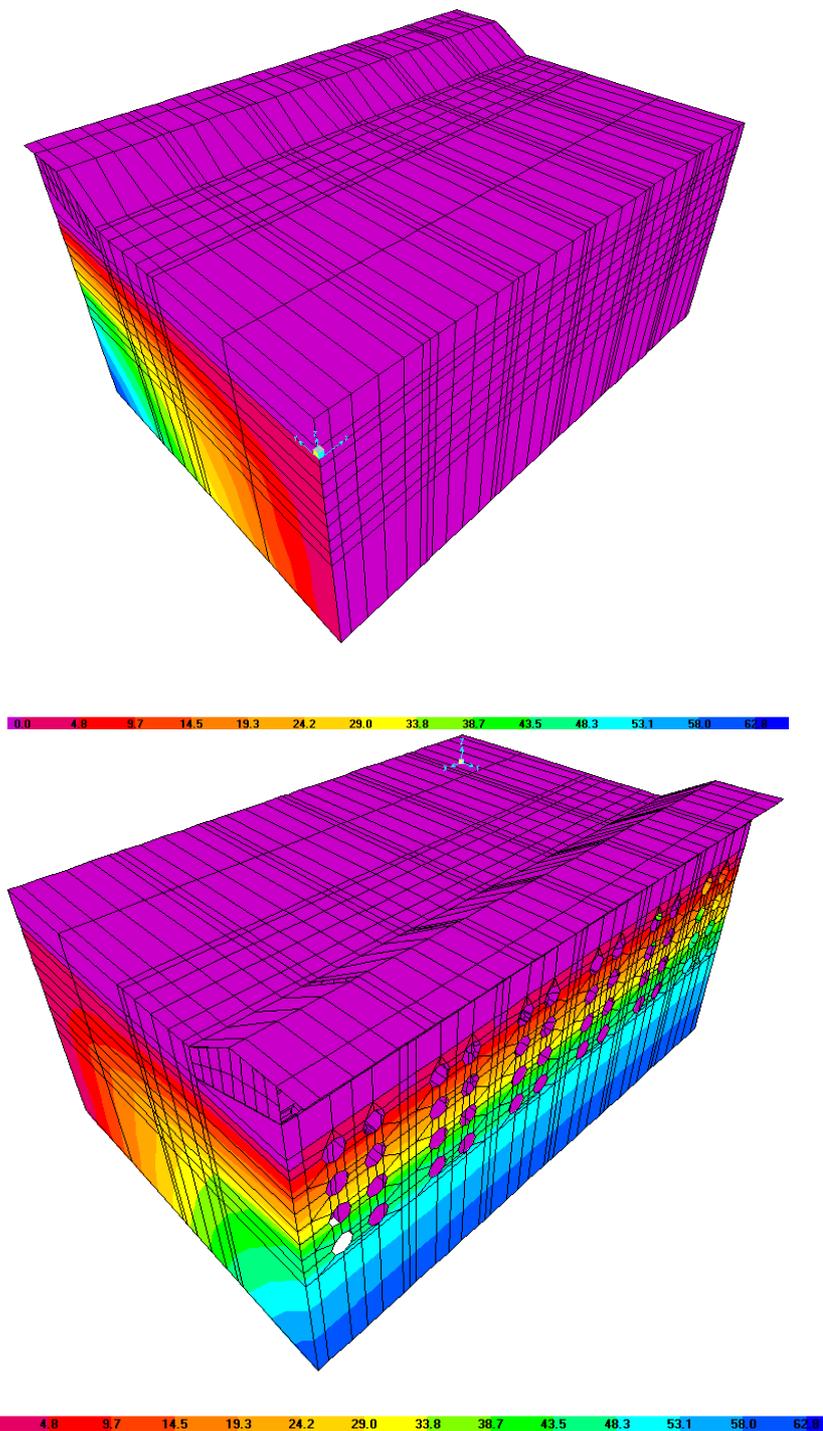


Figura 90 – Schema di carico. Cavo ( $T_r = 25$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ].

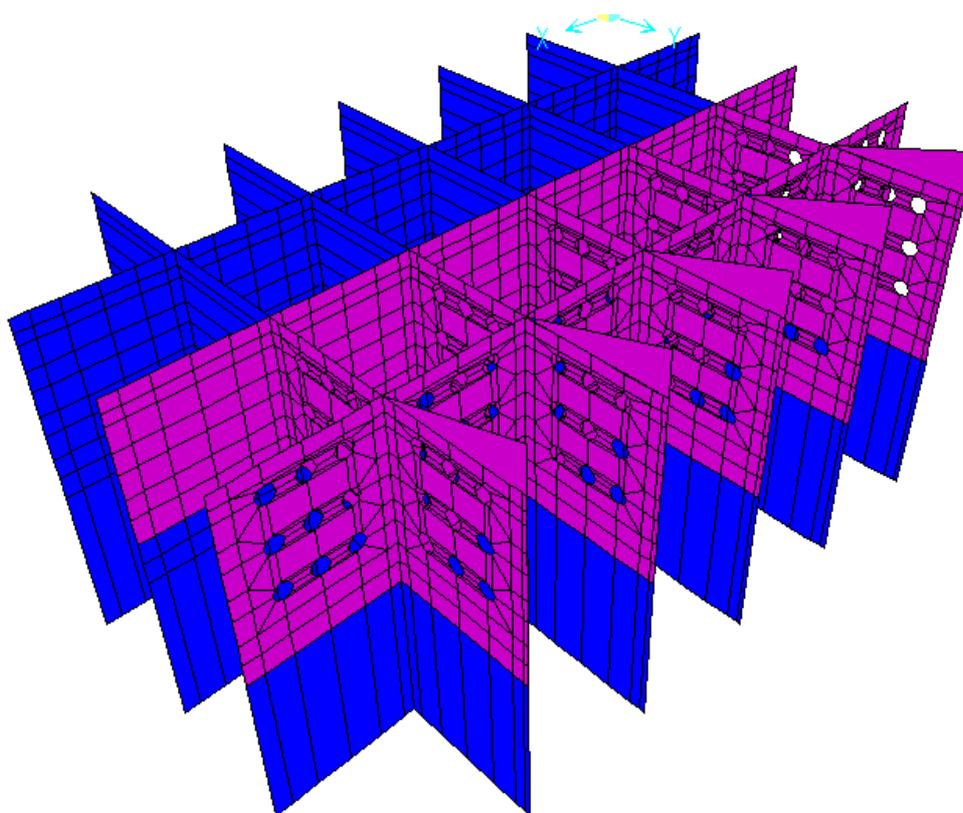


Figura 91 – Schema di carico. Cavo ( $T_r = 25$  anni) [ $\text{kN/m}^2$ ] sui setti.

L'azione del moto ondoso sui setti è applicata per intero e successivamente ridotta, moltiplicandola per 0,70, in fase di calcolo.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

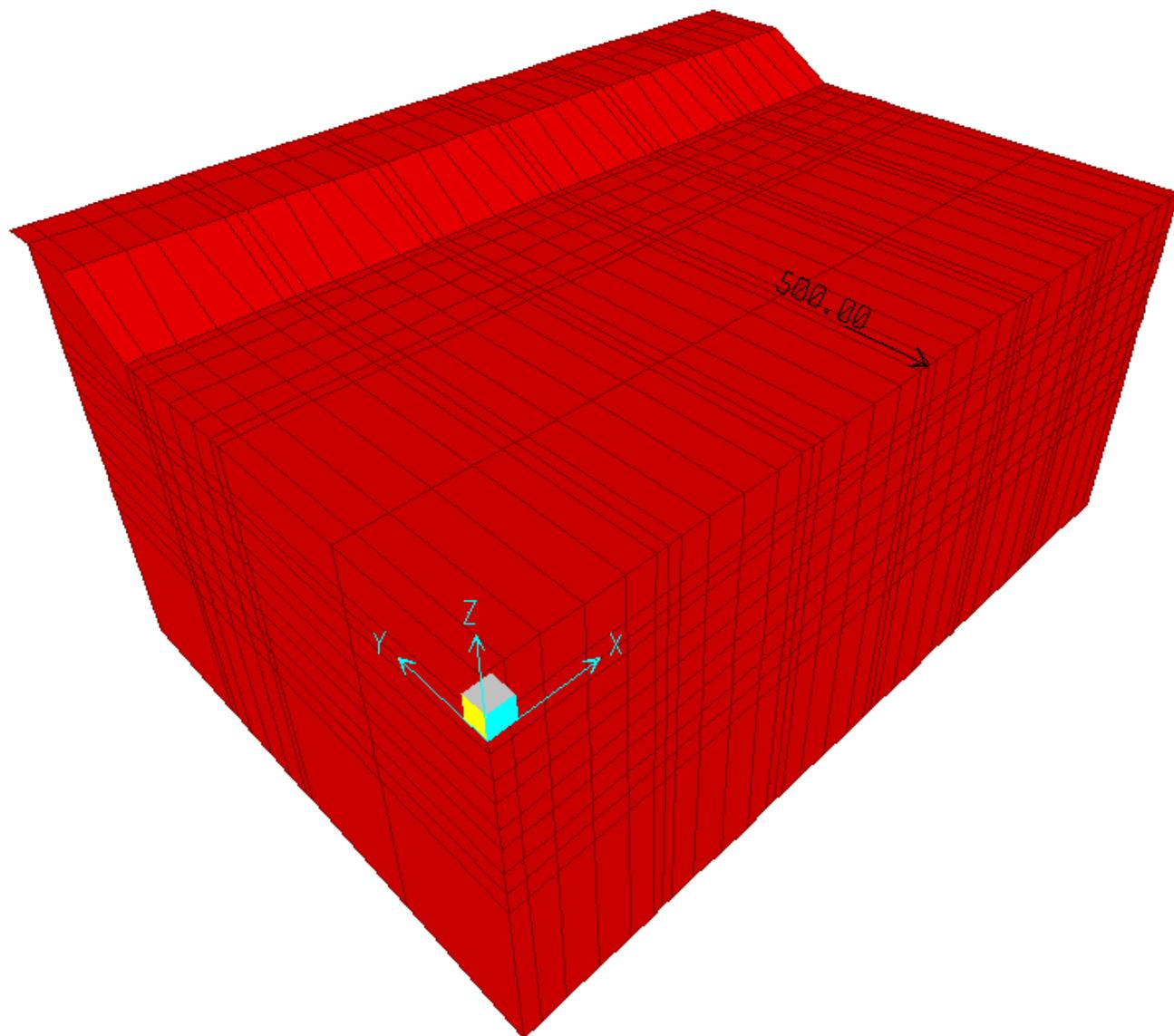


Figura 92 – Schema di carico. Tiro alla bitta [kN].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

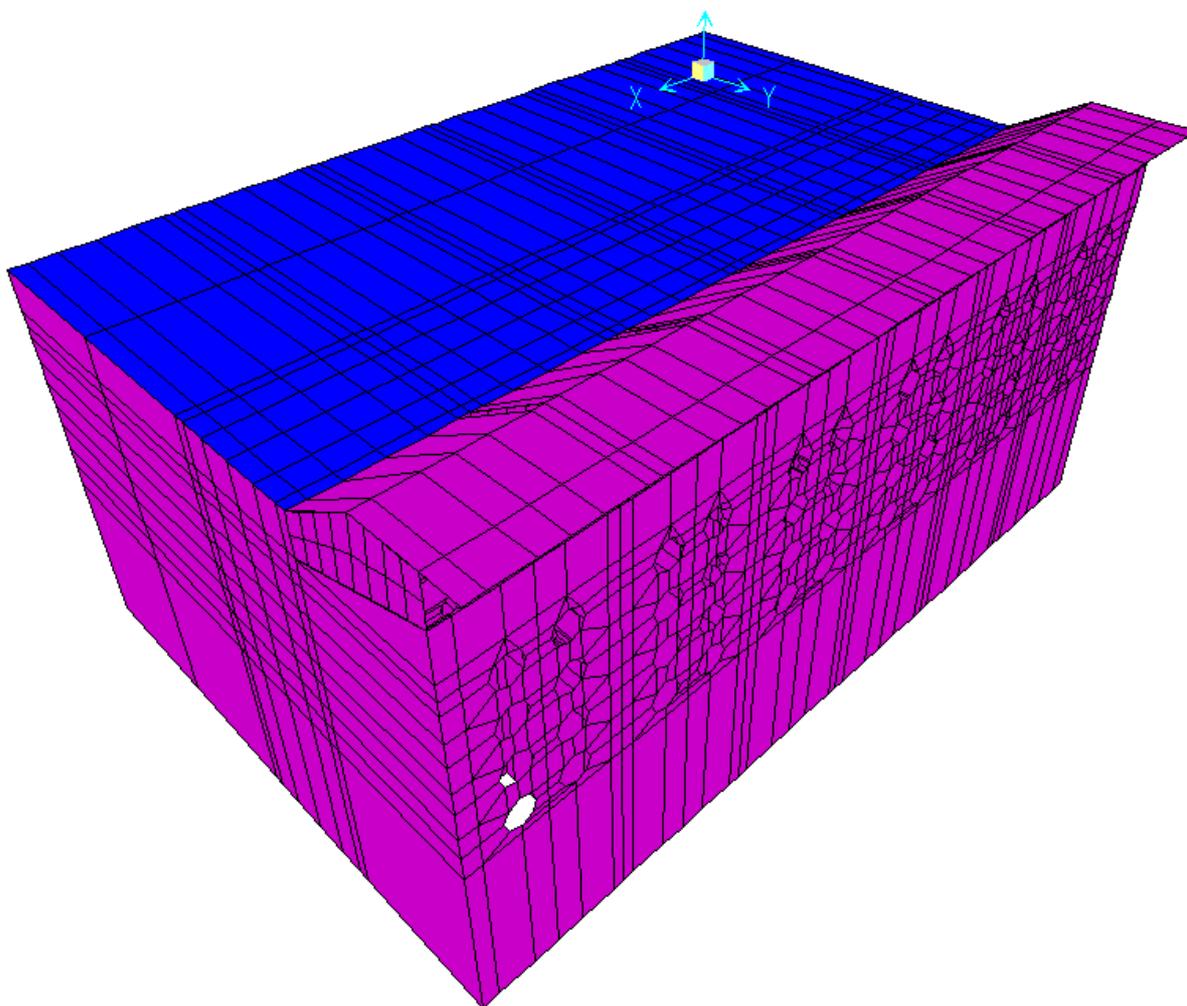


Figura 93 – Schema di carico. Sovraccarico di banchina [kN/m<sup>2</sup>].

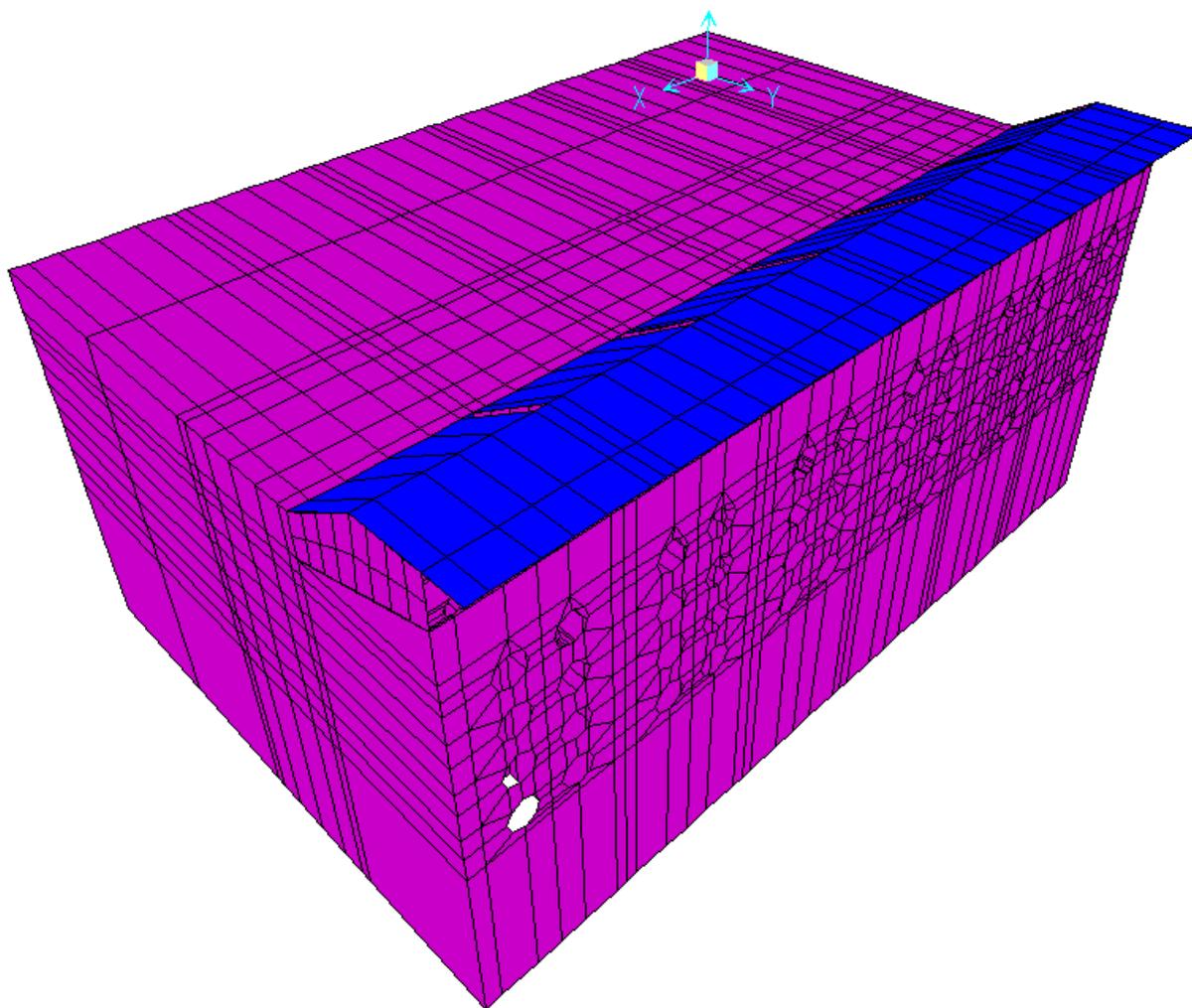


Figura 94 – Schema di carico. Sovraccarico sulla passeggiata [kN/m<sup>2</sup>].

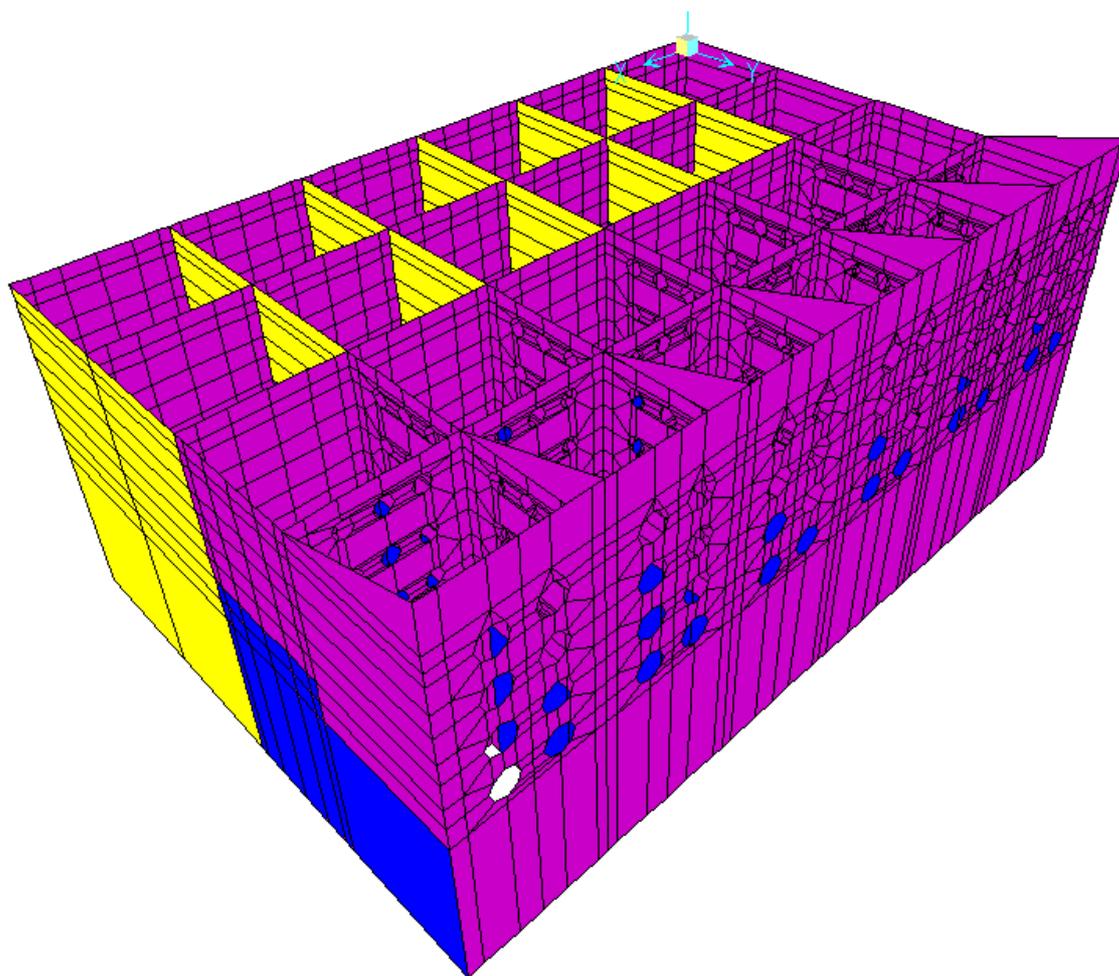


Figura 95 – Schema di carico. Spinta sismica del riempimento direzione x[kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

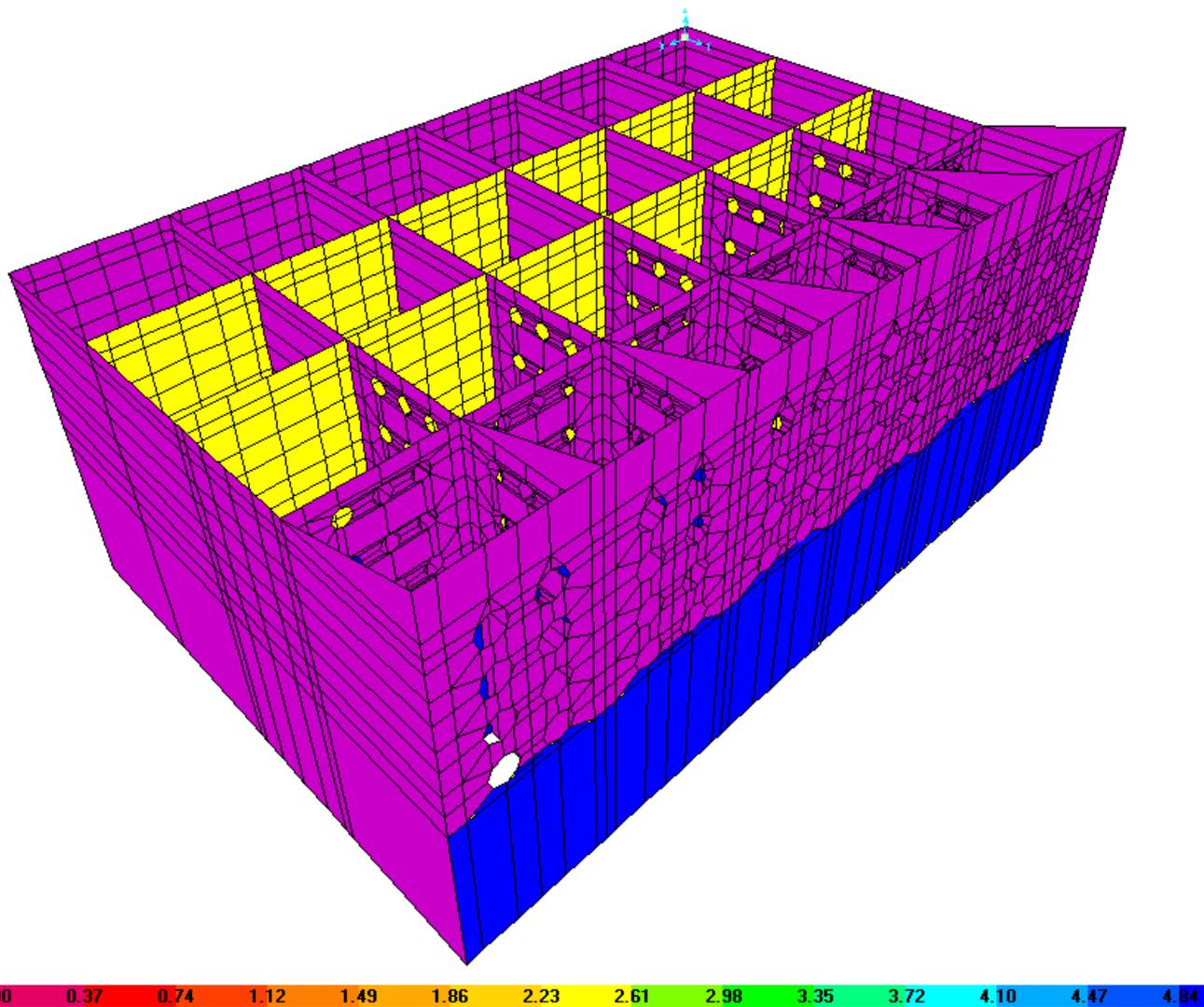


Figura 96 – Schema di carico. Spinta sismica del riempimento direzione y (da LP verso LM)[kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

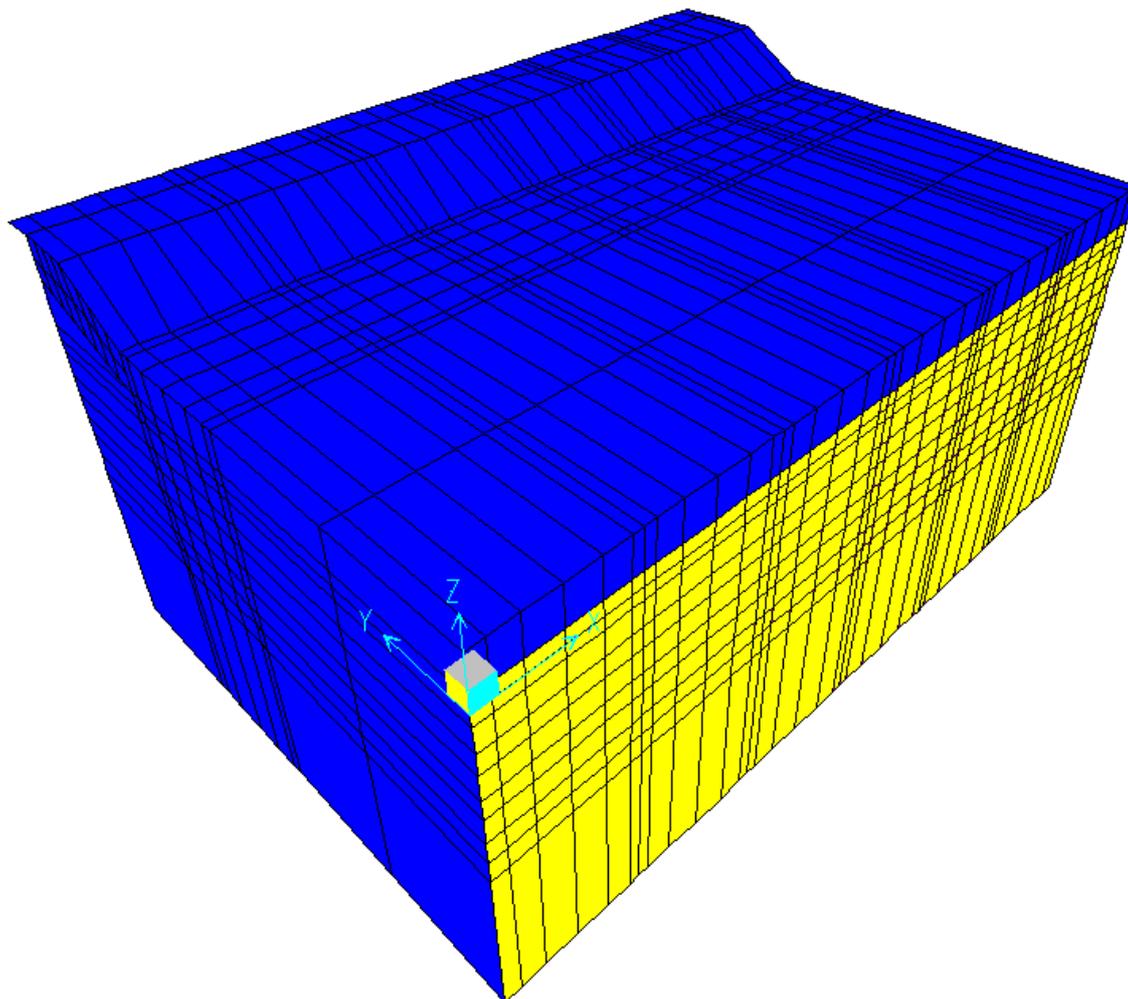


Figura 97 – Schema di carico. Spinta sismica del riempimento direzione y (da LM verso LP) [kN/m<sup>2</sup>].

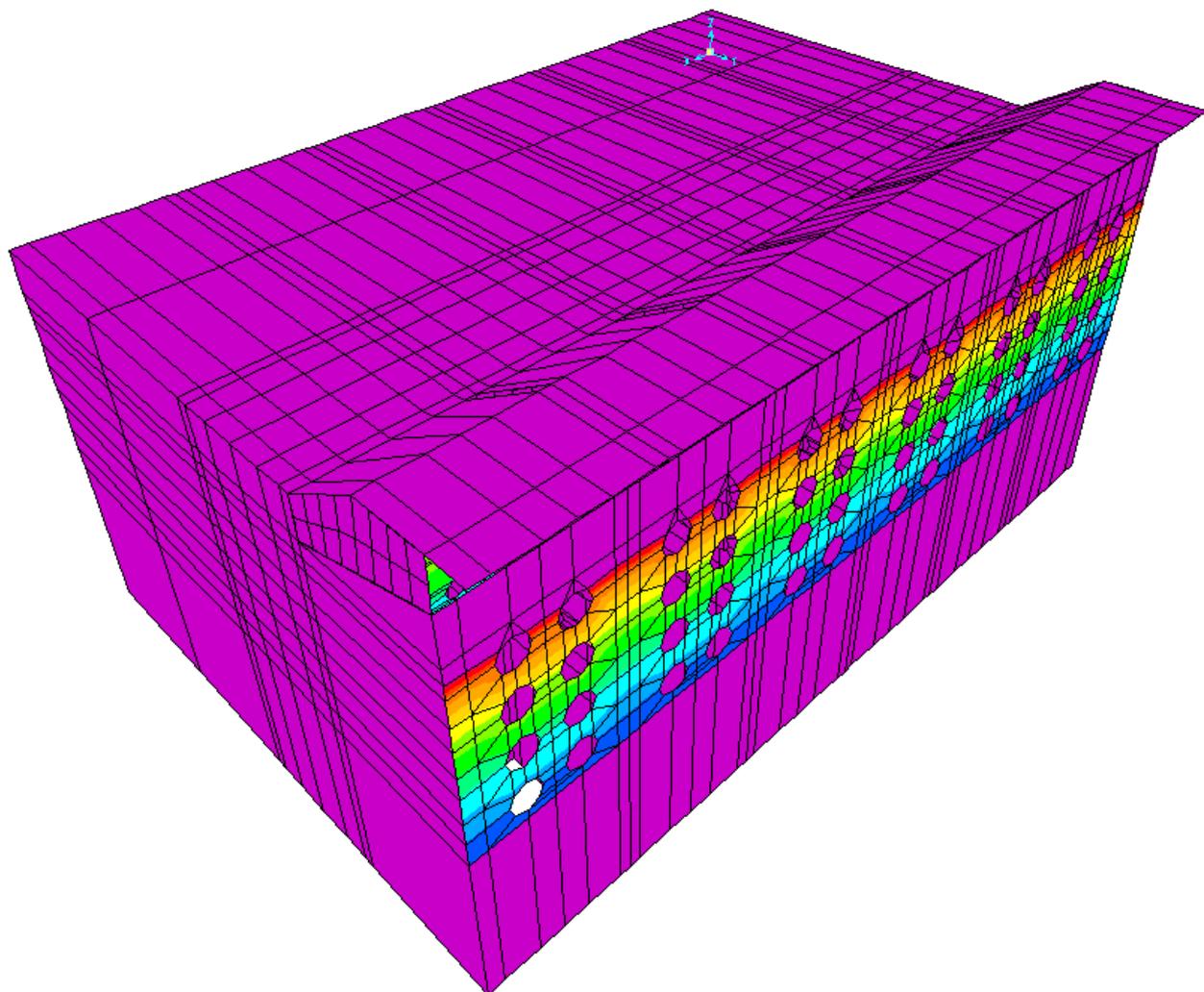


Figura 98 – Schema di carico. Spinta sismica dell'acqua direzione y (da LP verso LM) [kN/m<sup>2</sup>].

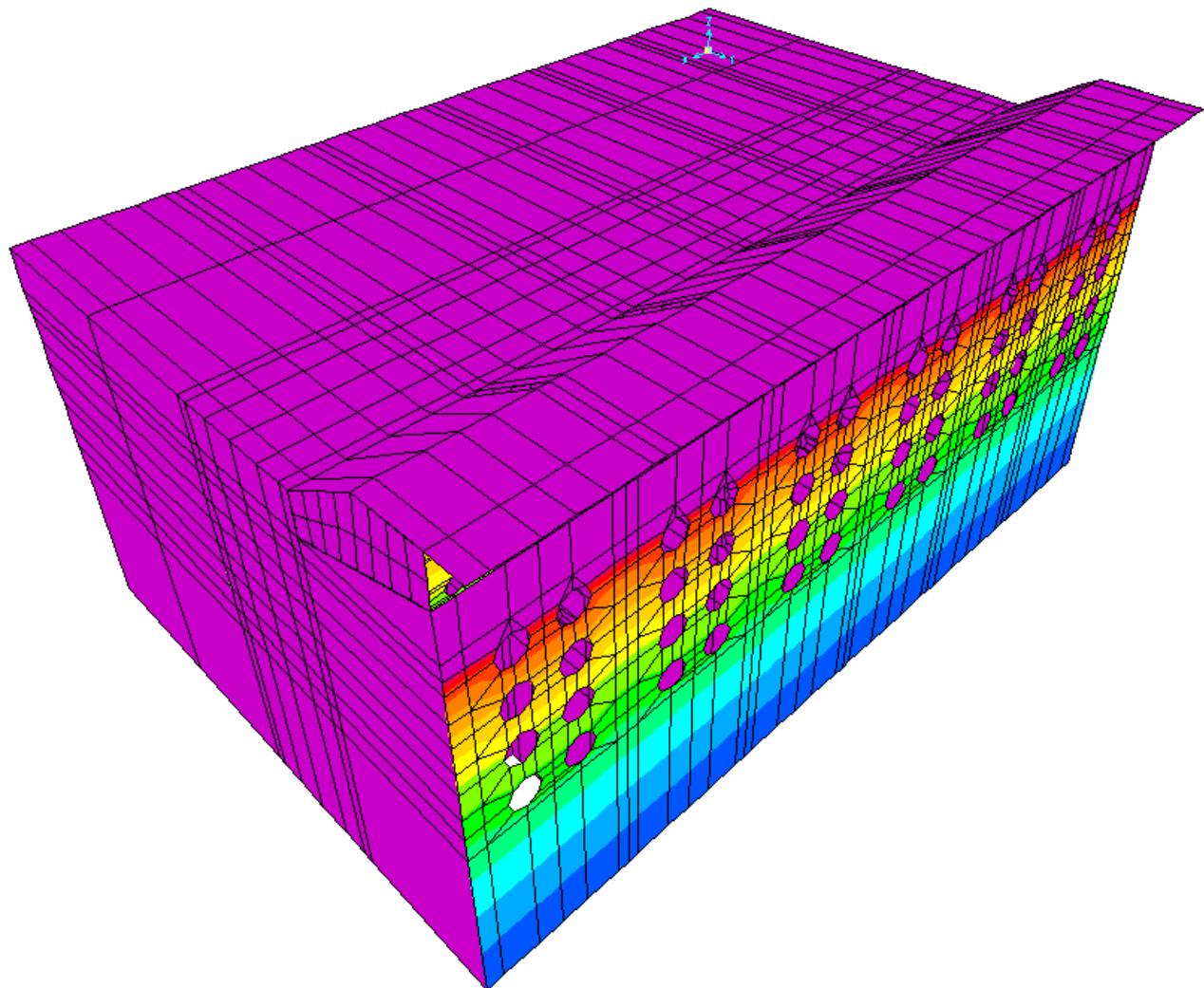


Figura 99 – Schema di carico. Spinta sismica dell'acqua direzione y (da LM verso LP) [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

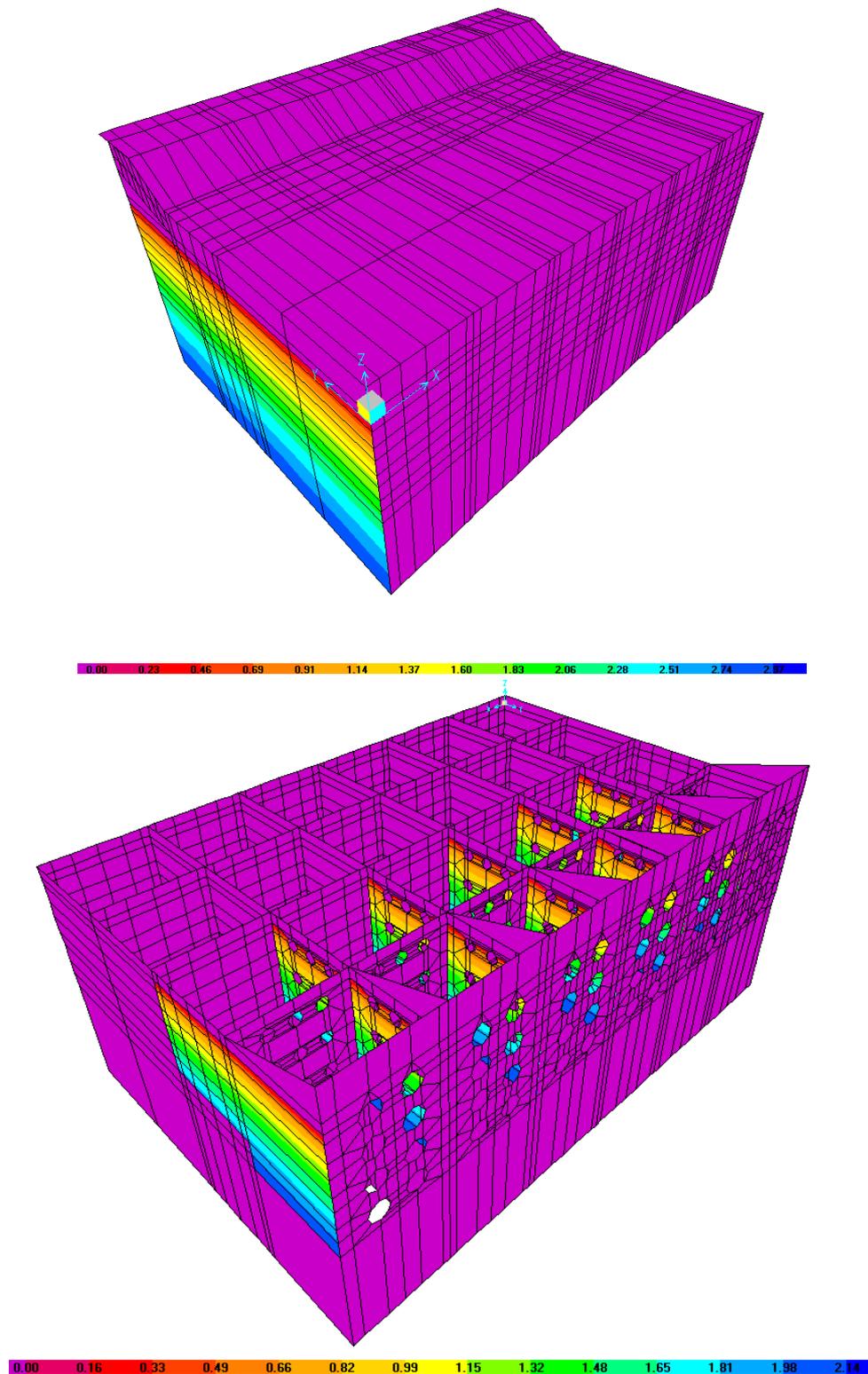


Figura 100 – Schema di carico. Spinta sismica dell'acqua direzione x [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

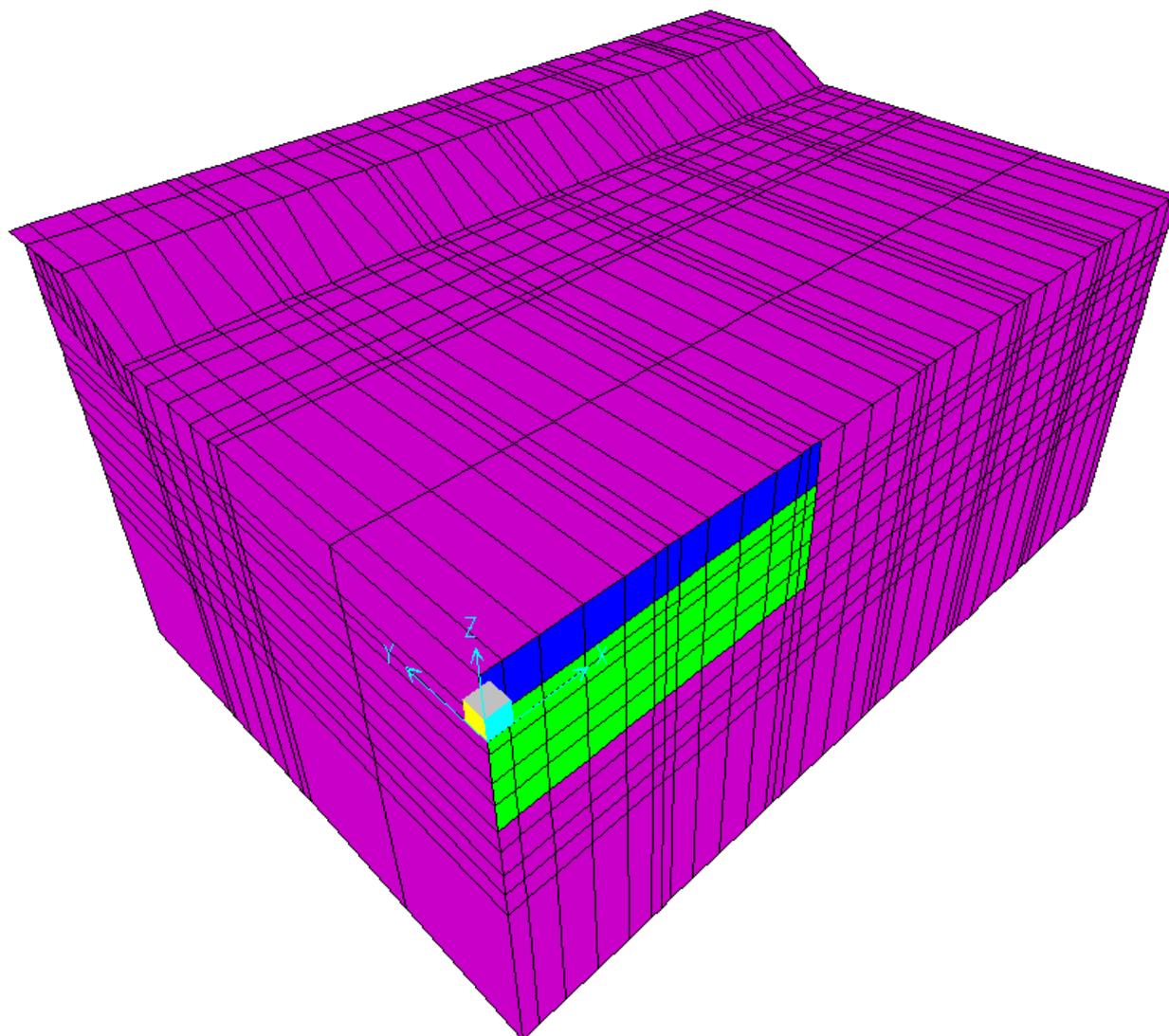


Figura 101 – Schema di carico. Urto – posizione 1 [kN/m<sup>2</sup>].

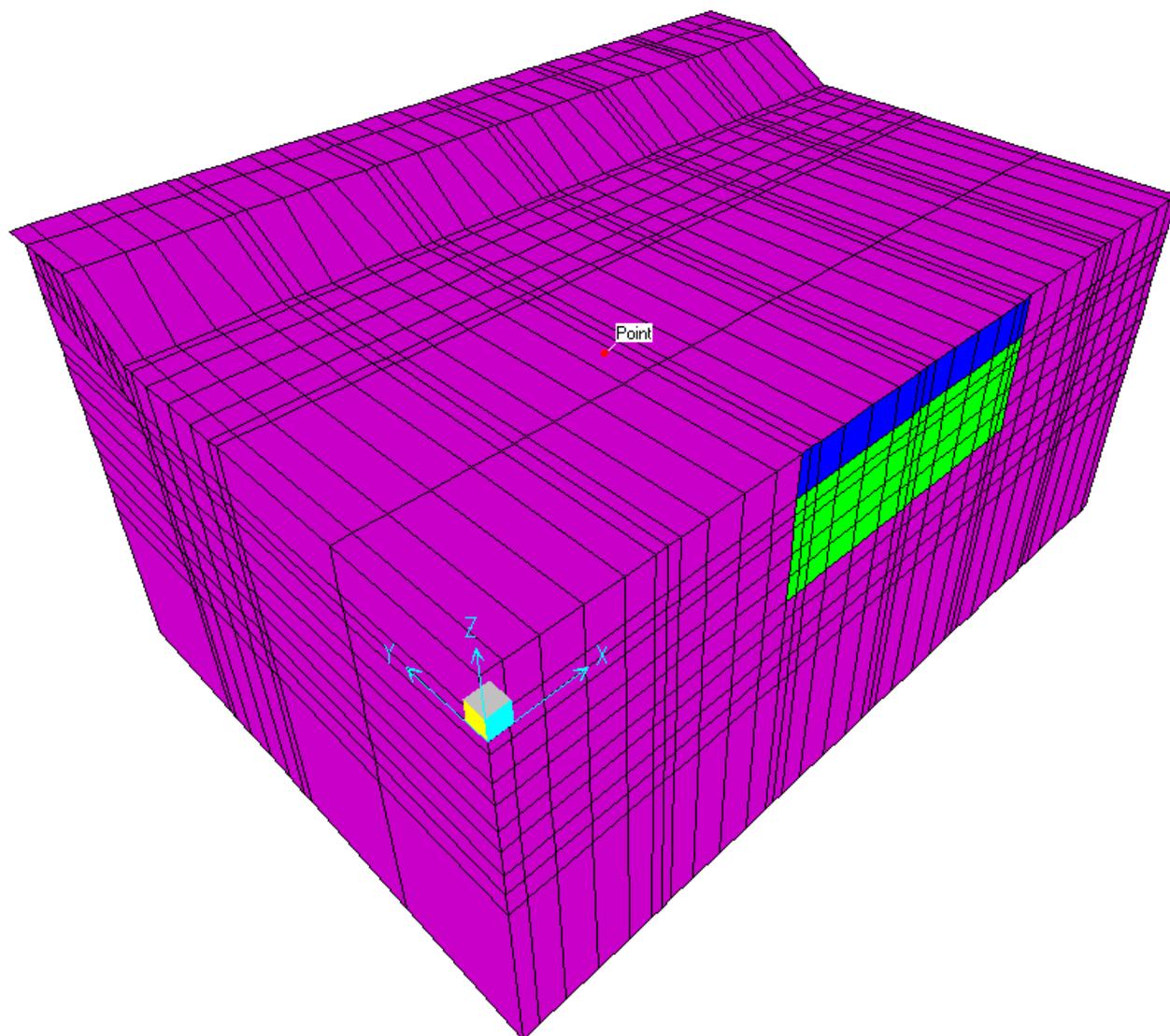


Figura 102 – Schema di carico. Urto – posizione 2 [kN/m<sup>2</sup>].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

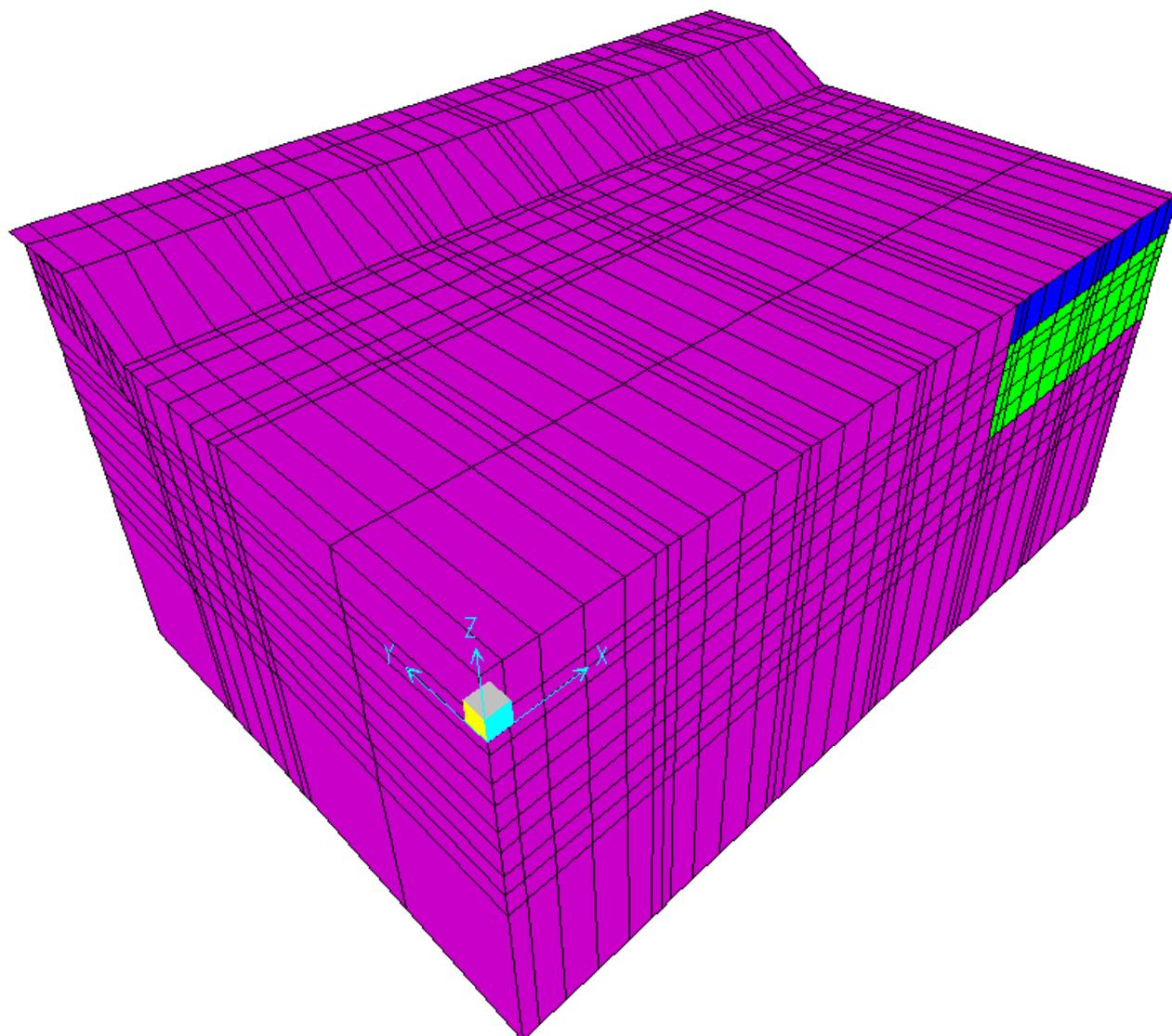


Figura 103 – Schema di carico. Urto – posizione 3 [kN/m<sup>2</sup>].



### 7.3.2.4 Pareti

#### 7.3.2.4.1 Verifiche allo SLU

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.

