AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA
PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

SOCIETÀ DI PROGETTO: APM TERMINALS VADO LIGURE S.p.A.

MAERSK

CLF GRANDI LAVORI FINCOSIT

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:

Dott. Ing. Guido Fiorini

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATO N° :

TITOLO ELABORATO

STRUTTURE
BANCHINA DI TESTATA - SOVRASTRUTTURE
RELAZIONE DI CALCOLO

MI0102-PV-S-C-R-003-00

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
Dicembre 2015	M. Karlsson	P. Buongiorno	G. Fiorini

REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE
00	Dicembre 2015	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

NOME FILE

MI0102-PV-S-C-R-003-00.docx

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

PERIZIA DI VARIANTE

STRUTTURE
BANCHINA DI TESTATA - SOVRASTRUTTURE
RELAZIONE DI CALCOLO

INDICE

1. INTRODUZIONE GENERALE 7
1.1. Programma di verifica 8
1.2. Documenti di riferimento 8
1.3 Caratteristiche e dati di calcolo 8
1.3. Legislazione di riferimento 12
1.4. Combinazione di carichi e coefficienti parziali 12
1.5. Dati per le verifiche delle strutture in cemento armato 14
1.5.1. Materiali 14
1.5.2. Copriferro 14
1.5.3. Fessurazioni e tensioni agli SLE 14
1.5.4. Delta temperatura 15
1.5.5. Ritiro 15
2. VERIFICA C.A. DELLA SOVRASTRUTTURA SUI CASSONI CORRENTI 17
2.1. Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) 20
2.2. Calcolo e verifica dell'armatura in prossimità della bitta 37
2.2.1. Verifica armatura di ancoraggio bitta da 1500kN 37
2.2.2. Verifica armatura di ancoraggio bitta da 500kN 38
2.2.3. Verifica dell'orditura della sovrastruttura in zona bitta da 1500kN 38
2.2.4. Verifica dell'orditura della sovrastruttura in zona bitta da 500kN 39
2.2.5. Verifica armatura pareti esterne sovrastruttura bitta da 1500kN 39
2.2.6. Verifica armatura pareti esterne sovrastruttura bitta da 500kN 41
2.3. Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) 43
2.4. Verifica di stabilità concio di sovrastruttura 65
3. VERIFICHE LOCALI 66
3.1. Respingenti 66

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1.1 - Planimetria cassoni di testata 7
Fig. 1.2 - Schema ruote gru scaricatore 10
Fig. 1.3 - Formule Sainflou 11
Fig. 2.1 - Carpenteria concio tipo sovrastruttura cassoni correnti - pianta 17
Fig. 2.2 - Carpenteria concio tipo sovrastruttura cassoni correnti - sezione trasversale 17
Fig. 2.3 - Cassone corrente - Cresta d'onda (H=5.5m) - Tr=50anni - cassone a q.ta-16.50 - marea +0.00 18
Fig. 2.4 - Cassone corrente - Cresta d'onda (H=5.5m) - Tr=50anni - cassone a q.ta-16.50 - marea +0.75 18
Fig. 2.5 - Cassone corrente - Cresta d'onda (H=5.5m) - Tr=50anni - cassone a q.ta-16.50 - marea -0.50 19
Fig. 2.6 - Schema statico sovrastruttura su cassoni correnti 20
Fig. 2.7 - Schema identificativo sovrastruttura su cassoni correnti 22
Fig. 2.8 - Inviluppo M22_MAX - cassoni correnti [kNm/m] 23
Fig. 2.9 - Inviluppo M22_MAX - cassoni correnti [kNm/m] 24
Fig. 2.10 - Inviluppo M22_MIN - cassoni correnti [kNm/m] 25
Fig. 2.11 - Inviluppo M22_MIN - cassoni correnti [kNm/m] 26
Fig. 2.12 - Inviluppo M11_MAX - cassoni correnti [kNm/m] 27
Fig. 2.13 - Inviluppo M11_MAX - cassoni correnti [kNm/m] 28
Fig. 2.14 - Inviluppo V23_MIN - cassoni correnti [kN/m] 29
Fig. 2.15 - Inviluppo V23_MAX - cassoni correnti [kN/m] 30
Fig. 2.16 - Inviluppo V13_MIN - cassoni correnti [kN/m] 31
Fig. 2.17 - Inviluppo V13_MAX - cassoni correnti [kN/m] 32
Fig. 2.18 - Trave gru lato mare - verifica orditura superiore - Verifiche cemento armato agli SLU 34
Fig. 2.19 - Trave gru lato Mare - verifica orditura inferiore - Verifiche cemento armato agli SLU 35
Fig. 2.20 - Inviluppo M22_MAX(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 45
Fig. 2.21 - Inviluppo M22_MAX(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 46
Fig. 2.22 - Inviluppo M22_MIN(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 47
Fig. 2.23 - Inviluppo M22_MIN(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 48
Fig. 2.24 - Inviluppo M11_MAX(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 49
Fig. 2.25 - Inviluppo M11_MAX(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 50
Fig. 2.26 - Inviluppo M11_MIN(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 51
Fig. 2.27 - Inviluppo M11_MIN(SLE-FREQ.) - cassoni correnti [kNm/m] 52
Fig. 2.28 - Inviluppo M22_MAX(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 55
Fig. 2.29 - Inviluppo M22_MAX(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 56
Fig. 2.30 - Inviluppo M22_MIN(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 57

Fig. 2.31 - Inviluppo M22_MIN(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 58
Fig. 2.32 - Inviluppo M11_MAX(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 59
Fig. 2.33 - Inviluppo M11_MAX(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 60
Fig. 2.34 - Inviluppo M11_MIN(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 61
Fig. 2.35 - Inviluppo M11_MIN(SLE-RARE) - cassoni correnti [kNm/m] 62
Fig. 3.1 - Schema statica respingente trave gru lato banchina container 66
Fig. 3.2 - Schema carichi applicati lato banchina container 66
Fig. 3.3 - Lato banchina container - M22 nominale [kNm/m] 67
Fig. 3.4 - Lato banchina container - F22 nominale [kN/m] 68
Fig. 3.5 - Lato banchina container - V23 nominale [kN/m] 69
Fig. 3.6 - Schema statica respingente trave gru lato banchina petroli 70
Fig. 3.7 - Schema carichi applicati lato banchina petroli 70
Fig. 3.8 - Lato banchina petroli - M22 nominale [kNm/m] 71
Fig. 3.9 - Lato banchina petroli - F22 nominale [kN/m] 72
Fig. 3.10 - Lato banchina petroli - V23 nominale [kN/m] 73

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 2.1 - Sovrastruttura cassoni correnti - Verifiche cemento armato agli SLU 33
Tab. 2.2 - Sovrastruttura cassoni correnti - Verifiche cemento armato agli SLE(frequenti) 53
Tab. 2.3 - Sovrastruttura cassoni correnti - Verifiche cemento armato agli SLE(rare) 63

1. INTRODUZIONE GENERALE

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento del cemento armato della sovrastruttura sui cassoni pieni di testata nella zona a giorno facente parte della piattaforma multifunzionale a Vado Ligure. Nella figura seguente si riporta la planimetria del terrapieno con l'ubicazione dei cassoni.

La sovrastruttura viene gettata in opera sui cassoni precedentemente posati. La sovrastruttura della banchina container contiene le travi gru sia lato mare, sia lato terra.

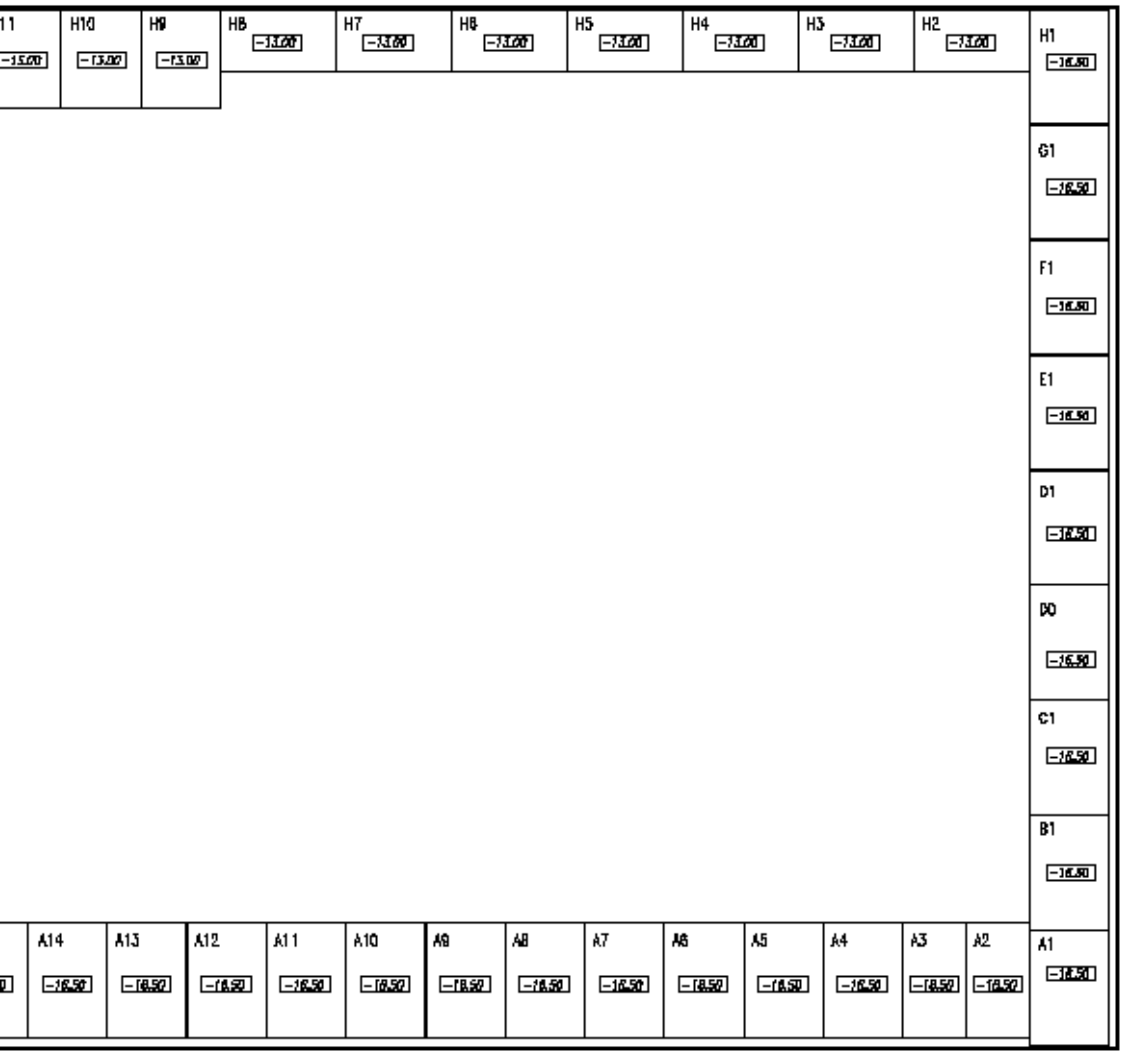


FIG. 1.1 - PLANIMETRIA CASSONI DI TESTATA

1.1. Programma di verifica

Le verifiche svolte per accertare la stabilità della sovrastruttura nelle varie condizioni di lavoro prese in esame sono state raggruppate nei capitoli della presente relazione come segue:

Cap. 2 Verifica c.a. della sovrastruttura sui cassoni correnti
Cap. 3 Verifiche locali

1.2. Documenti di riferimento

I pesi specifici e i dati di calcolo utilizzati sono stati tratti dalla relazione di calcolo del Progetto Definitivo presentata al Consiglio Superiore per i Lavori Pubblici di Marzo 2010 nonché dal Progetto Esecutivo Fase 2 e contestuale perizia di variante della Fase 1.

MI010P-PD-G-Z-R-1001-C4	Marzo 2010	Relazione Descrittiva Generale
MI010P-PD-G-G-R-1121-C3	Gennaio 2010	Rapporto Geotecnico - Calcolo dei Cedimenti e della stabilità delle opere - Verifiche Normative
MI010P-PE-S-C-R-1004-C1	Luglio 2012	Cassoni Reggispinta - Sovrastruttura - Relazione di calcolo
MI010P-PD-G-L-R-1109-C2	Giugno 2009	Relazione Meteomarina
MI010P-PD-G-Z-R-1111-C3	29/01/2010	Valutazione della pericolosità sismica e verifica di liquefazione
MI010P-PD-G-N-R-1115-C2	Giugno 2009	Dimensionamento delle strutture di accosto e verifica degli schemi di ormeggio
VADAPMTCIV-CP-RP-001-6.5.1	Aprile 2012	Design criteria
Esecutivo Fase 2 e contestuale perizia di variante della Fase 1		
MI010P-PE-G-Z-R-4120-C0	Settembre 2014	Relazione Descrittiva Generale
MI010P-PE-G-L-R-4001-C0	Settembre 2014	Relazione Meteomarina

1.3 Caratteristiche e dati di calcolo

Dati Opera (DM 14/01/2008; Cap. 2)		
Vita Nominale dell'opera V_N	50	Anni
Classe d'uso	II	
Periodo di riferimento per l'azione sismica Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) con probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento	475	Anni
Pesi materiali		
Peso calcestruzzo sovrastruttura	24.50	kN/m^3
Peso pavimentazione	20.00	kN/m^3
Peso acqua di mare	10.1	kN/m^3

Peso riempimento fuori acqua	18.0	kN/m^3
Carico nominale all'estradosso soletta per verifiche c.a. (15cm blocchi+45cm Misto cementato+3cm di spuntino +87cm di riempimento)	29	kN/m^2
Quote		
Quota di sommità sovrastruttura fase definitiva	+4.50	m
Quota di estradosso sovrastruttura cassoni	+2.50	m
Sovraccarichi		
Sovraccarico distribuito	40	kPa
Gru Scaricatori Rinfuse (vedere figura sottostante)		
Interasse rotaia	20.5	m
Distanza rotaia gru lato mare filo banchina	2.50	m
Lunghezza scaricatore fra respingenti	22.0	m
Numero ruote / angolo	8	
Interasse fra ruote	0.83/1.17	m
Lunghezza ogni carrello composto da 4 ruote	6.83	m
Interasse fra carrelli	6.170	m
N° ruote ogni lato del caricatore	16	Ruote
Carico ruota lato mare	850	kN/ruota
Carico ruota lato terra	800	kN/ruota
Carico verticale gru lato mare (8x850kN/ruota=	6800	kN
Valore di calcolo gru lato mare 6800/8.53=797	800	kN/m
Carico verticale gru lato terra 800kN/ruota; 800x800/850=	750	kN/m
Carico orizzontale (scarocciamento 10%) lato mare	80	kN/m
Carico orizzontale (scarocciamento 10%) lato terra	75	kN/m
Attacco di tempesta (storm pin) lato mare/lato terra	±500	kN
Fine corsa gru respingenti a q.ta +6.335m	850	kN
Punto di sollevamento (jacking point) a q.ta+4.50	2000	kN
Bitte d'ormeggio banchina container (cassone A1)		
Bitta d'ormeggio	1500	kN
Interasse bitte d'ormeggio	19	m
Quota applicazione tiro bitta	+5.10	l.m.m.
Direzione tiro nel piano orizzontale rispetto al filo banchina	0-180	°
Direzione tiro bitta nel piano verticale	-20-+70	°
Bitte d'ormeggio banchina rinfuse		
Bitta d'ormeggio	500	kN
Interasse bitte d'ormeggio	23	m

Quota applicazione tiro bitta	+5.10	l.m.m.
Direzione tiro nel piano orizzontale rispetto al filo banchina	0-180	°
Direzione tiro bitta nel piano verticale	-20-+70	°
Parabordi banchina container (cassone A1)		
Reazione Parabordo (Tipo SCN 1600 E2.0 o simile)	2355	kN
Interasse parabordi	23	m
Quota parabordo	+2.50	l.m.m.
Parabordi banchina rinfuse		
Reazione Parabordo (Tipo SCN 1300 E2.2 o simile)	1638	kN
Interasse parabordi	23	m
Quota parabordo	+2.50	l.m.m.
Parabordi banchina petroli		
Reazione Parabordo (Tipo SCN 1100 E2.0 o simile)	1115	kN
Interasse parabordi	19	m
Quota parabordo	+2.50	l.m.m.
Sisma		
Sisma limite di salvaguardia della vita (SLV) Tr=475anni a_g	0.15g	
Fattore βm (sottosuolo B,C,D,E ; 0.1g ≤ ag ≤ 0.2g)	0.24	
Coefficiente sismico orizzontale per verifiche sismiche $k_h = \beta_m \times a_{max}/ g$ = 0.24x 0.15g/g	0.036	
Coefficiente sismico verticale verifiche sismiche kv=0.5xk_h	0.018	

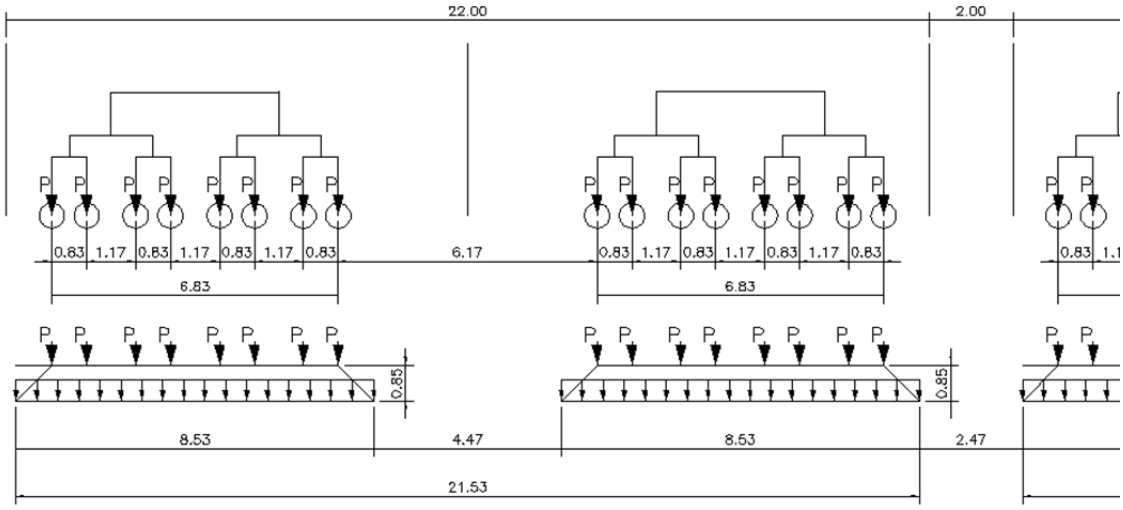
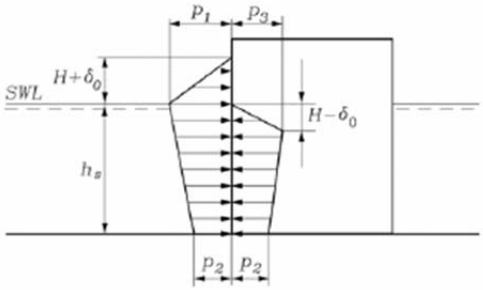


FIG. 1.2 - SCHEMA RUOTE GRU SCARICATORE

Per il calcolo delle spinte idrodinamiche si è utilizzata la teoria di Sainflou, trattandosi di onde non frangenti. Di seguito si riportano le formule di Sainflou tratte dalla parte VI della CEM.

EM 1110-2-1100 (Part VI)
1 Jun 06

Table VI-5-52
The Sainflou Formula for Head-on, Fully Reflected, Standing Regular Waves (Sainflou 1928)



$$p_1 = (p_2 + \rho_w g h_s)\frac{H + \delta_o}{h_s + H + \delta_o} \qquad \text{(VI-5-143)}$$

$$p_2 = \frac{\rho_w g H}{\cosh(2\pi h_s / L)} \qquad \text{(VI-5-144)}$$

$$p_3 = \rho_w g (H - \delta_o) \qquad \text{(VI-5-145)}$$

$$\delta_o = \frac{\pi H^2}{L}\coth\frac{2\pi h_s}{L} \qquad \text{(VI-5-146)}$$

where H Wave height. In case of irregular waves, H should be taken as a characteristic wave height. In Japan $H_{1/3}$ is used, while in other countries $H_{1/10}$ might be used.

p_1 Wave pressure at the still water level, corresponding to wave crest

p_2 Wave pressure at the base of the vertical wall

p_3 Wave pressure at the still water level, corresponding to wave trough

δ_o Vertical shift in the wave crest and wave trough at the wall

ρ_w Water density

h_s Water depth at the foot of the structure

L Local wave length.

Remarks. The Sainflou formula for conditions under wave crest and wave trough were derived theoretically for the case of regular waves and a vertical wall. The formula cannot be applied in cases where wave breaking and/or overtopping takes place.

FIG. 1.3 - FORMULE SAINFLOU

1.3. Legislazione di riferimento

Nell'ambito della presente relazione si è applicata la seguente normativa:

Legge 05/11/1971 n. 1086	▪ Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
Circolare Min. LL.PP. 14/02/1974 n. 11951	▪ Istruzioni per l'applicazione delle "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
Circolare Min. LL.PP. 1996	▪ Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime
D.M. 14/1/2008	▪ Norme Tecniche per le Costruzioni
Circolare n° 617 2/2/2009 CS.LL.PP	▪ Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
Eurocodici	
CEM 2006	▪ Coastal Engineering Manual – US Army Corps of Engineers
EAU 2004 8^ ed.	▪ Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways

1.4. Combinazione di carichi e coefficienti parziali

In conformità con quanto previsto dal DM 14/1/2008, per quanto riguarda i coefficienti parziali da utilizzare per le azioni, si rimanda alle tabelle riportate di seguito.

Coefficienti parziali					
		γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	favorevoli	γ	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
Carichi variabili	favorevoli	γ	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30

Combinazioni di carico

In ciascuna combinazione le azioni variabili sono ridotte per tener conto della probabilità della contemporaneità degli eventi.

Nel seguito sono riportati i valori utilizzati nel calcolo tenendo presente che:

- ψ_{0i} è il coefficiente di combinazione applicato ai carichi variabili secondari nelle combinazioni a s.l.u. e nelle combinazioni rare, moltiplicato rispettivamente per γ_{Qi} e per 1.0;
- ψ_{1i} è il coefficiente di combinazione applicato al carico variabile principale nelle combinazioni frequenti;
- ψ_{2i} è il coefficiente di combinazione applicato ai carichi variabili secondari nelle combinazioni frequenti a tutti i carichi variabili nelle combinazioni quasi permanenti e ai carichi variabili in combinazione sismica.

	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Sovraccarico	1.0	0.9	0.8
Tiro bitta/Parabordo	0.6	0.2	0
Onde	0.6	0.2	0
Gru	0.7	0.7	0.6
Variazioni termiche	0.6	0.5	0

Per la verifica di stabilità in fase sismica si considera soltanto il sovraccarico.

Per le verifiche per il cemento armato occorre applicare il set A1-M1 con i valori sotto esposti.

Fattori parziali per azioni γ_F:

Azione	**Set**	
	A1	**A2**
Permanente		
Destabilizzante γ_G	1.30	1.00
Stabilizzante γ_G	1.00	1.00
Variabile		
Destabilizzante γ_Q	1.50	1.30
Stabilizzante γ_Q	0.00	0.00

1.5. Dati per le verifiche delle strutture in cemento armato

1.5.1. Materiali

Per tutte le opere a progetto saranno utilizzati i seguenti materiali:

- calcestruzzo classe C35/45 confezionato con cemento pozzolanico o d'altoforno;
- classe d'esposizione: XS3
- armatura metallica in barre nervate ad aderenza migliorata tipo B450C (FeB44K).

Le resistenze caratteristiche dei materiali sono le seguenti:

- Resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo: fck = 35 N/mm²
- Resistenza caratteristica a trazione semplice del calcestruzzo: fctk = 2.2 N/mm²
- Resistenza caratteristica di snervamento dell'acciaio: fyk = 450 N/mm²

In conformità con quanto previsto dalla vigente normativa, nel calcolo si sono assunti i seguenti coefficienti riduttori delle resistenze caratteristiche dei materiali:

Coefficiente di sicurezza del calcestruzzo nei calcoli allo s.l.u.: γ_c= 1.50
Coefficiente di sicurezza dell'acciaio nei calcoli allo s.l.u.: γs= 1.15

1.5.2. Copriferro

Avendo l'opera una vita nominale di 50 anni ed essendo in ambiente molto aggressivo utilizzando una classe di calcestruzzo C35/45 e barre poco sensibili alla corrosione, la normativa vigente prescrive un copriferro minimo di 40mm per elementi a piastra e 45mm per gli altri elementi. A tale valore va aggiunta una tolleranza di posa.

Pertanto per le sezioni resistenti si è previsto un copriferro di 50 mm.

