



00	Novembre 2014	PRIMA EMISSIONE	S.J.S. Engineering s.r.l.
REVISIONE	DATA	MOTIVAZIONE	PROPONENTE

Stazione appaltante



**AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE**

Incarico

**PORTO DI TRIESTE - TERMINAL CONTAINER MOLO VII  
ALLUNGAMENTO 100m**

Livello progettuale

**PROGETTO DEFINITIVO**

Soggetto attuatore



Titolo

**RELAZIONE DI CALCOLO  
ALLESTIMENTI E ARREDI  
DI BANCHINA**

Area code

**0129 TST**

Title code

**01007-00**

Check

**R04**

Job code

**C-01**

Progettazione

**S.J.S. Engineering s.r.l.**



\*Roma (00187)  
Via Collina, n. 36  
Taranto (74123)  
P.zza Castel S. Angelo, n.11  
Mosca (123242)  
Krasnaya Presnaya  
st. 22 - Ufficio 3

Certified office\*  
COMPANY WITH  
QUALITY SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
= ISO 9001 =

Il Responsabile del Procedimento

Il Direttore Tecnico  
**Ing. Michelangelo Lentini**

Progettisti

**Ing. B. Lentini  
Ing. A. Porretti  
Ing. R. Isola  
Ing. M. Filippone  
Dott. Geol. G. Cardinali  
Dott.ssa V. Colosimo  
Ing. L. Drago  
Ing. P. Semeraro**

Edited

Porretti

Checked

ML

Date

Novembre 2014

Filename

0129TST01007-00-R04.doc



	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>1</b>	Di <b>45</b>

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. CALCOLO DEL SISTEMA DI DIFESA ELASTICA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 NAVI DI PROGETTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 ENERGIA NORMALMENTE PRODOTTA DURANTE L'ATTRACCO (EN).....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 ENERGIA DI ATTRACCO ANOMALA (E<sub>A</sub>) .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 VELOCITÀ DI ATTRACCO (V<sub>B</sub>) .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 COEFFICIENTE DI BLOCCO (C<sub>B</sub>).....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 COEFFICIENTE DI MASSA AGGIUNTA (C<sub>M</sub>) .....</b>	<b>9</b>
<b>2.7 COEFFICIENTE DI ECCENTRICITÀ (C<sub>E</sub>) .....</b>	<b>10</b>
<b>2.8 COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ATTRACCO (C<sub>C</sub>).....</b>	<b>11</b>
<b>2.9 COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ (C<sub>S</sub>) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.10 CALCOLO DELL'ENERGIA DI ATTRACCO DI UN CONTAINER 14.000TEU .....</b>	<b>12</b>
2.10.1 Dati di base .....	12
<b>2.11 SCELTA DEGLI ELEMENTI ELASTOMERICI .....</b>	<b>15</b>
<b>3. BITTE.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 CALCOLO DEL TIRO SULLE BITTE DELLA BANCHINA POLIFUNZIONALE E DI RIVA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 CALCOLO DEL TIRO ALLA BITTA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 DIMENSIONAMENTO E SCELTA DELLA BITTA DI PROGETTO .....</b>	<b>21</b>
<b>4. ARMAMENTO DELLE VIE DI CORSA.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 ROTAIA.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 PAD .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 RESINA O MALTA DI INGHISAGGIO .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4 CLIPS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5 TIRAFONDI.....</b>	<b>41</b>
<b>4.6 PIATTABANDA DI SUPPORTO IN ACCIAIO .....</b>	<b>42</b>
<b>4.7 RACCOMANDAZIONI .....</b>	<b>45</b>

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>2</b>	Di <b>45</b>

## INDICE TABELLE

---

Tabella 1 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle rotaie A120 e A150.....	24
Tabella 2 Le azioni.....	24
Tabella 3 Caratteristiche principali del modello di calcolo .....	26
Tabella 4 Combinazioni di carico utilizzate per le verifiche.....	27
Tabella 5 Coefficienti di sicurezza resina o malta di inghisaggio per rotaia A 120 .....	37
Tabella 6 Esito delle analisi .....	44
Tabella 7 Coefficienti di sicurezza .....	44

## INDICE FIGURE

---

Figura 1 Parametri geometrici della rotaia .....	24
Figura 2 Vista modello FEM.....	27
Figura 3 Vista modello FEM con elementi distinti per materiale .....	27
Figura 4 Diffusione delle tensioni nella rotaia .....	28
Figura 5 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 1 lato mare ( cond. operative) .....	31
Figura 6 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 4 lato terra ( cond. ultime) .....	32
Figura 7 Diffusione longitudinale .....	34
Figura 8 Diffusione trasversale.....	34
Figura 9 ChockfastRed .....	35
Figura 10 ChockfastRed SG .....	36
Figura 11 Emaco.....	36
Figura 12 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 1 lato mare ( condiz. operative).....	37
Figura 13 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 4 lato terra ( condiz. ultime).....	38
Figura 14 Clips Valex 5020-38-16 .....	38
Figura 15 Vista globale dello stato tensionale dell'intero equipment (comb. 4 lato terra).....	40
Figura 17 Vista assometrica armamento.....	43

---

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>3</b>	Di <b>45</b>

## 1. PREMESSA

Il progetto di allungamento del Molo VII, come ampiamente descritto all'interno della Relazione tecnica generale (Doc. n. 0129TST01001), persegue tra i vari obiettivi quello di:

1. garantire una lunghezza netta della banchina Sud di circa 870m, di cui 850m operativi, atti ad ospitare, in contemporanea, 2 navi madri, fra cui una Ultra Large Container Vessel (ULCV) da 14.000 TEUs, individuata come nave di progetto, da ormeggiare in testata;
2. assicurare, attraverso il rifacimento di 300m delle vie di corsa esistenti che vanno ad aggiungersi all'allungamento di 100m previsti in progetto, l'operatività delle gru di banchina Ship to Shore – StS – con estensione del braccio fino a 24 file, installazione che conduce i carichi per ruota a 131 ton, quindi più che doppie rispetto alle precedenti.

Tutto questo si traduce, in termini operativi, in nuovi sistemi di difesa elastica (parabordi) in grado di trasferire sulle strutture nuove energie di accosto, e in nuove bitte in grado di sopportare il tiro generato dai cavi di ancoraggio in condizioni gravose di vento, cioè oltre i 27m/s e, non ultimo, in un sistema di rotaie che andrà a sopportare un carico della gru pari a quasi il doppio di quello attuale.

Nei paragrafi che seguiranno, per ciascuno di questi aspetti, verranno illustrati i dati di base, i criteri di calcolo ed infine, in base ai risultati ottenuti, le scelte progettuali.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>4</b>	Di <b>45</b>

## 2. CALCOLO DEL SISTEMA DI DIFESA ELASTICA

L'energia cinetica prodotta durante l'attracco della nave deve, necessariamente, essere assorbita da un sistema di parabordi in grado di fornire adeguata resistenza e, soprattutto, di controbilanciare il sistema di forze in gioco, evitando il contatto dello scafo della nave con l'impalcato.

Il dimensionamento viene eseguito in base a ben riconosciuti metodi deterministici, che fanno riferimento alle "Linee guida per la progettazione di sistemi di parabordo: 2002", rilasciato dall'Associazione Internazionale di Navigazione. I paragrafi che seguiranno, delineano i criteri di calcolo e forniscono, in base a questi, i risultati ottenuti.

Come riportato nelle pagine a seguire, le navi di progetto, prese a riferimento per l'attracco al Molo VII, hanno caratteristiche differenti a seconda della capacità massima di trasporto, espresso in TEUs (TEU= Twenty Equivalent Unit, unità di misura internazionale).

In particolare, per il calcolo di dimensionamento dei parabordi, si è fatto riferimento alla nave di progetto, della classe Ultra Large Container Vessel (ULCV), da 14.000TEUs.

### 2.1 NAVI DI PROGETTO

Grazie alla presenza di fondali naturali di oltre 18m di profondità, gli interventi di ammodernamento, che il presente progetto riguarda anche per l'accosto, in banchina sud, più prossimo alla testata permetteranno lo scalo di nuove moderne portacontainer, le cui principali caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Shipyard	Teus	Row	Loa (m)	Beam (m)	Draft designed	Draft scantling
<b>Nave di progetto</b>						
<b>EMC</b>	<b>13.800 (14.000)</b>	<b>20</b>	<b>366</b>	<b>51,0</b>	<b>14,5</b>	<b>15,8</b>
<b>POSSIBILI ATTRACCHI DURANTE L'OPERATIVITÀ DEL TERMINAL</b>						
SAMSUNG H.I.	8.500	17	334	42,8	13,0	14,5
ODENSE S.Y.	9.000	17	367	42,8	12,2	15,0
ODENSE S.Y.	7.226	16	347	42,8	12,2	14,5
COSCO	9.500	17	350	42,8	13,0	14,5
STX S.B.	12.400	19	386	48,4	13,5	15,5

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>5</b>	Di <b>45</b>

dove:

Row= numero di file dei contenitori sopra coperta;

LOA = Length over all, Lunghezza fuori tutto del natante (m);

Beam = Larghezza massima della nave;

Draft designed = pescaggio di progetto della nave;

Draft scantling = pescaggio massimo della nave, nelle condizioni di pieno carico e di manovra;

## 2.2 ENERGIA NORMALMENTE PRODOTTA DURANTE L'ATTRACCO (EN)

L'energia cinetica di una nave in movimento può essere calcolata come:

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

Dove:

E = energia cinetica della stessa nave [kJm]

M = massa della nave (pari allo spostamento dell'acqua) [t]

v = velocità della nave in avvicinamento alla banchina [m/s]

Nel processo di attracco, l'energia di progetto, che deve essere assorbita dal parabordo, può essere ottenuta dalla formula:

$$E_d = f \cdot E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \cdot C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c$$

dove:

EN = La normale energia di attracco assorbita dal parabordo (kJm)

M = Massa della nave (dislocamento in tonnellate) al livello di confidenza stabilito. (1)

V = velocità di avvicinamento perpendicolare alle linea di attracco (2) (m/s).

CM = Coefficiente di massa aggiunta

CE = coefficiente di eccentricità

CC = coefficiente della configurazione di attracco

CS = coefficiente di deformabilità

(1) Il PIANC suggerisce 50% o 75% come limiti di confidenza (M50 o M75) appropriate nella maggior parte dei casi.

(2) La velocità di avvicinamento ( $V_B$ ) è solitamente basata su una misurazione del 50% del limite di confidenza (M50).

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>6</b>	Di <b>45</b>

## 2.3 ENERGIA DI ATTRACCO ANOMALA (E<sub>A</sub>)

L'impatto cosiddetto "anomalo" interviene allorquando si è in presenza di errori umani, di mal funzionamenti, di condizioni atmosferiche eccezionali o di una combinazione di questi fattori che si riverberano sull'energia di accosto.

L'energia anomala, che deve essere assorbita dai parabordi, può essere calcolata come segue:

$$E_A = F_S \times E_N$$

dove:

E<sub>A</sub> = energia di attracco anomala assorbita dai fender (kNm)

F<sub>S</sub> = fattore di sicurezza per l'attracco anomalo

Per quel che attiene i fattori di sicurezza da utilizzare, in conformità alle indicazioni dettate dal PIANC, si è fatto riferimento alla tabella di seguito riportata.

TABLE 1 PIANC FACTORS OF SAFETY FS		
Type of Berth Impact	Vessel	Factory for Abnormal Impact Applied to Berthing Energy (Cab)
Tanker and Bulk Cargo	Largest	1.25
	Smallest	1.75
Container	Largest	1.5
	Smallest	2.0
General Cargo		1.75
Ro-Ro and Ferries		2.0 or higher
Tugs, Work Boast, etc.		2.0

Fonte: PIANC 2002; Conseguenze che un calcolo sbagliato dei fender può avere sulle operazioni di attracco.