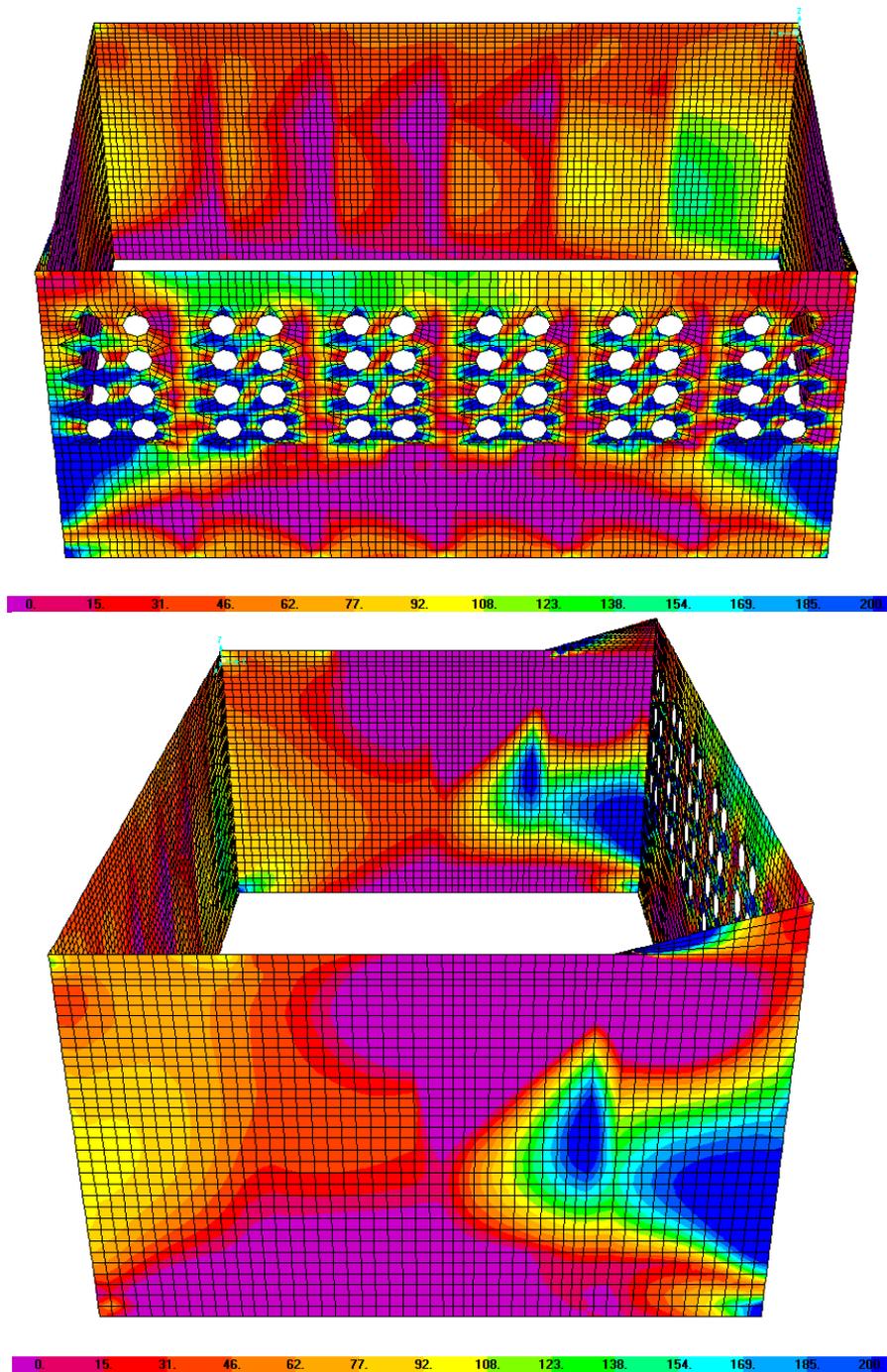


Figura 104–Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

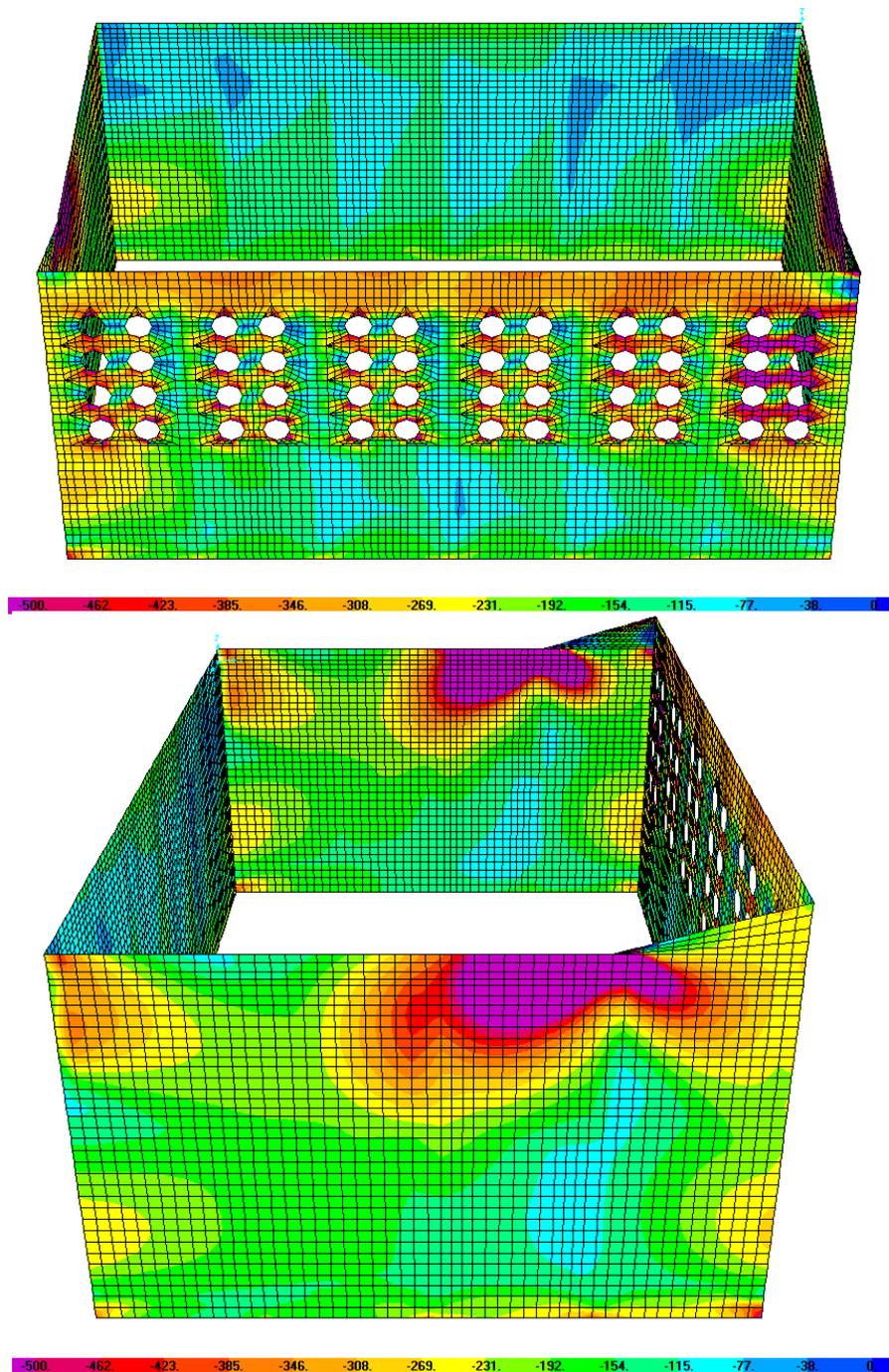


Figura 105 - Pareti. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 min [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

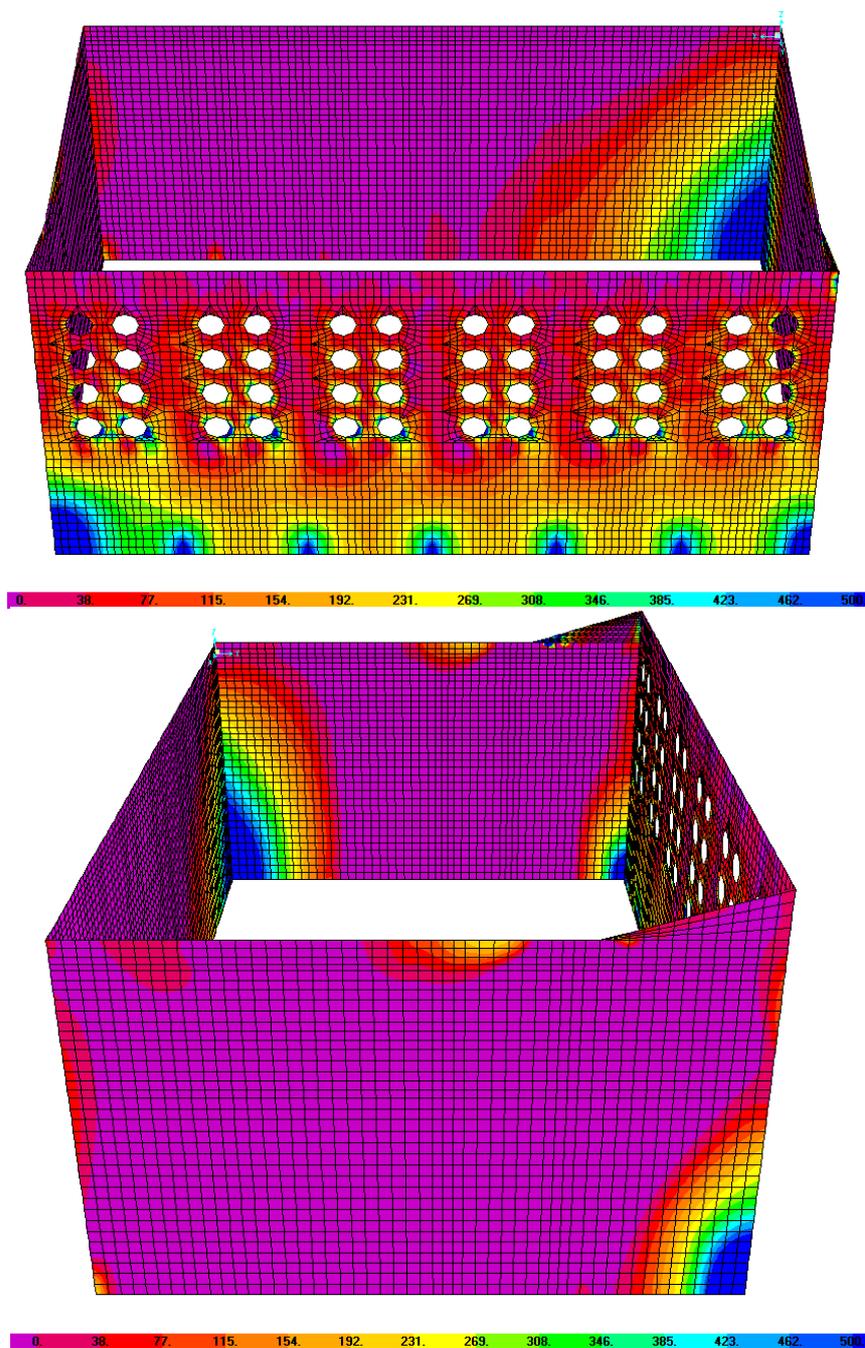


Figura 106 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F22 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

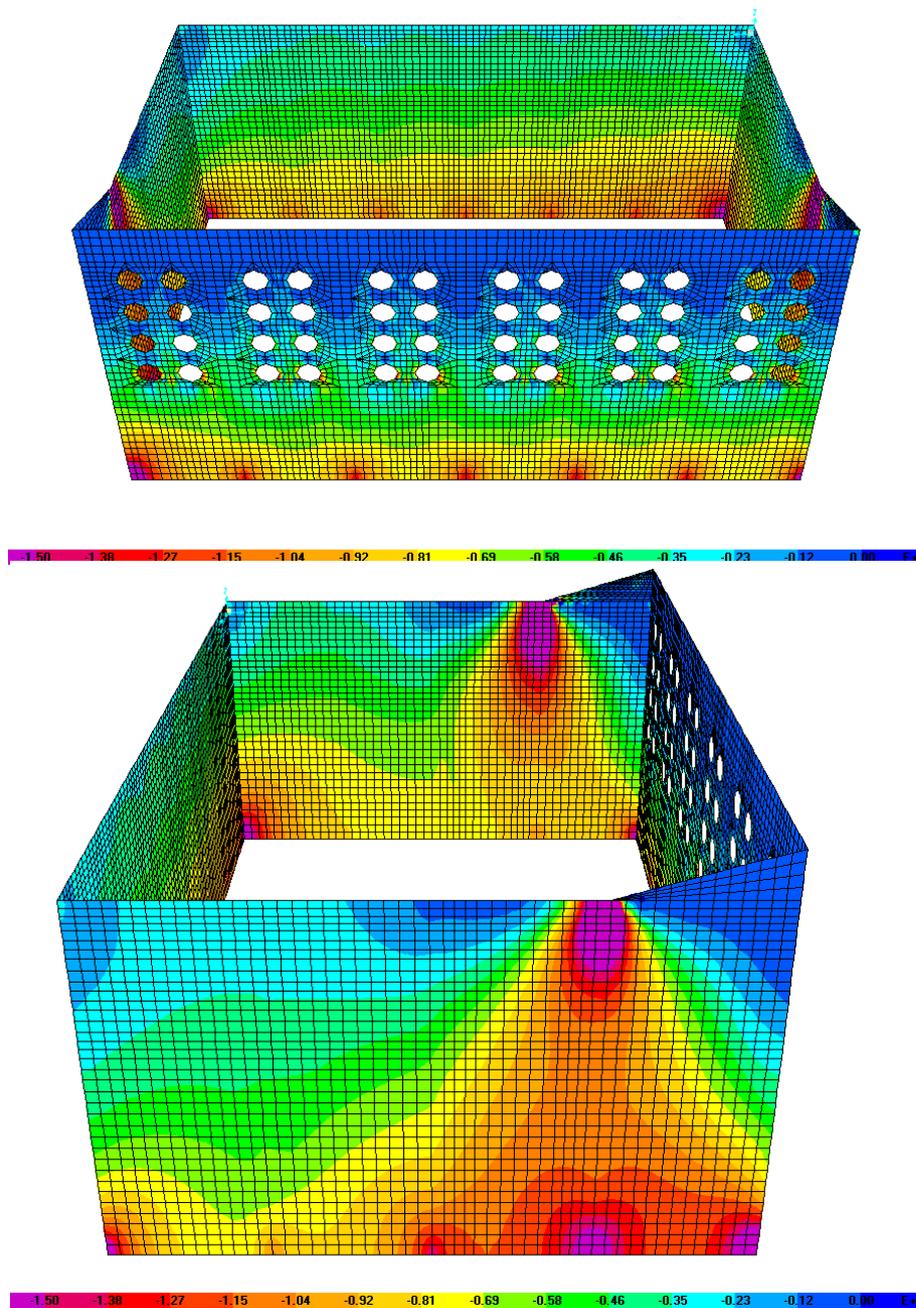


Figura 107 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F22 min [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

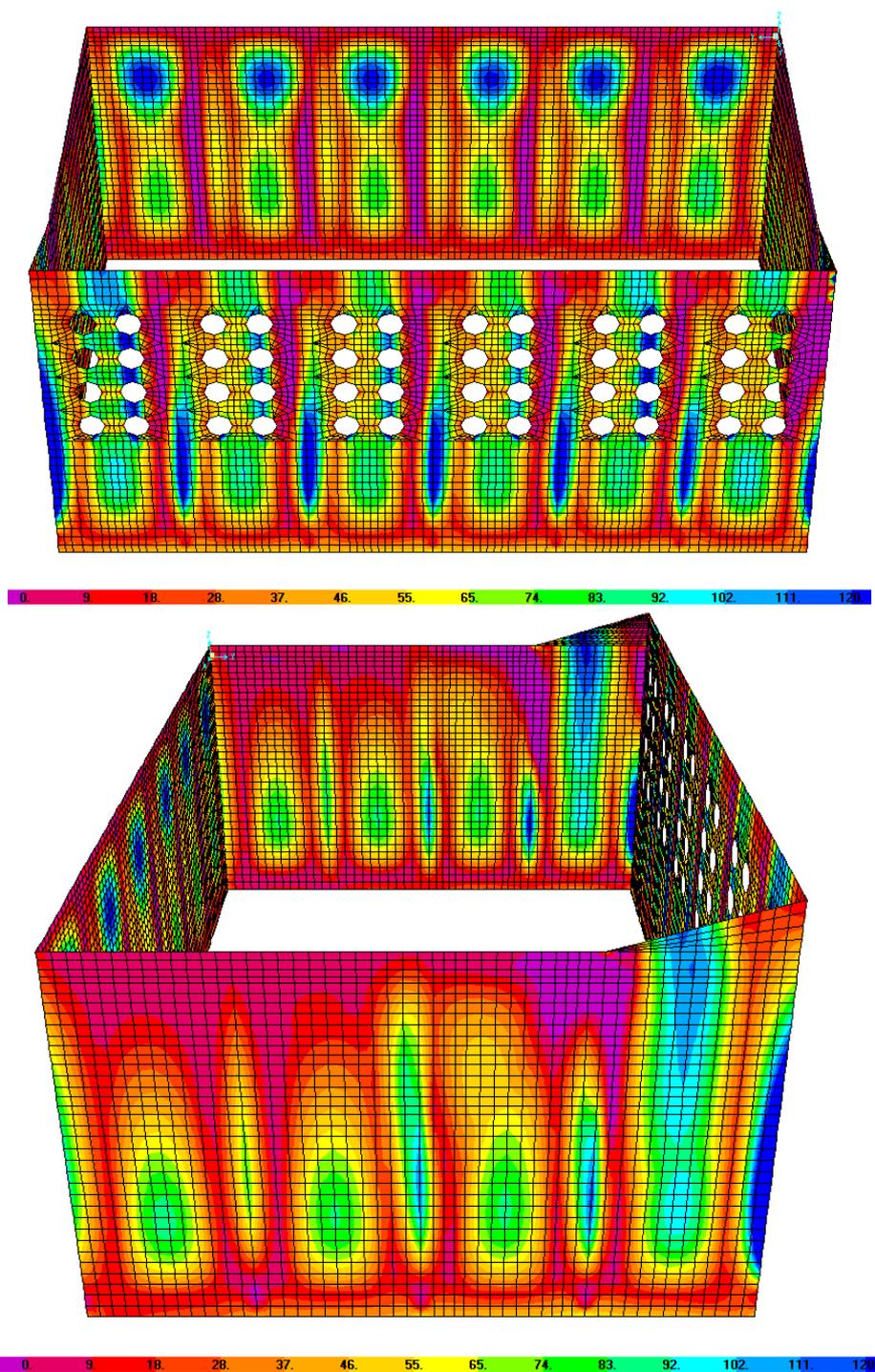


Figura 108 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - M11 max [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

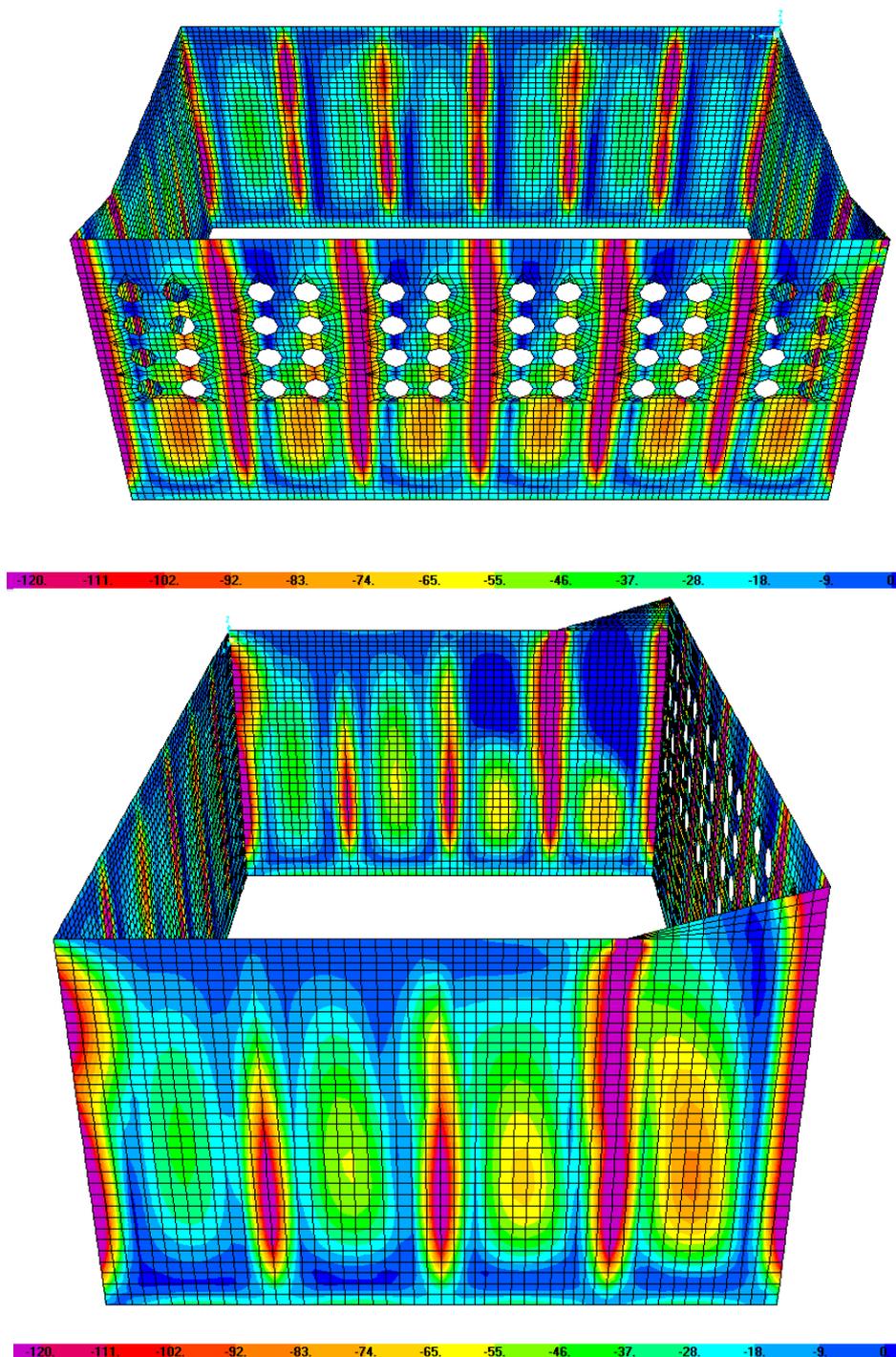


Figura 109 - Pareti. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - M11 min [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

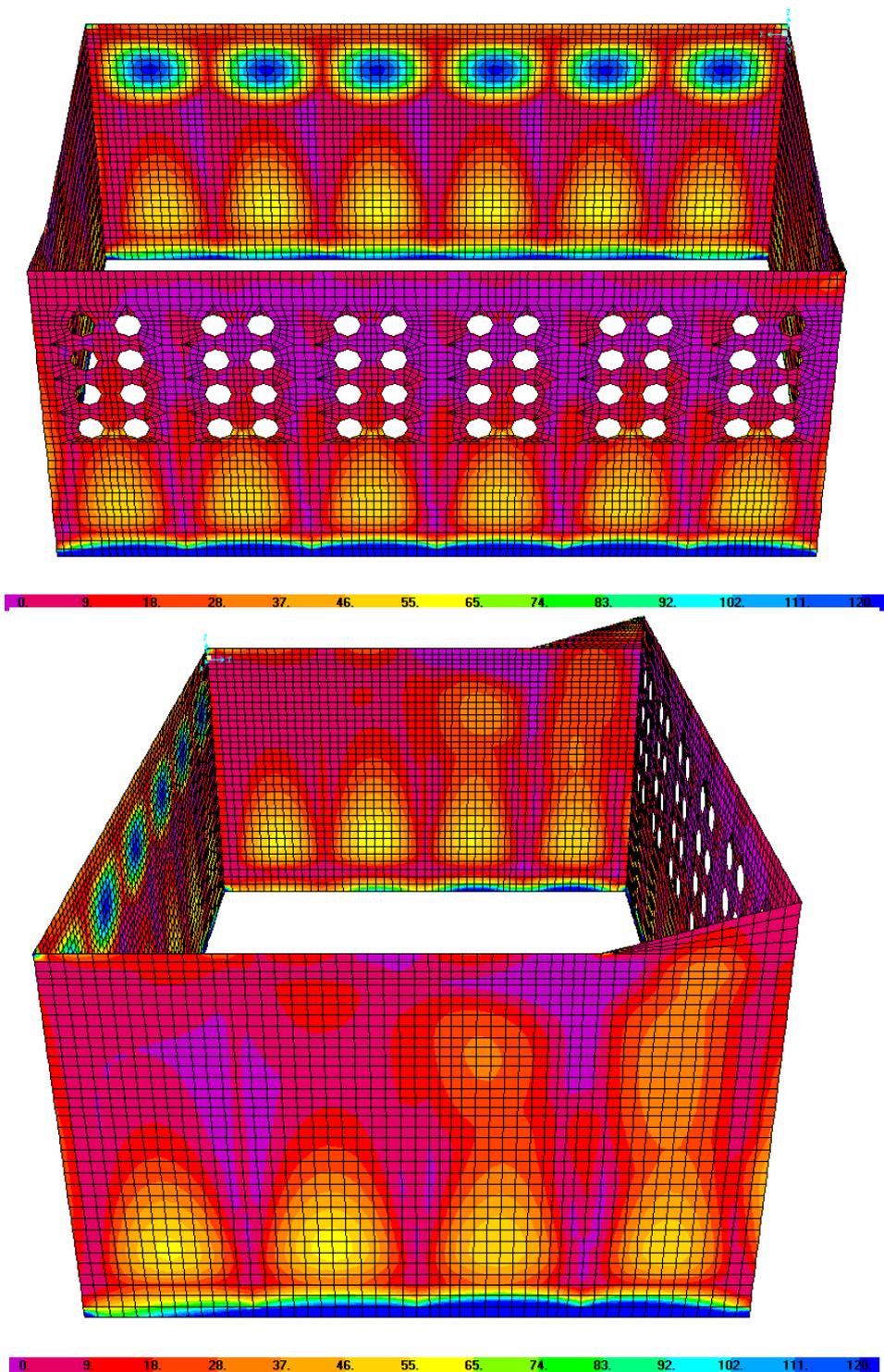


Figura 110 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV -  $M_{22}$  max [kNm/m].

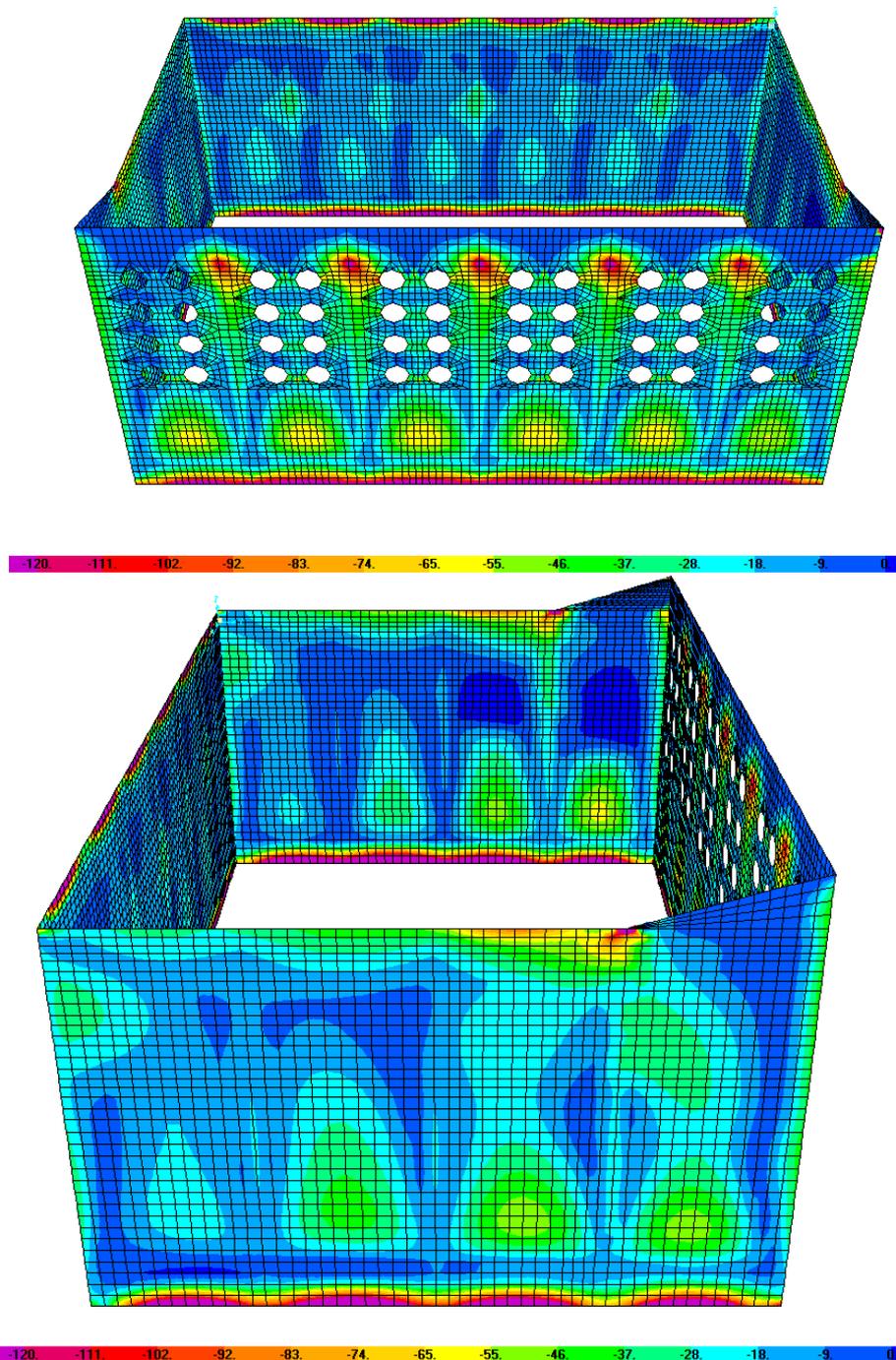


Figura 111 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - M22 min [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

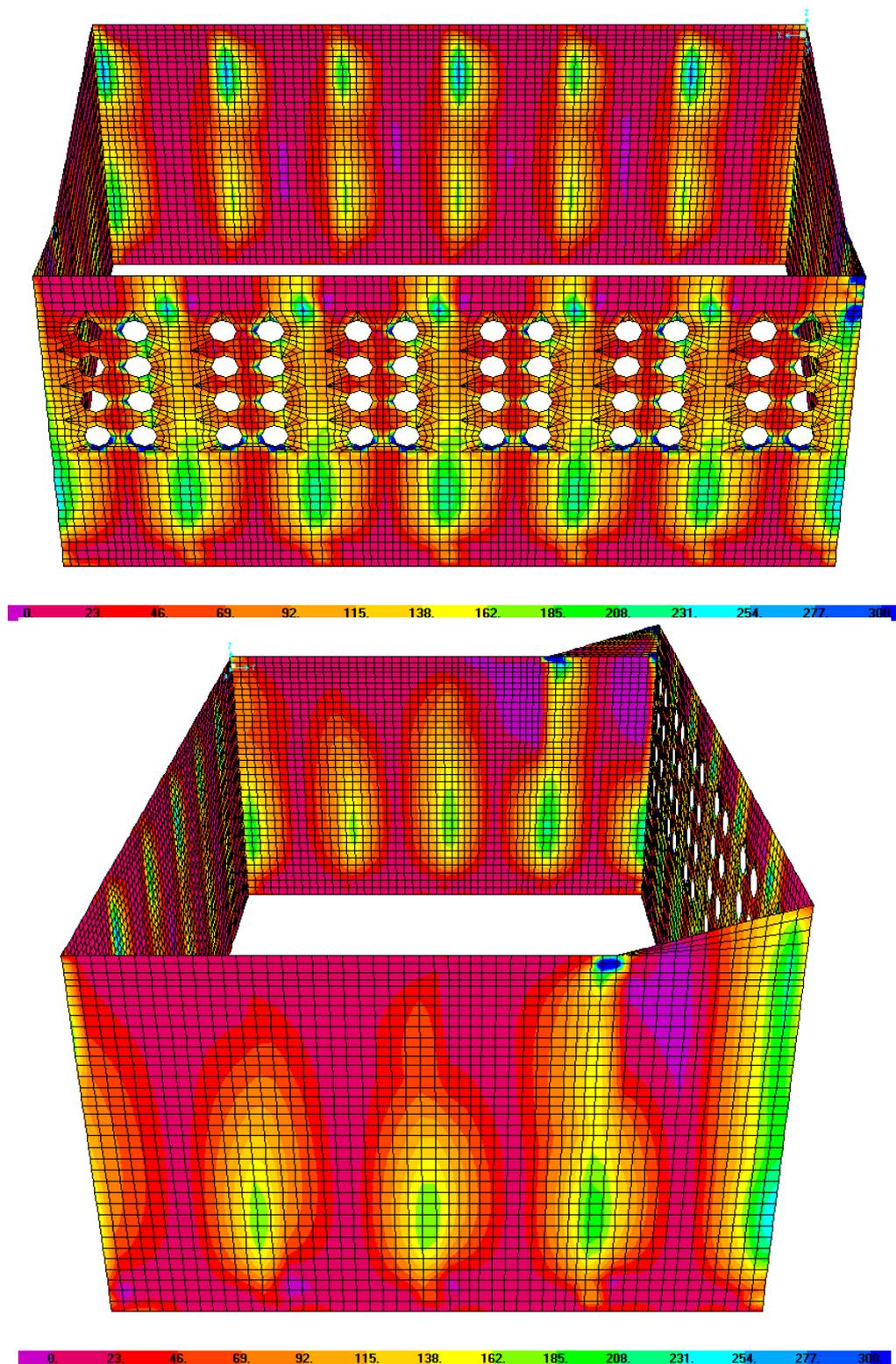


Figura 112 - Pareti. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - V13 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

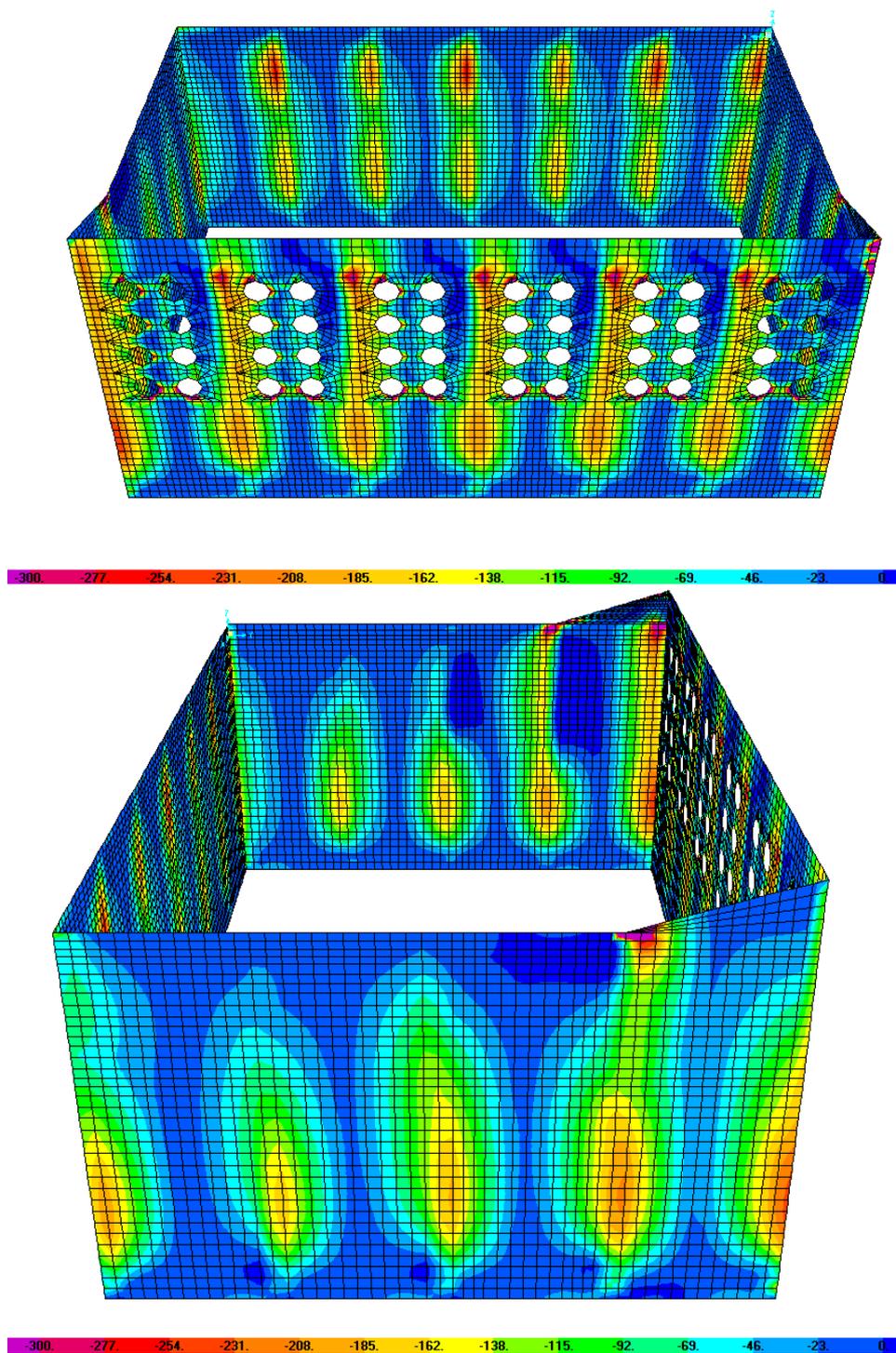


Figura 113 - Pareti. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - V13 min [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

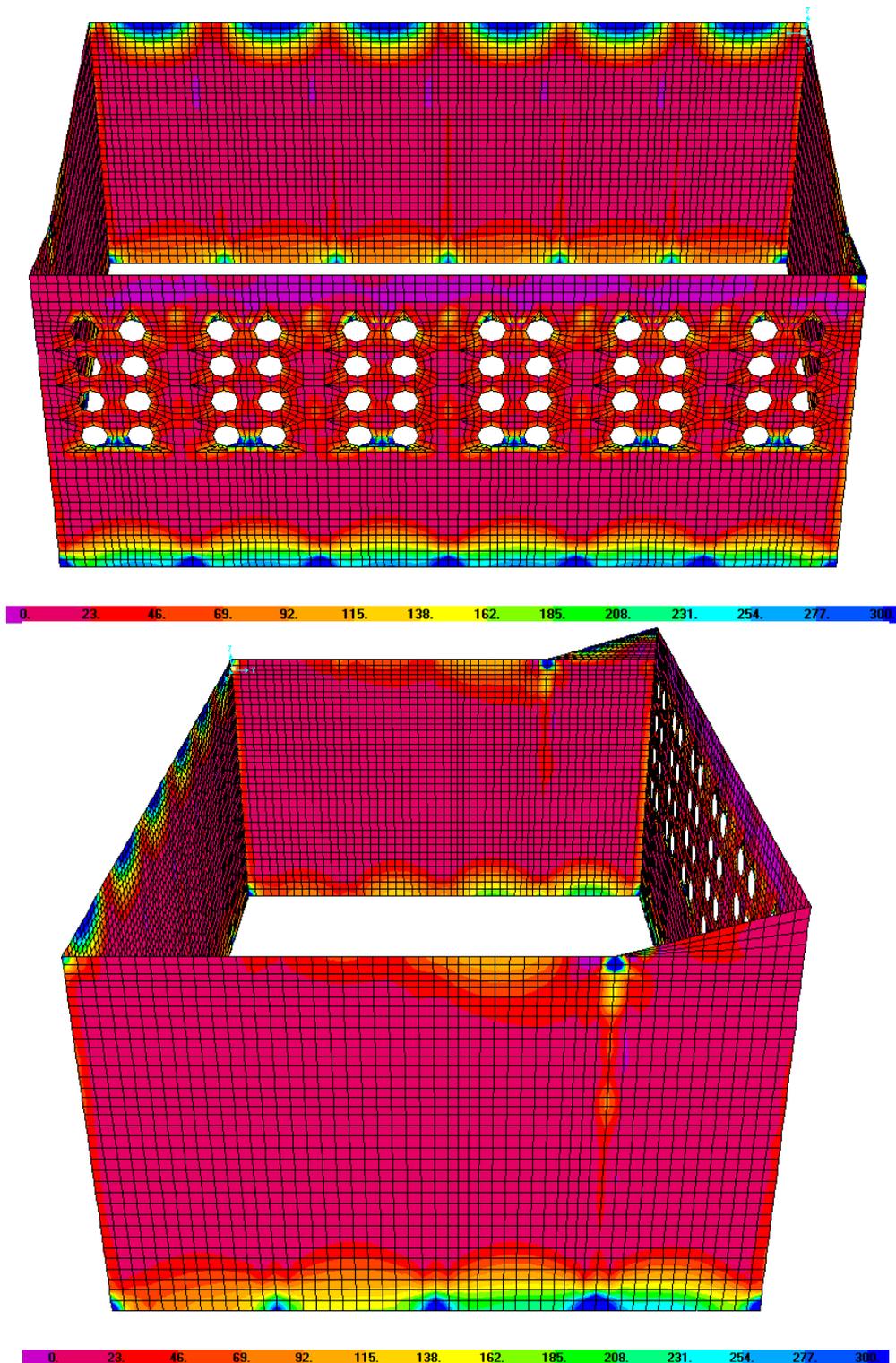


Figura 114 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - V23 max [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

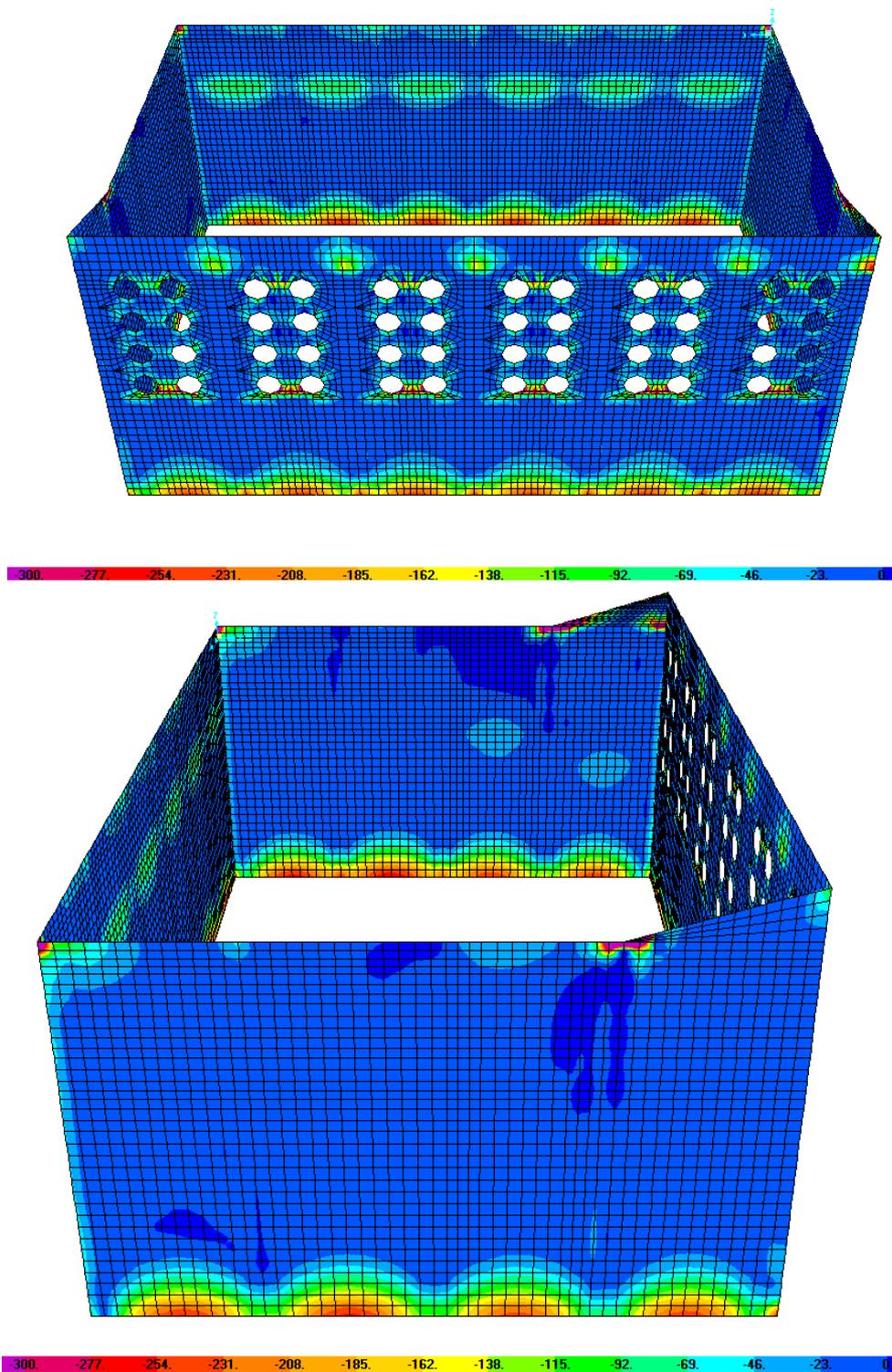


Figura 115 - Pareti. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - V23 min [kN/m].



### 7.3.2.4.1.1 Verifiche a flessione (SLU)

La sezione di verifica è rettangolare avente base  $B = 1,00$  m ed altezza  $H = 0,60$  m. In alcuni punti, all'attacco con l'altra parete, si è considerato un'altezza maggiore per lo smusso d'angolo.

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm. esterna		Arm. interna		$M_{ED}$ [kNm]	$N_{ED}$ [kN]	$M_{RD}$ [kNm]	$M_{RD}/M_{ED}$
					1°	2°	1°	2°				
Direzione Orizzontale	Filo pareti trasversali (sezione ringrossata)	$M_{11,max}$	1.00	0.85	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	152	295	202	1.33
	Filo pareti trasversali (sezione corrente)	$M_{11,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	101	300	140	1.39
	Campata celle (zona fori)	$M_{11,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	90	132	185	2.06
	Filo pareti trasversali e setti trasversali (sezione ringrossata)	$M_{11,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-140	254	-219	1.56
	Filo pareti trasversali e setti trasversali (sezione corrente)	$M_{11,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-119	254	-152	1.28
Direzione Verticale	Campata celle	$M_{22,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	55	228	268	4.87
	Filo solettone	$M_{22,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-103	445	-212	2.06

Tabella 54 – Parete longitudinale LM – verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm. esterna		Arm. interna		$M_{ED}$ [kNm]	$N_{ED}$ [kN]	$M_{RD}$ [kNm]	$M_{RD}/M_{ED}$
					1°	2°	1°	2°				
Direzione Orizzontale	Campata celle	$M_{11,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	132	80	199	1.51
	Campata celle	$N_{11,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	88	143	182	2.07
	Filo pareti trasversali	$M_{11,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-144	58	-185	1.28
	Filo setti trasversali	$M_{11,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-100	134	-205	2.05
Direzione Verticale	Campata celle	$M_{22,max}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	124	228	268	2.16
	Sommità	$M_{22,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-177	230	-268	1.51
	Filo solettone	$M_{22,min}$	1.00	0.60	5 $\Phi$ 16	-	5 $\Phi$ 16	-	-117	445	-212	1.81

Tabella 55 – Parete longitudinale LP – verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm superiore		Arm. Inferiore		M <sub>ED</sub> [kNm]	N <sub>ED</sub> [kN]	M <sub>RD</sub> [kNm]	M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub>
					1°	2°	1°	2°				
Direzione Orizzontale	Sommità cella lato mare	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	134	249	154	1.15
	Sommità cella lato mare	M <sub>11,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	130	255	152	1.17
	Filo pareti longitudinali e setti longitudinali	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-126	229	-159	1.26
	Campata celle	M <sub>11,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-84	210	-164	1.95
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	60	273	147	2.45
	Filo solettone	M <sub>22,min</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-104	366	-121	1.16

Tabella 56 – Pareti trasversali – verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

7.3.2.4.1.2 Verifiche a taglio (SLU)

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza.

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	N <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub> -
					1°	2°								
Direzione Orizzontale	Filo pareti trasversali e setti (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5Φ16	-	272	245	9Φ10/m <sup>2</sup>	273	480	2535	480	1.76
	Filo pareti trasversali e setti (sezione corrente)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	208	245	9Φ10/m <sup>2</sup>	198	325	1714	325	1.56
Direzione Verticale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	221	445	9Φ10/m <sup>2</sup>	172	325	1714	325	1.47

Tabella 57 – Parete longitudinale LM – verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	N <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub> -
					1°	2°								
Direzione Orizzontale	Filo pareti trasversali e setti (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5Φ16	-	208	55	9Φ10/m <sup>2</sup>	290	480	2535	480	2.31
	Filo pareti trasversali e setti (sezione corrente)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	161	55	9Φ10/m <sup>2</sup>	215	325	1714	325	2.02
Direzione Verticale	Sommità	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	368	230	9Φ10/m <sup>2</sup>	200	451	1714	451	1.23
	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	219	445	Φ10/20x40	172	325	1714	325	1.48

Tabella 58 – Parete longitudinale LP – verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV

SLU-ECC/SLV/STR			B [m]	H [m]	Arm tesa		V <sub>ED</sub> [kN]	N <sub>ED</sub> [kN]	Arm taglio	V <sub>RDcls</sub> [kN]	V <sub>RSD</sub> [kN]	V <sub>RCD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> [kN]	V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub> -
					1°	2°								
Direzione Orizzontale	Filo pareti longitudinali e setti longitudinali (sezione ringrossata)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.85	5Φ16	-	212	255	-	271	-	-	271	1.28
	Filo pareti longitudinali e setti longitudinali (sezione corrente)	V <sub>13,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	165	255	-	215	-	-	215	1.30
Direzione Verticale	Filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	221	366	9Φ10/m <sup>2</sup>	182	325	1714	325	1.47
	50 cm da filo solettone	V <sub>23,max</sub>	1.00	0.60	5Φ16	-	138	366	-	182	-	-	182	1.32

Tabella 59 – Pareti trasversali – verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV



### 7.3.2.4.1.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati dell'analisi numerica inerenti lo stato limite di esercizio del solettone di base.

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.