1.5.3. Fessurazioni e tensioni agli SLE

Limite di fessurazione per combinazioni frequenti: $\leq$ 0.2mm

Massima compressione nel calcestruzzo combinazioni rare:

$0.6f_{ck} = 21MPa$

Massima tensione nell'acciaio del calcestruzzo combinazioni rare:

$0.8f_{yk} = 360MPa$

1.5.4. Delta temperatura

Per quanto riguarda i carichi di natura termica si riportano di seguito alcuni commenti:

1. Lo sbalzo della sovrastruttura lato mare dello spessore 3.4m, essendo esposto al sole da tre lati, ha una temperatura uniforme e nessun delta di temperatura.
2. La sovrastruttura dello spessore di 2.0m sopra il cassone ha sotto di sé un cassone che essendo immerso nell'acqua di mare ha temperatura uguale alla temperatura del mare. La temperatura del Mar Ligure mediamente varia da +10°C a +25°C. Tale fenomeno fa sì che il delta di temperatura dall'estradosso della sovrastruttura all'estradosso del cassone sarà al massimo di 10°C (d'estate 35° estradosso sovrastruttura e 25° estradosso del cassone/d'inverno 20° estradosso sovrastruttura e 10° estradosso del cassone).
3. La parte di sovrastruttura dello spessore di 0.50m è coperta da 1.5m di riempimento e pavimentazione, per cui la sua temperatura è uniforme
4. La massa termica della sovrastruttura (spessore 2m) fa sì che nell'arco della giornata la temperatura si alza mediamente di 1.5-2°C. Quindi il delta di temperatura può essere intorno ai 3-4°C.

Per le motivazioni sopra esposte si considera come delta di temperatura ±5°C (differenza 10°C) solo per il calcestruzzo sopra il cassone dello spessore 2m esposto al sole. Per le verifiche delle azioni termiche si è applicato un coefficiente di dilatazione αT di 10x10-6/°C.

1.5.5. Ritiro

Per quanto riguarda il ritiro del calcestruzzo in fase di maturazione si ricorda che essendo in ambiente marino il calcestruzzo della sovrastruttura prevede l'utilizzo di cemento del tipo III (altoforno) particolarmente adatto per uso in ambiente marittimo in presenza di acqua di mare. In fatti il cemento del tipo III è definito ad altissima resistenza ai solfati secondo UNI 9156. Il CEM III ha inoltre un basso sviluppo del calore di idratazione ed è particolarmente indicato per getti massivi di calcestruzzo, e per calcestruzzo con ritiro controllato.

Comunque le prescrizioni del Capitolato Speciale d'Appalto nonché regole di buona esecuzione dell'impresa esecutrice prevedono procedure di getto per minimizzare il ritiro quali:

1. Finire il getto in serata in modo di avere la maturazione iniziale durante la notte in assenza di sole e con un alto tasso d'umidità.
2. Gestire le fasi di getto in modo di limitare i spessori.
3. Bagnare il getto fresco con acqua.
4. Coprire il getto con teli o sabbia bagnata in modo di minimizzare l'evaporazione d'acqua.
5. Eventuale utilizzo di prodotti specifici per la ritardata maturazione del calcestruzzo superficiale.

Comunque in fase di progettazione si prevede un ritiro pari a:

$\varepsilon=0.00025$

che comprende sia l'essiccamento che il ritiro autogeno.

Per il calcolo degli sforzi si è utilizzato un modulo elastico del calcestruzzo ridotto del 50% per motivi di fluage e di viscosità del calcestruzzo in fase di maturazione.

Il solettone è appoggiato sul cassone e vincolato nel suo piano tramite dei monconi verticali, θ12/400mm, che collegano la sovrastruttura al cassone sottostante.

I monconi danno un vincolo cedevole nelle due direzioni orizzontali.

2. VERIFICA C.A. DELLA SOVRASTRUTTURA SUI CASSONI CORRENTI

Nella figura seguente si riporta la carpenteria della sovrastruttura.

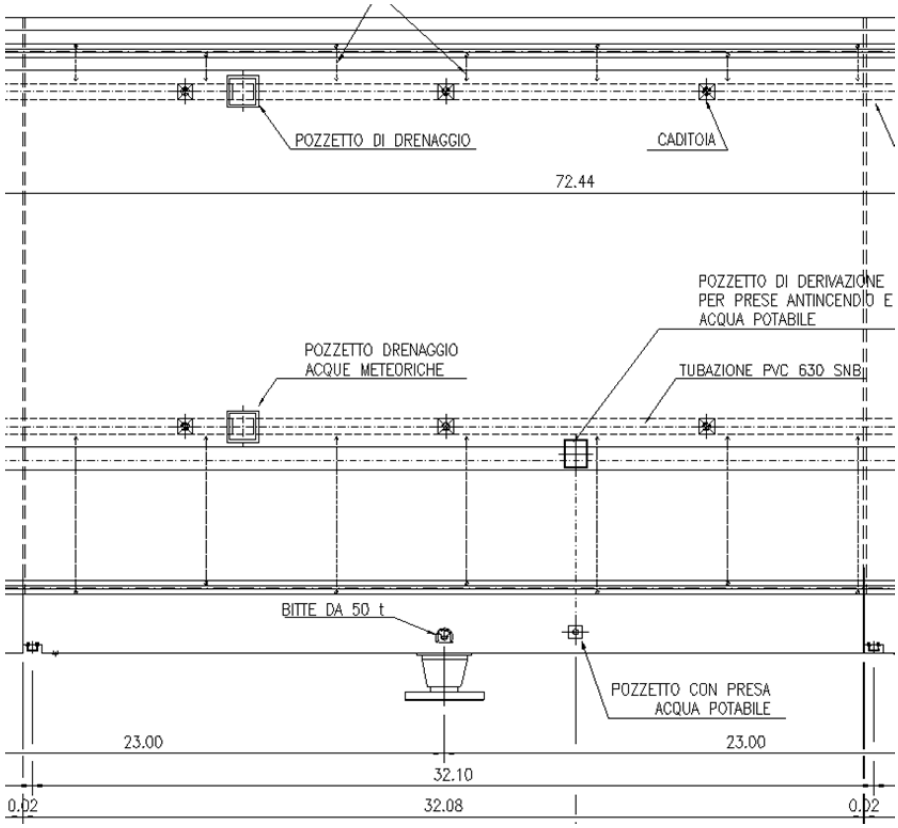


FIG. 2.1 - CARPENTERIA CONCIO TIPO SOVRASTRUTTURA CASSONI CORRENTI - PIANTA

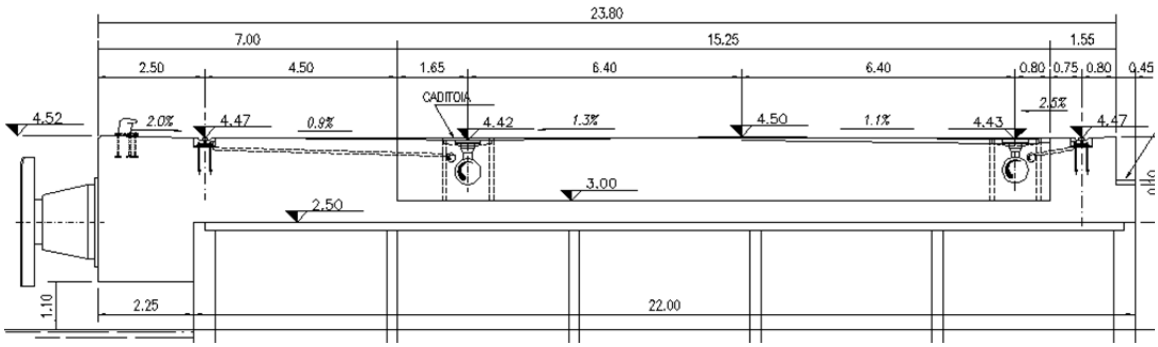


FIG. 2.2 - CARPENTERIA CONCIO TIPO SOVRASTRUTTURA CASSONI CORRENTI - SEZIONE TRASVERSALE

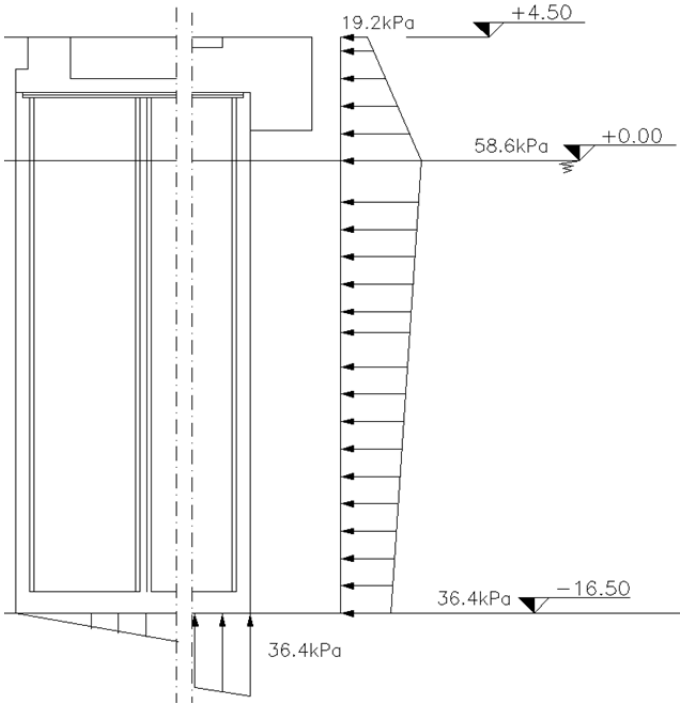


FIG. 2.3 - CASSONE CORRENTE - CRESTA D'ONDA (H=5.5M) - TR=50ANNI - CASSONE A Q.TA-16.50 - MAREA +0.00

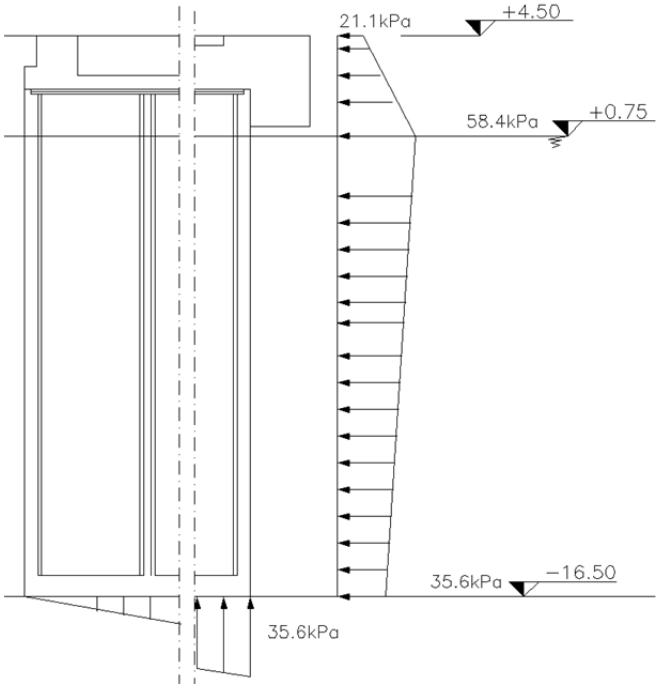


FIG. 2.4 - CASSONE CORRENTE - CRESTA D'ONDA (H=5.5M) - TR=50ANNI - CASSONE A Q.TA-16.50 - MAREA +0.75

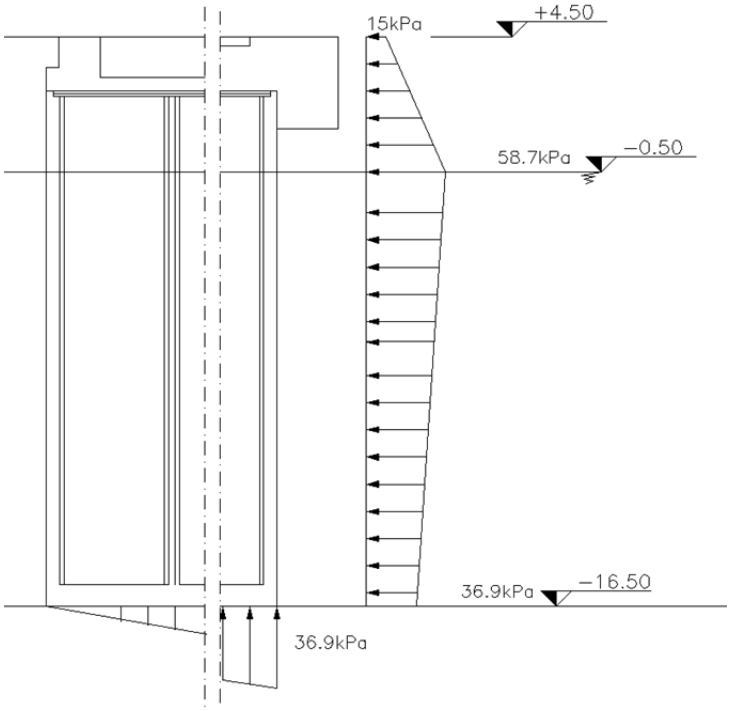


FIG. 2.5 - CASSONE CORRENTE - CRESTA D'ONDA (H=5.5M) - TR=50ANNI - CASSONE A Q.TA-16.50 - MAREA -0.50

Per il calcolo della sovrastruttura si applica per le combinazioni con cresta d'onda una sottospinta di 58.4kPa all'intradosso dello sbalzo.

Si procede al calcolo della sovrastruttura utilizzando un modello a piastra appoggiata sui setti verticali e soggetto alle azioni di progetto.

La lastra è anche vincolata orizzontalmente con delle molle che simulano la presenza dei monconi di ripresa di collegamento fra la sovrastruttura e il cassone.

Il modello è stato implementato con il codice di calcolo SAP 2000.

Nella figura seguente è rappresentato lo schema statico della sovrastruttura.

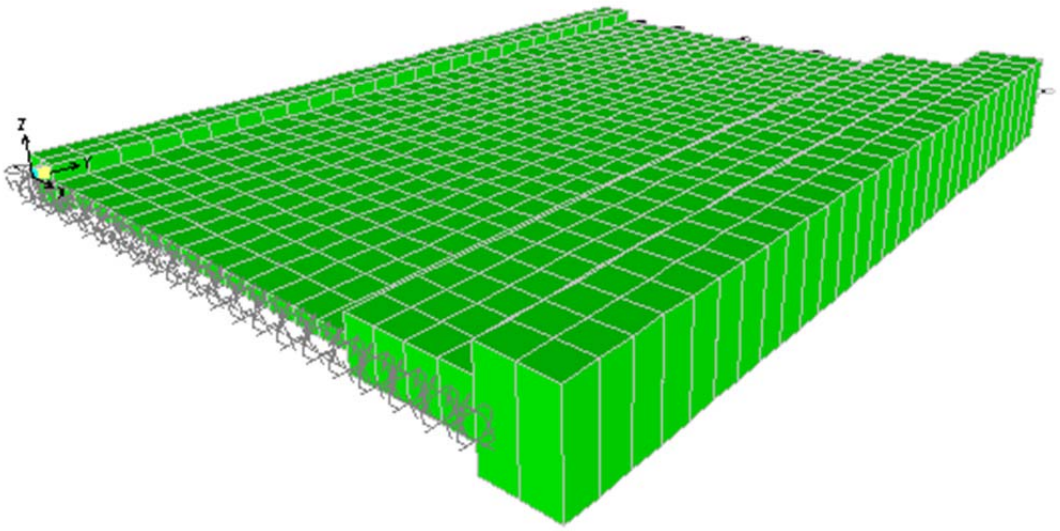


FIG. 2.6 - SCHEMA STATICO SOVRASTRUTTURA SU CASSONI CORRENTI

2.1. Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Sono state esaminate le seguenti combinazioni di carico:

COMBINAZIONI A S.L.U. - Fase di esercizio

Combinazioni Azioni verticali

a) 1.3pp+1.5ScG
b) 1.3pp+1.5ScG+1.5x0.7G(lato mare)
c) 1.3pp+1.5ScG+1.5x0.7G(lato terra)
d) 1.3pp+1.5G(lato mare)
e) 1.3pp+1.5G(lato mare)+1.5x1xScG
f) 1.3pp+1.5G(lato terra)
g) 1.3pp+1.5G(lato terra)+1.5x1xScG
h) 1.3pp+1.5dT(+)+1.5x1xScG
i) 1.3pp+1.5dT(+)+1.5x0.7xG(lato mare)+1.5x1xScG
j) 1.3pp+1.5dT(+)+1.5x0.7xG(lato terra)+1.5x1xScG
k) 1.3pp+1.5dT(-)+1.5x1xScG
l) 1.3pp+1.5dT(-)+1.5x0.7xG(lato mare)+1.5x1xScG
m) 1.3pp+1.5dT(-)+1.5x0.7xG(lato terra)+1.5x1xScG

Combinazioni Azioni orizzontali

n) 1.0pp+1.5TB
o) 1.0pp+1.5P
p) 1.0pp+1.5Cr
q) EQ(kv+/kv-)+0.8ScG+0.6G(lato mare)
r) EQ(kv+/kv-)+0.8ScG+0.6G(lato terra)

Dove:

- pp - peso proprio (azione permanente)
- ScG - sovraccarico gravante (azione variabile)
- Cr - cresta d'onda (azione variabile)
- TB - tiro bitta
- P - parabordo
- G - Gru
- dT - delta temperatura
- EQ - sisma con l'azione verticale in su (kv+) o in giù (kv-)

Essendoci presenti giunti di 2cm fra conci di sovrastruttura non si è preso in considerazione l'effetto termico dovuto a un allungamento/accorciamento. Infatti l'allungamento della sovrastruttura nel senso della lunghezza di 32m è pari a:

$\Delta l = 5°C \times (10 \times 10^{-6}) \times 32 = 0.0016m = 1.6mm$

Le combinazioni più sfavorevoli per quanto riguarda gli stati limite ultimi sono elencati nella seguente tabella.

Di seguito si riporta uno schema identificativo della sovrastruttura:

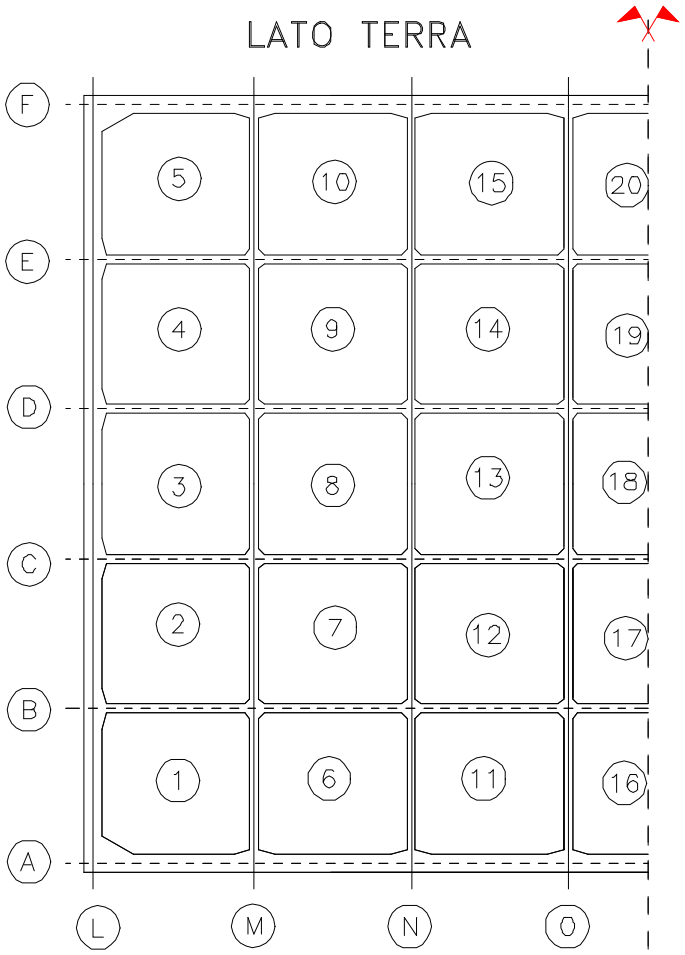


FIG. 2.7 - SCHEMA IDENTIFICATIVO SOVRASTRUTTURA SU CASSONI CORRENTI

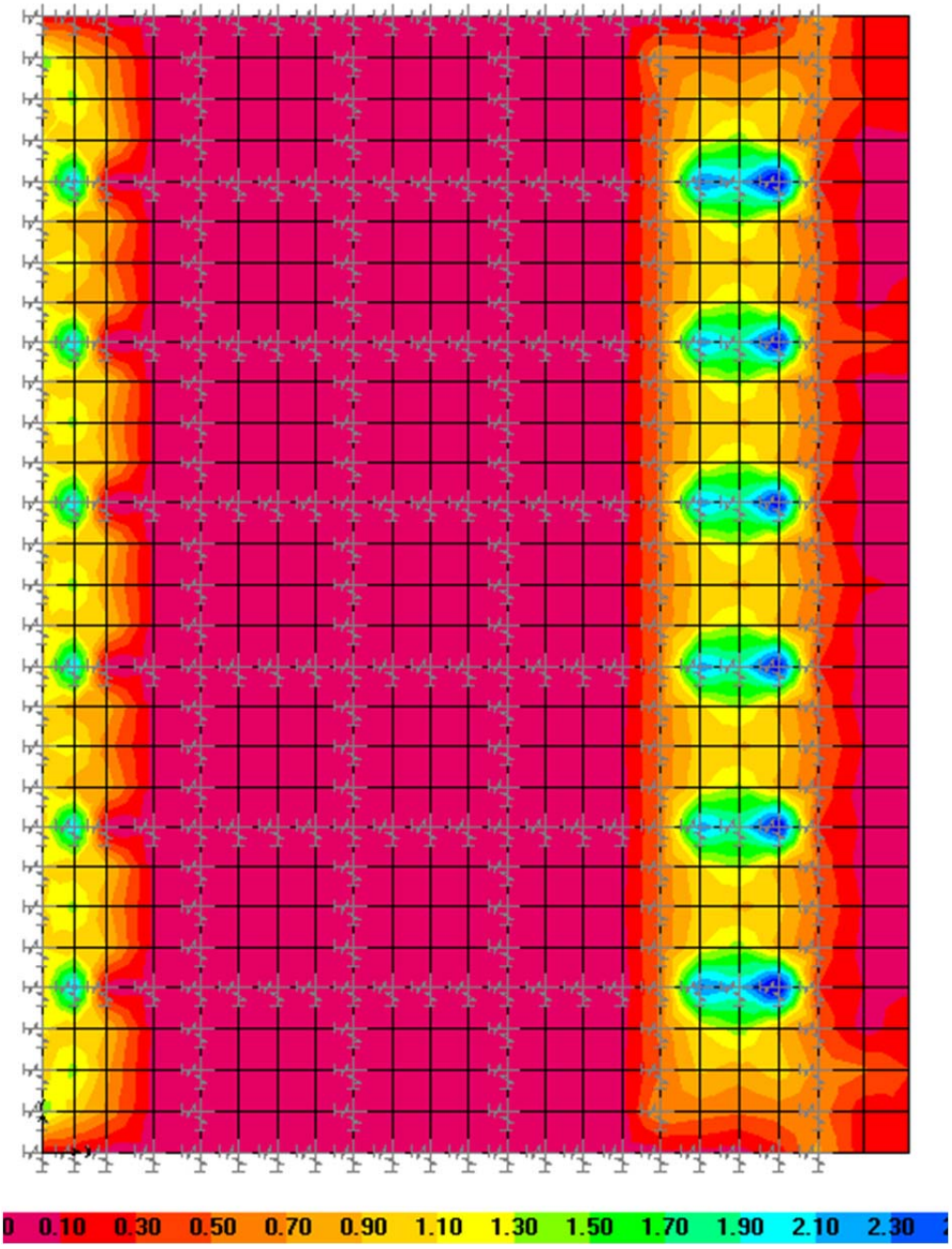


FIG. 2.8 - INVILUPPO M22_MAX - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

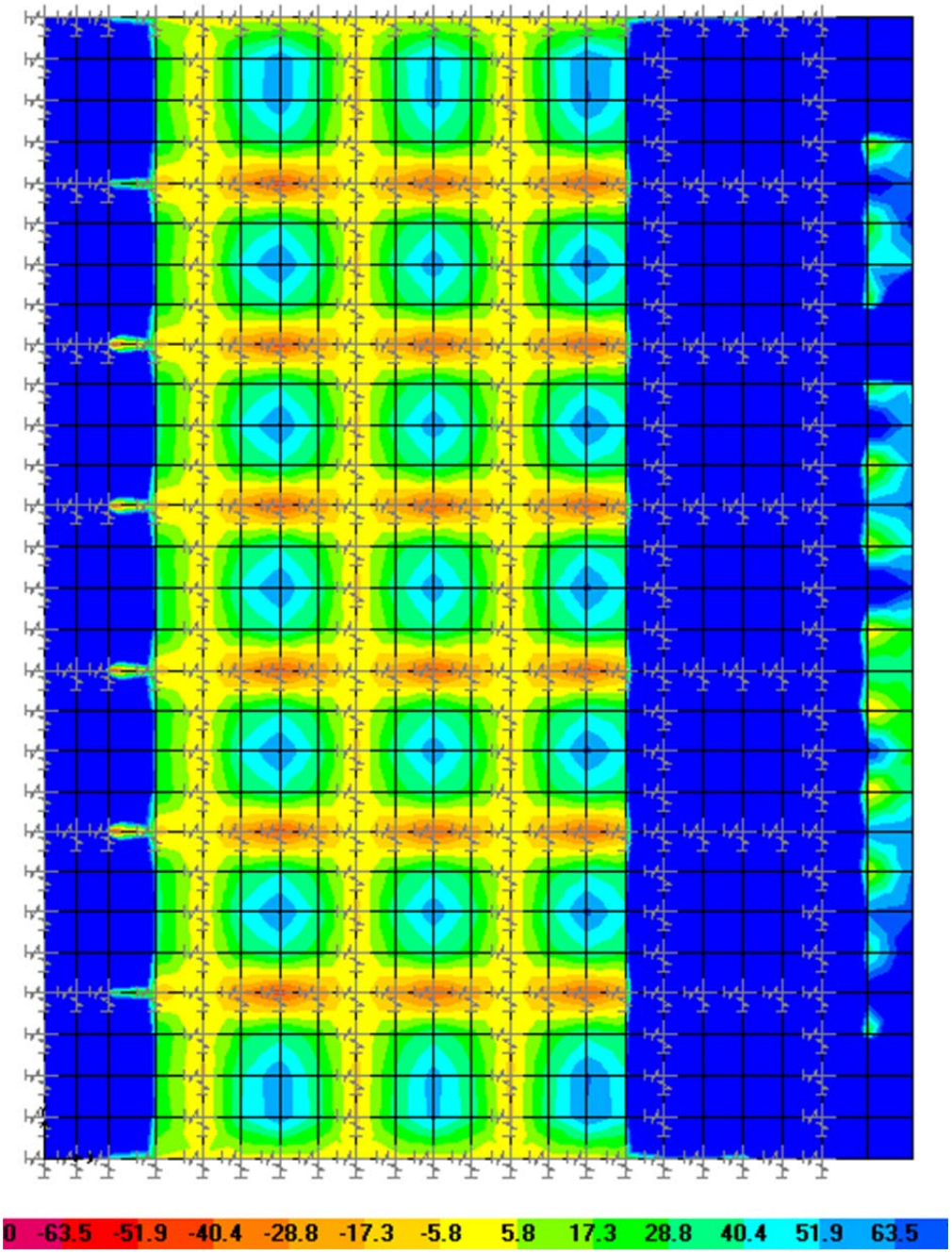


FIG. 2.9 - INVILUPPO M22_MAX - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

