	IMPIANTO	CODICE CKS
	Impianto idroelettrico di Levane	GRE.OEM.R.90.IT.H.49017.09.016.00
Diga di Levane: Progetto di Sovralzo ai fini di laminazione		

## DIGA DI LEVANE

O&M Hydro Italy

Northern Central Area - Territorial Unit Lucca - UE Levane

Comune di Montevarchi - Provincia di Arezzo



# PROGETTO DI SOVRALZO AI FINI DI LAMINAZIONE - PROGETTO DEFINITIVO

## PARATOIE SCARICO DI SUPERFICIE - RELAZIONE DI CALCOLO

00	29/06/2020	Prima emissione	M. Hirschler	A. Nardi A. Masera	A. Masera
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONI	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO

ELABORATO CESI N. <b>C0010057</b>	NOME FILE R10 Paratoie scarico di superficie - Relazione di calcolo.docx	SCALA -	FOGLIO -
--------------------------------------	---	------------	-------------

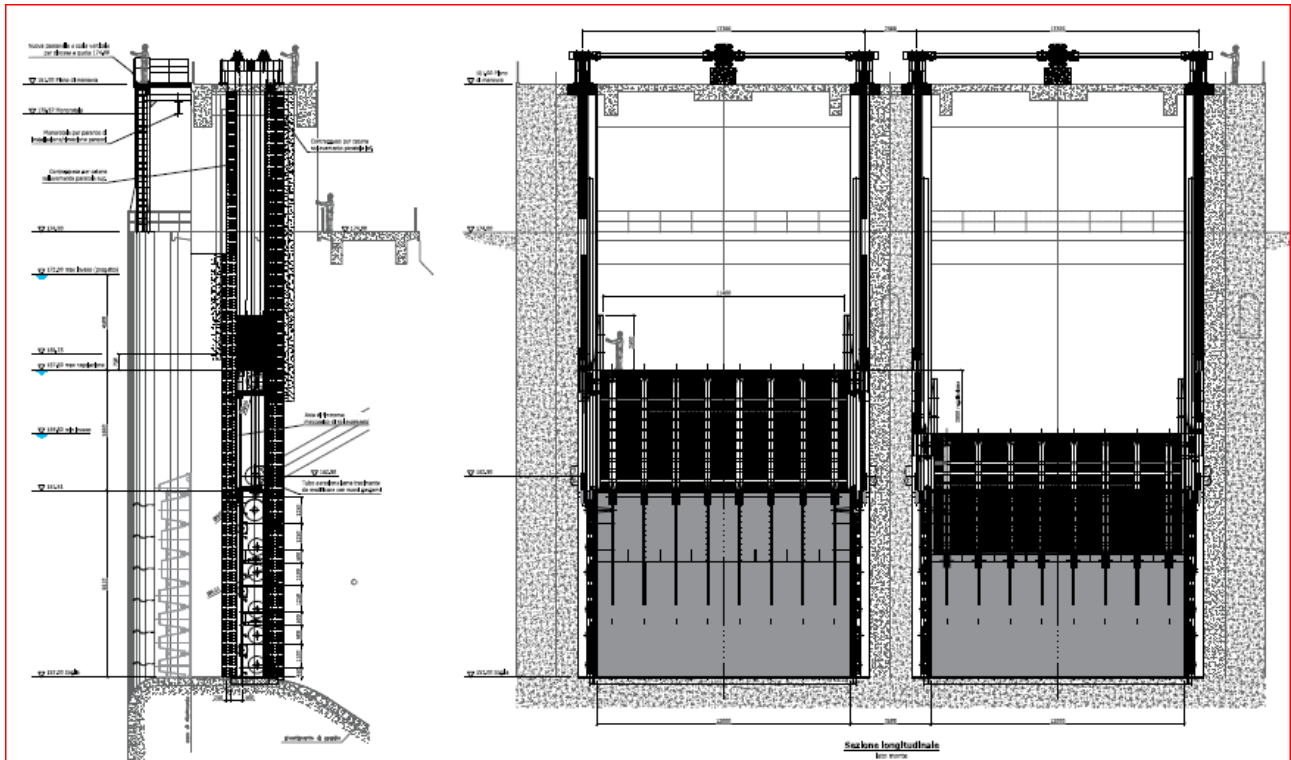
NUMERO E DATA ORDINE	Ordine n. 3500053942 del 28/09/2019
----------------------	-------------------------------------

IL PROGETTISTA  KEMA Labs IRIE ESP JAMES ESTROD IRIE CESI S.p.A. Via Rubattino 54 I-20134 Milano - Italy Tel: +39 02 21251 Fax: +39 02 2125440 e-mail: info@cesi.it www.cesi.it Engineering & Environment - ISMES Division Structural & Civil Engineering	Timbro e firma per presa visione 
	ING. ALBERTO MASERA DOTT. ING. MICHELE HIRSCHLER

IL COMMITTENTE  ENEL GREEN POWER ITALIA S.r.l. Power Generation Italy O&M Hydro Italy Northern Central Area	DATA ING. M. SESSEGO
--	-------------------------

PER PRESA VISIONE ING. RESPONSABILE	No. HYD
DATA	ING. S. GABBRIELLI

**ENEL PRODUZIONE SPA**  
**UNITÀ DI BUSINESS EMILIA TOSCANA**  
**IMPIANTO IDROELETTRICO DI LEVANE**  
**DIGA DI LEVANE**



**CESI S.p.A.**  
**PROGETTO DEFINITIVO DEL SOVRALZO A SCOPO LAMINAZIONE**  
**PARATOIE SCARICO DI SUPERFICIE**  
**RELAZIONE DI CALCOLO**

Treviso, giugno '20



S O M M A R I O

1.	<i>NOTE INTRODUTTIVE</i> .....	5
1.1	DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE.....	5
1.2	CARATTERISTICHE TECNICHE.....	10
1.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	11
1.4	MATERIALI IMPIEGATI.....	12
2.	<i>SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE</i> .....	15
§ 2.1	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	15
§ 2.2	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	15
§ 2.3	COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	16
3.	<i>AZIONI SULLE COSTRUZIONI</i> .....	17
§ 3.1	OPERE CIVILI E INDUSTRIALI.....	17
§ 3.2	NUOVE PARATOIE SCARICO DI SUPERFICIE - CARICHI VARIABILI .....	17
§ 3.3	PRESSIONE DINAMICA DOVUTA AL SISMA .....	17
4.	<i>VERIFICHE SVOLTE</i> .....	22
4.1	ANALISI STRUTTURALE DELLA PARATOIA .....	22
4.1.1	GENERALITÀ.....	22
4.1.2	CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO A QUOTA +172 M (IPOTESI “DIGA” 22	
4.1.2.1	VERIFICA ALLO SLE .....	24
4.1.2.2	VERIFICA ALLO SLU.....	27
4.1.3	CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO A QUOTA +167,50 M (REGOLAZIONE) E SOGLIA A QUOTA 153,00 M.....	35
4.1.3.1	VERIFICA ALLO SLE .....	36
4.1.4	CONDIZIONE DI SOGLIA TRACIMABILE A QUOTA 164,50 E LIVELLO IDROSTATICO A QUOTA 167,50 M.....	40
4.1.4.1	VERIFICA ALLO SLE .....	41
4.1.5	CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO DA QUOTA 172,00 M – SOLLEVAMENTO CON TEGOLO ELEMENTO SUPERIORE IN APPOGGIO VERTICALE AL SETTORE 3 46	

4.1.5.1	verifica allo SLE .....	48
4.1.5.2	Verifica allo SLU .....	49
4.2	VERIFICA ELEMENTI MECCANICI DI SOLLEVAMENTO.....	51
4.2.1	aggancio paratoia superiore (tegolo).....	51
4.2.2	aggancio paratoia inferiore.....	53
4.2.2.1	1° elemento superiore (bozzello argano) .....	56
4.2.2.2	cerniere 1° e 2° lemento inferiore.....	57
4.3	Ruote E ASSI.....	60
4.3.1	RUOTE.....	60
4.3.2	assi.....	62
4.3.3	BRONZINE/cuscinetti a strisciamento.....	65
5.	<i>ARGANI DI MANOVRA</i> .....	67
5.1	DESCRIZIONE - FUNZIONALITÀ .....	67
5.2	sforzi di manovra.....	68
5.3	dimensionamento argano paratoia superiore.....	70
5.4	dimensionamento argano paratoia inferiore.....	72
5.5	argano oleodinamico di emergenza.....	77
5.6	telaio argani .....	79

## 1. NOTE INTRODUTTIVE

### 1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE

Nel progetto di sopralzo della diga non è prevista alcuna modifica geometrica o funzionale delle luci dello scarico di superficie e delle paratoie che le intercettano, ma è prevista la sostituzione integrale delle stesse paratoie e degli organi di comando e movimentazione al fine di garantirne la piena affidabilità anche nelle condizioni straordinarie di esercizio dell'invaso, qualora sia necessario impegnare il volume di laminazione e raggiungere eventualmente la nuova quota di massimo vaso di 172,00 m slm.

La geometria funzionale delle paratoie rimane pressochè invariata ma vengono modificate le strutture, i carichi di esercizio e gli argani.

La tabella che segue fornisce le principali modifiche previste:

<i>a) Invaso</i>		<i>attuale</i>	<i>progetto</i>
bacino imbrifero sotteso	Km <sup>2</sup>	2407	2407
volume totale originario di vaso	Mm <sup>3</sup>	4,90	14,40
volume utile originario di vaso	Mm <sup>3</sup>	3,45	3,45
volume di laminazione	Mm <sup>3</sup>	0	9,50
quota di max vaso	m s.l.m.	167,50	172,00
quota di max regolazione	m s.l.m.	167,50	167,50
<i>b) Sbarramento</i>			
quota di coronamento	m s.l.m.	169,00	174,00
altezza dello sbarramento	m	27,00	32,00
Inclinazione del paramento di monte		0,05	0,05
Inclinazione del paramento di valle		0,75	0,75

A presidio delle luci dello scarico di superficie saranno quindi installate due nuove paratoie piane su ruote, in acciaio, a “gancio” aventi una larghezza netta di 12,00 m e un'altezza 14,50 m. Ogni paratoia posta a presidio della rispettiva luce sarà composta da due elementi parzialmente sovrapponibili con movimentazione indipendente. L'elemento superiore avrà il ciglio tracimabile con sezione a profilo idraulico per non creare distacchi di vena e non generare venomeni di cavitazione e vibrazioni.

I due elementi che compongono la singola paratoia avranno una luce netta di 12 m ed una altezza rispettivamente di circa 8,840 m per l'elemento inferiore e circa 6,250 m per l'elemento superiore.

A paratoie chiuse, l'altezza complessiva dei due elementi sovrapposti sarà ancora di 14,50 m, pari alla differenza fra la quota massima di regolazione di 167,50 m slm e la quota della soglia di 153,00 m slm; la sovrapposizione fra i due elementi è di circa 0,70 m. Tale sovrapposizione è







esterni scorrenti sugli elementi verticali dei gargami.

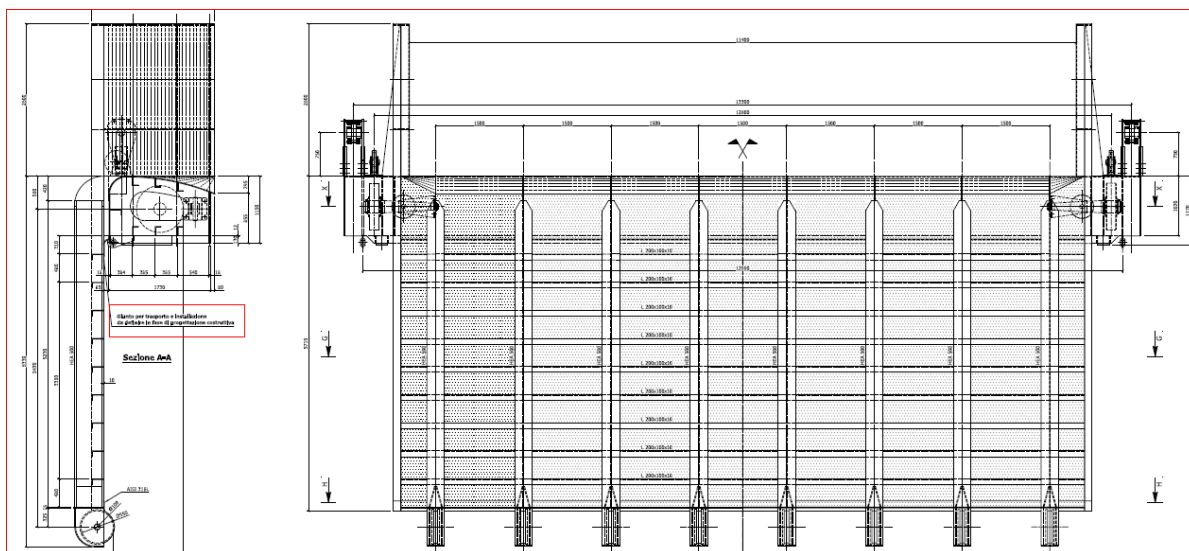
Tutte le saldature saranno stagne, continue e a completa sigillatura.

#### - Elemento superiore

L'elemento superiore di tipo a tegolo tracimabile avrà le seguenti dimensioni di ingombro:

- larghezza del telaio del mantello 12,00 m
- altezza totale del mantello 6,25 m
- sviluppo del ciglio tracimante 1,80 m

Il peso dell'elemento completamente allestito è di  $\cong 40.000$  kg; per lo stesso motivo di necessità del contenimento del peso durante le fasi di varo, è previsto il suo sezionamento in due elementi il cui peso è inferiore al massimo ammesso.



*Figura 2 insieme paratoia superiore*

La struttura è costituita da una trave orizzontale a cassone superiore e da un elemento frontale verticale inferiore.

L'elemento verticale è costituito da 8 travi verticali poggianti sulla trave orizzontale superiore e sulle 8 ruote reciproche; la struttura è con mantello a valle con elementi di irrigidimento a monte.

La struttura, realizzata in acciaio S355J0, poggia sulle due ruote superiori in acciaio S450J0, girevoli su assi fissi a sbalzo in acciaio inox AISI 431 forgiato e bonificato, muniti di bronzine autolubrificanti a basso coefficiente di attrito; la superficie di contatto sarà trattata con cromatura dura a spessore e rettificata.