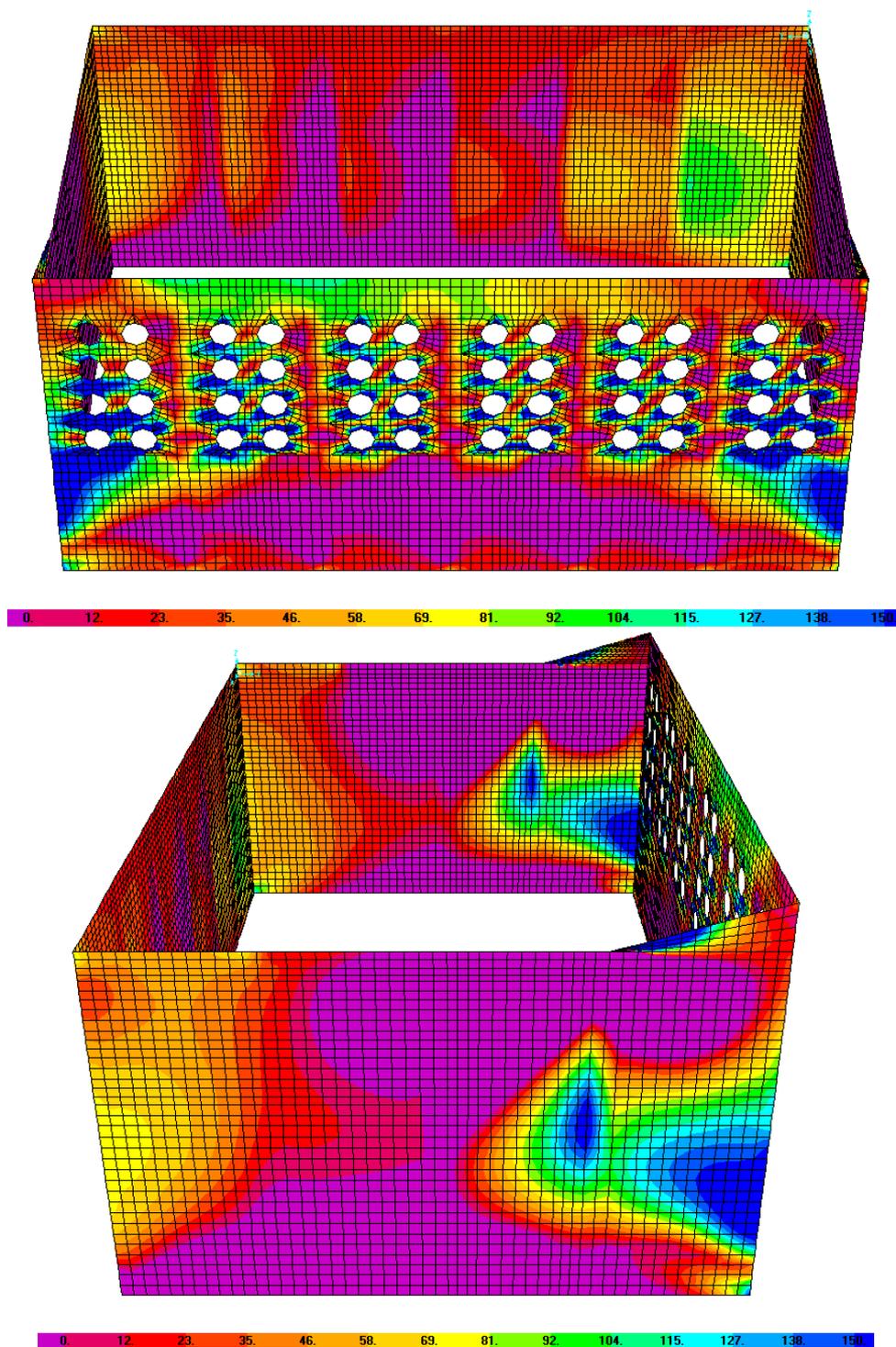




Figura 116-Pareti: Inviluppo Comb RARA (SLE) - F11 max [kN/m]

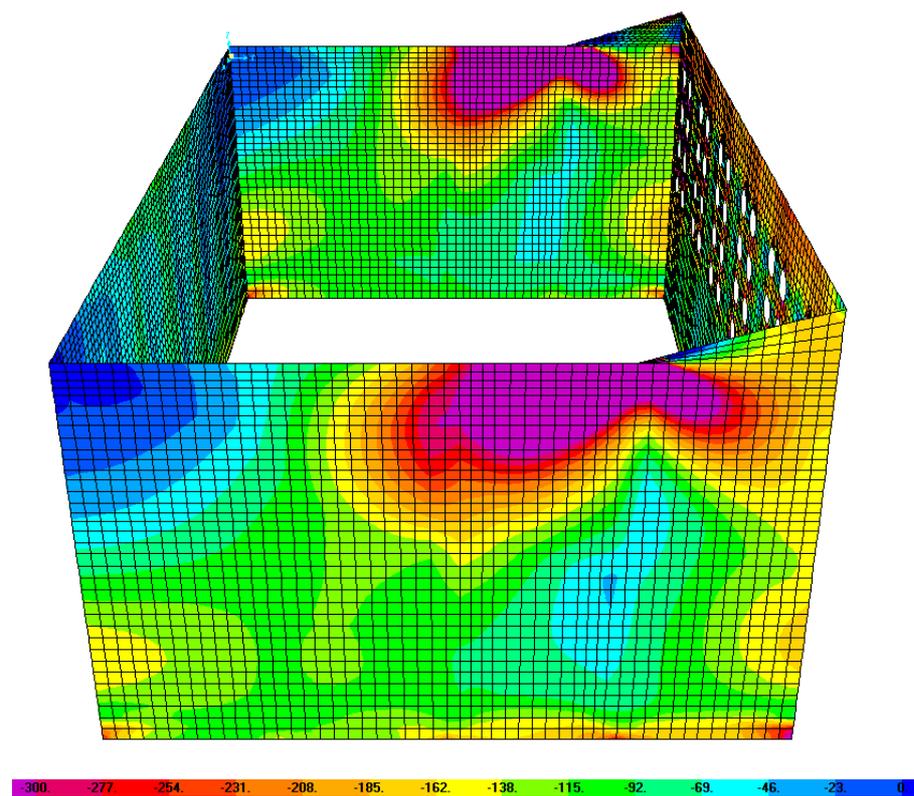
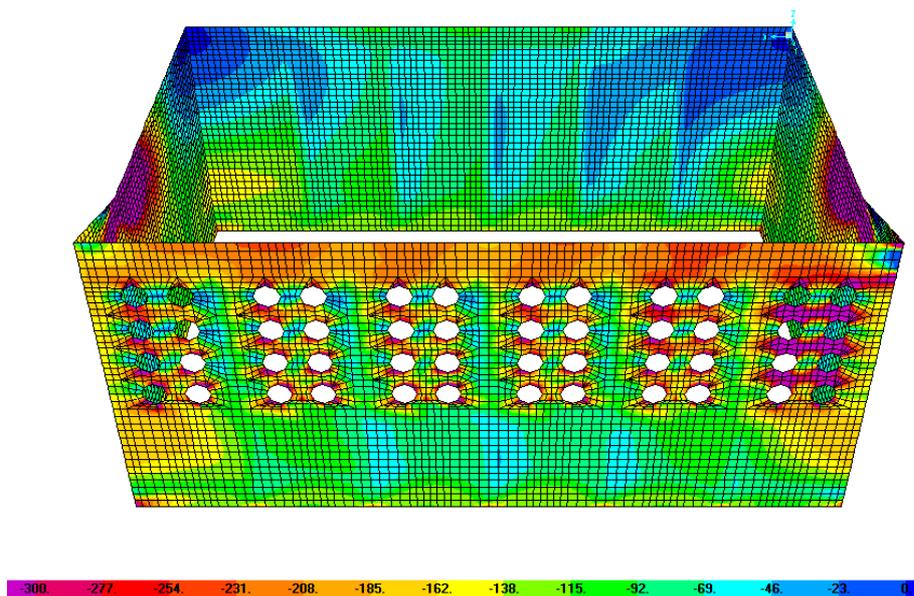


Figura 117 - Pareti:InviluppoComb RARA (SLE) - F11 min [kN/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

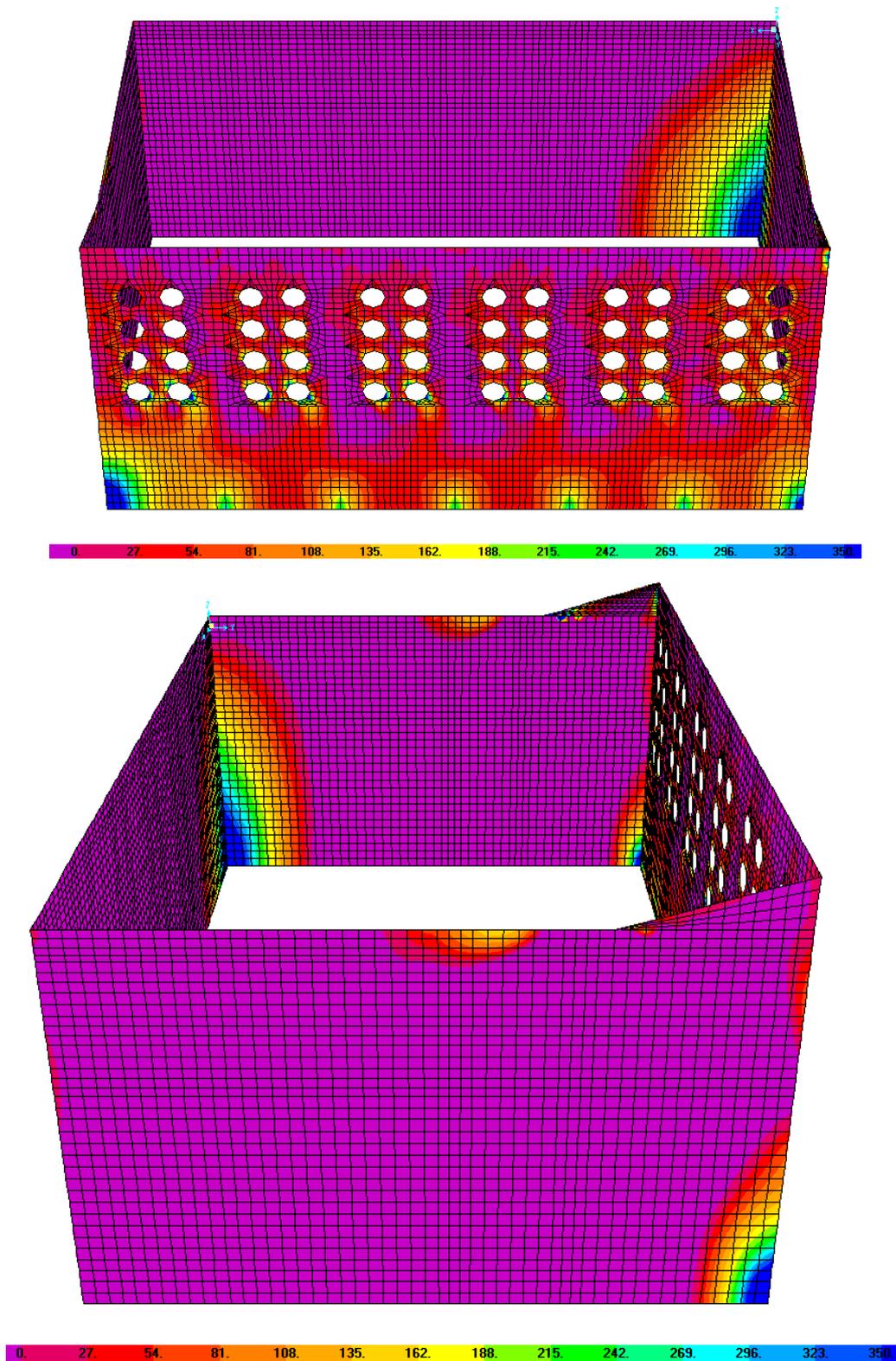


Figura 118 - Pareti:InviluppoComb RARA (SLE) – F22 max [kN/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

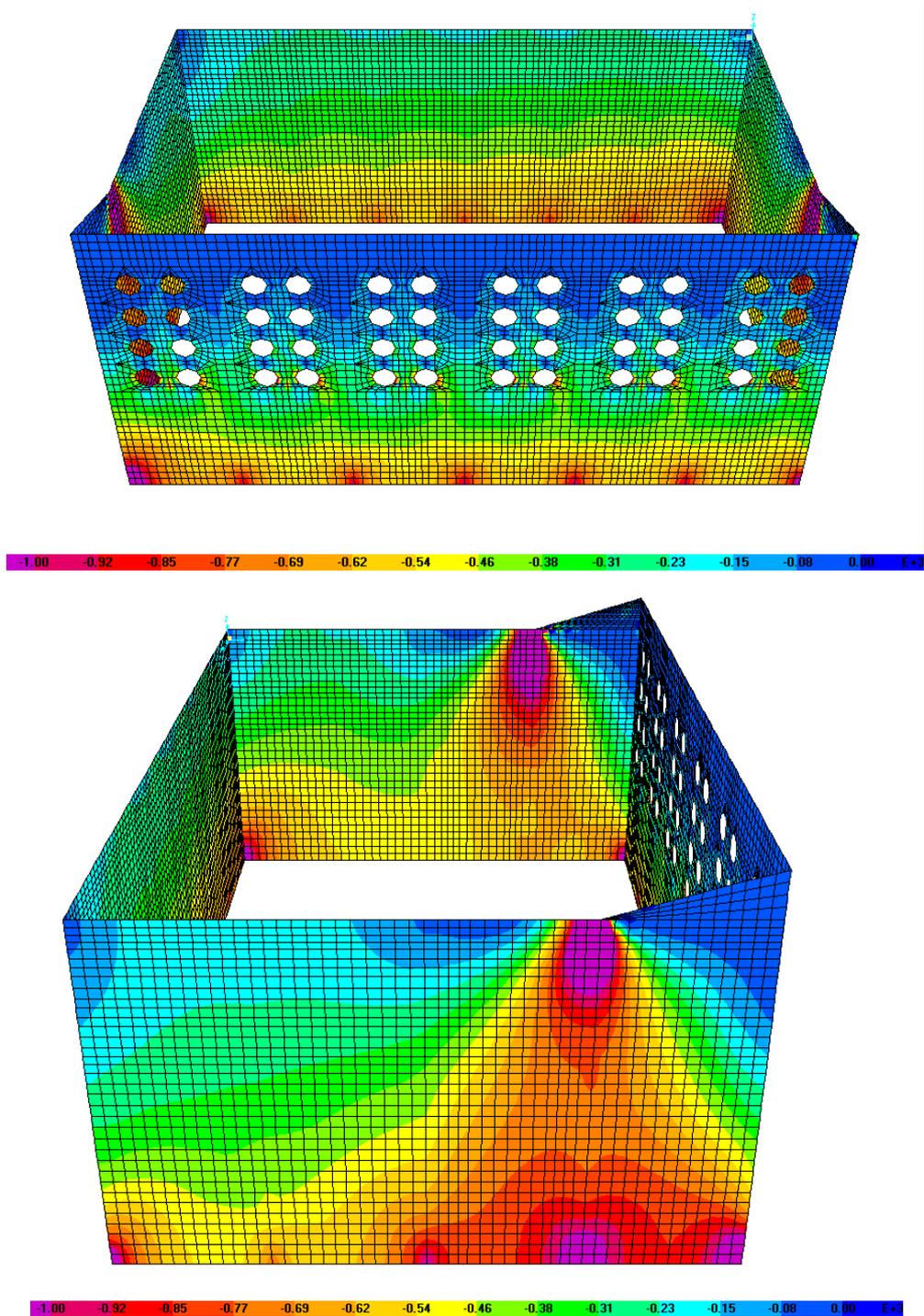


Figura 119 - Pareti:InviluppoComb RARA (SLE) – F22 min [kN/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

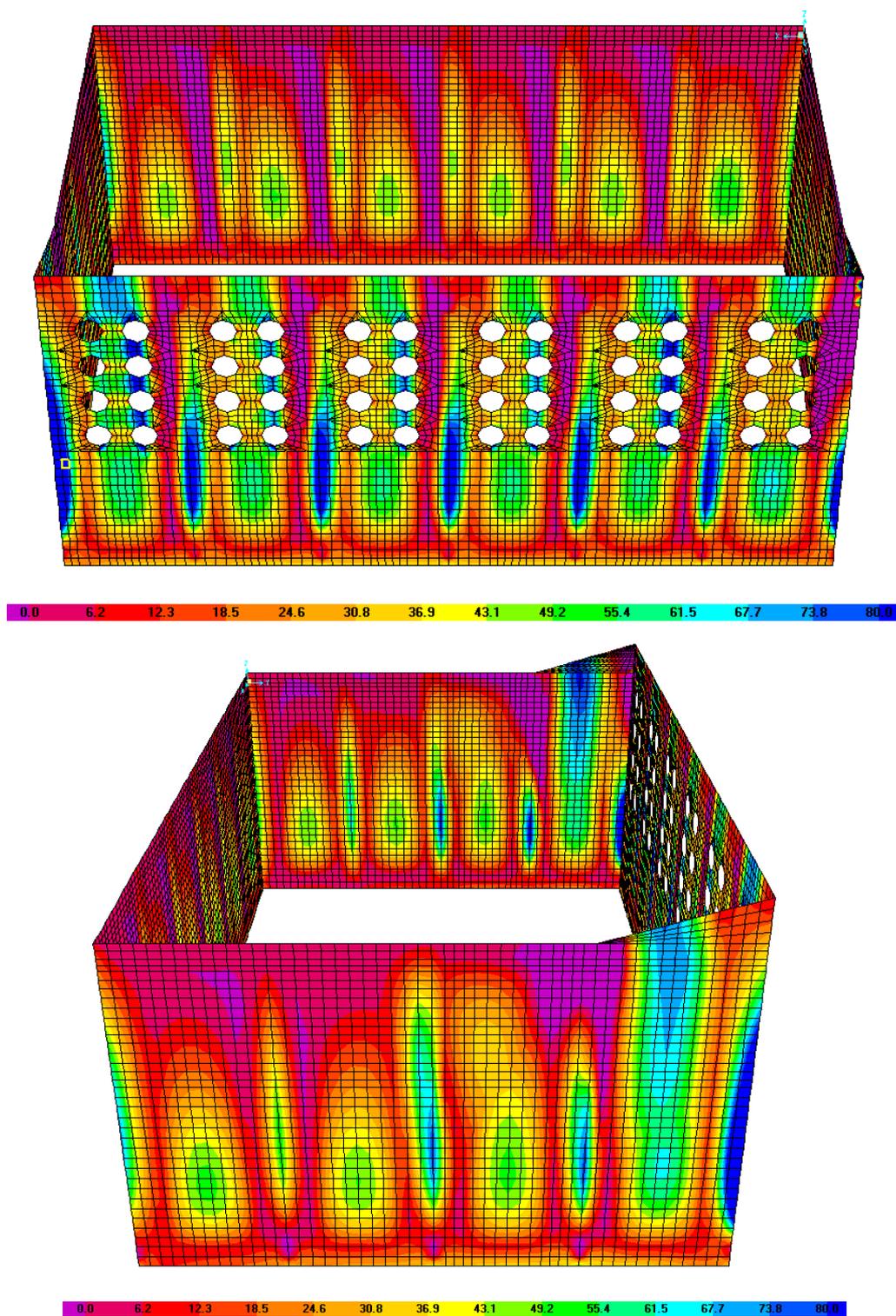


Figura 120 - Pareti:InvoluppoComb RARA (SLE) - M11 max [kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

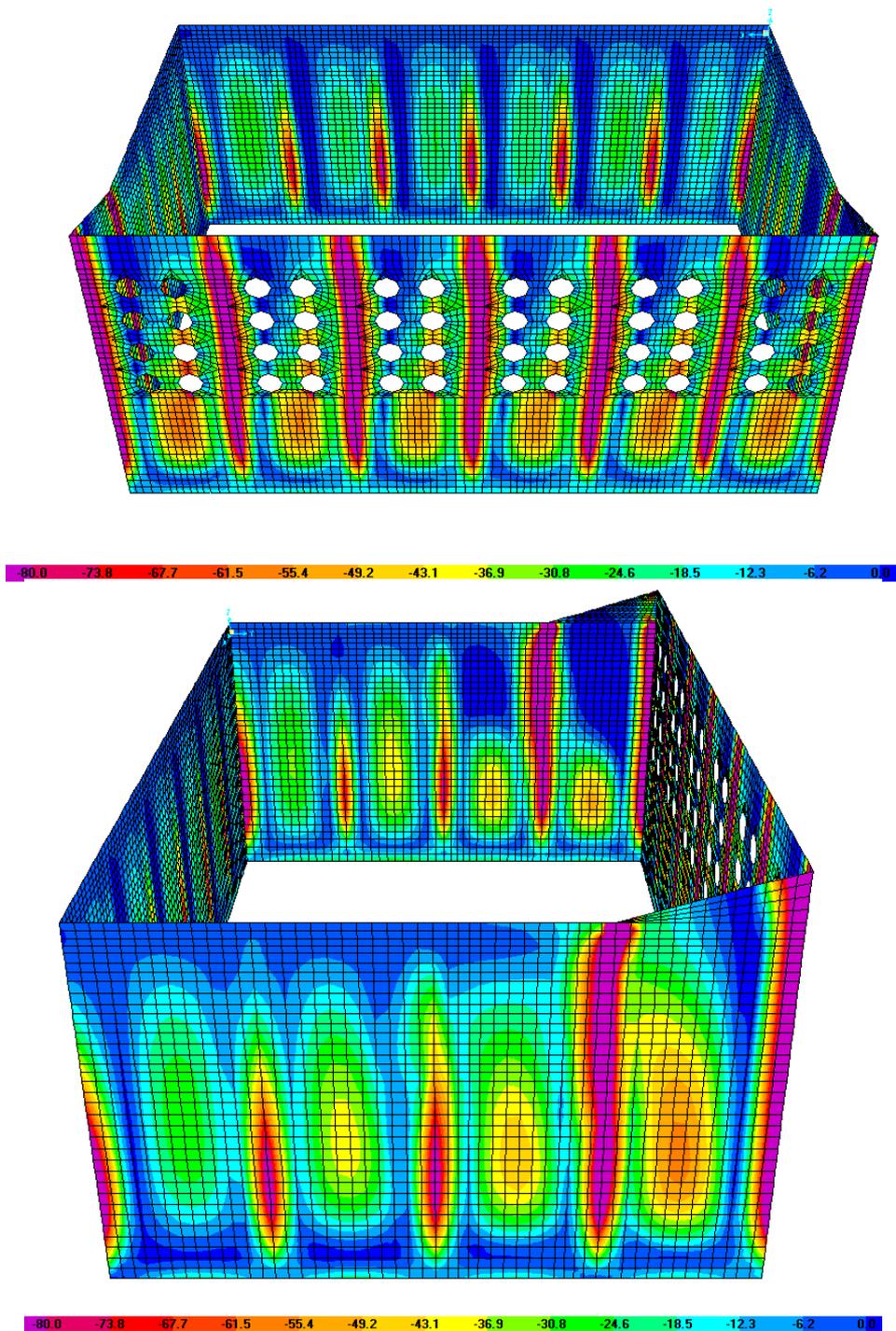


Figura 121 - Pareti: Inviluppo Comb RARA (SLE) - M11 min [kNm/m]

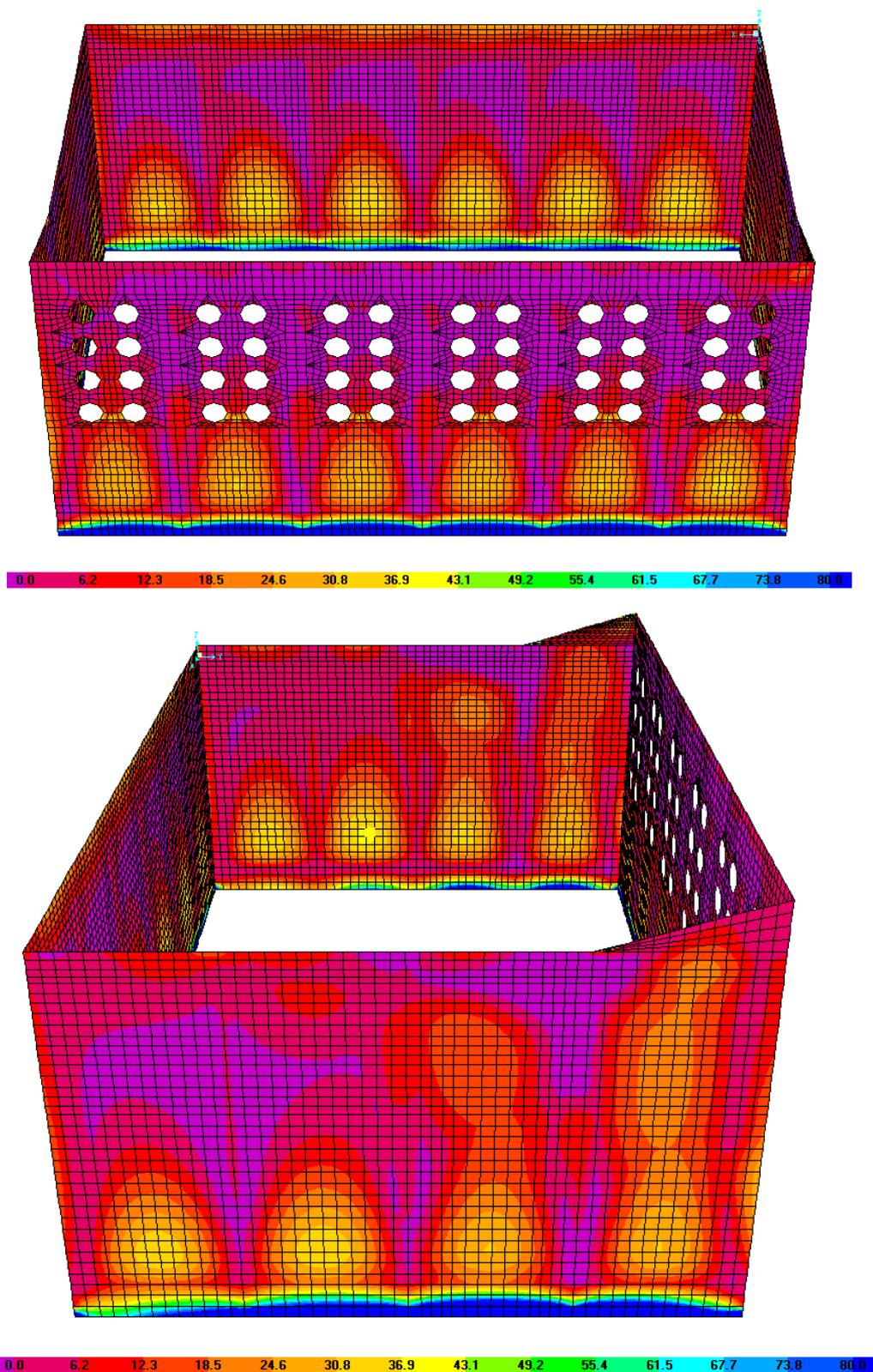


Figura 122 - Pareti: Inviluppo Comb RARA (SLE) – M22 max [kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

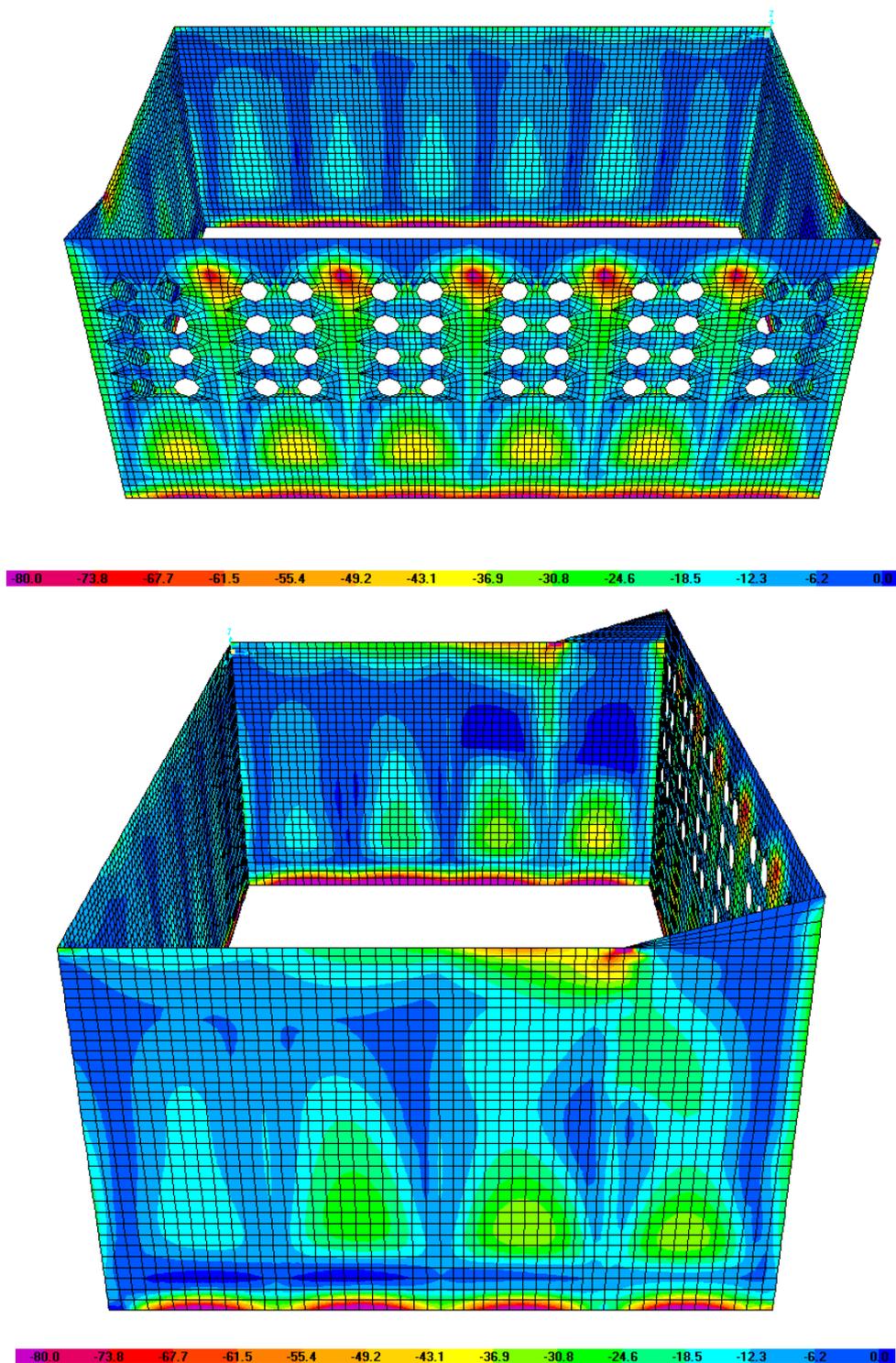


Figura 123 - Pareti:InviluppoComb RARA (SLE) – M22 min [kNm/m]



7.3.2.4.1.4 Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE)

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti per le combinazioni di carico analizzate e le verifiche delle tensioni di esercizio nei materiali ed allo stato limite di apertura delle fessure con la combinazione RARA.

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	σ <sub>c</sub>	0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>c</sub> < 0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>s</sub>	0,8 f <sub>yk</sub>	σ <sub>s</sub> < 0,80 f <sub>ck</sub>
				1°	2°	1°	2°								
		[m]	[m]					[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-
Direzione Orizzontale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	63	<0	2.17	21.00	ok	127.70	360.00	ok
	Filo pareti trasversali	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-107	170	3.41	21.00	ok	303.50	360.00	ok
Direzione Verticale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	35	<0	1.12	21.00	ok	99.28	360.00	ok
	Filo solettone	1.00	0.60	5Φ20	-	5Φ16	-	-111	<0	3.54	21.00	ok	314.85	360.00	ok

Tabella 60 – Parete longitudinale LM – verifiche allo SLE

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	σ <sub>c</sub>	0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>c</sub> < 0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>s</sub>	0,8 f <sub>yk</sub>	σ <sub>s</sub> < 0,80 f <sub>ck</sub>
				1°	2°	1°	2°								
		[m]	[m]					[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-
Direzione Orizzontale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	55	<0	1.90	21.00	ok	111.40	360.00	ok
	Filopareti trasversali	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-84	100	2.76	21.00	ok	220.90	360.00	ok
Direzione Verticale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	39	<0	1.34	21.00	ok	78.99	360.00	ok
	Filo solettone	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-64	<0	2.21	21.00	ok	129.63	360.00	ok

Tabella 61 – Parete longitudinale LP – verifiche allo SLE

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	σ <sub>c</sub>	0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>c</sub> < 0,60 f <sub>ck</sub>	σ <sub>s</sub>	0,8 f <sub>yk</sub>	σ <sub>s</sub> < 0,80 f <sub>ck</sub>
				1°	2°	1°	2°								
		[m]	[m]					[kNm]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	-
Direzione Orizzontale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	73	<0	2.52	21.00	ok	147.90	360.00	ok
	Filo setti longitudinali	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-91	170	2.83	21.00	ok	271.30	360.00	ok
Direzione Verticale	Campata celle	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	35	<0	1.21	21.00	ok	70.91	360.00	ok
	Filo solettone	1.00	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-105	<0	3.62	21.00	ok	212.73	360.00	ok

Tabella 62 – Pareti trasversali – verifiche allo SLE

Viene verificato lo stato limite di formazione delle fessure, così come previsto nelle NTC2008 (§4.1.2.2.4.1), considerando la sezione non fessurata (I stadio, a differenza della sezione parzializzata che viene definita al II stadio) e specificando la verifica per sollecitazioni derivanti da flessione, verificando pertanto che la tensione al lembo teso del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}/1,2$ .

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione e la combinazione utilizzata per la verifica è quella RARA, anziché quella FREQUENTE.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	Tensioni I stadio		$\sigma_{c, \text{traz}} < f_{ctm}/1.2$
				1°	2°	1°	2°			$\sigma_{c, \text{traz}}$	$f_{ctm}/1.2$	
				[m]	[m]					[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Direzione Orizzontale	Campata celle	M <sub>11,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	63	<0	0.96	3.35	ok
	Filopareti trasversali	F <sub>11,min</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-107	170	1.91	3.35	ok
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	35	<0	0.54	3.35	ok
	Filo solettone	F <sub>22,min</sub>	0.60	5Φ20	-	5Φ16	-	-111	<0	1.70	3.35	ok

Tabella 63 – Parete longitudinale LM – verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	Tensioni I stadio		$\sigma_{c, \text{traz}} < f_{ctm}/1.2$
				1°	2°	1°	2°			$\sigma_{c, \text{traz}}$	$f_{ctm}/1.2$	
				[m]	[m]					[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Direzione Orizzontale	Campata celle	M <sub>11,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	55	<0	0.84	3.35	ok
	Filopareti trasversali	F <sub>11,min</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-84	100	1.45	3.35	ok
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	39	<0	0.60	3.35	ok
	Filo solettone	F <sub>22,min</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-64	<0	0.98	3.35	ok

Tabella 64 – Parete longitudinale LP – verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

SLE - Comb. RARA		B	H	Arm. esterna		Arm. interna		M <sub>ED</sub>	N <sub>ED</sub>	Tensioni I stadio		$\sigma_{c, \text{traz}} < f_{ctm}/1.2$
				1°	2°	1°	2°			$\sigma_{c, \text{traz}}$	$f_{ctm}/1.2$	
				[m]	[m]					[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Direzione Orizzontale	Campata celle	M <sub>11,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	73	<0	1.12	3.35	ok
	Filo setti longitudinali	F <sub>11,min</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-91	170	1.66	3.35	ok
Direzione Verticale	Campata celle	M <sub>22,max</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	35	<0	0.54	3.35	ok
	Filo solettone	F <sub>22,min</sub>	0.60	5Φ16	-	5Φ16	-	-105	<0	1.61	3.35	ok

Tabella 65 – Pareti trasversali – verifiche allo stato limite di formazione delle fessure



7.3.2.5 Setti

7.3.2.5.1 Verifiche allo SLU

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI!: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.

7.3.2.5.1.1 Setto longitudinale LM

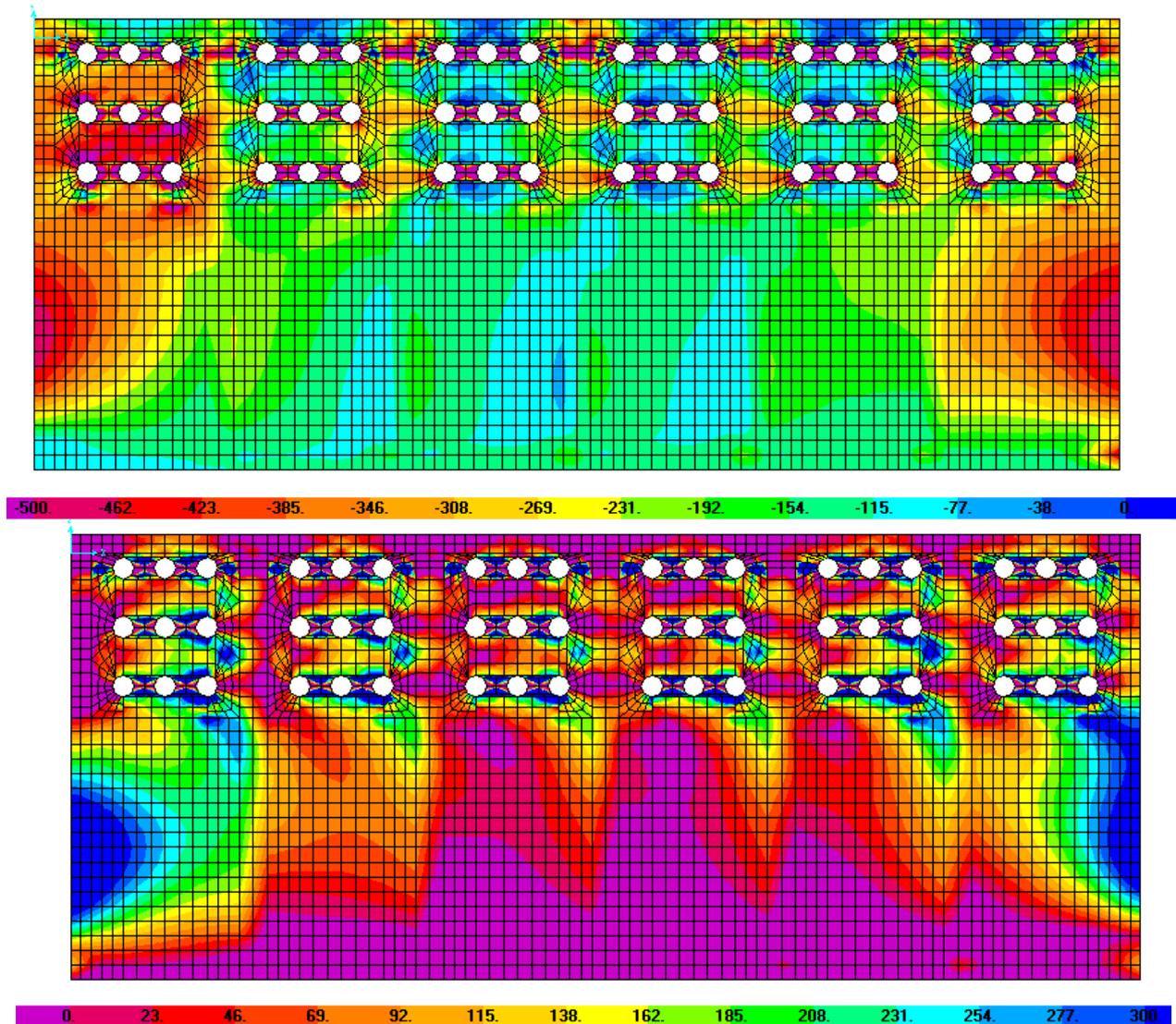
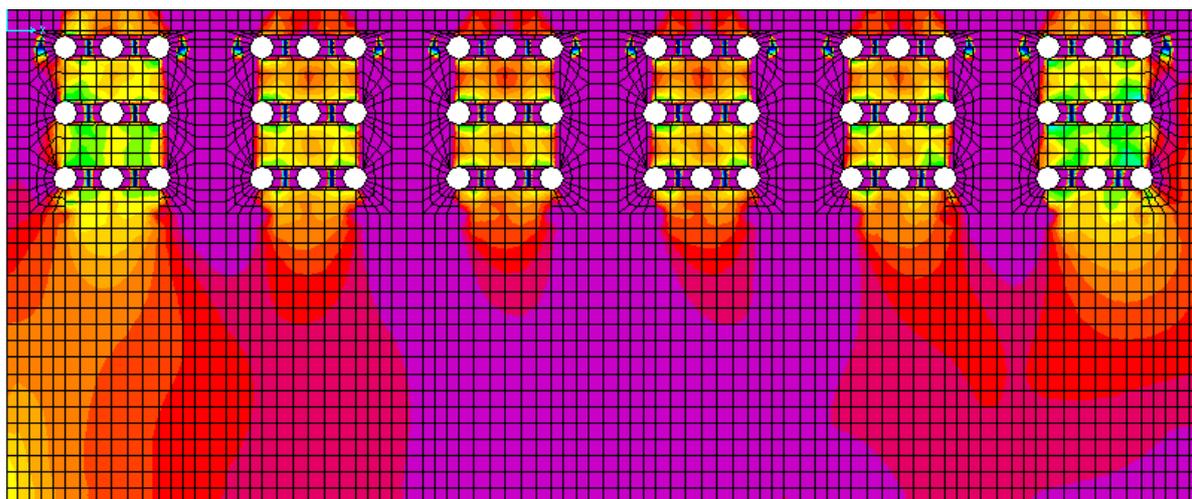
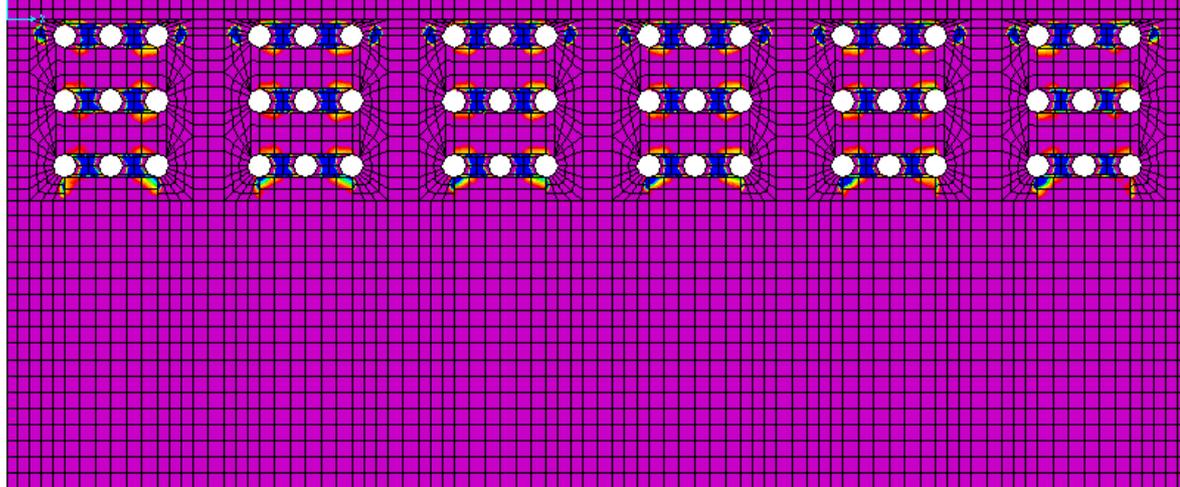


Figura 124 – Setto longitudinale LM. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



-700. -646. -592. -538. -485. -431. -377. -323. -269. -215. -162. -108. -54. 0.



0. 23. 46. 69. 92. 115. 138. 162. 185. 208. 231. 254. 277. 300.

Figura 125 – Setto longitudinale LM. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – F22 min (sopra) e F2 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

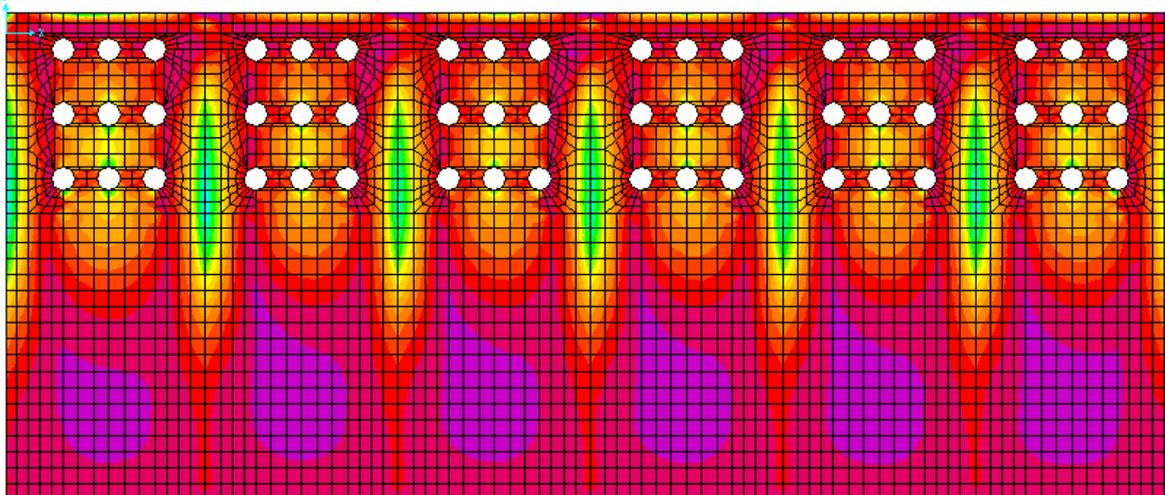
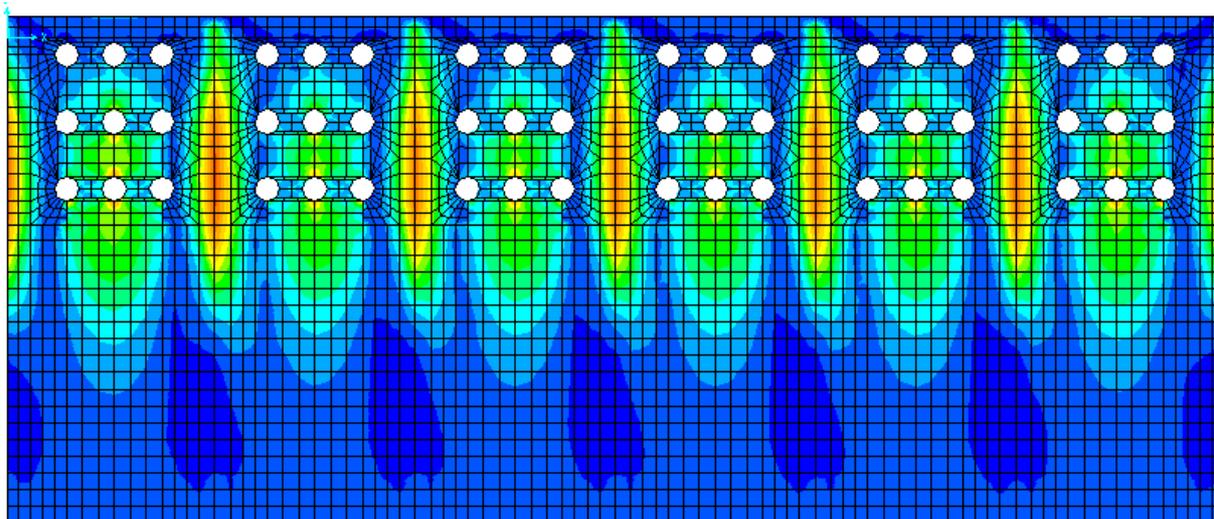


Figura 126 – Setto longitudinale LM. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

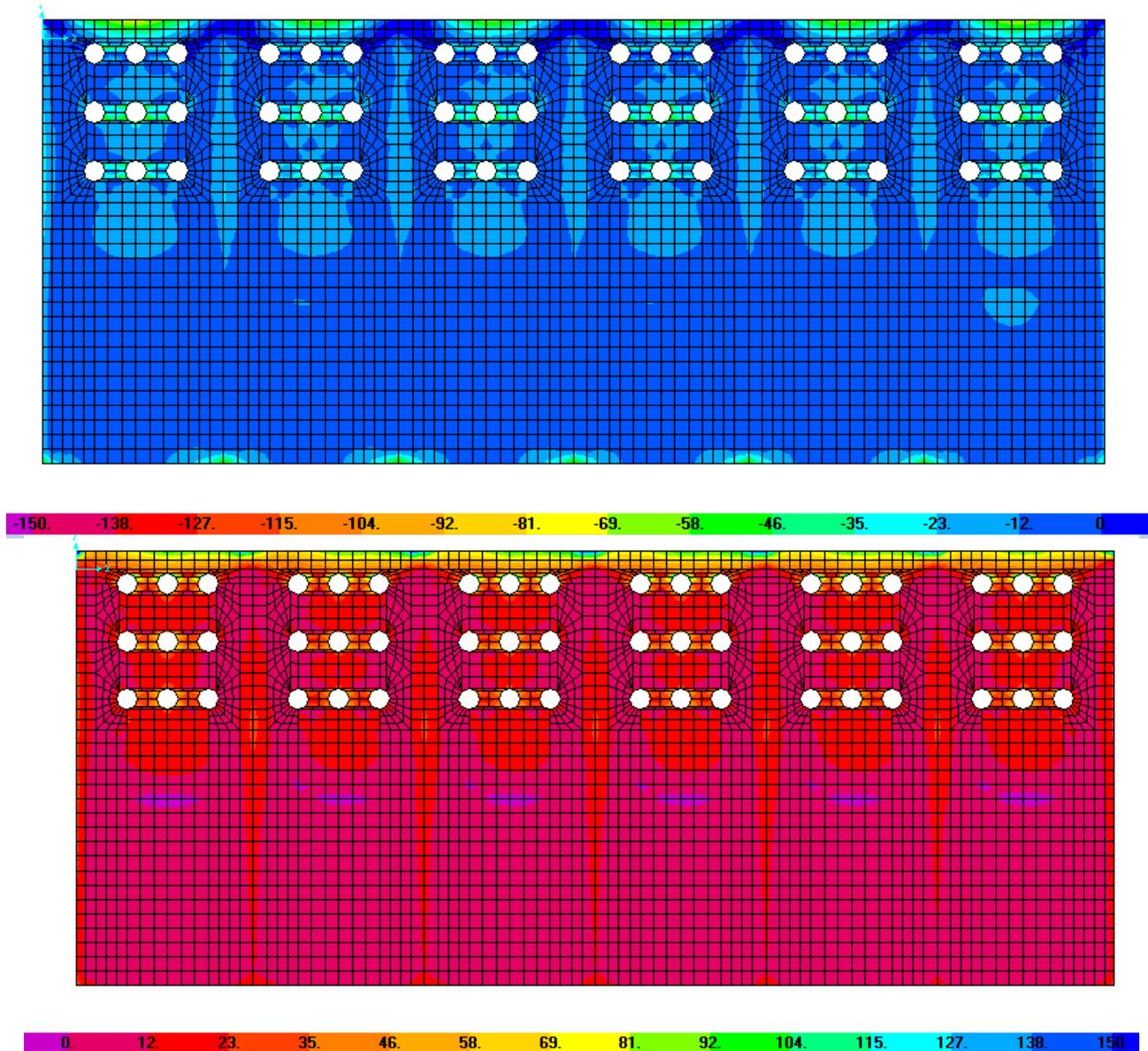


Figura 127 – Setto longitudinale LM. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

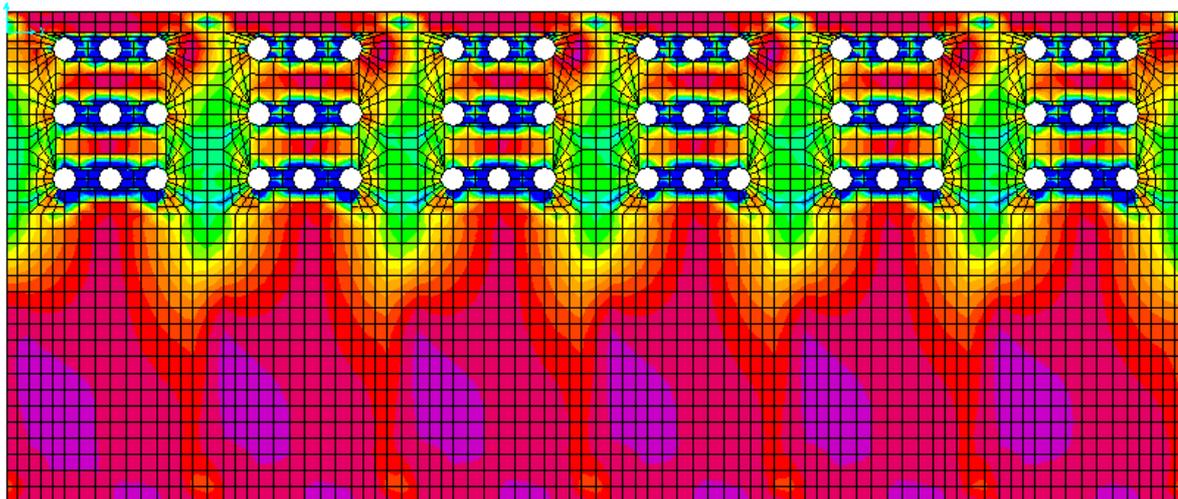
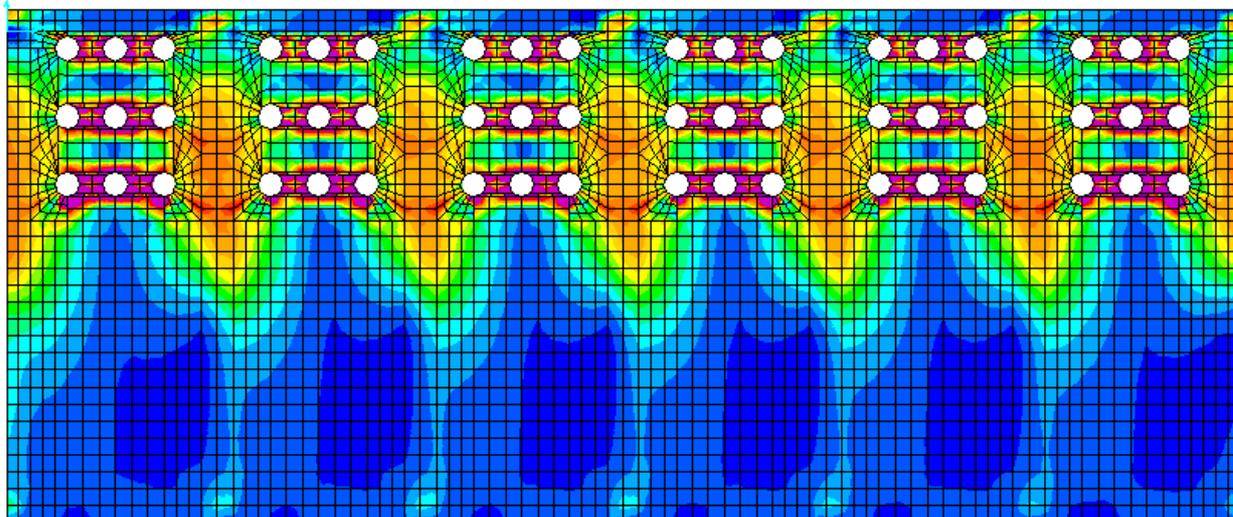


Figura 128 – Setto longitudinale LM. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V13 min (sopra) e V13 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

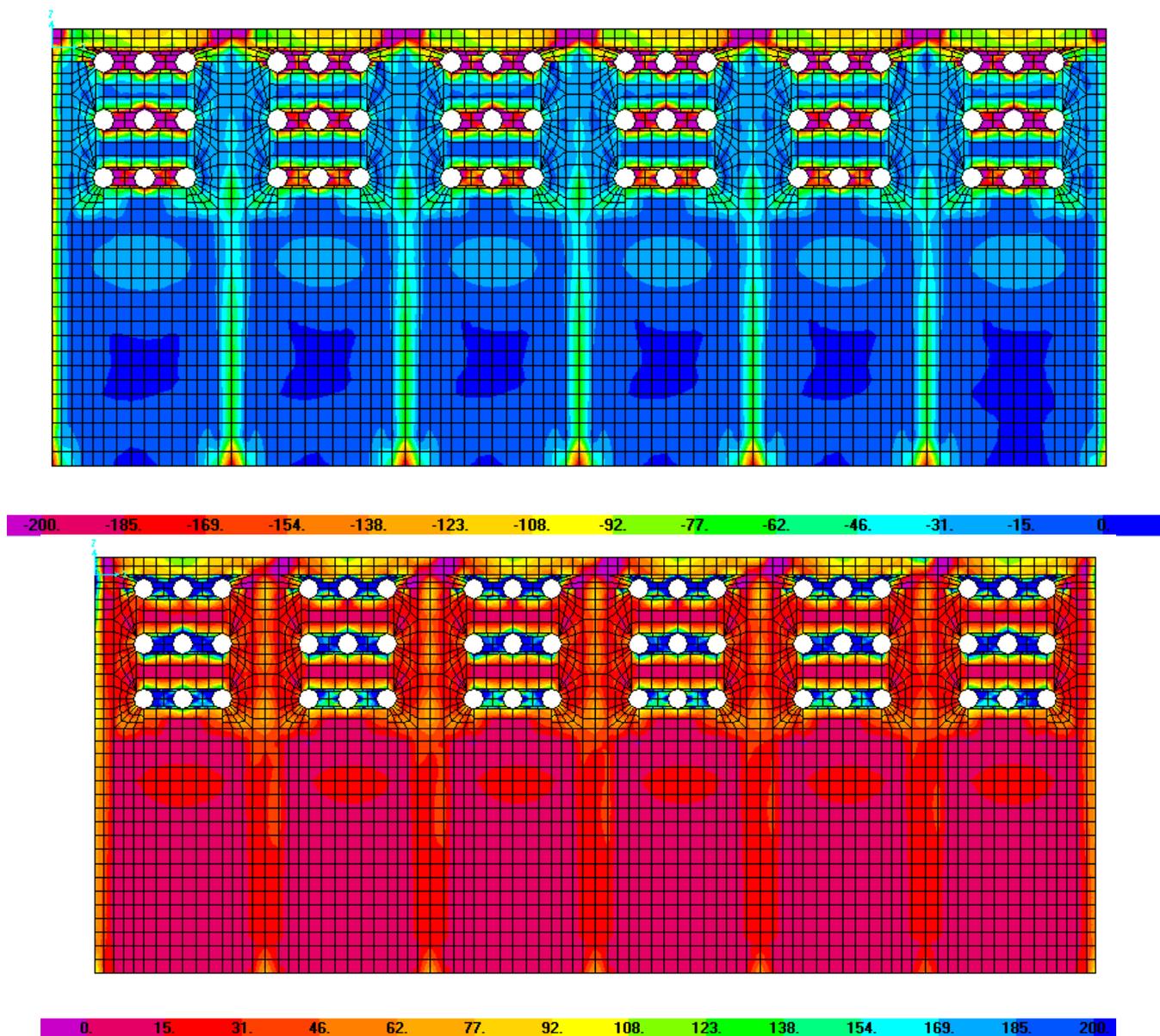


Figura 129 – Setto longitudinale LM. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V23 min (sopra) e V23 max (sotto) [kN/m].