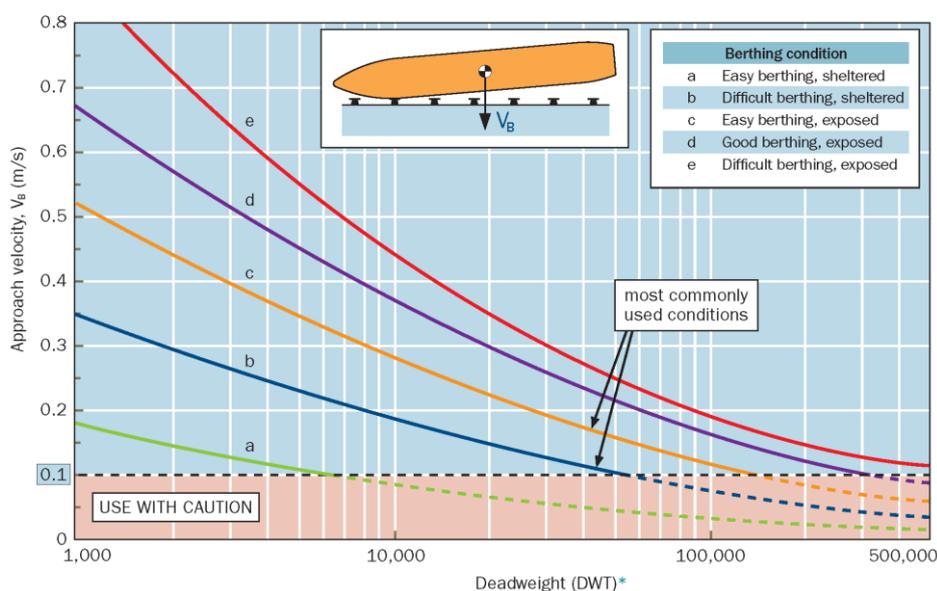
Il PIANC sottolinea che "i fattori di impatto anomalo, se presenti, non devono essere inferiori ad 1.1 né superiori a 2.0, tranne in casi di circostanze eccezionali".

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>7</b> Di <b>45</b>

## 2.4 VELOCITÀ DI ATTRACCO ( $V_B$ )

La velocità di attracco dipende dalla difficoltà riscontrata nella manovra, dalla disposizione dell'ormeggio e dalle dimensioni della nave.

Tutte le possibili condizioni sono solitamente suddivise in 5 categorie, come mostrato nella figura.



Fonte: Progettazione di parabordi: stampato dalla Trelleborg AB, 2007

La guida più comune per il calcolo della velocità di attracco è la tabella Broisma, adottata da BS1, PIANC2 e altri standard internazionali.

In base ai valori delle curve del grafico, la velocità di attracco consigliata per una portacontainer di grosse dimensioni (>150.000DWT) è inferiore a 0.10 m/sec.

Nello specifico, a favore di sicurezza, il calcolo è stato condotto con una velocità di attracco  $V_B$  pari a 0.13 m/sec, in modo da ottenere un sistema di parabordo idoneo ed con un adeguato coefficiente di sicurezza.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>8</b>	Di <b>45</b>

## 2.5 COEFICIENTE DI BLOCCO ( $C_B$ )

Il coefficiente di blocco ( $C_B$ ) è una funzione della carena e viene espresso come segue:

$$C_B = \frac{M}{L_{BP} \times B \times D \times \rho_{sw}}$$

dove:

M = dislocamento della nave (t)

$L_{BP}$  = lunghezza tra le perpendicolari (m)

B = trave (m)

D = pescaggio (m)

$\rho_{sw}$  = densità dell'acqua marina  $\approx 1.025\text{t/m}^3$

TYPICAL BLOCK COEFFICIENTS ( $C_B$ )	
Container vessels	0.6-0.8
General Cargo and bulk carriers	0.72-0.85
Tankers	0.85
Ferries	0.55-0.65
Ro-Ro vessels	0.7-0.8
<i>Source: PIANC 2002; TABLE 4.2.2</i>	

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>9</b> Di <b>45</b>

## 2.6 COEFFICIENTE DI MASSA AGGIUNTA ( $C_M$ )

Il coefficiente di massa aggiunta consente di tenere conto della massa virtuale dell'acqua coinvolta nel movimento della nave, in aggiunta a quella vera e propria della nave stessa.

Difatti, assieme alla nave si muove anche una massa d'acqua  $M_w$ , ed, in genere, per questo coefficiente viene fornita la formula seguente:

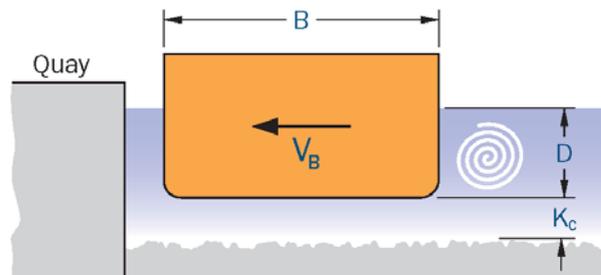
$$C_m = (M_s + M_w) / M_s$$

in cui:

$M_s$  è la massa della nave;

$M_w$  è la massa dell'acqua.

Tale coefficiente dipende dalle dimensioni della nave ed in particolare varia con la larghezza, il pescaggio ed il franco sottociglia.



Source: FENDER DESIGN printed by Trelleborg AB, 2007

Nel caso in esame, si determinerà il Coefficiente di massa aggiunta secondo il metodo Vasco Costa che viene normalmente utilizzato quando la profondità dell'acqua supera almeno del 10% il pescaggio della nave.

PIANC (2002)	Shigera Ueda (1981)	Vasco Costa* (1964)
for $\frac{K_C}{D} \leq 0.1$ $C_M = 1.8$	$C_M = \frac{\pi \times D}{2 \times C_B \times B}$	$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$
for $0.1 \leq \frac{K_C}{D} \leq 0.5$ $C_M = 1.875 - 0.75 \left[ \frac{K_C}{D} \right]$		
for $\frac{K_C}{D} \geq 0.5$ $C_M = 1.5$		

where,

$D$  = draft of vessel (m)

$B$  = beam of vessel (m)

$L_{BP}$  = length between perpendiculars (m)

$K_C$  = under keel clearance (m)

\* valid where  $V_B \geq 0.08\text{m/s}$ ,  $K_C \geq 0.1D$

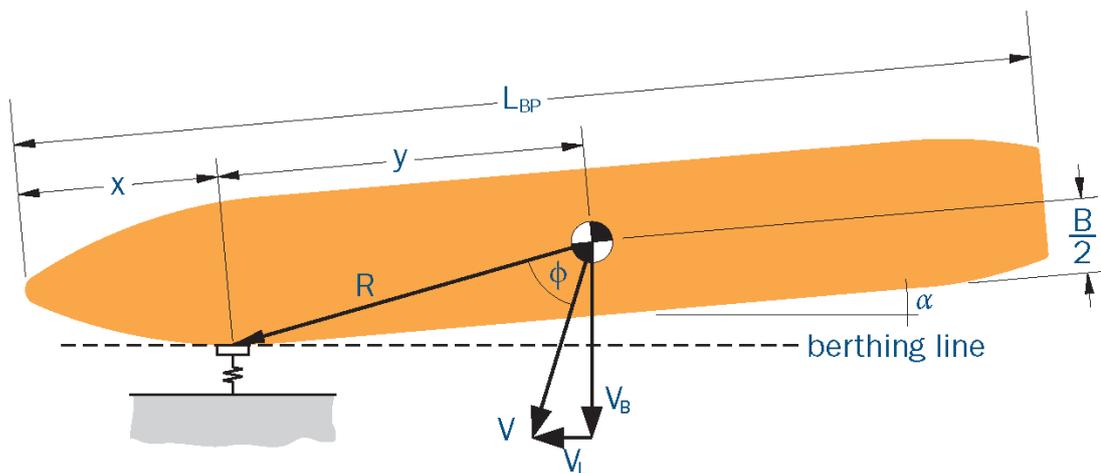
Fonte: Progettazione di parabordi: stampato dalla Trelleborg AB, 2007

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>10</b> Di <b>45</b>

## 2.7 COEFFICIENTE DI ECCENTRICITÀ ( $C_E$ )

Il coefficiente di eccentricità tiene conto dell'energia dissipata dalla rotazione della nave nel punto di impatto con i parabordi. Il giusto punto di impatto, l'angolo di ormeggio e l'angolo del "vettore velocità" sono importanti per un calcolo accurato del coefficiente di eccentricità. Nella pratica,  $C_E$  spesso varia tra 0.3 e 1.0, a seconda dei diversi tipi di ormeggio.

La velocità ( $V$ ) non è sempre perpendicolare alla linea di ormeggio.



$V_L$  = longitudinal velocity component (forward or astern)

Source: FENDER DESIGN printed by Trelleborg AB, 2007

$$x+y=0.5 \times L_{BP}$$

$$R = \sqrt{y^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

$$K = (0.19 \times C_B + 0.11) \times L_{BP}$$

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \phi}{K^2 + R^2}$$

dove

$B$  = Larghezza della nave (m)

$C_B$  = coefficiente di blocco

$L_{BP}$  = lunghezza tra le perpendicolari (m)

$R$  = centro della massa nel punto di impatto (m)

$K$  = raggio di girata (m)

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>11</b>	Di <b>45</b>

## 2.8 COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ATTRACCO ( $C_c$ )

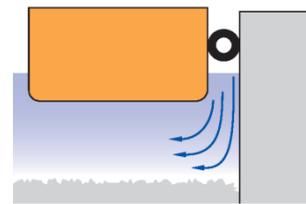
Il coefficiente di configurazione dell'attracco dipende dalla tipologia di struttura adibita all'accosto, nel caso in cui questa risulti di tipo aperto (come ad esempio un impalcato su pali) oppure di tipo chiuso (cassoni). Quando le navi attraccano ad angoli acuti alle strutture solide, l'acqua tra la carena e la banchina fa da cuscino e disperde una piccola quantità di energia di attracco.

Nel caso in esame, considerando che l'attracco avviene ad alta velocità e la banchina è a giorno, si considera un  $C_c=1$ .

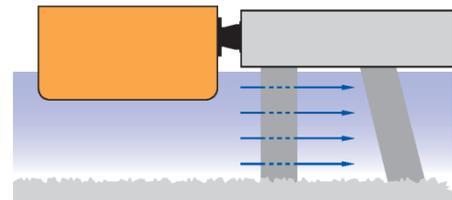
PIANC recommends the following values:

$C_c = 1.0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Open structures including berth corners</li> <li>▮ Berthing angles <math>&gt; 5^\circ</math></li> <li>▮ Very low berthing velocities</li> <li>▮ Large underkeel clearance</li> </ul>
$C_c = 0.9$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▮ Solid quay structures</li> <li>▮ Berthing angles <math>&gt; 5^\circ</math></li> </ul>

Closed structure



Semi-closed structure



	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>12</b>	Di <b>45</b>

## 2.9 COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ ( $C_s$ )

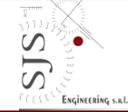
Questo fattore è determinato dal rapporto tra l'elasticità del fender e quella dello scafo della nave, che assorbe pertanto una frazione della energia in gioco.