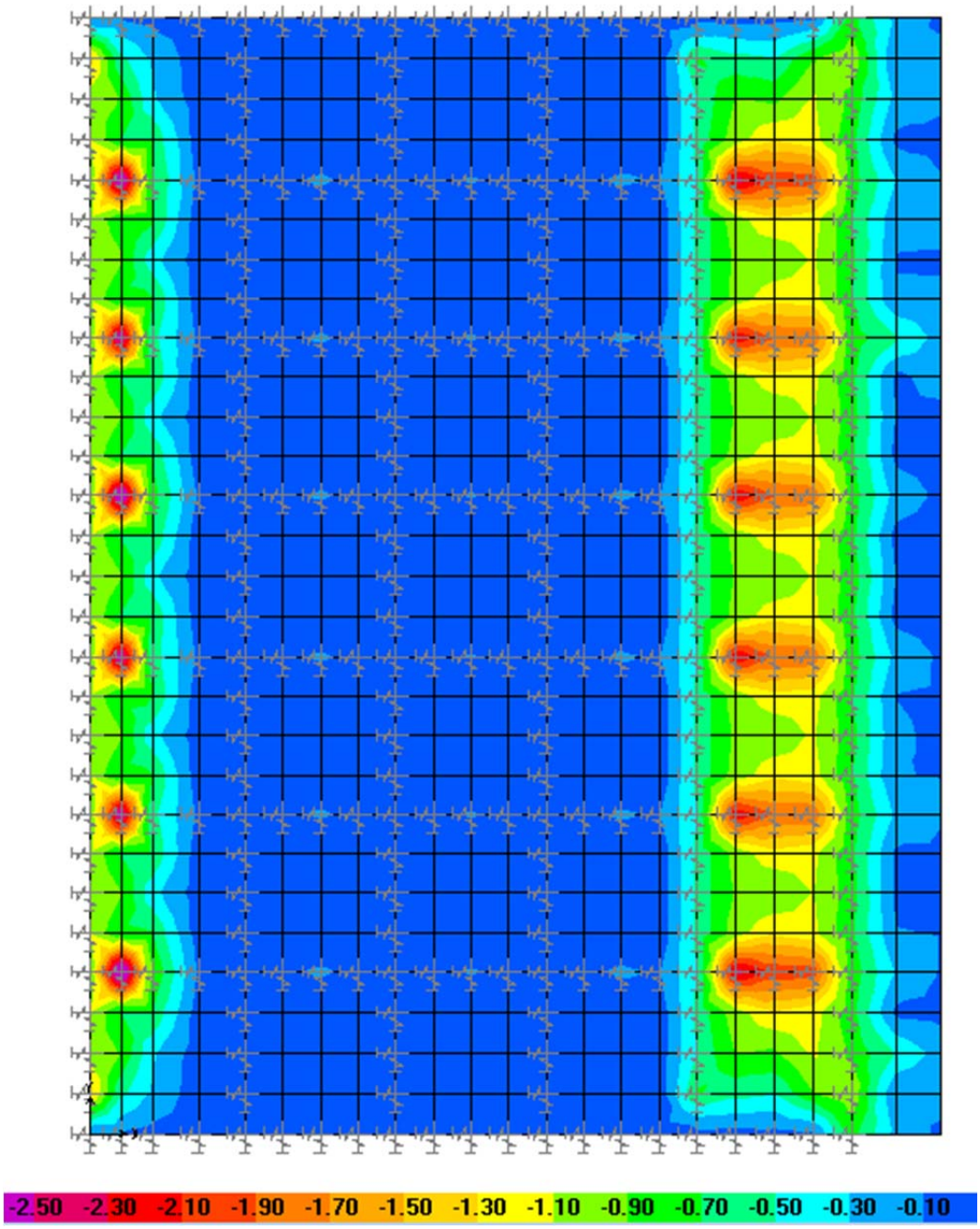


FIG. 2.10 - INVILUPPO M22_MIN - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

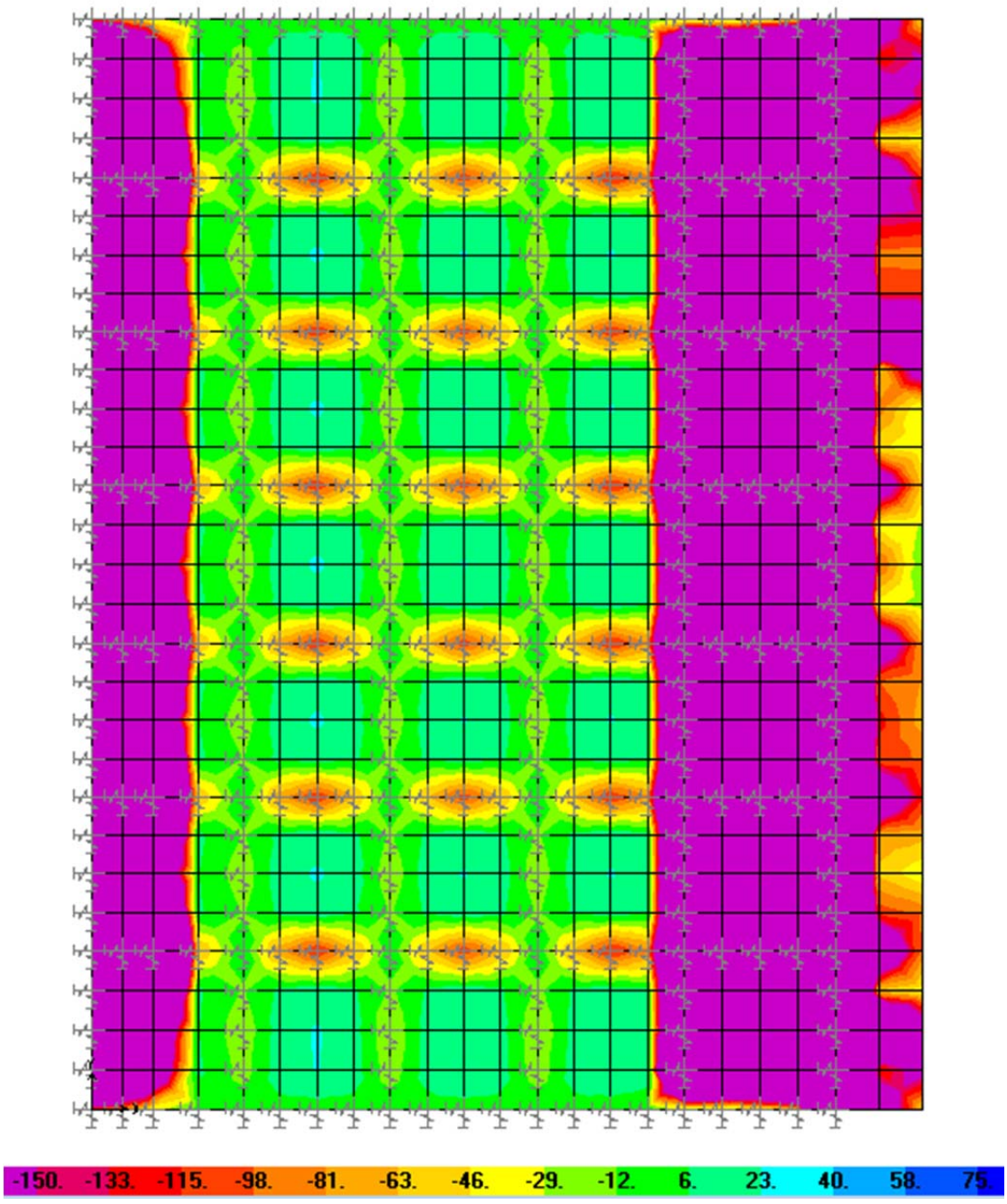


FIG. 2.11 - INVILUPPO M22_MIN - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

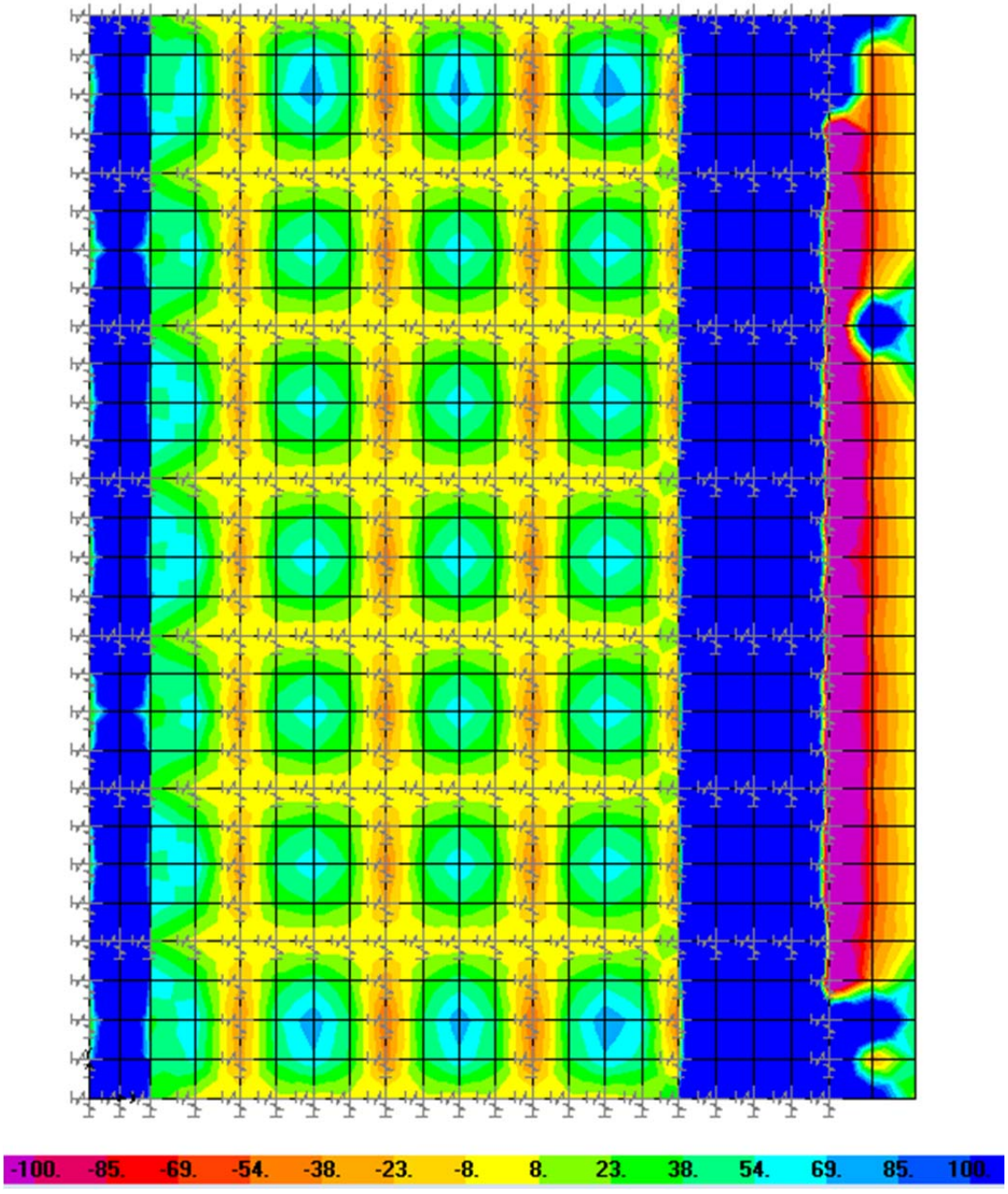


FIG. 2.12 - INVILUPPO M11_MAX - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

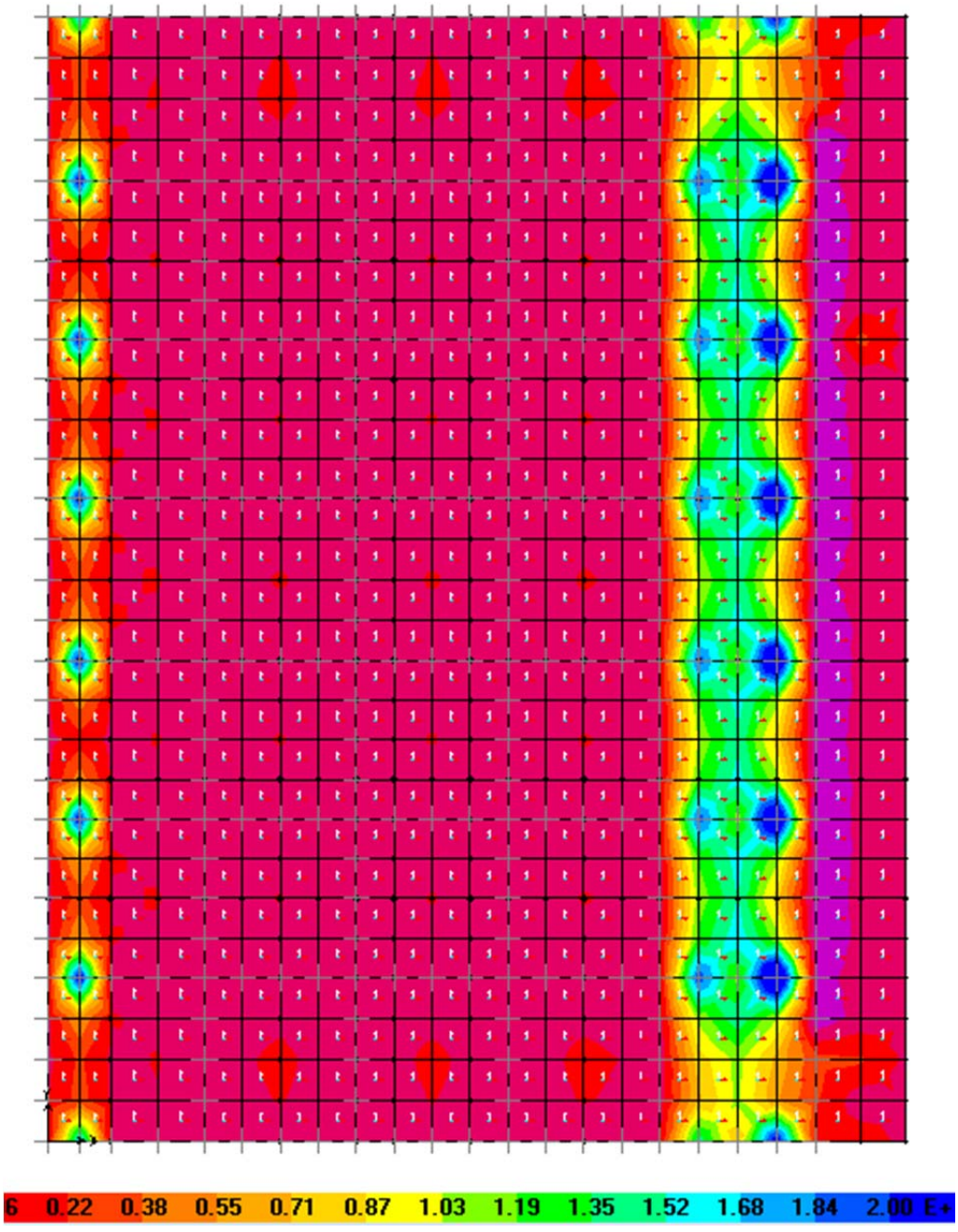


FIG. 2.13 - INVILUPPO M11_MAX - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

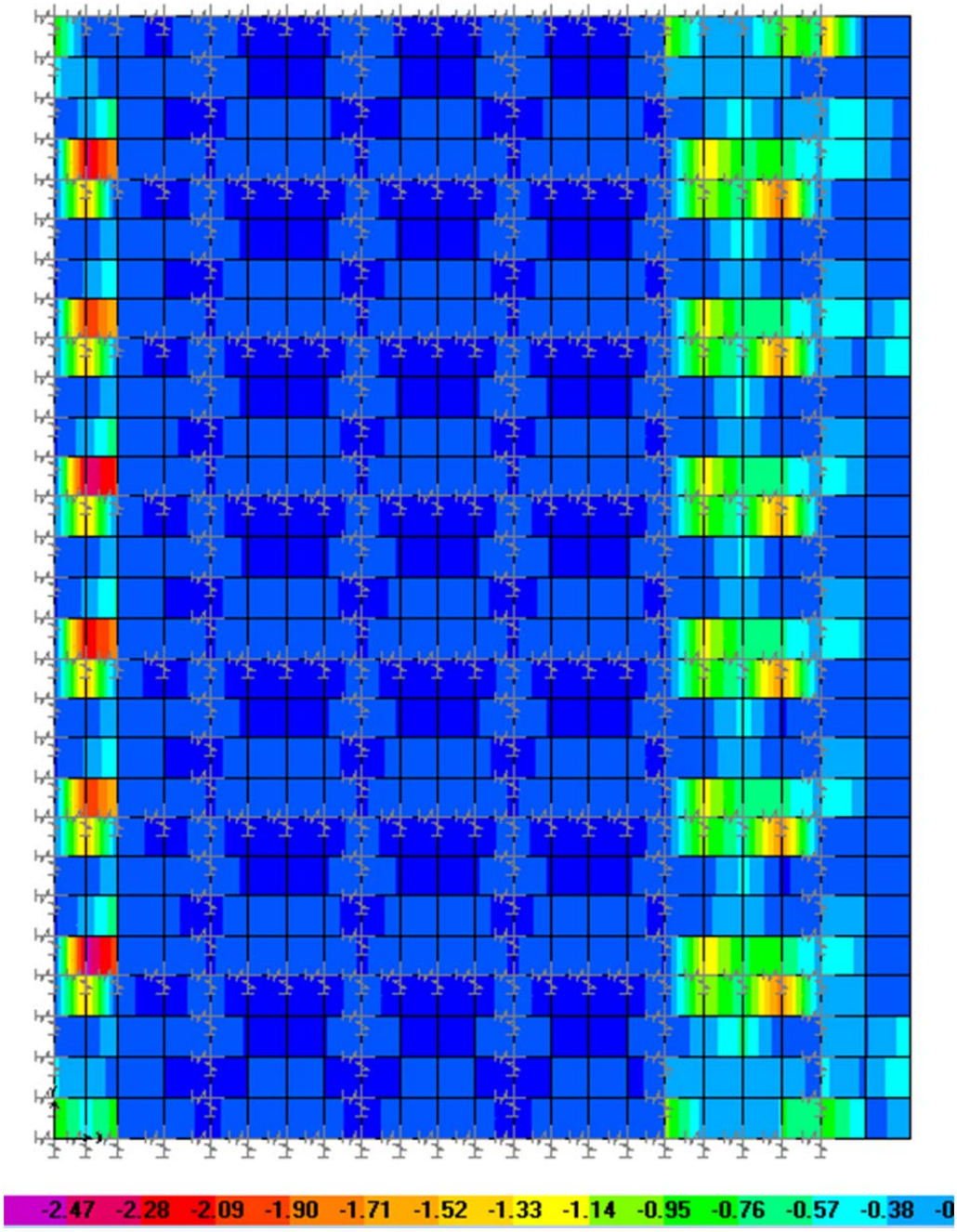


FIG. 2.14 - INVILUPPO V23_MIN - CASSONI CORRENTI [KN/M]

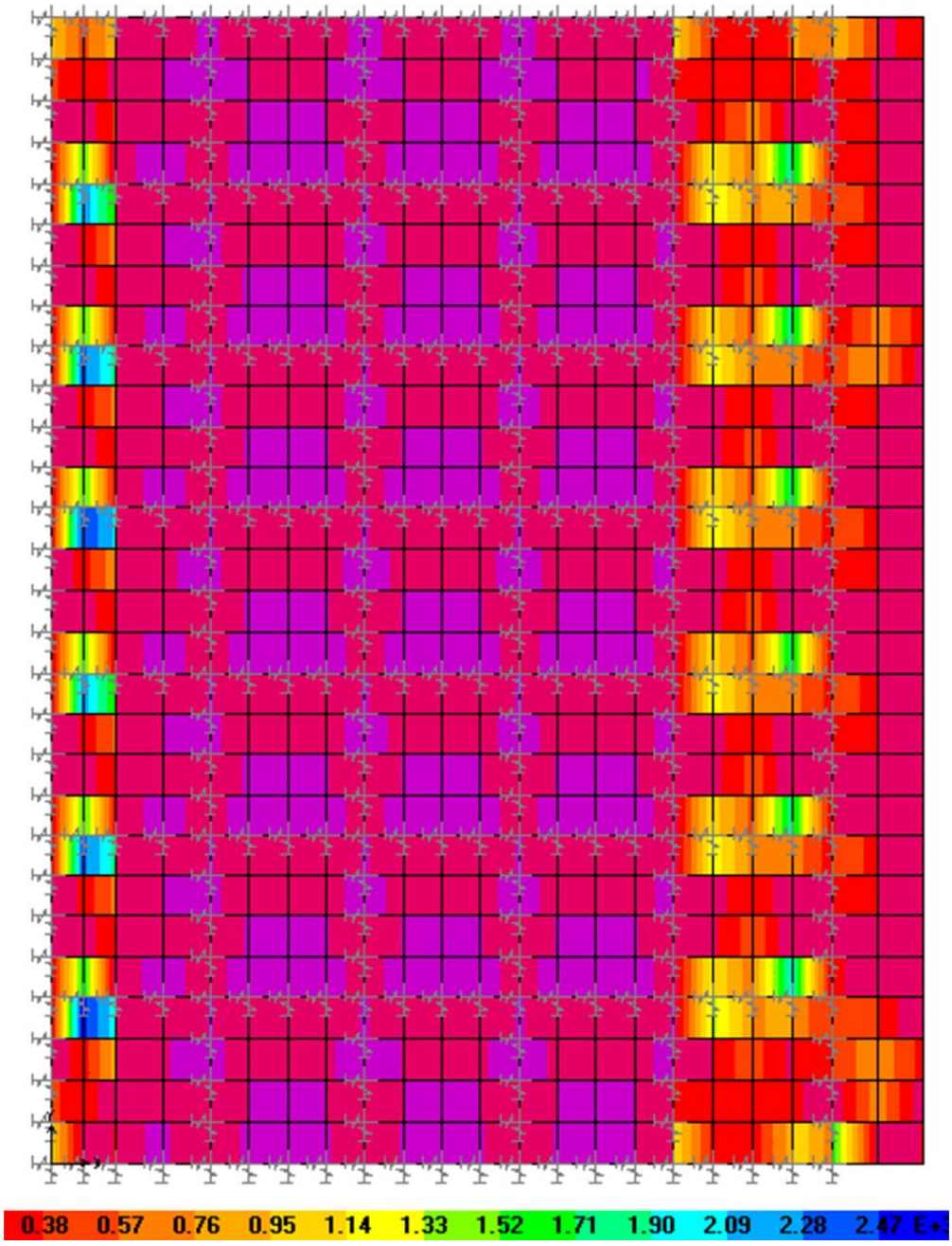


FIG. 2.15 - INVILUPPO V23_MAX - CASSONI CORRENTI [KN/M]