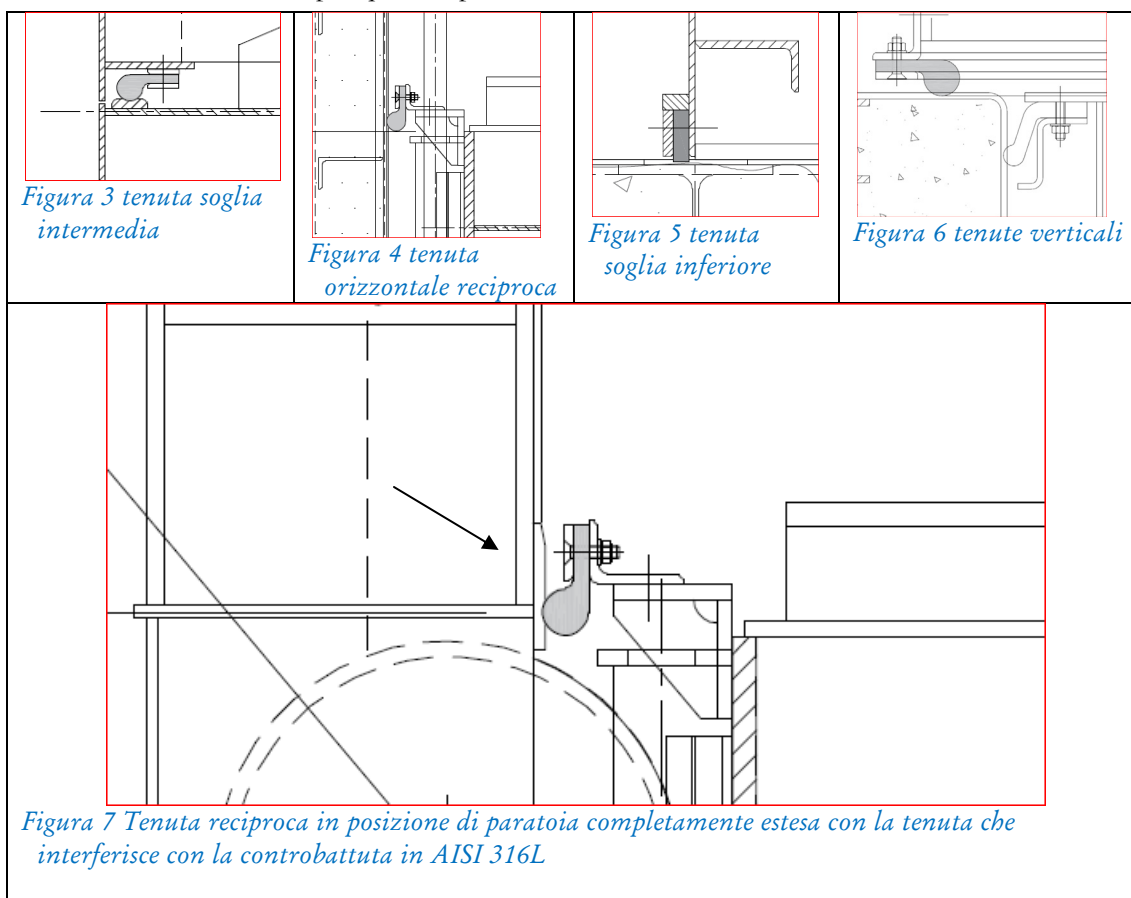
Frontalmente, l'elemento superiore è provvisto di una coppia di rulli di guida mentre la guida laterale della paratoia, nel movimento di salita e discesa, è affidata ad una coppia di rulli esterni scorrenti sugli elementi verticali dei gargami.

Tutte le saldature saranno stagne, continue e a completa sigillatura.

#### - Materiali

Per tutti i materiali sarà prescritta la rintracciabilità “a pezzo”.

- **Tenute** : saranno continue sui quattro lati di ognuno dei tre elementi della paratoia inferiore e sui due lati verticali per quella superiore:

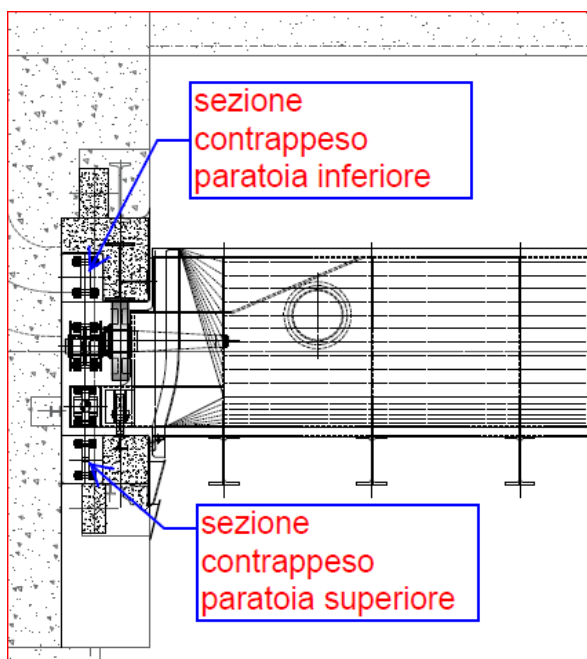


La tenuta “reciproca” (figura 2) è stagna in posizione di paratoia completamente estesa mentre, nelle altre posizioni, la pressione idraulica spinge il profilo contro il ringrosso della parte inferiore della lamiera verticale.

- **Tenuta soglia inferiore**: a monte # 15 mm su controbattuta metallica in AISI 304 fissata alla paratoia con viti inox A4-70,
- **Tenute verticali, orizzontali intermedie e reciproche**: a profilo idraulico (nota musicale) e “L” su controbattuta metallica in AISI 304 fissata alla paratoia con viti inox A4-70,
- **Materiali**: vengono adottati i seguenti materiali (Neoprene/EPDM/SBR 60-65 ShA - ISO 7619:1997) con superficie di contatto con la controbattuta fissa (in AISI 304) ricoperta di materiale a basso coefficiente di attrito ( $\mu = 0,23$ ) e resistenza all’usura: TCT (Thermal Chemical Treatment).

Come indicato in precedenza, il sistema di tenuta è accessibile per le verifiche periodiche e per le eventuali sostituzioni.

- **Gargami**: sono costituiti da:



*Figura 8 sezione gargame*

- un elemento in soglia realizzato con profilo HEB ricoperto in lamiera in acciaio inox AISI 304 nella zona di tenuta,
- da due montanti verticali costituiti da lamiera sagomata in acciaio inox AISI 304. Questi sono rinforzati, mediante profili HEA, nella zona dove viene scaricata la spinta idrostatica tramite le ruote, allo scopo di minimizzare le sollecitazioni sulle opere murarie,

I ritti laterali guidano la paratoia per tutta la loro corsa fino al piano di manovra utilizzando i vani esistenti; i gargami sono dotati di un sistema di zanche, staffaggi e tiranti di regolazione per consentire un adeguato ancoraggio alle opere civili di I° fase ed una agevole registrazione al montaggio, prima del getto di II° fase. Dopo l'installazione, prima del getto di 2° fase, una saldatura di sigillatura garantirà la necessaria tenuta completa.

Tutte le saldature d'angolo saranno continue, a ripristino della sezione minima e a completa sigillatura; tutti i giunti tecnici saranno a piena penetrazione.

---

## 1.2 CARATTERISTICHE TECNICHE

---

Le caratteristiche tecniche dei manufatti sono indicate nei seguenti elaborati grafici:

- 1057UN\_102.01 paratoie di scarico - viste e sezioni d'assieme
- 1057UN\_102.02 paratoie di scarico - piante d'assieme
- 1057UN\_102.03 paratoie di scarico - assieme argani
- 1057UN\_102.09 paratoie di scarico - paratoia inferiore assemblata
- 1057UN\_102.10 paratoie di scarico - studio sequenza di installazione
- 1057UN\_102.11 paratoie di scarico - paratoia superiore

- 1057UN\_102.12 paratoie di scarico - gargami

---

### 1.3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

---

Il dimensionamento dell'opera è stato eseguito secondo i metodi della Scienza delle Costruzioni e con particolare riguardo a quanto prescritto dalle seguenti norme:

- CNR UNI 10011/88 Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
- UNI CNR 10021-85 : Strutture di acciaio per apparecchi di sollevamento: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione,
- FEM 1.001 - 3<sup>a</sup> ediz. 1987: Regole di calcolo per gli apparecchi di sollevamento
- FEM 9.511 - 1986: Regole di calcolo per gli apparecchi di sollevamento
- D.M.LL.PP. 09/01/1996 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- D.M. 16/01/1996 "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- D.M. 16/01/1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- C.M.LL.PP. n° 156 AA.GG./STC del 04/07/1996 "Istruzioni relative ai carichi, sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni"
- UNI EN 1991:2004 Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture
- UNI EN 1993:2005 Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio
- D.M. 17/01/2018 Nuove norme tecniche per le costruzioni
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- DECRETO 26 giugno 2014: Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)
- DIN 19704 - 74 Strutture idrauliche in acciaio
- DIN 19704-1 Strutture idrauliche in acciaio – Progettazione
- DIN 19704-2 Strutture idrauliche in acciaio – Particolati costruttivi
- ISO 8501 – Protezione dalla corrosione delle strutture in acciaio mediante pittura
- ISO 12944 – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
- Direttiva 89/392 per la sicurezza delle macchine
- Norme CEI applicabili
- Manuali e documentazioni tecniche dei singoli costruttori

Il metodo di calcolo adottato è quello degli STATI LIMITE per le verifiche secondo NTC 2018.

---

**1.4 MATERIALI IMPIEGATI**

---

- lamiere in acciaio	S355J0	UNI 10025
- lamiere in acciaio	S450J0	UNI 10025
- profilati in acciaio	S355J0	UNI 10025
- assi ruote acc. inox AISI 410/431 forgiato/bonificato e cromato a spessore		
- ruote	S450J0	UNI 10025
- ruote reciproche	S355J0	UNI 10025
- tenute	Neoprene / SBR 60-65 ShA con TCT	
- piastrine – rondelle	ACC. INOX AISI 304	
- cuscinetti a strisciamento bronzo sinterizzato lega "Deva.glide"		
- tiranti di registrazione, zanche e tirafondi	S275J0	UNI 10025
- tasselli meccanici	AR zincata classe 8.8	
- supporti rulli guida verticale	ACC. INOX	AISI 304
- assi rulli guida	ACC. INOX	AISI 304
- rasamenti, spessoramenti	OTTONE	
- spessoramenti di base rulli di guida orizzontale	NEOPRENE 60 - 65 ShA	
- viterie immerse	ACC. INOX A4	
- viterie in genere non immerse	bulloneria AR zincata classe 8.8	
- perni	acciaio 38NCD4 bonificato	

La resistenza di calcolo del materiale è definita mediante la relazione:

$$f_{yd} = f_k / \gamma_{M0} = 338 \text{ MPa} \quad \text{per acciaio S355}$$

dove:

$$\gamma_{M0} = 1,05 \text{ secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 4.2.VII § 4.2.4.1.1)}$$

Tale tensione limite si assume quale valore ammissibile del dominio di resistenza valutato secondo il criterio tensionale di Von Mises.

Di seguito le caratteristiche meccaniche dei principali materiali utilizzati:

**Acciaio da carpenteria S 355 J0**

**Acciaio laminato per carpenteria (UNI EN 10025)**

**Laminati a caldo con profili a sezione aperta**

Tensione caratteristica di snervamento ( $t \leq 40 \text{ mm}$ )

Tensione caratteristica di rottura a trazione ( $t \leq 40 \text{ mm}$ )

Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche agli Stati Limite Ultimi

Resistenza di calcolo a trazione per SLU ( $t \leq 40 \text{ mm}$ ):  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Modulo Elastico normale:

Modulo Elastico tangenziale:  $G_s = E_s / [2 \times (1+\nu)]$

**Tipo S 355 (Fe 510)**

$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

$f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_s = 1,05$  [NTC 4.2.4.1 - tab. 4.2.V]

$f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$

$E_s = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

$G_s = 76923 \text{ N/mm}^2$

## Acciaio da carpenteria S 275 J0

### Acciaio laminato per carpenteria (UNI EN 10025)

#### Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Tensione caratteristica di snervamento ( $t \leq 40$  mm)

Tensione caratteristica di rottura a trazione ( $t \leq 40$  mm)

Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche agli Stati Limite Ultimi

Resistenza di calcolo a trazione per SLU ( $t \leq 40$  mm):  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Modulo Elastico normale:

Modulo Elastico tangenziale:  $G_s = E_s / [2 \times (1+\nu)]$

### Tipo S 275 (Fe 430)

$f_{yk} \geq 275$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk} \geq 430$  N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s = 1,05$  [NTC 4.2.4.1 - tab. 4.2.V]

$f_{yd} = 262$  N/mm<sup>2</sup>

$E_s = 200\,000$  N/mm<sup>2</sup>

$G_s = 76923$  N/mm<sup>2</sup>

## Bulloni ad alta resistenza classe 8.8 in condizioni nominali

### (prospetto 3.3 UNIV 1993\_1\_1\_98\_1994)

#### Viti classe (UNI EN ISO 898-1:2001)

Resistenza a rottura per trazione

Tensione di snervamento

Tensione calcolo di rifollamento

#### Dadi classe (UNI EN 20898-2:1994)

#### 8.8

$f_{tb} = 800$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{yb} = 640$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{rif} \leq \alpha \times f_d$   $\alpha = a/d < 2,5$

#### 8

## Acciaio AISI 431 (X17CrNi16-2 EN 10088-3:2005) forgiato/bonificato (EN 10250-4:2001)

Tensione caratteristica di snervamento ( $\phi \leq 375/250$  mm)

Tensione caratteristica di rottura a trazione ( $\phi \leq 375/250$  mm)

Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche agli Stati Limite Ultimi

Resistenza di calcolo a trazione per SLU ( $\phi \leq 375/250$  mm):  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Modulo Elastico normale:

Modulo Elastico tangenziale:  $G_s = E_s / [2 \times (1+\nu)]$

$f_{yk} \geq 700$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk} \geq 900-1050$  N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s = 1,05$  [NTC 4.2.4.1 - tab. 4.2.V]

$f_{yd} = 700$  N/mm<sup>2</sup>

$E_s = 200\,000$  N/mm<sup>2</sup>

$G_s = 90000$  N/mm<sup>2</sup>

## Acciaio da carpenteria S 450 J0

### Acciaio laminato per carpenteria (UNI EN 10025)

#### Laminati a caldo classe C

Tensione caratteristica di snervamento ( $t \leq 40$  mm)

Tensione caratteristica di rottura a trazione ( $t \leq 40$  mm)

Coefficiente parziale di sicurezza per verifiche agli Stati Limite Ultimi

Resistenza di calcolo a trazione per SLU ( $t \leq 40$  mm):  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Modulo Elastico normale:

Modulo Elastico tangenziale:  $G_s = E_s / [2 \times (1+\nu)]$

### Tipo S 450

$f_{yk} \geq 390$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk} \geq 550-720$  N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_s = 1,05$  [NTC 4.2.4.1 - tab. 4.2.V]

$f_{yd} = 370$  N/mm<sup>2</sup>

$E_s = 200\,000$  N/mm<sup>2</sup>

$G_s = 76923$  N/mm<sup>2</sup>



## 2. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

---

### § 2.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

---

Vengono applicate le prescrizioni delle normative indicate al paragrafo 1.3

---

### § 2.2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

---

#### 2.2.1 VITA NOMINALE

Tipo di costruzione:	2	
Descrizione:	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	
Vita nominale:	50 anni	§ 2.4.1 – Tab. 2.4.I

#### 2.2.2 CLASSE D'USO

Classe d'uso:	IV	§ 2.4.2
Descrizione:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B e di tipo C, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	

#### 2.2.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Periodo di riferimento:	$V_R = 100 \text{ anni}$	§ 2.4.3
-------------------------	--------------------------	---------



### § 2.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le azioni agenti sulla struttura sono cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli.

Per gli stati limite ultimi si adottano combinazioni del tipo:

- fondamentale:  $\gamma_{g1} G_{k1} + \gamma_{g2} G_{k2} + \gamma_{q1} Q_{k1} + \gamma_{qj} \sum_{j=2,n} (\psi_{0j} Q_{kj})$
- eccezionale:  $G_1 + G_2 + A_d + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$
- sismica:  $E + G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$

in cui:

$A_d$	valore nominale dell'azione eccezionale
$E$	valore nominale dell'azione sismica
$G_1$	valore nominale del peso proprio di tutti gli elementi strutturali
$G_{k1}$	valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi strutturali
$G_2$	valore nominale dei pesi propri di tutti gli elementi non strutturali
$G_{k2}$	valore caratteristico dei pesi propri di tutti gli elementi non strutturali
$Q_{k1}$	valore caratteristico dell'azione variabile dominante
$Q_{kj}$	valori caratteristici delle altre azioni variabili tra loro indipendenti
$\gamma_{g1}$	coefficiente parziale del peso proprio della struttura
$\gamma_{g2}$	coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali
$\gamma_{q1}$	coefficiente parziale dell'azione variabile dominante
$\gamma_{qj}$	coefficienti parziali delle azioni variabili tra loro indipendenti
$\psi_{0a}, \psi_{1a}, \psi_{2a}$	coefficienti di combinazione (Tabella 2.5.I - § 2.5.2 – D.M. 17/01/2018)

Nelle combinazioni per le verifiche degli stati limite di esercizio si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che diano un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Ai fini delle verifiche agli stati limite si definiscono, pertanto, le combinazioni delle azioni riportate nella tabella seguente.