7.3.2.5.1.2 Setto longitudinale intermedio

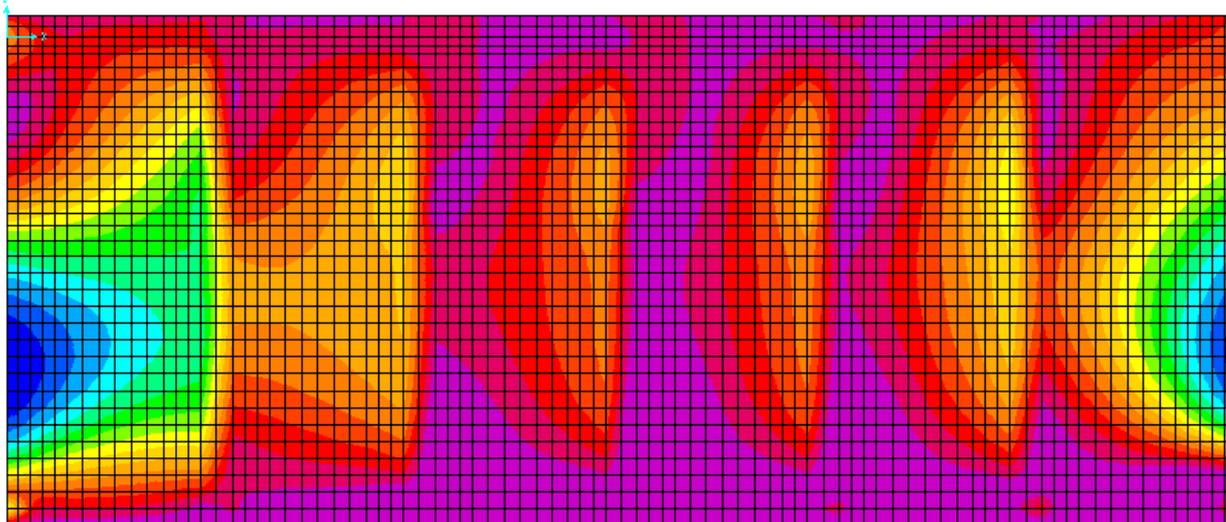
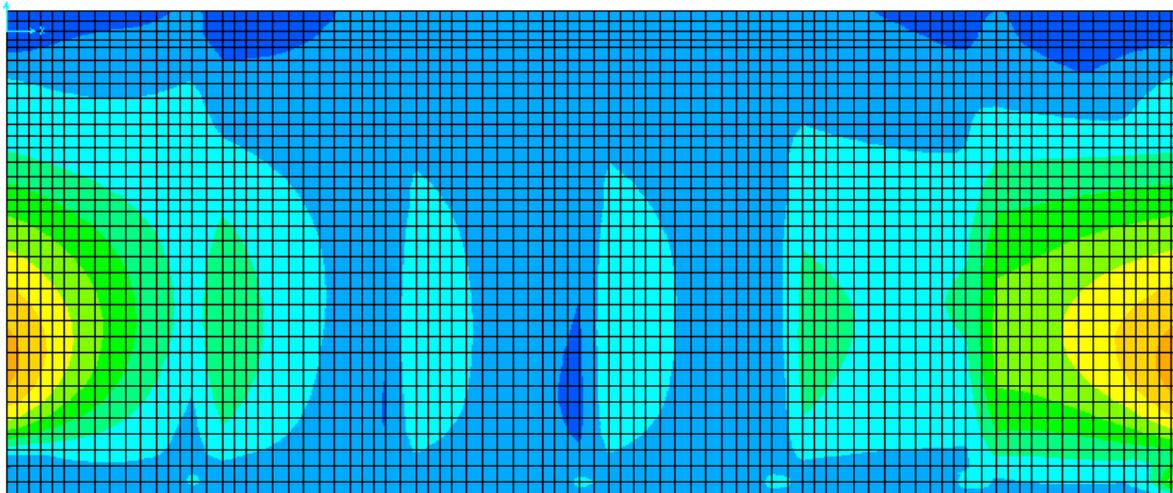


Figura 130 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

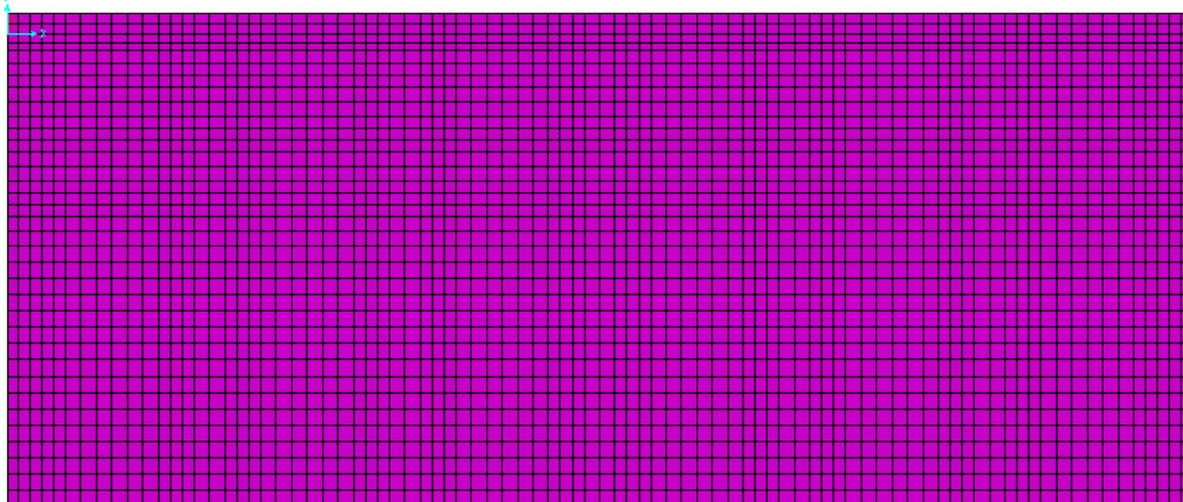
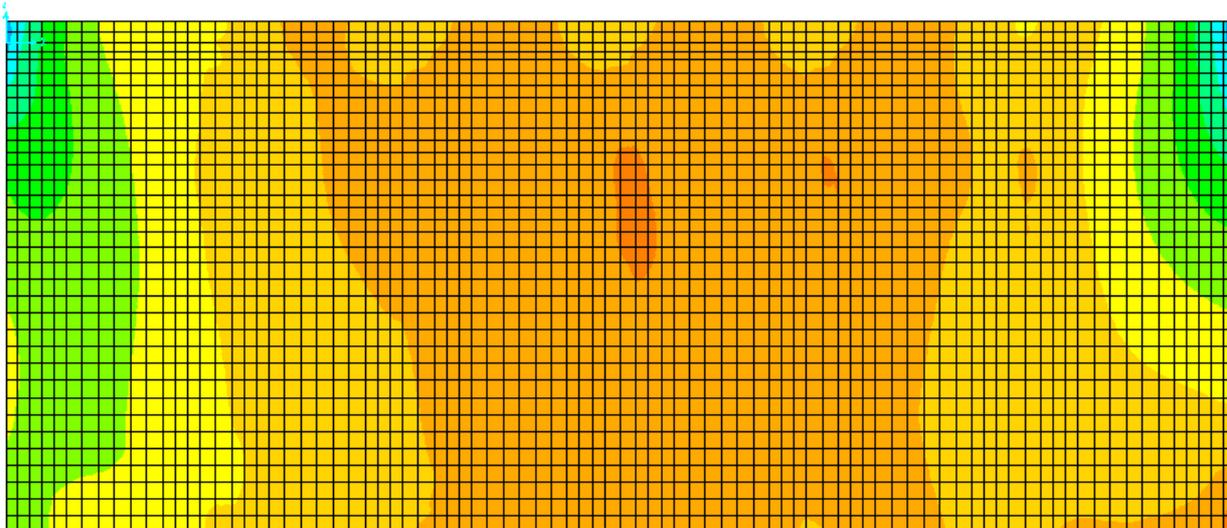


Figura 131 – Setto longitudinale intermedio. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV – F22 min (sopra) e F2 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

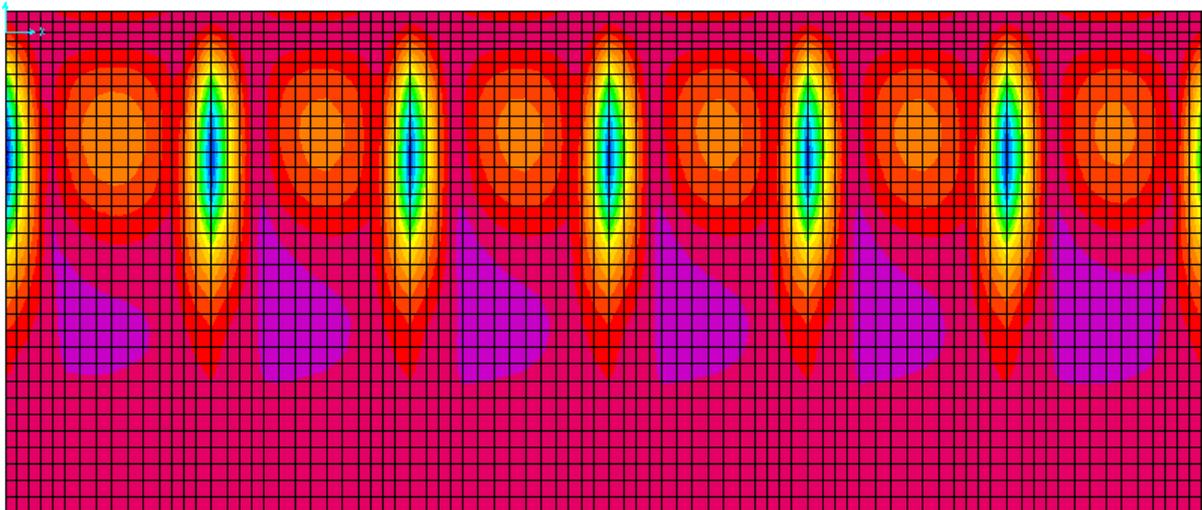
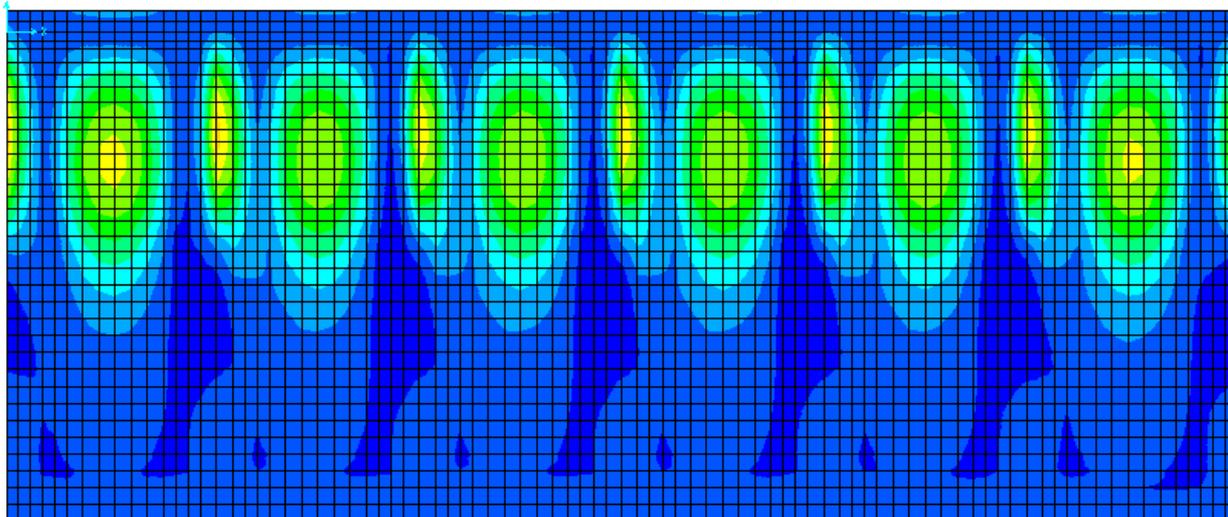


Figura 132 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

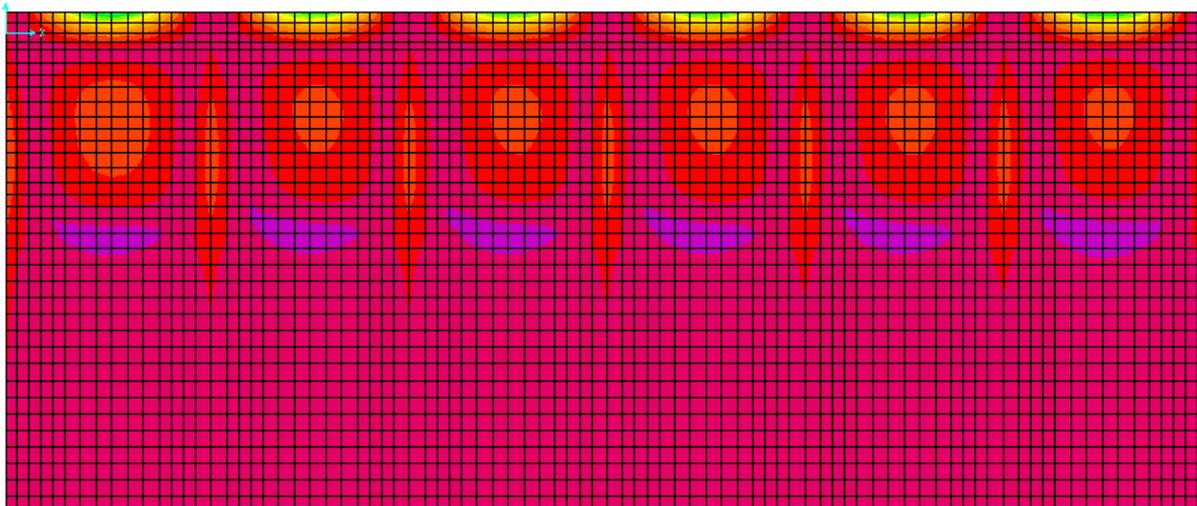
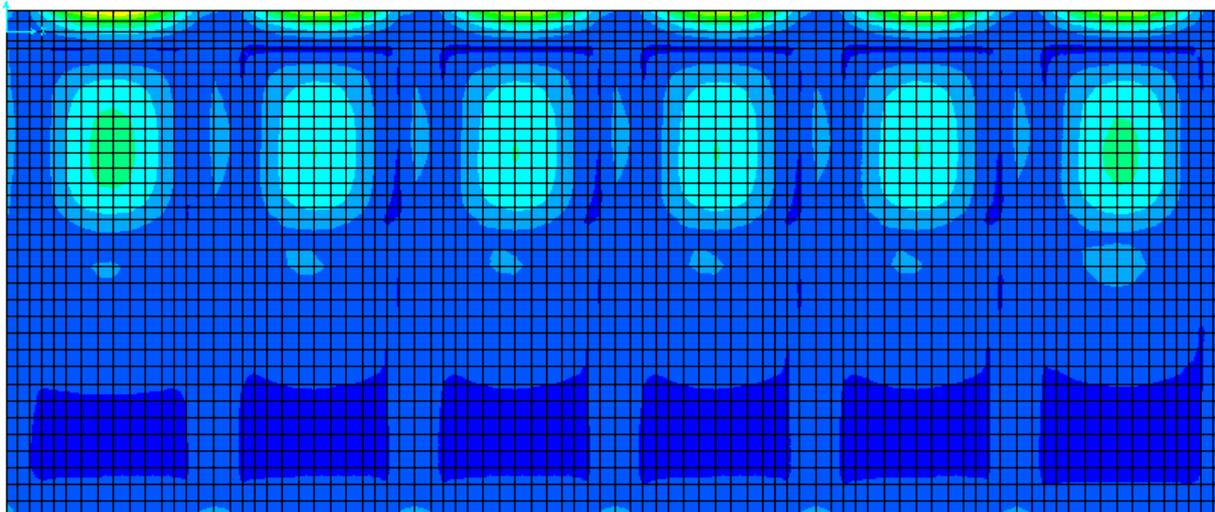


Figura 133 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

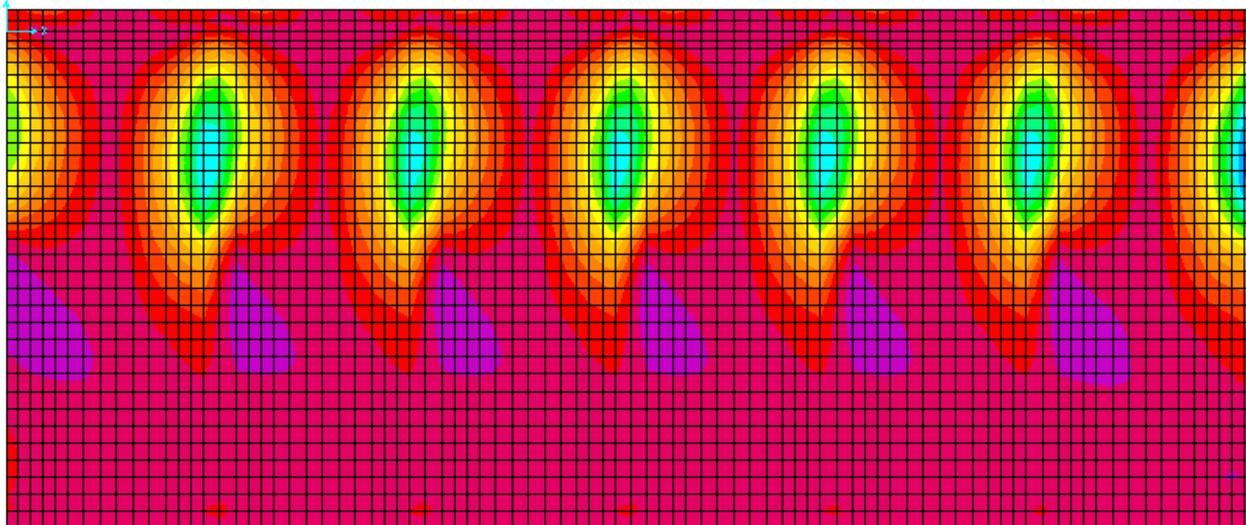
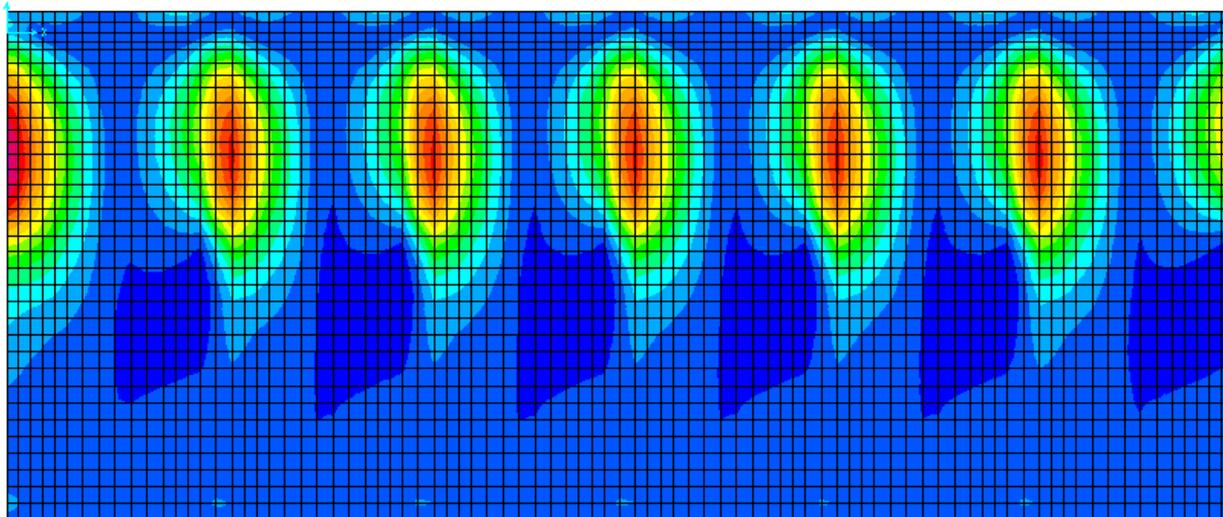


Figura 134 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V13 min (sopra) e V13 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

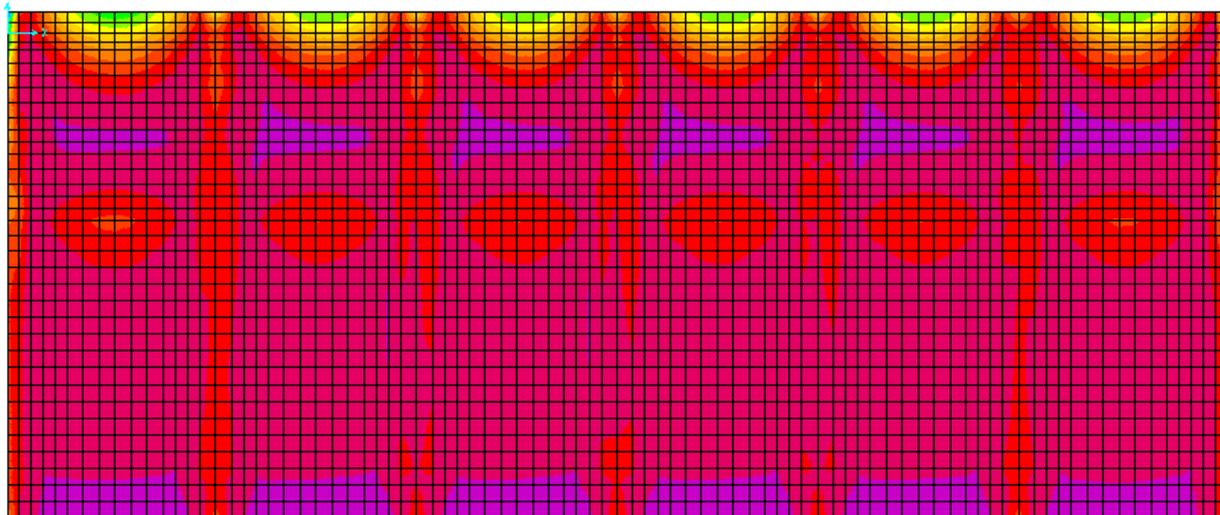
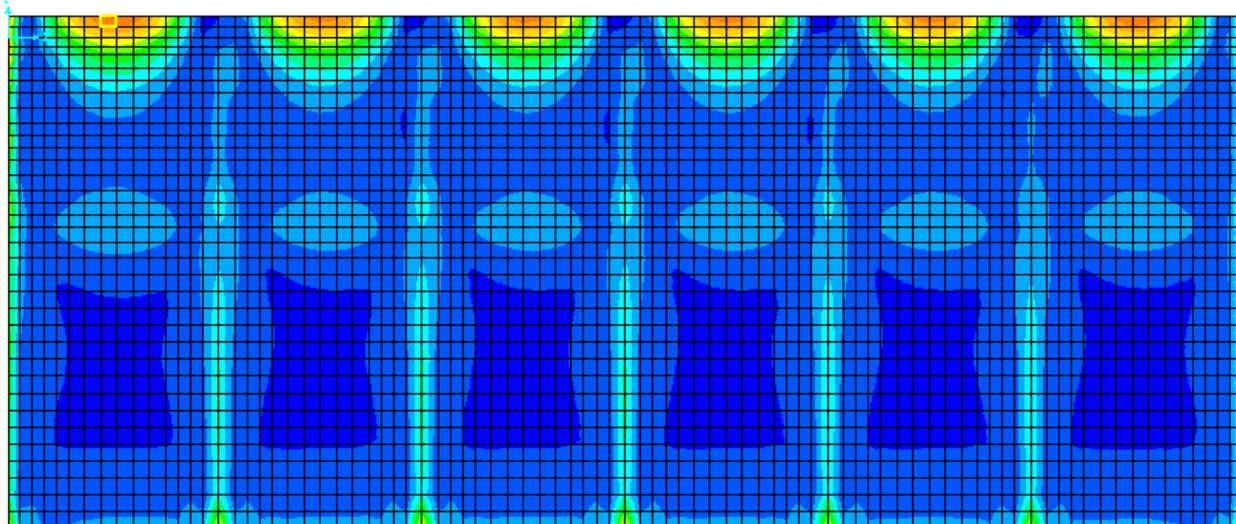


Figura 135 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V23 min (sopra) e V23 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

7.3.2.5.1.3 Setto longitudinale LP

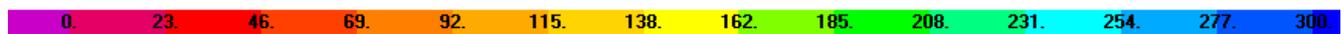
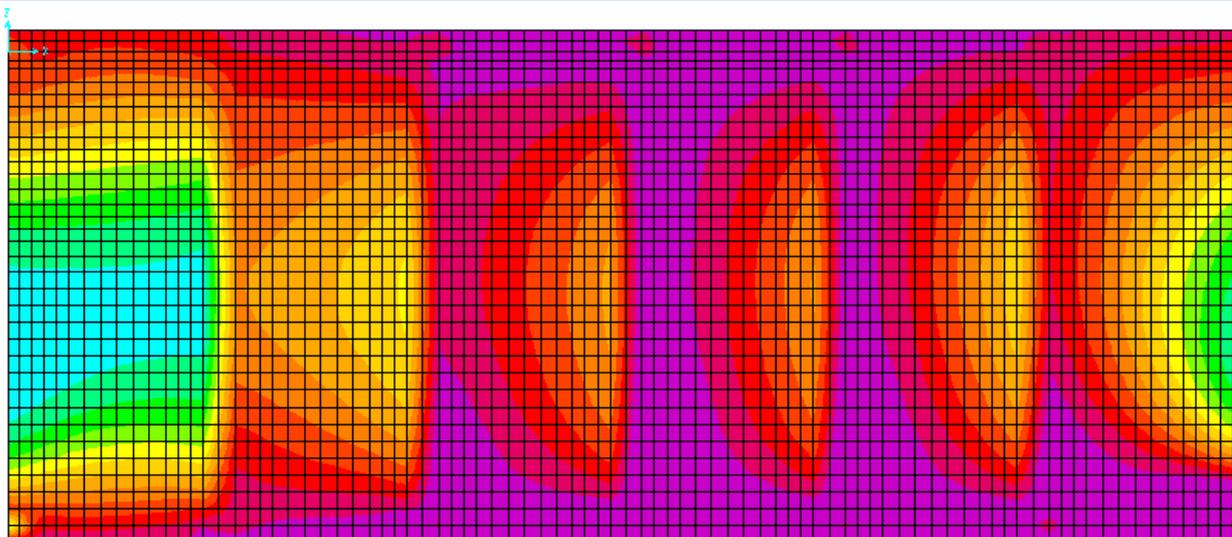
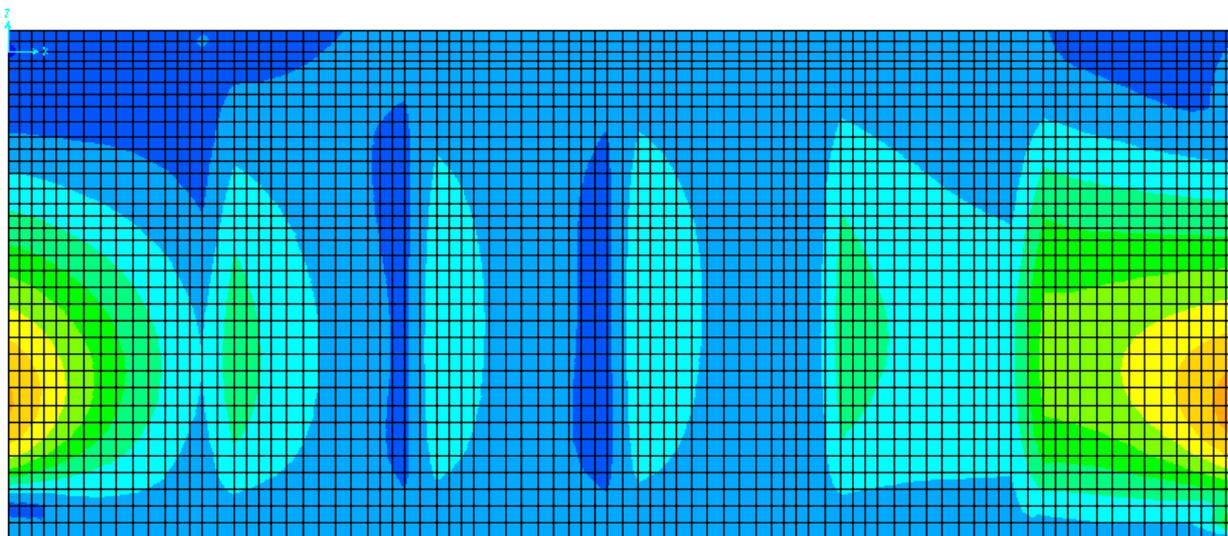


Figura 136 – Setto longitudinale LP. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

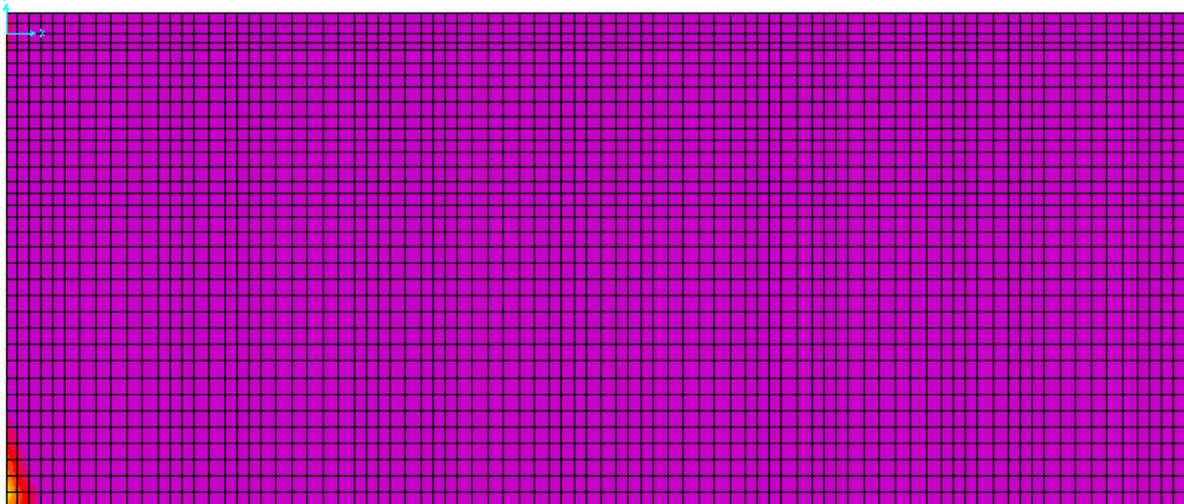
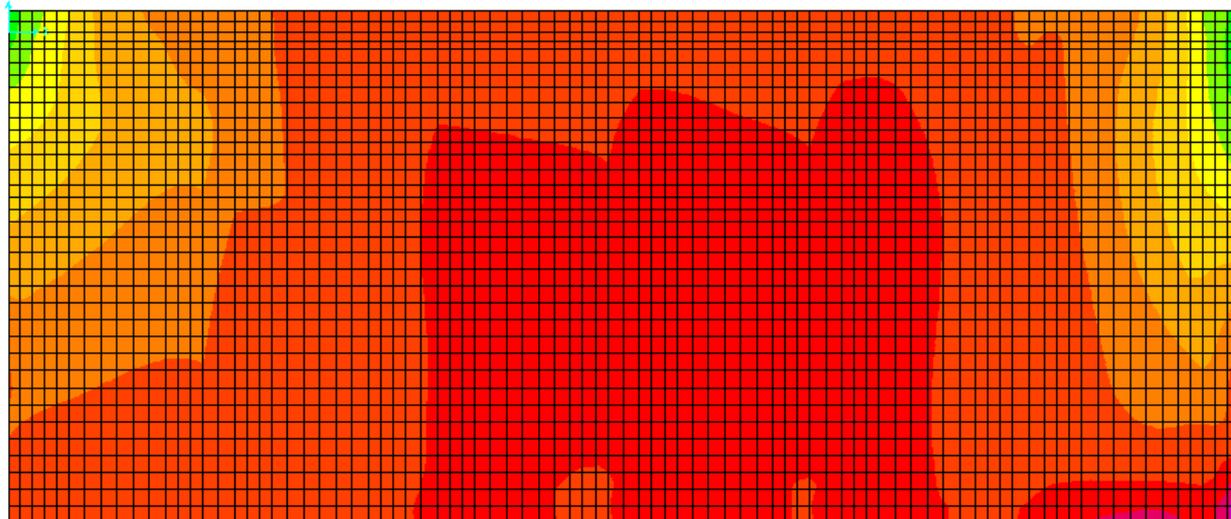


Figura 137 – Setto longitudinale LP. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV – F22 min (sopra) e F22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

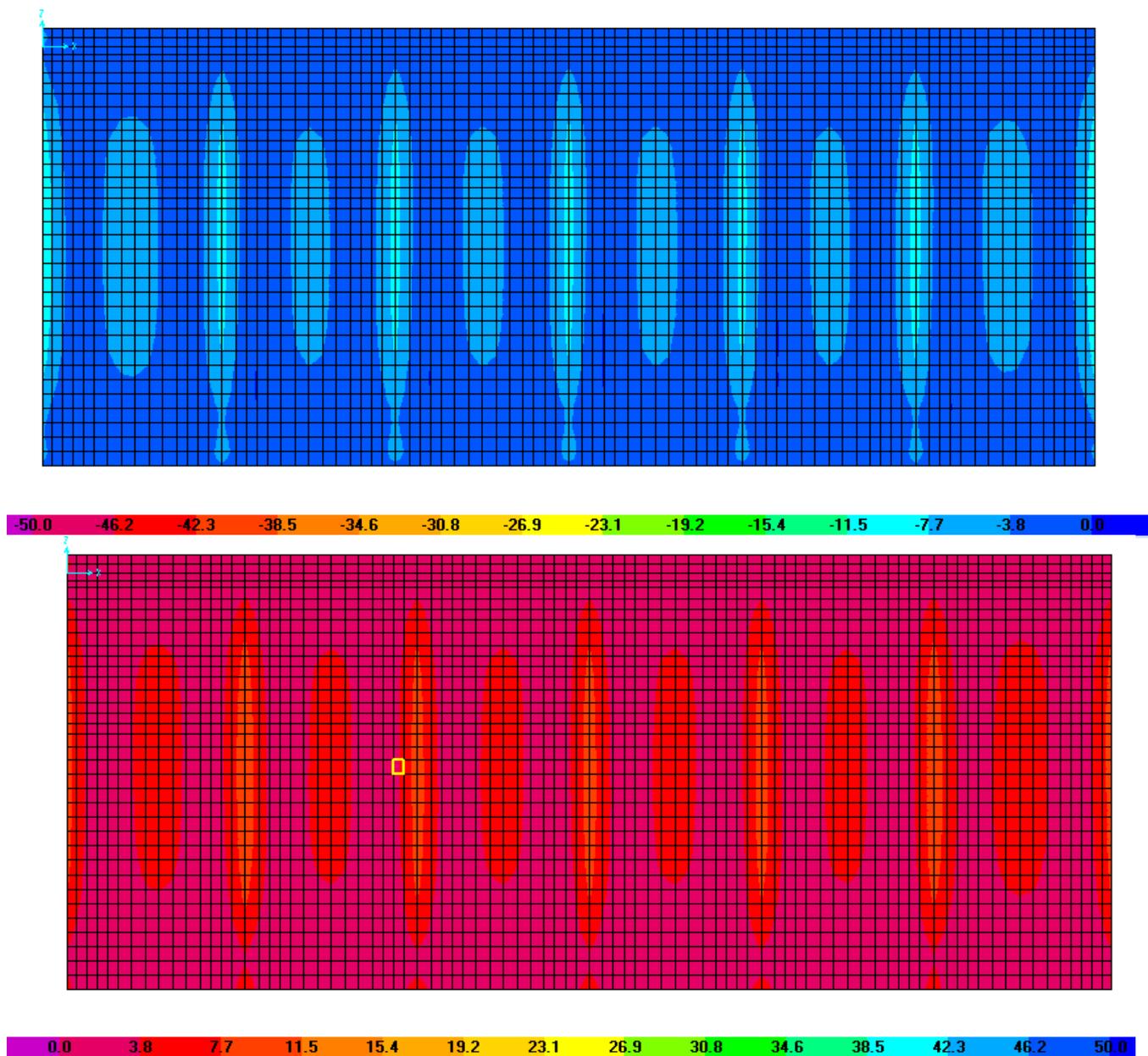


Figura 138 – Setto longitudinale LP. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

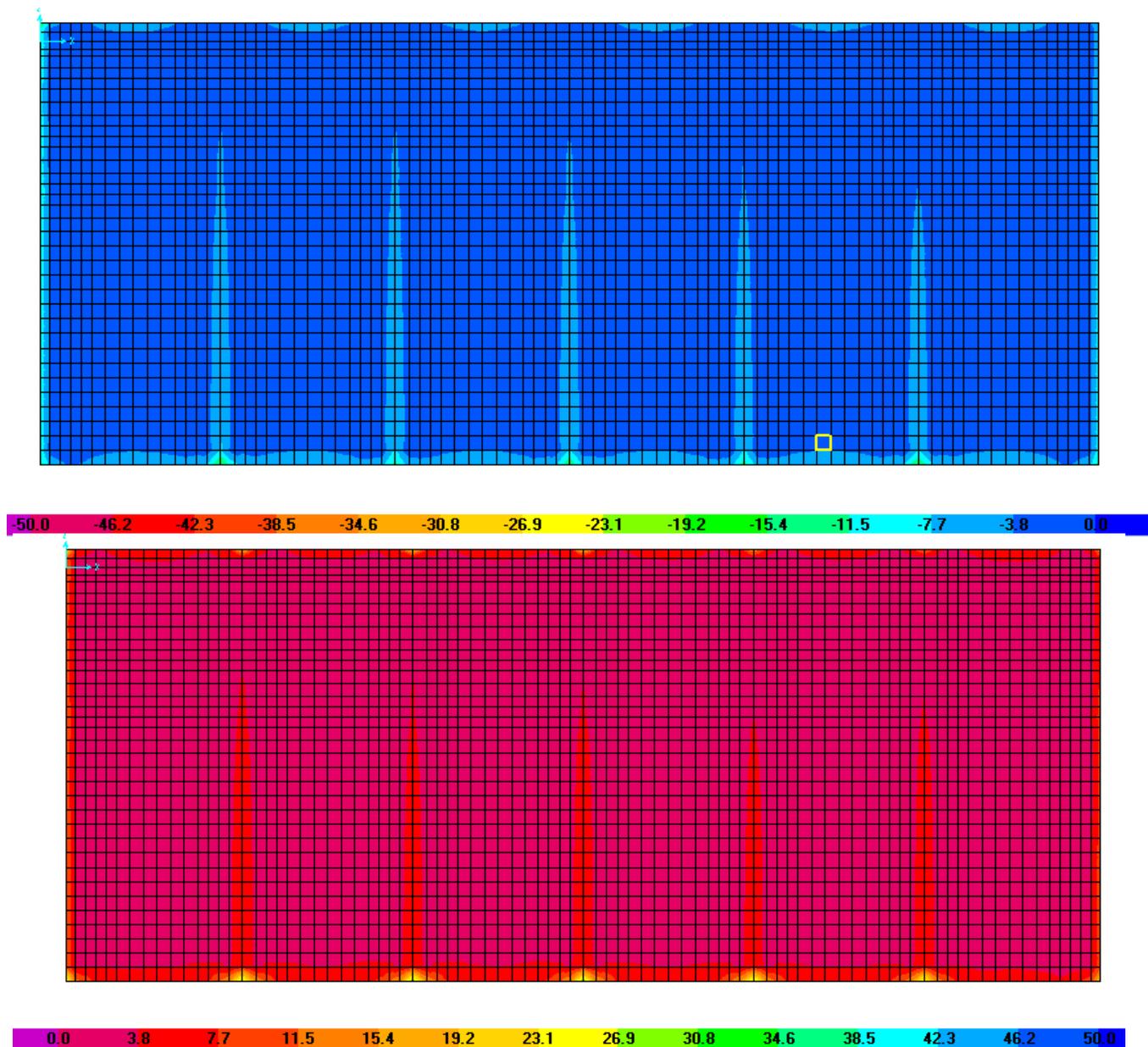


Figura 139 – Setto longitudinale LP. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

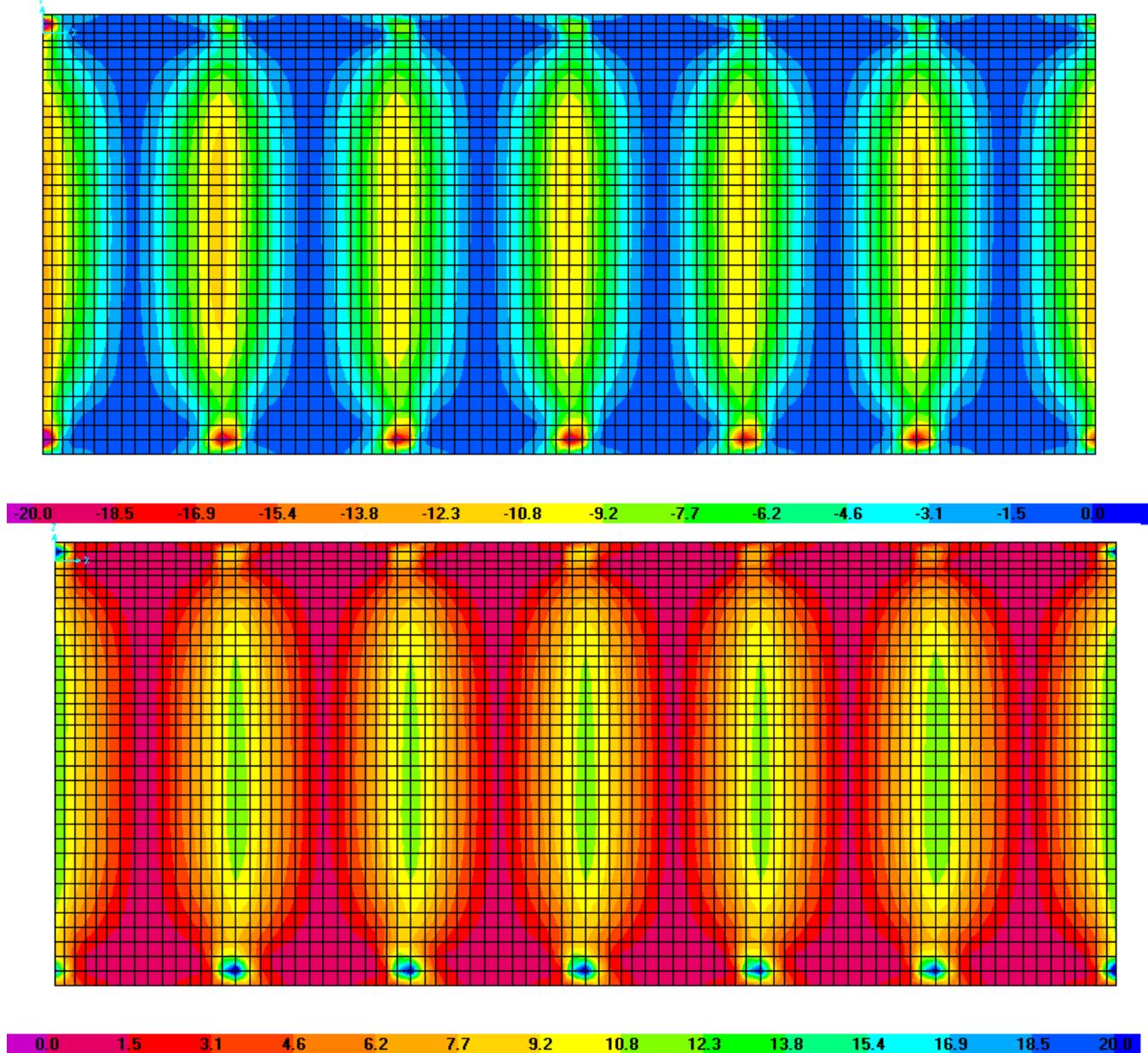


Figura 140 – Setto longitudinale LP. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V13 min (sopra) e V13 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

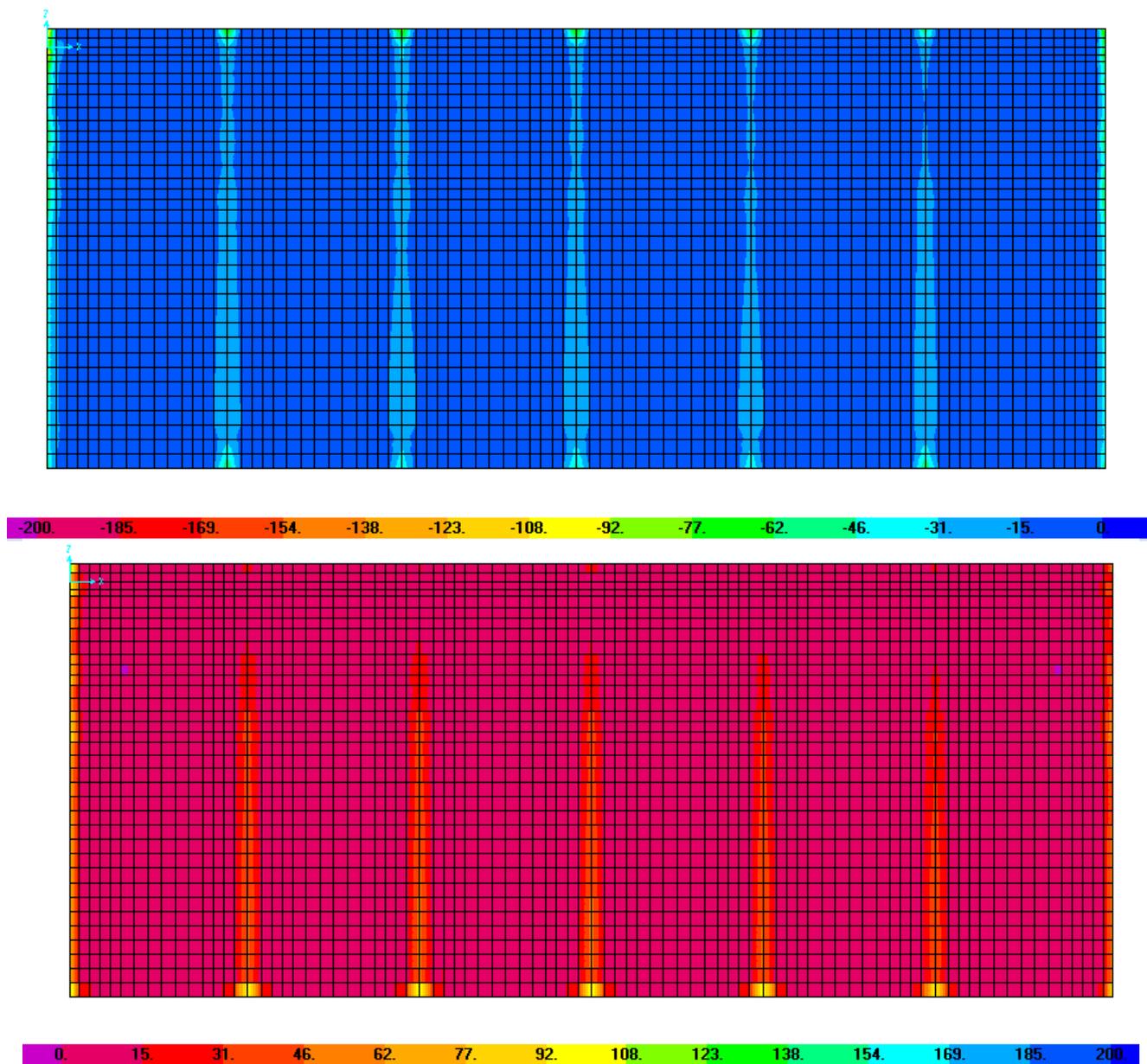


Figura 141 – Setto longitudinale LP. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V23 min (sopra) e V23 max (sotto) [kN/m].