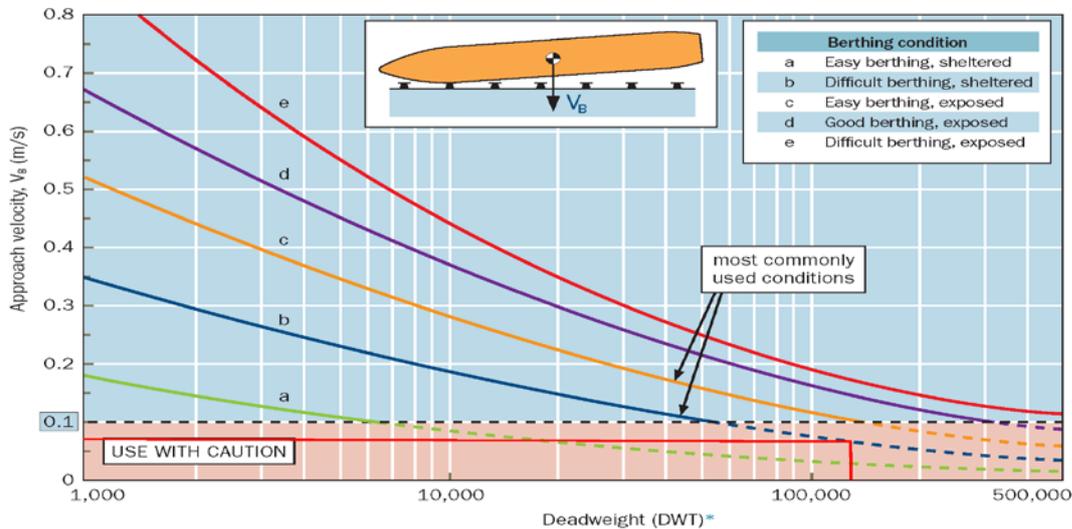
$C_s = 1.0$	Soft fenders ( $\delta_f > 150\text{mm}$ )
$C_s = 0.9$	Hard fenders ( $\delta_f \leq 150\text{mm}$ )

## 2.10 CALCOLO DELL'ENERGIA DI ATTRACCO DI UN CONTAINER 14.000TEU

### 2.10.1 Dati di base

Tonnellaggio di portata lorda (DWT):	136.000 ton
Larghezza(B)	51,0 m
Lunghezza di massima(LOA):	368 m
Pescaggio(D)	15,8 m
Lunghezza tra le perpendicolari(LBP)	352 m
Dislocamento:	152.000 ton
Profondità di banchina:	-18m (valore medio e conservativo)
Angolo di attracco:	5°
Condizioni di attracco :	B

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>		
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>13</b>	Di <b>45</b>



Per il calcolo della velocità di accosto: DWT=152.000 ton,  $V_B=0,072\text{m/s}$ . A favore di sicurezza, in quanto  $V_B < 0,1\text{m/sec}$ , si assume una velocità di accosto pari a  $V_B=0,13\text{m/sec}$ .

### 2.10.2 Calcolo del Coefficiente di Eccentricità $C_E$

$$C_B = \frac{M}{L_{BP} \times B \times D \times \rho_{sw}} = 152.000 \div (352,0 \times 51,0 \times 15,0 \times 1,025) = 0,551$$

$$K = (0,19 \times C_B + 0,11) \times L_{BP} = (0,19 \times 0,551 + 0,11) \times 352 = 75,55\text{m}$$

Ipotizzando un attracco al quarto della lunghezza della nave si ottiene:

$$y = 0,25 \times L_{BP} = 0,25 \times 352 = 88\text{m}$$

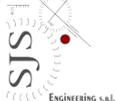
$$R = \sqrt{y^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} = \sqrt{88^2 + \left(\frac{51}{2}\right)^2} = 91,62\text{m}$$

$$C_E = \frac{K^2}{K^2 + R^2} = 75,55^2 / (75,55^2 + 91,62^2) = 0,482$$

### 2.10.3 Calcolo del COEFFICIENTE DI MASSA AGGIUNTA $C_M$

Per il calcolo del Coefficiente  $C_M$  si è presa a riferimento la formula proposta da Vasco Costa.

Il calcolo ha fornito un valore pari a 1,588.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>14</b>	Di <b>45</b>

#### **2.10.4 Calcolo del COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ATTRACCO CC**

Come già precedentemente esposto, le condizioni al contorno, ovvero di una nuova banchina su pali, impone un coefficiente pari a 1.

#### **2.10.5 Calcolo del COEFFICIENTE DI DEFORMABILITA' CS**

Il coefficiente di deformabilità  $C_s$  sarà considerato pari ad 0,9.

#### **2.10.6 Determinazione del coefficiente di sicurezza $F_s$**

Secondo le indicazioni del PIANC, il coefficiente di sicurezza  $F_s$  da adottare nel calcolo sarà 1,5.

#### **2.10.7 Calcolo dell'energia di accosto in condizioni di attracco normale**

$$E_N = 0,5 \times M \times V_B^2 \times C_M \times C_E \times C_C \times C_s$$

$$E_N = 0,5 \times 0,13^2 \times 152.000 \times 1,588 \times 0,482 \times 1,0 \times 0,90 = 885 \text{ kN-m}$$

#### **2.10.8 Calcolo dell'energia di accosto in condizioni di attracco anomalo**

$$E_A = E_N \times F_s = 885 \times 1,5 = 1.328 \text{ kN-m}$$

In base ai calcoli sopra riportati, **la capacità di assorbimento dei parabordi di progetto dovrà essere pari a  $E_A = 1.328 \text{ kN-m}$**

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>15</b>	Di <b>45</b>

## 2.11 SCELTA DEGLI ELEMENTI ELASTOMERICI

Come conseguenza dei valori esposti in precedenza, è prevista l'adozione dell'elemento elastomerico TRELLEBORG SCN1400 E2.2, o simile approvato.

Sulla base dei dati raccolti in un documento specifico, emesso dal produttore suddetto, seguono i valori teorici riportati, riferiti ad una deformazione al 72.0%:

**Energia assorbita = 1.376kNm ±10% di tolleranza**

**Forza di reazione = 1.738kN ±10% di tolleranza**

Per la scelta del Fender, si sono tenuti in conto i seguenti fattori correttivi:

- Angle factor  $5^\circ = 1,055$  quale fattore di correzione per il calcolo dell'energia e della reazione;
- Velocity factor = 1,07 quale fattore di correzione per il calcolo dell'energia e della reazione;
- Temperature factor  $0^\circ\text{c} = 1,099$  quale fattore di correzione per il calcolo della reazione;
- Temperature factor  $35^\circ\text{c} = 0,948$  quale fattore di correzione per il calcolo dell'energia;
- Manufacturer 10% tolerance = 0,9 quale fattore di correzione per il calcolo dell'energia;
- Manufacturer 10% tolerance = 1,1 quale fattore di correzione per il calcolo della reazione.

Le verifiche condotte sul parabordo 1400 E2.2, forniscono:

- Energia assorbita:  $1.376\text{kNm} \times 0,9 \times 0,948 \times 1,07 \times 1,055 = 1.325\text{kNm}$
- Forza di Reazione massima esercitata sullo scafo:  $1.738\text{kN} \times 1,1 \times 1,099 \times 1,07 \times 1,055 = 2.371\text{kN}$

Un volta determinato il tipo di elemento elastomerico, risulta necessario, in base ai dati di reazione dettata dal parabordo, dimensionare il pannello frontale affinché la pressione media, esercitata sullo scafo della nave, risulti minore della massima pressione ammissibile.

Per le grandi navi portacontenitori, la massima pressione accettabile sullo scafo è pari a 200 kN/m<sup>2</sup> (Cfr. PIANC:2002 tabella 4.4.1)

La reazione vincolare del parabordo selezionato è pari a 2.371kNm.

Ne consegue che l'area di contatto dovrà essere pari a  $2.371 / 200 = 11,85 \text{ m}^2$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>16</b>	Di <b>45</b>

### **Caratteristiche del pannello frontale**

Smussatura superiore 250 x 70 mm

Smussatura laterale 100 x 70 mm

Larghezza del pannello: 2.700 mm

Altezza del pannello: 5.000mm

### **2.11.1 Interasse dei dispositivi di difesa e loro installazione**

La spaziatura dei parabordi é definita in modo da assicurare che sia mantenuto un margine positivo tra lo scafo della nave e la superficie della banchina, quando il parabordo è compresso.

Per il calcolo in riferimento, si deve tenere conto del profilo dello scafo al livello della linea d'impatto con il parabordo e del massimo angolo di accosto.

Come regola di riferimento, per i calcoli viene adottata la seguente formula:

$$F_{ns} = 2 [(R^2 - (R - H)^2)]^{0.5}$$

dove:

$F_{ns}$  Spaziatura dei parabordi

H Altezza del parabordo compresso (quando l'effettiva energia cinetica è assorbita)

R Raggio di curvatura della nave

Poiché il raggio di curvatura usualmente non è noto, si suggerisce, come metodo alternativo, di usare la formula riportata nel seguito, che non è correlata con il raggio di curvatura della nave.

E' possibile stimare il raggio in funzione della lunghezza (L) e della Larghezza (B) della nave.

La distanza  $F_{ns}$  fra i parabordi deve essere:

$$F_{ns} \leq 2 \sqrt{h \left( \frac{B}{2} + \frac{L^2}{8B} - h \right)}$$

dove, riferendosi alla nave di progetto (14.000 teus):

L = 368.00 m

B = 51 m

Assumendo per h il valore dell'ordine di 1.1 m, segue:

$$F_{ns} \leq 2 [1.10 (51/2 + 368.00^2/8/51.0 - 1.10)]^{0.5} = 38,25 \text{ m}$$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>17</b>	Di <b>45</b>

Nell'ipotesi di parabordo compresso, il valore  $h$  può essere assunto pari a 0.6 m circa e la relativa distanza  $Fns$  ha il valore di 28,19 m circa.

I dati calcolati sono stati confrontati con le strutture di progetto, andando ad individuare un posizionamento dei parabordi che da una parte risponde ai requisiti imposti dalle normative in materia e, dall'altra, consente una distribuzione dei carichi, sulla struttura dell'impalcato, quando più simmetrica possibile. Inoltre, il vincolo rappresentato dallo schema strutturale, con piastre di dimensione in pianta 9,90 x 9,90m, ha imposto uno schema rigido per il fissaggio degli elementi.

Per questo motivo, i parabordi verranno posizionati con interassi di 19,80m ed in corrispondenza dei giunti delle travi di bordo.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>18</b>
			Di <b>45</b>

### 3. BITTE

#### 3.1 CALCOLO DEL TIRO SULLE BITTE DELLA BANCHINA POLIFUNZIONALE E DI RIVA

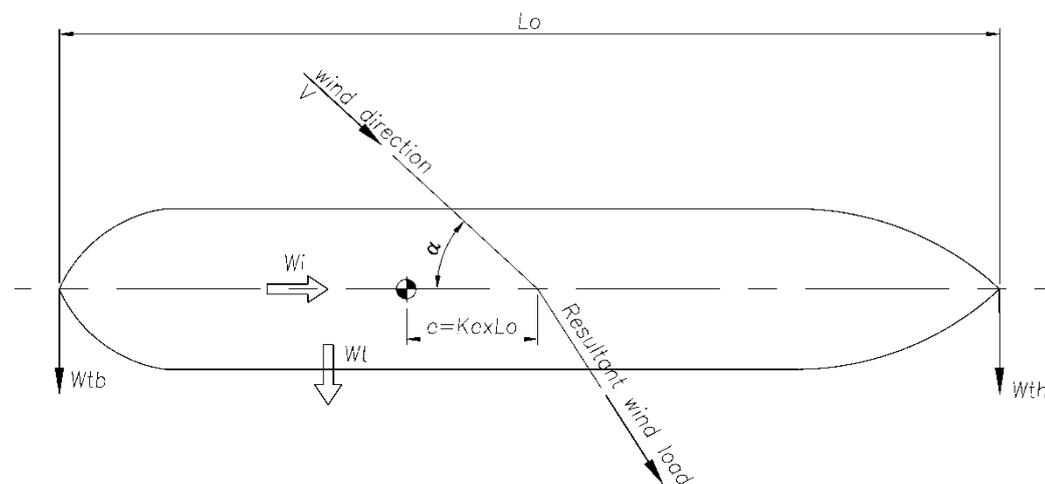
##### 3.1.1 Forze risultanti dovute alla pressione del vento sulle navi

La verifica del tiro alla bitta è stata condotta in conformità al codice "Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways EAU 2004".

In base alle prescrizioni dettate dalle Raccomandazioni, di seguito per brevità EAU del 2004, le componenti del carico dovuto al vento, che agisce sulla nave all'ormeggio, sono le seguenti:

$$W_t = (1 + 3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2$$

$$W_l = (1 + 3.1 \sin \alpha) \cdot k_l \cdot H \cdot L_u \cdot v^2$$



I carichi equivalenti sulle bitte si possono ottenere dividendo  $W_t$  come segue:

$$W_t = W_{tb} + W_{th}$$

dove:

$$W_{tb} = W_t \cdot (0.50 + k_e)$$

$$W_{th} = W_t \cdot (0.50 - k_e)$$

dove:

$H$  = massima altezza del bordo libero della nave (a pieno carico o allibata), alla quale si deve sommare l'altezza aggiuntiva del carico dal bordo libero [m]

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>19</b>	Di <b>45</b>

$L_u$ : Lunghezza massima della nave ormeggiata [m]

$v$ : velocità del vento di progetto [m/s]; che per navi superiori a 50,000dwt, come in questo caso, è riferito alla velocità media del vento misurata in 1 minuto.