Nome	Tipo di combinazione	Verifica	Impiego	$G_1$	$G_2$	$E_x$	$E_y$	$Q_v$
STR	FONDAMENTALE	STR	SLU	1,3	1,5	0	0	1,5
SIS	SISMICA		SLV	1	1	0,3	1	1
SLE	RARA		SLE	1	1	0	0	1

### 3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

---

#### § 3.1 OPERE CIVILI E INDUSTRIALI

---

#### § 3.2 NUOVE PARATOIE SCARICO DI SUPERFICIE - CARICHI VARIABILI

---

Le paratoie sono soggette ai carichi variabili costituiti da:

- spinta idrostatica,
- peso vena sfiorante,
- azioni dovute al loro azionamento,
- azioni dovute al sisma,

come indicato più avanti.

#### § 3.3 PRESSIONE DINAMICA DOVUTA AL SISMA

---

Per la determinazione delle forze sismiche si utilizza il metodo pseudo-statico che consiste nell'applicare alla diga le forze d'inerzia e le pressioni idrodinamiche generate dal sisma sotto forma di carichi statici equivalenti, determinati nell'ipotesi di struttura rigida. Le forze d'inerzia vengono calcolate come prodotto di un coefficiente sismico per il peso della diga, mentre le pressioni idrodinamiche vengono determinate con le formule di Westergaard (relative alla ipotesi di fluido incomprimibile e diga rigida).

I carichi dovuti al sisma debbono essere combinati con i carichi statici: peso proprio, spinta idrostatica.

Per calcolare la sovrappressione dinamica  $p_d$  causata dal terremoto, si considera la formula di Westergaard semplificata, che indica il valore della pressione dinamica al variare della profondità  $h$ :

$$p_d = \frac{7}{8} \cdot w_o \cdot k_b \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

in cui:

$w_o$  peso specifico dell'acqua

$k_b$  accelerazione sismica ondulatoria di progetto

$H$  profondità dell'acqua dal livello massimo normale fino al fondo esclusa l'altezza dovuta al sisma

$h$  profondità dell'acqua dal livello massimo fino al punto in cui si calcola la pressione

L'accelerazione sismica è calcolata utilizzando il foglio di calcolo "Spettri di Risposta" ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Per l'opera in oggetto i parametri di pericolosità sismica sono i seguenti

I valori di riferimento dell'azione sismica per il luogo di installazione (con periodo di ritorno di 50 anni sono i seguenti):

Luogo	Levane (Montevarchi - AR)
Cat. Suolo	E (assunto per la sicurezza)
Categoria topografica	T4 (assunto per la sicurezza)
$V_N$	> 50 anni
Classe d'uso della struttura	IV
Categoria:	C – importanza “normale”
$C_u$	2

*Localizzazione del sito e impostazioni del calcolo dei parametri sismici caratteristici dell'area*

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	60	0,057	2,627	0,275
SLD	101	0,068	2,629	0,286
SLV	949	0,157	2,413	0,306
SLC	1950	0,195	2,424	0,312

*Valori dei parametri sismici di progetto*

$T_R$ (SLV)	949	anni	tempo di ritorno
$a_g$	0,157	g	accelerazione orizzontale al suolo
$F_0$	2,413		fattore di amplificazione dinamico
S	2,215		fattore amplificazione del sito
$a_{max} = a_g S$	0,3478	g	accelerazione massima attesa

assumendo  $\beta_s = 0,28$ :

$$k_h = \beta_s a_{\max}/g \qquad 0,0972 \qquad \text{coeff. accelerazione sismica orizzontale}$$

Dalle precedenti elaborazioni derivano i seguenti valori della sovra-pressione dinamica in funzione della profondità dell'acqua  $h$  (profondità massima  $H$  sino alla quota di soglia: 19,0 mt) agente sul mantello:

$h$ [m]	$p_d$ [t/m <sup>2</sup> ]
0	0
1,00	0,37
2,00	0,52
3,00	0,64
4,00	0,74
5,00	0,83
6,00	0,91
7,00	0,98
8,00	1,05
9,00	1,11
10,00	1,17
11,00	1,23
12,00	1,28
13,00	1,34
14,00	1,39
15,00	1,44
16,00	1,48
17,00	1,53
18,00	1,57
19,00	1,62

Ai fini della determinazione della pressione idrostatica agente sulla paratoia in condizioni sismiche si procede alla determinazione della pressione idrostatica dell'onda dovuta al terremoto. Viene pertanto preliminarmente calcolata l'altezza delle onde dovute al terremoto con la seguente espressione assumendo, a favore di sicurezza, l'altezza massima dell'onda che può generarsi all'interno del bacino in condizioni di massimo invaso.

Considerando la quota del fondo bacino è di 19 m rispetto alla quota di massimo invaso si ottiene:

$$h_e = (k_n T / 2\pi) \sqrt{gH} = 0,21 \text{ mt}$$

$h_e =$  semiampiezza dell'onda in metri

$T = 1$  periodo del ciclo del terremoto

$H = 19 \text{ mt}$  profondità massima in condizioni di massimo invaso

La valutazione della pressione dell'onda sismica viene calcolata assumendo il battente di verifica di  $(H+h_e)$ .

Nel caso in esame, sulla base delle considerazioni effettuate, si riporta la pressione idrostatica risultante agente sul mantello dalla quota del pelo libero in condizioni sismiche.

$h$ [m]	$p_d$ [t/m <sup>2</sup> ]	$P_{d+onda}$ [t/m <sup>2</sup> ]
1,00	0,37	0,4258
2,00	0,52	0,60
3,00	0,64	0,74
4,00	0,74	0,85
5,00	0,83	0,95
6,00	0,91	1,04
7,00	0,98	1,13
8,00	1,05	1,20
9,00	1,11	1,28
10,00	1,17	1,35
11,00	1,23	1,41
12,00	1,28	1,48
13,00	1,34	1,54
14,00	1,39	1,59
15,00	1,44	1,65
16,00	1,48	1,70
17,00	1,53	1,76
18,00	1,57	1,81
19,00	1,62	1,86

La pressione totale agente sul mantello in condizioni sismiche dovuta alla somma della pressione idrostatica con la presenza dell'onda sismica e della sovrappressione dinamica dovuta alla massa d'acqua in condizioni sismiche risulta come segue:

$h$ (m)	$p_{statica}$ (t/m <sup>2</sup> )	$P_{d+onda}$ (t/m <sup>2</sup> )	$p_{totale}$ (t/m <sup>2</sup> )
	0,42		
1,00	1,42	0,4258	1,85
2,00	2,42	0,60	3,02
3,00	3,42	0,74	4,16
4,00	4,42	0,85	5,27
5,00	5,42	0,95	6,37
6,00	6,42	1,04	7,46
7,00	7,42	1,13	8,55
8,00	8,42	1,20	9,62
9,00	9,42	1,28	10,70
10,00	10,42	1,35	11,77
11,00	11,42	1,41	12,83
12,00	12,42	1,48	13,90
13,00	13,42	1,54	14,96
14,00	14,42	1,59	16,01
15,00	15,42	1,65	17,07
16,00	16,42	1,70	18,12
17,00	17,42	1,76	19,18
18,00	18,42	1,81	20,23
19,00	19,42	1,86	21,28

Dal confronto tra le azioni delle combinazioni di carico in condizioni sismiche e la spinta idrostatica della combinazione di carico fondamentale (carico variabile) emerge che quest'ultima è la dominante, specie in considerazione del fatto che il coefficiente parziale dell'azione variabile è pari ad 1,5 (contro 1,0 di quella sismica).

Dai valori risultanti si deduce anche che il valore della spinta idrostatica incrementato del coefficiente  $\gamma_{q1}$  (coefficiente parziale dell'azione variabile dominante) = 1,5 (SLU) risulta maggiore della somma della pressione dinamica massima risultante dovuta al sisma (somma della pressione dinamica e della pressione idrostatica in presenza dell'onda sismica, valutata assumendo quale parametro di progetto la quota di riferimento della paratoia rispetto alla condizione di massimo livello di progetto).

Nelle verifiche di seguito proposte verrà considerata la combinazione di carico più sfavorevole, ovvero, come dimostrato, quella fondamentale allo SLU costituita dal carico idrostatico massimo sulla soglia.

## 4. VERIFICHE SVOLTE

### 4.1 ANALISI STRUTTURALE DELLA PARATOIA

#### 4.1.1 GENERALITÀ

La paratoia nel suo complesso è caratterizzata da tre settori inferiori ed un tegolo superiore di regolazione. Ai fini delle analisi strutturali è stato eseguito il modello integrato di tutti questi elementi in quanto interagiscono tra di loro.

In particolare i tre settori inferiori sono collegati tra di loro alle estremità e costituiscono un unico elemento di intercettazione idraulica; tale elemento viene considerato nella configurazione che permette il sollevamento (aggancio sul settore 3).

Il tegolo superiore è dotato di un sistema di sollevamento indipendente (catena). Questa paratoia superiore interagisce con i settori sottostanti, in quanto è dotato di ruote che scorrono sulle rotaie installate sui settori 3 e 2.

Ai fini del calcolo strutturale, i pesi propri complessivi considerati per i vari elementi sono indicati nella seguente tabella ove si tiene conto anche dei componenti accessori.

	G [ton]
<b>settore 1</b>	24.8
<b>settore 2</b>	26.5
<b>settore 3</b>	35.5
<b>tegolo superiore</b>	37.2
<b>Totale</b>	<b>123.9</b>

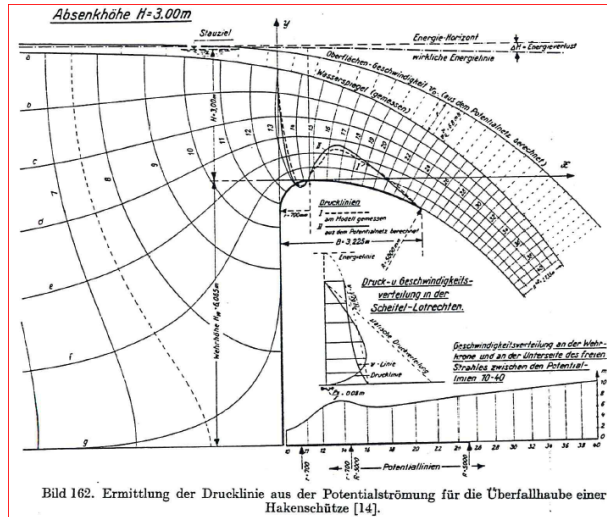
#### 4.1.2 CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO A QUOTA +172 M (IPOTESI "DIGA")

La condizione di massima sollecitazione per la carpenteria strutturale dei due elementi delle paratoie corrisponde alla configurazione caratterizzata dalla soglia trascinabile a quota 167,50 m (pertanto gli scarichi delle ruote reciproche sono nella zona del bordo superiore delle rotaie del settore numero 3), con un battente idrostatico sopra la soglia dello stramazzo di 4.5 m.

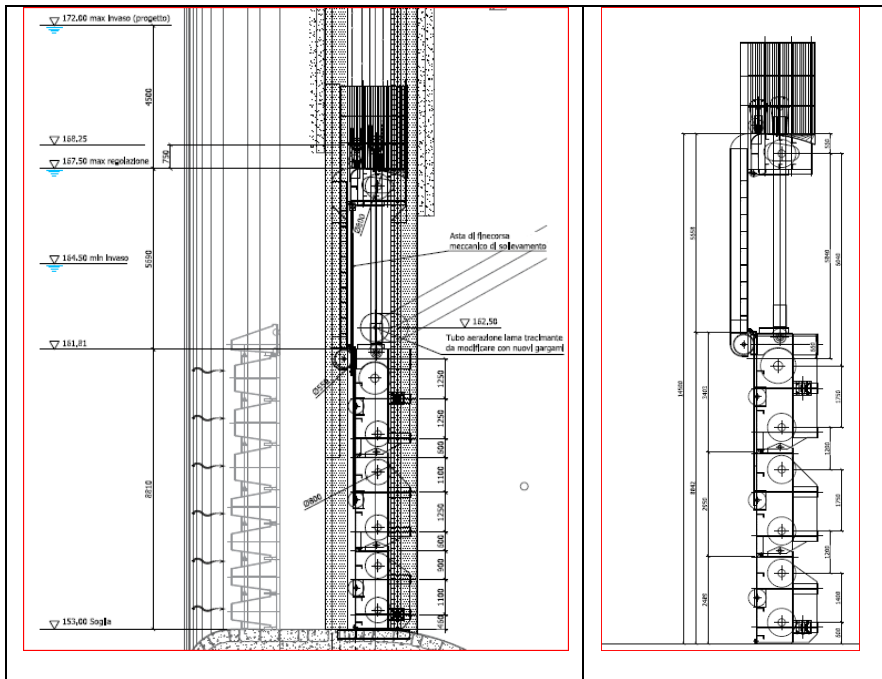
Ai fini delle forze orizzontali si considera questo battente con andamento idrostatico fino alla base della paratoia.

I carichi verticali sono applicati considerando, sulla soglia trascinabile, un battente di monte pari a 4.5 m (ovvero, per sicurezza, senza riduzioni per contrazione di vena che ridurrebbe i carichi verticali sulla soglia) e zero sul bordo d'uscita dello stramazzo.

Il profilo considerato per la vena stramazzone è il seguente:



estratto da WHERE - Stauanlagen und Wasserkraftwerke



Le spinte risultanti per gli elementi dell'intera paratoia sono indicate nella seguente tabella:

SPINTA IDROSTATICA	S [ton]
<b>VERTICALE</b>	
tegolo superiore	59
<b>ORIZZONTALE</b>	
settore 1	540
settore 2	544
settore 3	496
tegolo superiore	500

Queste forze sono quelle determinate applicando le pressioni al modello agli elementi finiti (che considera per simmetria metà paratoia).



4.1.2.1

VERIFICA ALLO SLE

Si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=4.5m</sub>".

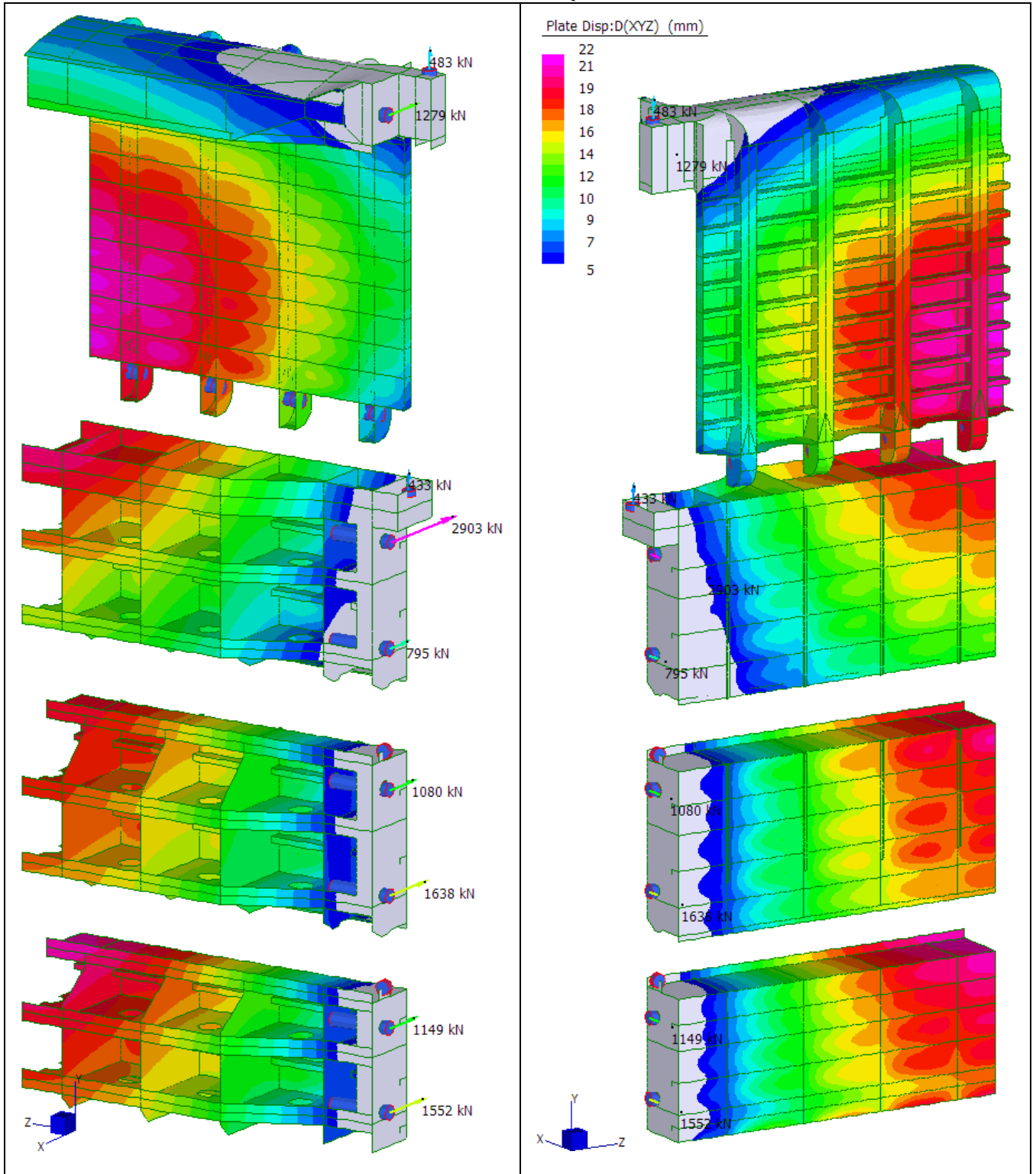


Figura 9. Combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=4.5m</sub>". Spostamenti [mm] e reazioni vincolari [kN].