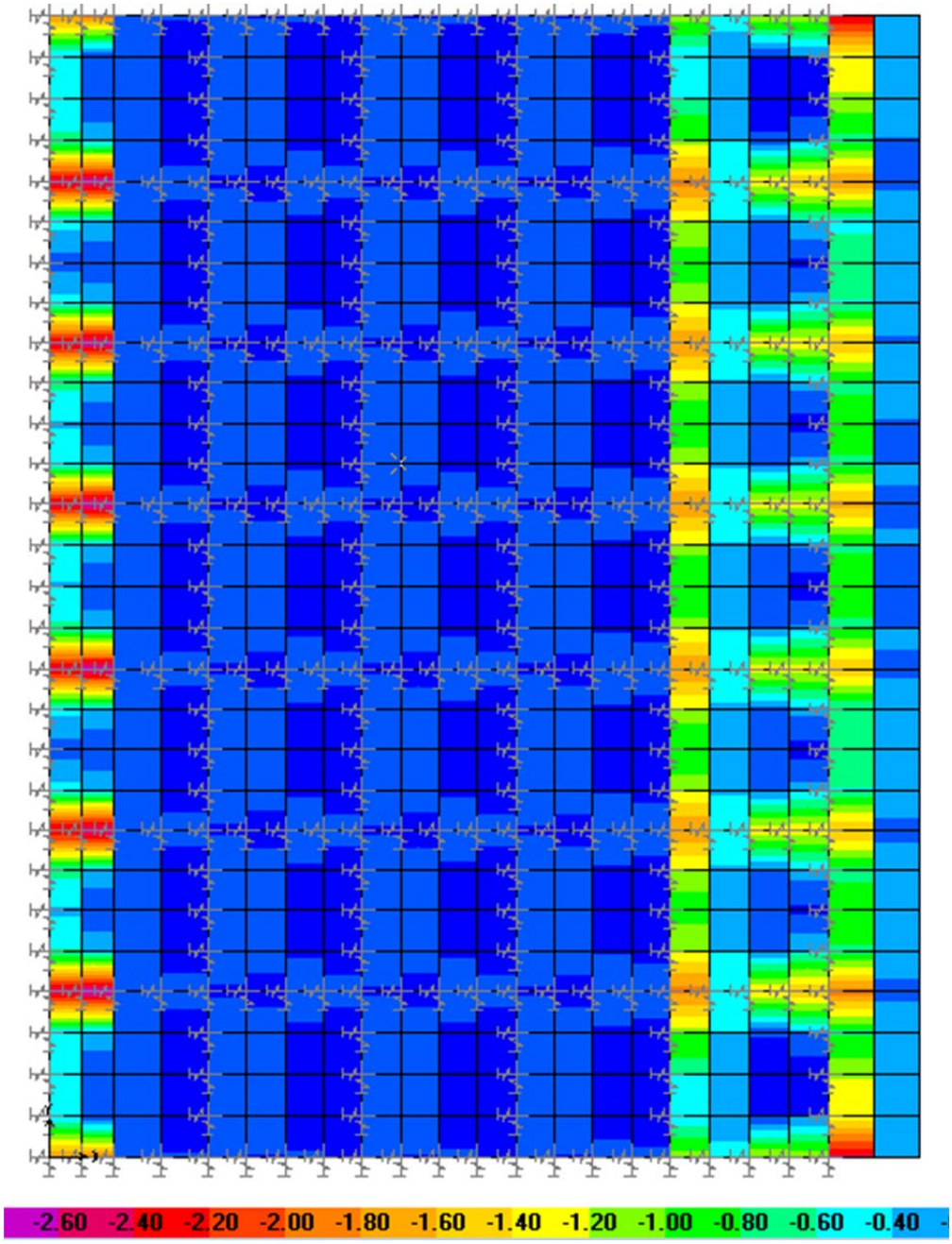


FIG. 2.16 - INVILUPPO V13_MIN - CASSONI CORRENTI [KN/M]

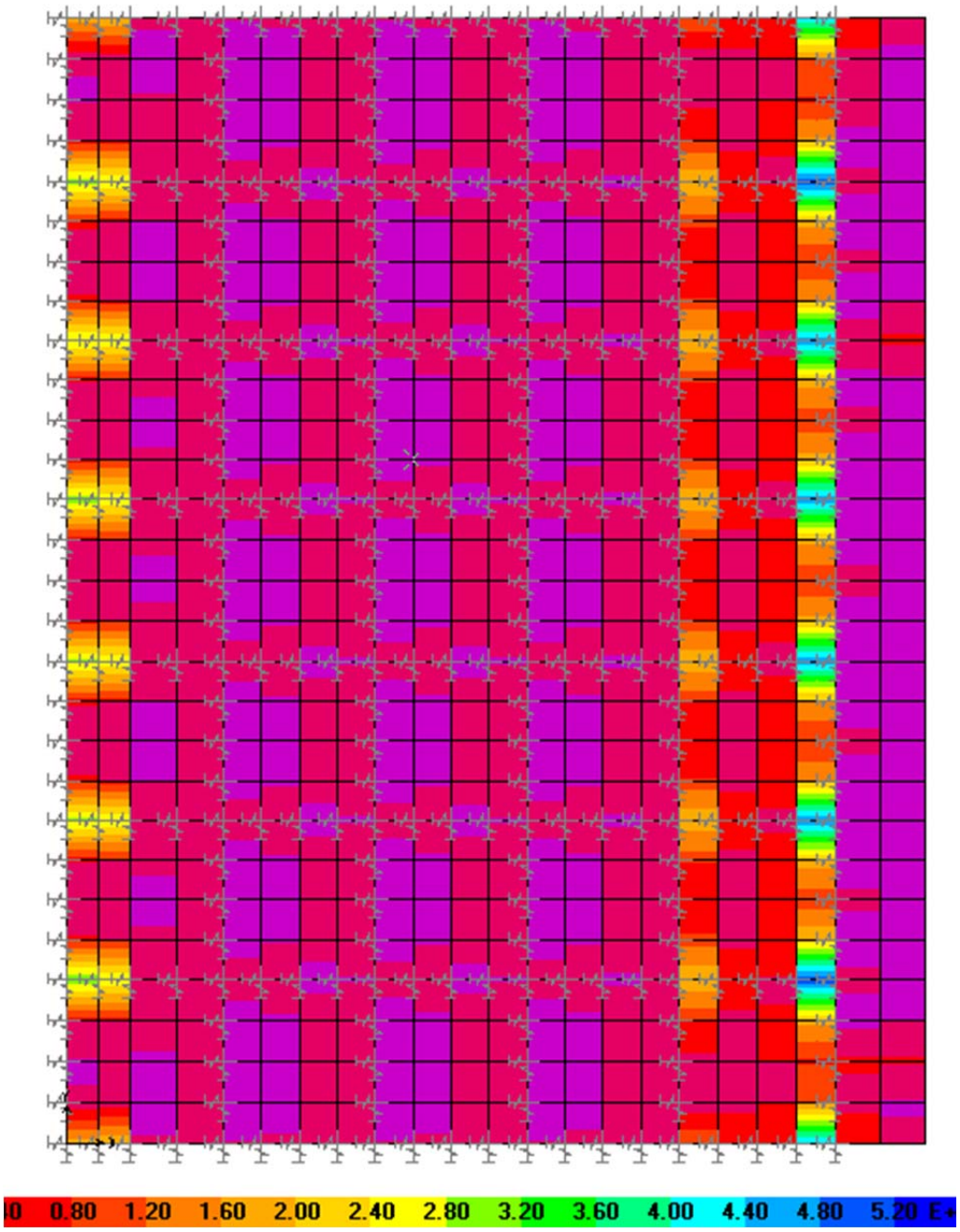


FIG. 2.17 - INVILUPPO V13_MAX - CASSONI CORRENTI [KN/M]

Sezione	Sollecitazioni			Sezione		Armatura				Copriferro netto		Momento Resist.	FS
	Msd		Nsd	B	H	Inferiore		Superiore		Inf	Sup		
		[kNm]	[kN]	[m]	[m]	Tipo1	Tipo2	Tipo1	Tipo2	[cm]	[cm]	Mrd	M_{rd}/M_{sd}
Sbalzo lato mare trasv. corrisp. Bitta - Asse A (M11)	M-	-1500	+150	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	-2680	1.79
	M+	+300	+150	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	+410	1.37
Trave gru lato mare senso trasversale - Asse A (M11)	M-	-1300		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	-1429	1.10
	M+	+1300		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	+1429	1.10
Sbalzo lato mare senso long. corrente - Assi M-N-O (M22)	M+	+430	+435	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	+1119	2.60
	M-	-600	+435	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	-1119	1.87
Trave gru lato mare senso long. Assi M-N-O (M22)	M+	+2100		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto							
	M-	-2100		1.0	2.00								
Soletta Celle 2-3-4-5 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+75		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	+118	1.57
	M-	-130		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø18	5	5	-218	1.68
Sol. Cell. 7-8-9-10/12-13-14-15 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+60		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	+118	1.97
	M-	-105		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø16	5	5	-198	1.89
Soletta Celle da 2-7-12-17/3-8-13-18/4-9-14-19/5-10-15-20 Assi M-N-O (M22)	M+	+60		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø16		6.8	6.8	+115	1.92
	M-	-115		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø16	2.5Ø18	6.8	6.8	-196	1.70
Trave gru lato terra senso longitudinale (M22)	M+	+1800		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto							
	M-	-2200		1.0	2.00								
NB: I momenti positivi tendono le fibre inferiori, i momenti negativi tendono le fibre superiori. N positivo trazione. N negativo compressione													

TAB. 2.1 - SOVRASTRUTTURA CASSONI CORRENTI - VERIFICHE CEMENTO ARMATO AGLI SLU

Orditura a flessione trave (SLU) - Gru lato mare

La trave gru lato mare è inglobata nella sovrastruttura. La larghezza della scassa per la trave gru è pari a 500mm

B= 1.5m, H=1.7m (altezza al di sotto la rotaia)/2m (altezza da +4.5 a +2.5 circa)

Si predispone:

orditura superiore: 6Φ20 ai lati della scassa della trave gru (tre a lato) + 9Φ20 sotto la scassa

orditura inferiore: uno strato con 12Φ22

Di seguito si riportano le verifiche agli SLU:

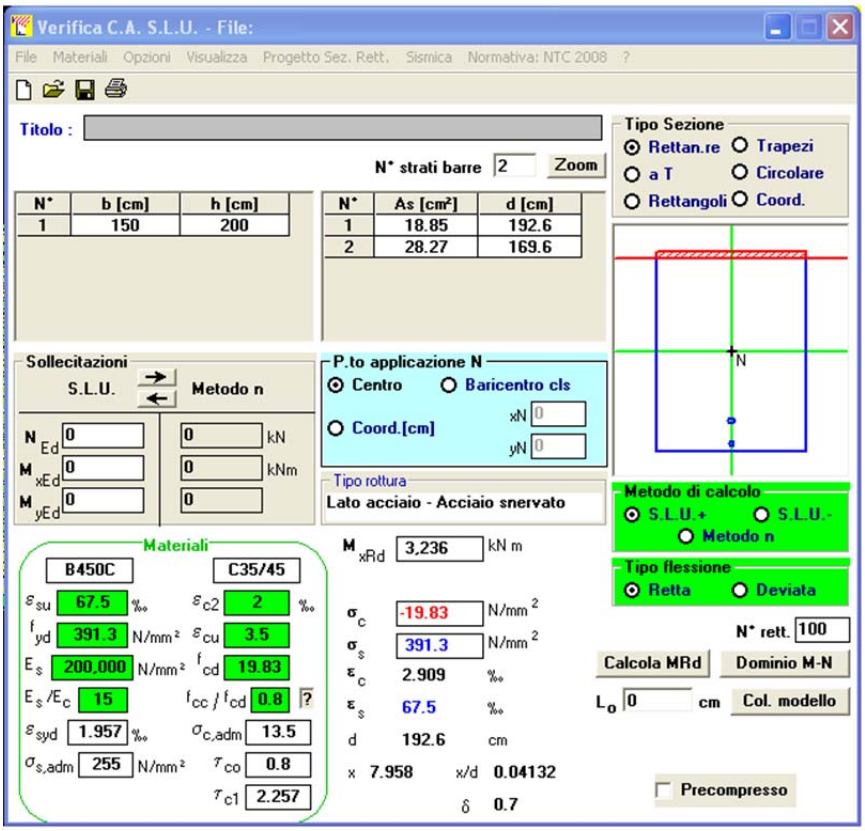


FIG. 2.18 - TRAVE GRU LATO MARE - VERIFICA ORDITURA SUPERIORE - VERIFICHE CEMENTO ARMATO AGLI SLU

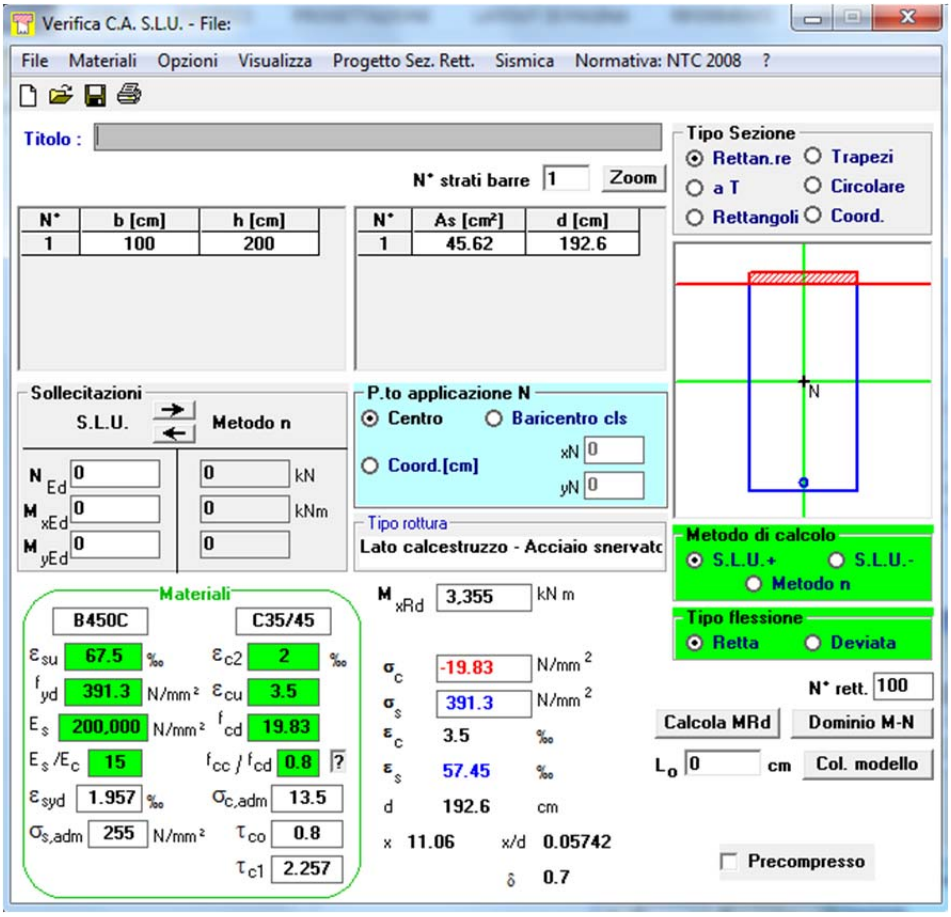


FIG. 2.19 - TRAVE GRU LATO MARE - VERIFICA ORDITURA INFERIORE - VERIFICHE CEMENTO ARMATO AGLI SLU

M_{sd}=-2100kNm/m x1.5m =-3150kNm (fibre superiori), M_{rd}=3236kNm

M_{sd}=+2100kNm/m x 1.5m =+3150kNm (fibre inferiori), M_{rd}=3355kNm

<u>Orditura a flessione trave - Gru lato terra</u>

Si predispone la stessa orditura come per la trave lato mare:

M_{sd}=-2100kNm/m x 1.5=-3150kNm (fibre superiori), M_{rd}=-3236kNm

M_{sd}=+1800kNm/m x 1.5=+2700kNm (fibre inferiori), M_{rd}=3355kNm

Orditura a taglio - Trave Gru

	Vsd	H	d1	A1	d2	A2	Crdc	K	fi1	fck	Fcd	σ_c	k1	vmin	Vrd,c	Vrd,cmin	**VRD**
	[KN]	[mm]	[mm]	[mmq]	[mm]	[mmq]									(kN)	(kN)	**(kN)**
Trave gru	**2100**	1700	1621	1570	79	1570	0.12	1.31	0.0008	35	19.8	0	0.15	0.31	433	605	**605**

Si dispone staffatura verticale:

nel senso longitudinale 4 braccia del ϕ14 a passo 400mm

	Orditura a taglio									acciaio	cls		
	p s(mm)	Asw	cot(teta)	cot(alfa)	sen(alfa)	z=0.9d (mm)	fywd	alfacw	v1	Vrd,s (kN)	Vrd,max (kN)	Vres [kN]	T/Vres
Trave gru lato terra	400	616	2.5	0	1.00	1729	391.0	1	0.5	2603	6101	2603	1.30

Orditura a taglio - Sbalzo lato mare

Si dispone staffatura verticale:

nel senso trasversale 2.5 braccia del ϕ24 a passo 400mm.

Lo sbalzo lato mare è pari a 2.25m per cui con un passo di 400mm la resistenza a taglio è pari a

6(file di staffe) x 2.5 (numero di staffe) x 452mm^2(Φ24mm) x 391N/mm^2=2651kN > 1300kN

Orditura a taglio - Soletta

	Vsd	H	d1	A1	d2	A2	Crdc	k	fi1	fck	fcd	σ_c	k1	vmin	Vrd,c	Vrd,cmin	VRD
	[KN]	[mm]	[mm]	[mmq]	[mm]	[mmq]									(kN)	(kN)	(kN)
Zona riempimento trasversale	170	500	441	635	59	1138	0.12	1.67	0.0014	35	19.8	0	0.15	0.45	152	198	198
Zona riempimento longitudinale	140	500	423	635	83	1138	0.12	1.69	0.0015	35	19.8	0	0.15	0.45	149	192	192

La soletta non ha bisogno di orditura a taglio specifico.

2.2. Calcolo e verifica dell'armatura in prossimità della bitta

Il tiro bitta è applicato a q.ta +5.10 l.m.m. ed è pari a 500 kN per la banchina rinfuse e petroli mentre per la banchina container, cassone A1, è pari a 1500kN.

2.2.1. Verifica armatura di ancoraggio bitta da 1500kN

Il tiro della bitta viene affidato ad un'armatura di ancoraggio costituita dai ferri elencati nella seguente tabella. Tali ferri (per ciascuno dei quali si riporta l'angolo di inclinazione nel piano orizzontale e verticale e l'area proiettata in direzione del tiro bitta) servono a condurre la forza di trazione all'armatura del solettone. Nella tabella seguente sono state calcolate le aree proiettate nelle varie direzioni di tiro considerate.

N° ferri	N° bracc	ϕ [mm	α_{orizz} °	α_{vert} °	Area proiettata [mm^2] direzione del tiro			
					90°/-20°	90°/+70°	180°/0°	180°/+70°
5	2	24	0	90	0	4520	0	4520
2	2	30	90	0	0	0	2828	967
1	2	30	30	10	1133	413	348	121
1	2	30	30	6.9	1142	416	351	120
3	2	30	35	20	3068	1117	1143	391
2	2	30	40	23	1874	682	837	286
1	2	30	40	20	956	348	427	146
Totale area proiettata					**8173**	**7496**	**5934**	**6551**

La forza di trazione di calcolo è pari a:

$N_{sd} = 1.5 \times 1500 = 2250$ kN

L'area resistente necessaria vale:

$A_s = N_{rd} / f_{yd} = 2250 \times 10^3 / 391.3 = 5750$ mm^2

L'area resistente nelle varie direzioni di tiro è verificata con fattore di sicurezza di 1.03.

2.2.2. Verifica armatura di ancoraggio bitta da 500kN

Il tiro della bitta viene affidato ad un'armatura di ancoraggio costituita dai ferri elencati nella seguente tabella. Tali ferri (per ciascuno dei quali si riporta l'angolo di inclinazione nel piano orizzontale e verticale e l'area proiettata in direzione del tiro bitta) servono a condurre la forza di trazione all'armatura del solettone. Nella tabella seguente sono state calcolate le aree proiettate nelle varie direzioni di tiro considerate.

N° ferri	N° bracc	ϕ [mm	α_{orizz} °	α_{vert} °	Area proiettata [mm^2] direzione del tiro			
					90°/-20°	90°/+70°	180°/0°	180°/+70°
5	2	24	0	90	0	4520	0	4520
2	2	30	90	0	0	0	2828	967
3	2	30	35	20	3068	1117	1143	391
Totale area proiettata					**3068**	**5637**	**3971**	**5878**

La forza di trazione di calcolo è pari a:

$N_{sd} = 1.5 \times 500 = 750$ kN

L'area resistente necessaria vale:

$A_s = N_{rd} / f_{yd} = 750x10^3 / 391.3 = 1917$ mm^2

L'area resistente nelle varie direzioni di tiro è verificata con fattore di sicurezza di 1.60.

2.2.3. Verifica dell'orditura della sovrastruttura in zona bitta da 1500kN

Il tiro della bitta viene trasmesso ai ferri del solettone dall'armatura di ancoraggio e viene affidato interamente ad un'armatura disposta nella zona di influenza della bitta stessa. Considerando la diffusione del tiro attraverso il solettone, tale zona si considera estesa per circa 1.30 m per parte rispetto all'asse della bitta.

Si adotta pertanto una armatura costituita da 12Φ26 (As = 6372mm^2) disposta intorno alla bitta con passo di 200 mm.

La forza di trazione di calcolo vale:

N_{sd} = 1.5 x 1500 = 2250 kN

La forza di trazione resistente vale:

$N_{rd} = A_s \times f_{yd}$ = 6372 x 391.3 / 10^3 = 2493 kN

La verifica è soddisfatta e il fattore di sicurezza vale 1.11.

2.2.4. Verifica dell'orditura della sovrastruttura in zona bitta da 500kN

Il tiro della bitta viene trasmesso ai ferri del solettone dall'armatura di ancoraggio e viene affidato interamente ad un'armatura disposta nella zona di influenza della bitta stessa. Considerando la diffusione del tiro attraverso il solettone, tale zona si considera estesa per circa 1.30 m per parte rispetto all'asse della bitta.

Si adotta pertanto una armatura costituita da 6Φ24 (As = 2712mm^2) disposta intorno alla bitta con passo di 200 mm.

La forza di trazione di calcolo vale:

N_{sd} = 1.5 x 500 = 750 kN

La forza di trazione resistente vale:

$N_{rd} = A_s \times f_{yd}$ = 2712 x 391.3 / 10^3 = 1061 kN

La verifica è soddisfatta e il fattore di sicurezza vale 1.41.

2.2.5. Verifica armatura pareti esterne sovrastruttura bitta da 1500kN

I conci di sovrastruttura vengono schematizzati come una trave rigida in cui i tiri delle bitte vengono contrastati dalla reazione distribuita sul cassone. Le bitte sono distribuite in posizioni diverse nei vari conci per cui si esegue la verifica per il caso della bitta in asse alla sovrastruttura e con la bitta a distanza 2m dal filo esterno della sovrastruttura che ha una lunghezza teorica 22.08m.

Il tiro bitta è pari a 1500kN.

Verifica a stato limite ultimo

Si considera un tiro bitta pari a F = 1.5 x 1500 = 2250 kN.

	M [kNm] lato mare	M[kNm] lato terra	V[kNm]
Bitta in asse sovrastruttura	6188	0	1125
Bitta 2.0m dal bordo sovrast.	677	4214	1589

Verifica a momento mare:

M_{sd} = 6188 kNm

B = 2.0 m H = 5.55 m H1 = 5.465 m H2 = 0.085 m

AF1 = 3048 mm^2 (8 Φ 22)

AF2 = 2281 mm^2 (6 Φ 22)

M_{rd} = 6467 kNm > M_{sd}

Verifica a momento terra:

M_{sd} = 4858 kNm

B = 2.0 m H = 5.55 m H1 = 5.465 m H2 = 0.085 m

AF1 = 2281 mm^2 (6 Φ 22)

AF2 = 6467 mm^2 (8 Φ 22)

M_{rd} = 4858 kNm > M_{sd}

Verifica a taglio:

V_{sd}= 1589 kN

La massima forza che può essere sopportata da un elemento senza specifica orditura a taglio risulta:

	Nsd	H	d1	A1	d2	A2	T	Crdc	k	fi1	fck	fcd	σ_c	k1	vmin	Vrd,c	Vrd,cmin	VRD
	[KN]	[mm]	[mm]	[mmq]	[mm]	[mmq]	(kN/m)									(kN)	(kN)	(kN)
sovrastrutturra	0	5550	5465	3048	85	2281	1589	0.12	1.19	0.0006	35	19.8	0	0.15	0.27	976	1471	1471

Si prevede l'utilizzo dell'orditura trasversale come orditura a taglio, fi24 e fi20 alternati con un passo di 200mm.

	Orditura a taglio									acciaio	cls		
	p s(mm)	Asw	cot(teta)	cot(alfa)	sen(alfa)	z=0.9d (mm)	fywd	alfacw	v1	Vrd,s (kN)	Vrd,max (kN)	Vres [kN]	T/Vres
sovrastruttura	200	766	1	0	1.00	4,918.5	391.0	1	1	7,366	25,168	7,366	4.64

Verifica a stato limite di esercizio - combinazione frequente

Si considera un tiro bitta pari a F = 1.0 x 0.2 x 1500 = 300 kN.