$W_i$ : componenti del carico del vento

$k_t$  e  $k_i$ : coefficienti di carico del vento

$k_e$ : coefficiente di eccentricità

Il carico ed i coefficienti di eccentricità, per navi con tonnellaggio superiore a 50,000 DWT, sono elencati nella tabella seguente.

Navi superiori a 50,000dwt			
$\alpha^\circ$	$K_t$ [kN $s^2/m^4$ ]	$K_e$ [I]	$K_i$ [kN $s^2/m^4$ ]
0	0	0	$9.1 \cdot 10^{-5}$
30	$11.1 \cdot 10^{-5}$	0.13	$3.0 \cdot 10^{-5}$
60	$14.1 \cdot 10^{-5}$	0.07	$2.0 \cdot 10^{-5}$
90	$16.1 \cdot 10^{-5}$	0	0
120	$14.1 \cdot 10^{-5}$	-0.08	$-2.0 \cdot 10^{-5}$
150	$11.1 \cdot 10^{-5}$	-0.16	$-4.0 \cdot 10^{-5}$
180	0	0	$-8.1 \cdot 10^{-5}$

Il dimensionamento delle bitte presuppone il ricorso ad un modello dove, l'insieme di nave, banchina, elementi di ancoraggio e risposte del sistema, vengono schematizzati con un modello statico. D'altro canto, l'aleatorietà del fenomeno, e del mutuo comportamento dei diversi componenti del sistema, impone il ricorso ad un coefficiente di amplificazione che tiene conto del comportamento impulsivo dei diversi componenti.

In osservanza delle EAU, **i carichi determinati con le formule sopra riportate, verranno moltiplicati per un fattore di sicurezza parziale  $\gamma_d=1.25$ , che, come già detto, tiene conto delle eventuali influenze dinamiche, e di altro tipo, non determinabili a priori.**

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>20</b>	Di <b>45</b>

## 3.2 CALCOLO DEL TIRO ALLA BITTA

Per il calcolo del tiro alla bitta si è fatto riferimento alle caratteristiche della nave di progetto avente una portata massima pari a 14.000TEUs.

- Lunghezza fuori tutto(LOA) : 368 m
- Larghezza massima: 51,2 m
- Altezza massima dello scafo fino al bordo libero: 29,85 m
- Pescaggio (scantling): 15,5 m

Considerata l'altezza massima dello scafo fino al bordo libero e la massima immersione a pieno carico, si ottiene la parte emersa dello scafo che, nelle condizioni più gravose, è pari a 29,85-15,5 = 14,35m.

Nell'ipotesi di nave completamente carica, all'altezza sopra calcolata, occorre sommare l'altezza dovuta ai container oltre il bordo libero.

Dalla scheda tecnica, si evince che il massimo numero di container, impilabili sopra coperta (tiri), è pari a 9, da cui:  $H_a = 9 \times 2.6 = 23.4$  m.

### DATI DI PROGETTO:

Velocità media del vento di progetto: 27 m/s

Quota dell'impalcato: 2,6 m

Massima escursione di marea ( $T_r=5$ anni): 1,0 m

Calcolo:

$$V = 27 \text{ m/s}$$

$$H = 23,4 + 14,35 - (2,6 - 1) = 36,15 \text{ m}$$

Ipotizzando la peggiore condizione di vento, che vede la murata della nave investita al traverso, ovvero con un angolo pari a  $\alpha=90^\circ$  rispetto all'asse prua-poppa, si ottiene:

$$k_t = 0,000161$$

$$k_l = 0$$

$$k_e = 0$$

$$w_t = (1 + 3.1 \times 1) \times 0,000161 \times 36,15 \times 366 \times 729 = 6366,88 \text{ kN} = 649,02 \text{ ton}$$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>21</b>	Di <b>45</b>

$$wl = (1+3.1 \times 1) \times 0 \times 36,15 \times 366 \times 729 = 0 \text{ kN} = 0,00 \text{ ton}$$

$$W_{tb} = 6366,88 \times (0.50 + 0) \times 1,25 = 3979,3 \text{ kN} = 405,64 \text{ ton}$$

$$W_{th} = 6366,88 \times (0.50 - 0) \times 1,25 = 3979,3 \text{ kN} = 405,64 \text{ ton}$$

Si sottolinea che il tiro è da intendersi come il tiro massimo ( a prua e a poppa) che verrebbe applicato ad una singola bitta.

Si vuole sottolineare come, in questa sede, i calcoli siano stati condotti con condizioni di vento molto proibitive per una nave in banchina.

Le British Standards raccomandano di effettuare i calcoli sulla base di quanto segue:

$V_{w_{max}} = 22,0 \text{ m/s}$  (velocità limite di permanenza finché sono disponibili i rimorchiatori con un tiro totale sulle bitte del 150% della forza massima risultante dall'azione del vento sulla nave).

$V_{w_{max}} = 17,0 \text{ m/s}$  (ormeggio in condizioni normali, cioè a carico e scarico, ecc).

Nel caso in esame, avendo considerato le straordinarie condizioni di vento (Bora) del paraggio in esame e avendo imposto un vento massimo pari a 27m/s, a tutto vantaggio della sicurezza, sarà possibile per il terminalista accettare e gestire navi all'ormeggio di differenti caratteristiche, andando a gestire e procedurizzare la permanenza in banchina in base all'intensità del vento che i sistemi di misura forniranno.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO E SCELTA DELLA BITTA DI PROGETTO

Il calcolo del tiro sulle bitte dovuto all'azione del vento, che impatta sulla murata della nave in banchina, fornisce il valore massimo, sia a prua che a poppa, al quale il sistema di ormeggio dovrà porre adeguata resistenza.

Nel caso in esame, considerate le azioni in gioco e la lunghezza delle navi di progetto, si è optato per un sistema di ormeggio costituito da 3 bitte a prua e 3 bitte a poppa, in maniera che, per una nave da 14.000TEUs, il tiro massimo venga ripartito su 6 bitte, ottenendo:

$$W_{tb} + W_{th} = 406 + 406 = 812t / 6 = 135,5t$$

A commento dei calcoli precedenti é da sottolineare che:

- é molto difficile preparare un ottimo piano d'ormeggio delle navi da seguirsi da parte del Terminalista;
- talvolta le bitte sono collegate simultaneamente da più di due gomene;
- non é ottenibile una suddivisione uniforme delle forze tra le varie gomene e le bitte coinvolte;

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>22</b>	Di <b>45</b>

- deve essere presa in conto l'elasticità delle gomene, associata con l'inclinazione in direzione orizzontale e verticale;
- la struttura di banchina deve essere considerata come rigida.

Per questo motivo, come già richiamato precedentemente, i calcoli sono stati condotti in osservanza delle EUA, e quindi moltiplicati per un fattore di sicurezza parziale  $\gamma_d=1.25$ , che tiene conto di tutte le influenze dinamiche, e di altro tipo, non determinabili a priori e fornisce un adeguato margine di sicurezza.

Per quanto concerne la spaziatura delle bitte, si è verificato che i valori approssimati dati da Carl A. Thoresen ("Port Design – Guidelines and Recommendations") fossero in linea con le limitazioni dettate dalla particolare struttura del Molo VII. La verifica è stata condotta tenendo conto che le bitte potranno essere posizionate solamente in corrispondenza dei pali, ovvero in corrispondenza del giunto della trave di bordo, dove i trefoli passanti non interferiscono con i sistemi di ancoraggio delle bitte stesse.

L'interasse delle bitte sarà pari pertanto pari a 19,80m, in corrispondenza del giunto tra le travi di bordo.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>23</b>	Di <b>45</b>

## 4. ARMAMENTO DELLE VIE DI CORSA

La presente relazione contiene la verifica delle attrezzature e degli allestimenti di connessione tra l'equipment e le travi portarotaia delle gru di banchina presso il Molo VII. Nella fattispecie si tratta di armamento con utilizzo della rotaia tipo Burbach A120.

La verifica viene estesa, oltre alle rotaie, anche al resto degli elementi che costituiscono il pacchetto dell'armamento, ovvero:

- intercalare in gomma;
- clips di fissaggio rotaia;
- piattabanda di acciaio;
- resina epossidica o malta espansiva;
- tirafondi di ancoraggio alla trave;
- malta cementizia.

I calcoli di verifica sono stati condotti sui vari elementi, sotto l'azione delle forze agenti sull'interfaccia rotaia-ruota. L'analisi è stata effettuata ottemperando alle prescrizioni delle principali norme italiane, europee e internazionali, attingendo dalle indicazioni della letteratura tecnica più aggiornata e specializzata in materia, e sentendo il parere di tecnici esperti nel settore. Vengono inoltre formulate considerazioni generali e specifiche sul montaggio e la manutenzione.

La normativa di riferimento, presa in considerazione per lo svolgimento del presente elaborato, è la seguente:

- D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008, "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009, "Istruzioni per le applicazioni delle " Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008;
- EN 1993-6:2007;
- Norme FEM;
- Norme ASTM.

In Figura 1 sono riportate le principali caratteristiche geometriche e meccaniche per la rotaia.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>24</b>	Di <b>45</b>

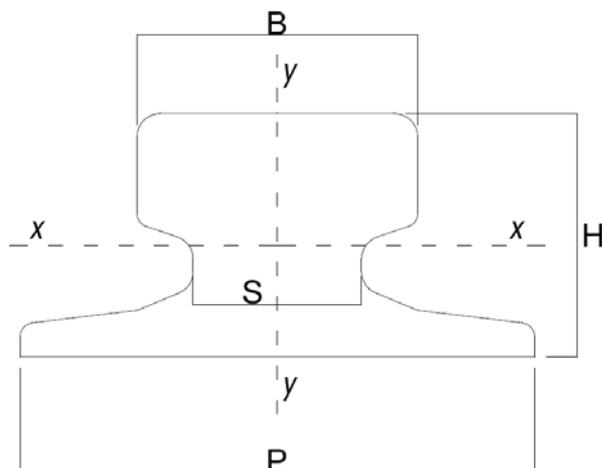


Figura 1 Parametri geometrici della rotaia

Tabella 1 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle rotaie A120 e A150

Profilo	Peso [kg/m]	P [mm]	H [mm]	B [mm]	S [mm]
<b>A120</b>	100.0	220	105	120	72

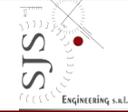
Acciaio: 1100

$$\text{Resistenza a trazione: } f_y = 1080 \frac{N}{mm^2}$$

Le azioni considerate per le verifiche delle attrezzature e degli allestimenti di connessione tra l'equipment e le travi porta rotaia delle gru di banchina (cfr. Doc. n. 0129TSTS01006-00 Relazione di calcolo banchina su pali), sono riportate nella Tabella 2.