7.3.2.5.1.4 Settitrasversali

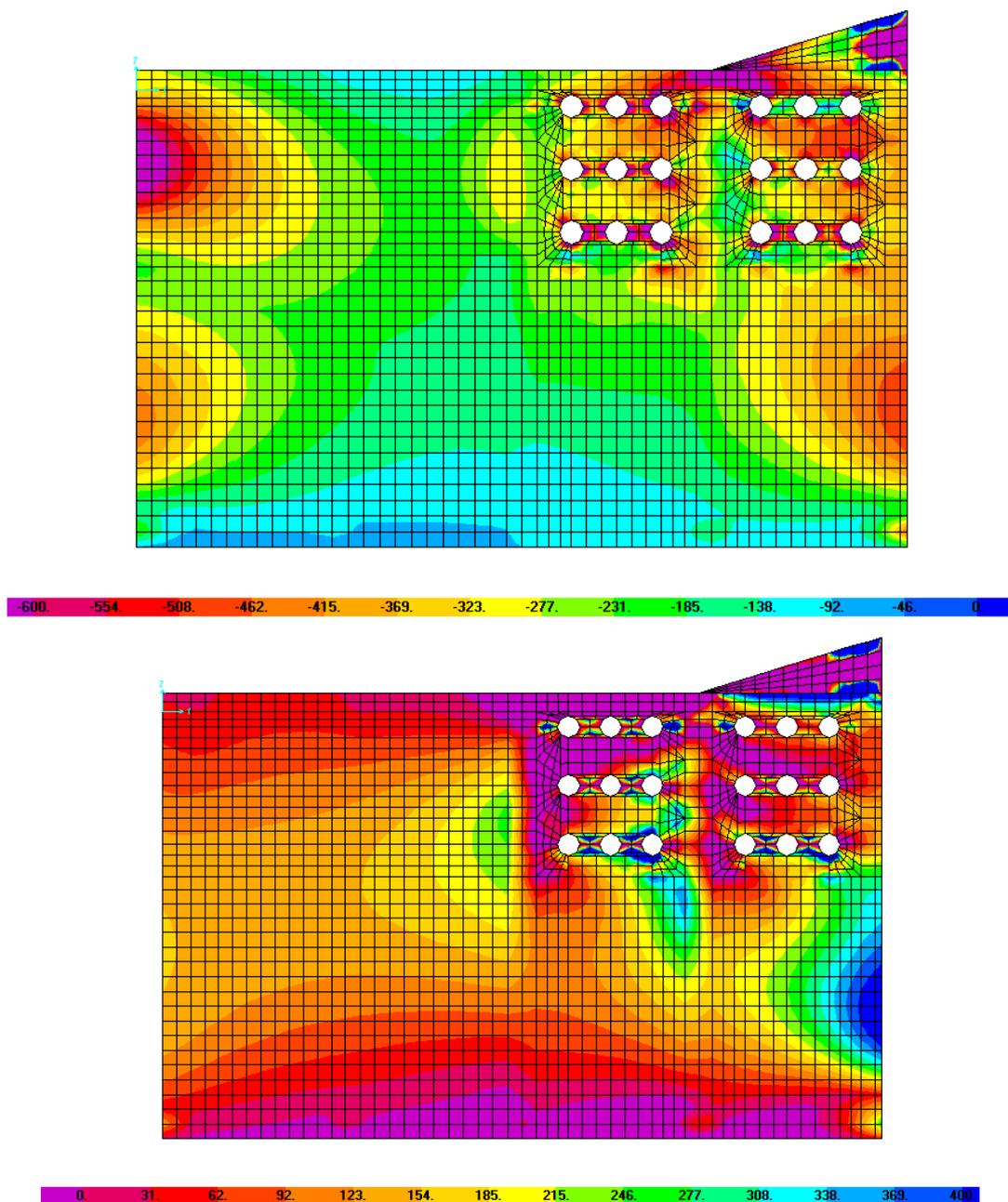


Figura 142 – Setto trasversale. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

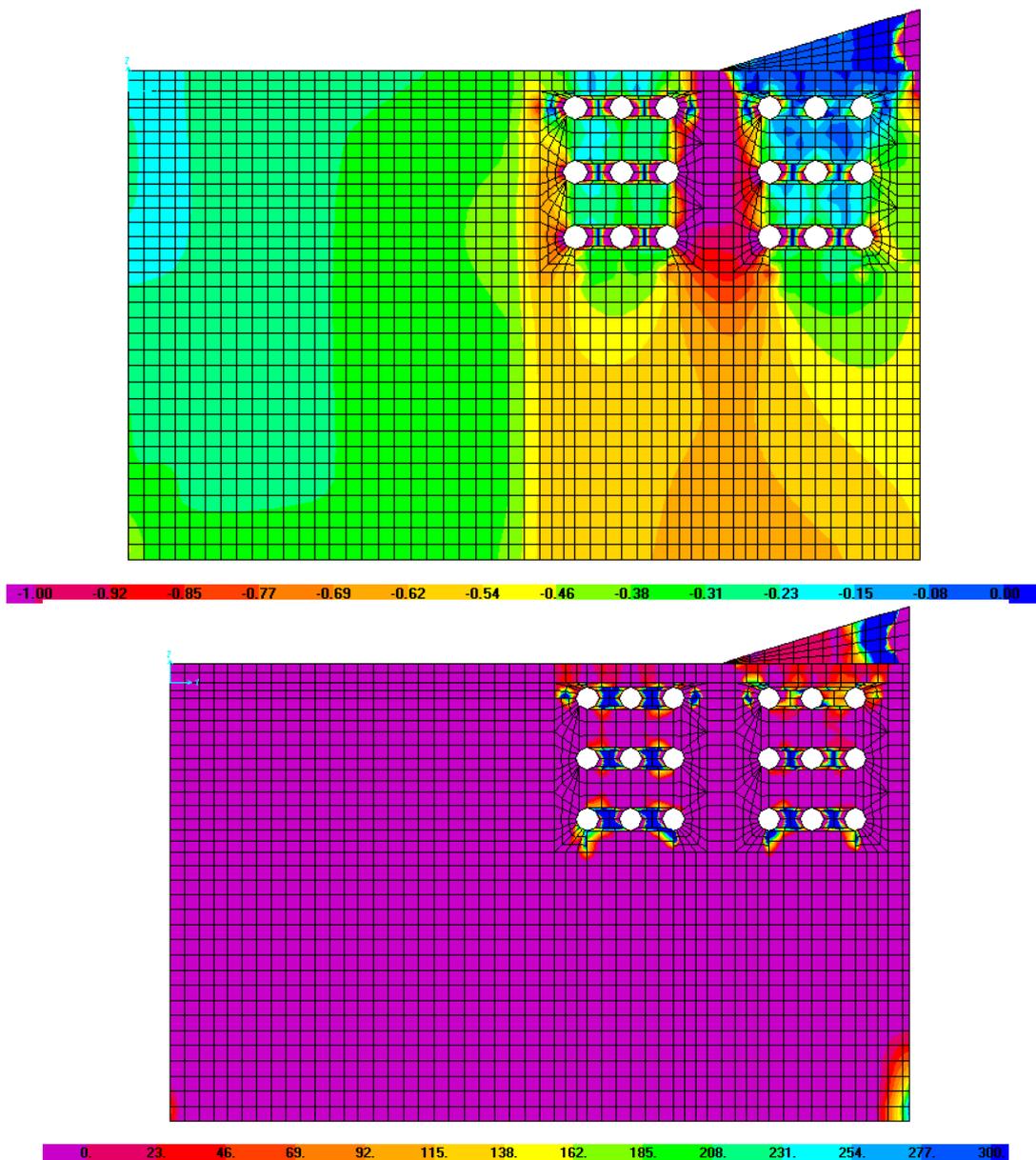


Figura 143 – Setto trasversale. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – F22 min (sopra) e F22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

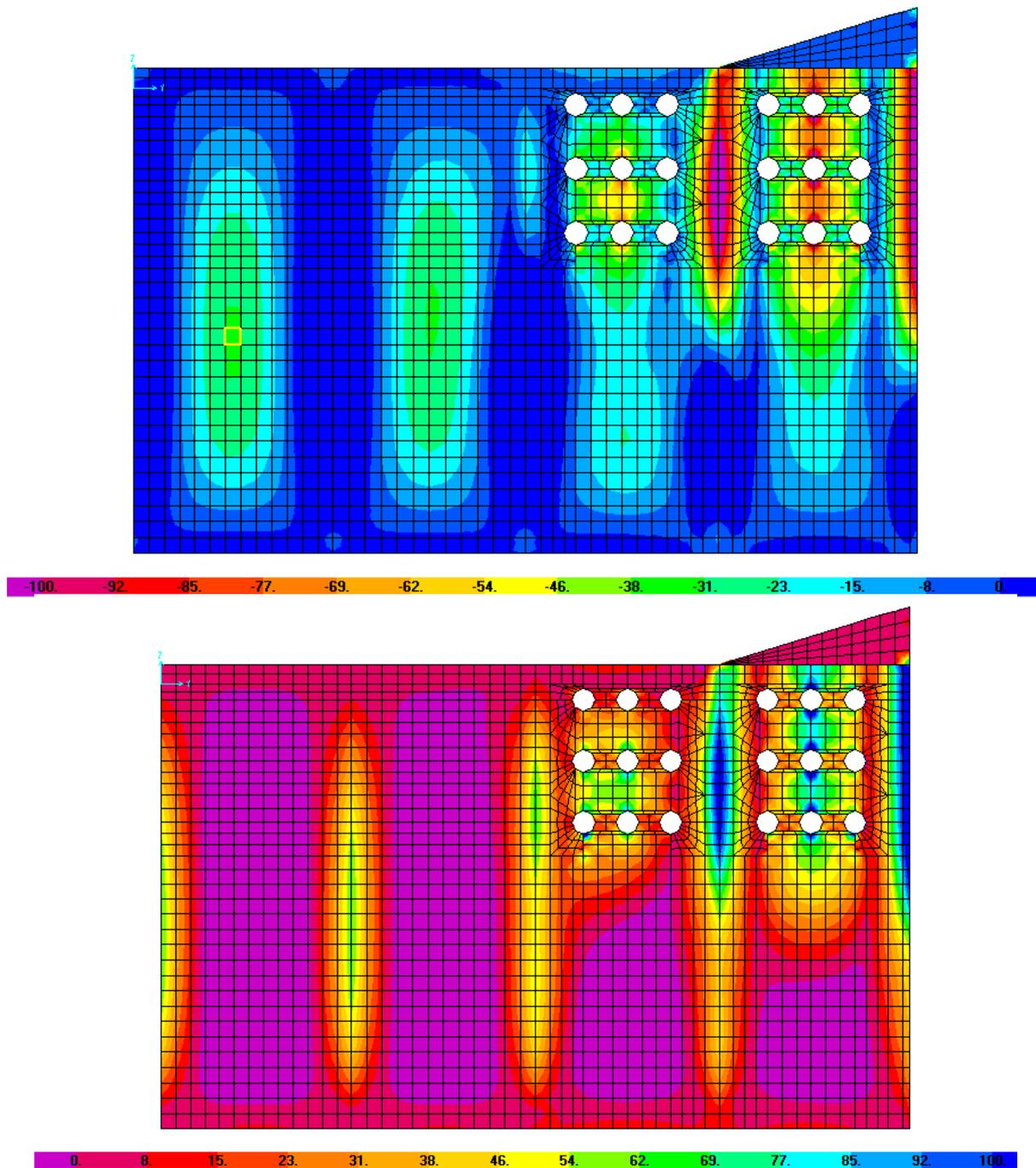


Figura 144 – Setto trasversale. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

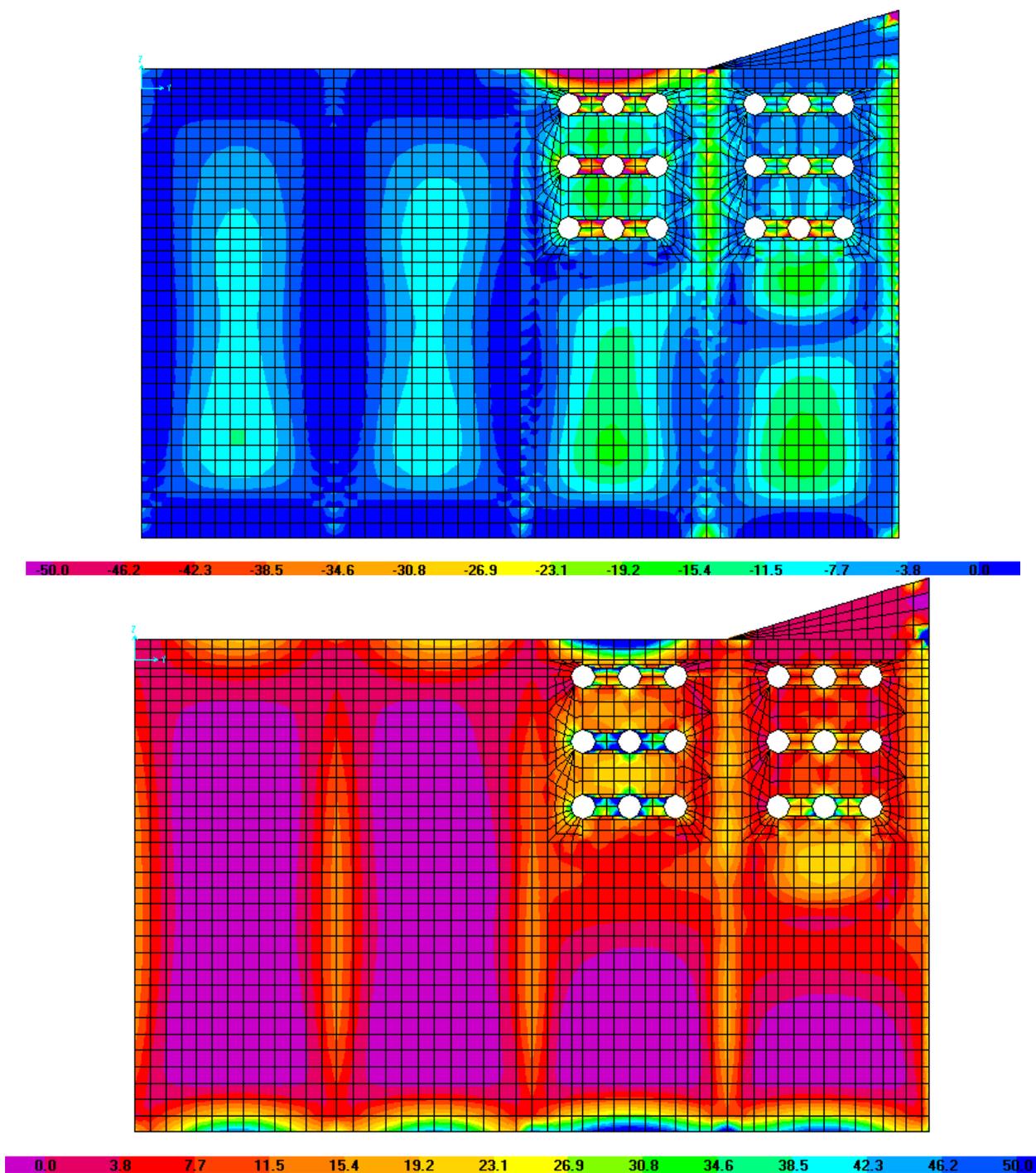


Figura 145 – Setto trasversale. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

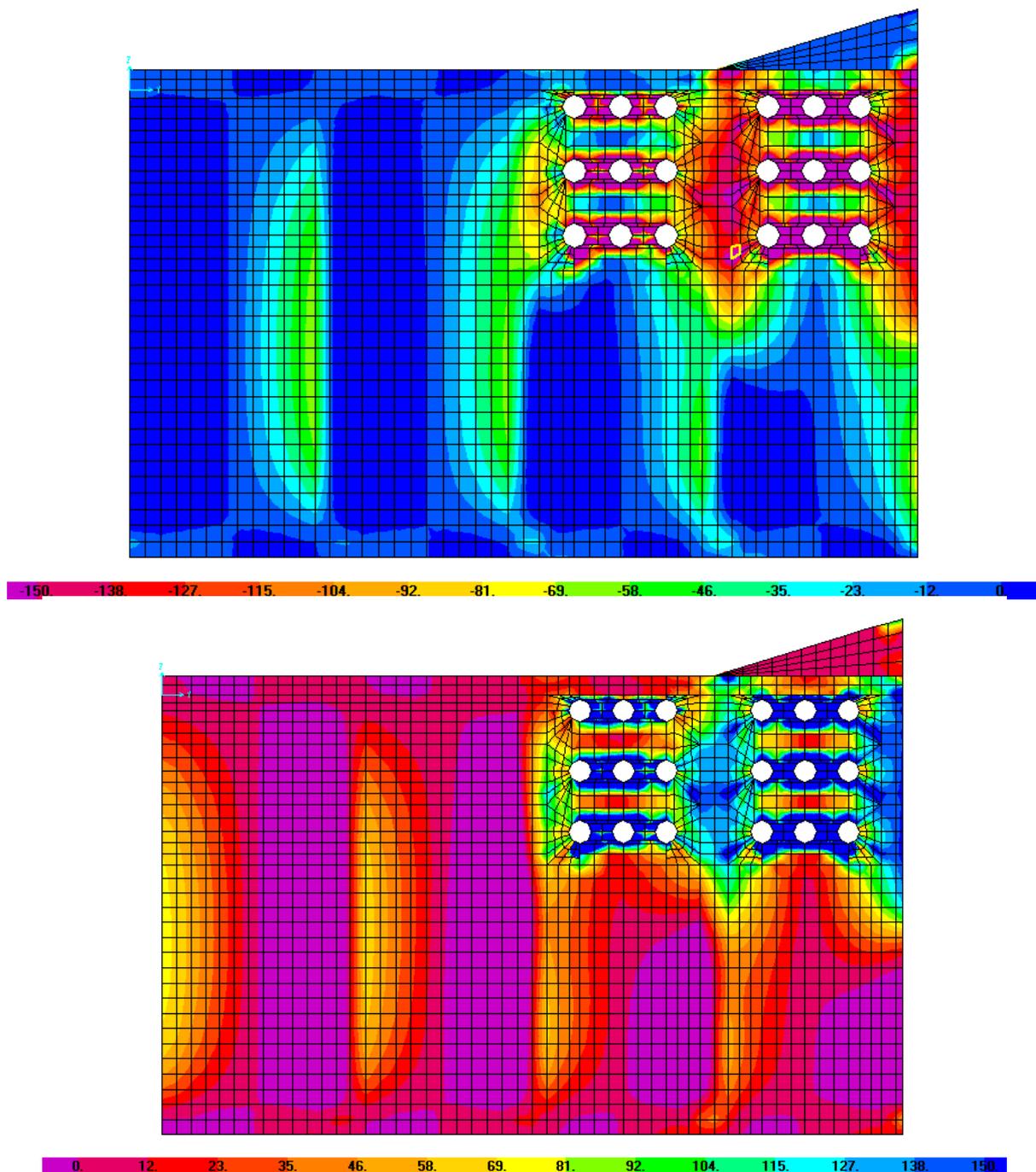


Figura 146 – Setto trasversale. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V13 min (sopra) e V13 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

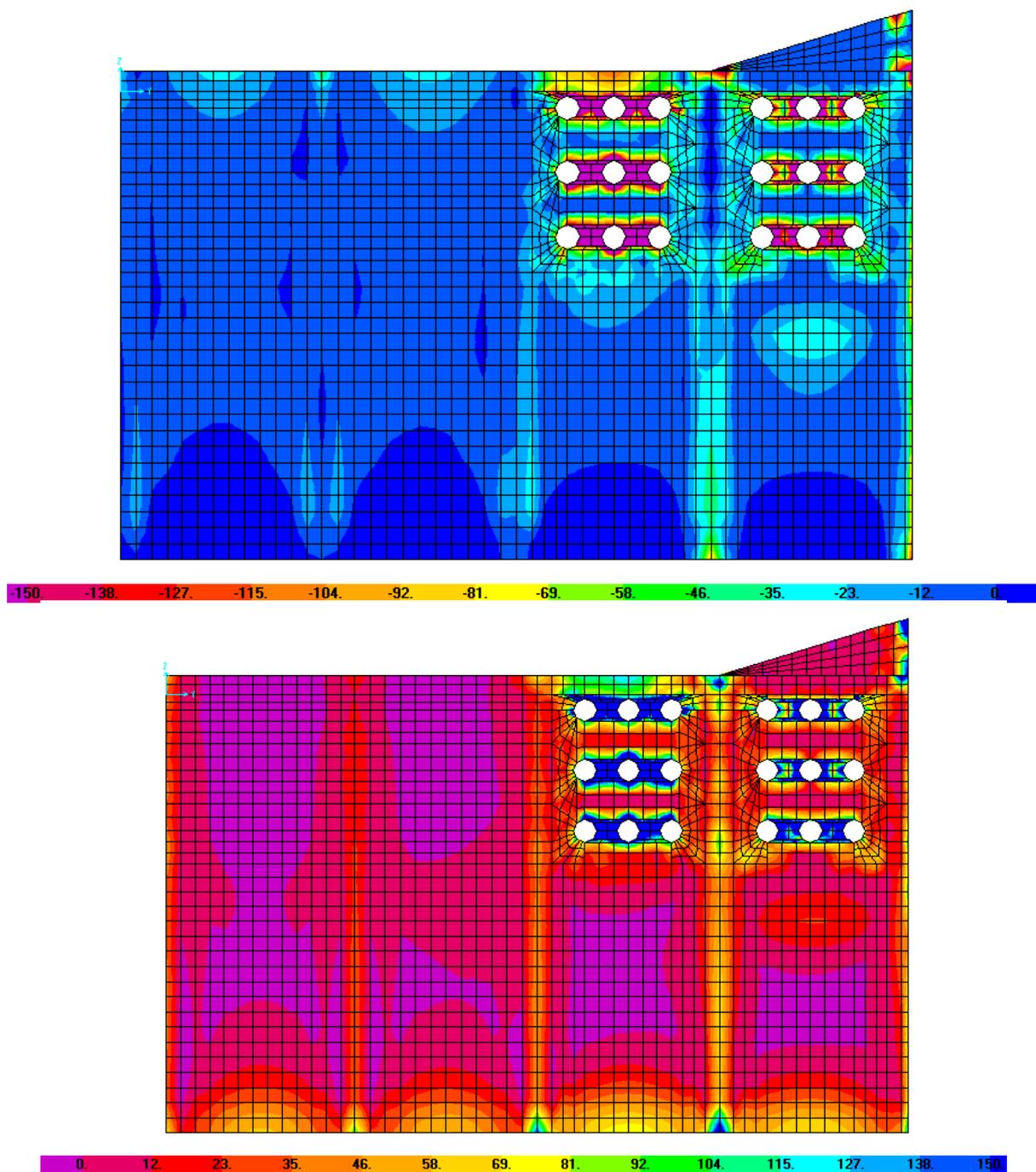


Figura 147 – Setto trasversale. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V23 min (sopra) e V23 max (sotto) [kN/m].



### 7.3.2.5.1.5 Verifiche a flessione (SLU)

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

| ECC/SLU/SLV              |                         |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |      | Arm. Inferiore |      | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|----------|----------|---------------|------|----------------|------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                          |                         |                     |          |          | 1°            | 2°   | 1°             | 2°   |                          |                         |                          |                                  |
| Direzione<br>Orizzontale | Filo pareti trasversali | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | 76                       | 312                     | 135                      | 1.78                             |
|                          | Filo setti trasversali  | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | 76                       | 200                     | 148                      | 1.95                             |
|                          | Filo setti trasversali  | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.35     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | -76                      | 200                     | -148                     | 1.95                             |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità                 | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ20          | 5Φ16 | 5Φ20           | 5Φ16 | 137                      | <0                      | 257                      | 1.88                             |
|                          | 60 cm dalla sommità     | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | 73                       | <0                      | 171                      | 2.34                             |
|                          | Sommità                 | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ20          | 5Φ16 | 5Φ20           | 5Φ16 | -81                      | <0                      | 257                      | 3.17                             |
|                          | 60 cm dalla sommità     | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | -35                      | <0                      | -171                     | 4.89                             |

Tabella 66 – Setto longitudinale LM – Verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

| ECC/SLU/SLV              |                        |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |      | Arm. Inferiore |      | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|--------------------------|------------------------|---------------------|----------|----------|---------------|------|----------------|------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                          |                        |                     |          |          | 1°            | 2°   | 1°             | 2°   |                          |                         |                          |                                  |
| Direzione<br>Orizzontale | Filo setti trasversali | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | 87                       | 183                     | 150                      | 1.72                             |
|                          | Mezzeria               | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.35     | 5Φ20          | -    | 5Φ20           | -    | 73                       | 179                     | 151                      | 2.07                             |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità                | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ16          | 5Φ16 | 5Φ16           | 5Φ16 | 109                      | <0                      | 208                      | 1.91                             |
|                          | 60 cm dalla sommità    | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ16          | -    | 5Φ16           | -    | 35                       | <0                      | 120                      | 3.43                             |
|                          | Campata esterna        | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ16          | -    | 5Φ16           | -    | -39                      | <0                      | -120                     | 3.08                             |

Tabella 67 – Setto longitudinale intermedio – Verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

| ECC/SLU/SLV              |                                |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------|----------|----------|---------------|----|----------------|----|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                          |                                |                     |          |          | 1°            | 2° | 1°             | 2° |                          |                         |                          |                                  |
| Direzione<br>Orizzontale | Filo setti trasversali         | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 5                        | 249                     | 41                       | 8.20                             |
|                          | Mezzeria                       | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -5                       | 249                     | -41                      | 8.20                             |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità filo setti trasversali | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 4                        | <0                      | 66                       | 16.50                            |
|                          | Campata                        | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -4                       | <0                      | -66                      | 16.50                            |

Tabella 68 – Setto longitudinale LP – Verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV



| ECC/SLU/SLV              |                                 |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------|----------|----------|---------------|----|----------------|----|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                          |                                 |                     |          |          | 1°            | 2° | 1°             | 2° |                          |                         |                          |                                  |
| Direzione<br>Orizzontale | Filo parete LM - metà superiore | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5 φ20         | -  | 5 φ20          | -  | 112                      | 138                     | 155                      | 1.38                             |
|                          | Filo parete LM - metà superiore | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.35     | 5 φ20         | -  | 5 φ20          | -  | -101                     | 138                     | -155                     | 1.53                             |
|                          | Filo parete LM - metà inferiore | N <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5 φ20         | -  | 5 φ20          | -  | 38                       | 436                     | 121                      | 3.18                             |
|                          | Filo parete LP                  | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5 φ14         | -  | 5 φ14          | -  | 35                       | 154                     | 51                       | 1.46                             |
|                          | Campata celle file LP           | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5 φ14         | -  | 5 φ14          | -  | -31                      | 220                     | -44                      | 1.42                             |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità celle file LM           | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5 φ16         | -  | 5 φ16          | -  | 73                       | <0                      | 120                      | 1.64                             |
|                          | Sommità celle file LM           | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5 φ16         | -  | 5 φ16          | -  | -88                      | <0                      | -120                     | 1.36                             |
|                          | Filo solettone celle file LP    | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5 φ14         | -  | 5 φ14          | -  | 22                       | <0                      | 66                       | 3.00                             |
|                          | Campata celle file LP           | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.25     | 5 φ14         | -  | 5 φ14          | -  | -12                      | <0                      | -66                      | 5.50                             |

Tabella 69 – Setti trasversali – Verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

#### 7.3.2.5.1.6 Verifiche a taglio (SLU)

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza.

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

| ECC/SLU/SLV              |              |                     | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDcls</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub><br>- |
|--------------------------|--------------|---------------------|----------|----|-------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                          |              |                     | 1°       | 2° |                         |                         |            |                            |                          |                          |                         |                                       |
| Direzione<br>Orizzontale | Zona fori    | V <sub>13,max</sub> | 5 φ20    | -  | 226                     | <0                      | Φ10/20x20  | 168                        | 687                      | 877                      | 687                     | 3.04                                  |
|                          | Metà altezza | V <sub>13,max</sub> | 5 φ20    | -  | 108                     | <0                      | -          | 168                        | -                        | -                        | 168                     | 1.56                                  |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità      | V <sub>23,max</sub> | 5 φ20    | -  | 251                     | <0                      | Φ10/20x20  | 168                        | 467                      | 877                      | 467                     | 1.86                                  |
|                          | Base         | V <sub>23,max</sub> | 5 φ20    | -  | 77                      | <0                      | -          | 168                        | -                        | -                        | 168                     | 2.18                                  |

Tabella 70 – Setto longitudinale LM – Verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV

| ECC/SLU/SLV              |   |                     | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDcls</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub><br>- |
|--------------------------|---|---------------------|----------|----|-------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                          |   |                     | 1°       | 2° |                         |                         |            |                            |                          |                          |                         |                                       |
| Direzione<br>Orizzontale | Filo setti trasversali e parete trasversale, parte alta | V <sub>13,max</sub> | 5 φ20    | -  | 189                     | 120                     | Φ10/20x20  | 145                        | 687                      | 877                      | 687                     | 3.63                                  |
|                          | Metà altezza  | V <sub>13,max</sub> | 5 φ20    | -  | 46                      | <0                      | -          | 168                        | -                        | -                        | 168                     | 3.65                                  |
| Direzione<br>Verticale   | Sommità   | V <sub>23,max</sub> | 5 φ16    | -  | 158                     | <0                      | Φ10/20x20  | 147                        | 467                      | 877                      | 467                     | 2.96                                  |
|                          | Base  | V <sub>23,max</sub> | 5 φ16    | -  | 77                      | <0                      | -          | 147                        | -                        | -                        | 147                     | 1.91                                  |

Tabella 71 – Setto longitudinale intermedio – Verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

| ECC/SLU/SLV           |   |                     | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDcts</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub><br>- |
|-----------------------|---|---------------------|----------|----|-------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                       |   |                     | 1°       | 2° |                         |                         |            |                            |                          |                          |                         |                                       |
| Direzione Orizzontale | Filo setti trasversali e parete trasversale, base | V <sub>13,max</sub> | 5φ14     | -  | 16                      | 249                     | -          | 81                         | -                        | -                        | 81                      | 5.06                                  |
| Direzione Verticale   | Filo setti trasversali e parete trasversale       | V <sub>23,max</sub> | 5φ14     | -  | 23                      | <0                      | -          | 106                        | -                        | -                        | 106                     | 4.61                                  |

Tabella 72 – Setto longitudinale LP – Verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV

| ECC/SLU/SLV           |   |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | N <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDds</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub><br>- |
|-----------------------|---|---------------------|----------|----------|----------|----|-------------------------|-------------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                       |   |                     |          |          | 1°       | 2° |                         |                         |            |                           |                          |                          |                         |                                       |
| Direzione Orizzontale | Zona fori   | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5φ20     | -  | 276                     | 60                      | Φ10/20x20  | 161                       | 467                      | 887                      | 467                     | 1.69                                  |
|                       | Filo parete LM e filo setti longitudinali - celle file LM | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5φ20     | -  | 178                     | 155                     | Φ10/20x20  | 150                       | 467                      | 887                      | 467                     | 2.62                                  |
|                       | Filo parete LP e filo setti longitudinali - celle file LP | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5φ14     | -  | 58                      | 258                     | -          | 79                        | -                        | -                        | 79                      | 1.36                                  |
| Direzione Verticale   | Zona fori   | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.35     | 5φ16     | -  | 169                     | <0                      | Φ10/20x20  | 117                       | 470                      | 893                      | 470                     | 2.78                                  |
|                       | Sommità celle file LP                                     | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.25     | 5φ14     | -  | 26                      | <0                      | -          | 106                       | -                        | -                        | 106                     | 4.08                                  |

Tabella 73 – Setti trasversali – Verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV



### 7.3.2.5.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati dell'analisi numerica inerenti lo stato limite di esercizio.

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.

#### 7.3.2.5.2.1 Setto longitudinale LM

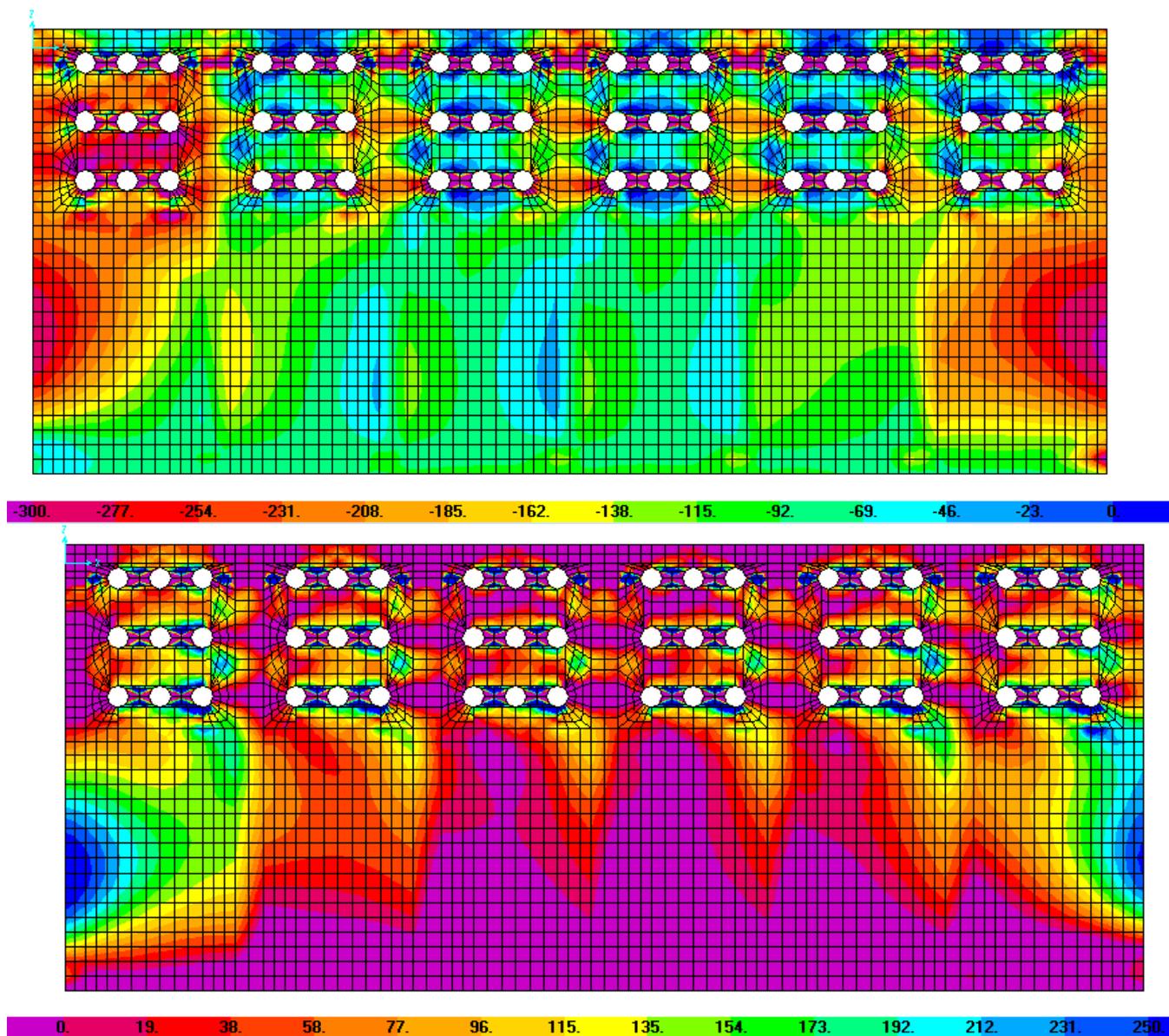


Figura 148 – Setto longitudinale LM. Involuppo Comb RARA (SLE) - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

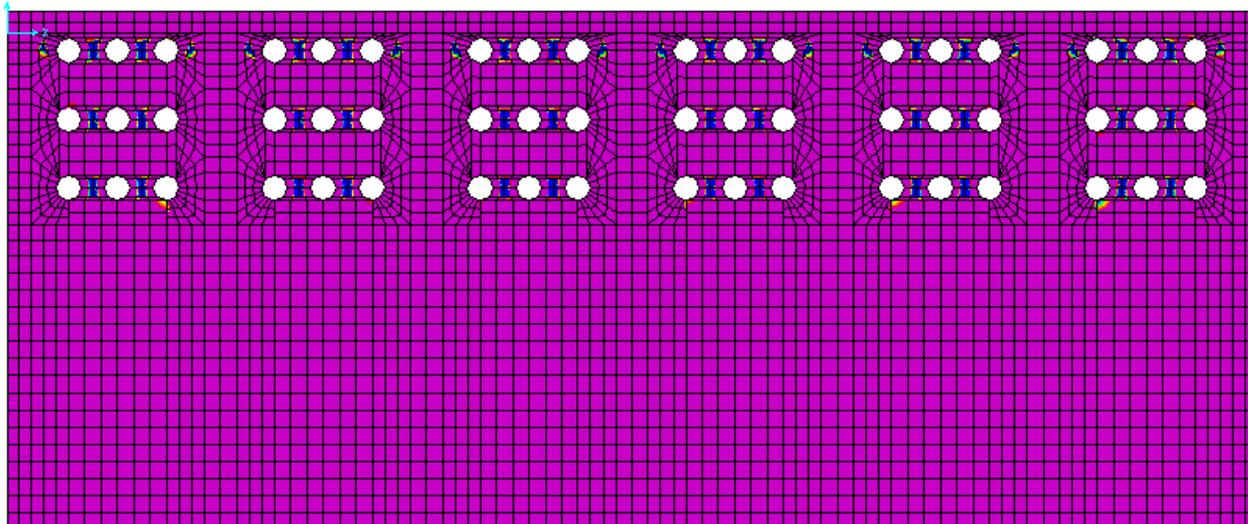
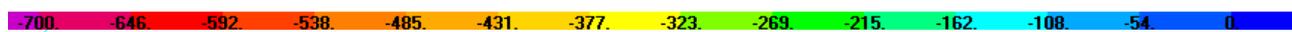
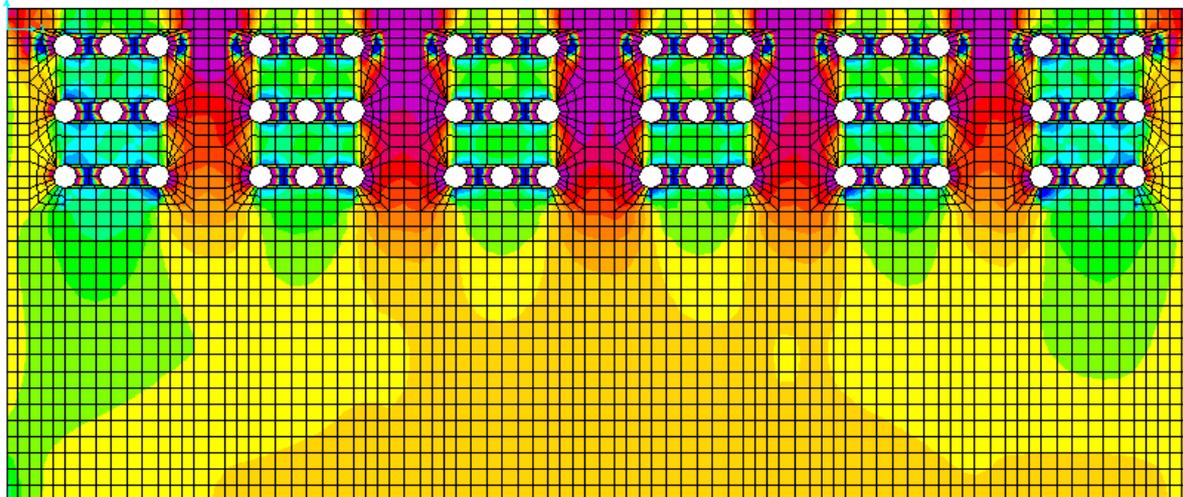


Figura 149 – Setto longitudinale LM. Involuppo Comb RARA (SLE) – F22 min (sopra) e F2 max (sotto) [kN/m].

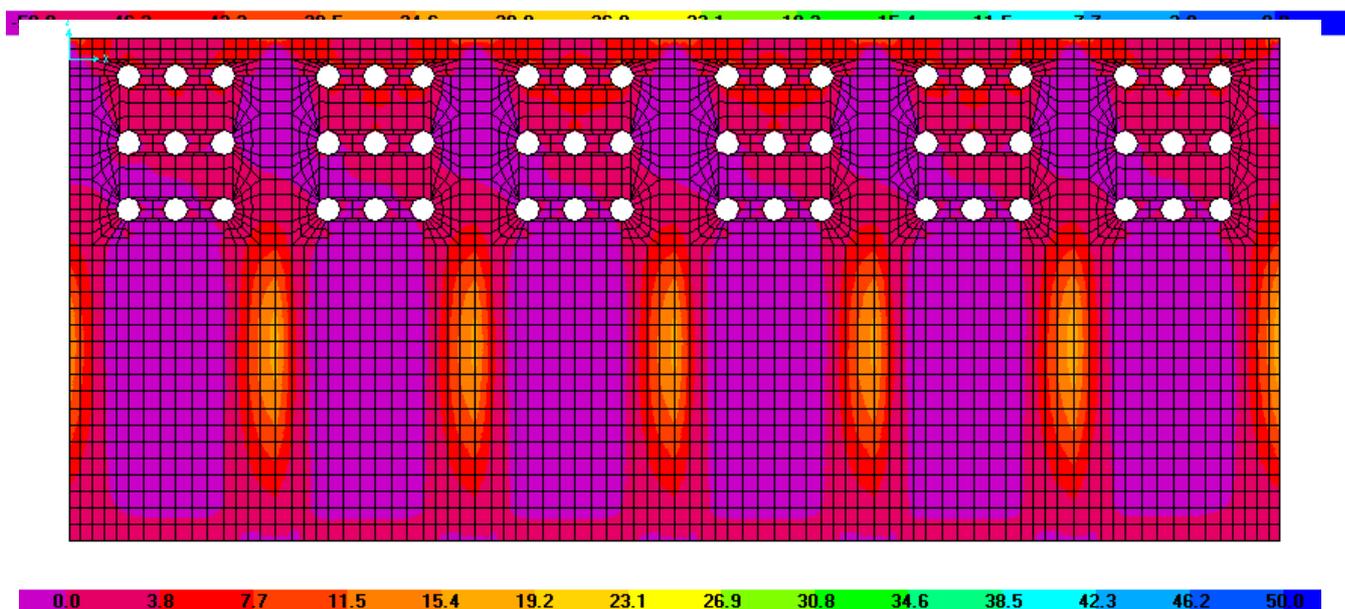
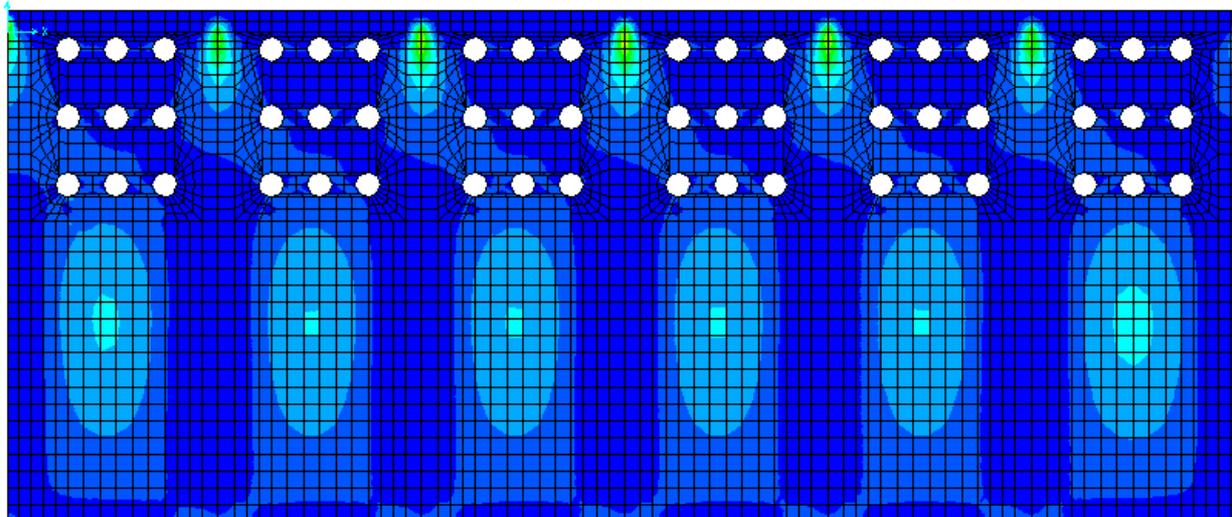


Figura 150 – Setto longitudinale LM. Involuppo Comb RARA (SLE) – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

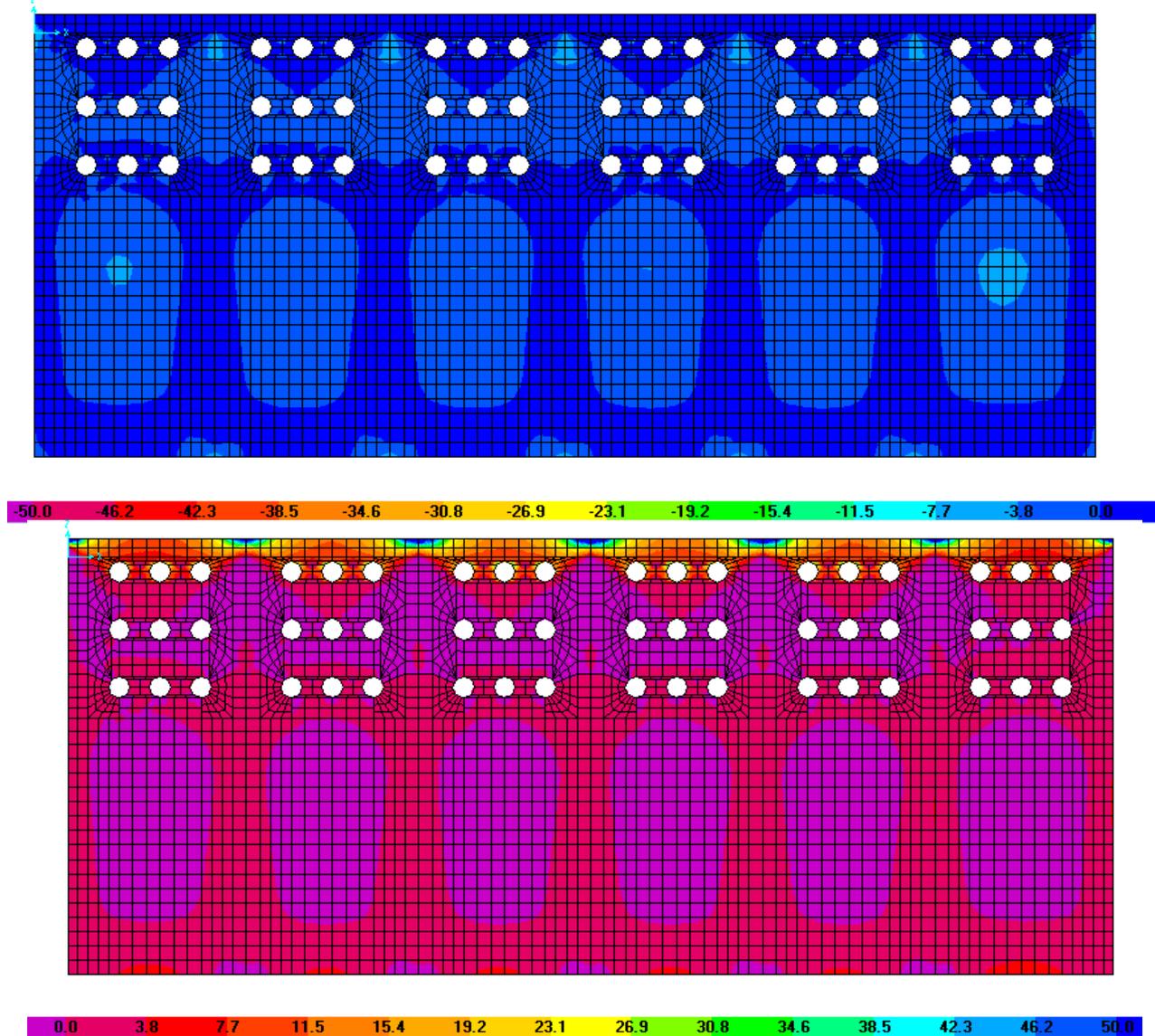


Figura 151 – Setto longitudinale LM. Involuppo Comb RARA (SLE) – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



7.3.2.5.2.2 Setto longitudinale intermedio

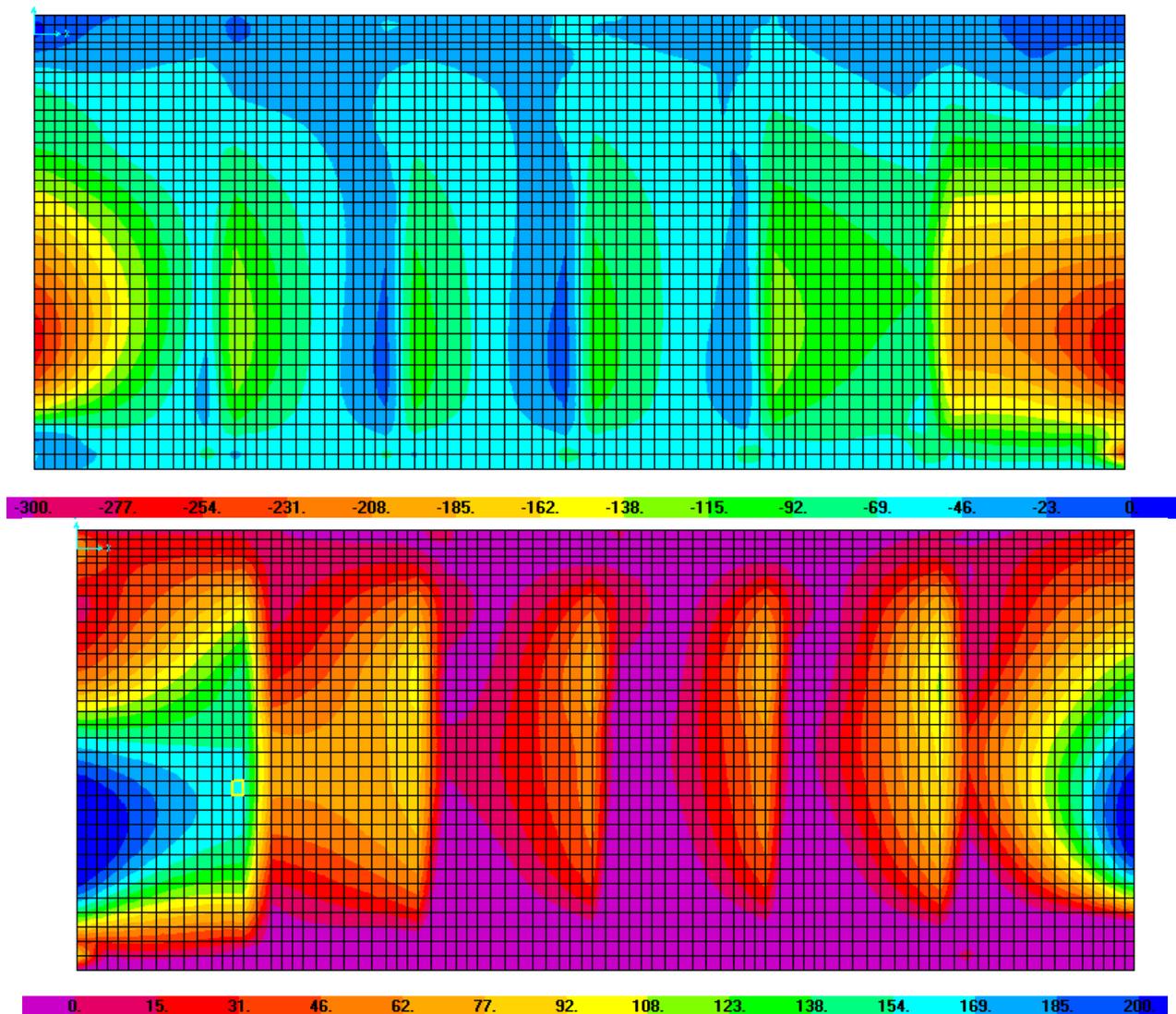


Figura 152 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo Comb RARA (SLE) - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].

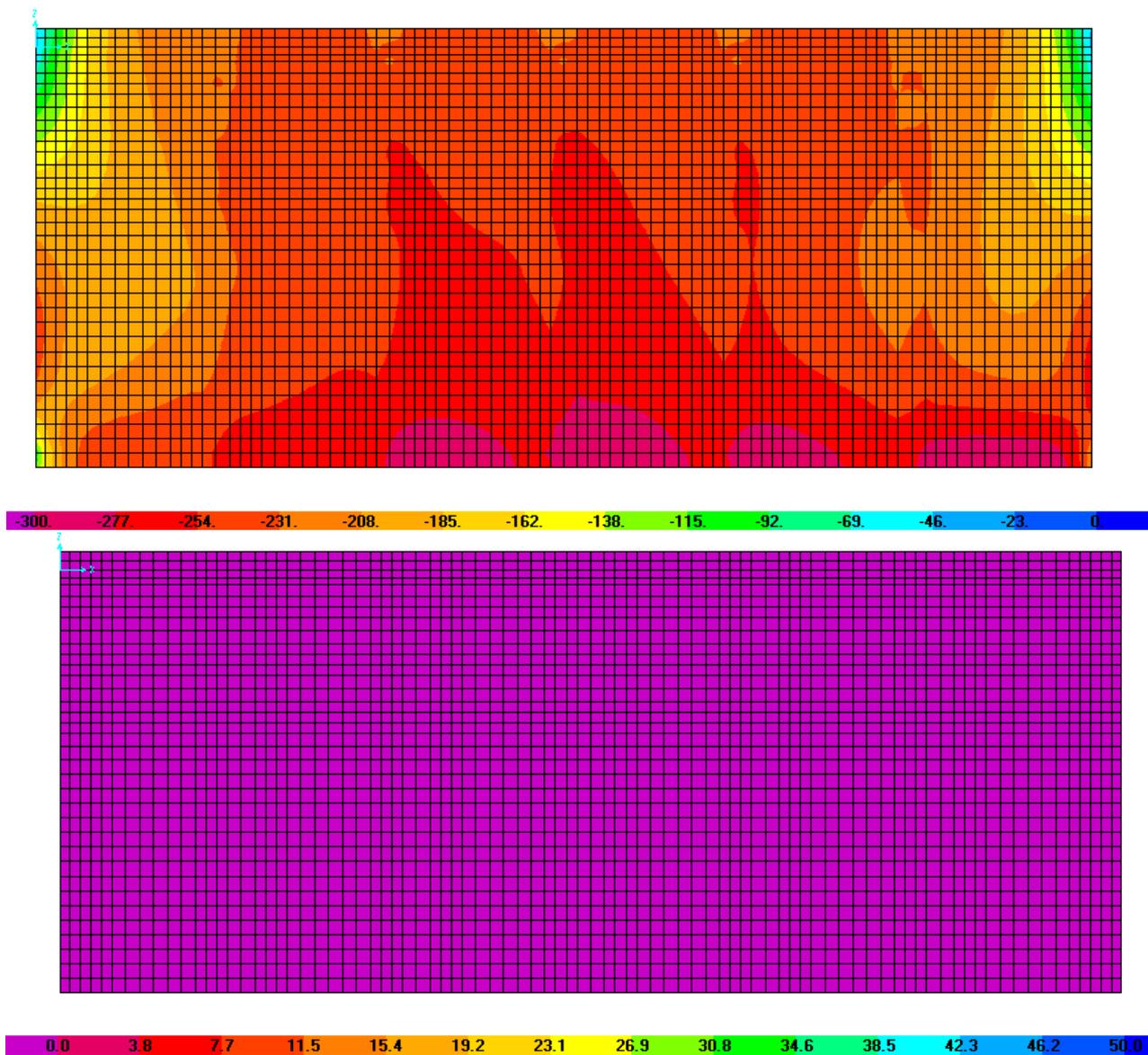


Figura 153 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo Comb RARA (SLE) – F22 min (sopra) e F2 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

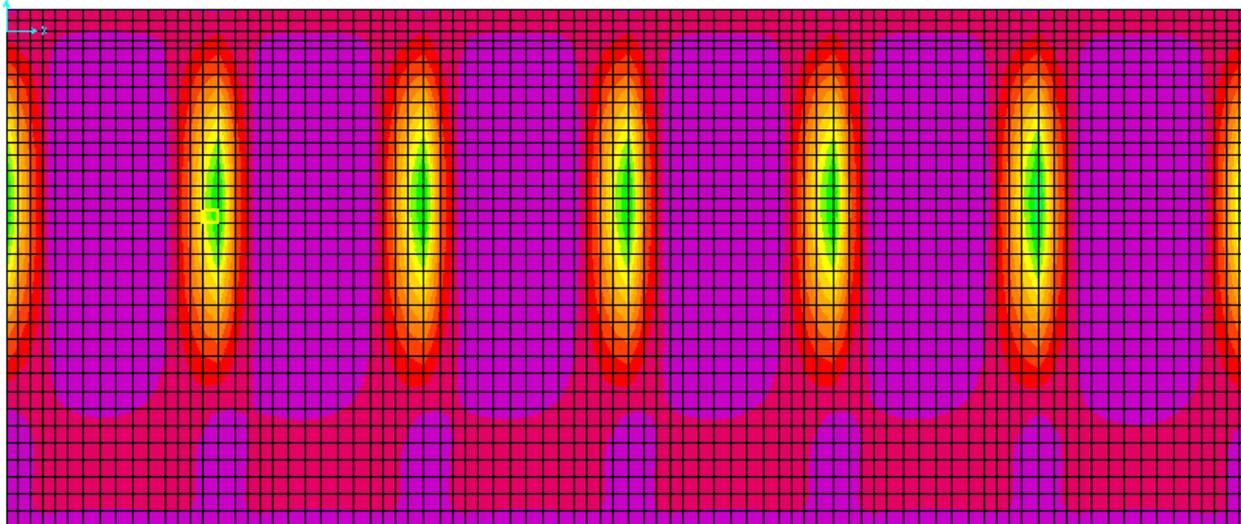
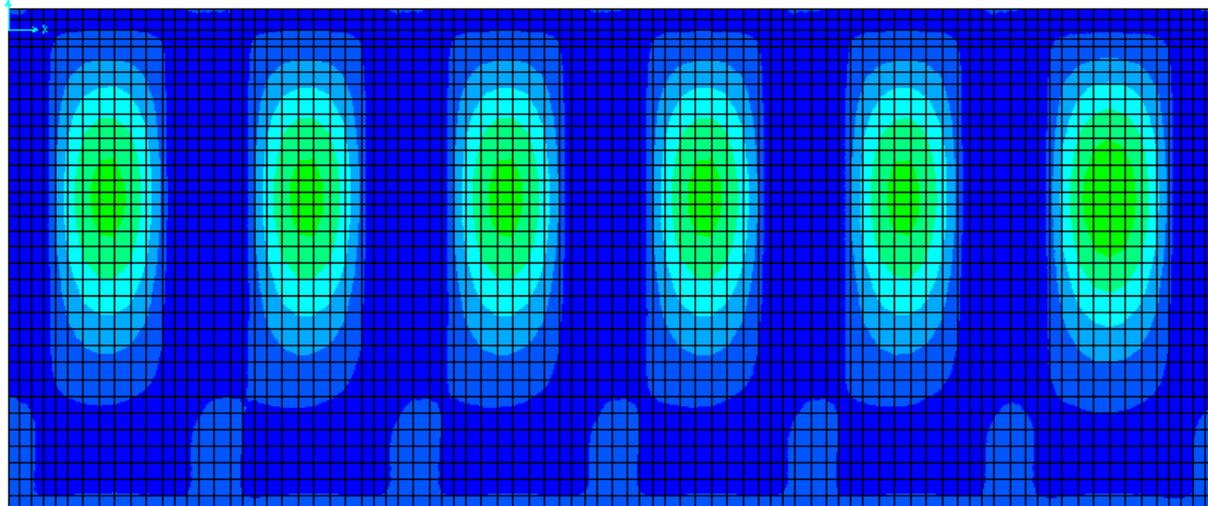


Figura 154 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo Comb RARA (SLE) – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

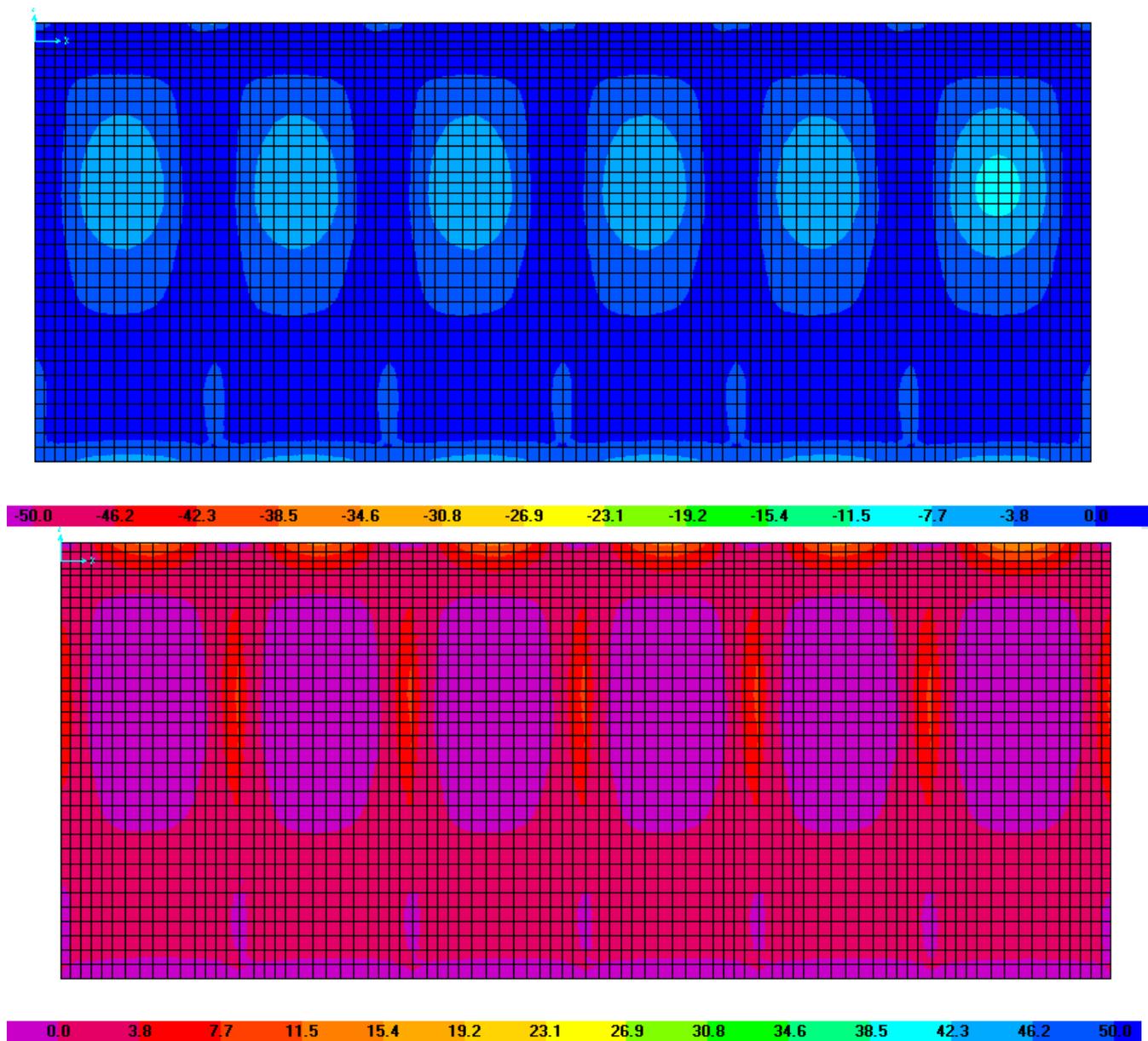


Figura 155 – Setto longitudinale intermedio. Involuppo Comb RARA (SLE) – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kNm/m].