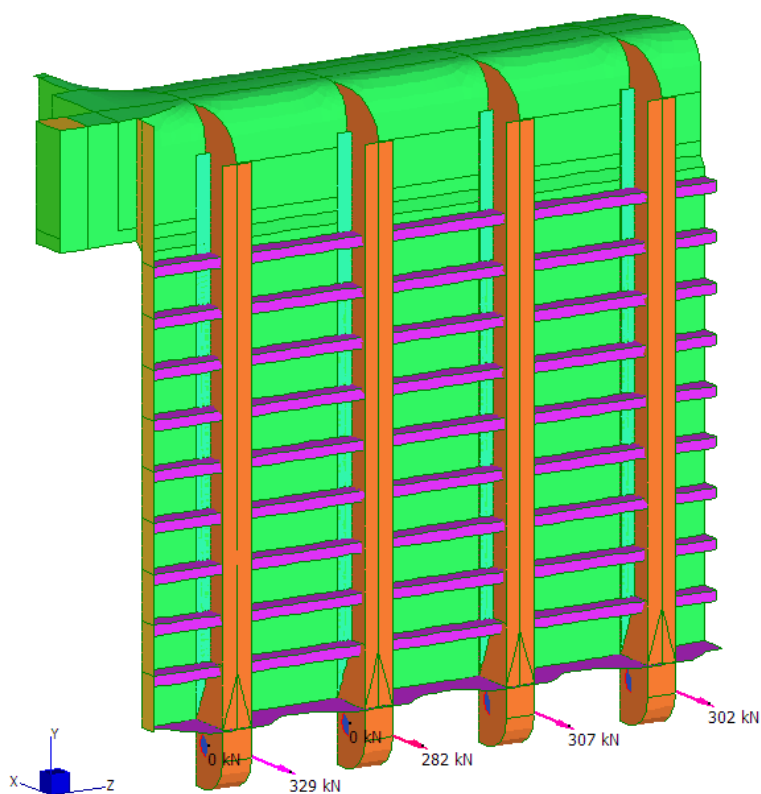


Figura 10. Combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0  $Q_{H=4.5m}$ ”. Reazioni vincolari [kN] sulle ruote reciproche tegolo superiore

Le reazioni vincolari per la combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0  $Q_{H=4.5m}$ ”, sono riportate nella seguente tabella.

REAZIONI VINCOLARI	R [ton]
<b>CARICHI VERTICALI</b>	
Reazione al punto di sollevamento settore 3	43.3
Reazione al punto di sollevamento tegolo superiore	48.3
<b>CARICHI ORIZZONTALI</b>	
Spinta ruote settore 1	
ruota inferiore	155.2
ruota superiore	114.9
Spinta ruote settore 2	
ruota inferiore	163.8
ruota superiore	108
Spinta ruote settore 3	
ruota inferiore	79.5
ruota superiore	290.3
Spinta ruote tegolo superiore	
ruota gargame	127.9
ruote su rotaia (numerate dal centro al gargame)	
R1	30.2

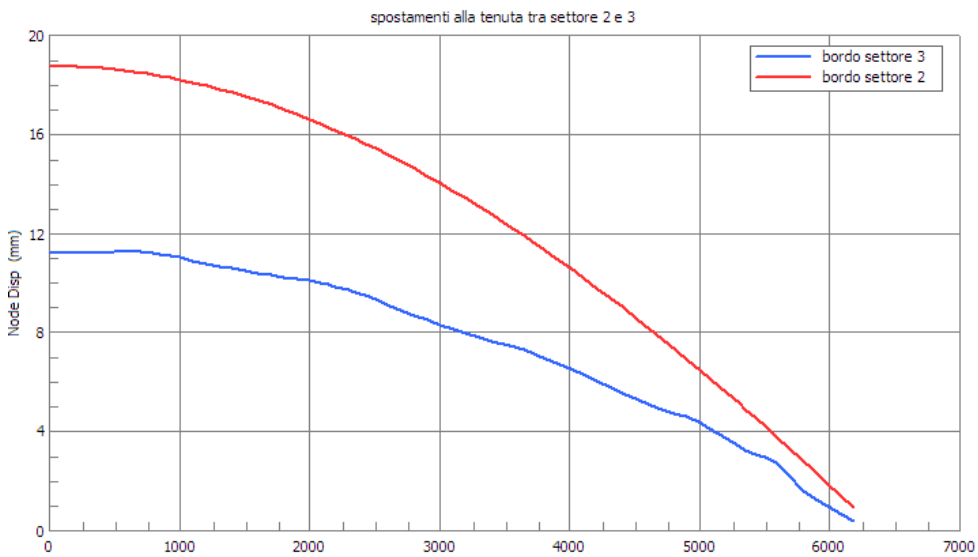
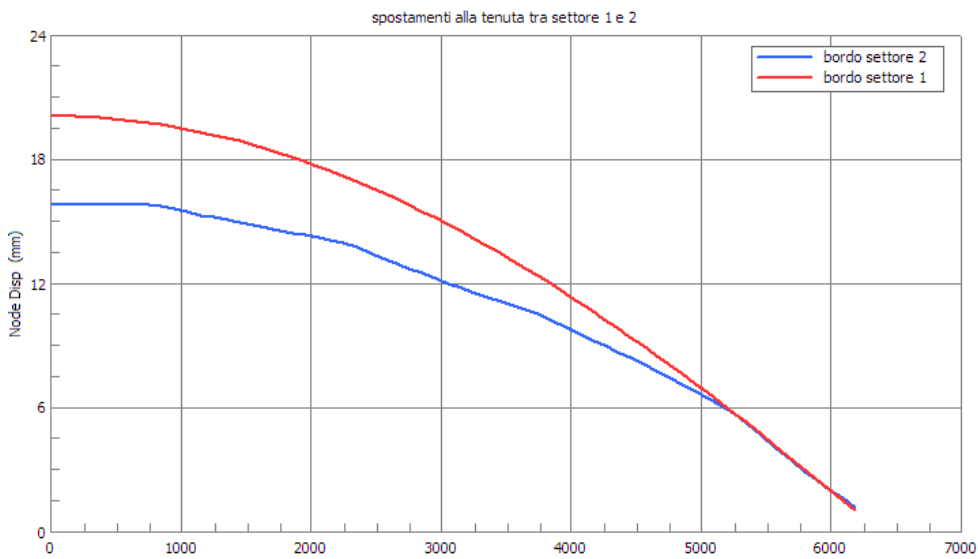
R2	30.7
R3	28.2
R4	32.9

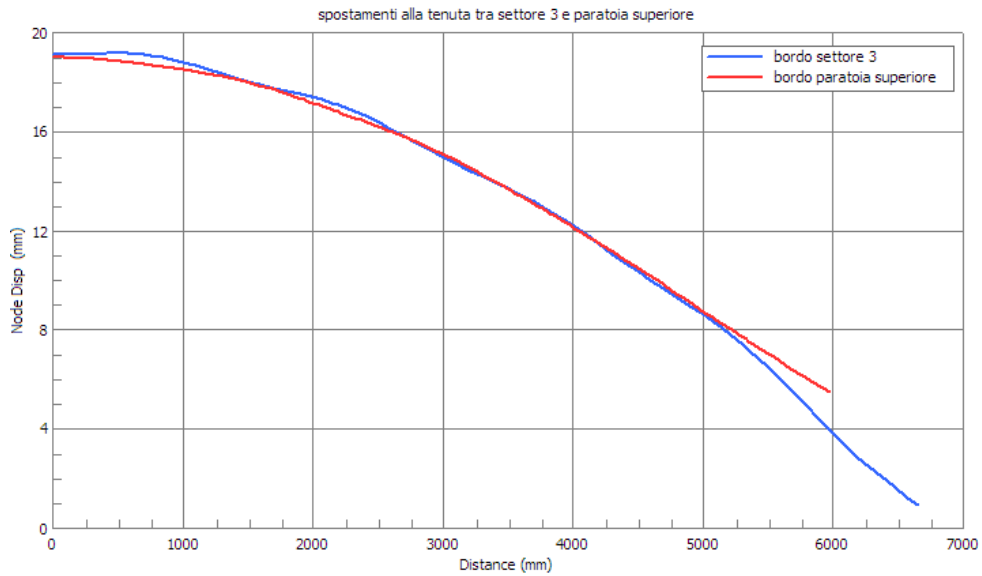
Il massimo spostamento complessivo è pari a 22 mm in corrispondenza dell'elemento superiore (travi verticali).

La massima deformazione dell'elemento inferiore è di 18 mm in corrispondenza dell'appoggio delle ruote reciproche che corrisponde a  $18 \text{ mm} / 12600 \text{ mm} = 1/700 L$ , accettabile considerata l'eccezionalità dell'evento, la tipologia delle tenute e delle caratteristiche strutturali.

La deformazione media degli elementi inferiori è di circa 14 mm.

Gli spostamenti agli accoppiamenti sono rappresentati di seguito, con ascissa che parte dalla mezzeria.





Non vengono quindi inseriti elementi di sincronizzazione della deformazione reciproca in quanto gli spostamenti sono compatibili con il sistema di tenuta.

---

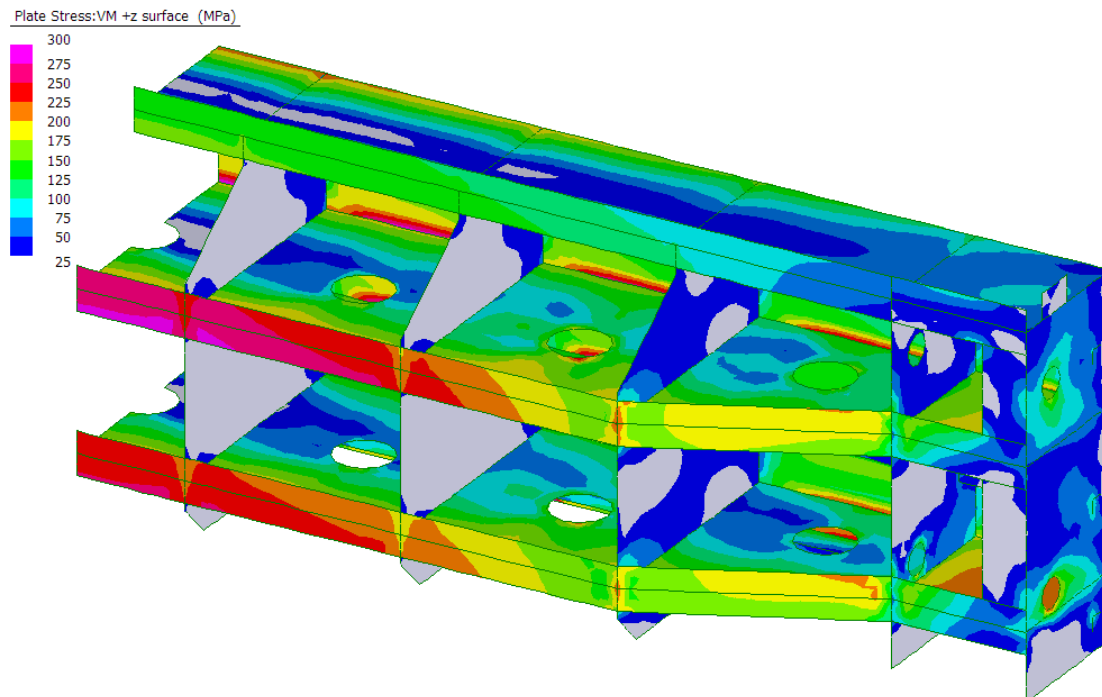
#### 4.1.2.2

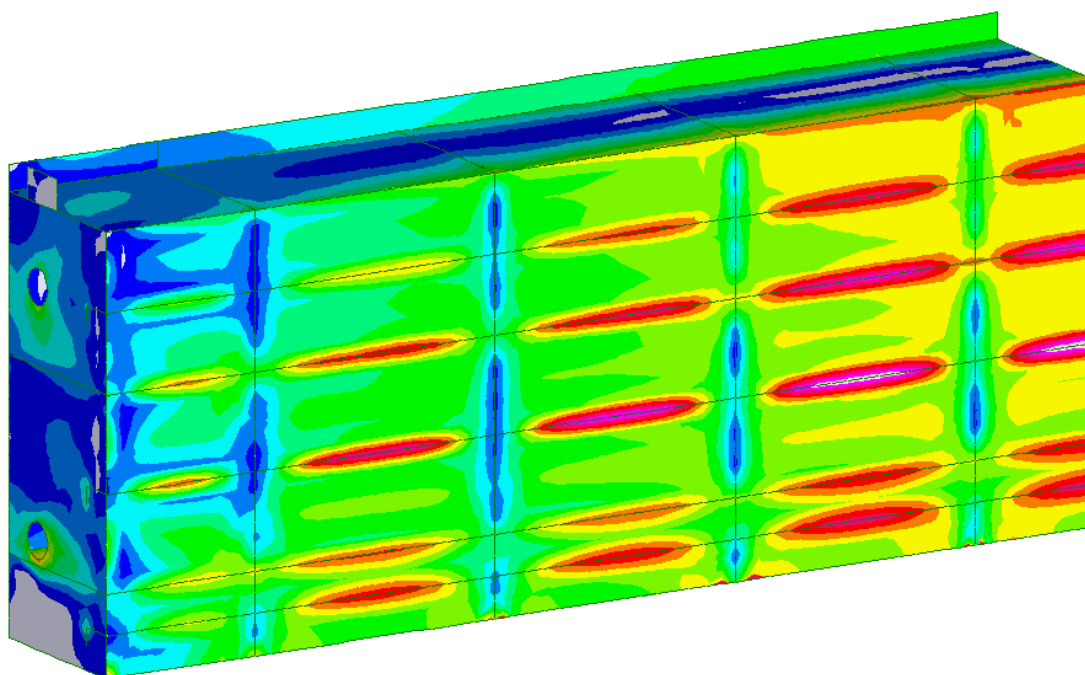
#### VERIFICA ALLO SLU

---

Si considera la combinazione SLU “1.3 G + 1.5  $Q_{H=4.5m}$ ”.

#### ➤ settore 1





Massimo stress di Von Mises sul settore 1: 285 MPa < 338 MPa.