Tabella 2 Le azioni

	LATO MARE			LATO TERRA		
	PV	PH	PL	PV	PH	PL
	t/ruota	t/ruota	t/rotaia	t/ruota	t/ruota	t/binario
<b>Condizione di carico n. 1 a</b>						
(DL) – Pesì propri (Braccio abbassato)	53,38			52,15		
<b>Condizione di carico n. 1 b</b>						
(DL) – Pesì propri (Braccio sollevato)	36,35			69,29		
<b>Condizione di carico n. 2 a</b>						
(TL+LS+LL) – Carico mobile (Braccio abbassato)	22,99			12,38		

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>25</b> Di <b>45</b>

	LATO MARE			LATO TERRA		
	PV	PH	PL	PV	PH	PL
	t/ruota	t/ruota	t/rotaia	t/ruota	t/ruota	t/binario
<b>Condizione di carico n. 2 b</b>						
(TL+LS) – Carico mobile (Braccio sollevato)	0,92			2,23		
<b>Condizione di carico n. 3</b>						
Vento operativo (WE = 20 m/s)	9,15	1,12	23,03	6,57	1,12	15,36
<b>Condizione di carico n. 4</b>						
Vento ultimo (WU = 42 m/s)	41,09	5,34	89,41	37,04	5,34	78,96
<b>Condizione di carico n. 6</b>						
Sisma (Braccio abbassato)	47,63	14,17	263,2	43,47	6,68	141,46
<b>Condizione di carico n. 7</b>						
Sisma (Braccio sollevato)	30,73	9,14	169,81	59,48	9,14	193,56

	LATO MARE			LATO TERRA		
	PV	PH	PL	PV	PH	PL
	t/ruota	t/ruota	t/binario	t/ruota	t/ruota	t/binario
<b>COMBINAZIONE 1</b>						
DL+TL+LS+LL+WE	86	1,12	23	71	1,12	15
<b>COMBINAZIONE 2</b>						
DL+TL+LS+WU	78	5,34	89	109	5,34	79
<b>COMBINAZIONE 3</b>						
DL+TL+LS+LL+QUAKE	124	7,83	145	108	5,75	122
<b>COMBINAZIONE 4</b>						
DL+TL+LS+QUAKE	68	5,05	94	131	7,86	166

dove:

<b>PV</b>	Forza verticale sulla rotaia
<b>PH</b>	Forza trasversale sulla rotaia
<b>PL</b>	Forza longitudinale sulla rotaia
<b>DL</b>	Peso proprio
<b>LL</b>	Peso container
<b>TL</b>	Peso del carrello
<b>LS</b>	Peso del sistema di sollevamento
<b>WE</b>	Vento in condizioni operative 20m/s
<b>WU</b>	Vento in condizioni di parcheggio 42m/s
<b>QUAKE</b>	Sisma $a_g=0,15g$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>26</b>	Di <b>45</b>

Il dimensionamento e la verifica della rotaia e di tutte le altre componenti dell'equipment, si è sviluppato in due fasi successive.

Nella prima fase di pre-dimensionamento, sono stati utilizzati modelli di calcolo semplificati, ipotizzando due diversi criteri di diffusione delle azioni, a cui sono seguite le relative verifiche. Con l'utilizzo di tali modelli, si può determinare lo stato tensionale in corrispondenza dell'anima della rotaia ma non si riesce ad avere indicazioni nè sulle tensioni che si generano all'interfaccia ruota-rotaia, nè sulla diffusione dei carichi all'interno del bulbo della rotaia stessa.

In seguito, al fine di valutare il livello di stress per i carichi di esercizio e per lo stato limite ultimo (comb. sismica), è stato implementato un modello matematico agli elementi finiti con il programma di calcolo STRAUS7.

Il modello si prefigge di studiare e valutare le tensioni a livello locale del pacchetto delle rotaie, nel punto di contatto della ruota. Pertanto considera un porzione di rotaia di lunghezza pari a 600mm. Gli elementi utilizzati per la modellazione della rotaia, della piastra in acciaio e della resina, sono elementi brick HEXA8 mentre il pad è stato discretizzato come un letto di molle. E' stata sfruttata l'assialsimmetria del problema per affinare il modello e ridurre i tempi di calcolo e di analisi.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche salienti del modello.

Tabella 3 Caratteristiche principali del modello di calcolo

<b>MODELLO LOCALE AGLI ELEMENTI FINITI</b>	
Programma di calcolo	STRAUS 7
n° di nodi	49888
n° elementi brick	41230 a 8 nodi tipo HEXA8
PAD - n° elementi spring	1568
Tipo di analisi	Elastica lineare

La rotaia Burbach è stata modellata con elementi brick a 8 nodi (HEXA8). Durante la fase di meshing si è tenuto conto delle singolarità di forma; in particolare si è avuta l'accortezza di infittire i nodi nelle zone di raccordo e nella zona di applicazione dei carichi per evitare picchi di tensione non realistici oltremodo. Il carico è stato applicato nella zona di contatto ruota-rotaia, distribuendolo su una superficie di dimensioni 20x100mm.

Il pad è stato modellato con elementi spring distribuiti sull'intera superficie inferiore della porzione di rotaia. La rigidità è stata valutata con riferimento ai valori forniti dal produttore (40000 lb/ins<sup>3</sup>).

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>27</b>	Di <b>45</b>

La piastra di acciaio è costituita da 8556 elementi brick HEXA8. Le caratteristiche meccaniche sono quelle proprie dell'acciaio.

Lo strato di resina o malta di inghisaggio, previsto di spessore 40mm, è stato modellato con 12648 elementi brick. Il valore del modulo di elasticità longitudinale E e del coefficiente di Poisson  $\nu$  sono stati desunti dalle schede tecniche del materiale.

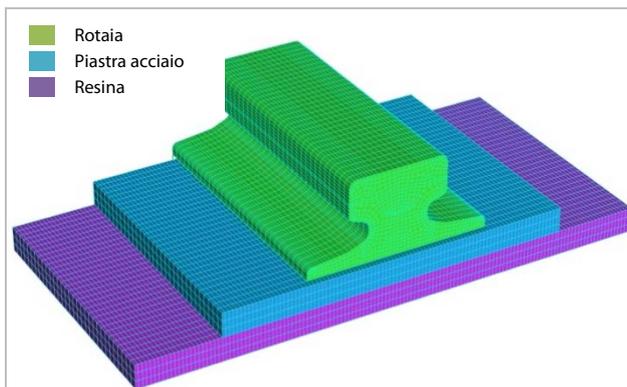


Figura 2 Vista modello FEM

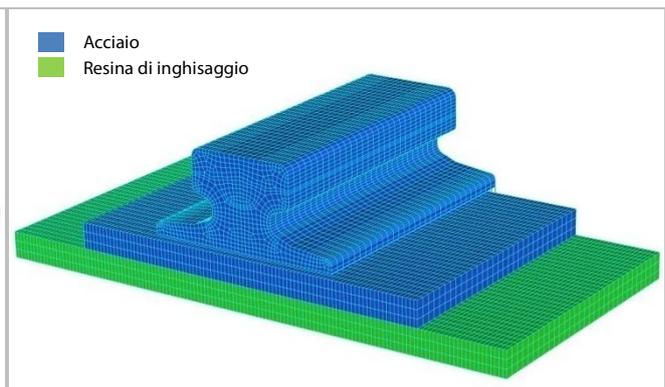


Figura 3 Vista modello FEM con elementi distinti per materiale

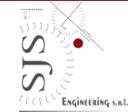
Allo scopo di studiare meglio la risposta del modello, sono stati inseriti vincoli adeguati a simulare il collegamento offerto dalle clips e dalla base cementizia.

## 4.1 ROTAIA

Le azioni utilizzate per le verifiche della rotaia sono desunte dal Doc. n.0129TST01006. Individuate le combinazioni di carico più gravose delle possibili analizzate, se ne riporta in sintesi le azioni che ne derivano sull'interfaccia rotaia-ruota.

Tabella 4 Combinazioni di carico utilizzate per le verifiche

	LATO MARE			LATO TERRA		
	PV	PH	PL	PV	PH	PL
	t/ruota	t/ruota	t/binario	t/ruota	t/ruota	t/binario
<b>COMBINAZIONE 1</b>						
<b>STATO LIMITE DI ESERCIZIO</b>	<b>86</b>	<b>1,12</b>	<b>23</b>	71	1,12	15
<b>COMBINAZIONE 4</b>						
<b>STATO LIMITE ULTIMO</b>	68	5,05	94	<b>131</b>	<b>7,86</b>	<b>166</b>

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>28</b>	Di <b>45</b>

Per quanto riguarda le azioni verticali, sono state ipotizzate due diverse distribuzioni nelle rotaie dello sforzo proveniente dalla ruota.

### Distribuzione 1

La distribuzione delle tensioni adottata è quella suggerita dalla EN 1993-6:2007 al paragrafo 5.7.1. Si assume che, anche per l'anima della rotaia, la tensione verticale di compressione dovuta al carico trasmesso dalla ruota valga:

$$\sigma = \frac{N}{l_{eff} \cdot S}$$

dove  $l_{eff}$  è l'effettiva lunghezza di carico.

Per la rotaia A120 si ha:

$$l_{eff} = 3.25 [I_{rf} / S]^{1/3} = 88mm \quad (\text{Tabella 5.1 EN 1993-6:2007})$$

dove  $I_{rf}$  è il momento d'inerzia della sezione del binario e del suo supporto rispetto all'asse orizzontale baricentrico. Volendo verificare la sezione in corrispondenza dell'anima, viene assunto quale momento d'inerzia, quello corrispondente alla porzione di rotaia al di sopra dell'anima rispetto al proprio asse baricentrico.

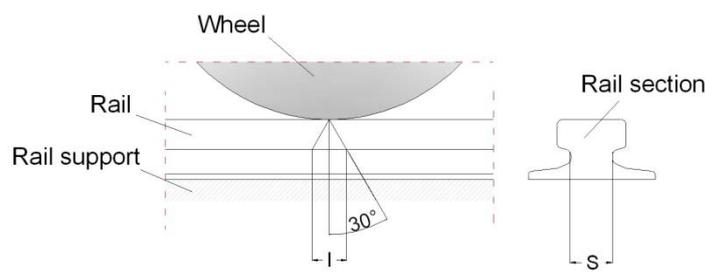
Si ha di conseguenza:

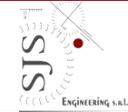
$$\sigma_{yy,1} = \frac{PV}{l_{eff} \cdot S} \cong 207 \frac{N}{mm^2}$$

### Distribuzione 2

Viene ipotizzato nella rotaia, una diffusione a 30° dell'azione verticale dovuta alla ruota ed una distribuzione uniforme della tensione sull'intercetta  $l$  (Figura 4).

Figura 4 Diffusione delle tensioni nella rotaia



	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>29</b>	Di <b>45</b>

Con tale ipotesi, il carico PV è ripartito uniformemente su una superficie rettangolare A di lati l ed S.

Per la rotaia A120 si hanno:

$$l = 60.6mm$$

$$S = 72mm$$

$$A = 4363mm^2$$

La tensione dovuta al carico PV in corrispondenza dell'anima per la distribuzione ipotizzata vale:

$$\sigma_{yy,2} = \frac{PV}{A} \cong 300 \frac{N}{mm^2}$$

Da un confronto dei risultati ottenuti dalle due analisi effettuate, emerge che i valori della tensione nella rotaia calcolati, presentano lo stesso ordine di grandezza. Appare evidente che la verifica effettuata, secondo le indicazioni fornite dalla EN 1993-6:2007 al paragrafo 5.7.1 (impostata nella sua forma originale per verifiche di diffusioni su elementi più snelli rispetto alla sezione della rotaia), risulta essere meno cautelativa rispetto alla verifica eseguita ipotizzando una distribuzione a 30° del carico della ruota nella rotaia.

Per valutare gli effetti dell'azione orizzontale PH sulla rotaia, si considera quest'ultima come appoggiata tra due clips consecutive e sollecitata nella propria mezzera dal carico orizzontale stesso.

Il momento massimo che si viene a generare nella rotaia, considerando l'interasse delle clips pari a  $i = 1000mm$ , vale:

$$M_y = \frac{PH \cdot i}{4} = 19.65kN \cdot m$$

La tensione massima in corrispondenza dell'anima della rotaia vale quindi:

$$\sigma_{zz,H} = \frac{M_y \cdot (s/2)}{I_{yy}} \cong 30 N/mm^2 \quad , \quad I_{yy} = 2369cm^4$$

Per gli effetti delle forze longitudinali PL agente sui binari, si determina innanzitutto l'azione di ogni singola ruota:

$$PL = 1660kN$$

$$PL_i = (PL)/8 = 207.5kN / ruota$$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>30</b>	Di <b>45</b>

La tensione sulla rotaia dovuta all'azione longitudinale vale:

$$\sigma_{zz,L} = \frac{PL_t}{A} \cong 16 \text{ N/mm}^2 \quad , \quad A = 127.4 \text{ cm}^2$$

Combinando le diverse componenti di tensione, si ottiene la tensione ideale massima nell'anima della rotaia:

$$\sigma_{id} = \left( \sigma_{yy,2}^2 + \sigma_{zz,H}^2 + \sigma_{zz,L}^2 \right)^{1/2} \cong 302 \text{ N/mm}^2 = E_d$$

Quindi risulta:

$$E_d < R_d = \frac{f_y}{\gamma_M} \cong 1028 \text{ N/mm}^2 \quad , \quad \gamma_M = 1.05$$

La rotaia risulta essere verificata con i modelli semplificati per i carichi trasmessi dalla ruota, riportati nel documento 0129TST01006.