Il valore limite di apertura delle fessure è stato assunto pari a 0.20 mm

Verifica a momento mare:

M = 825 kNm

B = 2.00 m H = 5.55 m H1 = 5.465 m H2 = 0.085 m

Passo 200mm Copriferro 74mm

AF1 = 3048 mm^2 (8 Φ 22)

AF2 = 2281 mm^2 (5 Φ 22)

σ_c = 0.3 N/mm^2 σ_s = 50 N/mm^2 w = 0.059 mm

Verifica a momento interno:

M = 562 kNm

B = 2.00 m H = 5.55 m H1 = 5.465 m H2 = 0.085 m

Passo 200mm Copriferro 74mm

AF1 = 2281 mm^2 (5 Φ 22)

AF2 = 3048 mm^2 (8 Φ 22)

σ_c = 0.2 N/mm^2 σ_s = 45 N/mm^2 w = 0.063 mm

2.2.6. Verifica armatura pareti esterne sovrastruttura bitta da 500kN

I conci di sovrastruttura vengono schematizzati come una trave rigida in cui i tiri delle bitte vengono contrastati dalla reazione distribuita sul cassone. Le bitte sono distribuite in posizioni diverse nei vari conci, per cui si esegue la verifica per il caso della bitta in

asse alla sovrastruttura e con la bitta a distanza 2m dal filo esterno della sovrastruttura che ha una lunghezza teorica 32.08m.

Il tiro bitta è pari a 500kN.

Verifica a stato limite ultimo

Si considera un tiro bitta pari a F = 1.5 x 500 = 750 kN.

	M [kNm] lato mare	M[kNm] lato terra	V[kNm]
Bitta in asse sovrastruttura	3000	0	375
Bitta 2.0m dal bordo sovrast.	165	2491	588

Verifica a momento mare/terra:

M_{sd} = 3000 kNm

B = 2.0 m H = 7.00 m H1 = 6.914 m H2 = 0.086 m

AF1 = 1570 mm^2 (5 Φ 20)

AF2 = 1570 mm^2 (5 Φ 20)

M_{rd} = 4232 kNm > M_{sd}

Verifica a taglio:

V_{sd}= 588 kN,

La massima forza che può essere sopportata da un elemento senza specifica orditura a taglio risulta:

	Nsd	H	d1	A1	d2	A2	T	Crdc	k	fi1	fck	fcd	σ_c	k1	vmin	Vrd,c	Vrd,cmin	VRD
	[KN]	[mm]	[mm]	[mmq]	[mm]	[mmq]	(kN/m)									(kN)	(kN)	(kN)
sovrastrutturra	0	7000	6914	1570	86	1570	588	0.12	1.17	0.0002	35	19.8	0	0.15	0.26	899	1812	1812

Pertanto non è necessario predisporre una specifica orditura a taglio.

Verifica a stato limite di esercizio - combinazione frequente

Si considera un tiro bitta pari a F = 1.0 x 0.2 x 500 = 100 kN.

Il valore limite di apertura delle fessure è stato assunto pari a 0.20 mm

Verifica a momento massimo (orditura simmetrica lato mare/terra):

M = 400 kNm

B = 2.00 m H = 7.00 m H1 = 6.914 m H2 = 0.086 m

AF1 = 1570 mm^2 (5 Φ 20)

AF2 = 1570 mm^2 (5 Φ 20)

Passo 200mm Copriferro 74mm

σ_c = 0.1 N/mm^2 σ_s = 37 N/mm^2 w = 0.058 mm

2.3. Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Si verifica la fessurazione per le combinazioni di servizio frequenti e rare in conformità con la normativa vigente.

Le combinazioni più sfavorevoli per quanto riguarda gli stati limite di esercizio sono riportate nella seguente tabella.

COMBINAZIONI A S.L.E. (frequenti) - Fase di esercizio

Combinazioni Azioni verticali

a) 1.0pp+0.9ScG
b) 1.0pp+0.9ScG+0.6G(lato mare)
c) 1.0pp+0.9ScG+0.6G(lato terra)
d) 1.0pp+0.7G(lato mare)
e) 1.0pp+0.7G(lato mare)+0.8ScG
f) 1.0pp+0.7G(lato terra)
g) 1.0pp+0.7G(lato terra)+0.8ScG
h) 1.0pp+0.5dT(+)
i) 1.0pp+0.5dT(-)

Combinazioni Azioni orizzontali

j) 1.0pp+0.2TB
k) 1.0pp+0.2P
l) 1.0pp+0.2Cr

COMBINAZIONI A S.L.E. (rare) - Fase di esercizio

Combinazioni Azioni verticali

a) 1.0pp+1.0ScG
b) 1.0pp+1.0ScG+0.7G(lato mare)
c) 1.0pp+1.0ScG+0.7G(lato terra)
d) 1.0pp+1.0G(lato mare)
e) 1.0pp+1.0G(lato mare)+1.0ScG
f) 1.0pp+1.0G(lato terra)
g) 1.0pp+1.0G(lato terra)+1.0ScG
h) 1.0pp+0.6dT(+)+1.0xScG
i) 1.0pp+0.6dT(+)+0.7xG(lato mare)+1.0xScG
j) 1.0pp+0.6dT(+)+0.7xG(lato terra)+1.0xScG
k) 1.0pp+0.6dT(-)+1.0xScG
l) 1.0pp+0.6dT(-)+0.7xG(lato mare)+1.0xScG
m) 1.0pp+0.6dT(-)+0.7xG(lato terra)+1.0xScG

Combinazioni Azioni orizzontali

n) 1.0pp+0.6TB
o) 1.0pp+0.6P
p) 1.0pp+0.7Cr

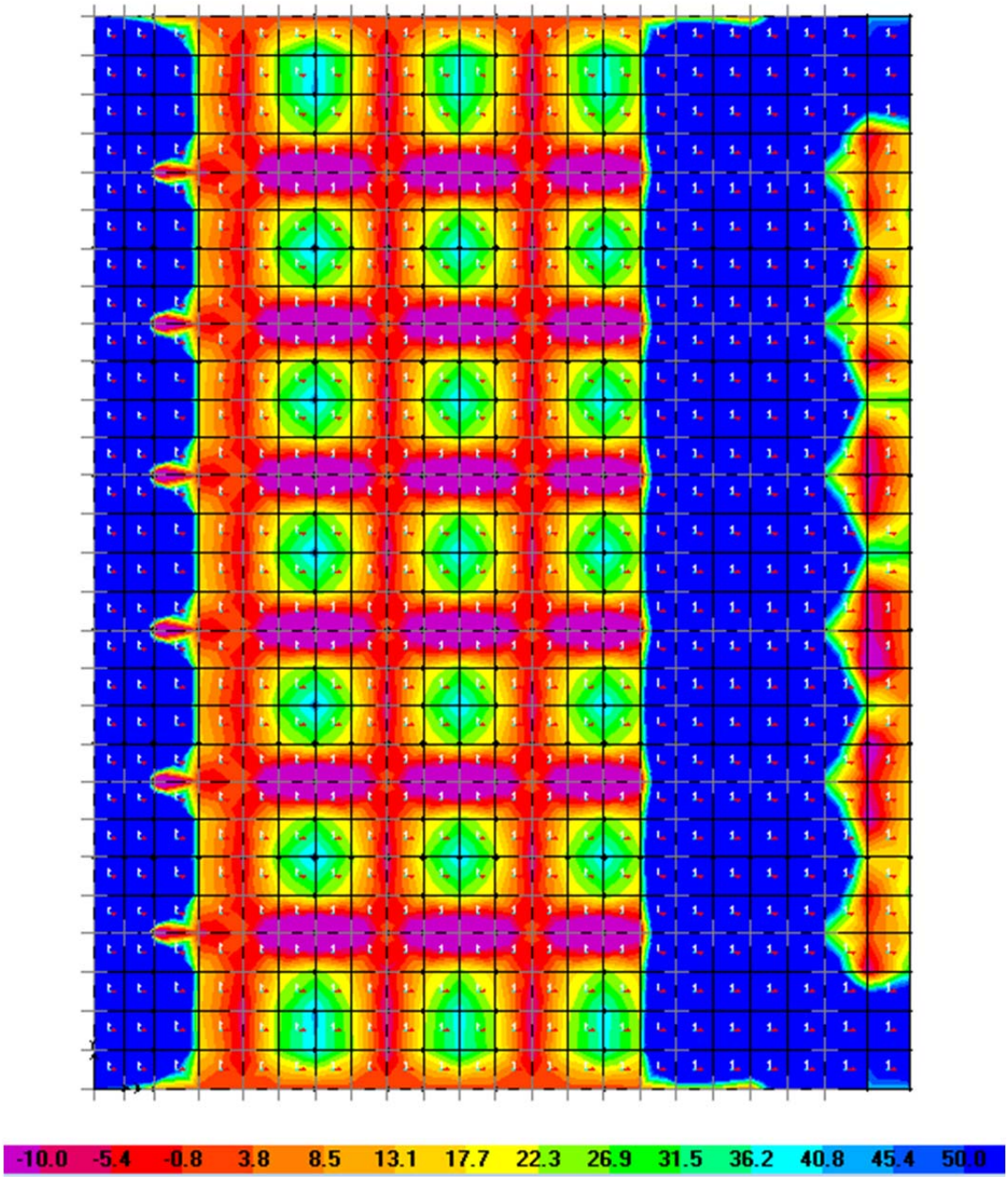


FIG. 2.20 - INVILUPPO M22_MAX(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

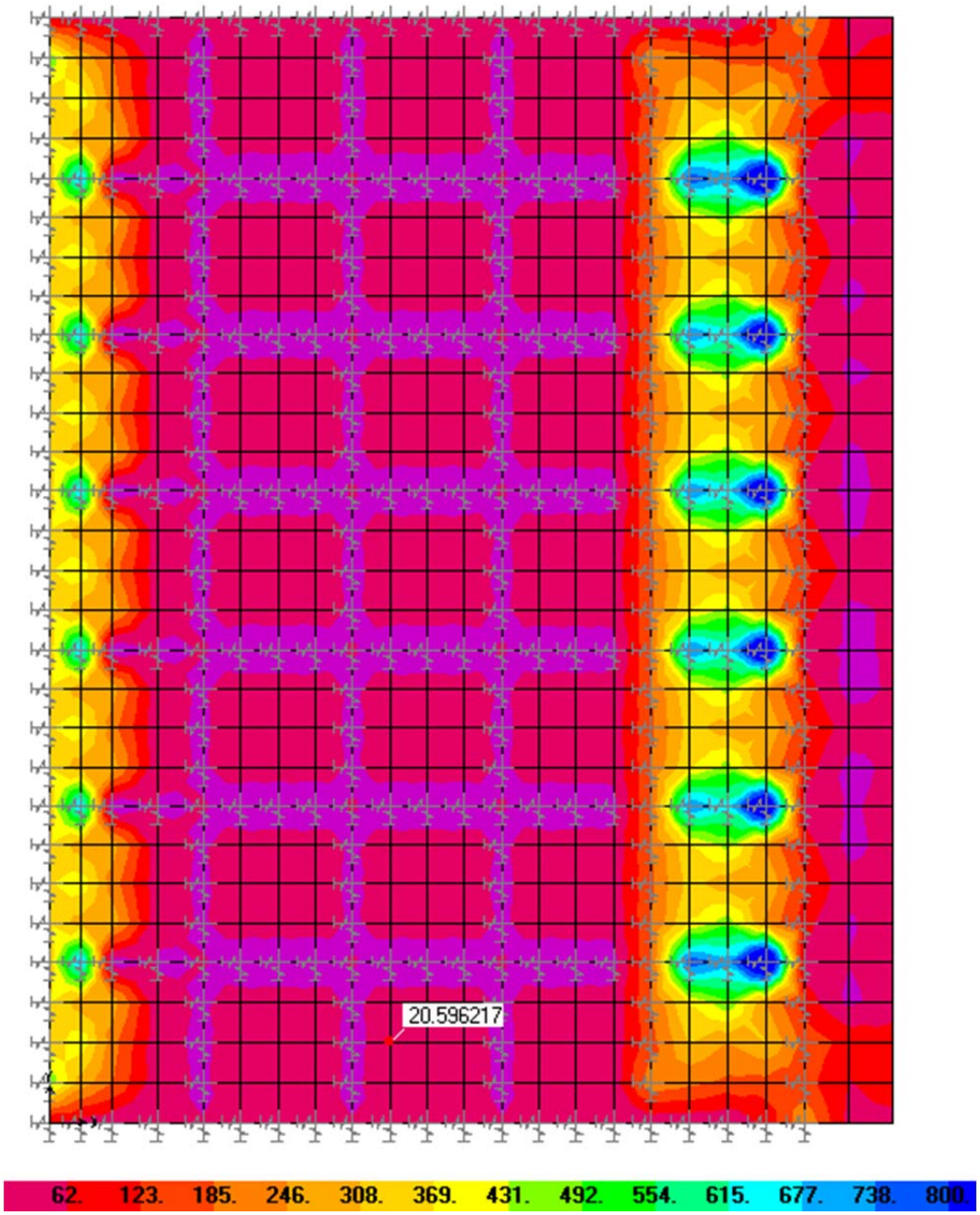


FIG. 2.21 - INVILUPPO M22_MAX(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

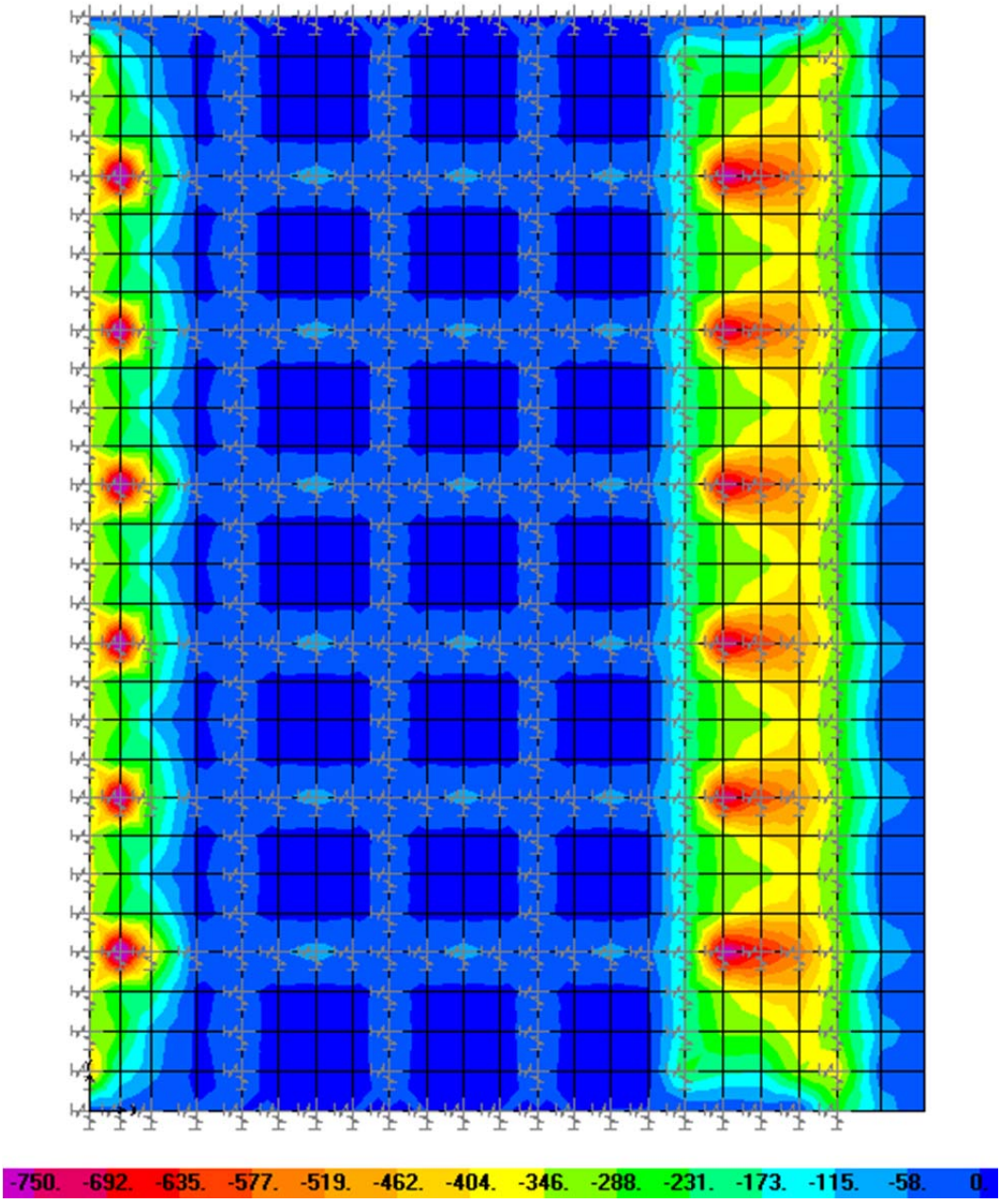


FIG. 2.22 - INVILUPPO M22_MIN(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

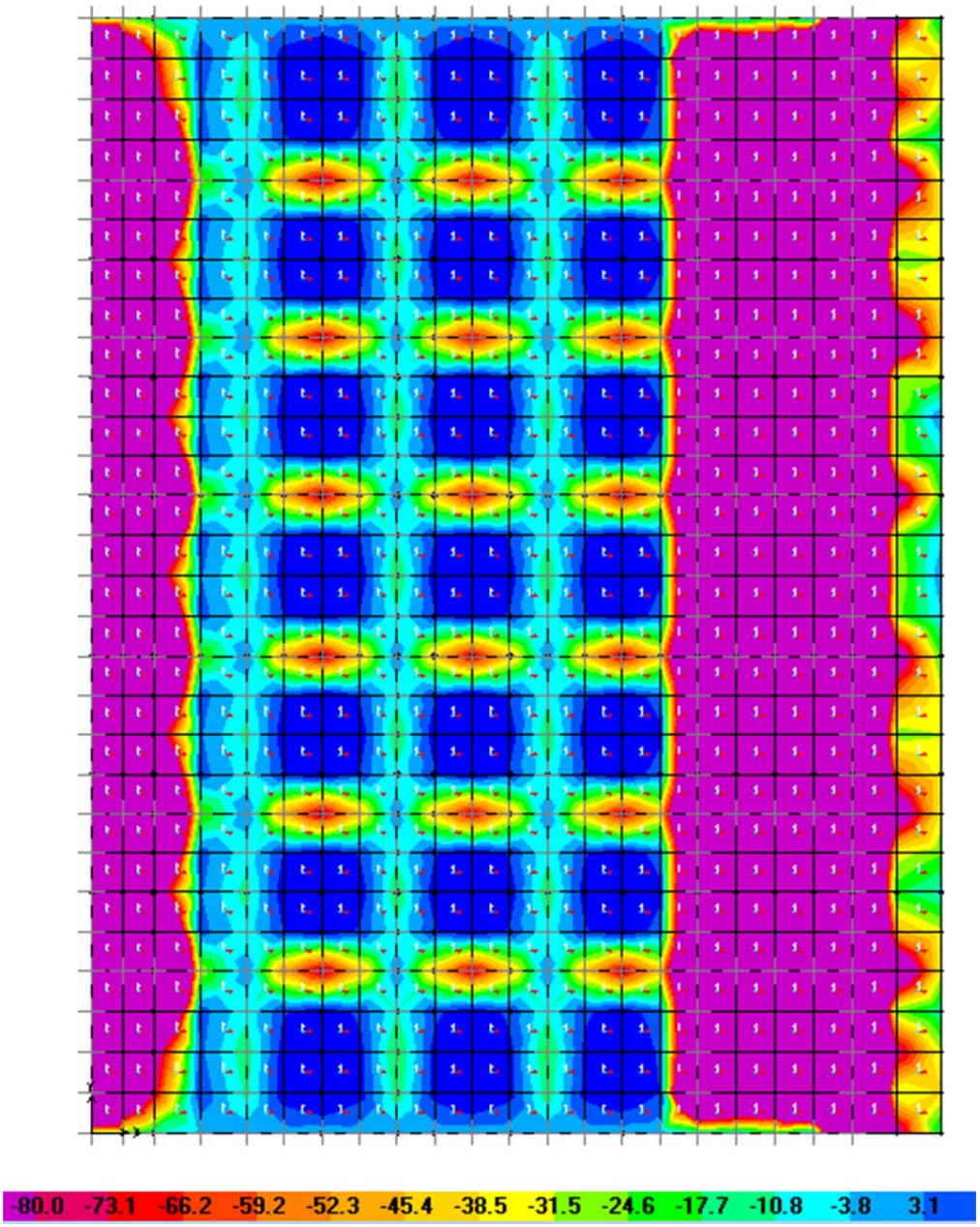


FIG. 2.23 - INVILUPPO M22_MIN(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

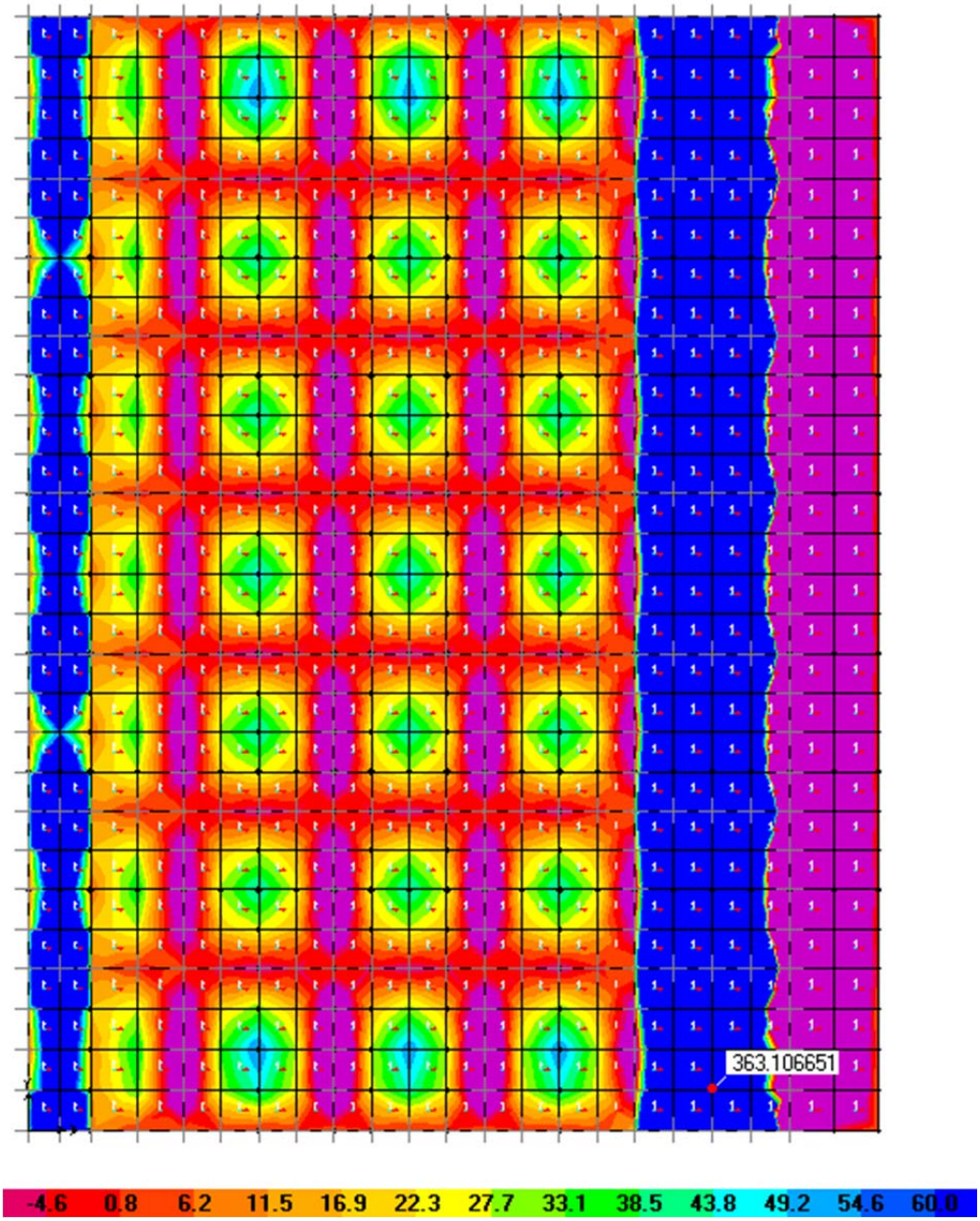


FIG. 2.24 - INVILUPPO M11_MAX(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