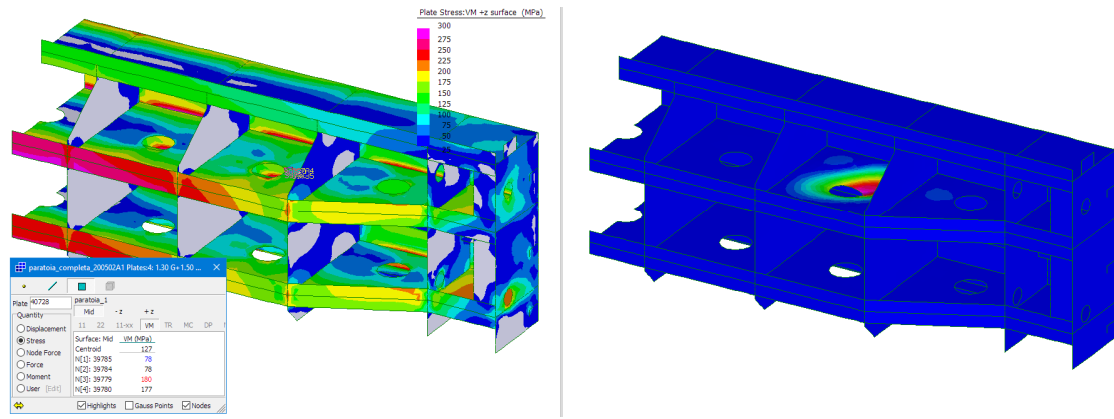
È stata eseguita una verifica ad imbozzamento dei pannelli (buckling lineare Euleriano), rispetto alla combinazione di carico di SLU, considerando i primi 64 modi di collasso. Nel seguito si riporta lo stato più critico per questo settore. Nel calcolo, secondo Eurocodice 1993-1-5, si considera la riduzione per imperfezioni e tensioni residue. Il pannello maggiormente suscettibile ad imbozzamento è quello dell'anima longitudinale della trave centrale, che comunque risulta verificato:  $0.73 < 1.00$ .

**Resistenza all'instabilità pannello**

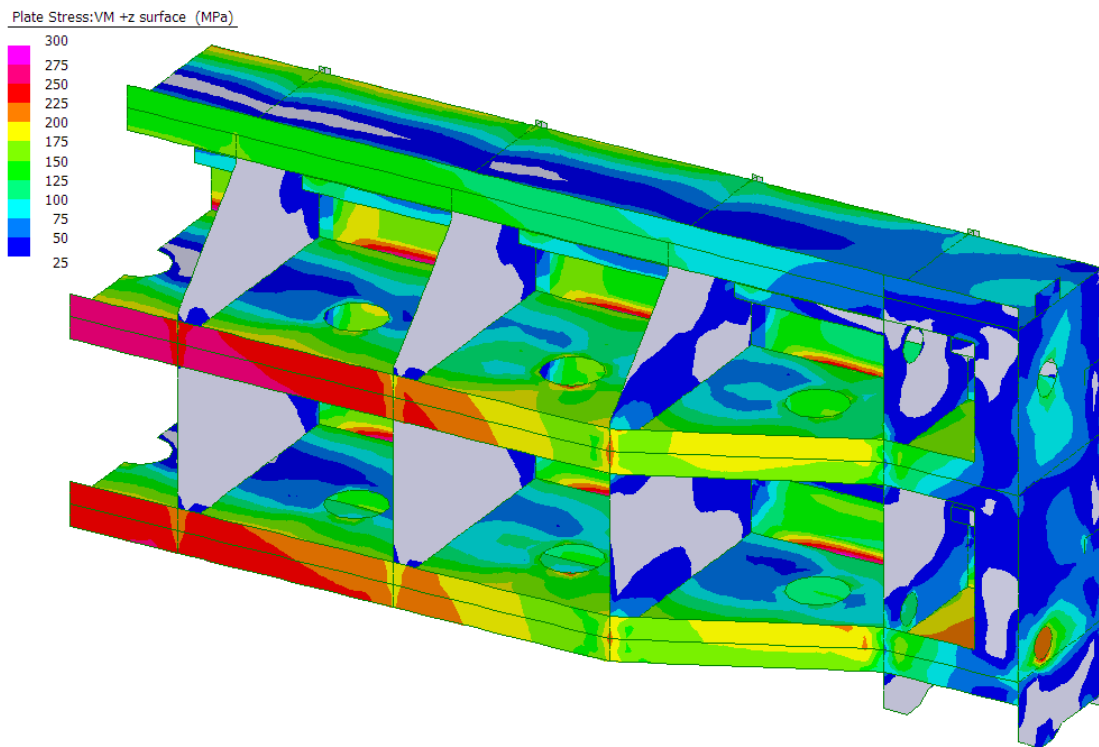
Stress di compressione massimo nella zona d'interesse	$\sigma_{I_{sa}}$	180.00 [MPa]
Fattore di buckling Euleriano per il modo in esame	$C_{cr}$	1.790 [-]
Stress critico (analisi FEM di buckling lineare)	$\sigma_{cr} = C_{cr} \sigma_{I_{sa}}$	322.20 [MPa]
Snellezza	$\bar{\lambda} = \sqrt{f_0 / \sigma_{cr}}$	1.050 [-]

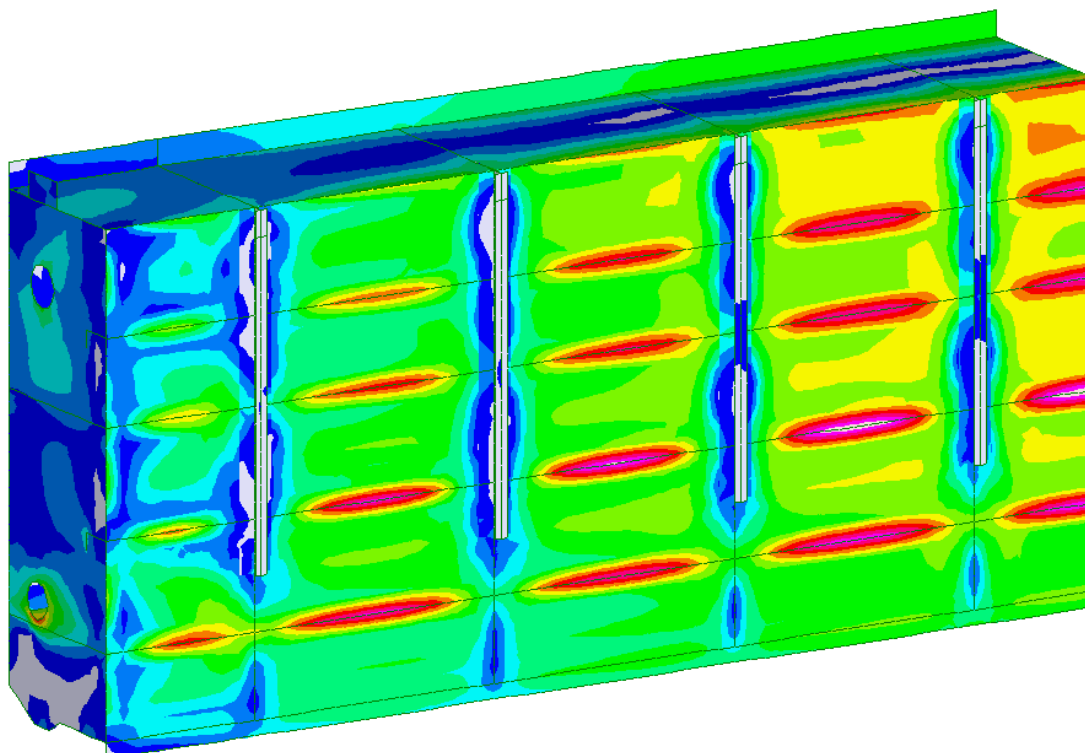
**EC1993-1-5 cap. 10 e app. B**

Coefficiente di imperfezione	$\alpha$	0.34 [-]
Snellezza limite	$\bar{\lambda}_0$	0.80 [-]
	$\phi$	1.067
Coefficiente di riduzione (curva d'instabilità)	$\chi$	0.732 [-]
<b>Stress al limite dell'instabilità</b>	$\sigma_{b,Rd} = \chi f_0 / \gamma_{M1}$	<b>247.45 [MPa]</b>
<b>Fattore di utilizzo a imbozzamento pannello</b>		<b>0.73 [-]</b>



➤ settore 2





Massimo stress di Von Mises sul settore 2: 275 MPa < 338 MPa.

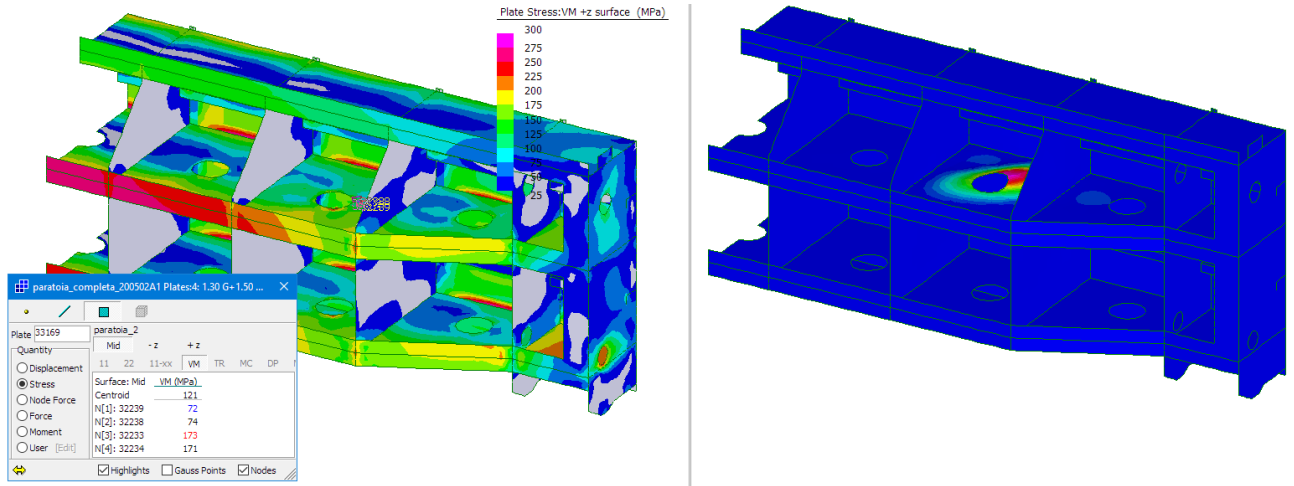
È stata eseguita una verifica ad imbozzamento dei pannelli (buckling lineare Euleriano), rispetto alla combinazione di carico di SLU, considerando i primi 64 modi di collasso. Nel seguito si riporta lo stato più critico per questo settore. Nel calcolo, secondo Eurocodice 1993-1-5, si considera la riduzione per imperfezioni e tensioni residue. Il pannello maggiormente suscettibile ad imbozzamento è quello dell'anima longitudinale della trave centrale, che comunque risulta verificato:  $0.68 < 1.00$ .

**Resistenza all'instabilità pannello**

Stress di compressione massimo nella zona d'interesse	$\sigma_{I_{sa}}$	173.00 [MPa]
Fattore di buckling Euleriano per il modo in esame	$C_{cr}$	1.950 [-]
Stress critico (analisi FEM di buckling lineare)	$\sigma_{cr} = C_{cr} \sigma_{I_{sa}}$	337.35 [MPa]
Snellezza	$\bar{\lambda} = \sqrt{f_0 / \sigma_{cr}}$	1.026 [-]

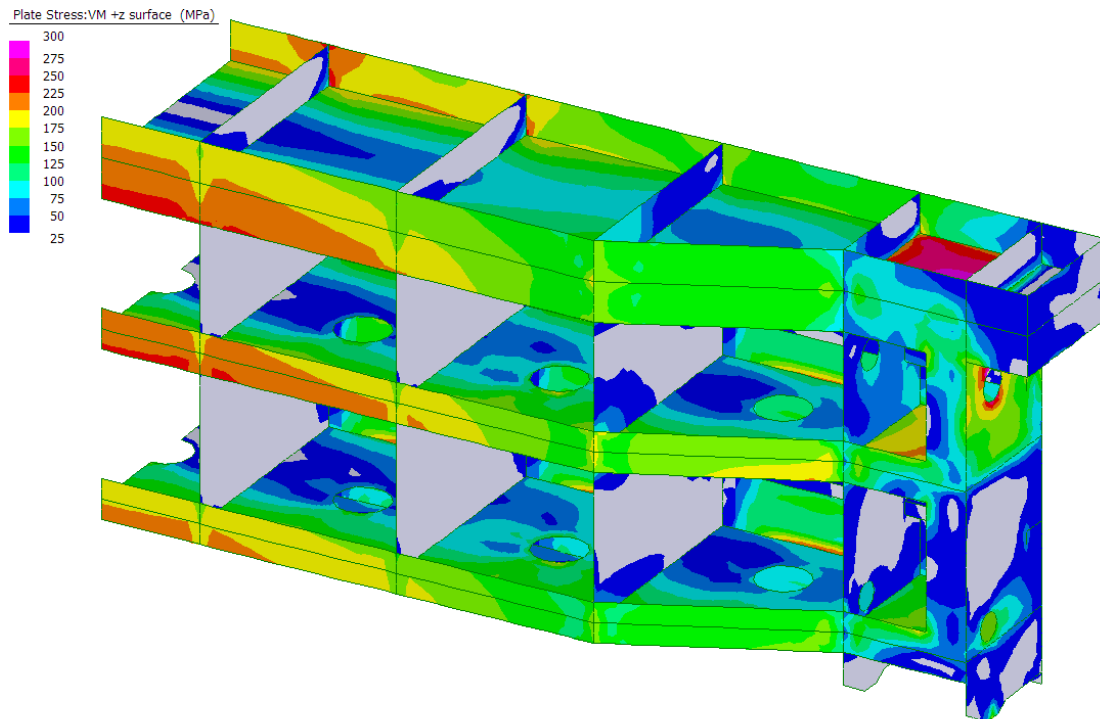
**EC1993-1-5 cap. 10 e app. B**

Coefficiente di imperfezione	$\alpha$	0.34 [-]
Snellezza limite	$\bar{\lambda}_0$	0.80 [-]
	$\phi$	1.051
Coefficiente di riduzione (curva d'instabilità)	$\chi$	0.750 [-]
Stress al limite dell'instabilità	$\sigma_{b,Rd} = \chi f_0 / \gamma_{M1}$	253.61 [MPa]
Fattore di utilizzo a imbozzamento pannello		0.68 [-]

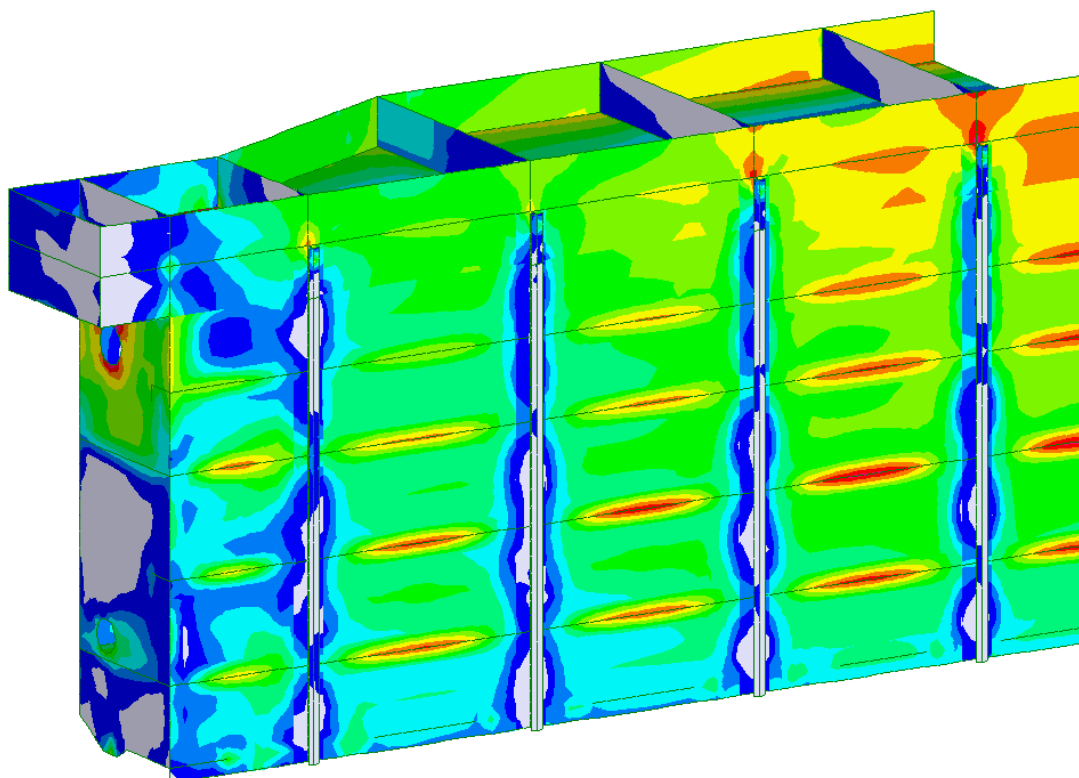


È stata verificata la resistenza ad imbozzamento rispetto al carico delle ruote reciproche dei pannelli che si trovano sotto la rotaia. Questi setti verticali dello spessore di 12 mm, sono alti 1700 mm con una spaziatura tra i rinforzi <1500 mm. I setti verticali sp. 12 mm sono verificati per le azioni sul settore 3: a maggior ragione risultano verificati nel settore 2 (in quanto i setti verticali hanno le stesse caratteristiche ma i carichi ruota sono ridotti).