Dai risultati del modello agli elementi finiti, è stato possibile valutare stati tensionali più dettagliati e che interessano l'intero corpo della rotaia. Se si escludono gli effetti puntuali sull'interfaccia ruota-rotaia, più sensibili all'approssimazione del modello e quindi non completamente aderenti alla realtà, i valori di tensione secondo il criterio di Von Mises risultano complessivamente inferiori alla resistenza del materiale con coefficienti di sicurezza maggiori di 1,5. Le immagini che seguono illustrano i campi di tensione per le 2 combinazioni già prese in esame nelle verifiche sui modelli semplificati.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>31</b>	Di <b>45</b>

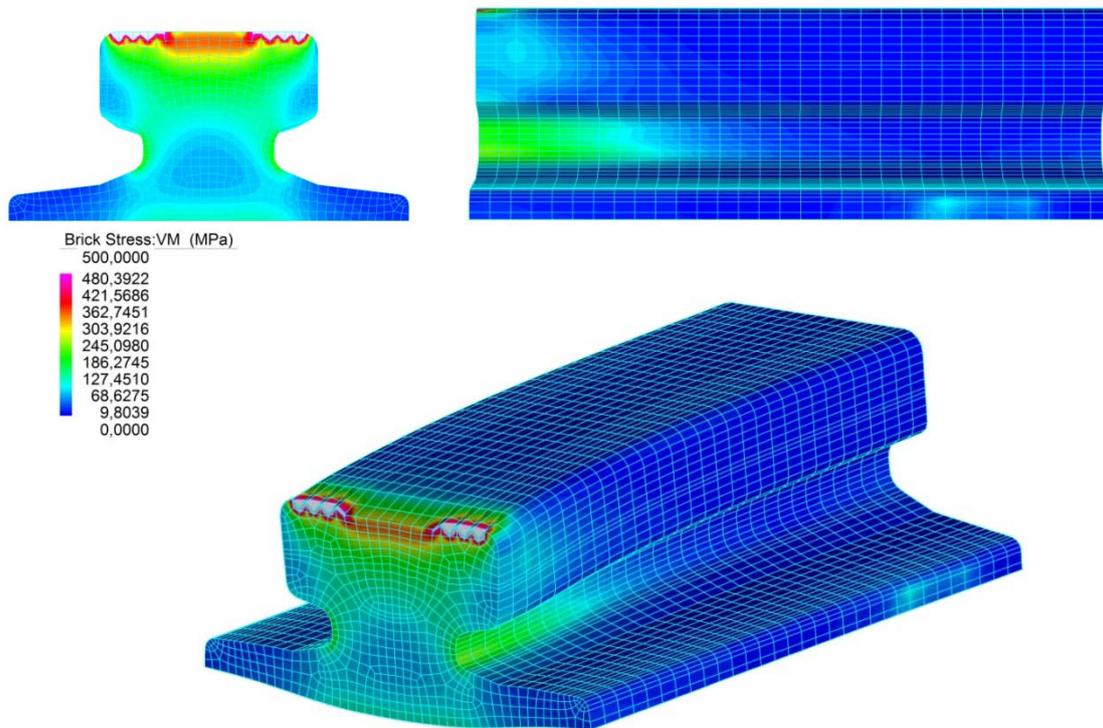
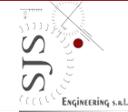


Figura 5 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 1 lato mare ( cond. operative)

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>32</b> Di <b>45</b>

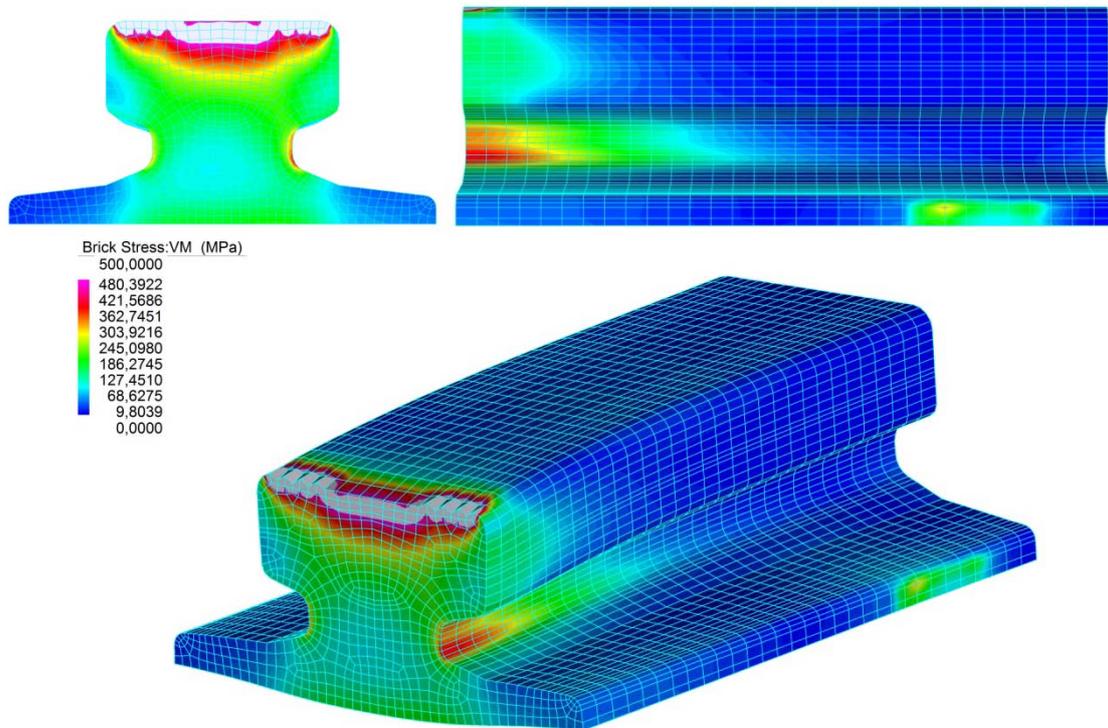


Figura 6 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 4 lato terra ( cond. ultime)

## 4.2 PAD

Tra la rotaia di scorrimento e la piattabanda di supporto, è previsto l'inserimento di un intercalare (o pad).

L'intercalare, costituito da una striscia elastomerica sintetica rinforzata da un'anima in acciaio, ha come ruoli fondamentali quello di:

- garantire una distribuzione dei carichi su una superficie maggiore;
- eliminare eventuali concentrazioni di carico riducendo così la sensibilità ai fenomeni di fatica;
- ridurre rumore e vibrazioni
- ridurre l'usura del binario e della piattabanda di supporto.

Data la tipologia di binari utilizzati, si prescrive l'utilizzo di un intercalare ad estradosso scanalato piano.

Si segnala il pad Valex I-210 o similare.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>33</b>	Di <b>45</b>

I valori ottenuti sul modello, in corrispondenza del pad, sono in linea con i valori raccomandati dal fornitore.

### **4.3 RESINA O MALTA DI INGHISAGGIO**

Al di sotto della piattabanda di supporto, col fine di trasmettere le sollecitazioni alla fondazione in c.a., è previsto l'utilizzo di una resina o di una malta cementizia espansiva.

Le caratteristiche principali di tali componenti devono essere:

- ritiro limitato;
- elevate proprietà meccaniche;
- elevate caratteristiche di fluidità;
- insensibilità agli urti e vibrazioni;
- ridotto tempo di presa;
- elevata resistenza ad acqua, oli ed agenti chimici.

Al fine di determinare lo stato tensionale a cui è sottoposta la resina/malta, si ipotizza una diffusione a 45° dei carichi trasmessi dalla singola ruota.

Questa diffusione, nel piano contenente l'asse della rotaia, viene assunta a partire dalla sommità del binario. Nel piano contenente la sezione della rotaia, la diffusione viene assunta a partire dal baricentro della sezione della rotaia stessa, come illustrato nelle figure 4.7 e 4.8.

Per il calcolo della superficie su cui si ipotizza distribuita l'azione verticale proveniente dalle singole ruote, si è trascurato lo spessore del Pad previsto tra la rotaia e la piattabanda di supporto.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>34</b>	Di <b>45</b>

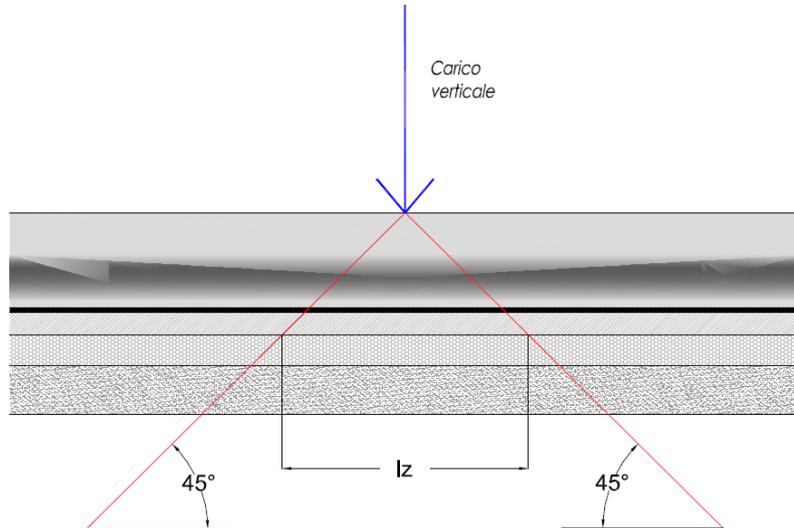


Figura 7 Diffusione longitudinale

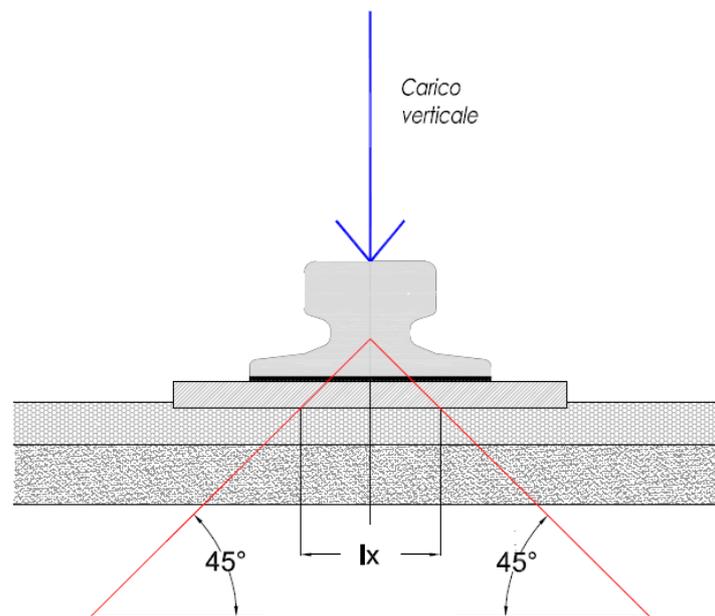


Figura 8 Diffusione trasversale

Si definiscono:

$$H = 105mm$$

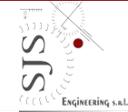
altezza del binario

$$y_g = 47.96mm$$

distanza del baricentro del binario dalla sua base

$$s_p = 20mm$$

spessore piattabanda di supporto.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>35</b> Di <b>45</b>

In base alla diffusione ipotizzata, si ottengono:

$l_z = 250.00mm$	lato area reagente parallelo all'asse del binario
$l_x \cong 135.9mm$	lato area reagente ortogonale all'asse del binario
$A = 33980mm$	area reagente.