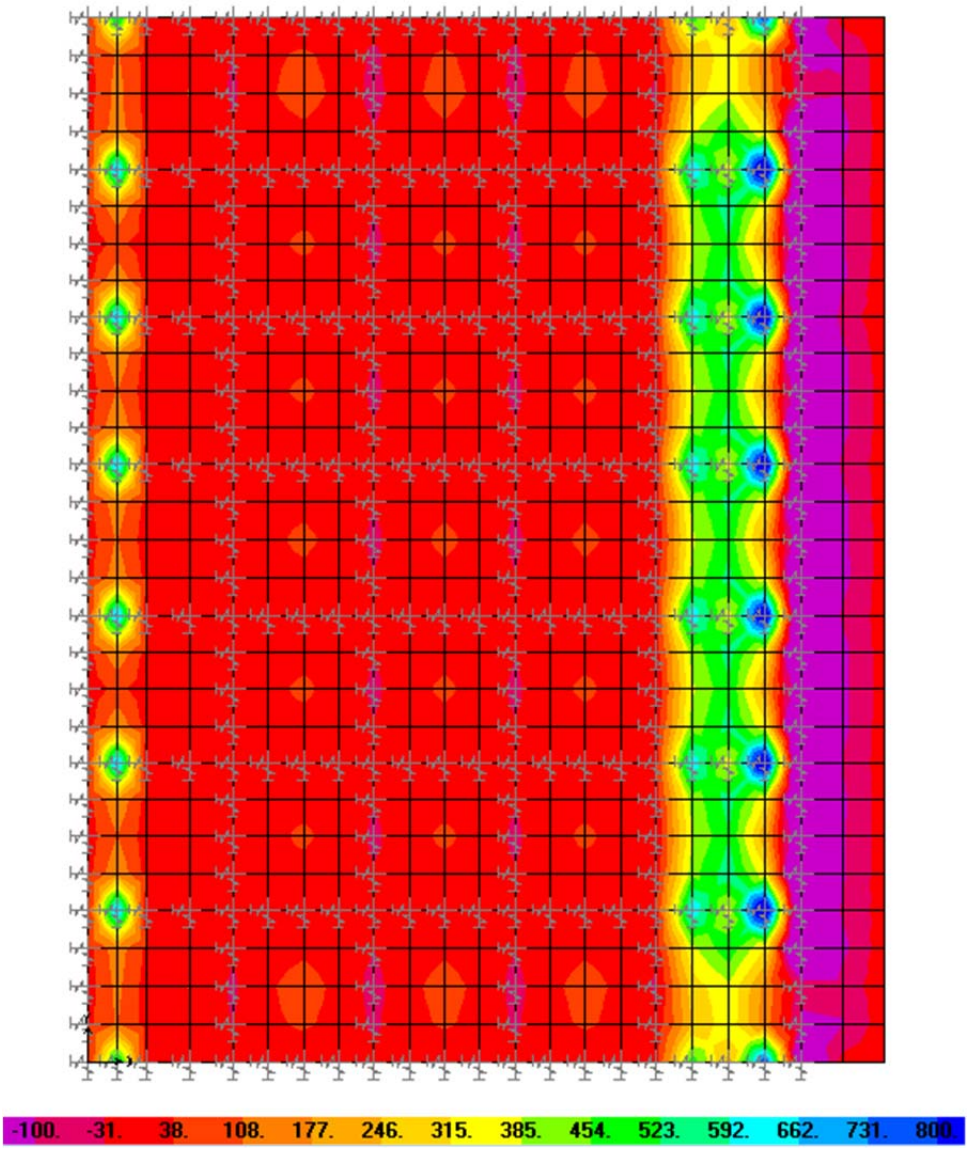


FIG. 2.25 - INVILUPPO M11_MAX(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

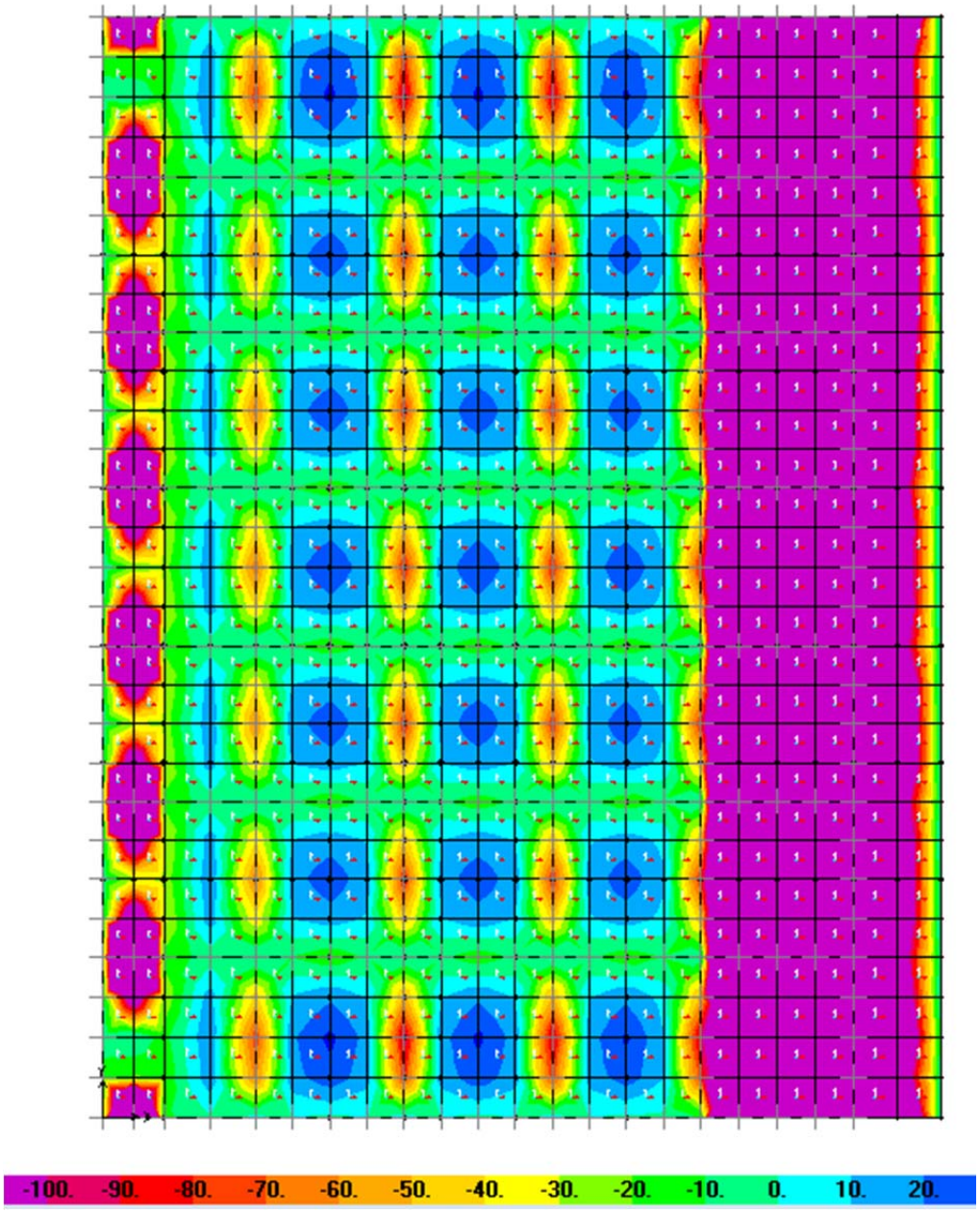


FIG. 2.26 - INVILUPPO M11_MIN(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

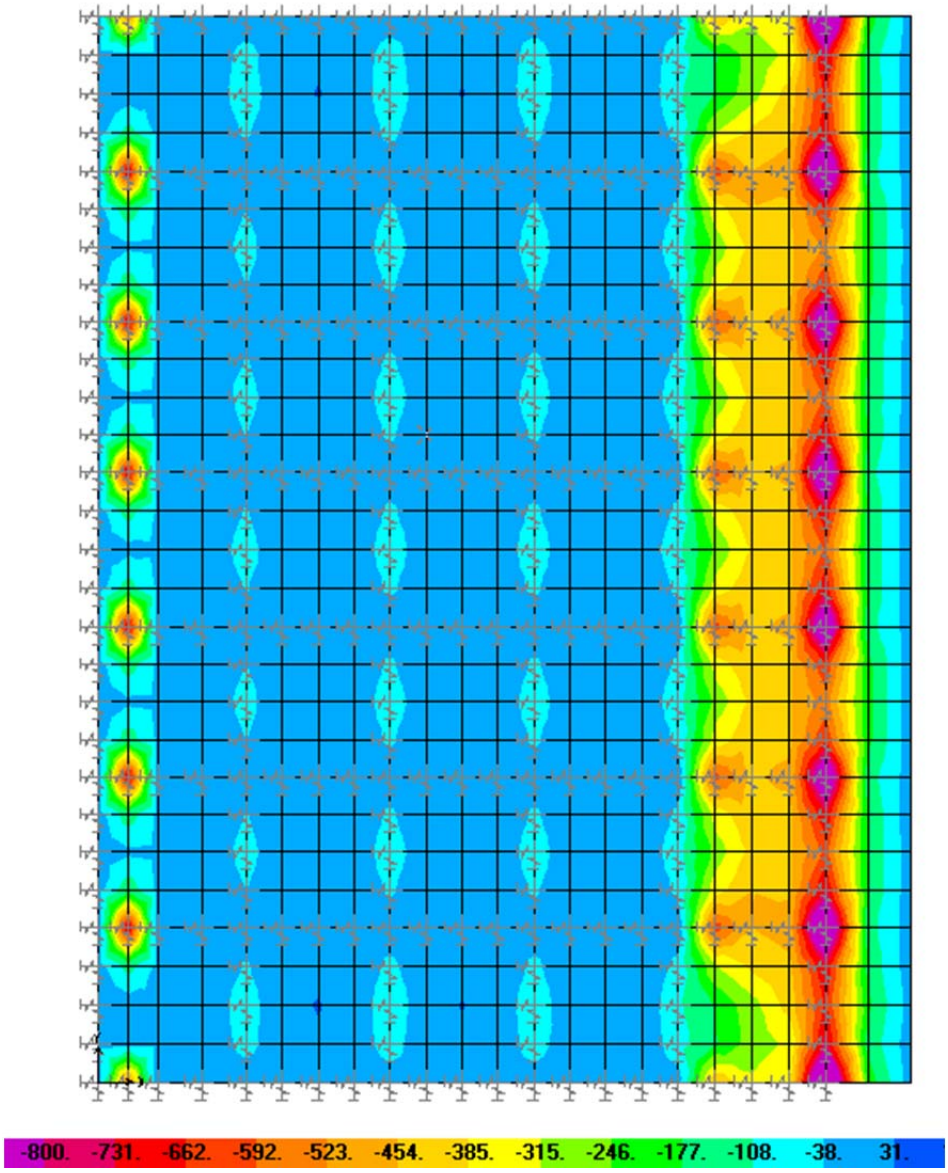


FIG. 2.27 - INVILUPPO M11_MIN(SLE-FREQ.) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

Sezione	Sollecitazioni			Sezione		Armatura				Copriferro				
	Msd		Nsd	B	H	Inferiore		Superiore		Inf	Sup	σ_c	σ_s	w
		[kNm]	[kN]	[m]	[m]	T1	T2	T1	T2	[cm]	[cm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
Sbalzo lato mare trasv. corrisp. Bitta Asse A-(M11)	M-	-200	+30	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	0.3	33	0.029
	M+	+100	+30	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	0.2	89	0.087
Trave gru lato mare senso trasversale Asse A-(M11)	M-	-800		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	3.1	224	0.194
	M+	+500		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	1.9	140	0.121
Sbalzo lato mare senso long. corrente Assi M-N-O-(M22)	M+	+120	+50	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	0.10	43	0.045
	M-	-270	+50	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	0.4	75	0.08
Trave gru lato mare senso long. Assi M-N-O - (M22)	M+	+700		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto								
	M-	-700		1.0	2.00									
Sol.Cell. 2-3-4-5 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+50		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	2.8	187	0.195
	M-	-85		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø18	5	5	3.6	163	0.146
Sol.Cell.7-8-9-10/12-13-14-15 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+45		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	2.6	169	0.176
	M-	-65		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø16	5	5	2.9	138	0.131
Sol. Celle da 2-7-12-17/3-8-13-18/4-9-14-19/5-10-15-20 Assi M-N-O (M22)	M+	+35		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		6.8	6.8	2.2	137	0.166
	M-	-65		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø16	2.5Ø18	6.8	6.8	3.1	145	0.159
Trave gru lato terra senso long. (M22)	M+	+550		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto								
	M-	-700		1.0	2.00									
NB: I momenti positivi tendono le fibre inferiori, i momenti negativi tendono le fibre superiori. N positivo trazione. N negativo compressione														

TAB. 2.2 - SOVRASTRUTTURA CASSONI CORRENTI - VERIFICHE CEMENTO ARMATO AGLI SLE(FREQUENTI)

Di seguito si riportano le verifiche agli Stati Limiti d'Esercizio della trave gru per le combinazioni frequenti:

Trave gru lato mare - Orditura superiore:

M=700kNm/m x 1.5m=1050 kNm

B=1.5m H=2.00m

H1=1.926m A1=18.84cm^2(6Φ20)

H2=1.696m A2=28.26cm^2(9Φ20)

copriferro = 64mm, passo orditura = 200mm

σ_a = 146 N/mm^2 σ_c = 2.3 N/mm^2 w=0.148 mm

Trave gru lato mare - Orditura inferiore:

M=700kNm/m x 1.5m=1050 kNm

B=1.0m H=2.00m

H1=1.925m A1=45.72cm^2(12Φ22)

copriferro = 64mm, passo orditura = 200mm

σ_a = 129 N/mm^2 σ_c = 2.6 N/mm^2 w=0.093 mm

Trave gru lato terra - Orditura superiore:

M=700kNm/m x 1.5m=1050 kNm

B=1.5m H=2.00m

H1=1.926m A1=18.84cm^2(6Φ20)

H2=1.696m A2=28.26cm^2(9Φ20)

copriferro = 64mm, passo orditura = 200mm

σ_a = 146 N/mm^2 σ_c = 2.3 N/mm^2 w=0.148 mm

Trave gru lato terra - Orditura inferiore:

M=550kNm/m x 1.5m=825 kNm

B=1.0m H=2.00m

H1=1.925m A1=45.72cm^2(12Φ22)

copriferro = 64mm, passo orditura = 200mm

σ_a = 102 N/mm^2 σ_c = 2.1 N/mm^2 w=0.073 mm

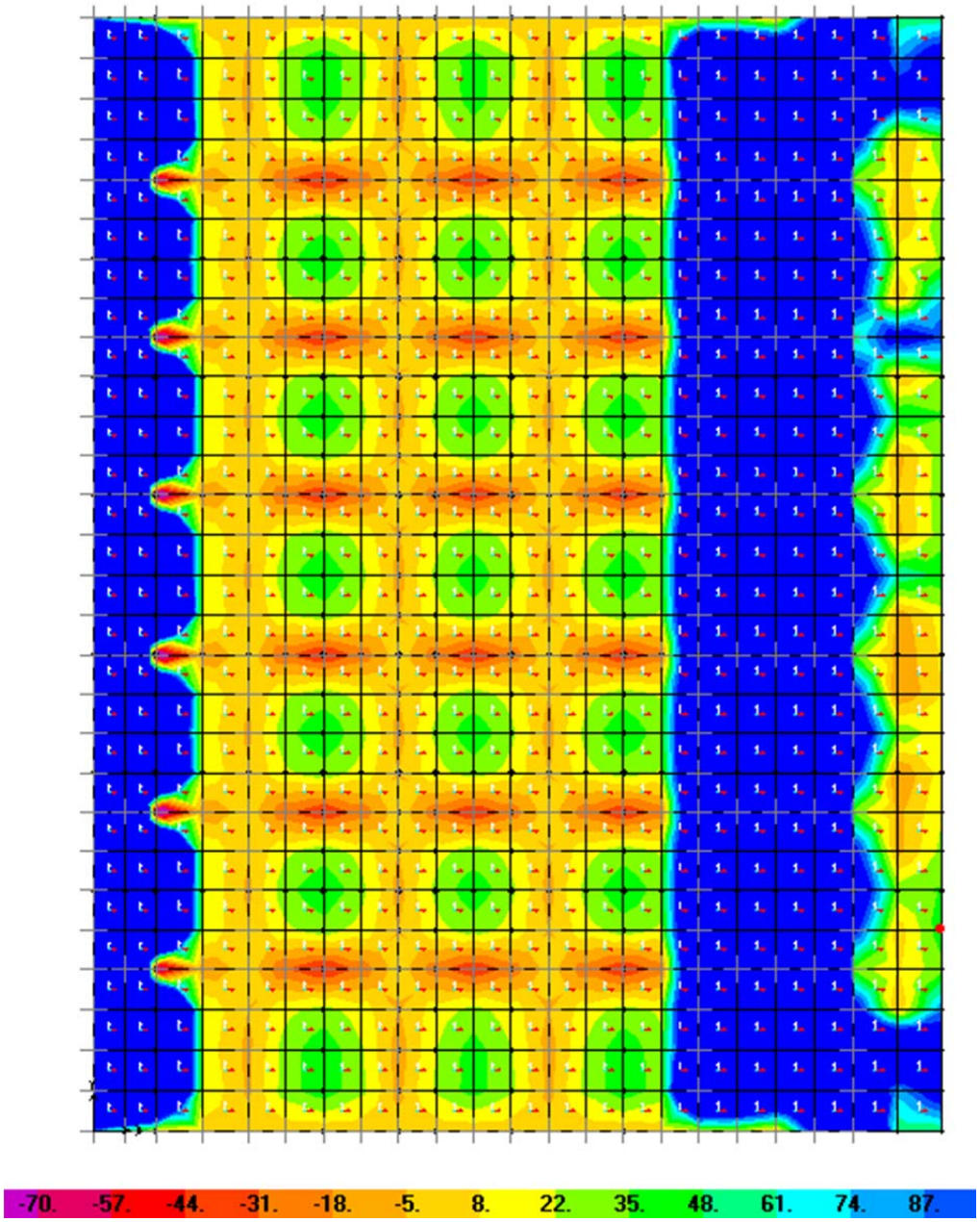


FIG. 2.28 - INVILUPPO M22_MAX(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

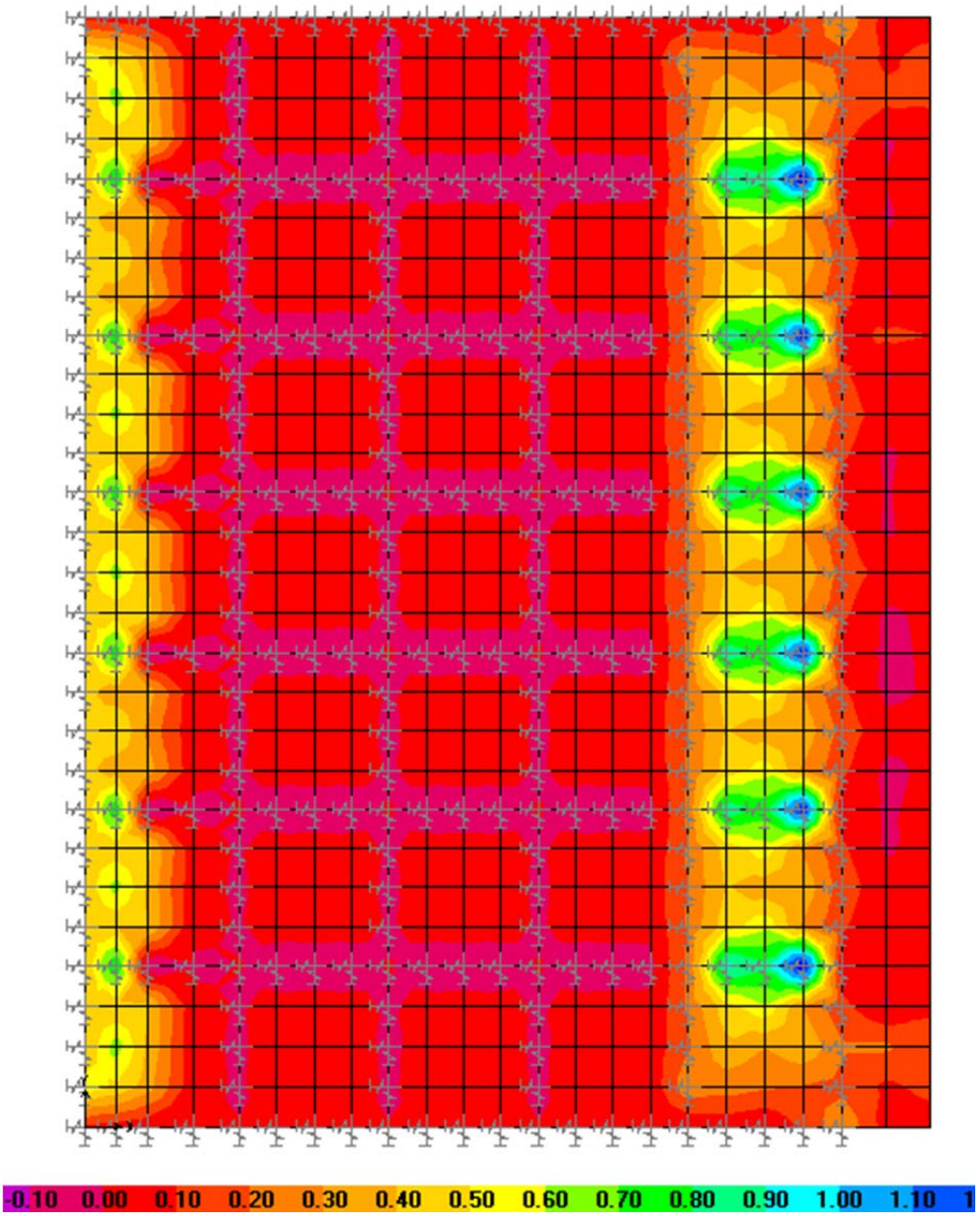


FIG. 2.29 - INVILUPPO M22_MAX(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

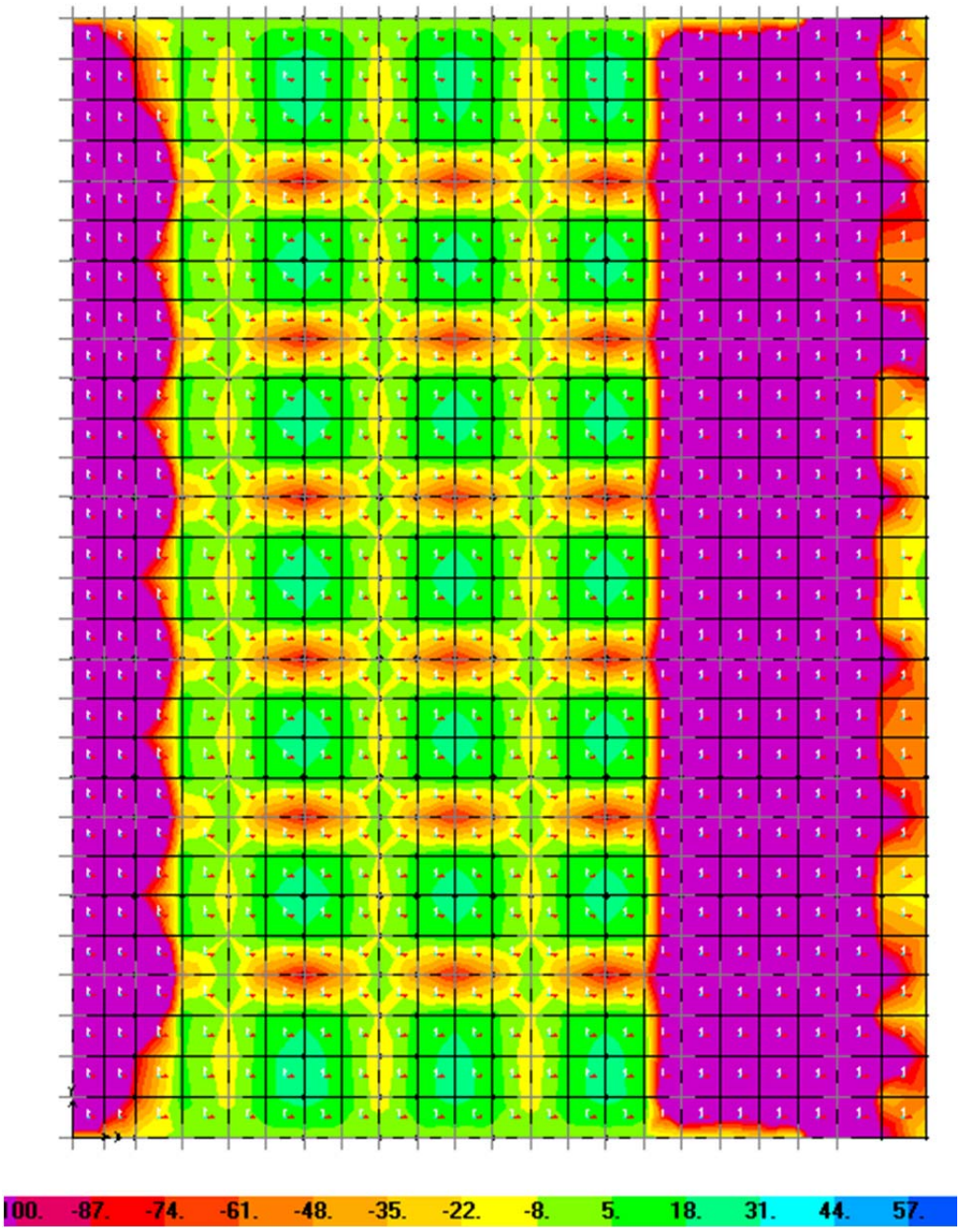


FIG. 2.30 - INVILUPPO M22_MIN(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