➤ settore 3







Massimo stress di Von Mises sul settore 3: 280 MPa < 338 MPa.

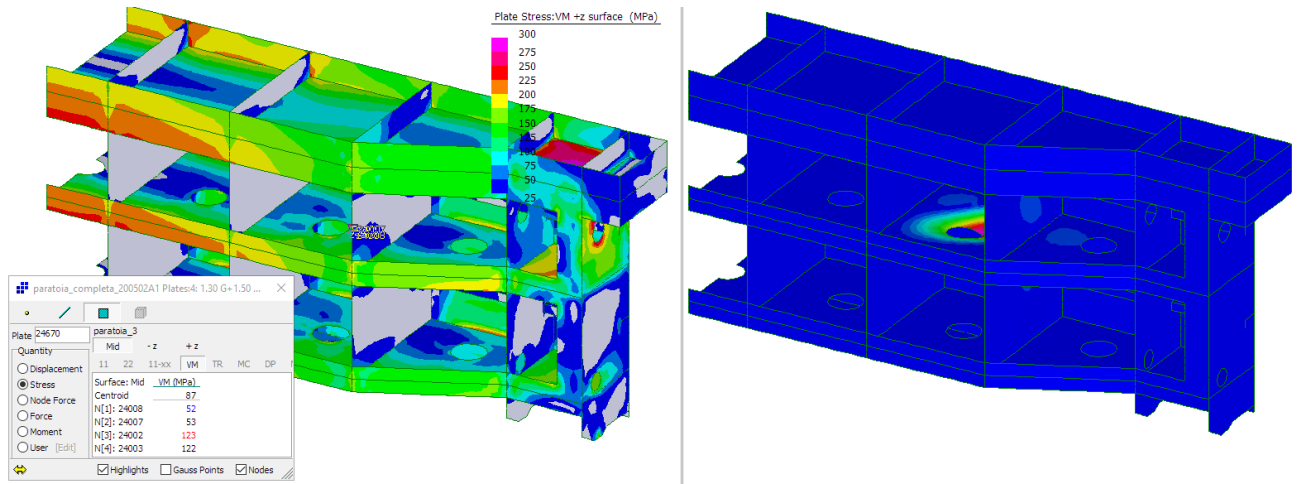
È stata eseguita una verifica ad imbozzamento dei pannelli (buckling lineare Euleriano), rispetto alla combinazione di carico di SLU, considerando i primi 64 modi di collasso. Nel seguito si riporta lo stato più critico per questo settore. Nel calcolo, secondo Eurocodice 1993-1-5, si considera la riduzione per imperfezioni e tensioni residue. Il pannello maggiormente suscettibile ad imbozzamento è quello dell'anima longitudinale della trave centrale, che comunque risulta verificato:  $0.50 < 1.00$ .

**Resistenza all'instabilità pannello**

Stress di compressione massimo nella zona d'interesse	$\sigma_{Isa}$	123.00 [MPa]
Fattore di buckling Euleriano per il modo in esame	$C_{cr}$	2.630 [-]
Stress critico (analisi FEM di buckling lineare)	$\sigma_{cr} = C_{cr} \sigma_{Isa}$	323.49 [MPa]
Snellezza	$\bar{\lambda} = \sqrt{f_0 / \sigma_{cr}}$	1.048 [-]

**EC1993-1-5 cap. 10 e app. B**

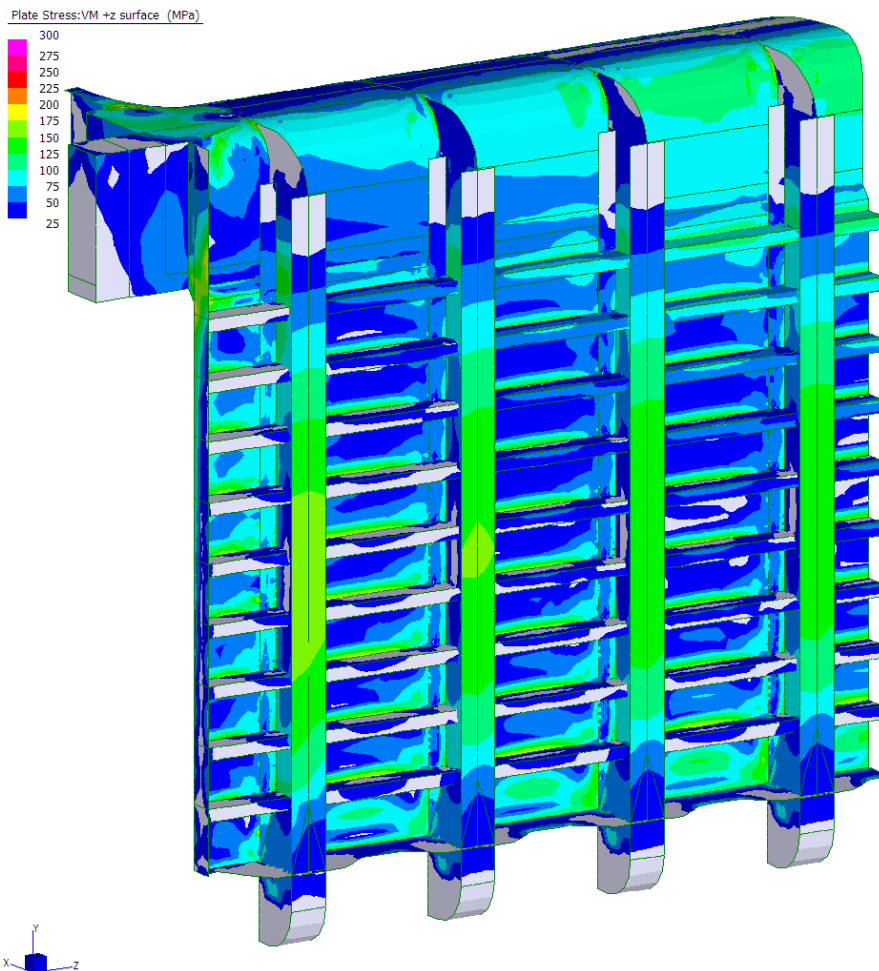
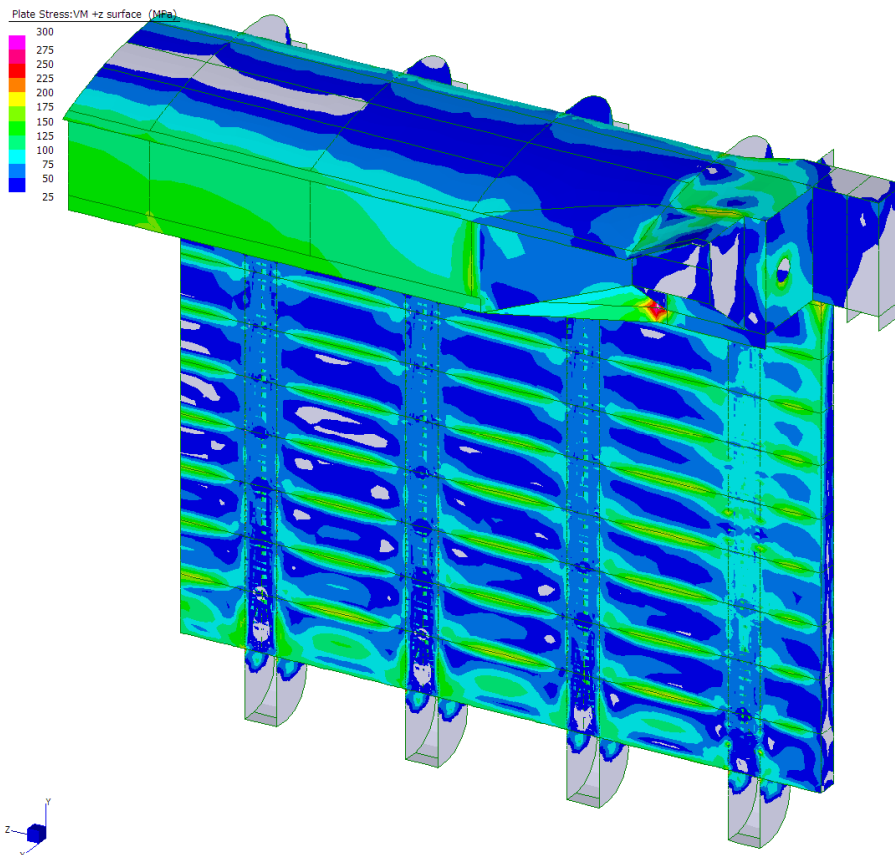
Coefficiente di imperfezione	$\alpha$	0.34 [-]
Snellezza limite	$\bar{\lambda}_0$	0.80 [-]
	$\phi$	1.066
Coefficiente di riduzione (curva d'instabilità)	$\chi$	0.733 [-]
<b>Stress al limite dell'instabilità</b>	$\sigma_{b,Rd} = \chi f_0 / \gamma_{M1}$	<b>247.98 [MPa]</b>
<b>Fattore di utilizzo a imbozzamento pannello</b>		<b>0.50 [-]</b>



È stata verificata la resistenza ad imbozzamento rispetto al carico delle ruote reciproche dei pannelli che si trovano sotto la rotaia. Questi setti verticali dello spessore di 12 mm, sono alti 1700 mm con una spaziatura tra i rinforzi <1500 mm. Il massimo carico ruota SLU, pari a  $1.50 * 329 \text{ kN} = 494 \text{ kN}$  è inferiore al carico resistente, secondo EN 1993-1-5, pari a 881 kN. I setti verticali sp. 12 mm sono pertanto adeguati.

Resistenza dell'anima alle forze trasversali concentrate - EN 1993-1-5 capitolo 6									
$f_{yw}$	355 MPa								
$\xi_{M1}$	1.05								
	S [mm]	H [mm]	tf [mm]	tw [mm]	csi [-]	ss [mm]	ly [mm]	Leff [mm]	FRd [kN]
Rotaia A75	0	85	13	12	0.315	170	688	217	881
hw	1700 mm								
bf	200 mm		-< conservativo: in realtà la larghezza equivalente della flangia compressa (superiore) è maggiore: è il piano di mantello						
a (spaziatura rinforzi)	1500 mm								
					kF	6.07			
					Fcr	1165912			
					lambdaF	1.59			
					csiF	0.32			
					m1	16.67			
					m2	342.01			

➤ paratoia superiore





superiore delle rotaie del settore numero 3), con un battente idrostatico sopra la soglia dello sfioratore di 0.0 m.

Ai fini delle forze orizzontali si considera questo battente con andamento idrostatico fino alla base della paratoia.

I carichi verticali sulla soglia sono nulli.

Le spinte risultanti per gli elementi dell'intera paratoia sono indicate nella seguente tabella.

<b>SPINTA IDROSTATICA</b>	<b>S [ton]</b>
<b>VERTICALE</b>	
tegolo superiore	0
<b>ORIZZONTALE</b>	
settore 1	403
settore 2	381
settore 3	308
tegolo superiore	194

Queste forze sono quelle determinate applicando le pressioni al modello agli elementi finiti (che considera per simmetria metà paratoia).

Questa condizione non è strutturalmente dimensionante, in quanto le parti sono sollecitate generalmente in modo inferiore alla condizione analizzata al precedente capitolo.

Sono invece rilevanti le verifiche agli SLE, in particolare si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=0m,tegolo sollevato</sub>".

---

#### 4.1.3.1

#### VERIFICA ALLO SLE

---

Si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=0m,tegolo sollevato</sub>".

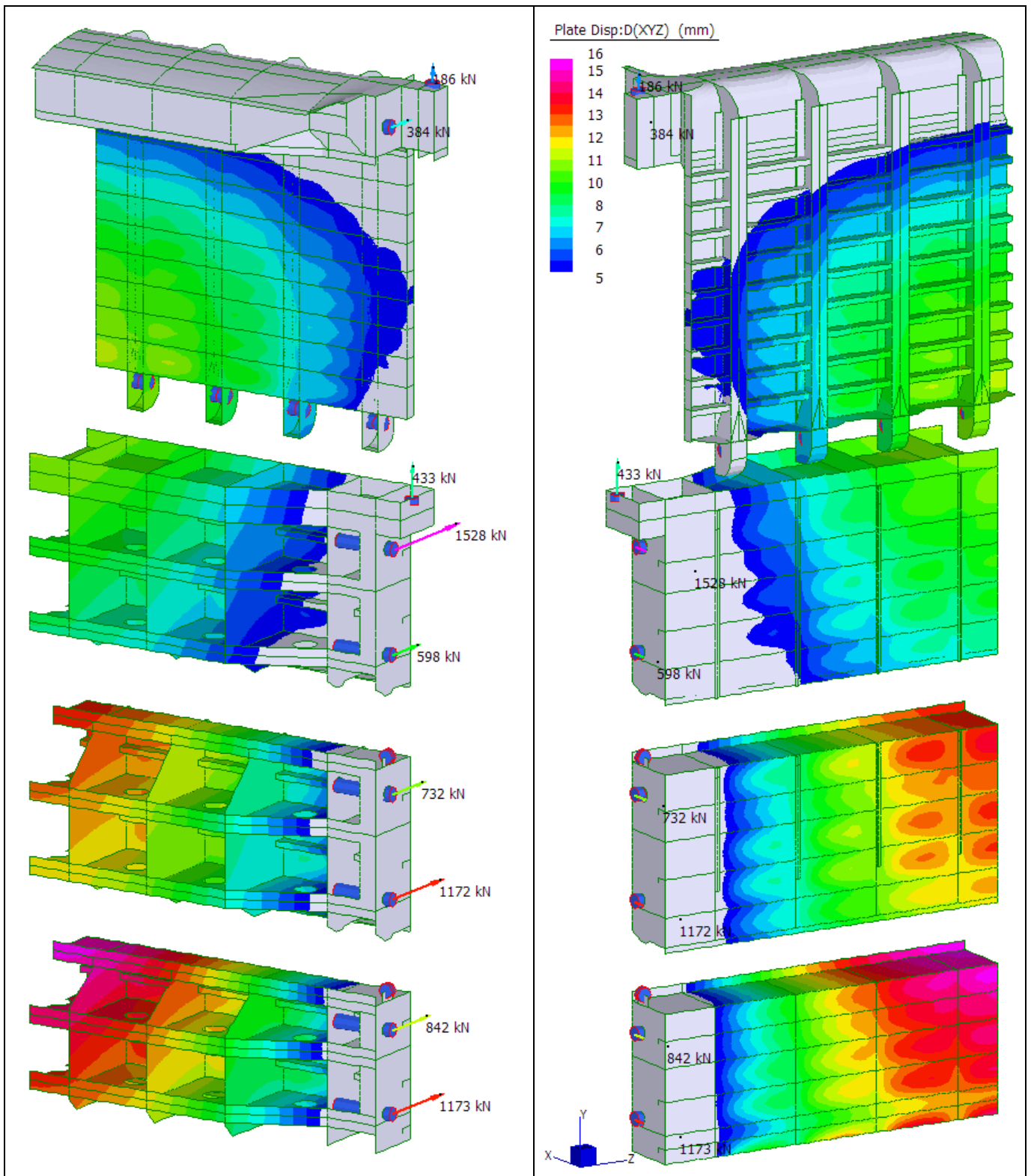


Figura 11. Combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=0m,tegolo sollevato</sub>". Spostamenti [mm] e reazioni vincolari [kN].