Dall'analisi dei carichi si deducono:

$PV_e = 860kN/ruota$	azione verticale nelle condizioni di esercizio
$PV_u = 1310kN/ruota$	azione verticale nelle condizioni limite (combinazione sismica)

Le tensioni di compressione nella resina/malta per le due condizioni di calcolo valgono:

$\sigma_e = 25.3N/mm^2$	tensione di compressione per le condizioni di esercizio
$\sigma_u = 38.6N/mm^2$	tensione di compressione per la combinazione sismica

Nelle seguenti figure Figura 9, Figura 10, Figura 11 sono illustrate le principali proprietà meccaniche di due tipologie di resine, in particolare la CHOCKFAST Red e la CHOCKFAST Red SG, e di una malta cementizia quale EMACO S55.

Physical Properties		
COMPRESSIVE STRENGTH	15,250 psi (1,072 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-579 MOD
COMPRESSIVE MODULUS OF ELASTICITY	2,000,000 psi (140,600 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-579 MOD
LINEAR SHRINKAGE	Not Measurable	ASTM D-2566
COEFFICIENT OF LINEAR THERMAL EXPANSION	11.2 x 10 <sup>-6</sup> /°F @ 32°F to 140°F (20.1 x 10 <sup>-6</sup> /°C @ 0°C to 60°C)	ASTM D-696
FLEXURAL STRENGTH	4,025 psi (283 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-580
FLEXURAL MODULUS OF ELASTICITY	2,000,000 psi (140,600 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-580
TENSILE STRENGTH	1,890 psi (133 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM D-638
IZOD IMPACT STRENGTH	4.6 in.lb/in. (0.02 N.m/mm)	ASTM D-256
SERVICE TEMPERATURE	Up to 140°F (60°C)	
FIRE RESISTANCE	Self-Extinguishing	ASTM D-635
SPECIFIC GRAVITY	2.06	

Figura 9 ChockfastRed

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>36</b>	Di <b>45</b>

Physical Properties		
COMPRESSIVE STRENGTH	18,120 psi (1174 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-579 (MOD)
COMPRESSIVE MODULUS OF ELASTICITY	1.97 x 10 <sup>6</sup> psi (138535 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-579 (MOD)
LINEAR SHRINKAGE	Not Measurable	ASTM D-2566
COEFFICIENT OF LINEAR THERMAL EXPANSION	10.8 x 10 <sup>-5</sup> /°F @ 32°F to 140°F (19.4 x 10 <sup>-5</sup> /°C @ 0°C to 60°C)	ASTM D-696
FLEXURAL STRENGTH	4,800 psi (340 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-580
FLEXURAL MODULUS OF ELASTICITY	2.62 x 10 <sup>6</sup> psi (184,200 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM C-580
TENSILE STRENGTH	2,130 psi (150 kg/cm <sup>2</sup> )	ASTM D-638
IZOD IMPACT STRENGTH	7.2 in.lbs./in. (0.32 Newton m/cm)	ASTM D-258
FIRE RESISTANCE	Self-extinguishing	ASTM D-635
SERVICE TEMPERATURE	Up to 140°F (60°C)	
SPECIFIC GRAVITY	2.24	

Figura 10 ChockfastRed SG

Bleeding, UNI 8998	Assente
Caratteristiche espansive - in fase plastica, UNI 8996 - contrastata UNI 8147 a 24 ore	> 0.3 % > 0.03 %
Adesione al calcestruzzo, UNI EN 12615 (per taglio)	> 6 MPa
Resistenza allo sfilamento delle barre d'acciaio, RILEM-CEB-FIP RC6-78	> 30 MPa
Impermeabilità all'acqua misurata come resistenza alla penetrazione dell'acqua in pressione diretta, UNI EN 12390/8	profondità media penetrazione < 5 mm
Resistenza agli oli lubrificanti, bagno di olio per 60 gg a 40 °C	Nessun degrado
Modulo elastico, UNI EN 13412	28.000 (± 2.000) MPa)
Resistenza a compressione, UNI EN 12190	1 g > 35 MPa 7 gg > 65 MPa 28 gg > 75 MPa
Resistenza a trazione per flessione, UNI EN 196/1	1 g > 6 MPa 7 gg > 8 MPa 28 gg > 9 MPa

Figura 11 Emaco

Dal confronto tra lo stato tensionale indotto dai carichi della ruota sullo strato di resina o malta cementizia al di sotto della piattabanda, si osserva che, ciascuno dei prodotti illustrati, è in grado di sopportare tali sollecitazioni, seppur con diversi margini di sicurezza.

In Tabella 5 si riportano in forma sintetica la resistenza a compressione dei materiali illustrati e il coefficiente di sicurezza nei confronti dello stato tensionale indotto dai carichi esterni, precedentemente determinato.

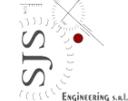
	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>37</b>	Di <b>45</b>

Tabella 5 Coefficienti di sicurezza resina o malta di inghisaggio per rotaia A 120

	Resine		Malte
	CHOCKFAST Red	CHOCKFAST Red SG	EMACO S55
Resistenza a compressione [N/mm <sup>2</sup> ]	107.2	117.4	75
Coeff. Sicurezza comb. esercizio	3.64	3.98	2.54
Coeff. Sicurezza comb. sismica	2.18	2.38	1.53

Sul modello agli elementi finiti sono state considerate le proprietà meccaniche relative alla resina ChockfastRed SG.

Il modello agli elementi finiti, al contrario delle analisi svolte sui modelli semplificati nei quali la piastra di base viene ipotizzata infinitamente rigida, considera l'effettiva rigidità della piastra stessa. Ne consegue una minore diffusione delle tensioni attraverso la piastra e uno stato tensionale nella resina, o malta d'inghisaggio, superiore a quello ottenuto con i modelli semplificati. Tuttavia si rileva che, anche nella più sfavorevole delle condizioni di carico (combinazione 4 lato terra), non si supera il valore di 50 MPa.

Il valore di resistenza della resina prescelta, comporta coefficienti di sicurezza maggiori di 2.

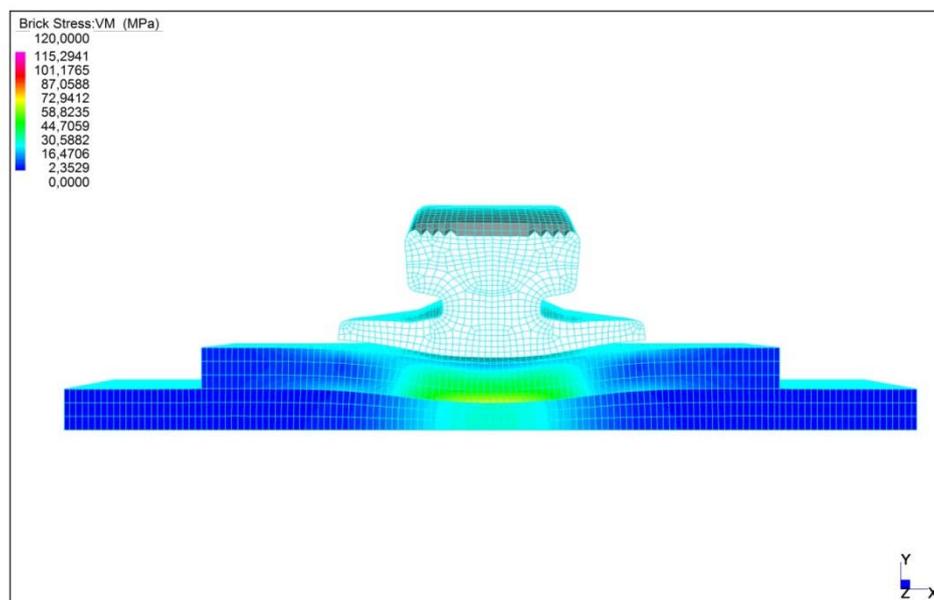


Figura 12 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 1 lato mare ( condiz. operative)

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>38</b> Di <b>45</b>

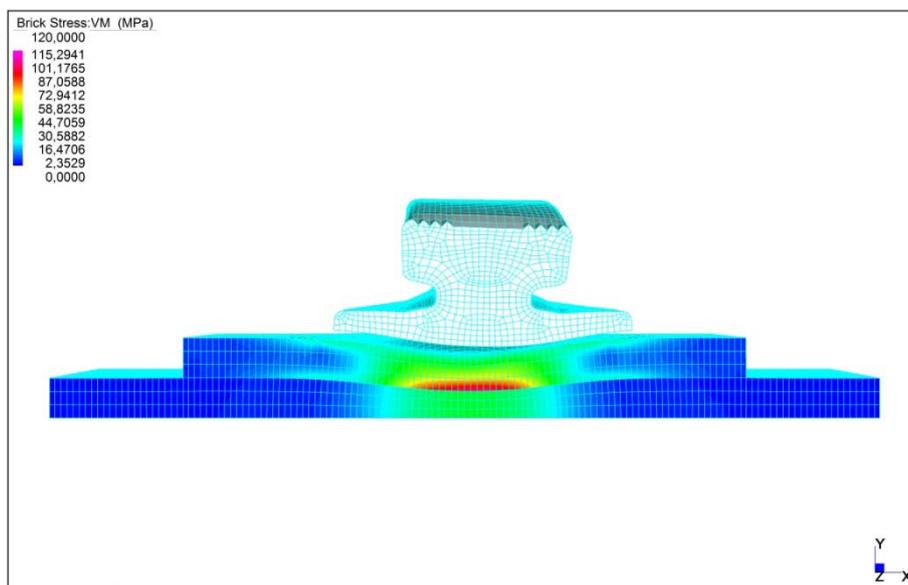


Figura 13 Stato tensionale secondo il criterio V.M. per Comb. 4 lato terra ( condiz. ultime)

## 4.4 CLIPS

Per il dimensionamento delle clips, si considerano le azioni orizzontali a cui la rotaia è sottoposta. L'azione orizzontale è stata ricavata dalla tabella riportata nel documento 0129TST01006.

$PH = 78.6kN / ruota$  azione orizzontale

Si considerano clips modello VALEX 5020-38-16, delle quali si riportano di seguito le principali caratteristiche prestazionali o similari.

- Parte inferiore (saldata sulla piattabanda)
- Regolazione laterale: mm 14
- Interasse tra un fissaggio e l'altro: mm 750
- Carico laterale: KN 140
- Coppia di serraggio: Nm 275
- no. 1 vite speciale M20 cl 8.8
- no. 1 dado flangiato M20 cl 8.8

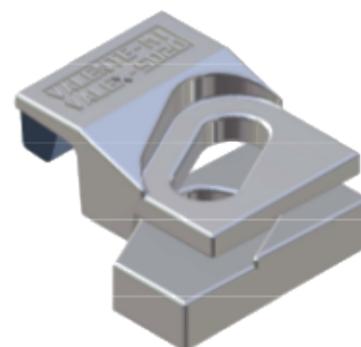


Figura 14 Clips Valex 5020-38-16

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>39</b>	Di <b>45</b>

L'azione orizzontale ammissibile dalla suddetta tipologia di clips vale:

$$V_{amm} = 140kN$$

Si ipotizza, a favore di sicurezza, che l'azione orizzontale, dovuta ad una coppia di ruote della stessa carrelliera, sia ripresa soltanto dalle clips che si trovano comprese nella porzione di binario individuata dall'asse delle due ruote stesse.