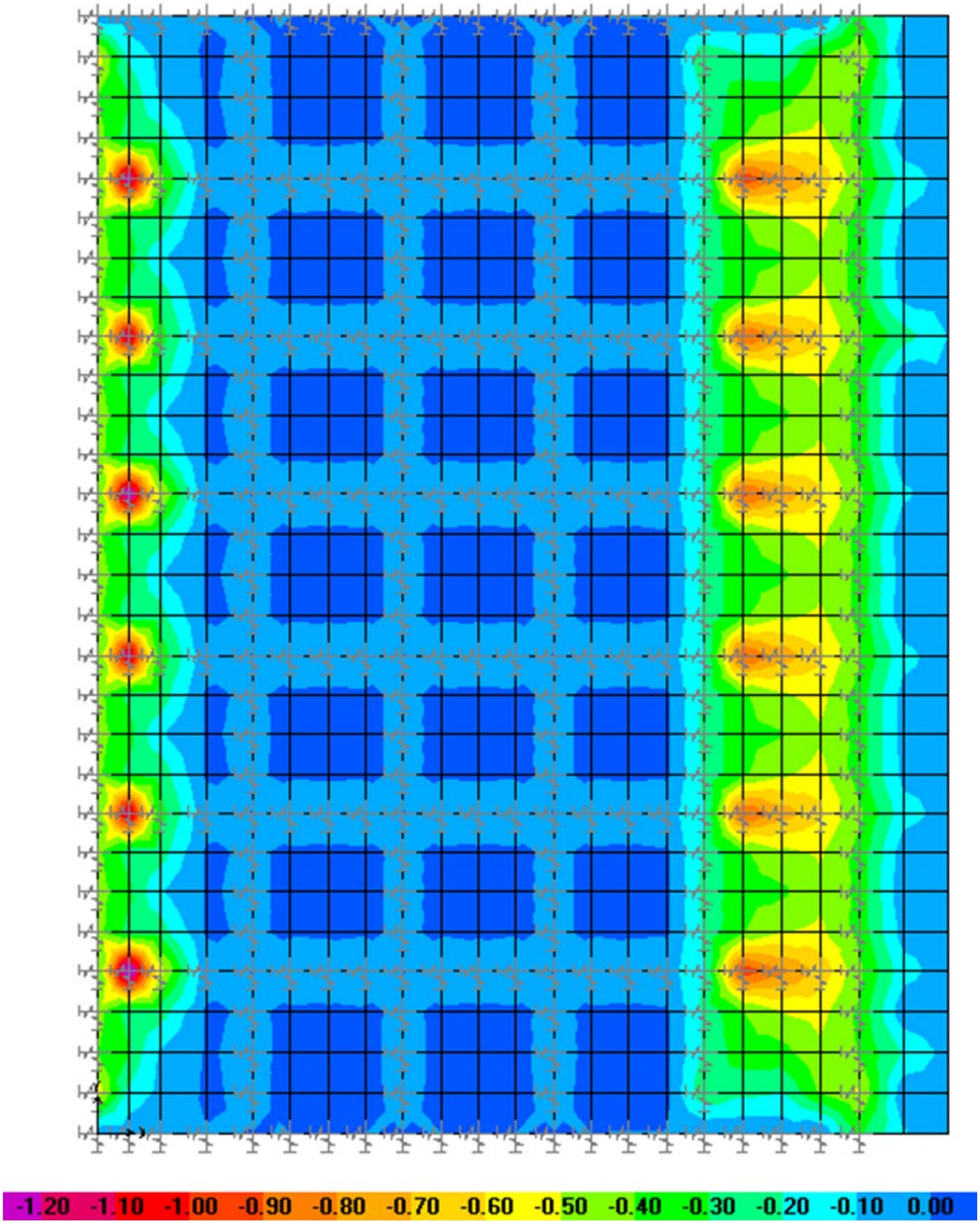


FIG. 2.31 - INVILUPPO M22_MIN(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

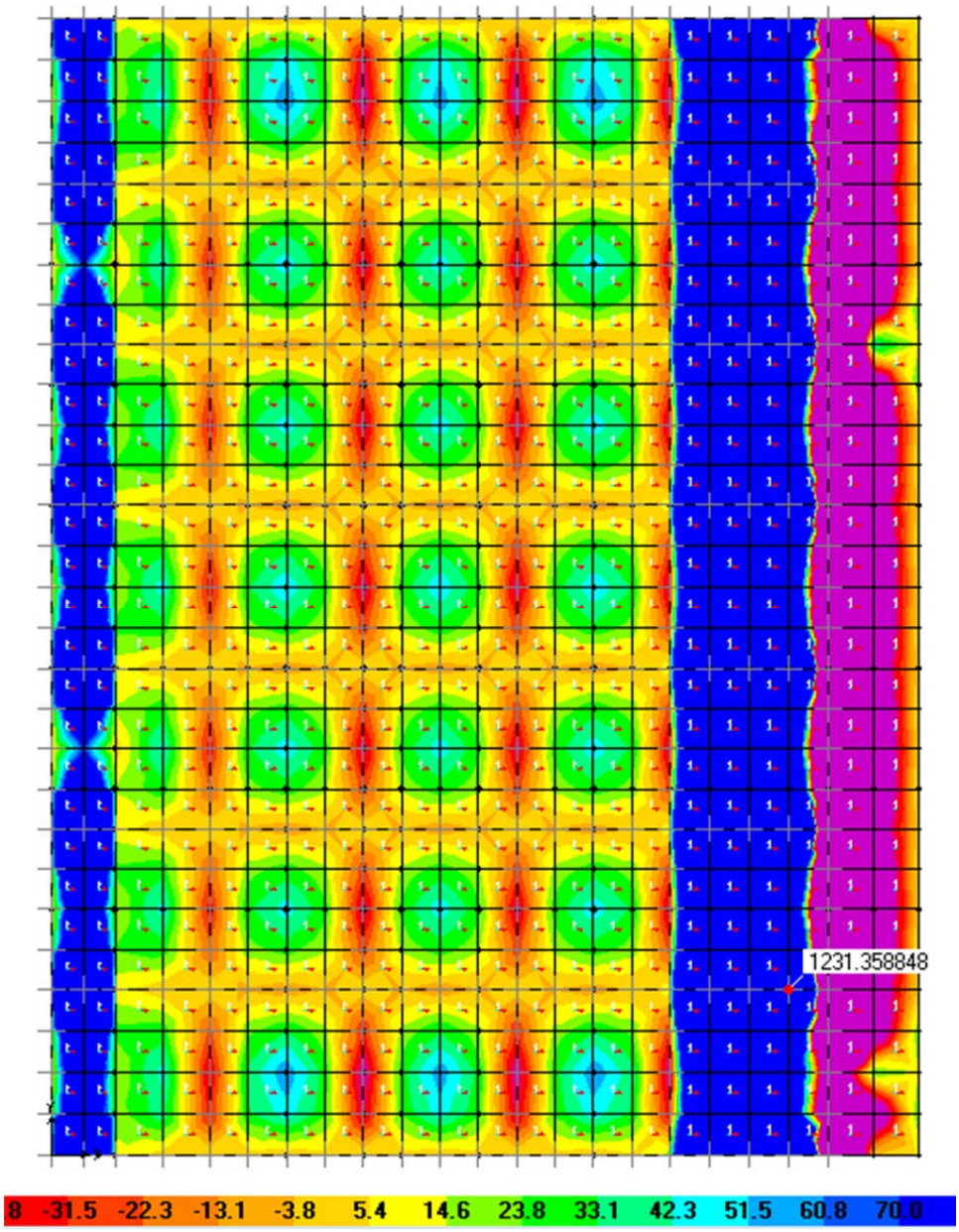


FIG. 2.32 - INVILUPPO M11_MAX(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

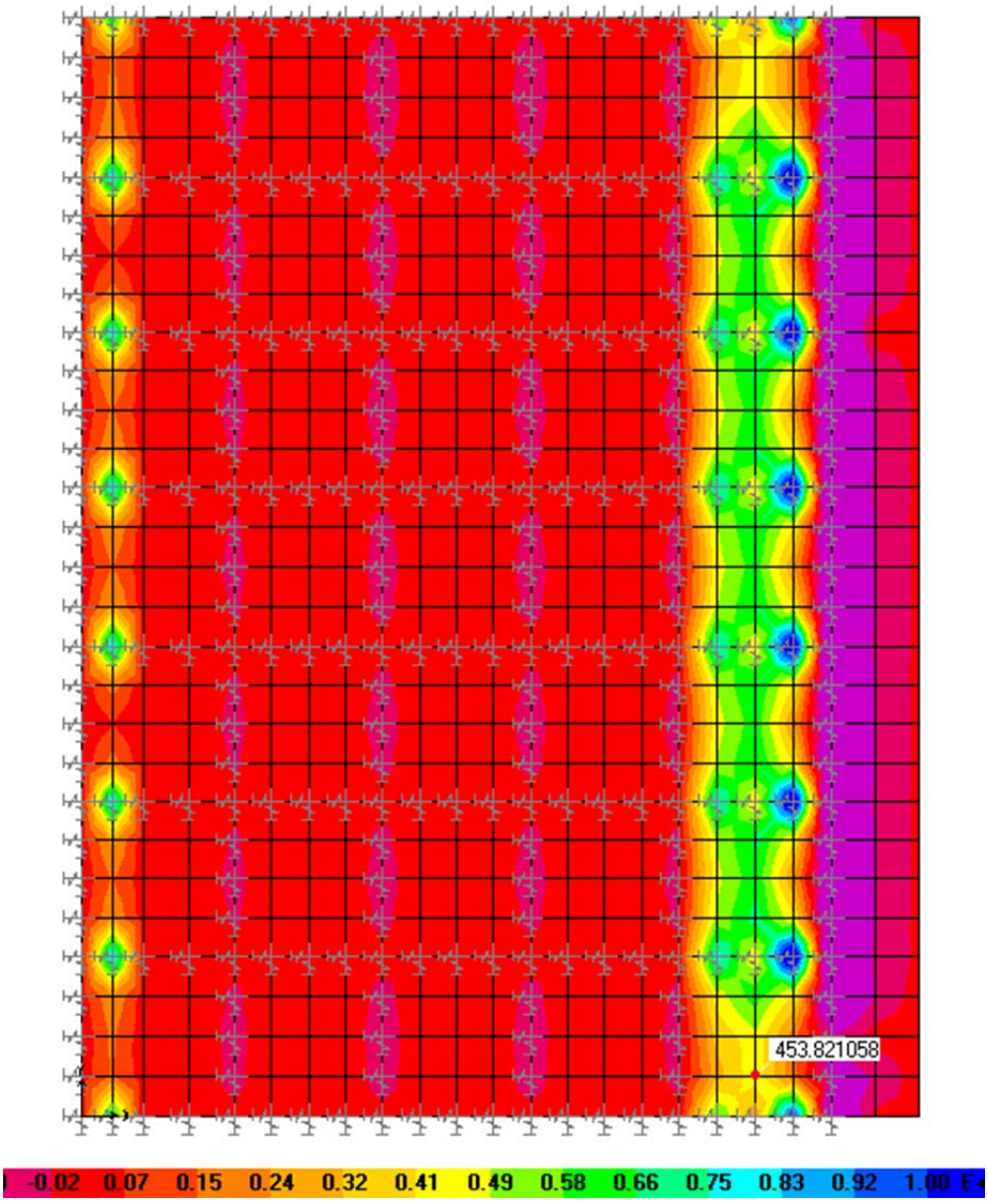


FIG. 2.33 - INVILUPPO M11_MAX(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

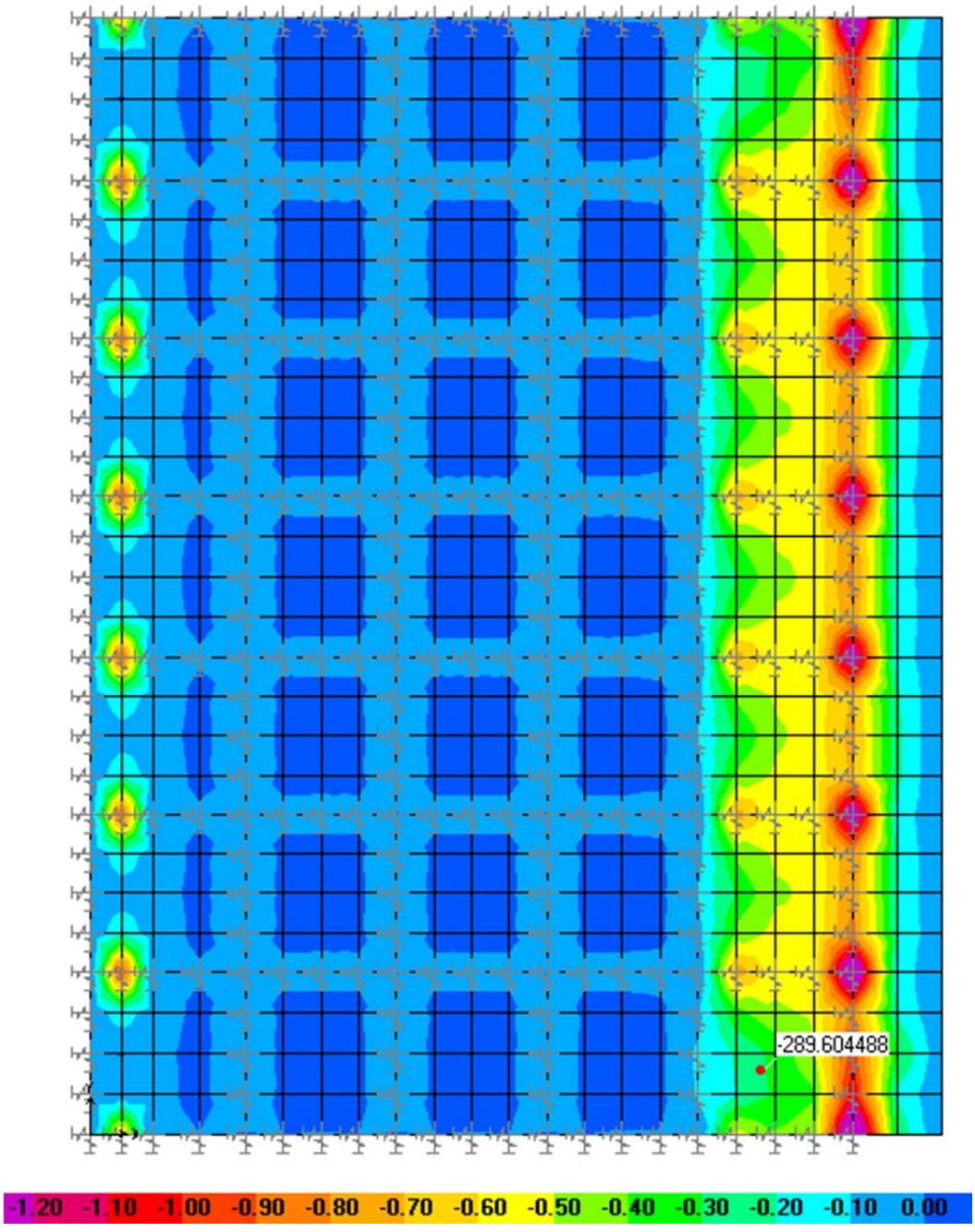


FIG. 2.34 - INVILUPPO M11_MIN(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

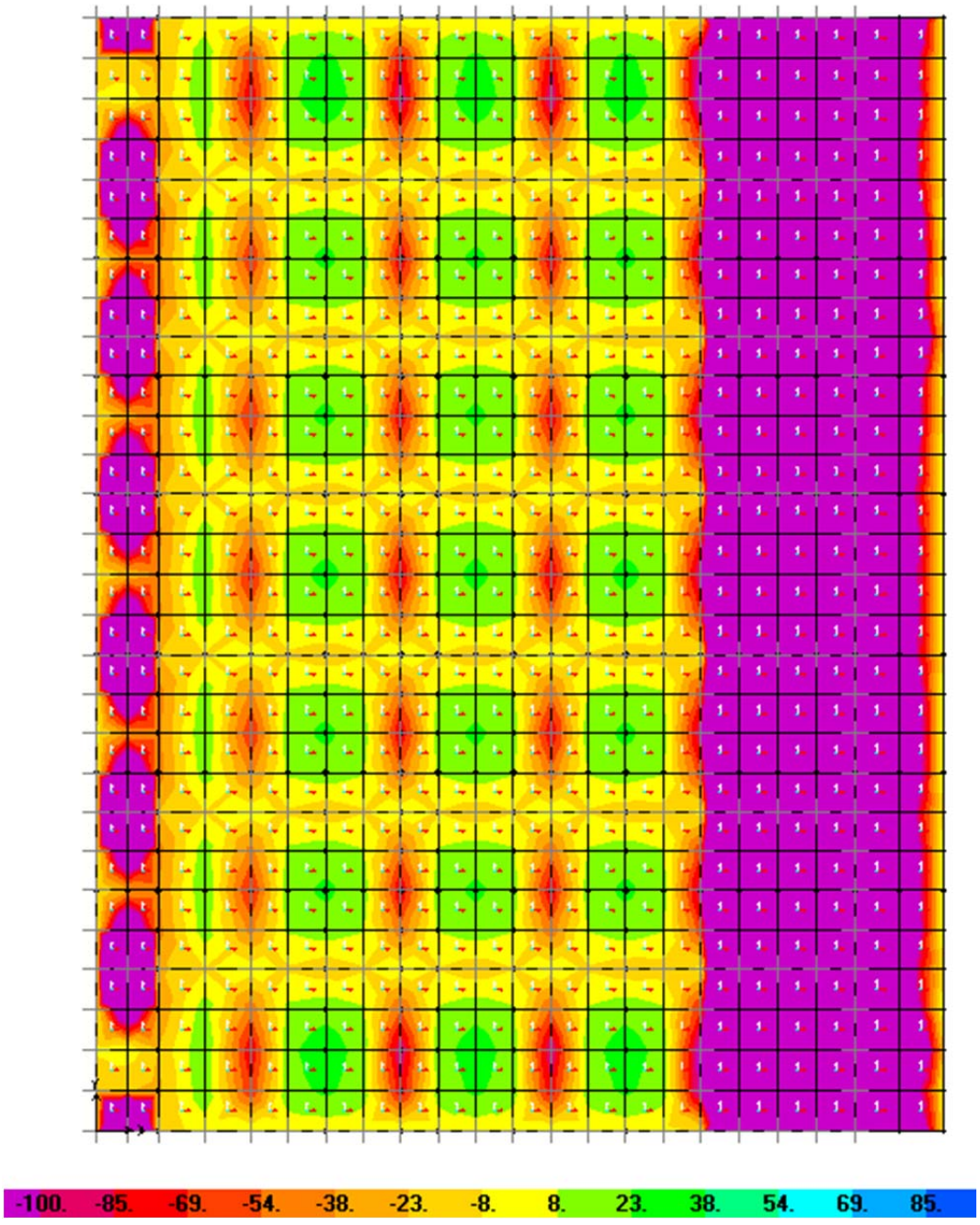


FIG. 2.35 - INVILUPPO M11_MIN(SLE-RARE) - CASSONI CORRENTI [KNM/M]

Sezione	Sollecitazioni			Sezione		Armatura				Copriferro			
	Msd		Nsd	B	H	Inferiore		Superiore		Inf	Sup	σ_c	σ_s
		[kNm]	[kN]	[m]	[m]	T1	T2	T1	T2	[cm]	[cm]	[MPa]	[MPa]
Sbalzo lato mare trasv. corrisp. Bitta Asse A-(M11)	M-	-250	+70	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	0.3	48
	M+	+100	+70	1.0	3.4	2.5Ø16		5Ø24		5	5	-	128
Trave gru lato mare senso trasversale Asse A-(M11)	M-	-1100		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	4.3	314
	M+	+600		1.0	1.70	5Ø24		5Ø24		5	5	2.3	171
Sbalzo lato mare senso long. corrente Assi M-N-O-(M22)	M+	+200	+110	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	0.1	80
	M-	-350	+110	1.0	3.4	2.5Ø20	2.5Ø18	2.5Ø20	2.5Ø18	6.4	6.4	0.5	112
Trave gru lato mare senso long. Assi M-N-O - (M22)	M+	+1000		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto							
	M-	-800		1.0	2.00								
Sol.Cell. 2-3-4-5 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+60		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	3.4	229
	M-	-95		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø18	5	5	4.0	185
Sol.Cell.7-8-9-10/12-13-14-15 Assi B-C-D-E (M11)	M+	+45		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18		5	5	2.6	172
	M-	-75		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø18	2.5Ø16	5	5	3.3	163
Sol. Celle da 2-7-12-17/3-8-13-18/4-9-14-19/5-10-15-20 Assi M-N-O (M22)	M+	+50		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø16		6.8	6.8	3.1	199
	M-	-70		1.0	0.5	2.5Ø18		2.5Ø16	2.5Ø18	6.8	6.8	3.4	159
Trave gru lato terra senso long. (M22)	M+	+600		1.0	2.00	Per verifiche orditura longitudinale trave gru vedere sotto							
	M-	-1200		1.0	2.00								
NB: I momenti positivi tendono le fibre inferiori, i momenti negativi tendono le fibre superiori. N positivo trazione. N negativo compressione													

TAB. 2.3 - SOVRASTRUTTURA CASSONI CORRENTI - VERIFICHE CEMENTO ARMATO AGLI SLE(RARE)

Di seguito si riportano le verifiche agli Stati Limite d'Esercizio della trave gru per le combinazioni rare:

Trave gru lato mare - Orditura superiore:

M=800kNm/m x 1.5m=1200 kNm
B=1.5m H=2.00m
H1=1.926m A1=18.84cm^2(6Φ20)
H2=1.696m A2=28.26cm^2(9Φ20)
σ_a = 167 N/mm^2 σ_c = 2.6 N/mm^2

Trave gru lato mare - Orditura inferiore:

M=1000kNm/m x 1.5m=1500 kNm
B=1.0m H=2.00m
H1=1.926m A1=37.68cm^2(12Φ20)
σ_a = 216 N/mm^2 σ_c = 3.2 N/mm^2

Trave gru lato terra - Orditura superiore:

M=1200kNm/m x 1.5m=1800 kNm
B=1.5m H=2.00m
H1=1.926m A1=18.84cm^2(6Φ20)
H2=1.696m A2=28.26cm^2(9Φ20)
σ_a = 250 N/mm^2 σ_c = 3.9 N/mm^2

Trave gru lato terra - Orditura inferiore:

M=400kNm/m x 1.5m=600 kNm
B=1.0m H=2.00m
H1=1.926m A1=37.68cm^2(12Φ20)
σ_a = 86 N/mm^2 σ_c = 1.3 N/mm^2

2.4. Verifica di stabilità concio di sovrastruttura

La sovrastruttura verrà gettata sopra il cassone una volta affondato e riempito. Sul cassone sono previsti dei monconi di ripresa verticali di Φ12/400mm disposti sui setti e pareti del cassone per legare la sovrastruttura al cassone sottostante. Di seguito si verifica la sicurezza di scorrimento di un concio di sovrastruttura contando soltanto sull'attrito fra sovrastruttura e cassone.

Peso sovrastruttura: ≈26.8m^3/ml x 32m x 24.5kN/m^3= 21011kN

Riempimento: ≈24.2m^3/ml x 32m x 18.0kN/m^3= 13939kN

34950kN

Combinazioni di azioni orizzontali considerando rispettivamente, in favore di sicurezza, numero 2 bitte e parabordi:

- Bitta: 1.5x500x2=1500kN (A1-M1), 1.3x500x2=1300kN (A2-M2)
- FS=0.57x34950/1500=13.3
- FS=0.48x34950/1300=12.9
- Parabordo: 1.5x1638x2=4914kN (A1-M1), 1.3x1638x2=3062kN (A2-M2)
- FS=0.57x34950/4914=4.05
- FS=0.48x34950/3062=5.48
- Sisma: 34950x0.15=5243kN
- FS=0.48x34950x(1-0.075)/5243=2.96

La sovrastruttura è stabile allo scorrimento per gravità.

3. VERIFICHE LOCALI

Di seguito si riportano le verifiche della orditura in corrispondenza degli respingenti e degli punti di sollevamento gru nonché i perni antiuragano.

3.1. Respingenti

In corrispondenza del respingente viene trasmesso uno sforzo orizzontale a q.ta +6.335 l.m.m. che in mezzeria della trave gru diventa una trazione e un momento flettente. La forza della fine corsa viene riportata fino in mezzeria della trave gru come una trazione e un momento flettente. Di seguito si riporta lo schema con la geometria dei carichi considerata.

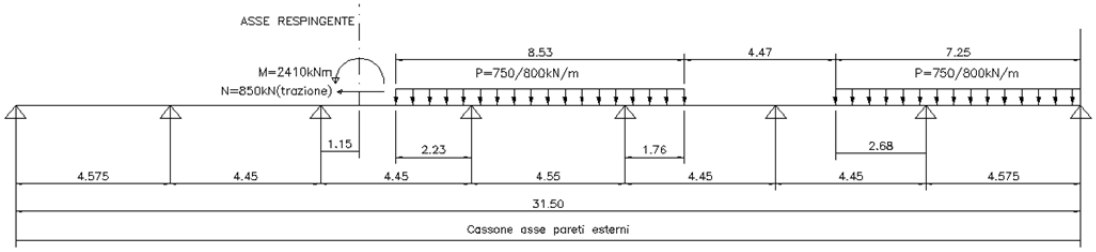


FIG. 3.1 - SCHEMA STATICA RESPINGENTE TRAVE GRU LATO BANCHINA CONTAINER

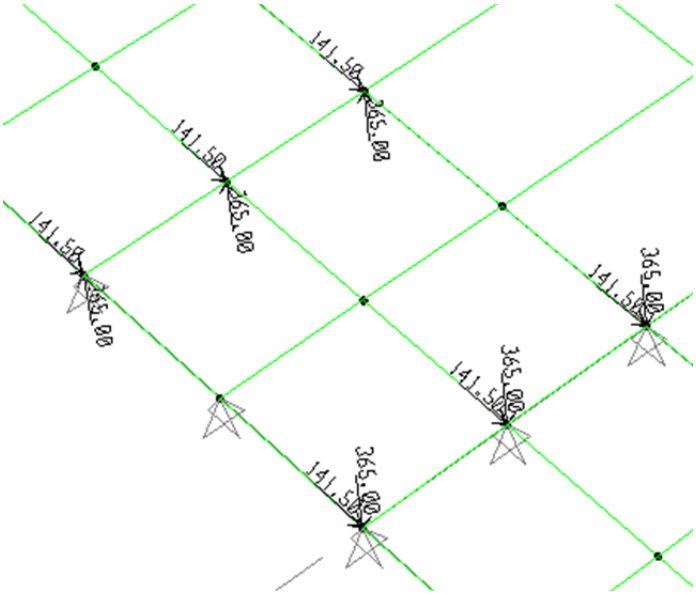


FIG. 3.2 - SCHEMA CARICHI APPLICATI LATO BANCHINA CONTAINER

Di seguito si riportano i diagrammi degli sforzi nominali nella zona interessata dal respingente.