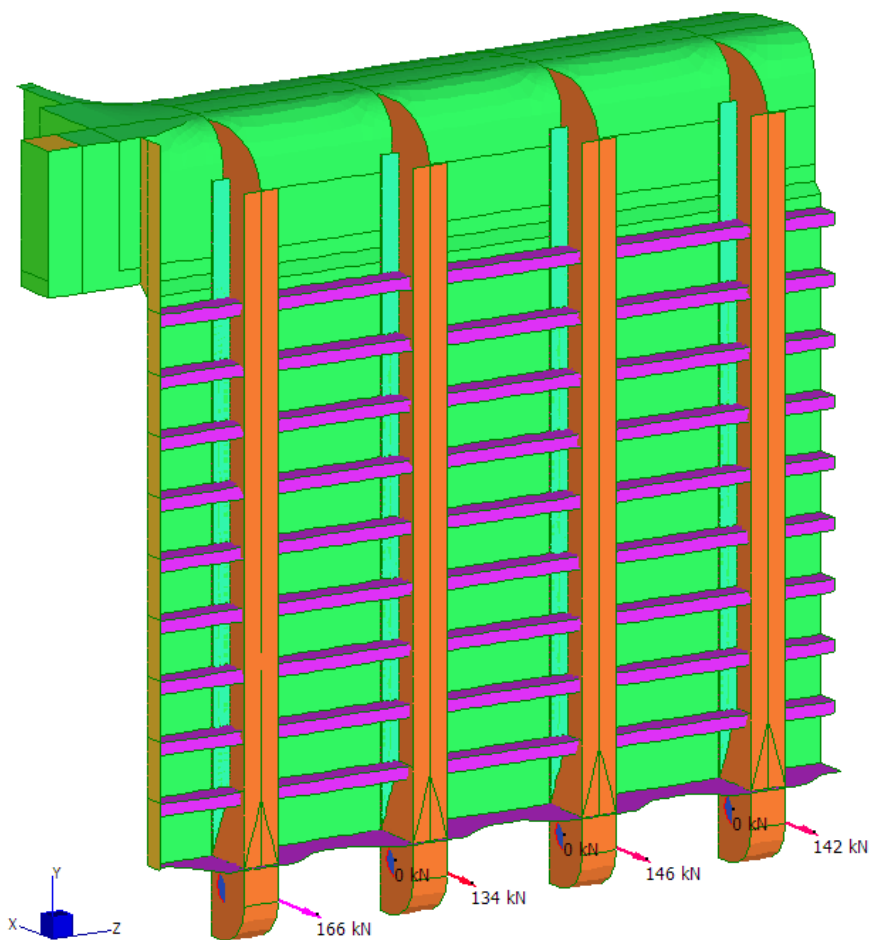


Figura 12. Combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0 Q<sub>H=0m,tegolo sollevato</sub>”. Reazioni vincolari [kN] sulle ruote reciproche tegolo superiore.

Le reazioni vincolari per la combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0 Q<sub>H=0m,tegolo sollevato</sub>”, sono riportate nella seguente tabella.

REAZIONI VINCOLARI	R [ton]
<b>CARICHI VERTICALI</b>	
Reazione al punto di sollevamento settore 3	43.3
Reazione al punto di sollevamento tegolo superiore	18.6
<b>CARICHI ORIZZONTALI</b>	
Spinta ruote settore 1	
ruota inferiore	117.3
ruota superiore	84.2
Spinta ruote settore 2	
ruota inferiore	117.2
ruota superiore	73.2
Spinta ruote settore 3	
ruota inferiore	59.8
ruota superiore	152.8
Spinta ruote tegolo superiore	
ruota gargame	38.4

ruote su rotaia (numerate dal centro al gargame)	
R1	14.2
R2	14.6
R3	13.4
R4	16.6

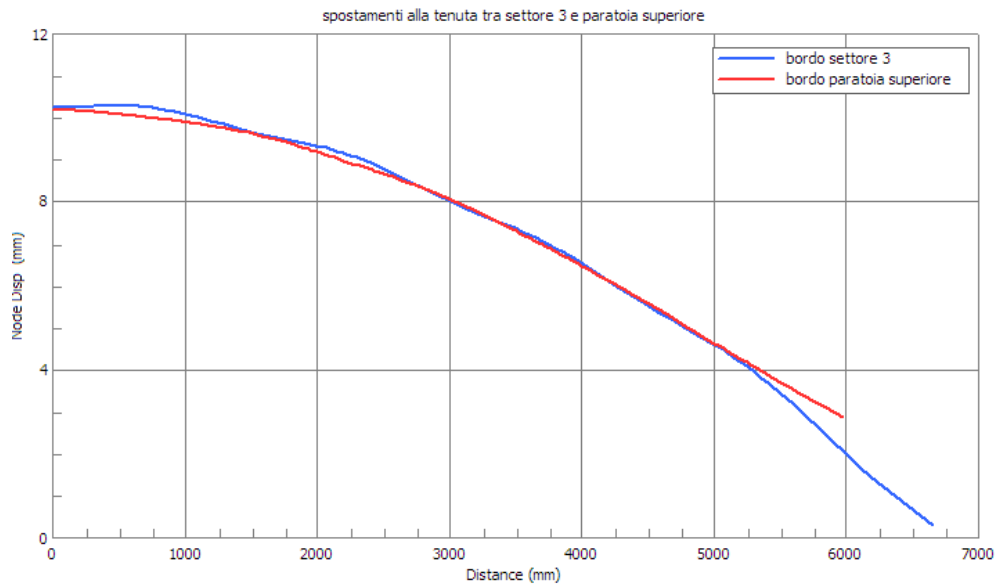
Il massimo spostamento è pari a 16 mm, che corrisponde a  $16 \text{ mm}/12600 \text{ mm} = 1/790 \text{ L}$  in corrispondenza dell'elemento inferiore (paratoia pancone), accettabile considerata la tipologia delle tenute e delle caratteristiche strutturali.

La deformazione media è di circa 12 mm corrispondente a  $1/1050 \text{ L}$ .

Gli spostamenti agli accoppiamenti sono rappresentati di seguito, con ascissa che parte dalla mezzeria.





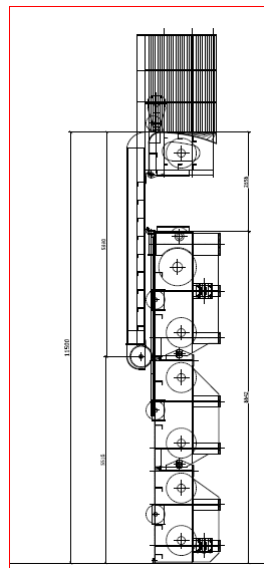


Non vengono quindi inseriti elementi di sincronizzazione della deformazione reciproca in quanto compatibili con il sistema di tenuta e con lo scorrimento delle ruote reciproche sulle rotaie Burbak A75.

---

**4.1.4 CONDIZIONE DI SOGLIA TRACIMABILE A QUOTA 164,50 E LIVELLO IDROSTATICO A QUOTA 167,50 M**

---



Questa condizione considera la fase di regolazione: invaso alla quota +167.50 m ed il tegolo superiore alla quota 164.40 (pertanto gli scarichi delle ruote reciproche sono nella zona del bordo inferiore delle rotaie del settore numero 3), con un battente idrostatico sopra la soglia dello stramazzo di 3.10 m.

Ai fini delle forze orizzontali si considera questo battente con andamento idrostatico fino alla base della paratoia.

I carichi verticali sono applicati considerando, sulla soglia trascinabile, un battente di monte pari a 2 m (corrispondente ad una contrazione di vena =  $3 * 2/3$  m) e zero sul bordo d'uscita dello stramazzo.

Le spinte risultanti per gli elementi dell'intera paratoia sono indicate nella seguente tabella.

<b>SPINTA IDROSTATICA</b>	<b>S [ton]</b>
<b>VERTICALE</b>	
tegolo superiore	27
<b>ORIZZONTALE</b>	
settore 1	402
settore 2	380
settore 3	307
tegolo superiore	139

Queste forze sono quelle determinate applicando le pressioni al modello agli elementi finiti (che considera per simmetria metà paratoia).

Questa condizione non è strutturalmente dimensionante, in quanto le parti sono sollecitate generalmente in modo inferiore alla condizione analizzata al precedente capitolo. Sono invece rilevanti le verifiche agli SLE, in particolare si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=+167.50 m, soglia +164.40 m</sub>".

---

#### 4.1.4.1

#### VERIFICA ALLO SLE

---

Si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=+167.50 m, soglia +164.40 m</sub>".

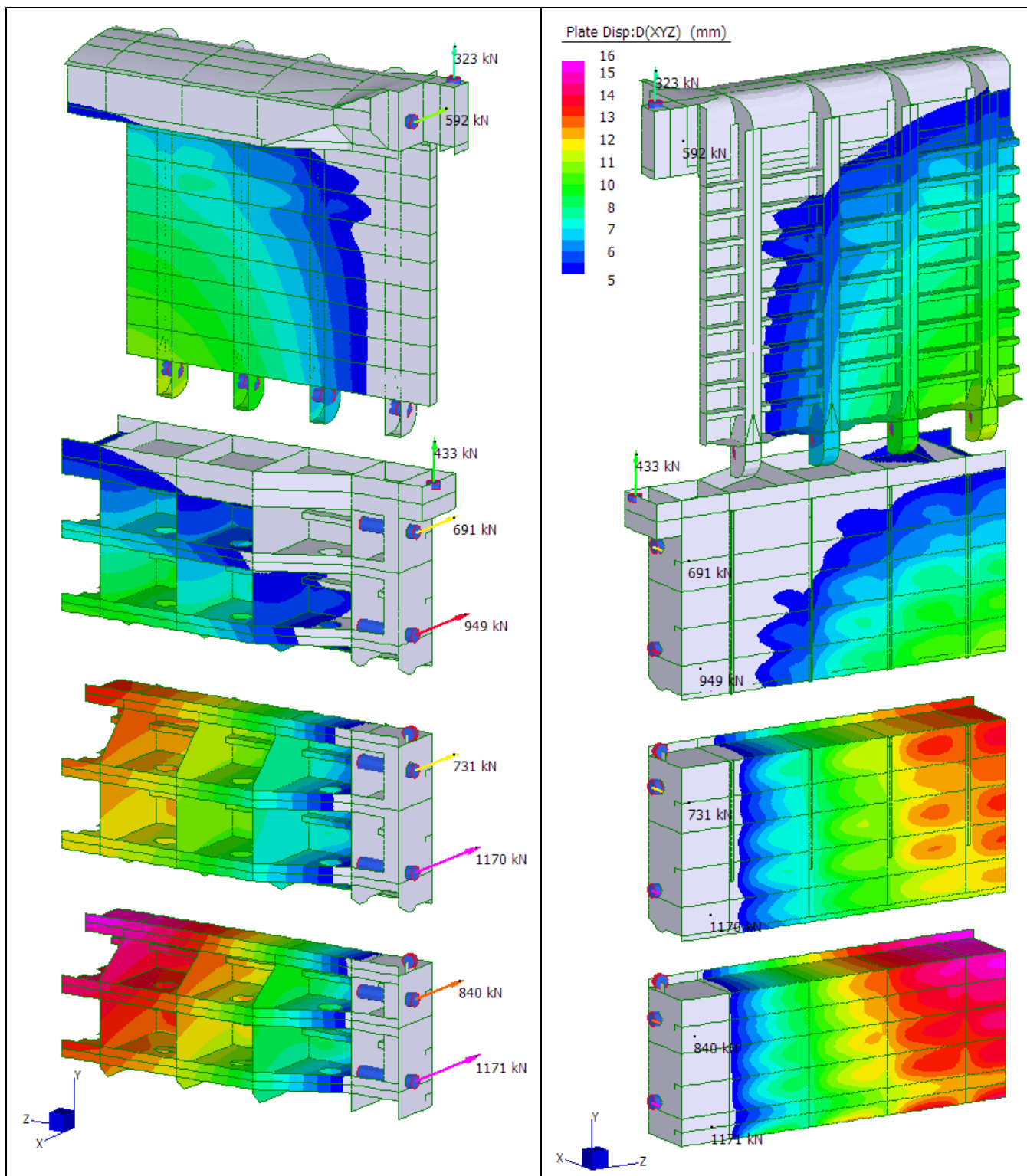


Figura 13. Combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H</sub>=+167.50 m, soglia +164.40 m". Spostamenti [mm] e reazioni vincolari [kN].

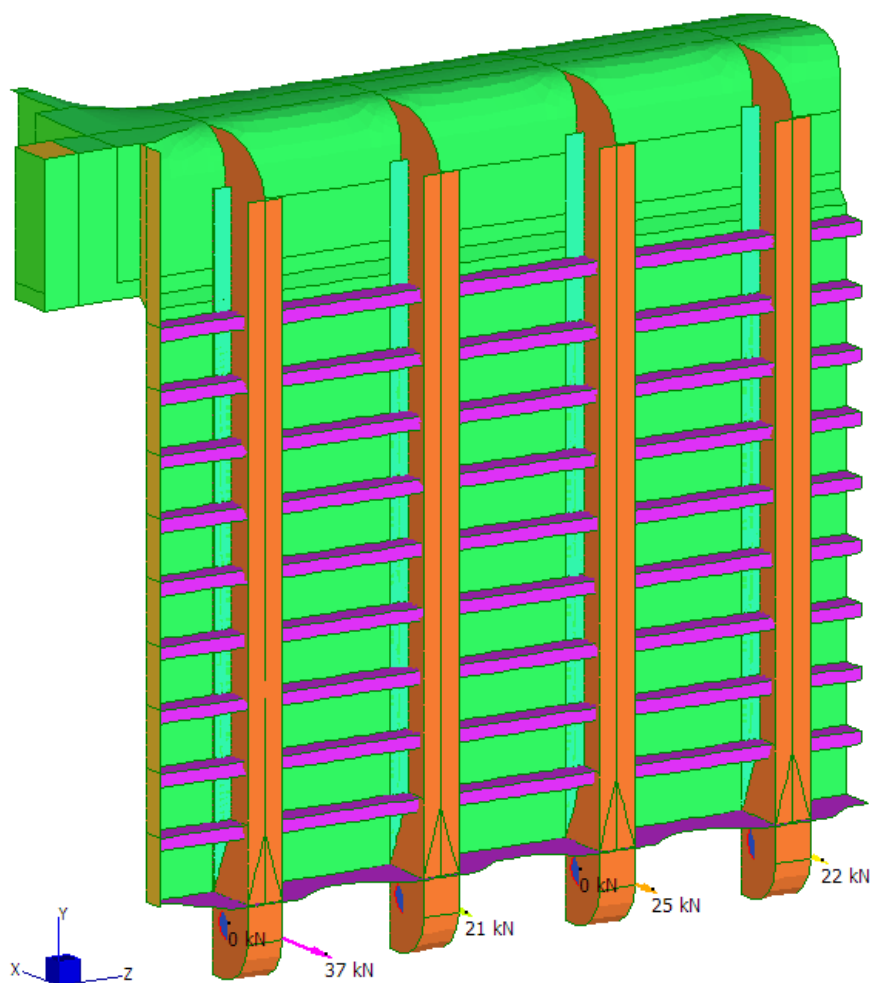


Figura 14. Combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0 Q<sub>H</sub>=+167.50 m, soglia +164.40 m”. Reazioni vincolari [kN] sulle ruote reciproche tegolo superiore.