7.3.2.5.2.3 Setto longitudinale LP

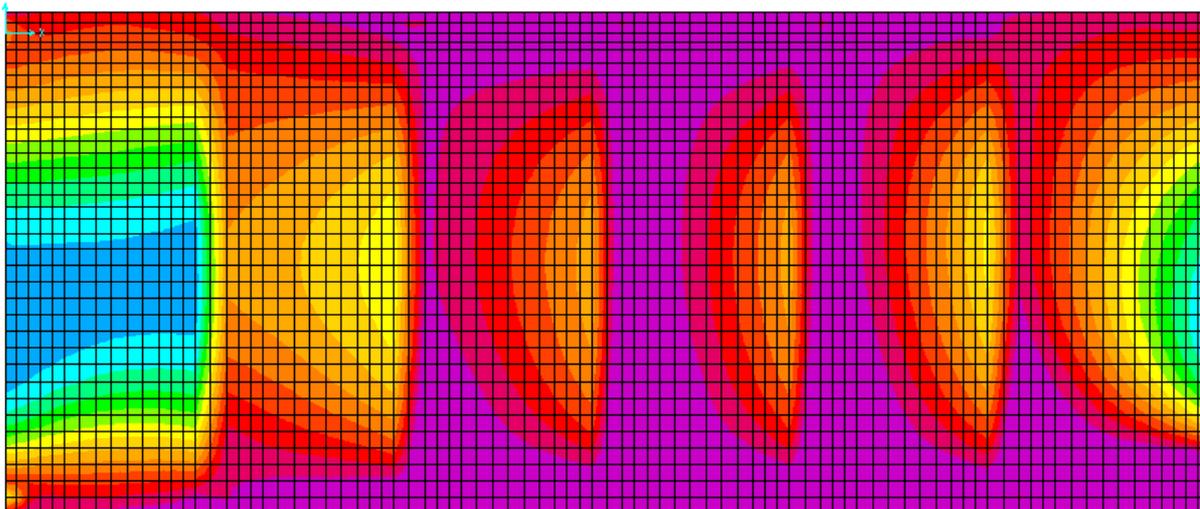
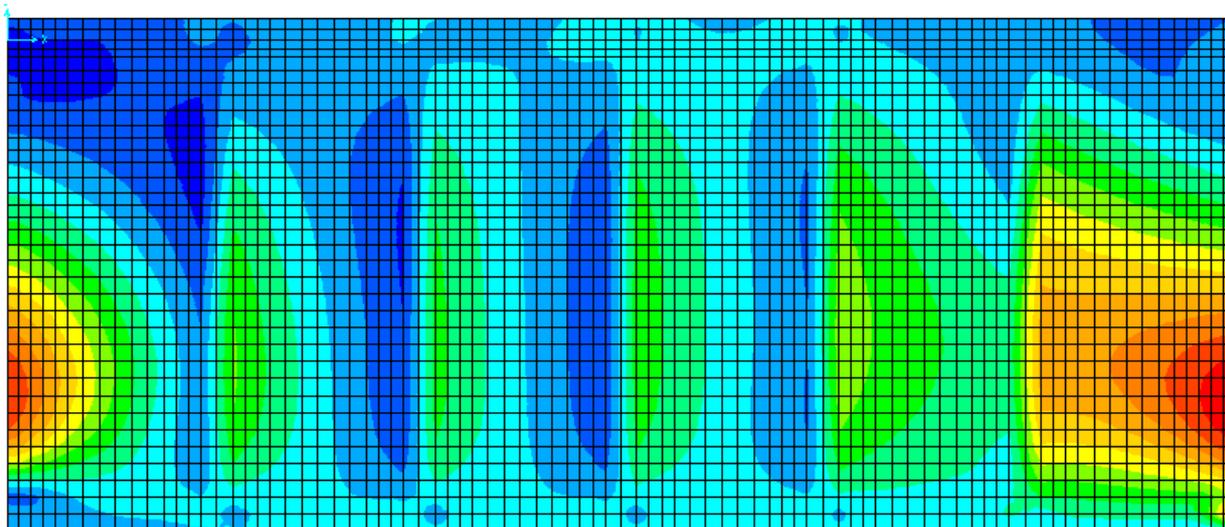


Figura 156 – Setto longitudinale LP. Inviluppo Comb RARA (SLE) - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

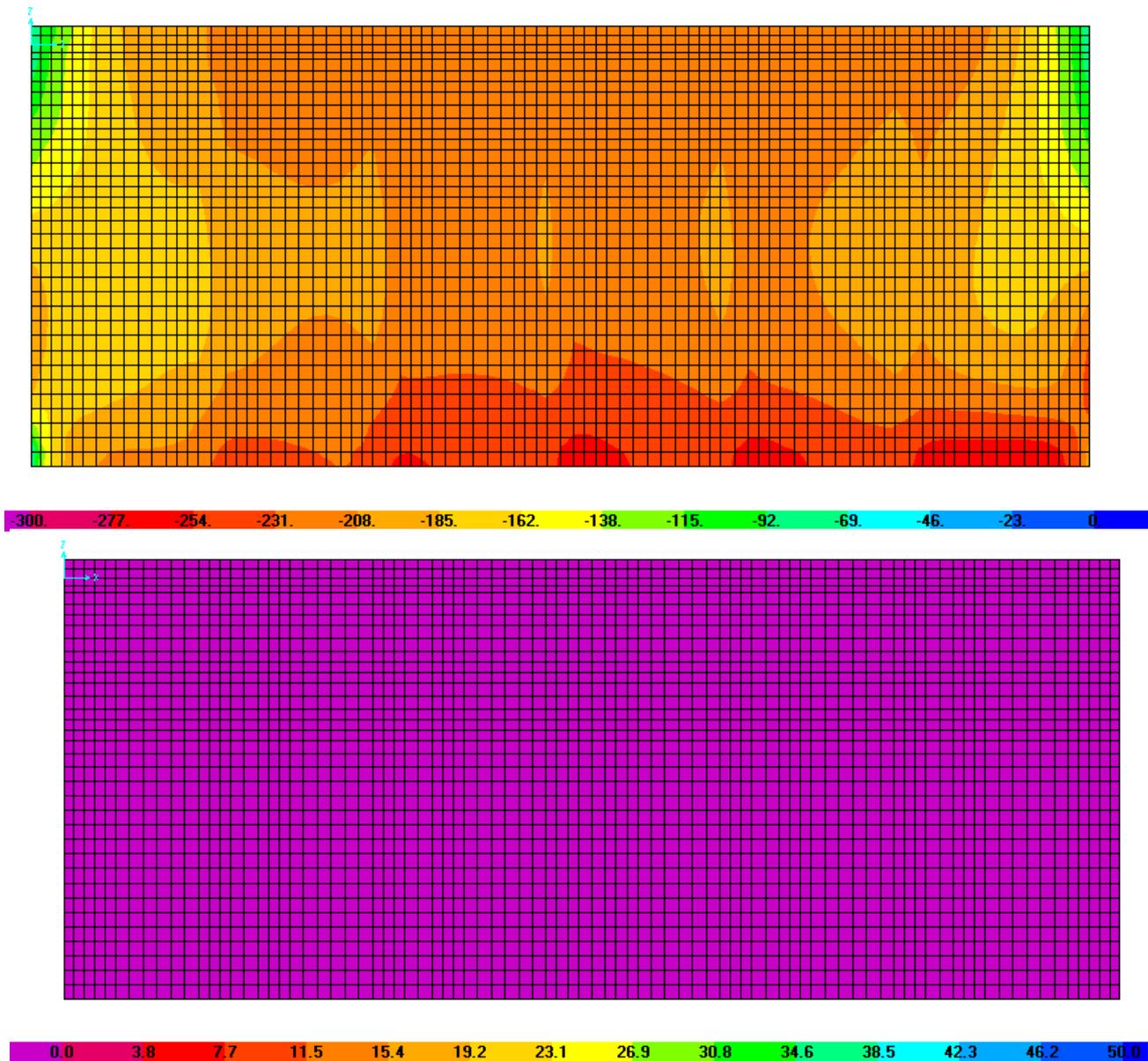


Figura 157 – Setto longitudinale LP. Involuppo Comb RARA (SLE) – F22 min (sopra) e F2 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

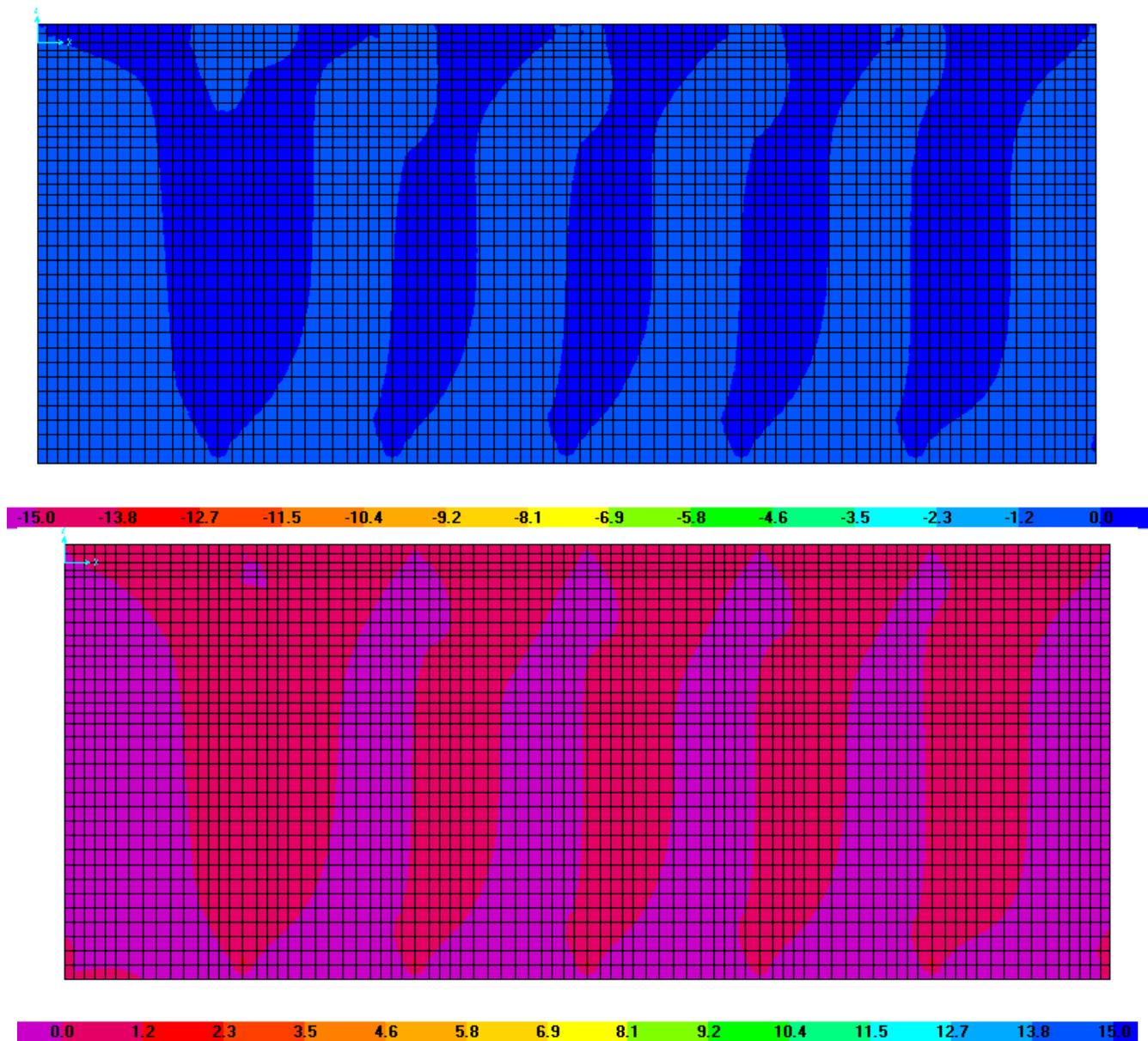


Figura 158 – Setto longitudinale LP. Involuppo Comb RARA (SLE) –  $M_{11} \min$  (sopra) e  $M_{11} \max$  (sotto) [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

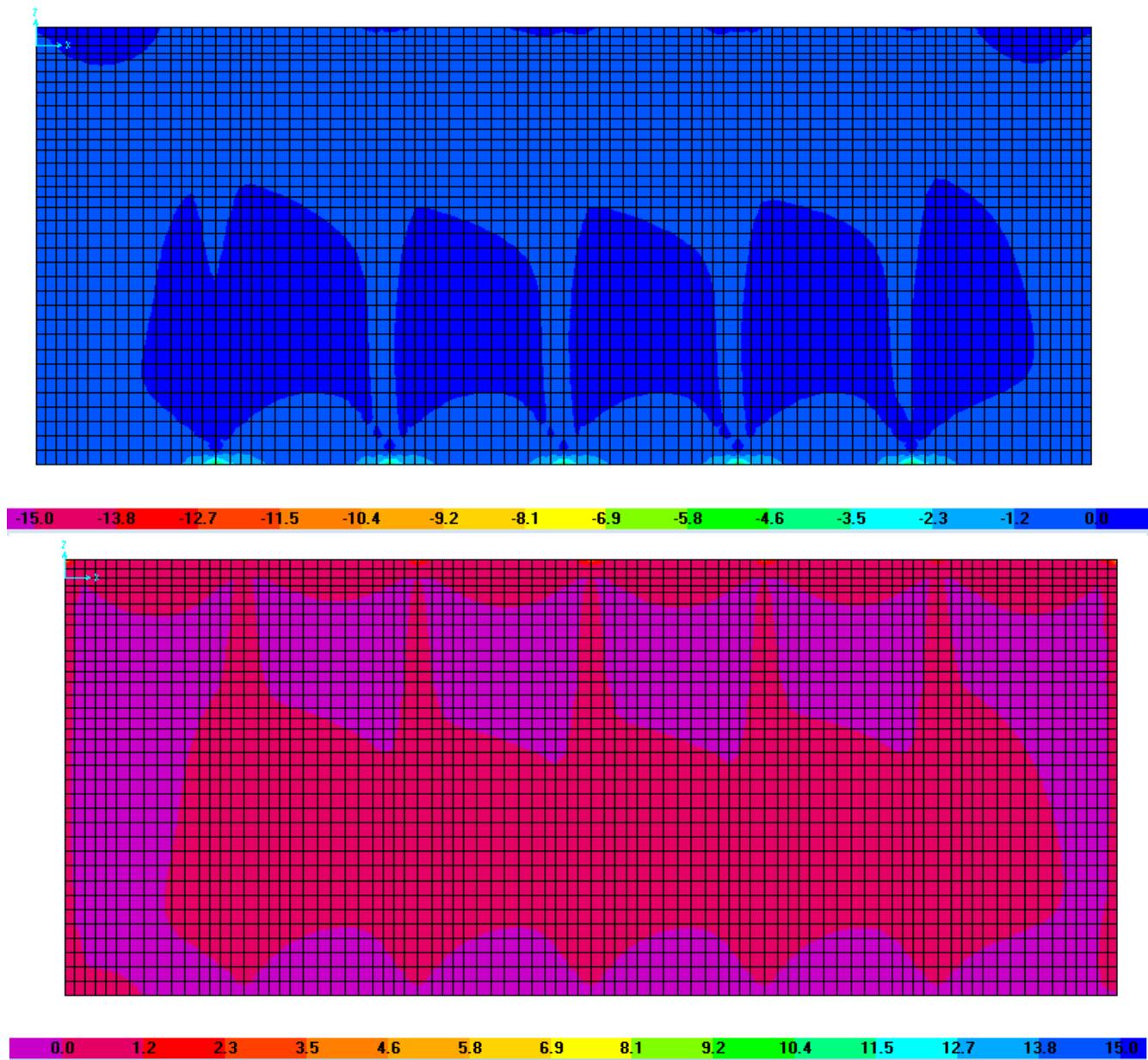


Figura 159 – Setto longitudinale LP. Involuppo Comb RARA (SLE) – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kNm/m].



7.3.2.5.2.4 Setti trasversali

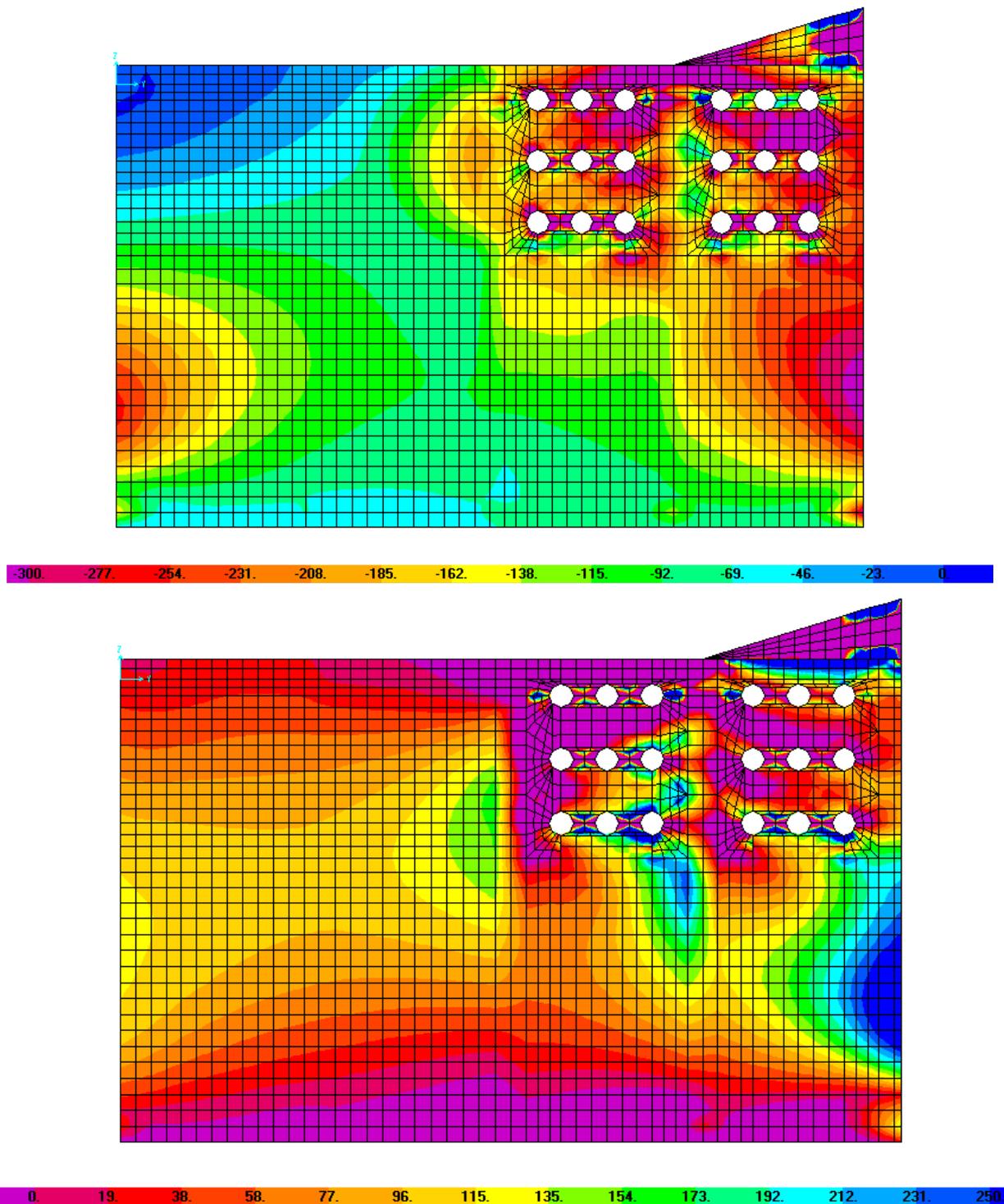


Figura 160 – Setto trasversale. Involuppo Comb RARA (SLE) - F11 min (sopra) e F11 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

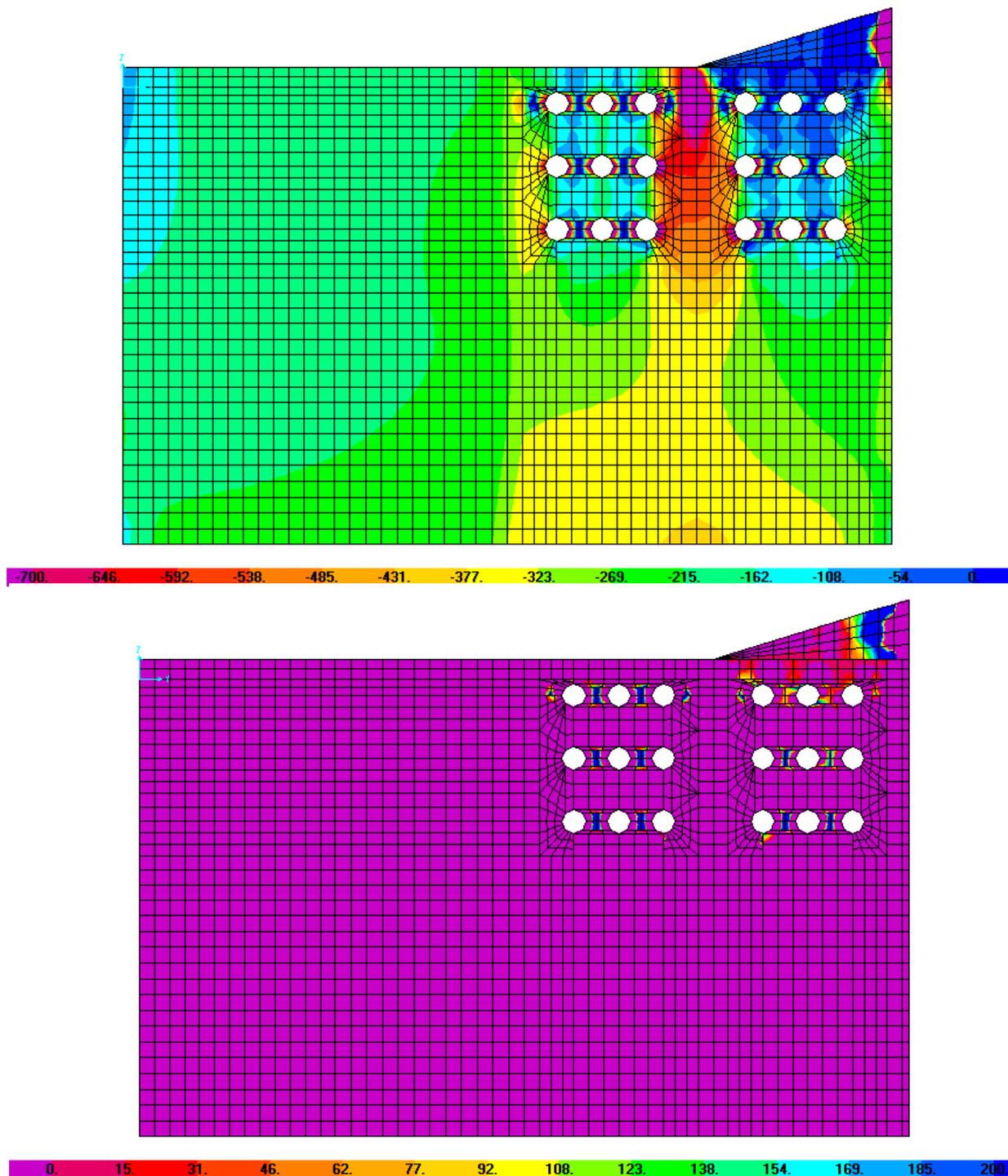


Figura 161 – Setto trasversale. Involuppo Comb RARA (SLE) – F22 min (sopra) e F22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

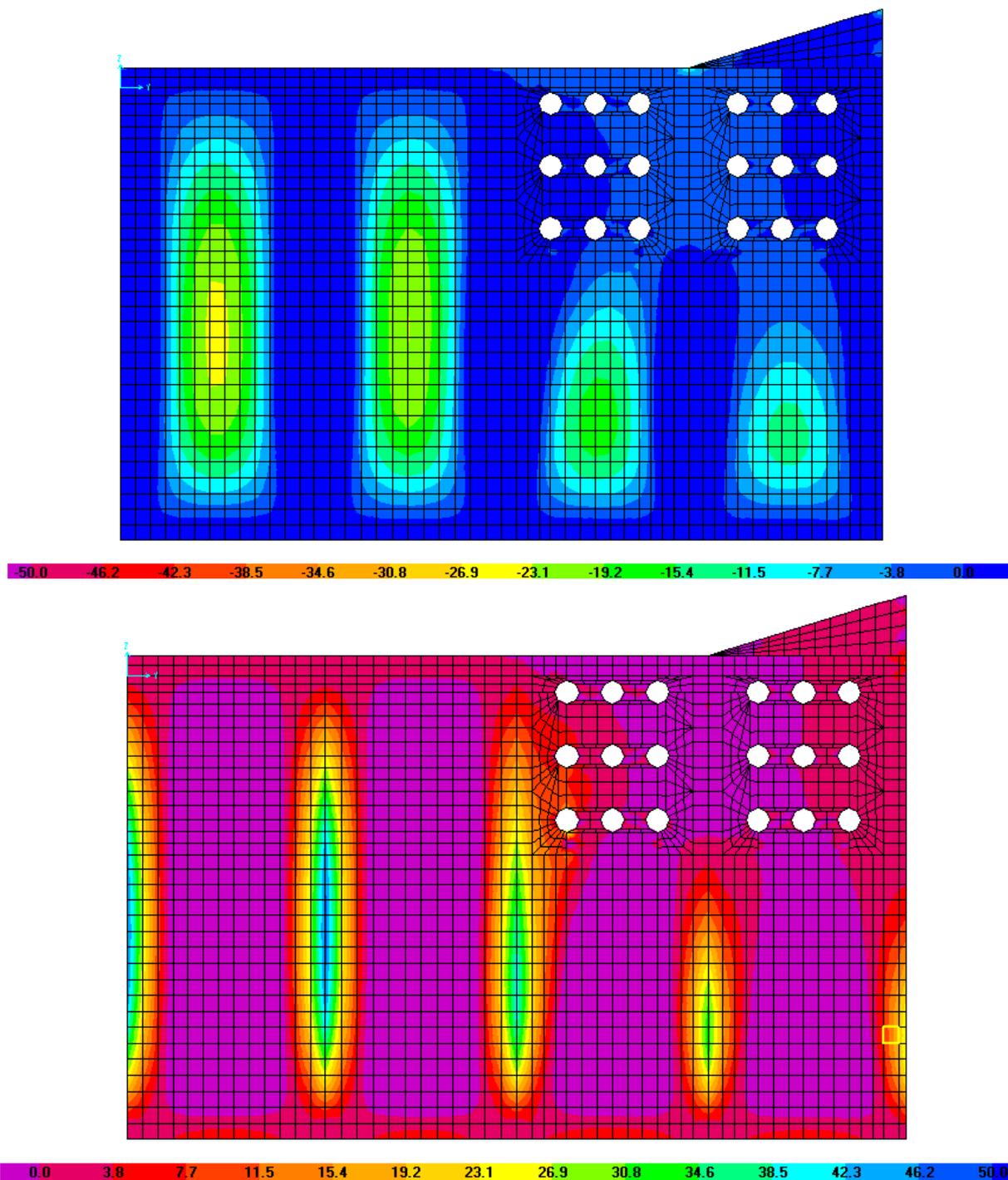


Figura 162 – Setto trasversale. Involuppo Comb RARA (SLE) – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kNm/m].

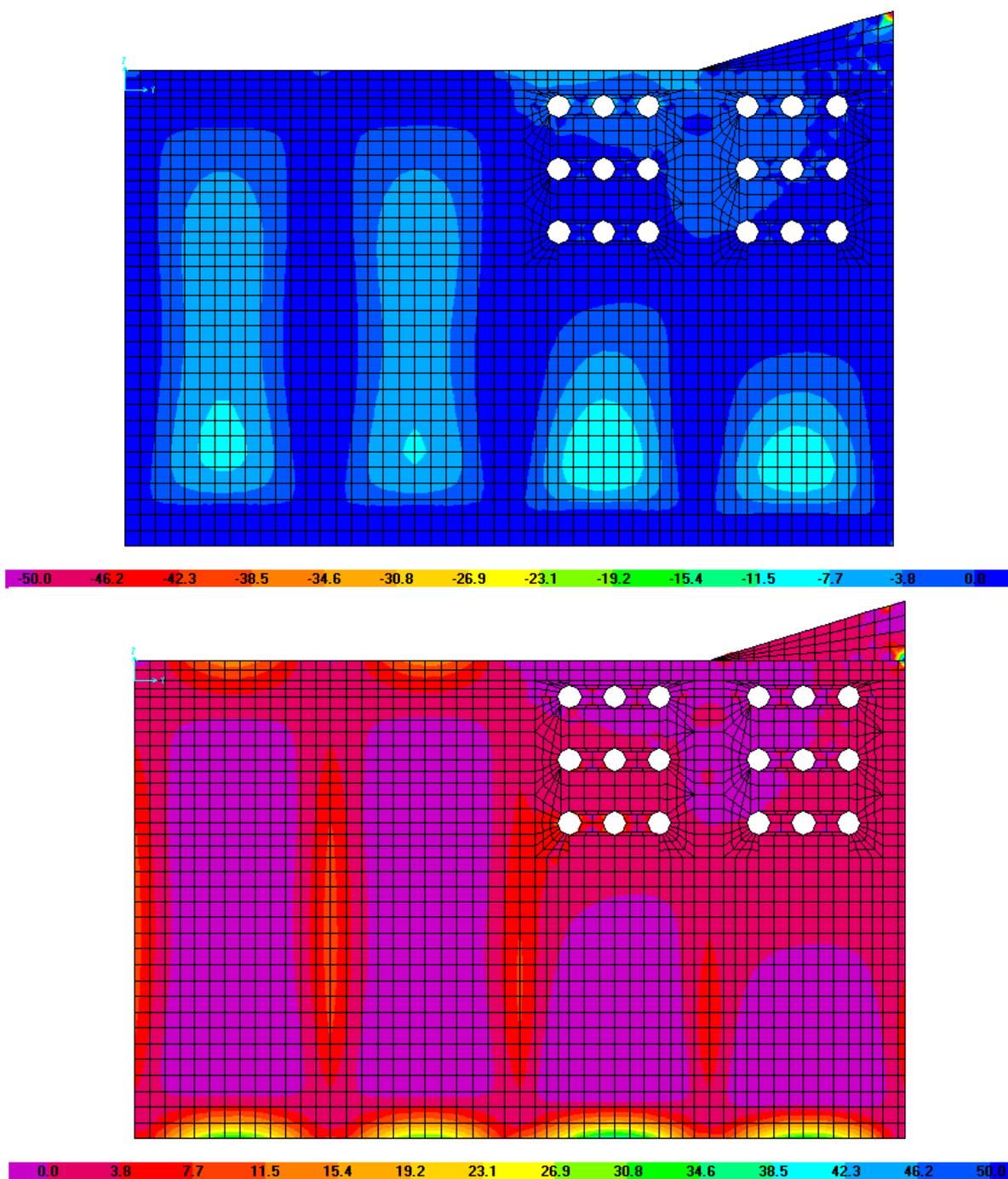


Figura 163 – Setto trasversale. Inviluppo Comb RARA (SLE) – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kNm/m].

#### 7.3.2.5.2.5 Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE)

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti per le combinazioni di carico analizzate e le verifiche delle tensioni di esercizio nei materiali ed allo stato limite di apertura delle fessure con la combinazione RARA.



A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione.

| SLE - Comb. RARA      |                                | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | Tensioni I stadio |          | $\sigma_{c, \text{traz}} < f_{cfm}/1.2$ |                           |               |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|-------------------|----------|---|---------------------------|---------------|
|                       |                                |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° | $M_{ED}$          | $N_{ED}$ |   | $\sigma_{c, \text{traz}}$ | $f_{cfm}/1.2$ |
|                       |                                | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]             | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ]                    | [N/mm <sup>2</sup> ]      | -             |
| Direzione Orizzontale | Filo pareti trasversali        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 12.00             | 271.00   | 1.20                                    | 3.35                      | ok            |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.25 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -8.00             | 188.00   | 0.82                                    | 3.35                      | ok            |
| Direzione Verticale   | Sommità filo setti trasversali | 1.00 | 0.25 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 46.00             | <0       | 1.97                                    | 3.35                      | ok            |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.25 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -5.00             | <0       | 0.51                                    | 3.35                      | ok            |

Tabella 74 – Setto longitudinale LM – Verifiche allo SLE

| SLE - Comb. RARA      |                                | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | Tensioni I stadio |          | $\sigma_{c, \text{traz}} < f_{cfm}/1.2$ |                           |               |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|-------------------|----------|---|---------------------------|---------------|
|                       |                                |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° | $M_{ED}$          | $N_{ED}$ |   | $\sigma_{c, \text{traz}}$ | $f_{cfm}/1.2$ |
|                       |                                | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]             | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ]                    | [N/mm <sup>2</sup> ]      | -             |
| Direzione Orizzontale | Filo pareti trasversali        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 24.00             | 153.00   | 1.41                                    | 3.35                      | ok            |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.25 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -19.00            | 149.00   | 1.19                                    | 3.35                      | ok            |
| Direzione Verticale   | Sommità filo setti trasversali | 1.00 | 0.25 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | 12.00             | <0       | 0.54                                    | 3.35                      | ok            |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.25 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | -10.00            | <0       | 0.45                                    | 3.35                      | ok            |

Tabella 75 – Setto longitudinale intermedio – Verifiche allo SLE

| SLE - Comb. RARA      |                                | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | Tensioni I stadio |          | $\sigma_{c, \text{traz}} < f_{cfm}/1.2$ |                           |               |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|-------------------|----------|---|---------------------------|---------------|
|                       |                                |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° | $M_{ED}$          | $N_{ED}$ |   | $\sigma_{c, \text{traz}}$ | $f_{cfm}/1.2$ |
|                       |                                | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]             | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ]                    | [N/mm <sup>2</sup> ]      | -             |
| Direzione Orizzontale | Filo setti trasversali         | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 5.00              | 80.00    | 0.75                                    | 3.35                      | ok            |
| Direzione Verticale   | Sommità filo setti trasversali | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 4.00              | <0       | 0.46                                    | 3.35                      | ok            |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -4.00             | <0       | 0.46                                    | 3.35                      | ok            |

Tabella 76 – Setto longitudinale LP – Verifiche allo SLE

| SLE - Comb. RARA      |  | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | $M_{ED}$ | $N_{ED}$ | $\sigma_c$           | $0,60 f_{ck}$        | $\sigma_c < 0,60 f_{ck}$ | $\sigma_s$           | $0,8 f_{yk}$         | $\sigma_s < 0,80 f_{ck}$ |
|-----------------------|--|------|------|---------------|----|----------------|----|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                       |  |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° |          |          |                      |                      |                          |                      |                      |                          |
|                       |  | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]    | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        |
| Direzione Orizzontale | Campata celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 23.00    | 297.00   | 0.82                 | 21.00                | ok                       | 162.70               | 360.00               | ok                       |
|                       | Sommità celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -18.00   | 297.00   | 0.00                 | 21.00                | ok                       | 149.10               | 360.00               | ok                       |
|                       | Filo parete LP e setti longitudinali - celle file LP | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 26.00    | 163.00   | 5.77                 | 21.00                | ok                       | 250.40               | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata celle file LP                                | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 24.00    | 163.00   | 5.33                 | 21.00                | ok                       | 238.30               | 360.00               | ok                       |
| Direzione Verticale   | Filo solettone celle file LM                         | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | 17.00    | <0       | 1.69                 | 21.00                | ok                       | 66.90                | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | -12.00   | <0       | 1.19                 | 21.00                | ok                       | 47.22                | 360.00               | ok                       |
|                       | Filo solettone celle file LP                         | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 16.00    | <0       | 3.78                 | 21.00                | ok                       | 124.50               | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata celle file LP                                | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -9.00    | <0       | 2.13                 | 21.00                | ok                       | 70.03                | 360.00               | ok                       |

Tabella 77 – Setti trasversali – Verifiche allo SLE

Viene verificato lo stato limite di formazione delle fessure, così come previsto nelle NTC2008 (§4.1.2.2.4.1), considerando la sezione non fessurata (I stadio, a differenza della sezione



parzializzata che viene definita al II stadio) e specificando la verifica per sollecitazioni derivanti da flessione, verificando pertanto che la tensione al lembo teso del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}/1,2$ .

A favore di sicurezza, non si tiene conto della compressione e la combinazione utilizzata per la verifica è quella RARA, anziché quella FREQUENTE.

| SLE - Comb. RARA      |                                | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | $M_{ED}$ | $N_{ED}$ | $\sigma_c$           | $0,60 f_{ck}$        | $\sigma_c < 0,60 f_{ck}$ | $\sigma_s$           | $0,8 f_{yk}$         | $\sigma_s < 0,80 f_{ck}$ |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                       |                                |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° |          |          |                      |                      |                          |                      |                      |                          |
|                       |                                | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]    | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        |
| Direzione Orizzontale | Filo pareti trasversali        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 12.00    | 271.00   | 0.00                 | 21.00                | ok                       | 122.60               | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -8.00    | 188.00   | 0.00                 | 21.00                | ok                       | 84.08                | 360.00               | ok                       |
| Direzione Verticale   | Sommità filo setti trasversali | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 46.00    | <0       | 3.74                 | 21.00                | ok                       | 119.00               | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -5.00    | <0       | 0.41                 | 21.00                | ok                       | 12.94                | 360.00               | ok                       |

Tabella 78 – Setto longitudinale LM – Verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

| SLE - Comb. RARA      |                                | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | $M_{ED}$ | $N_{ED}$ | $\sigma_c$           | $0,60 f_{ck}$        | $\sigma_c < 0,60 f_{ck}$ | $\sigma_s$           | $0,8 f_{yk}$         | $\sigma_s < 0,80 f_{ck}$ |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                       |                                |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° |          |          |                      |                      |                          |                      |                      |                          |
|                       |                                | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]    | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        |
| Direzione Orizzontale | Filo pareti trasversali        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 24.00    | 153.00   | 1.68                 | 21.00                | ok                       | 114.60               | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -19.00   | 149.00   | 1.23                 | 21.00                | ok                       | 100.50               | 360.00               | ok                       |
| Direzione Verticale   | Sommità filo setti trasversali | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | 12.00    | <0       | 1.19                 | 21.00                | ok                       | 47.22                | 360.00               | ok                       |
|                       | Campata                        | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | -10.00   | <0       | 0.99                 | 21.00                | ok                       | 39.35                | 360.00               | ok                       |

Tabella 79 – Setto longitudinale intermedio – Verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

| SLE - Comb. RARA      |                         | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | $M_{ED}$ | $N_{ED}$ | $\sigma_c$           | $0,60 f_{ck}$        | $\sigma_c < 0,60 f_{ck}$ | $\sigma_s$           | $0,8 f_{yk}$         | $\sigma_s < 0,80 f_{ck}$ |
|-----------------------|-------------------------|------|------|---------------|----|----------------|----|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
|                       |                         |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° |          |          |                      |                      |                          |                      |                      |                          |
|                       |                         | [m]  | [m]  |               |    |                |    | [kNm]    | [kN]     | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                        |
| Direzione Orizzontale | Filo pareti trasversali | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 5.00     | 80.00    | 1.22                 | 21.00                | ok                       | 98.77                | 360.00               | ok                       |
|                       | Filo setti trasversali  | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 4.00     | <0       | 1.18                 | 21.00                | ok                       | 38.91                | 360.00               | ok                       |
| Direzione Verticale   | Campata                 | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -4.00    | <0       | 1.18                 | 21.00                | ok                       | 38.91                | 360.00               | ok                       |

Tabella 80 – Setto longitudinale LP – Verifiche allo stato limite di formazione delle fessure

| SLE - Comb. FREQUENTE |  | B    | H    | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |    | Tensioni I stadio |          |                    |               |                                  |
|-----------------------|--|------|------|---------------|----|----------------|----|-------------------|----------|--------------------|---------------|----------------------------------|
|                       |  |      |      | 1°            | 2° | 1°             | 2° | $M_{ED}$          | $N_{ED}$ | $\sigma_{c, traz}$ | $f_{ctm}/1,2$ | $\sigma_{c, traz} < f_{ctm}/1,2$ |
|                       |  | [m]  | [m]  |               |    |                |    |                   |          |                    |               |                                  |
| Direzione Orizzontale | Campata celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | 23.00             | 297.00   | 1.73               | 3.35          | ok                               |
|                       | Sommità celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -  | -18.00            | 297.00   | 1.52               | 3.35          | ok                               |
|                       | Filo parete LP e setti longitudinali - celle file LP | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 26.00             | 163.00   | 2.91               | 3.35          | ok                               |
|                       | Campata celle file LP                                | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 24.00             | 163.00   | 2.74               | 3.35          | ok                               |
| Direzione Verticale   | Filo solettone celle file LM                         | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | 17.00             | <0       | 0.76               | 3.35          | ok                               |
|                       | Campata celle file LM                                | 1.00 | 0.35 | 5Φ16          | -  | 5Φ16           | -  | -12.00            | <0       | 0.54               | 3.35          | ok                               |
|                       | Filo solettone celle file LP                         | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | 16.00             | <0       | 1.46               | 3.35          | ok                               |
|                       | Campata celle file LP                                | 1.00 | 0.25 | 5Φ14          | -  | 5Φ14           | -  | -9.00             | <0       | 0.82               | 3.35          | ok                               |

Tabella 81 – Setti trasversali – Verifiche allo stato limite di formazione delle fessure



### 7.3.2.6 Sovrastruttura

#### 7.3.2.6.1 Verifiche allo SLU

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.

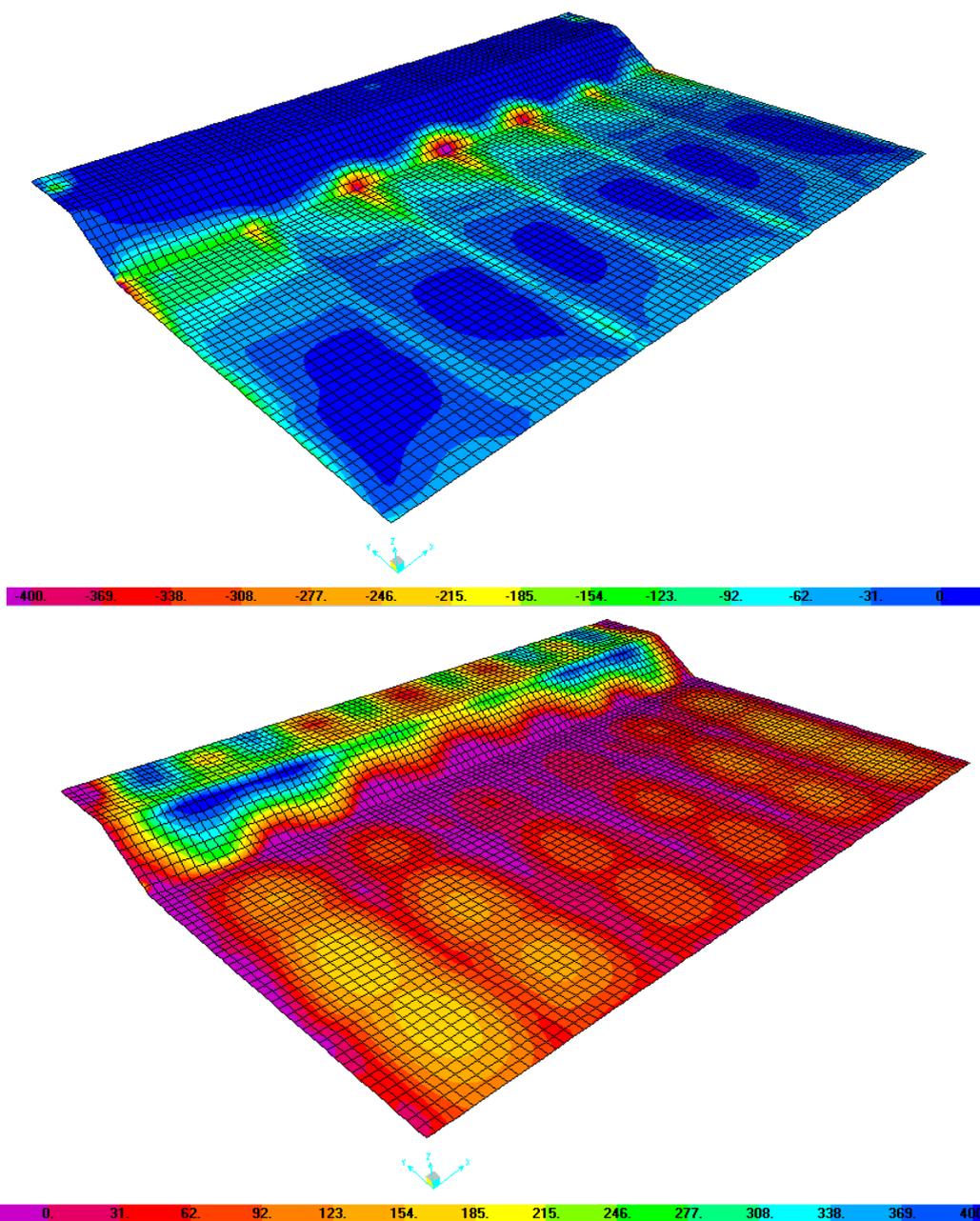


Figura 164 – Sovrastruttura. Involuppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

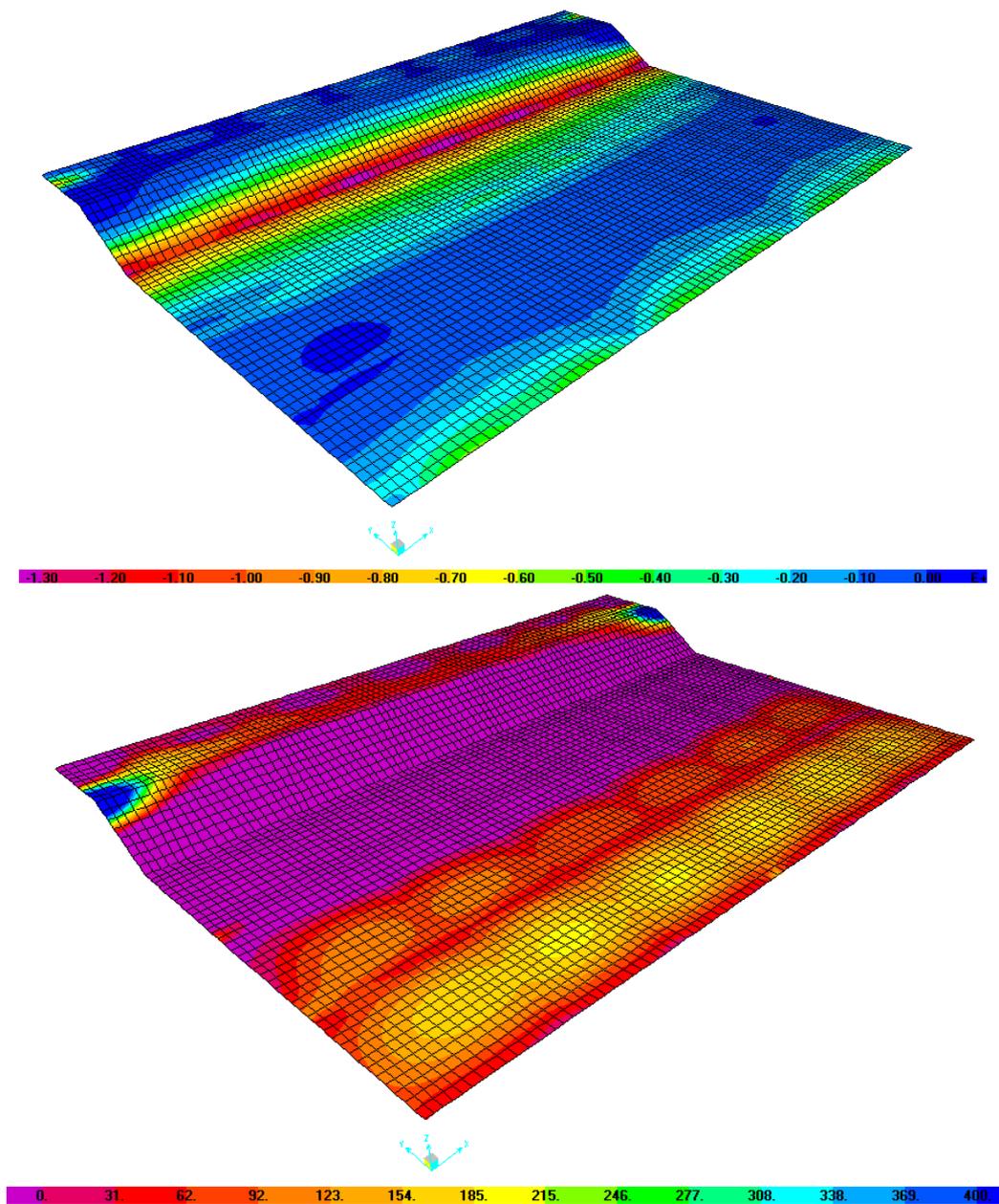


Figura 165 – Sovrastruttura. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

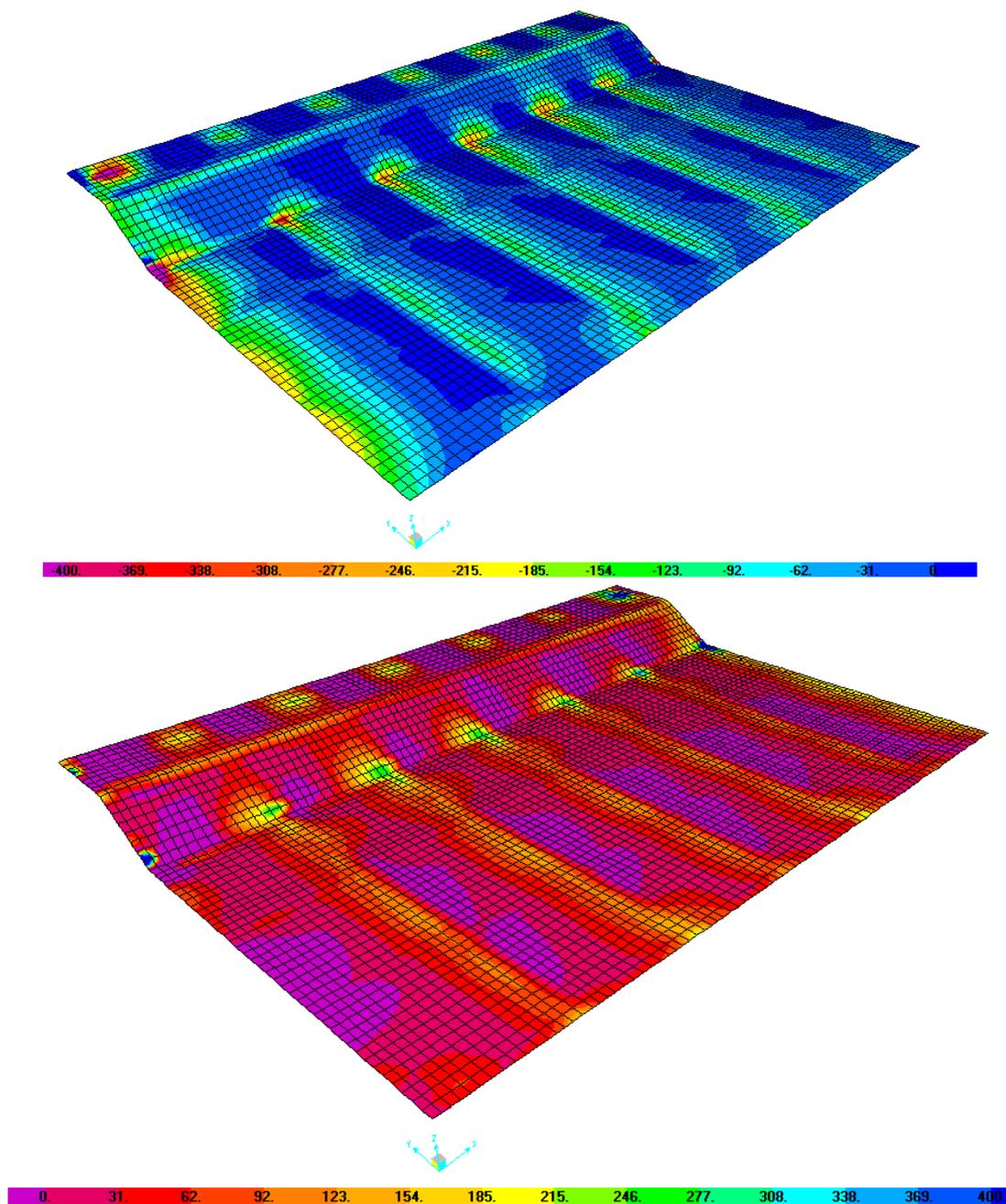


Figura 166 – Sovrastruttura. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V13 min (sopra) e V13 max (sotto) [kN/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

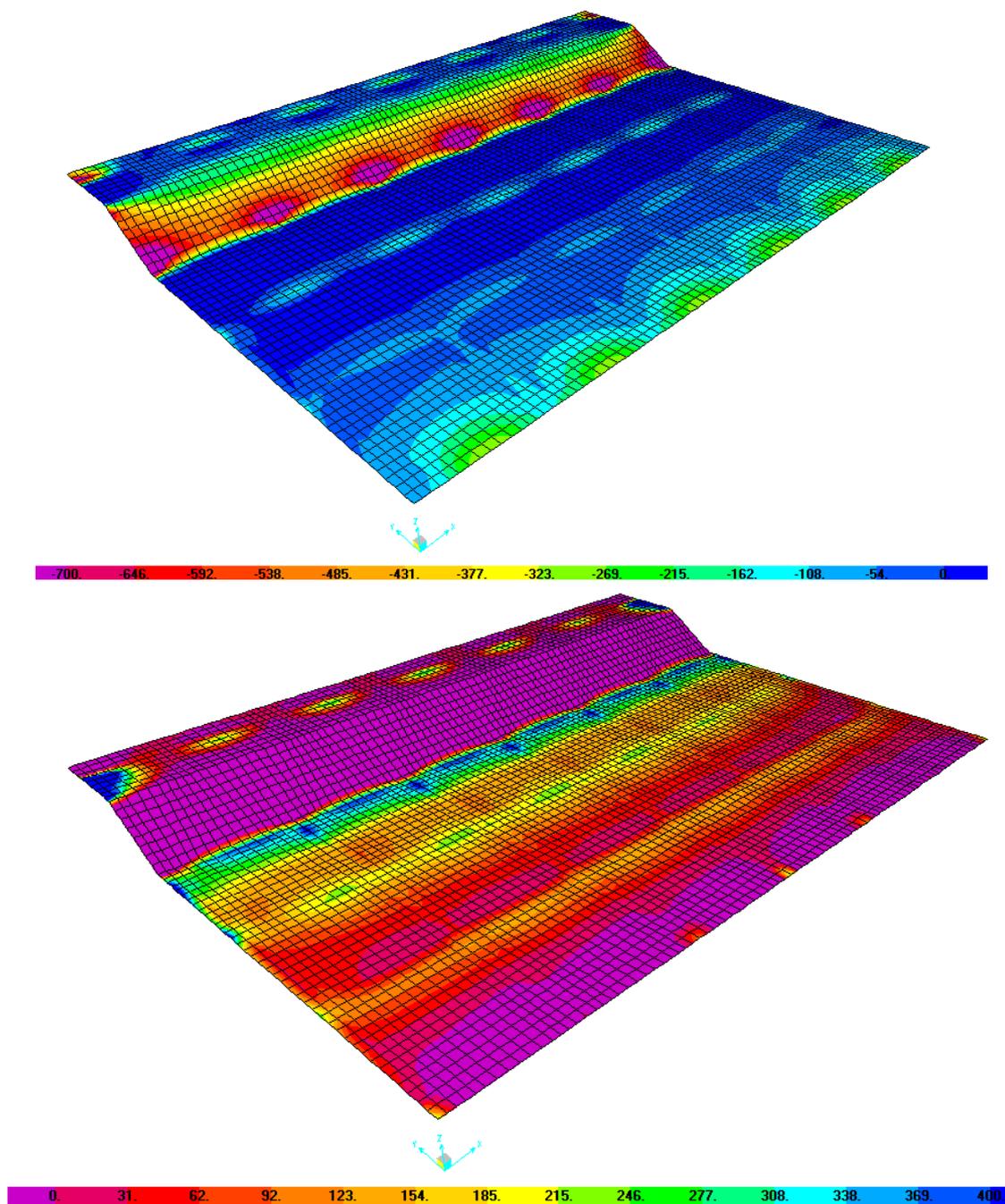


Figura 167 – Sovrastruttura. Inviluppo combinazioni ECC/SLU/SLV – V23 min (sopra) e V23 max (sotto) [kN/m].