L'interasse tra due ruote è pari a:

$$i = 1.00m$$

Il numero minimo di clips da prevedere per ogni metro lineare di binario è pari a:

$$n_{min} = PH/V_{amm} = 0.56$$

A favore di sicurezza, l'intervallo massimo tra due clips sarà pari a:

$$i_{max} = 750mm$$

Si riporta in seguito una vista globale delle tensioni V.M. sull'intero equipment, nella quale si evidenziano i valori di tensione di picco in corrispondenza delle clips.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>40</b>	Di <b>45</b>

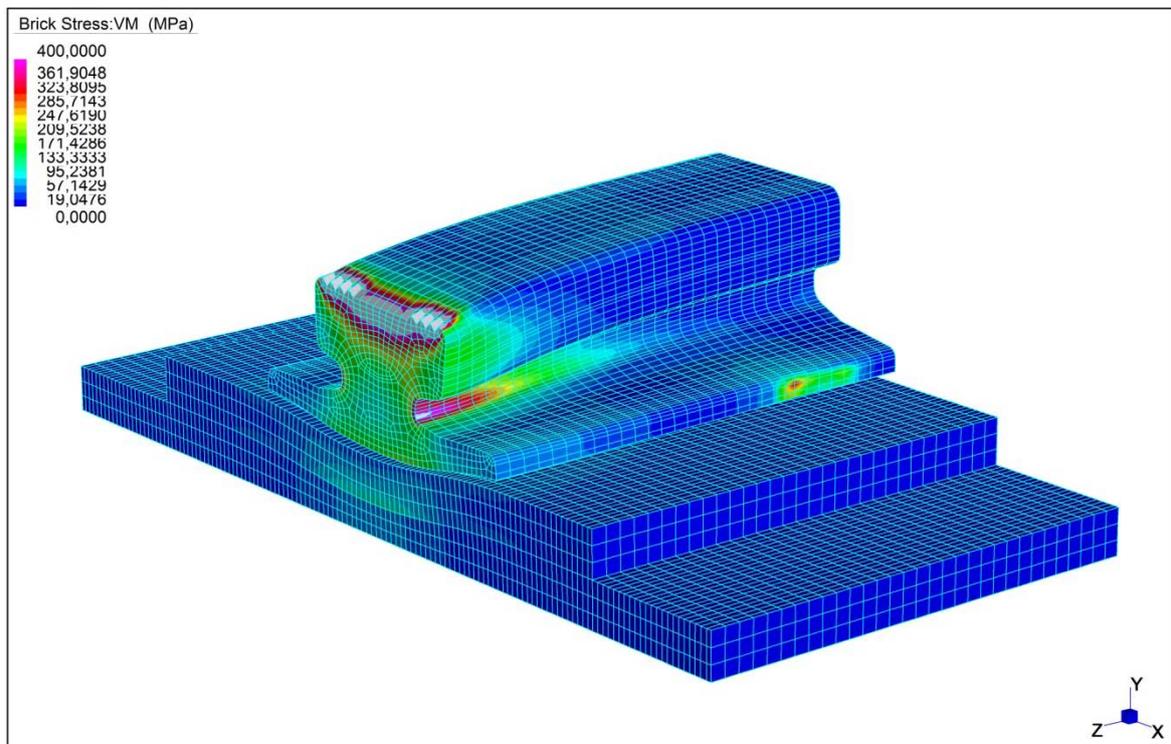


Figura 15 Vista globale dello stato tensionale dell'intero equipment (comb. 4 lato terra)

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>41</b>	Di <b>45</b>

## 4.5 TIRAFONDI

Considerando ancora, come per l'analisi delle clips, un'azione orizzontale derivante da una coppia di ruote di una singola carrelliera, si ipotizza nuovamente che tale azione sia ripartita soltanto tra i tirafondi compresi nella porzione di rotaia individuata dalle due ruote stesse:

$PH = 78.6kN$  azione orizzontale.

L'azione orizzontale massima sopportabile da una coppia di tirafondi, valutata secondo le prescrizioni del D.M. 14 Gennaio 2008, vale:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot (0.6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2})$$

dove per i tirafondi M24 classe 8.8 si hanno

$$f_{tb} = 800 N/mm^2$$

$$A_{res} \cong 452mm^2$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

La resistenza massima per la coppia di tirafondi vale quindi:

$$F_{v,Rd} = 347136N$$

Il numero minimo di coppie di tirafondi, da prevedere per ogni metro lineare di binario, è pari a:

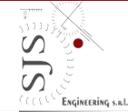
$$n_{min} = PH / F_{v,Rd} = 0.23$$

L'intervallo massimo tra due coppie di tirafondi successive risulta quindi:

$$i_{max} \cong 4347mm$$

Si assume

$$i = 1000mm$$

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>42</b>	Di <b>45</b>

## 4.6 PIATTABANDA DI SUPPORTO IN ACCIAIO

La piattabanda di supporto in acciaio ottempera alla funzione principale di diffondere l'azione verticale, derivante dalle singole ruote, su una superficie di influenza maggiore, al fine di ridurre lo stato tensionale che si viene a creare negli strati sottostanti.

Date le sue dimensioni in pianta e le azioni in gioco, la piattabanda non risente di fenomeni di schiacciamento per le azioni verticali. Tale verifica è quindi omessa.

Si prende in considerazione la possibilità che si presentino fenomeni di rifollamento dovute alle azioni orizzontali.

Ipotizzando un interasse tra le coppie di tirafondi pari a 1000mm, l'azione orizzontale su ogni singolo tirafondo sarà pari a:

$$V_i = PH/2 = 39.3kN$$

La resistenza di calcolo a rifollamento, secondo il D.M. 14 Gennaio 2008, può esser valutata con la relazione:

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$$

Considerando tirafondi M24 classe 8.8 e la piattabanda realizzata in acciaio tipo S275 con spessore 20mm, si ha:

$k = 2.5$	coefficiente per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato;
$\alpha = 0.5$	coefficiente per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato;
$f_{tk} = 275 N/mm^2$	tensione di trazione caratteristica acciaio;
$d = 24mm$	diametro nominale del gambo del bullone
$t = 20mm$	spessore della piattabanda

e si ottiene una resistenza a rifollamento pari a:

$$F_{b,Rd} \cong 132kN$$

che risulta esser superiore all'azione massima trasmessa da ogni singolo tirafondo, ipotizzando le coppie di tirafondi ad un interasse di 1000mm.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>43</b>	Di <b>45</b>

Nonostante una piattabanda di spessore pari a 20mm risulti essere verificata nei confronti delle azioni di rifollamento, si raccomanda l'utilizzo di una piattabanda con spessore minimo pari a 25mm al fine di garantire una maggiore rigidità.

Come è constatabile nel modello FEM predisposto, tale accorgimento permetterà di ridurre anche lo stato tensionale presente negli strati sottostanti alla piattabanda in quanto, all'aumento di spessore, consegue una maggiore ripartizione dei carichi verticali.

Si riporta una vista assometrica dell'intero equipment.

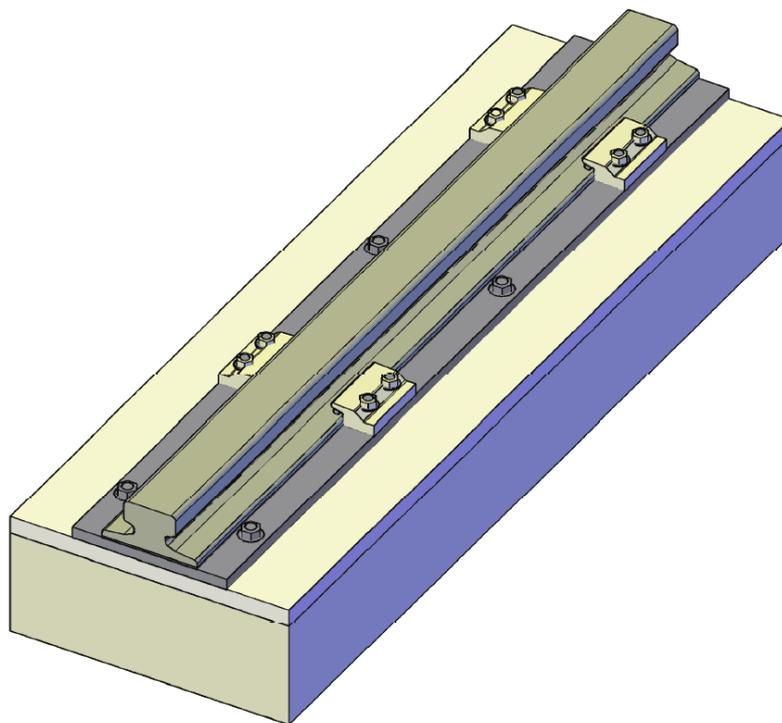


Figura 16 Vista assometrica armamento

Nelle seguenti tabelle, sono riportati in sintesi, i risultati delle verifiche effettuate su ciascun componente dell'equipment:

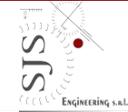
	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	Data <b>Novembre 2014</b>	
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>	Pagina <b>44</b>	Di <b>45</b>

Tabella 6 Esito delle analisi

Componente	STATO TENSIONALE			
	$\sigma_{yy,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz,H}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz,L}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{id}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Rotaia A120	300	15	8	301
TENSIONE DI COMPRESIONE SULLA RESINA O MALTA D'INGHISAGGIO				
Resina-malta di inghisaggio	$\sigma_e$ [N/mm <sup>2</sup> ]		$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	25.3		38.6	

In Tabella 7 invece, si riportano i valori dei coefficienti di sicurezza per le verifiche condotte su ciascun componente del pacchetto di armamento.

Tabella 7 Coefficienti di sicurezza

COMPONENTE		COEFFICIENTE DI SICUREZZA	
<b>Rotaia A120</b>		3.42	
<b>Resina o malta di inghisaggio</b>	Resina CHOCKFAST Red <i>[Resistenza a compressione 107.2MPa]</i>	<b>Comb. esercizio</b>	<b>Comb. ultima</b>
		4.24	2.78
	Resina CHOCKFAST Red SG <i>[Resistenza a compressione 117.4MPa]</i>	<b>Comb. esercizio</b>	<b>Comb. ultima</b>
		4.64	3.04
	Malta EMACO S55 <i>[Resistenza a compressione 75MPa]</i>	<b>Comb. esercizio</b>	<b>Comb. ultima</b>
		2.96	1.94

Le reazioni sui vincoli, impostati alla base della resina nel modello FEM, risultano minori di 40 MPa. La via di corsa verrà pertanto realizzata con Calcestruzzo RCK 45 Mpa.

	<b>PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</b>	Documento <b>0129TST01007-00-R04</b>	
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		Data <b>Novembre 2014</b>
<b>RELAZIONE DI CALCOLO ALLESTIMENTI E ARREDI DI BANCHINA</b>		Pagina <b>45</b>	Di <b>45</b>

## 4.7 RACCOMANDAZIONI

Il corretto funzionamento di tutti i componenti del sistema di scorrimento non può prescindere, oltre che da un dimensionamento mirato, dalle condizioni di posa in opera e dalla presenza di operatori specializzati, durante tutte le fasi di realizzazione. Di questo si farà riferimento nelle specifiche tecniche di progetto.

Per quanto riguarda le giunzioni tra i vari conci delle rotaie, si prescriverà che i collegamenti vengano realizzati a mezzo di saldatura alluminotermica. La continuità della rotaia garantisce una corretta distribuzione delle tensioni negli strati sottostanti, anche in corrispondenza dei giunti.

In questo modo, si riescono a limitare dannose concentrazioni di tensioni che in concomitanza a ripetuti cicli di carico, porterebbero al danneggiamento progressivo di elementi quali pad e strato di resina o malta d'inghisaggio.

La realizzazione di una lunga rotaia saldata, comporta inevitabilmente la presenza di sensibili dilatazioni termiche lineari. Tali dilatazioni devono scontarsi agli estremi di ogni singola rotaia. Saranno prescritti idonei gap che consentano il libero dilatarsi della rotaia stessa.

Ogni fase di realizzazione deve essere condotta da manovalanza altamente specializzata nel settore, così da evitare dannosi errori di posa in opera.

Particolare cura ed attenzione dovranno essere poste nei riguardi del getto della resina o della malta d'inghisaggio, onde evitare l'occlusione di bolle d'aria o scorie che impedirebbero la corretta diffusione delle tensioni in tutti gli elementi costituenti il sistema di scorrimento.

Il perfetto adempimento di queste prescrizioni, sarà accertato dai tecnici della Direzione dei Lavori.

Roma, Novembre 2014

Il Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Michelangelo Lentini