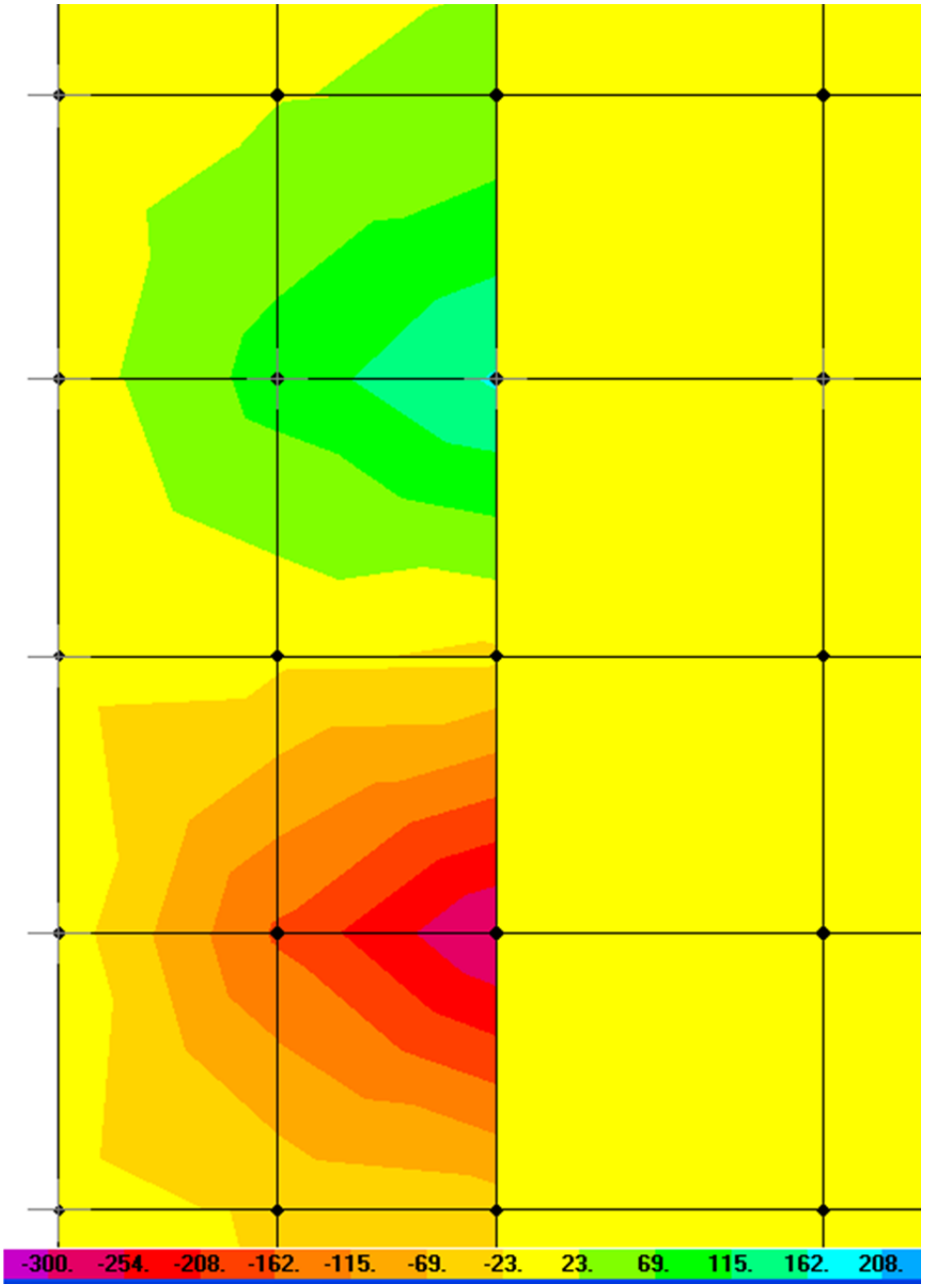


FIG. 3.3 - LATO BANCHINA CONTAINER - M22 NOMINALE [KNM/M]

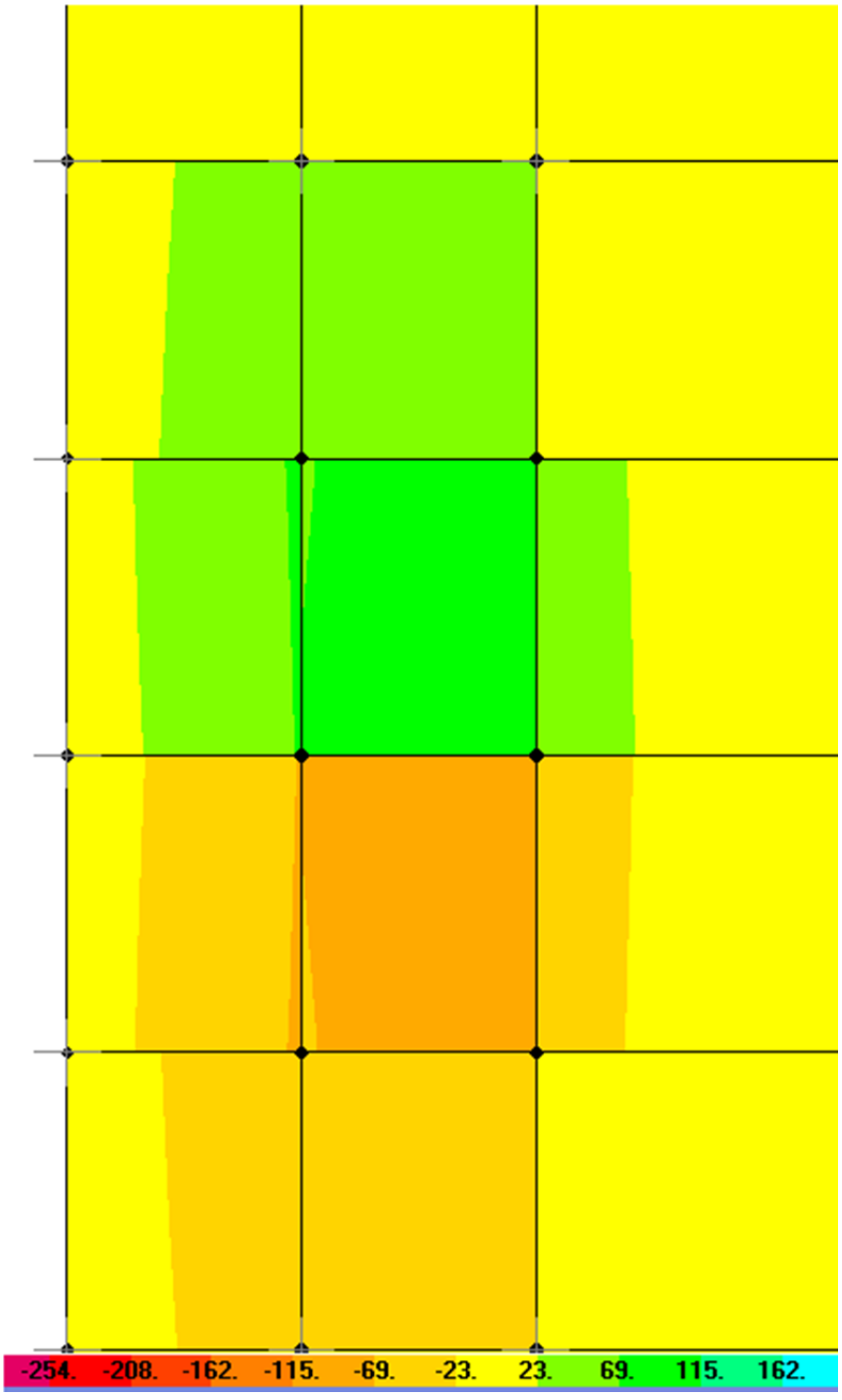


FIG. 3.4 - LATO BANCHINA CONTAINER - F22 NOMINALE [KN/M]

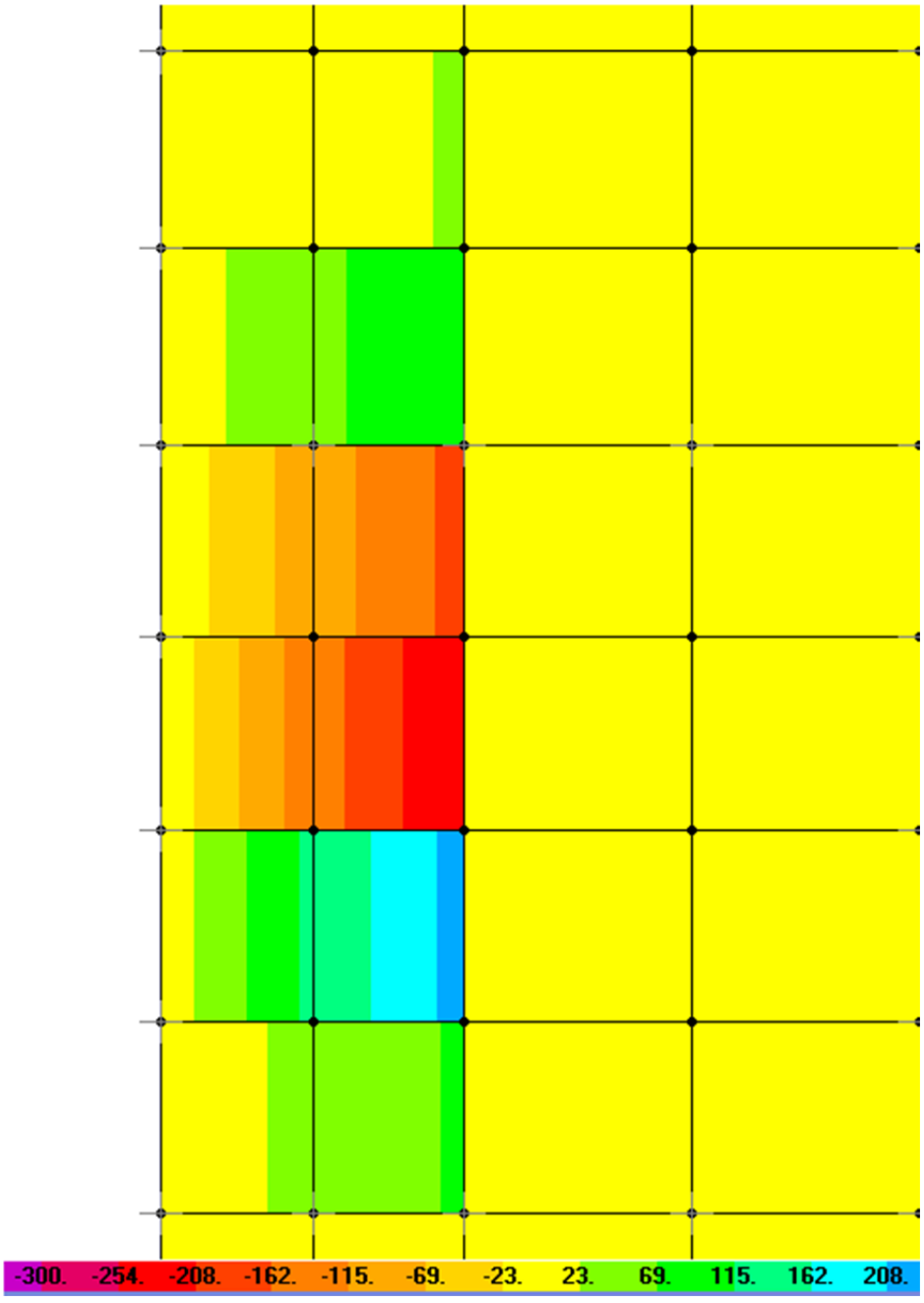


FIG. 3.5 - LATO BANCHINA CONTAINER - V23 NOMINALE [KN/M]

Verifica agli SLU in corrispondenza respingente

M_{Sd}=-160kNm/m x 1.5m = -240kNm

M_{Sd}=+115kNm/m x 1.5m = +170kNm

N_{Sd}=+100x1.5m = +150kN (trazione)

V_{sd}=160kN/m x1.5m = 240kN

Le sollecitazioni sono contenute. Pertanto l'orditura corrente è adeguata.

Per quanto riguarda il respingente lato banchina petroli, la situazione è simile con l'unica differenza che l'asse del respingente si trova leggermente più lontano dal setto del cassone, 1.7 m anziché 1.15 m.

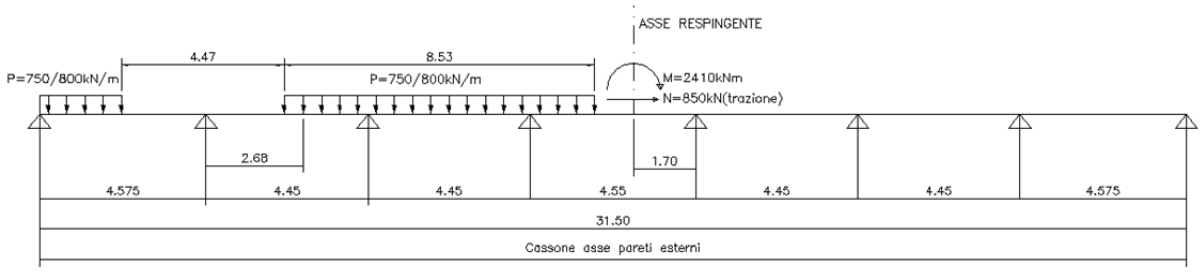


FIG. 3.6 - SCHEMA STATICA RESPINGENTE TRAVE GRU LATO BANCHINA PETROLI

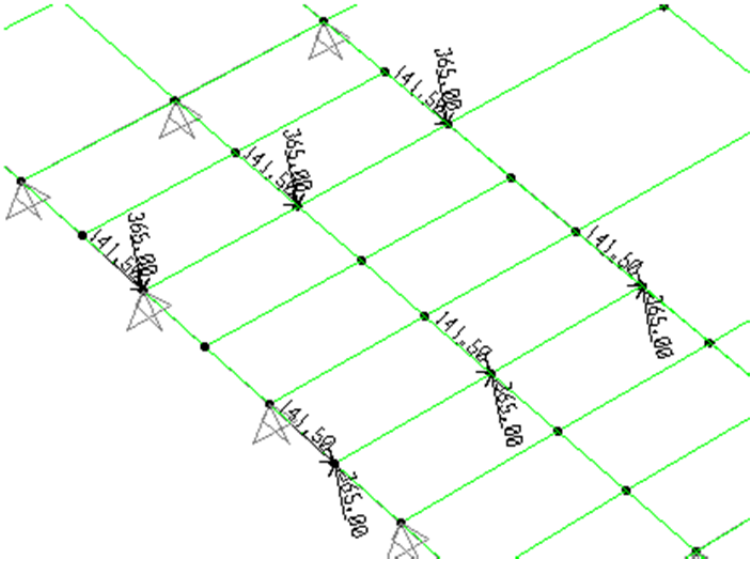


FIG. 3.7 - SCHEMA CARICHI APPLICATI LATO BANCHINA PETROLI

Di seguito si riportano i diagrammi degli sforzi nominali nella zona interessata dal respingente.

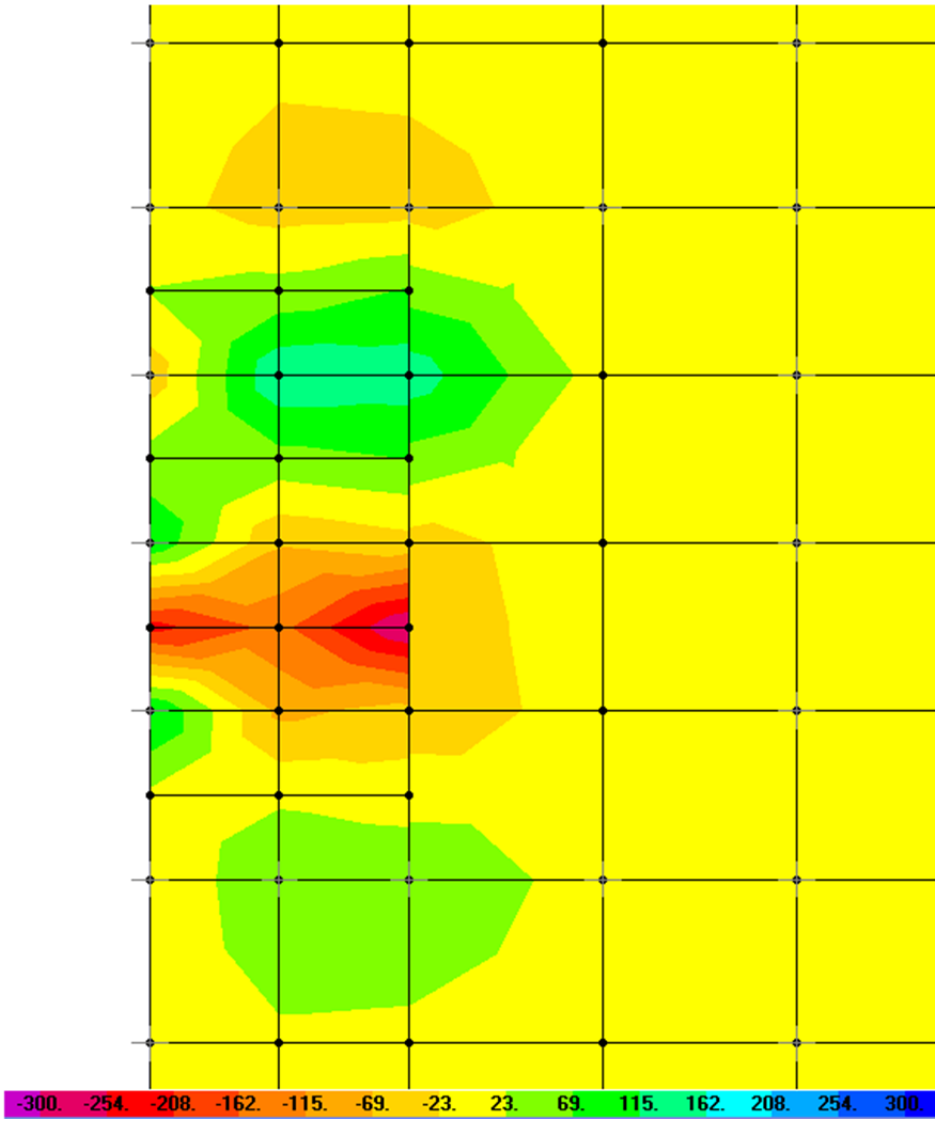


FIG. 3.8 - LATO BANCHINA PETROLI - M22 NOMINALE [KNM/M]

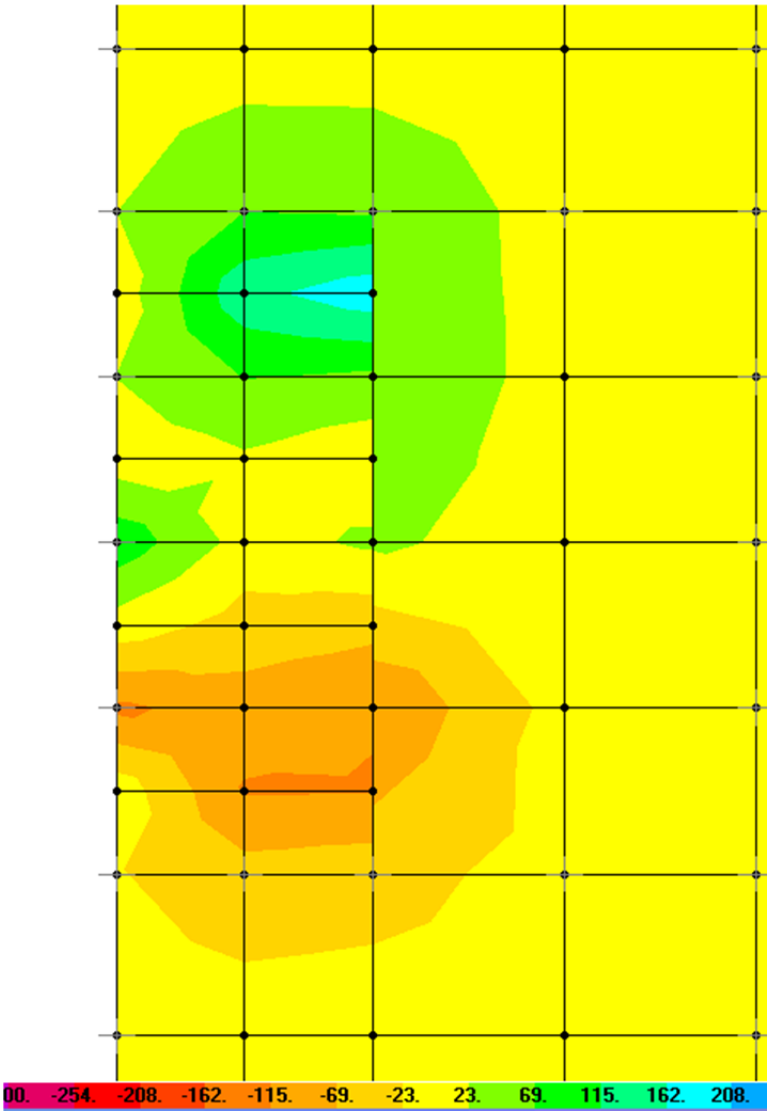


FIG. 3.9 - LATO BANCHINA PETROLI - F22 NOMINALE [KN/M]

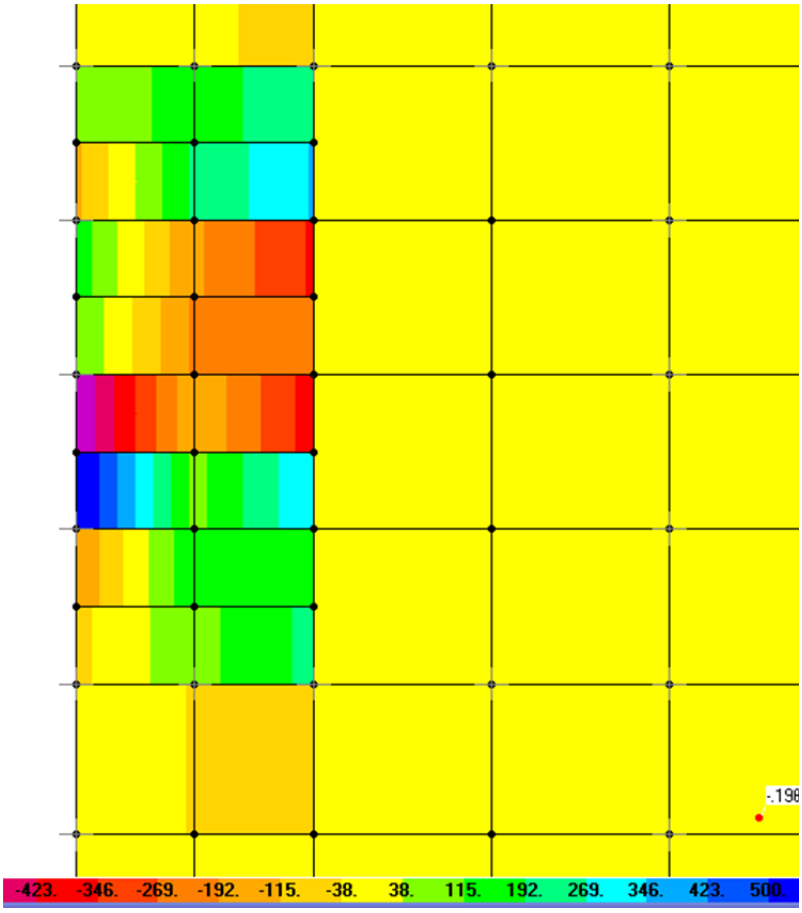


FIG. 3.10 - LATO BANCHINA PETROLI - V23 NOMINALE [KN/M]

Verifica agli SLU in corrispondenza respingente

M_{Sd}=-150kNm/m x 1.5m = -225kNm

M_{Sd}=+150kNm/m x 1.5m = +225kNm

N_{Sd}=+120x1.5m = +180kN (trazione)

V_{sd}=300kN/m x1.5m = 450kN

Le sollecitazioni sono contenute. Pertanto l'orditura corrente è adeguata.