### 7.3.2.6.1.1 Verifiche a flessione (SLU)

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.

A favore di sicurezza è stato trascurato il contributo delle di tutte le predalle.

| ECC - SLU - STR/SLV        |  |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |      | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|----------------------------|--|---------------------|----------|----------|---------------|----|----------------|------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                            |  |                     |          |          | 1°            | 2° | 1°             | 2°   |                          |                          |                                  |
| Direzione<br>Longitudinale | Sbalzo - campata tra setti   | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 386                      | 448                      | 1.16                             |
|                            | Sbalzo - filo parete trasversale   | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -196                     | -448                     | 2.29                             |
|                            | Sbalzo spessore variabile - campata tra i setti (valore mediato su 50 cm)            | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 402                      | -448                     | 1.11                             |
|                            | Soletta - Campata  | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 173                      | 902                      | 5.21                             |
|                            | Soletta - Filo sbalzo e setti  | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -401                     | -902                     | 2.25                             |
| Direzione<br>Trasversale   | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante (valore mediato su 50 cm) campate esterne | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ24          | -  | 5Φ24           | 5Φ20 | 636                      | 966                      | 1.52                             |
|                            | Sbalzo - filo parete trasversale campate esterne                                     | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ24          | -  | 5Φ24           | 5Φ20 | -515                     | -628                     | 1.22                             |
|                            | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 92                       | 448                      | 4.87                             |
|                            | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -128                     | -448                     | 3.50                             |
|                            | Soletta - Campata  | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 178                      | 998                      | 5.61                             |
|                            | Soletta - Filo parete LP   | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -534                     | -998                     | 1.87                             |

Tabella 82 – Sovrastruttura – verifiche a flessione – combinazioni ECC/SLU/SLV

### 7.3.2.6.1.2 Verifiche a taglio (SLU)

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza.

A favore di sicurezza è stato trascurato il contributo delle predalle.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

| ECC - SLU - STR/SLV        |  |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDdis</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>Ed</sub><br>- |
|----------------------------|--|---------------------|----------|----------|----------|----|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
|                            |  |                     |          |          | 1°       | 2° |                         |            |                            |                          |                          |                         |                                       |
| Direzione<br>Longitudinale | Sbalzo - campate esterne - filo parete trasversale                           | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20     | -  | 594                     | Φ10/20x20  | 291                        | 1244                     | 2365                     | 1244                    | 2.09                                  |
|                            | Sbalzo - campate esterne - 2 m da filo parete trasversale                    | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20     | -  | 210                     | -          | 291                        | -                        | -                        | 291                     | 1.39                                  |
|                            | Sbalzo - campate interne - filo setti  | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20     | -  | 209                     | -          | 291                        | -                        | -                        | 291                     | 1.39                                  |
|                            | Soletta - campate esterne - filo parete trasversale                          | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20     | -  | 341                     | -          | 544                        | -                        | -                        | 544                     | 1.60                                  |
|                            | Soletta - campate interne - filo setti                                       | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20     | -  | 210                     | -          | 544                        | -                        | -                        | 544                     | 2.59                                  |
| Direzione<br>Trasversale   | Sbalzo - campate esterne - filo parete trasversale (valore mediato su 40 cm) | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20     | -  | 753                     | Φ10/20x20  | 291                        | 1244                     | 2365                     | 1244                    | 1.65                                  |
|                            | Sbalzo - campate esterne 2 m da filo parete trasversale e campate interne    | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.80     | 5Φ20     | -  | 215                     | -          | 291                        | -                        | -                        | 291                     | 1.35                                  |
|                            | Soletta - filo setti e parete lato porto                                     | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 1.70     | 5Φ20     | -  | 398                     | -          | 544                        | -                        | -                        | 544                     | 1.37                                  |

Tabella 83 – Sovrastruttura – verifiche a taglio – combinazioni ECC/SLU/SLV

### 7.3.2.6.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati dell'analisi numerica inerenti lo stato limite di esercizio.

Convenzione sui segni delle SOLLECITAZIONI: il momento positivo tende le armature interne rispetto al cassone.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

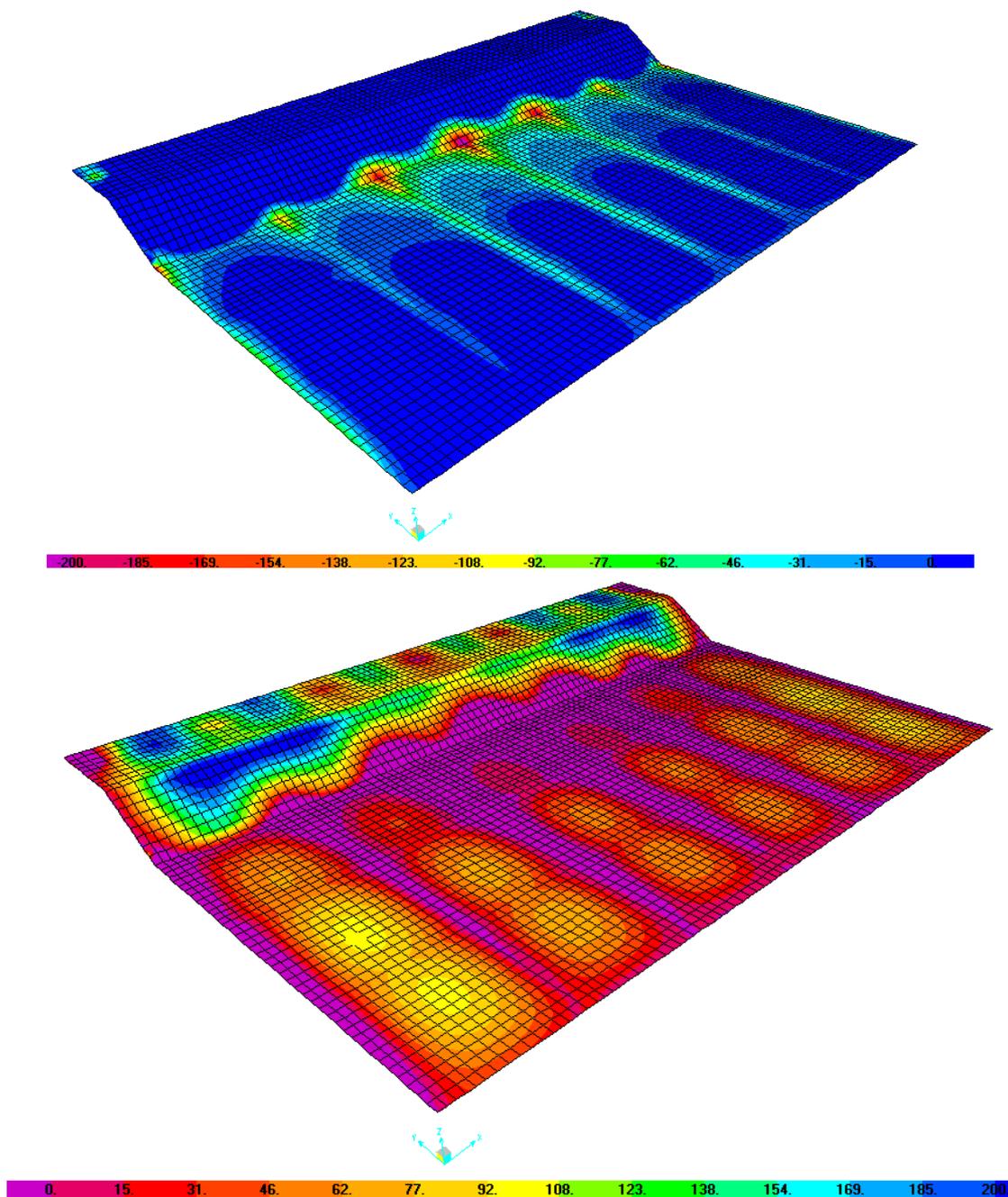


Figura 168 – Sovrastruttura. Involuppo comb. RARA (SLE) – M11 min (sopra) e M11 max (sotto) [kNm/m].



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

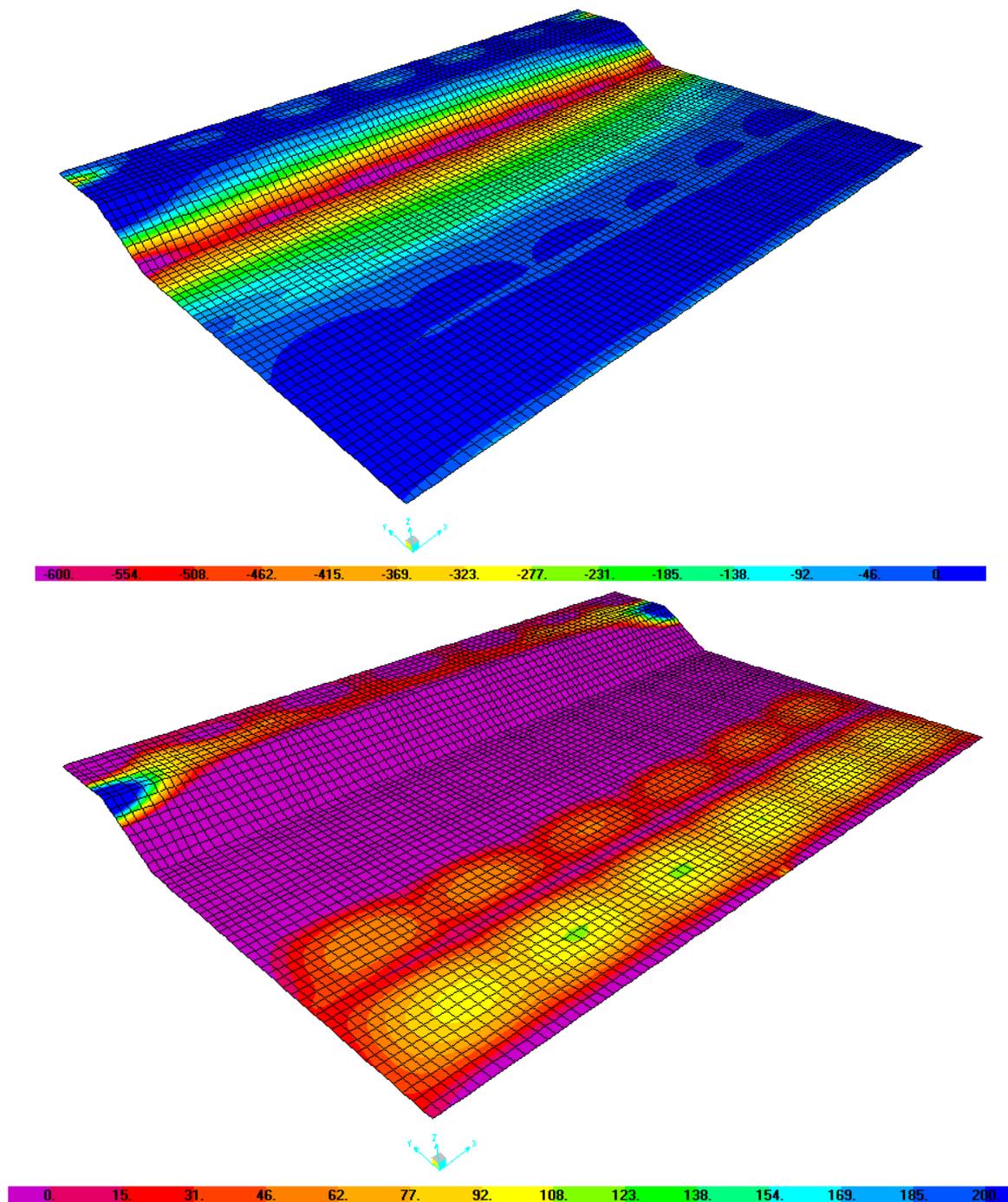


Figura 169 – Sovrastruttura. Involuppo comb. RARA (SLE) – M22 min (sopra) e M22 max (sotto) [kNm/m].



7.3.2.6.2.1 Verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione (SLE)

Nelle tabelle seguenti sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti per le combinazioni di carico analizzate e le verifiche delle tensioni di esercizio nei materiali ed allo stato limite di apertura delle fessure con la combinazione RARA.

A favore di sicurezza è stato trascurato il contributo delle predalle.

| SLE                        |  | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |    | Arm. Inferiore |      | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | σ <sub>c</sub><br>[N/mm <sup>2</sup> ] | 0,60 f <sub>ck</sub><br>[N/mm <sup>2</sup> ] | σ <sub>c</sub> < 0,60<br>f <sub>ck</sub> | σ <sub>s</sub><br>[N/mm <sup>2</sup> ] | 0,8 f <sub>yk</sub><br>[N/mm <sup>2</sup> ] | σ <sub>s</sub> < 0,80<br>f <sub>ck</sub> |
|----------------------------|--|----------|----------|---------------|----|----------------|------|--------------------------|--|--|--|--|---|--|
|                            |  |          |          | 1°            | 2° | 1°             | 2°   |                          |  |  |  |  |   |  |
|                            |  |          |          |               |    |                |      |                          |  |  |  |  |   |  |
| Direzione<br>Longitudinale | Sbalzo - campata tra i setti   | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 204                      | 3.39                                   | 21.00  | ok                                       | 192.00                                 | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Sbalzo - filo parete trasversale   | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -102                     | 1.69                                   | 21.00  | ok                                       | 96.00                                  | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Sbalzo spessore variabile - campata tra i setti                                      | 1.00     | 0.90     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 234                      | 3.17                                   | 21.00  | ok                                       | 192.70                                 | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Soletta - Campata  | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 99                       | 0.47                                   | 21.00  | ok                                       | 40.62                                  | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Soletta - Filo sbalzo e setti  | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -243                     | 1.15                                   | 21.00  | ok                                       | 99.70                                  | 360.00                                      | ok                                       |
| Direzione<br>Trasversale   | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante (valore mediato su 50 cm) campate esterne | 1.00     | 0.80     | 5Φ24          | -  | 5Φ24           | 5Φ20 | 364                      | 4.46                                   | 21.00  | ok                                       | 161.10                                 | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Sbalzo - filo parete trasversale campate esterne                                     | 1.00     | 0.80     | 5Φ24          | -  | 5Φ24           | 5Φ20 | -391                     | 5.35                                   | 21.00  | ok                                       | 258.90                                 | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 65                       | 1.08                                   | 21.00  | ok                                       | 61.17                                  | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | 1.00     | 0.80     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | -98                      | 1.63                                   | 21.00  | ok                                       | 92.23                                  | 360.00                                      | ok                                       |
|                            | Soletta - Campata  | 1.00     | 1.70     | 5Φ20          | -  | 5Φ20           | -    | 110                      | 1.83                                   | 21.00  | ok                                       | 103.52                                 | 360.00                                      | ok                                       |

Tabella 84 – Sovrastruttura – verifiche allo SLE

Viene verificato lo stato limite di formazione delle fessure, così come previsto nelle NTC2008 (§4.1.2.2.4.1), considerando la sezione non fessurata (I stadio, a differenza della sezione parzializzata che viene definita al II stadio) e specificando la verifica per sollecitazioni derivanti da flessione, verificando pertanto che la tensione al lembo teso del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}/1,2$ . A favore di sicurezza, la verifica viene effettuata per la combinazione rara, anziché per la combinazione frequente.

A favore di sicurezza, la combinazione utilizzata per la verifica è quella RARA, anziché quella FREQUENTE.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

| SLE                     |  | B    | H    | Arm. superiore |             | Arm. Inferiore |             | Tensioni I stadio |                           |                      |   |
|-------------------------|--|------|------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------------|---------------------------|----------------------|---|
|                         |  |      |      | 1°             | 2°          | 1°             | 2°          | M <sub>ED</sub>   | $\sigma_{c, \text{traz}}$ | $f_{cfm}/1.2$        | $\sigma_{c, \text{traz}} < f_{cfm}/1.2$ |
|                         |  | [m]  | [m]  |                |             |                |             | [kNm]             | [N/mm <sup>2</sup> ]      | [N/mm <sup>2</sup> ] | -                                       |
| Direzione Longitudinale | Sbalzo - campata tra i setti   | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | 204               | 1.71                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Sbalzo - filo parete trasversale   | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | -102              | 0.85                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Sbalzo spessore variabile - campata tra i setti                                      | 1.00 | 0.90 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | 234               | 1.56                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Solettone - Campata  | 1.00 | 1.70 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | 99                | 0.19                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Solettone - Filo sbalzo e setti  | 1.00 | 1.70 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | -243              | 0.47                      | 3.35                 | ok                                      |
| Direzione Trasversale   | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante (valore mediato su 50 cm) campate esterne | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 24    | -           | 5 $\phi$ 24    | 5 $\phi$ 20 | 364               | 2.78                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Sbalzo - filo parete trasversale campate esterne                                     | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 24    | -           | 5 $\phi$ 24    | 5 $\phi$ 20 | -391              | 3.09                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | 65                | 0.54                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Sbalzo - inizio tratto a spessore costante campate interne                           | 1.00 | 0.80 | 5 $\phi$ 20    | -           | 5 $\phi$ 20    | -           | -98               | 0.82                      | 3.35                 | ok                                      |
|                         | Solettone - Campata  | 1.00 | 1.70 | 5 $\phi$ 24    | 5 $\phi$ 20 | 5 $\phi$ 20    | -           | 110               | 0.92                      | 3.35                 | ok                                      |

Tabella 85 – Pareti trasversali – verifiche allo stato limite di formazione delle fessure



### 7.3.3 Verifica dei ferri di cucitura del cassone

#### 7.3.3.1 Verifica per Cresta d'Onda

La spinta prodotta dal moto ondoso in fase di cresta sul muro paraonde, solidale alla sovrastruttura, viene trasferita al cassone sottostante attraverso i ferri di attesa.

Per la verifica dei ferri di collegamento è stato fatto riferimento allo schema riportato in *Figura 170*.

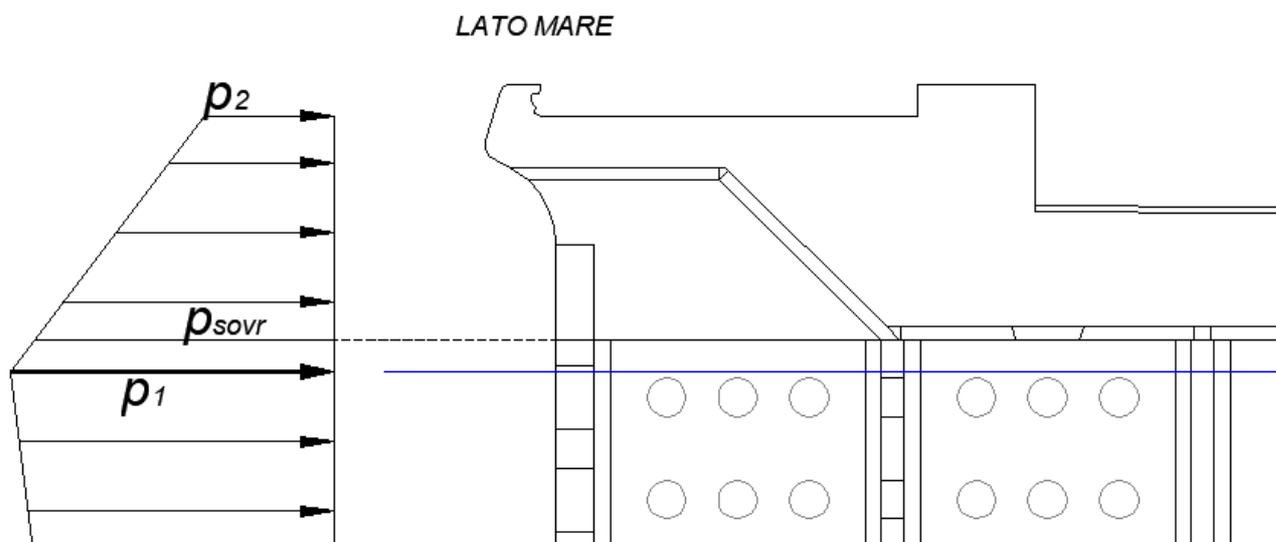


Figura 170 – Sovrastruttura. Schema di carico moto ondoso in fase di cresta.

Sono state considerate le due combinazioni di carico

- ECC Cresta d'Onda  $Tr = 100$  anni;
- SLU Cresta d'Onda  $Tr = 25$  anni.

Nella *Tabella 1* sono riportate le spinte di Cresta d'Onda sulla sovrastruttura del cassone per le due combinazioni.



| COMBINAZIONE DI CARICO  |                   |                 | ECC<br>(Tr = 100<br>anni) | SLU<br>(Tr = 25<br>anni) |
|---|-------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| Quota sommità muro paraonde   | quota             | m s.l.i.r.      | 4.50                      | 4.50                     |
| Quota sommità sovrastruttura  | quota             | m s.l.i.r.      | 2.60                      | 2.60                     |
| Quota intradosso sovrastruttura                                     | quota             | m s.l.i.r.      | 0.50                      | 0.50                     |
| Quota dove si annulla la pressione                                  | quota             | m s.l.i.r.      | -                         | 11.43                    |
| Pressione in sommità dell'opera                                     | $p_2$             | $\text{kN/m}^2$ | 54.60                     | 40.43                    |
| Pressione in corrispondenza del l.m.m.                              | $p_1$             | $\text{kN/m}^2$ | 82.48                     | 66.69                    |
| Pressione all'intradosso della sovrastruttura                       | $p_{\text{sovr}}$ | $\text{kN/m}^2$ | 79.38                     | 63.77                    |
| Lunghezza cassone   | $L_{\text{cass}}$ | m               | 29.51                     | 29.51                    |
| Spinta cresta d'onda su sovrastruttura/muro paraonde caratteristica | $S_k$             | kN              | 7907.38                   | 6150.00                  |
| Coefficiente parziale per azione di cresta d'onda                   | $\gamma_q$        | -               | 1.00                      | 1.50                     |
| Spinta di cresta d'onda su sovrastruttura/muro paraonde di calcolo  | $S_d$             | kN              | 7907.38                   | 9225.01                  |

Tabella 86 – Sovrastruttura. Spinta in fase di Cresta.

Il trasferimento delle azioni al cassone è affidato a n. 498 $\Phi$ 16 disposti lungo le pareti ed i setti del cassone. A vantaggio di sicurezza è stata quindi trascurata la resistenza allo scorrimento per l'attrito all'interfaccia sovrastruttura-cassone e inoltre non si tiene conto dei ferri di cucitura presenti sulle pareti e sui setti delle celle lato mare (cioè della parete long LM, del primo setto long LM e dei setti trasversali di spessore pari a 0,35 m).

Nella Tabella 87 sono riportate le verifiche dei ferri di cucitura per le due combinazioni.

| COMBINAZIONE DI CARICO                 |                          | ECC<br>(Tr = 100<br>anni) | SLU<br>(Tr = 25<br>anni) |               |
|--|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| Diametro barre                         | $\phi$                   | 16                        | 16                       | mm            |
| Numero barre                           | $n_{\text{barre}}$       | 498                       | 498                      |               |
| Area complessiva barre                 | $A_{\text{barre}}$       | 100129                    | 100129                   | $\text{mm}^2$ |
| Tensione tangenziale                   | $\tau$                   | 79                        | 92                       | MPa           |
| Tensione ideale                        | $\sigma_{\text{ideale}}$ | 137                       | 160                      | MPa           |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk}$                 | 450                       | 450                      | MPa           |
| Coefficiente parziale                  | $\gamma_c$               | 1.00                      | 1.50                     |               |
| Tensione ideale limite                 | $f_{yd}$                 | 450                       | 300                      | MPa           |
| Coefficiente di sicurezza              |                          | 3.29                      | 1.88                     |               |

Tabella 87 – Sovrastruttura. Verifica dei ferri di cucitura per Cresta d'Onda

Le verifiche sono soddisfatte.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

### 7.3.3.2 Verifica per Urto Eccezionale

Nella *Tabella 88* si riporta la determinazione dell'aliquota d'azione d'Urto che agisce sulla sovrastruttura.

|   |       |                   |
|---|-------|-------------------|
| Larghezza massima di ripartizione dell'urto           | 10.00 | m                 |
| Larghezza dell'elemento strutturale                   | 29.51 | m                 |
| Larghezza effettiva di ripartizione dell'urto         | 10.00 | m                 |
| Altezza massima di ripartizione dell'urto             | 5.00  | m                 |
| Altezza della sovrastruttura                          | 2.00  | m                 |
| Area della sovrastruttura su cui insiste l'urto       | 20.00 | m <sup>2</sup>    |
| Altezza della parte del cassone su cui insiste l'urto | 3.00  | m                 |
| Numero di fori  | 0.00  |                   |
| Base singolo foro                                     | 0.00  | m                 |
| Altezza singolo foro                                  | 0.00  | m                 |
| Area di ripartizione dell'urto al netto dei fori      | 50.00 | m <sup>2</sup>    |
| Forza d'urto  | 10200 | kN                |
| Pressione media dovuta all'urto                       | 204   | kN/m <sup>2</sup> |
| Parte dell'urto assorbita dalla sovrastruttura        | 4080  | kN                |
| Parte dell'urto assorbita dal cassone                 | 6120  | kN                |

*Tabella 88 – Sovrastruttura. Urto su sovrastruttura*

Nella *Tabella 89* si riporta la verifica dei ferri di cucitura

|  |                   |        |                 |
|--|-------------------|--------|-----------------|
| Diametro barre                         | $\phi$            | 16     | mm              |
| Numero barre                           | $n_{barre}$       | 498    |                 |
| Area complessiva barre                 | $A_{barre}$       | 100129 | mm <sup>2</sup> |
| Tensione tangenziale                   | $\tau$            | 41     | MPa             |
| Tensione ideale                        | $\sigma_{ideale}$ | 71     | MPa             |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk}$          | 450    | MPa             |
| Coefficiente parziale                  | $\gamma_s$        | 1.00   |                 |
| Tensione ideale limite                 | $f_{yd}$          | 450    | MPa             |
| Coefficiente di sicurezza              |                   | 6.38   |                 |

*Tabella 89 – Sovrastruttura. Verifica dei ferri di cucitura per Urto Eccezionale*

La verifica è adeguatamente soddisfatta.



## 7.4 Cassone di testata

### 7.4.1 Solettone

Per il solettone, tenuto conto dell'esposizione della testa diga, rispetto alle azioni idrodinamiche della sezione di tronco (sezione composta) è stata considerata una sottospinta uniforme pari al valore  $p_4$  (determinato per la sezione composta) piuttosto che triangolare. Nella tabella *Tabella 90* sono riportate le tensioni efficaci verticali all'interfaccia scanno-cassone. I livelli tensionali non sono superiori a quelli della diga a parete verticale. Pertanto, adottando le stesse armature le verifiche si ritengono soddisfatte

| COMBINAZIONE          | N'         | R         | e    | B'    | $\sigma'_{max}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma'_{min}$ [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|------------|-----------|------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                       | [kN]       | [kN]      | [m]  | [m]   | [kN/m <sup>2</sup> ]                 | [kN/m <sup>2</sup> ]                 |
| Combinazione-1 (ECC)  | 101 631.46 | 35 966.19 | 3.71 | 23.00 | 294.67                               | 4.80                                 |
| Combinazione-2 (ECC)  | 160 937.60 | 16 871.07 | 0.09 | 23.00 | 242.87                               | 231.36                               |
| Combinazione-3a (STR) | 101 149.34 | 42 749.76 | 4.84 | 19.97 | 343.28                               | 0.00                                 |
| Combinazione-3b (STR) | 138 639.51 | 42 749.76 | 3.74 | 23.00 | 403.58                               | 4.94                                 |
| Combinazione-4a (STR) | 173 027.87 | 22 804.04 | 0.27 | 23.00 | 272.85                               | 237.01                               |
| Combinazione-4b (STR) | 210 518.04 | 22 804.04 | 0.09 | 23.00 | 317.06                               | 303.27                               |
| Combinazione-5 (SLV)  | 127 707.19 | 6 580.25  | 0.45 | 23.00 | 210.42                               | 165.89                               |
| Combinazione-6 (ECC)  | 130 597.74 | 10 200.00 | 0.11 | 23.00 | 197.90                               | 186.93                               |

Tabella 90 – Cassone n°16: Solettone – Reazioni del terreno

### 7.4.2 Parete trasversale di testata

La fila di celle terminale è interamente riempita con un getto di calcestruzzo, a contatto con la parete trasversale; pertanto quest'ultima, anche tenendo conto che essa è protetta dalla gettata soffoltasi ritiene verificata.

## 7.5 Verifica delle predalle

Le predalle LP hanno spessore di 20 cm, lunghezza massima di 4,61 m e larghezza massima di 4,59 m.

### 7.5.1 Determinazione delle sollecitazioni in fase di sollevamento

La predalla è stata modellata come piastra appoggiata in corrispondenza dei golfari, con carico dovuto al peso proprio amplificato del 30% per tenere conto degli effetti dinamici in fase di movimentazione, È stata scelta una mesh con passo 30cm. Il sistema di riferimento è baricentrico e ha l'asse x coincidente con la direzione di maggiore lunghezza.

Allo SLU il peso proprio viene amplificato moltiplicandolo per 1,3.

I momenti positivi tendono le fibre inferiori.

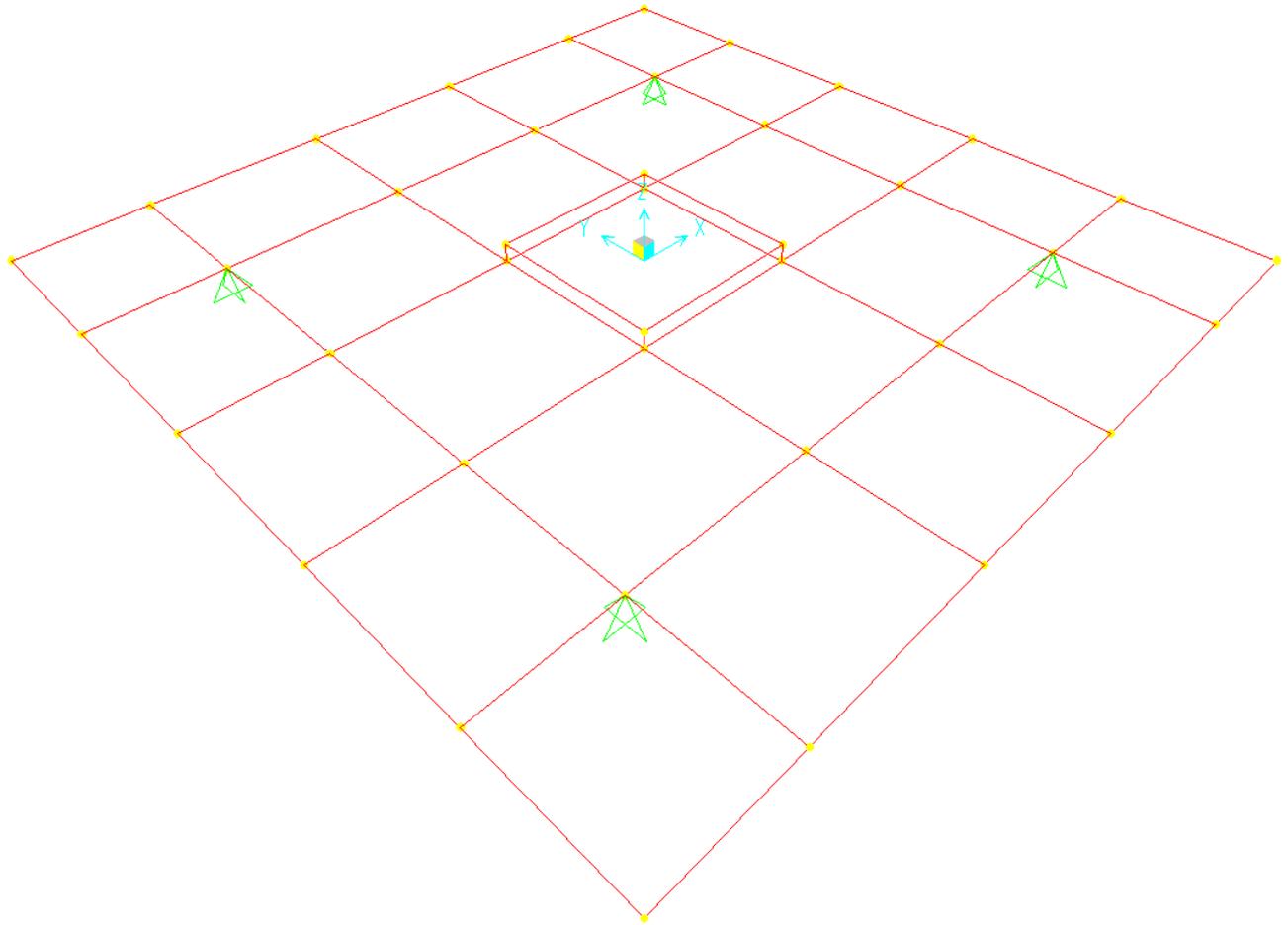


Figura 171 – Modello di calcolo della predalla in fase di sollevamento.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

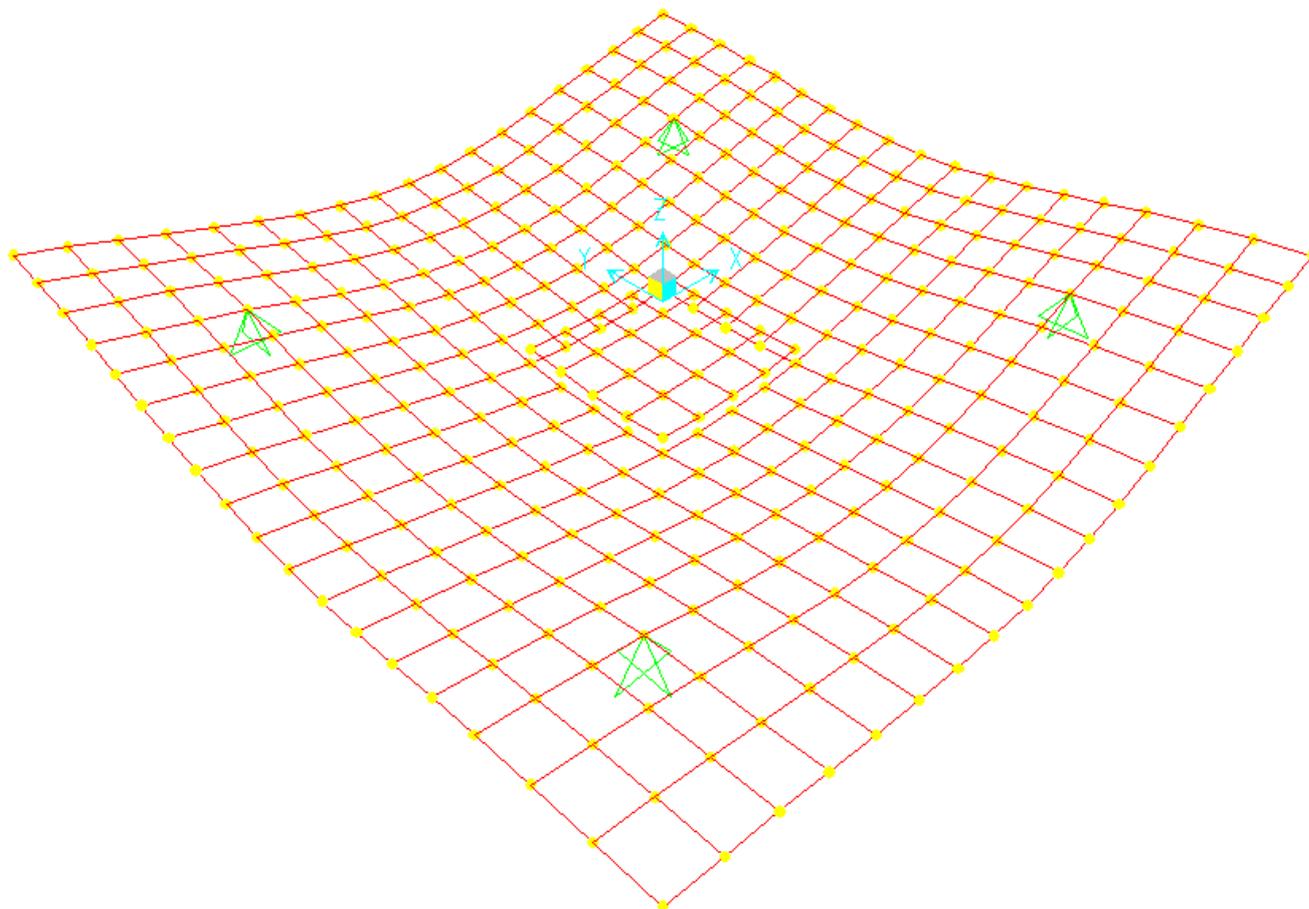


Figura 172 – Predalla in fase di sollevamento – deformata per peso proprio



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

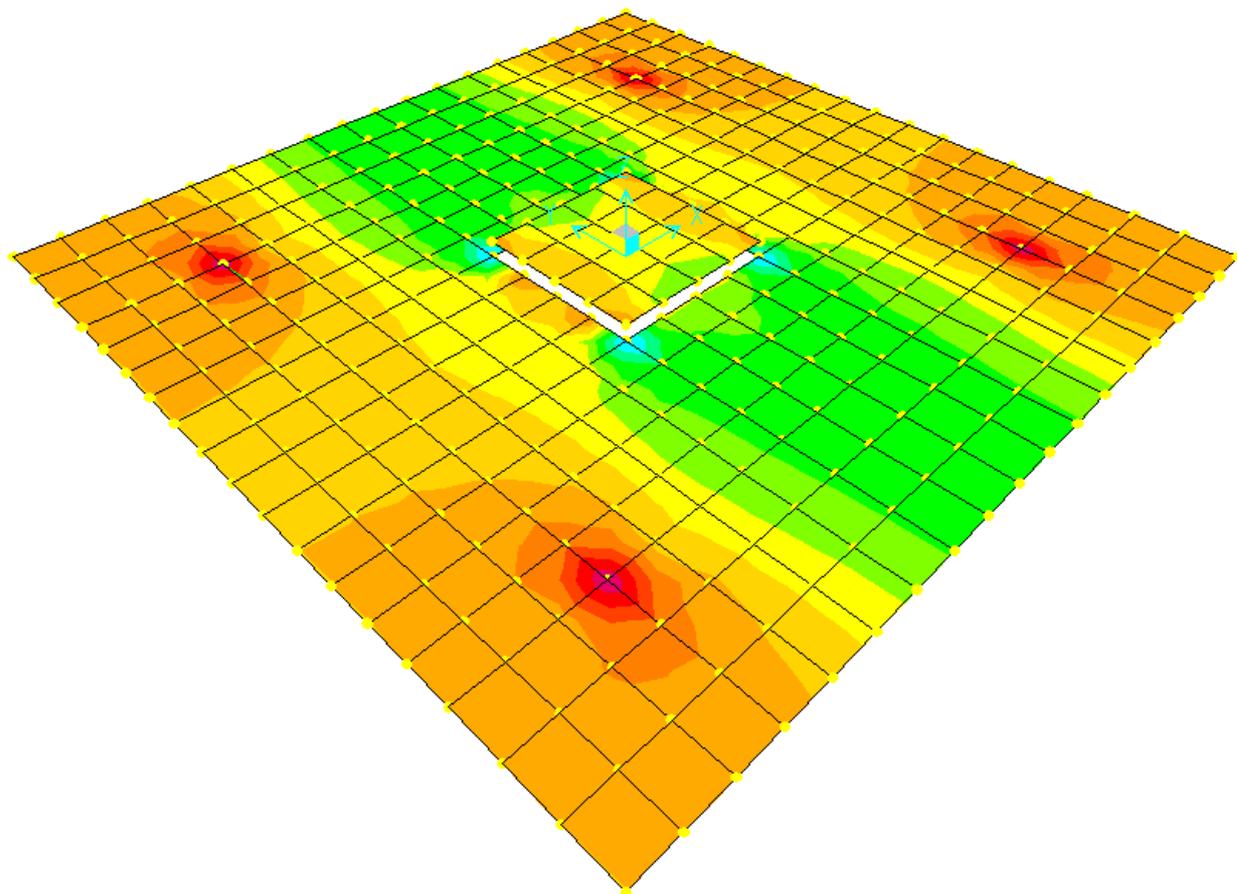


Figura 173 – Predalla in fase di sollevamento – diagramma M11 allo SLU [kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

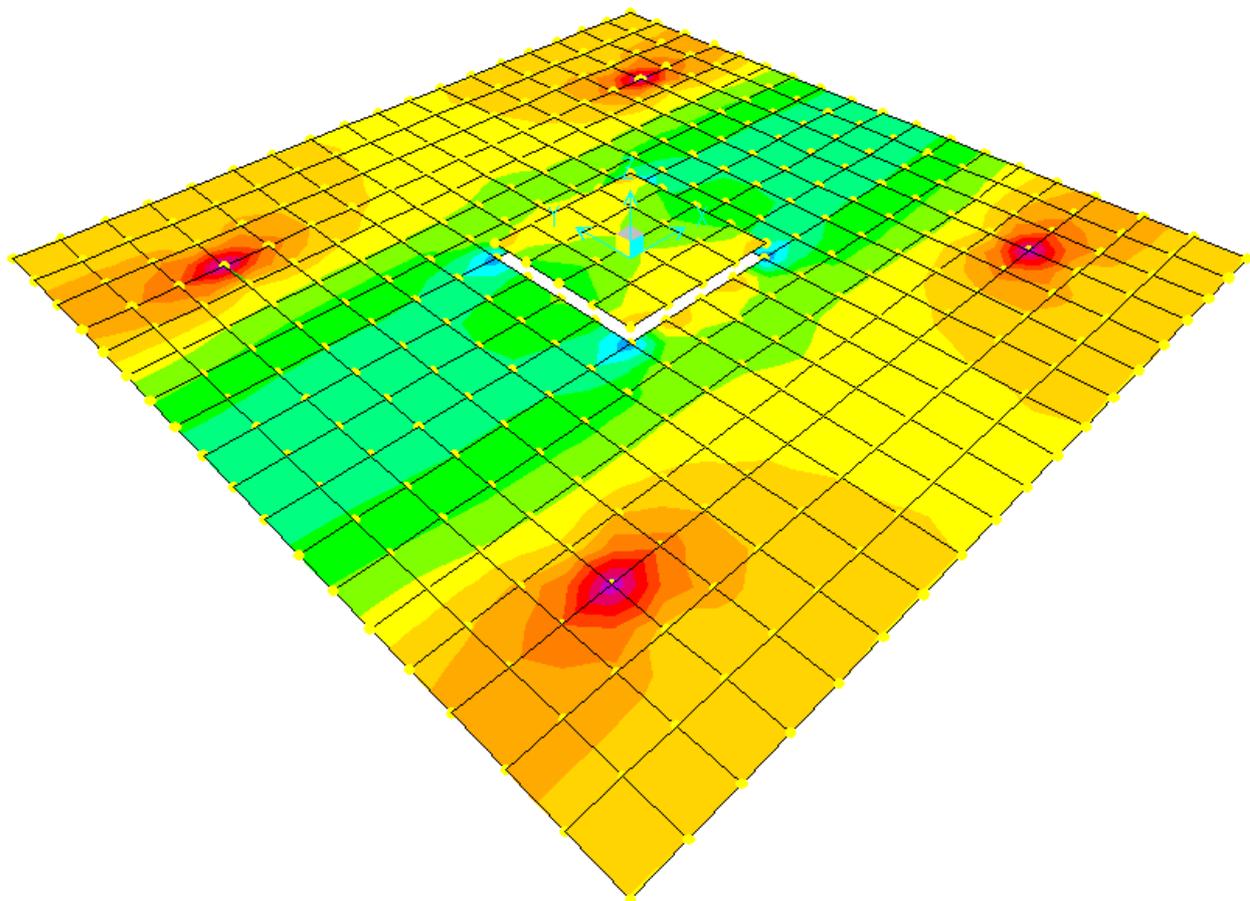


Figura 174 – Predalla in fase di sollevamento – diagramma M22 allo SLU[kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

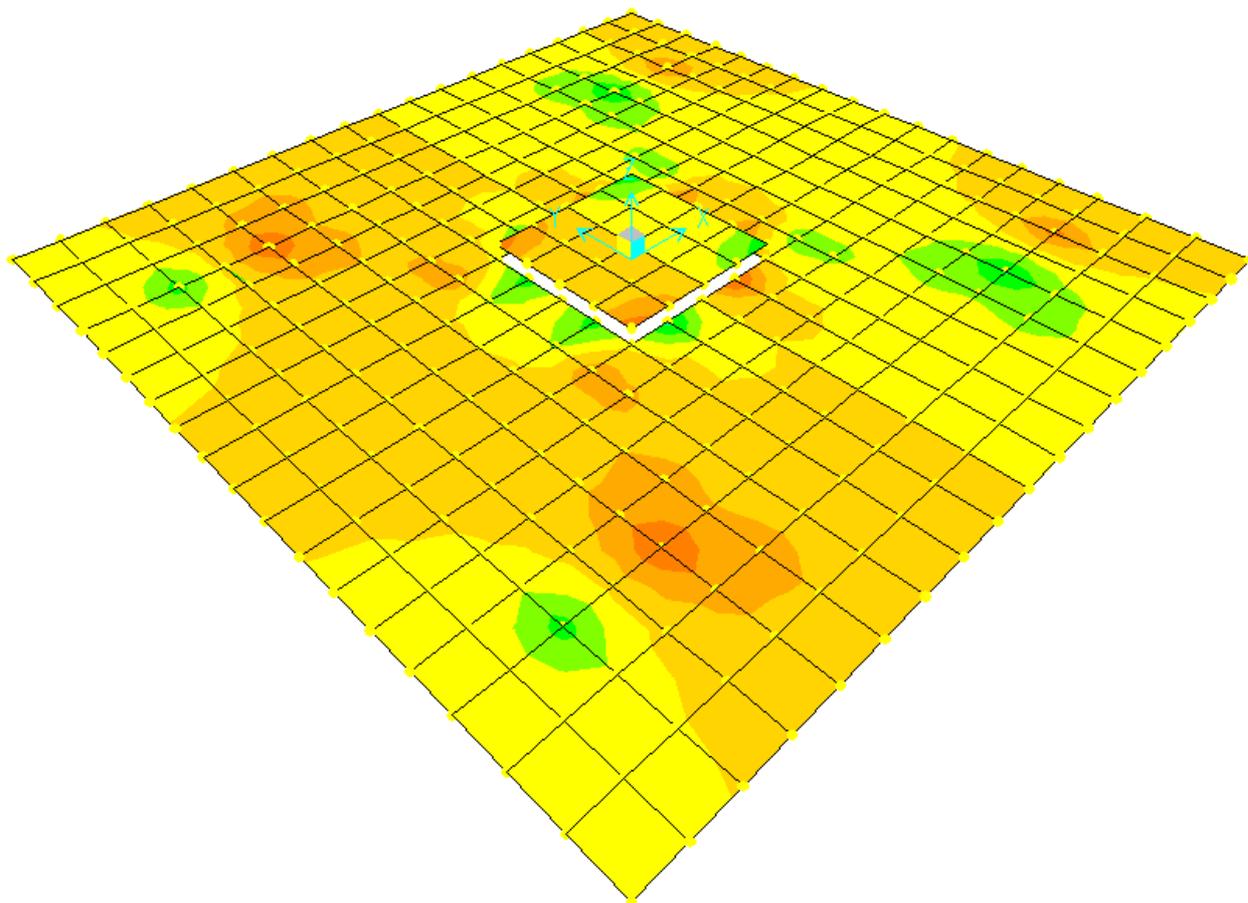


Figura 175 – Predalla in fase di sollevamento – diagramma V13 allo SLU [kN/m]

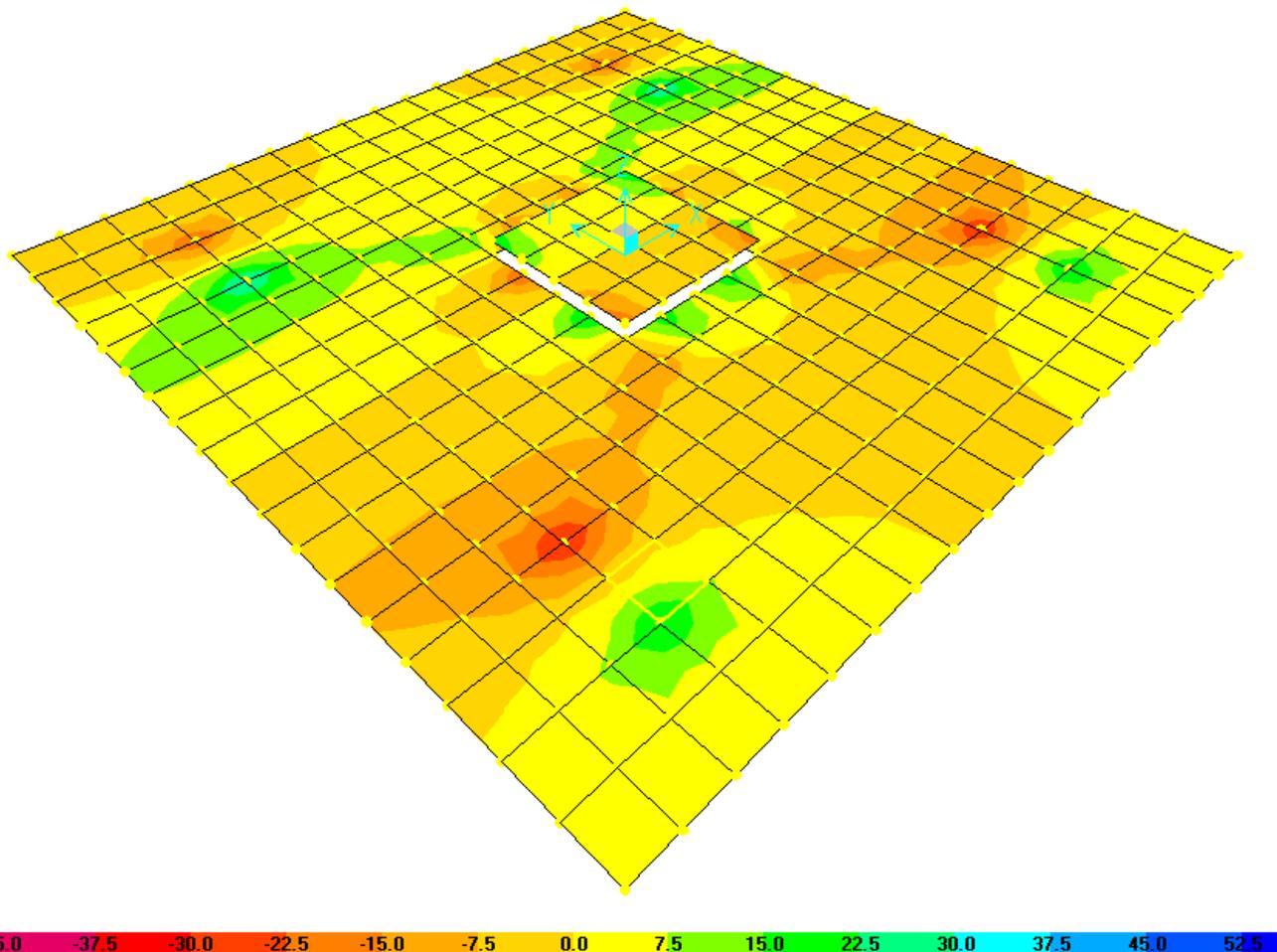


Figura 176 – Predalla in fase di sollevamento – diagramma V23 allo SLU [kN/m]

### 7.5.2 Determinazione delle sollecitazioni in fase di getto

La predalla è stata modellata come piastra appoggiata in corrispondenza dei bordi, con carico dovuto al peso proprio e al peso del getto, pari a  $42,5 \text{ kN/m}^2$ .

È stata scelta una mesh con passo 10cm. Il sistema di riferimento è baricentrico e ha l'asse x coincidente con la direzione di maggiore lunghezza.

È stata tenuta in conto la presenza del foro nella modellazione della piastra; i carichi trasmessi dal tappo sono stati modellati come carichi distribuiti sui bordi del foro.

Allo SLU i carichi vengono amplificati moltiplicandoli per il coefficiente parziale, pari a 1,3.

I momenti positivi tendono le fibre inferiori.

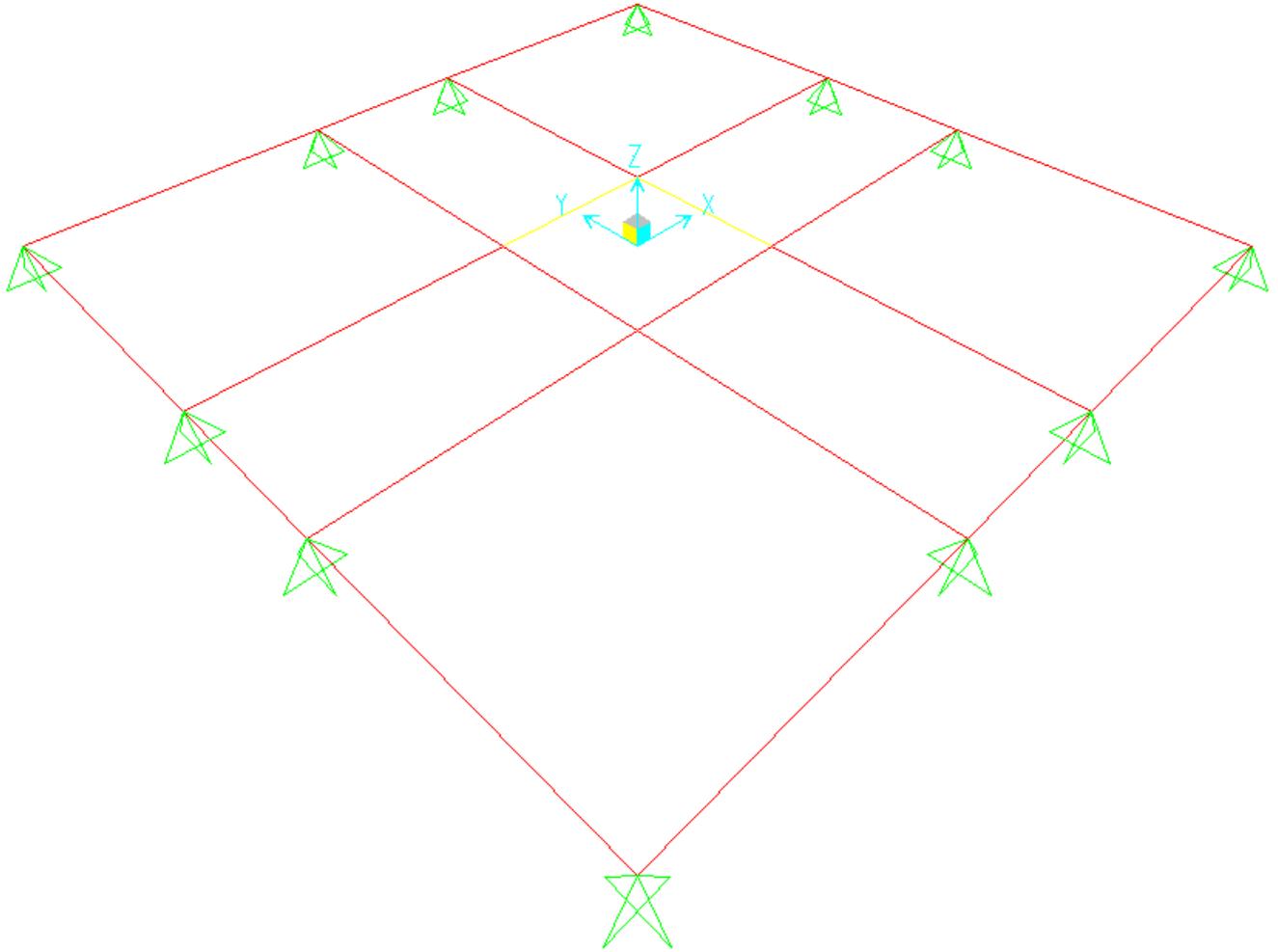


Figura 177 – Modello di calcolo della predalla in fase di getto.



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

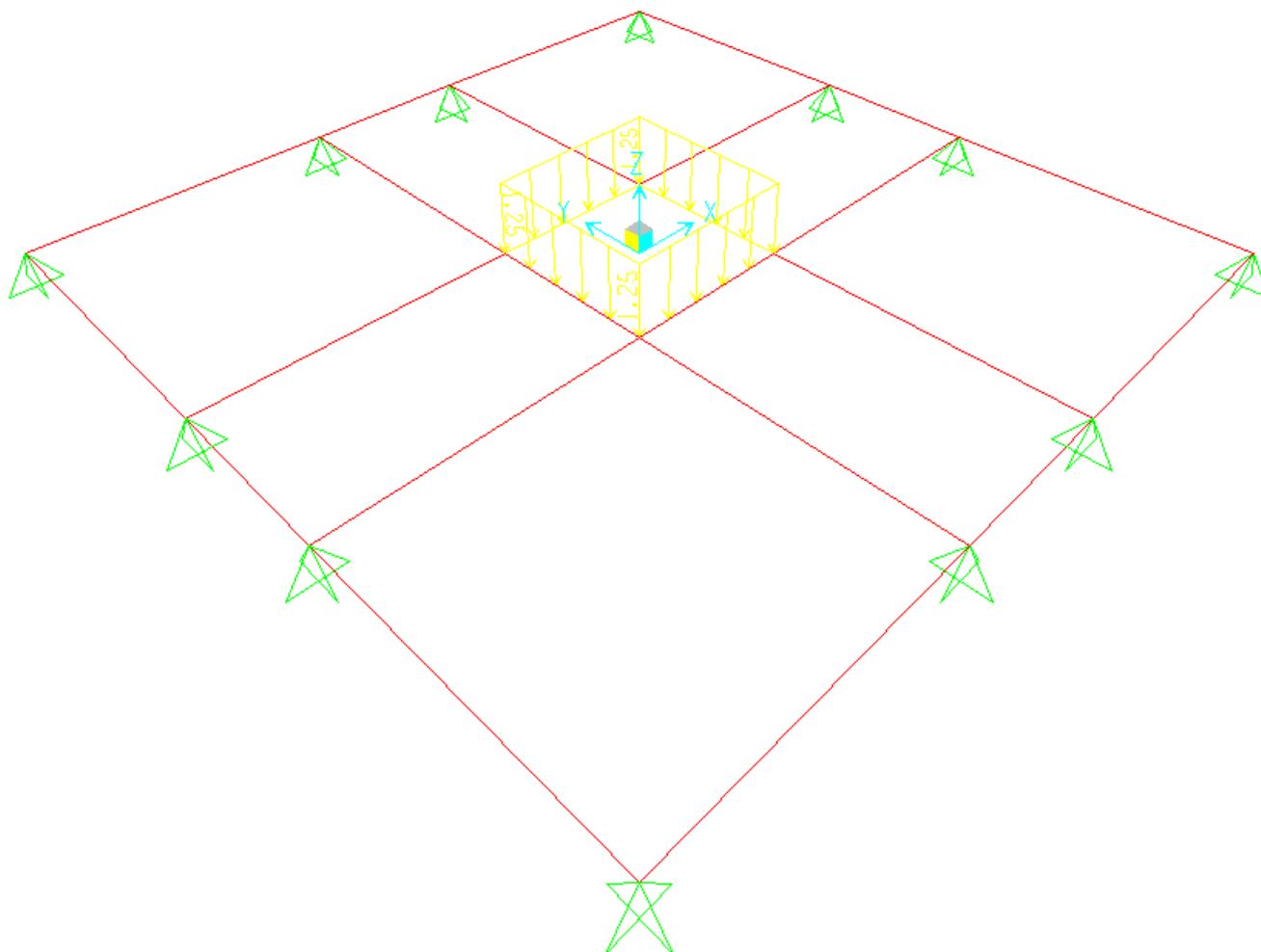


Figura 178 – Predalla in fase di getto – carico dovuto al peso del tappo

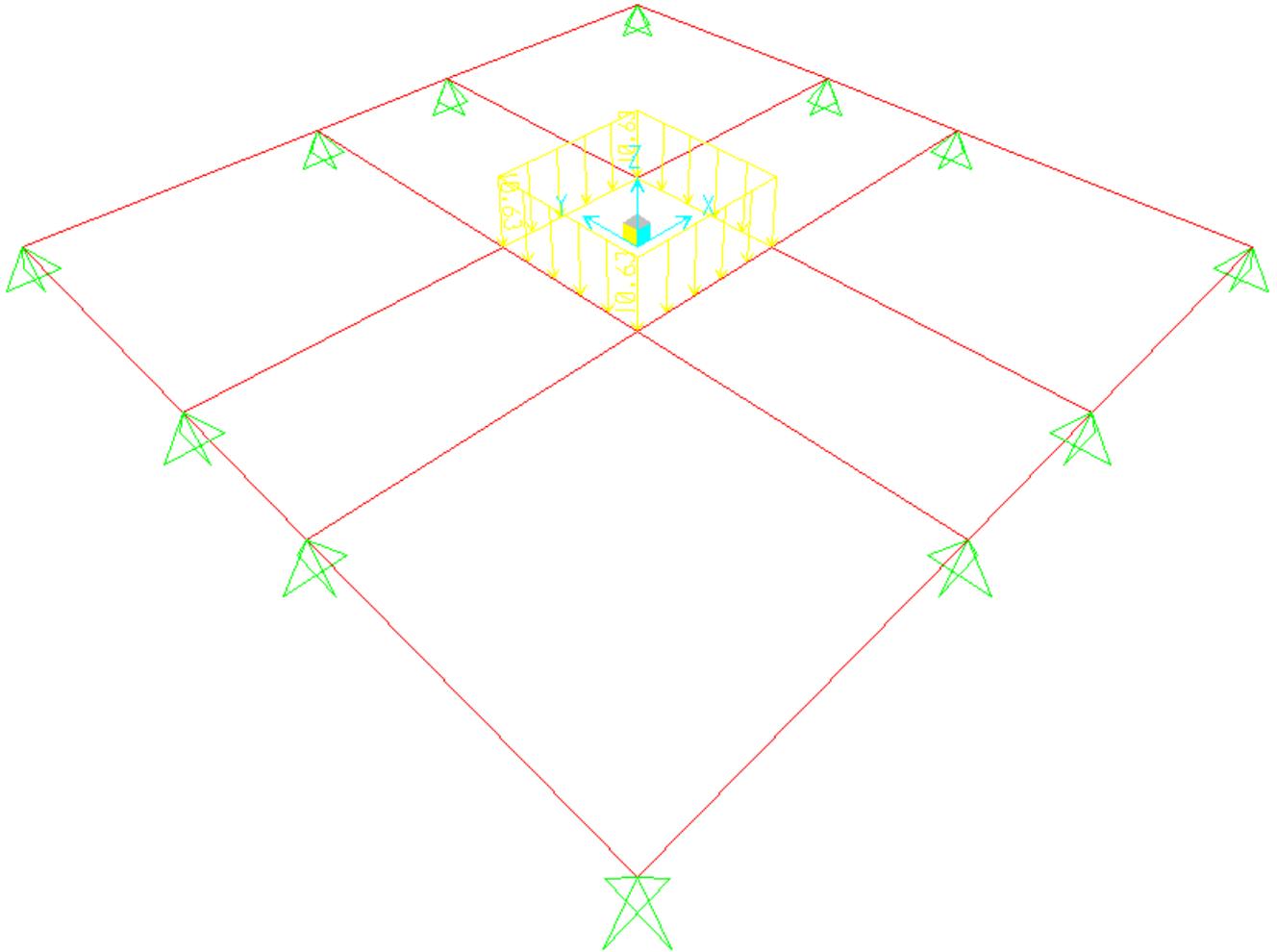


Figura 179 – Predalla in fase di getto – carico dovuto al peso del getto sopra il tappo



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

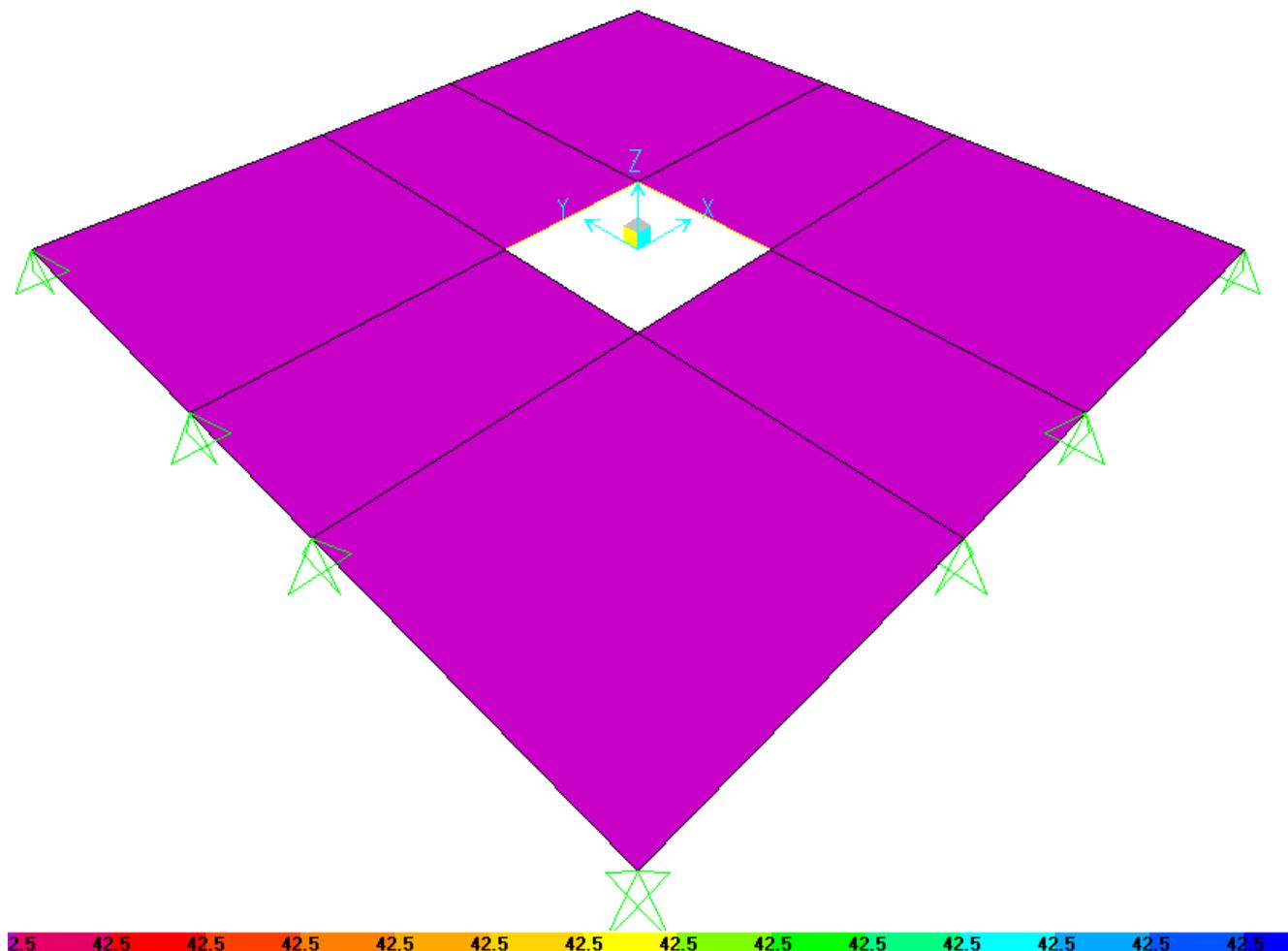


Figura 180 – Predalla in fase di getto – carico dovuto al peso del getto



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

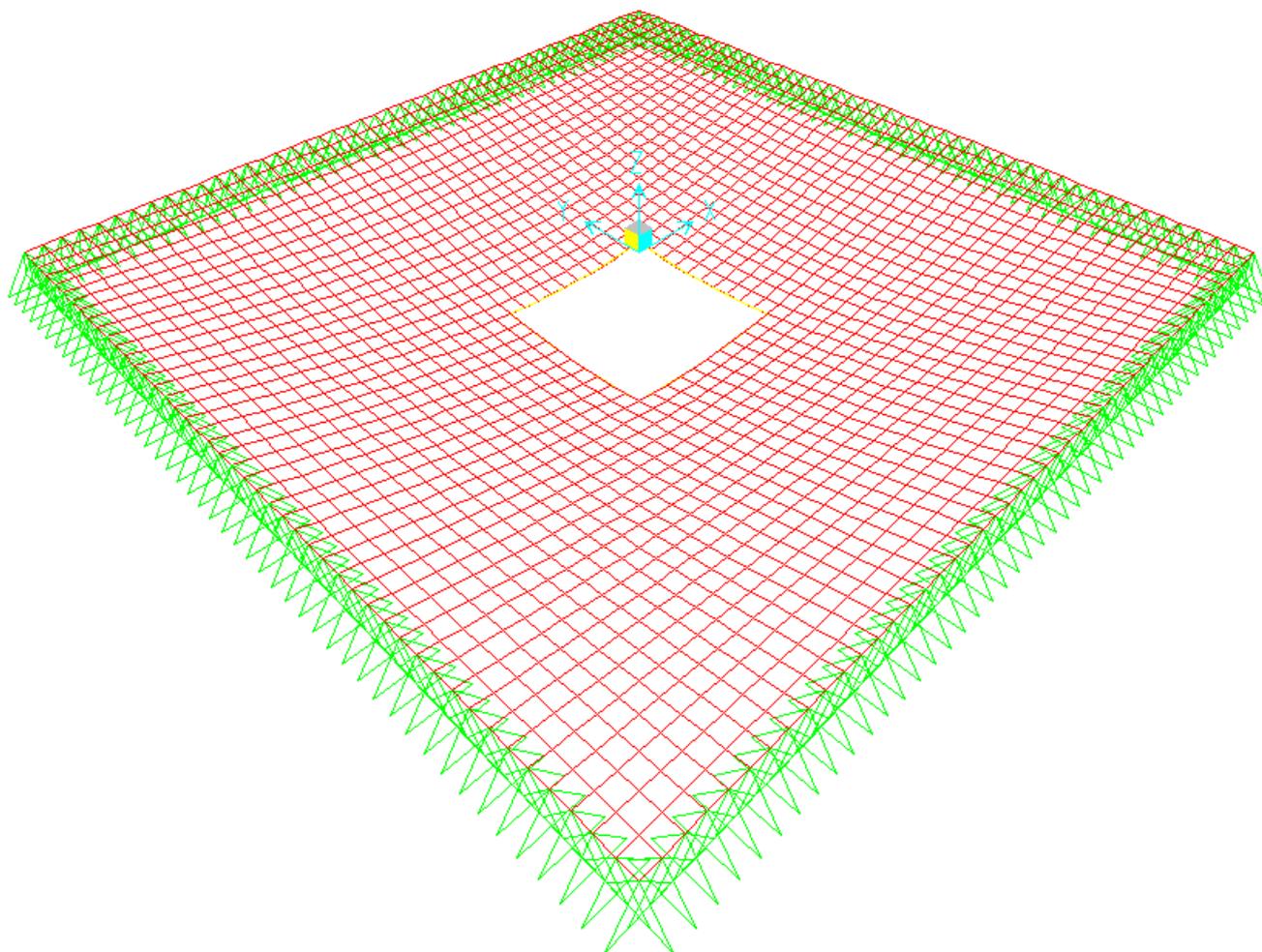


Figura 181 – Predalla in fase di getto – deformata per i carichi applicati



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

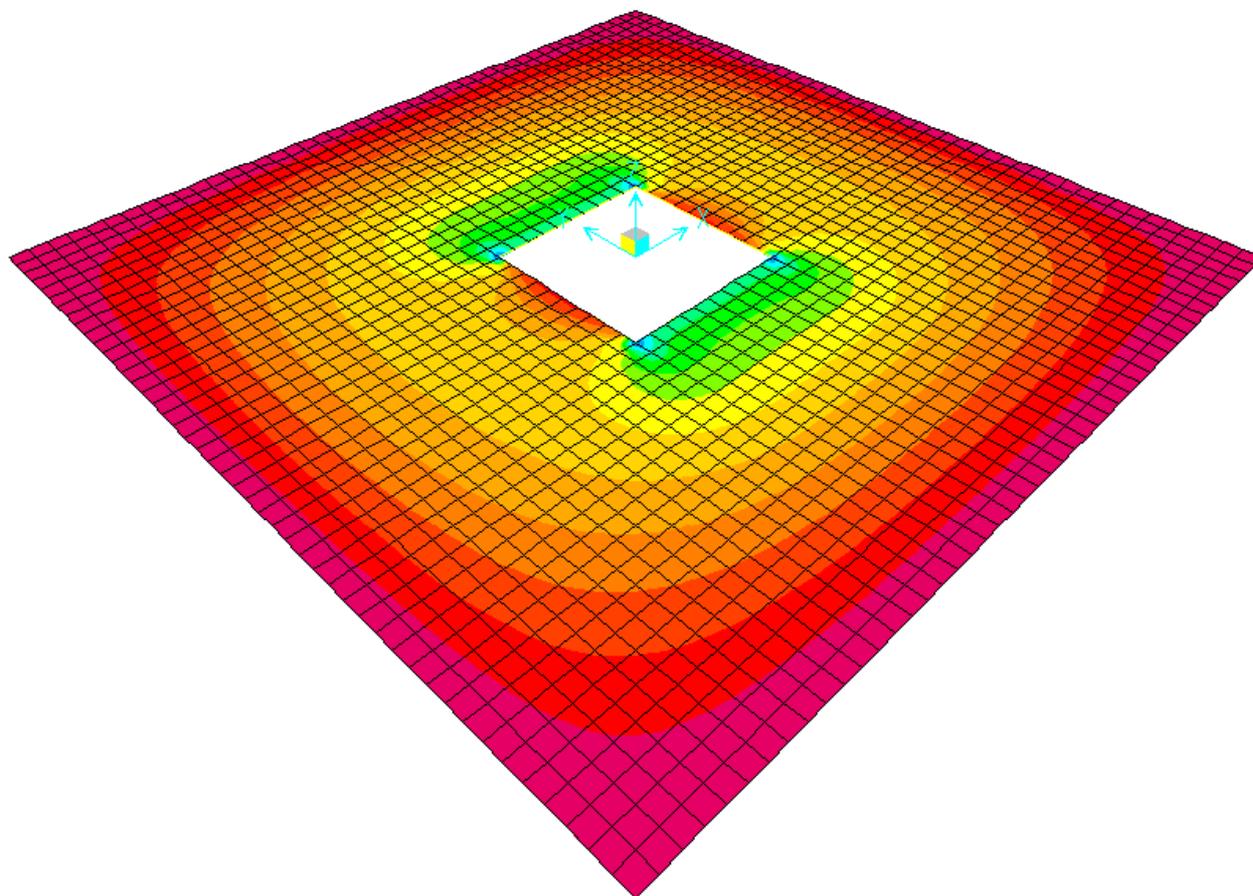


Figura 182 – Predalla in fase di getto – diagramma M11 allo SLU [kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

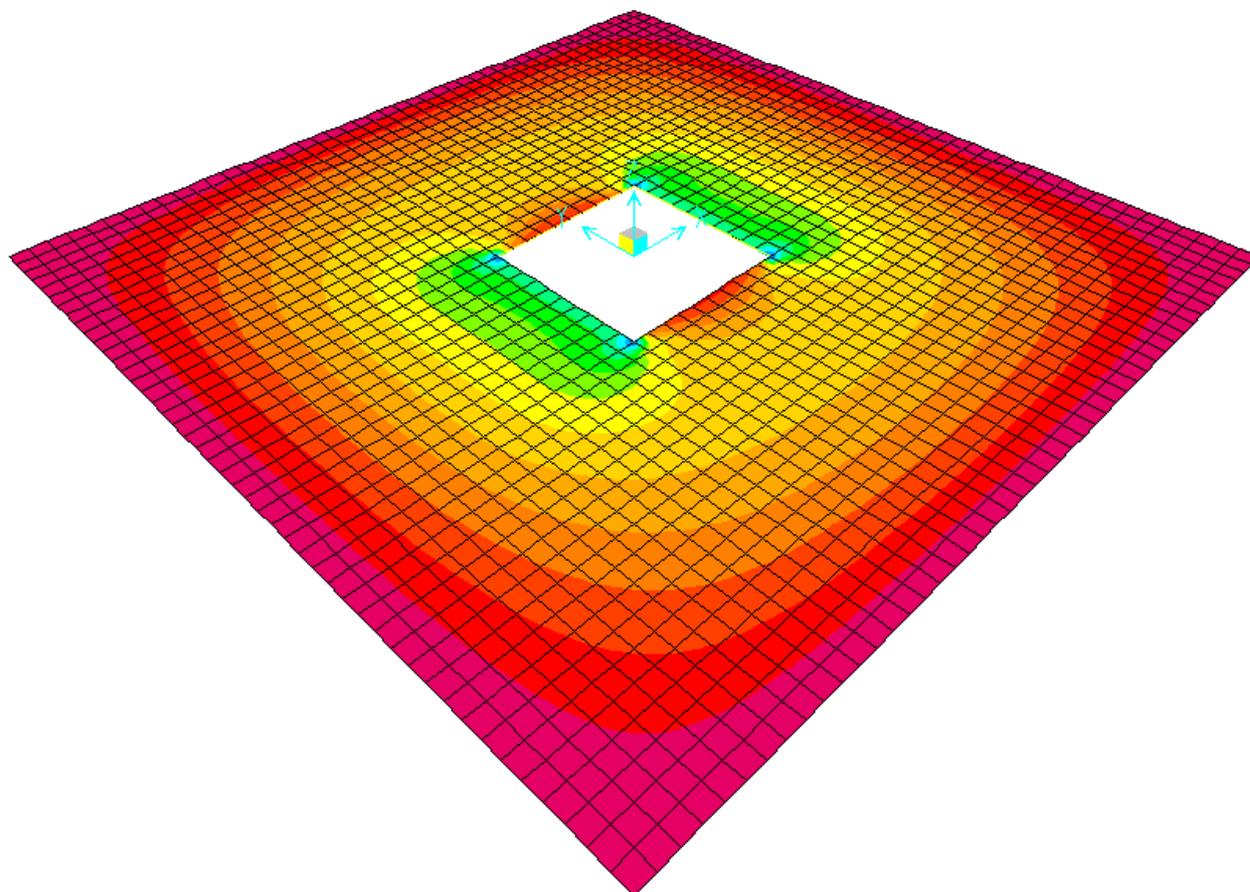


Figura 183 – Predalla in fase di getto – diagramma M22 allo SLU [kNm/m]



Comune  
di Favignana

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

- Relazione di calcolo delle strutture dei cassoni cellulari tipo A, B e C-

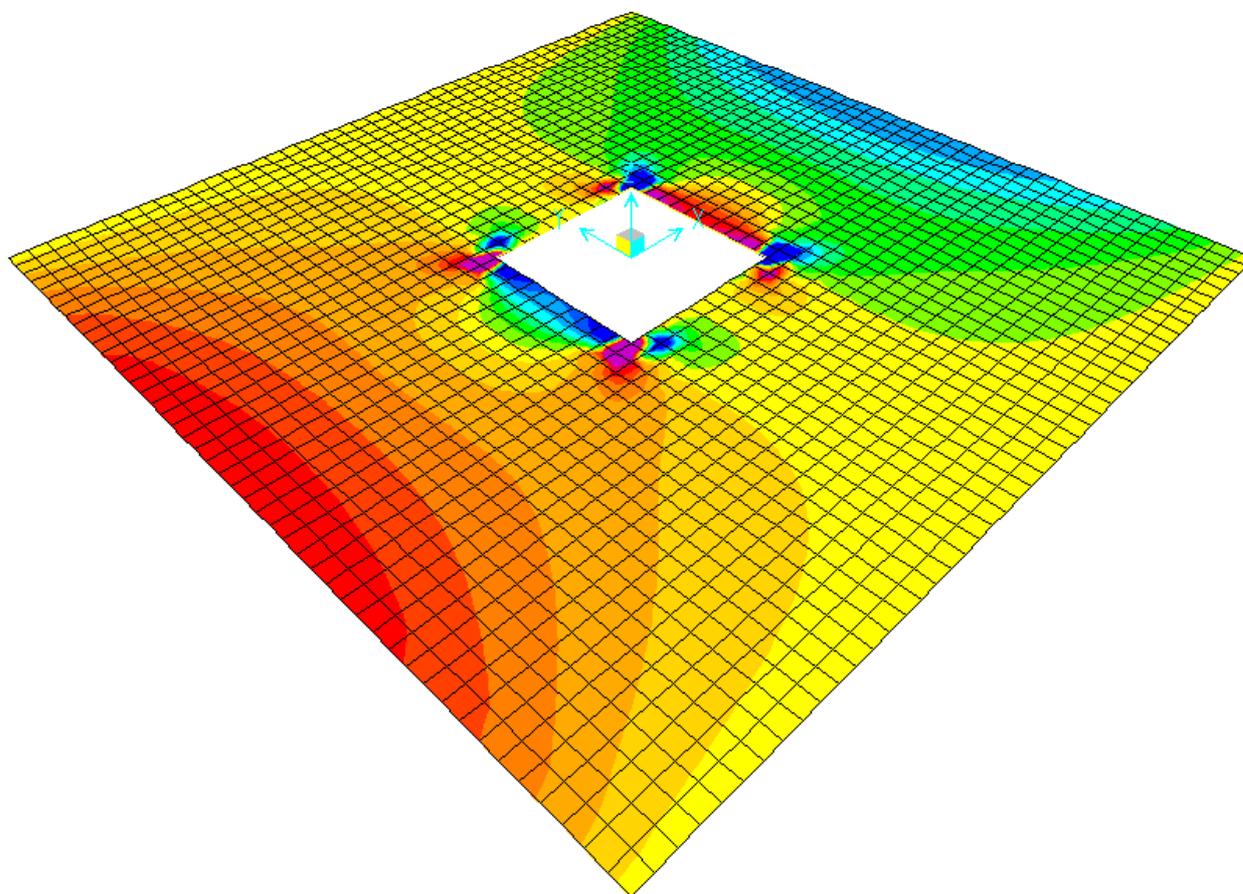


Figura 184 – Predalla in fase di getto – diagramma V13 allo SLU [kN/m]

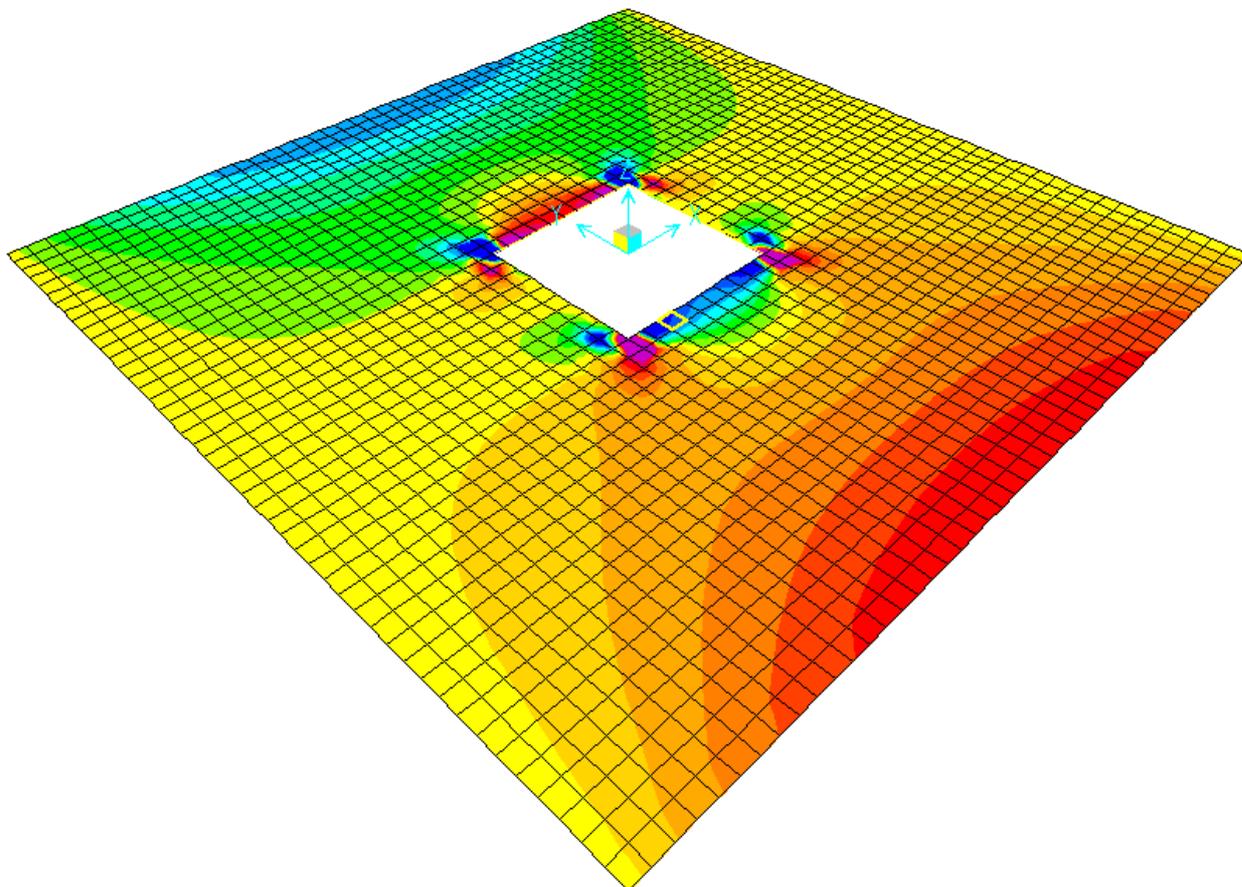


Figura 185 – Predalla in fase di getto – diagramma V23 allo SLU [kN/m]

### 7.5.3 Verifiche a flessione della predalla

Nella tabella seguente sono indicati i valori massimi e minimi delle sollecitazioni flettenti ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.



| SLU                        |   |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm superiore |    | Arm. inferiore |      | M <sub>ED</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub><br>[kNm] | M <sub>RD</sub> /M <sub>ED</sub> |
|----------------------------|---|---------------------|----------|----------|---------------|----|----------------|------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|                            |   |                     |          |          | 1°            | 2° | 1°             | 2°   |                          |                          |                                  |
| Direzione<br>Longitudinale | Campata - fase di getto sovrastruttura                              | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | 5φ16 | 77                       | 99                       | 1.29                             |
|                            | Bordo foro - fase di getto sovrastruttura (valore mediato su 30 cm) | M <sub>11,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | 5φ16 | 85                       | 99                       | 1.16                             |
|                            | Golfari - fase di sollevamento                                      | M <sub>11,min</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | -    | -11                      | -41                      | 3.73                             |
| Direzione<br>Trasversale   | Campata - fase di getto sovrastruttura                              | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | -    | 77                       | 86                       | 1.12                             |
|                            | Bordo foro - fase di getto sovrastruttura (valore mediato su 30 cm) | M <sub>22,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | 5φ16 | 85                       | 99                       | 1.16                             |
|                            | Golfari - fase di sollevamento                                      | M <sub>22,min</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12          | -  | 5φ14           | -    | -12                      | -41                      | 3.42                             |

Tabella 91 – Predalla – verifiche a flessione per combinazioni SLU

#### 7.5.4 Verifiche a taglio della predalla

Nella tabella seguente si riportano i valori massimi delle sollecitazioni di taglio ottenuti dall'involuppo delle combinazioni di carico analizzate e le rispettive verifiche di resistenza.

L'armatura a taglio è costituita da staffe, che vengono verificate separatamente nelle due direzioni. Inoltre, poiché il taglio in entrambe le direzioni assume il valore massimo nella stessa zona, viene effettuata anche una verifica a trazione dell'armatura a taglio sommando le sollecitazioni e considerando un raffittimento della staffatura.

| SLU                        |   |                     | B<br>[m] | H<br>[m] | Arm tesa |    | V <sub>ED</sub><br>[kN] | Arm taglio | V <sub>RDcls</sub><br>[kN] | V <sub>RSD</sub><br>[kN] | V <sub>RCD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub><br>[kN] | V <sub>RD</sub> /V <sub>ED</sub> |
|----------------------------|---|---------------------|----------|----------|----------|----|-------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                            |   |                     |          |          | 1°       | 2° |                         |            |                            |                          |                          |                         |                                  |
| Direzione<br>Longitudinale | Golfari - fase di sollevamento              | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12     | -  | 30                      | -          | 93                         | -                        | -                        | 93                      | 3.10                             |
|                            | Bordo lastra - fase di getto sovrastruttura | V <sub>13,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ14     | -  | 84                      | -          | 98                         | -                        | -                        | 98                      | 1.17                             |
| Direzione<br>Trasversale   | Golfari - fase di sollevamento              | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ12     | -  | 32                      | -          | 93                         | -                        | -                        | 93                      | 2.91                             |
|                            | Bordo lastra - fase di getto sovrastruttura | V <sub>23,max</sub> | 1.00     | 0.20     | 5φ14     | -  | 84                      | -          | 98                         | -                        | -                        | 98                      | 1.17                             |

Tabella 92 – Predalla – verifiche a taglio per combinazioni SLU





## 7.6 Verifica ancoraggio delle bitte

### 7.6.1 Bitte da 50 t

#### 7.6.1.1 SLU

Allo SLU il valore del tiro alla bitta è pari a  $1,5 \times 500 \text{ kN} = 750 \text{ kN}$

L'area disposta è pari a tre strati per complessivi  $6\Phi 26$ , con inclinazione massima di circa  $8^\circ$ , più ulteriori due strati per complessivi  $4\Phi 26$ , con inclinazione massima di circa  $70^\circ$ ; tenendo conto dell'inclinazione dei differenti strati, l'area equivalente è pari a:

$$3 \cdot 185 \text{ mm}^2 \cos 8^\circ + 2 \cdot 124 \text{ mm}^2 \cos 70^\circ = 3 \cdot 880 \text{ mm}^2$$

La tensione nelle armature è pari a  $750 \cdot 1000 \text{ N} / 3 \cdot 880 \text{ mm}^2 = 193 \text{ MPa}$

La tensione è inferiore alla tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio, pari a  $391 \text{ MPa}$ .

#### 7.6.1.2 SLE

Allo SLE il valore del tiro alla bitta è pari a  $500 \text{ kN}$

La tensione nelle armature è pari a  $500 \cdot 1000 \text{ N} / 3 \cdot 880 \text{ mm}^2 = 129 \text{ MPa}$

La tensione massima nell'acciaio in esercizio ai sensi delle NTC2018 è pari a  $360 \text{ MPa}$ .

#### 7.6.1.3 Armatura locale di rinforzo

L'armatura locale di rinforzo è disposta nella parte superiore del blocco, in direzione trasversale al muro di sponda, ed è costituita da uno strato di  $\Phi 20/40 \text{ cm}$ .

L'armatura di ancoraggio consente un'efficace ripartizione del tiro alla bitta all'armatura locale di rinforzo su una larghezza complessiva di  $4 \text{ m}$ , e pertanto l'armatura di rinforzo è dimensionata in modo da assorbire una trazione pari al tiro alla bitta.

##### 7.6.1.3.1 SLU

Allo SLU il valore del tiro alla bitta è pari a  $1,5 \times 500 \text{ kN} = 750 \text{ kN}$

L'area dell'armatura è pari a  $3 \cdot 142 \text{ mm}^2 (10\Phi 20)$ .

La tensione nelle armature è pari a  $750 \cdot 1000 \text{ N} / 3 \cdot 142 \text{ mm}^2 = 239 \text{ MPa}$

La tensione è ben lontana dal valore di snervamento.

##### 7.6.1.3.2 SLE

Allo SLE il valore del tiro alla bitta è pari a  $500 \text{ kN}$

La tensione nelle armature è pari a  $500 \cdot 1000 \text{ N} / 3 \cdot 142 \text{ mm}^2 = 159 \text{ MPa}$

La tensione massima nell'acciaio in esercizio ai sensi delle NTC2018 è pari a  $360 \text{ MPa}$ .

La parte di calcestruzzo interessata dalla diffusione delle tensioni è quella superiore, bene identificata strutturalmente a causa della presenza di un cunicolo per sottoservizi. La sezione di calcestruzzo è



pertanto quella posizionata superiormente al cavidotto, ed ha spessore di 45 cm e larghezza pari a 4 m, larghezza di diffusione delle tensioni.

Si considera la resistenza a trazione del calcestruzzo. La sezione sopra descritta, soggetta ad una forza di trazione

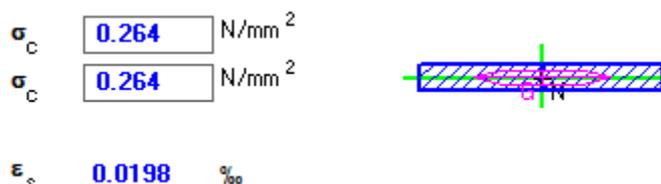


Figura 187 – Verifica allo SLE della parte di calcestruzzo superiore al cunicolo

La massima tensione di trazione è di 0,264MPa.

Tale valore è inferiore al limite della tensione di trazione previsto dalle NTC2018 al §4.1.2.2.4 per lo stato limite di apertura delle fessure; tale limite è dato da  $f_{ctm}/1,2 = 3,35 / 1,2 = 2,79$  MPa.

Si conclude, pertanto, che non si ha formazione di fessure per effetto della diffusione dell'azione del tiro alla bitta.

## 7.7 Verifica dei giunti tra i cassoni

### 7.7.1 Giunto tra il cassone tipo C e il cassone tipo B

La larghezza del giunto è di 2,32 m, mentre la sua altezza è di 12,50 m.

#### 7.7.1.1 Verifica delle barre di ancoraggio

##### 7.7.1.1.1 Combinazione eccezionale

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme su tutta l'altezza del giunto pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 100$  anni è pari a 77,00 kN/m<sup>2</sup>.

La forza complessiva di sfilamento della colonna di blocchi costituenti il giunto in combinazione eccezionale è pari a:

$$77,00 * 12,50 * 2,32 = 2233 \text{ kN}$$

##### 7.7.1.1.2 Combinazione SLU

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme su tutta l'altezza del giunto pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 25$  anni è pari a 63,74 kN/m<sup>2</sup>.

La forza complessiva di sfilamento della colonna di blocchi costituenti il giunto allo SLU è pari a:

$$1,50 * 63,74 * 12,50 * 2,32 = 2773 \text{ kN}$$



### 7.7.1.1.3 Verifica

Poiché le sollecitazioni relative alla combinazione eccezionale sono meno gravose di quelle allo SLU, la verifica viene condotta per quest'ultima combinazione.

Si ipotizza a favore di sicurezza che tutta l'azione sopra determinata si trasferisca alle barre di ancoraggio, trascurando pertanto l'attrito tra i blocchi e la sovrastruttura (incluso il contributo della chiave), quello tra i blocchi ed il terreno e la resistenza a taglio dei micropali.

Le barre di ancoraggio, nel numero di  $24\Phi 24$  (con area di  $10857 \text{ mm}^2$ ) per blocco e dunque di  $120\Phi 24$  (con area di  $54285 \text{ mm}^2$ ) per l'intero giunto sono soggette ad una tensione di trazione pari a:

$$2\,773\,000 \text{ N} / 54285 \text{ mm}^2 = 51,08 \text{ MPa}$$

La tensione di aderenza, essendo la lunghezza di ancoraggio pari a 1,20 m, è di:

$$51,08 \text{ MPa} / 8 * 24 \text{ mm} / 1200 \text{ mm} = 0,13 \text{ Mpa}$$

Tale valore è notevolmente inferiore alla tensione limite di aderenza, che per il getto a tergo dei blocchi è pari a 2 MPa, che deriva dalla formula 4.1.6 delle NTC 2018, avendo posto  $\gamma_c = 1,50$ .

### 7.7.1.2 Verifica dei micropali

Si ipotizza che per effetto del cavo d'onda si verifichi lo sfilamento dei due blocchi sommitali. Si trascura a favore di sicurezza il contributo della chiave della sovrastruttura, quello dell'attrito tra i blocchi e tra questi e la sovrastruttura ed inoltre la resistenza delle barre di ancoraggio.

#### 7.7.1.2.1 Combinazione eccezionale

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme sui due blocchi sommitali pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 100$  anni è pari a  $77,00 \text{ kN/m}^2$ .

La forza complessiva di sfilamento della coppia di blocchi è pari a:

$$77,00 * 2 * 2,50 * 2,32 = 893 \text{ kN}$$

#### 7.7.1.2.2 Combinazione SLU

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme sui due blocchi sommitali pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 25$  anni è pari a  $63,74 \text{ kN/m}^2$ .

La forza complessiva di sfilamento della coppia di blocchi allo SLU è pari a:

$$1,50 * 63,74 * 2 * 2,50 * 2,32 = 1109 \text{ kN}$$

#### 7.7.1.2.3 Verifica

Poiché le sollecitazioni relative alla combinazione eccezionale sono meno gravose di quelle allo SLU, la verifica viene condotta per quest'ultima combinazione.

I tre micropali sono costituiti da profili HEB 200, per ciascuno dei quali si assume un valore dell'area di resistenza a taglio pari a  $2483 \text{ mm}^2$ .

La resistenza di progetto a taglio viene determinata utilizzando la formula 4.2.17 delle NTC 2018, avendo posto  $\gamma_{M0} = 1,05$ :



$$\frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 3 * 2483 * 275 / (1,73 * 1,05 * 1000) = 1128 \text{ kN}$$

Il coefficiente di sicurezza è pari a:

$$1128 / 1109 = 1,02.$$

### 7.7.2 Verifica della chiave della sovrastruttura

Si ipotizza che per effetto del cavo d'onda si verifichi lo sfilamento dei due blocchi sommitali. Si trascura a favore di sicurezza il contributo dell'attrito tra i blocchi e tra questi e la sovrastruttura ed inoltre la resistenza delle barre di ancoraggio e dei micropali.

La chiave ha altezza pari a 0,50 m e larghezza pari a 2,10 m.

#### 7.7.2.1 Combinazione eccezionale

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme sui due blocchi sommitali pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 100$  anni è pari a  $77,00 \text{ kN/m}^2$ .

La forza complessiva di sfilamento della coppia di blocchi è pari a:

$$77,00 * 2 * 2,50 * 2,32 = 893 \text{ kN}$$

#### 7.7.2.2 Combinazione SLU

A favore di sicurezza si considera un'azione uniforme sui due blocchi sommitali pari alla massima pressione dovuta al cavo d'onda con  $T_r = 25$  anni è pari a  $63,74 \text{ kN/m}^2$ .

La forza complessiva di sfilamento della coppia di blocchi allo SLU è pari a:

$$1,50 * 63,74 * 2 * 2,50 * 2,32 = 1109 \text{ kN}$$

#### 7.7.2.3 Verifica

Poiché le sollecitazioni relative alla combinazione eccezionale sono meno gravose di quelle allo SLU, la verifica viene condotta per quest'ultima combinazione.

Vengono di seguito riportate le verifiche per la chiave.



**Geometria Mensola**

|   |             |      |     |                                   |
|---|-------------|------|-----|-----------------------------------|
| Altezza mensola   | $h_c$       | 1.05 | [m] |                                   |
| Larghezza mensola (spessore mensola)                              | $b$         | 2.10 | [m] |                                   |
| Lunghezza mensola (sbalzo)  | $s$         | 0.50 | [m] |                                   |
| Copriferro mensola  | $c$         | 0.05 | [m] |                                   |
| Distanza da filo parete applicazione carico                       | $a_c$       | 0.50 | [m] |                                   |
| Altezza utile mensola   | $d$         | 1.00 | [m] | $d = h_c - c$                     |
| Distanza del carico dal traliccio (assenza di carico orizzontale) | $l$         | 0.70 | [m] | $l = a_c + (0,2)d$                |
| Inclinazione risultante rispetto alla verticale                   | $\alpha$    | 0.00 | [°] | $\alpha = \arctan(H_{Ed}/V_{Ed})$ |
| Cotg $\psi$   | Cotg $\psi$ | 0.78 | [-] | $\text{Cotg } \psi = l / (0,9d)$  |

**Materiali**

Calcestruzzo

|  |            |        |       |                                   |
|--|------------|--------|-------|-----------------------------------|
| Classe di resistenza                             | C35/45     |        |       |                                   |
| Resistenza a compressione cubica del cls         | $R_{ck}$   | 45.00  | [MPa] |                                   |
| Resistenza a compressione cilindrica del cls     | $f_{ck}$   | 37.35  | [MPa] | $f_{ck} = 0,83 R_{ck}$            |
| Coefficiente parziale di sicurezza del cls       | $\gamma_c$ | 1.50   | [-]   |                                   |
| Resistenza a compressione di progetto del cls    | $f_{cd}$   | 21.17  | [MPa] | $f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$ |
| <u>Acciaio</u>                                   |            |        |       |                                   |
| Tipo di acciaio                                  | B450 C     |        |       |                                   |
| Resistenza caratteristica a snervamento nominale | $f_{yk}$   | 450.00 | [MPa] |                                   |
| Resistenza caratteristica a rottura nominale     | $f_{tk}$   | 540.00 | [MPa] |                                   |
| Coefficiente parziale di sicurezza acciaio       | $\gamma_s$ | 1.15   | [-]   |                                   |
| Resistenza di progetto a snervamento             | $f_{yd}$   | 391.30 | [MPa] | $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$      |

**Azioni di calcolo**

|                   |          |          |      |
|-------------------|----------|----------|------|
| Carico di calcolo | $P_{Ed}$ | 1 109.00 | [kN] |
|-------------------|----------|----------|------|

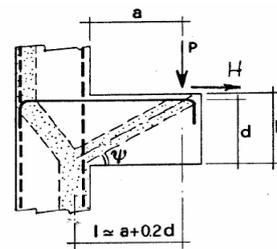
Tabella 93 – Chiave – geometria e materiali



MODELLO CON TIRANTE ORIZZONTALE

Armatura principale

|   |             |          |                    |
|---|-------------|----------|--------------------|
| Diametro armatura principale                          | $\phi_t$    | 18.00    | [mm]               |
| Sezione trasversale tondino                           | $A_t$       | 254.47   | [mm <sup>2</sup> ] |
| Numero tondini armatura principale                    | $n_t$       | 11.00    | [-]                |
| Sezione trasversale totale armatura principale        | $A_{t,tot}$ | 2 799.16 | [mm <sup>2</sup> ] |
| Coefficiente in funzione della presenza di staffatura | $c$         | 1.00     | [-]                |



$c=1$  per sbalzi di piastre non provvisti di staffatura e  $c=1.5$  per sbalzi di travi provvisti di staffatura

|   |          |           |      |
|---|----------|-----------|------|
| Resistenza del tirante orizzontale di acciaio | $P_{Rs}$ | 1 408.27  | [kN] |
| Resistenza del puntone di cls                 | $P_{Rc}$ | 11 077.44 | [kN] |

$$P_{Rs} = (A_{sfd} - H_{Ed}) / \cotg \psi$$

$$P_{Rc} = 0.4bd f_{cd} / (1/1 + \cotg^2 \psi)$$

Verifica

|   |                   |      |
|---|-------------------|------|
| Resistenza lato cls deve essere maggiore di quella lato acciaio | $P_{Rc} > P_{Rs}$ | VERO |
| Resistenza lato acciaio deve essere maggiore di $P_{Ed}$        | $P_{Rs} > P_{Ed}$ | VERO |

|                      |                   |      |
|----------------------|-------------------|------|
| Fattore di Sicurezza | $P_{Rs} / P_{Ed}$ | 1.27 |
|----------------------|-------------------|------|

Tabella 94 – Chiave – verifica



## 8 SOFTWARE DI CALCOLO

### 8.1 METODO DI CALCOLO

Le analisi strutturali sono state condotte:

- con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto dai carichi statici;
- con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale è stata effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopra indicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$K * u = F$$

dove

K = matrice di rigidezza

u = vettore spostamenti nodali

F = vettore forze nodali.

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

### 8.2 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Il programma di calcolo utilizzato è il SAP2000 Advanced 64bit versione 21.0.1 RY2016(c) (versione 16.2.0) della Computer and Structures Inc. (CSI), con licenza n. 55784 intestata a DUOMI S.r.l..

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

CSI ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.



I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

### 8.3 VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO SULLA LORO ACCETTABILITÀ

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari abbiano dato valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.