Le reazioni vincolari per la combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0 Q<sub>H</sub>=+167.50 m, soglia +164.40 m”, sono riportate nella seguente tabella.

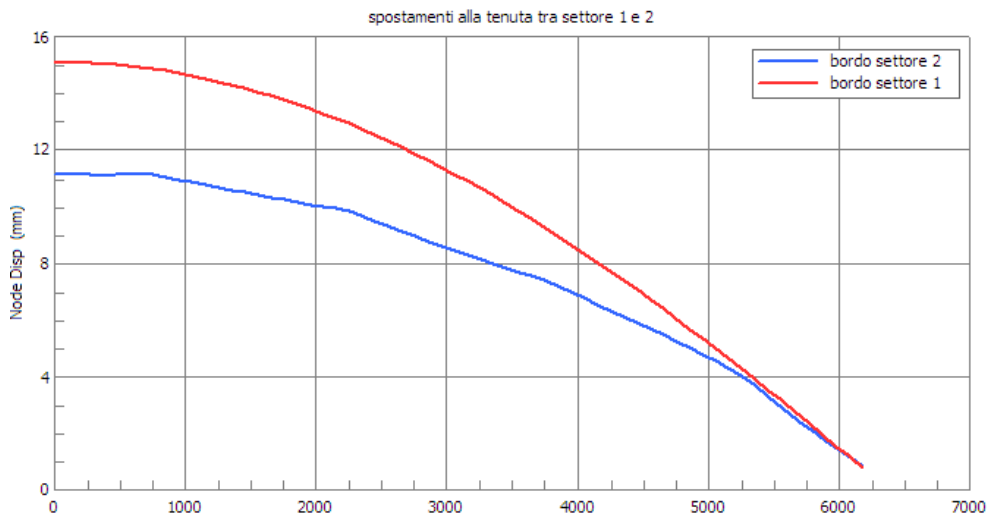
REAZIONI VINCOLARI	R [ton]
<b>CARICHI VERTICALI</b>	
Reazione al punto di sollevamento settore 3	43.3
Reazione al punto di sollevamento tegolo superiore	32.3
<b>CARICHI ORIZZONTALI</b>	
Spinta ruote settore 1	
ruota inferiore	117.1
ruota superiore	84
Spinta ruote settore 2	
ruota inferiore	117
ruota superiore	73.1
Spinta ruote settore 3	
ruota inferiore	94.9
ruota superiore	69.1

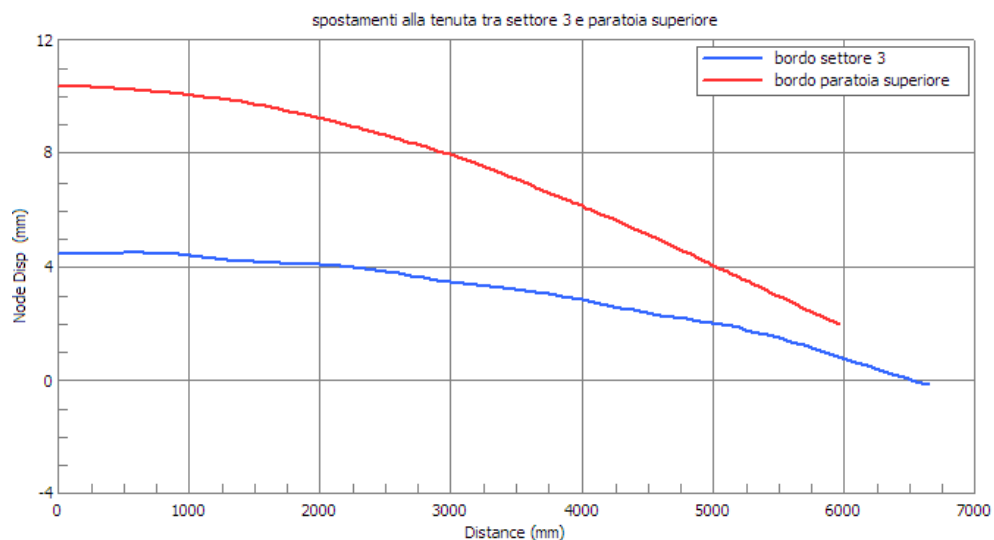
Spinta ruote tegolo superiore	
ruota gargame	59.2
ruote su rotaia (numerate dal centro al gargame)	
R1	2.2
R2	2.5
R3	2.1
R4	3.7

Il massimo spostamento è pari a 16 mm, che corrisponde a  $16 \text{ mm} / 12600 \text{ mm} = 1/790 \text{ L}$  in corrispondenza dell'elemento inferiore (paratoia pancone), accettabile considerata la tipologia delle tenute e delle caratteristiche strutturali.

La deformazione media è di circa 12 mm corrispondente a  $1/1050 \text{ L}$ .

Gli spostamenti agli accoppiamenti sono rappresentati di seguito, con ascissa che parte dalla mezzeria.

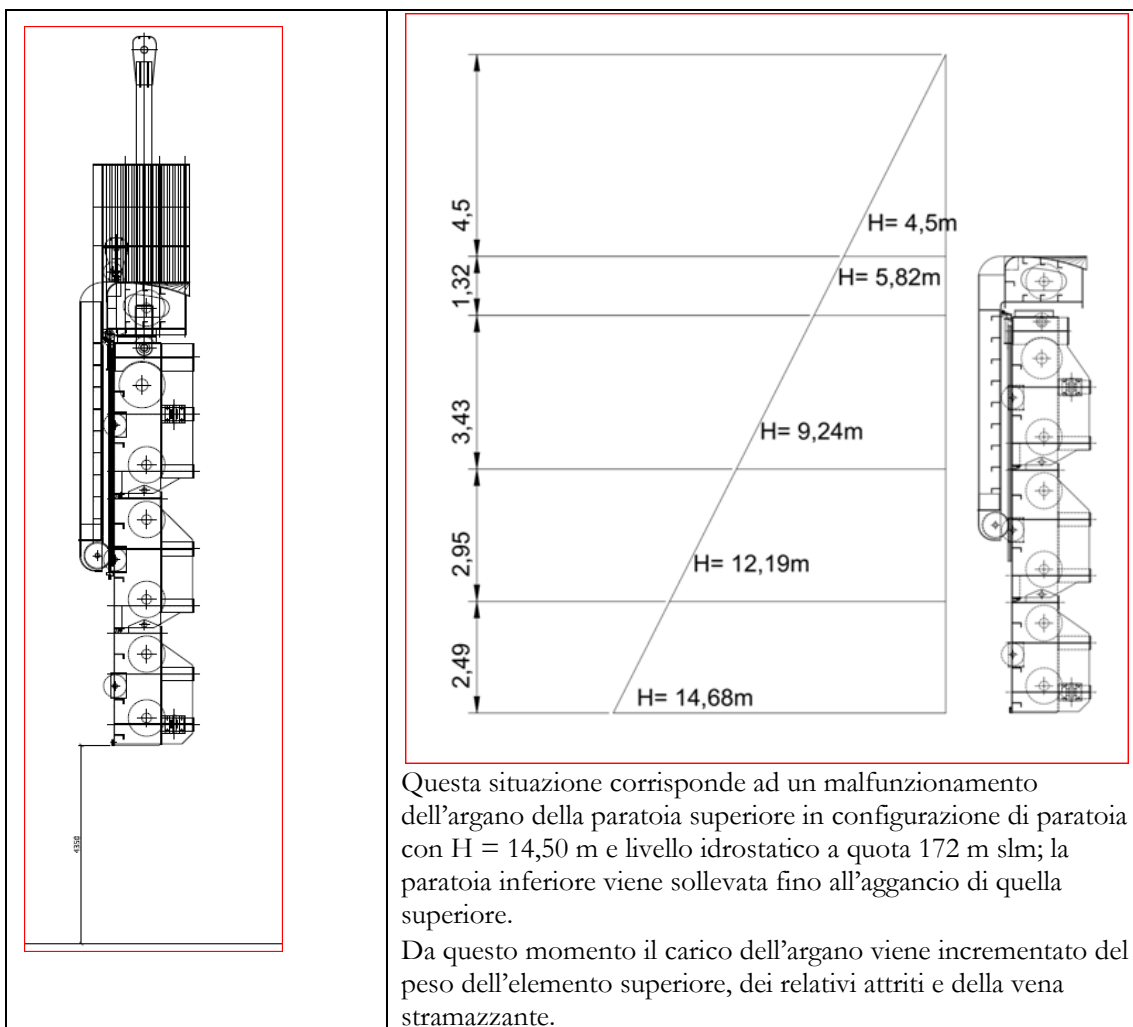




Le ruote reciproche, trovandosi sul bordo inferiore del settore 3, nel passaggio al settore 2 incontrano uno scalino (discendente) sulla rotaia, dovuto alla deformazione differenziale, inferiore a 3 mm (v. grafico precedente) che viene assorbito dallo smusso a 45° tra le due rotaie.

Non vengono quindi inseriti elementi di sincronizzazione della deformazione reciproca in quanto gli spostamenti sono compatibili con il sistema di tenuta e con lo scorrimento delle ruote reciproche sulle rotaie Burbak A75.

**4.1.5 CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO DA QUOTA 172,00 M - SOLLEVAMENTO CON TEGOLO ELEMENTO SUPERIORE IN APPOGGIO VERTICALE AL SETTORE 3**



La condizione di massimo carico di sollevamento si prevede al momento dell'aggancio (appoggio del tegolo superiore al settore 3).

Questa configurazione prevede un battente idrostatico sopra la soglia dello stramazzo di 4.5 m.

Ai fini delle forze orizzontali si considera questo battente con andamento idrostatico fino alla base della paratoia.

I carichi verticali sono applicati considerando, sulla soglia tracimabile, un battente di monte pari a 4.5 m (ovvero, per sicurezza, senza riduzioni per contrazione di vena che ridurrebbe i carichi verticali sulla soglia) e zero sul bordo d'uscita dello stramazzo.

In questa condizione il peso del tegolo superiore viene incrementato, per tener conto del peso della catena di sollevamento ( $L = 14$  m) e del bozzello + asta sollevamento. Il peso complessivo del tegolo e dei tre settori da sollevare, nel calcolo è pari a 129.8 ton.

Le spinte risultanti per gli elementi dell'intera paratoia sono indicate nella seguente tabella.

<b>SPINTA IDROSTATICA</b>	<b>S [ton]</b>
<b>VERTICALE</b>	
tegolo superiore	59
<b>ORIZZONTALE</b>	
settore 1	408
settore 2	388
settore 3	312
tegolo superiore	90

Queste forze sono quelle determinate applicando le pressioni al modello agli elementi finiti (che considera per simmetria metà paratoia) senza considerare altri effetti dinamici (ipotesi cautelativa).



4.1.5.1 VERIFICA ALLO SLE

Si considera la combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=4.5m</sub>".

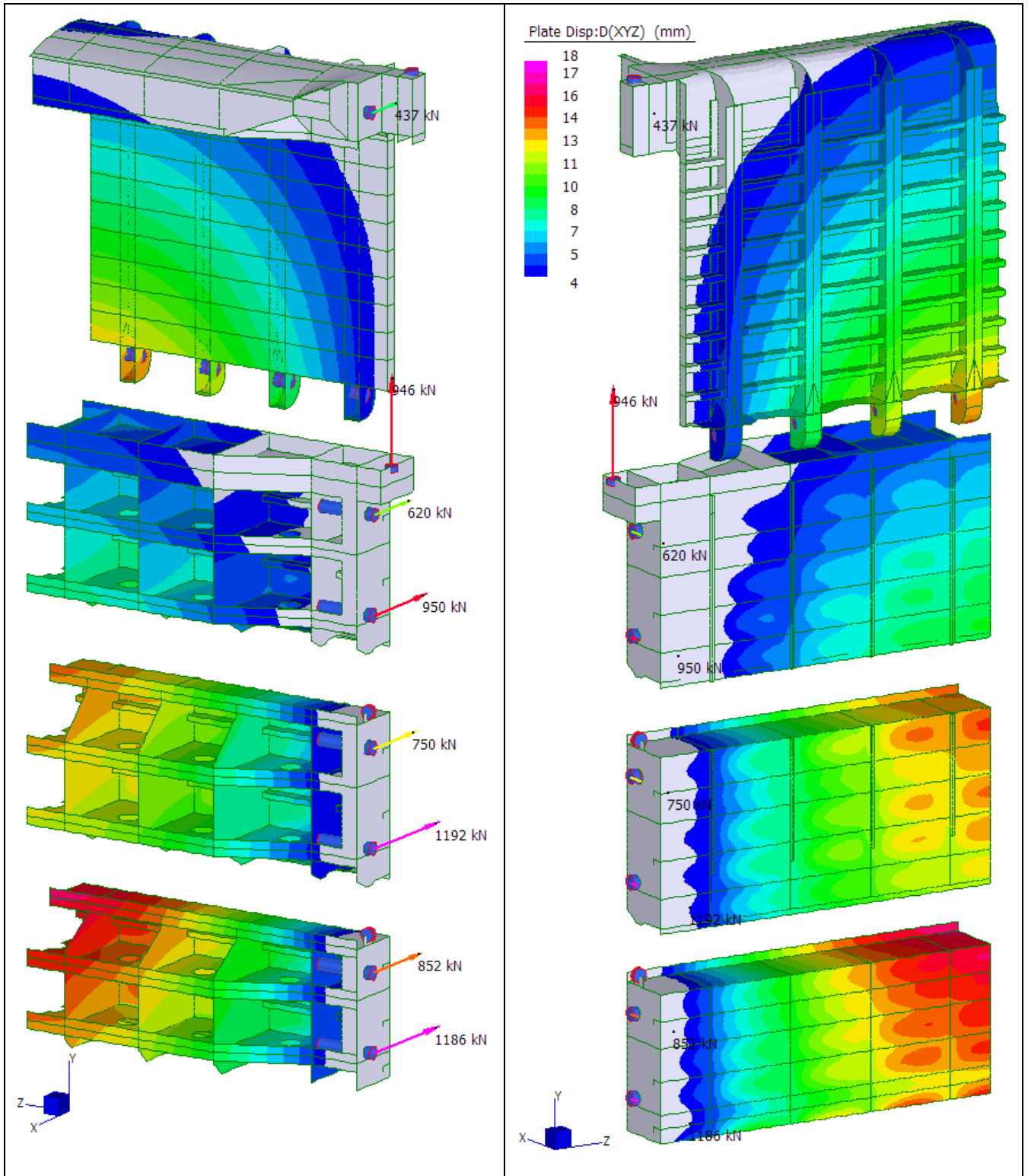


Figura 11. Combinazione SLE RARA "1.0 G + 1.0 Q<sub>H=4.5m</sub>". Vista esplosa, con Spostamenti [mm] e Reazioni Vincolari [kN]

Le reazioni vincolari per la combinazione SLE RARA “1.0 G + 1.0 Q<sub>H=4.5m</sub>”, sono riportate nella seguente tabella.

<b>REAZIONI VINCOLARI</b>	<b>R [ton]</b>
<b>CARICHI VERTICALI</b>	
Reazione al punto di sollevamento settore 3	94.6
Reazione al punto di sollevamento tegolo superiore	0.0
<b>CARICHI ORIZZONTALI</b>	
Spinta ruote settore 1	
ruota inferiore	118.6
ruota superiore	85.2
Spinta ruote settore 2	
ruota inferiore	119.2
ruota superiore	75.0
Spinta ruote settore 3	
ruota inferiore	95.0
ruota superiore	62.0
Spinta ruote tegolo superiore	
ruota gargame	43.7
ruote su rotaia (numerate dal centro al gargame)	
R1	0.0
R2	0.0
R3	0.0
R4	1.1

Il massimo spostamento è pari a 18 mm; lo spostamento medio dell'elemento inferiore è pari a circa 14 mm, che corrisponde a  $14 \text{ mm} / 12600 \text{ mm} = 1/900$  L, accettabile considerata la tipologia delle tenute e delle caratteristiche strutturali.

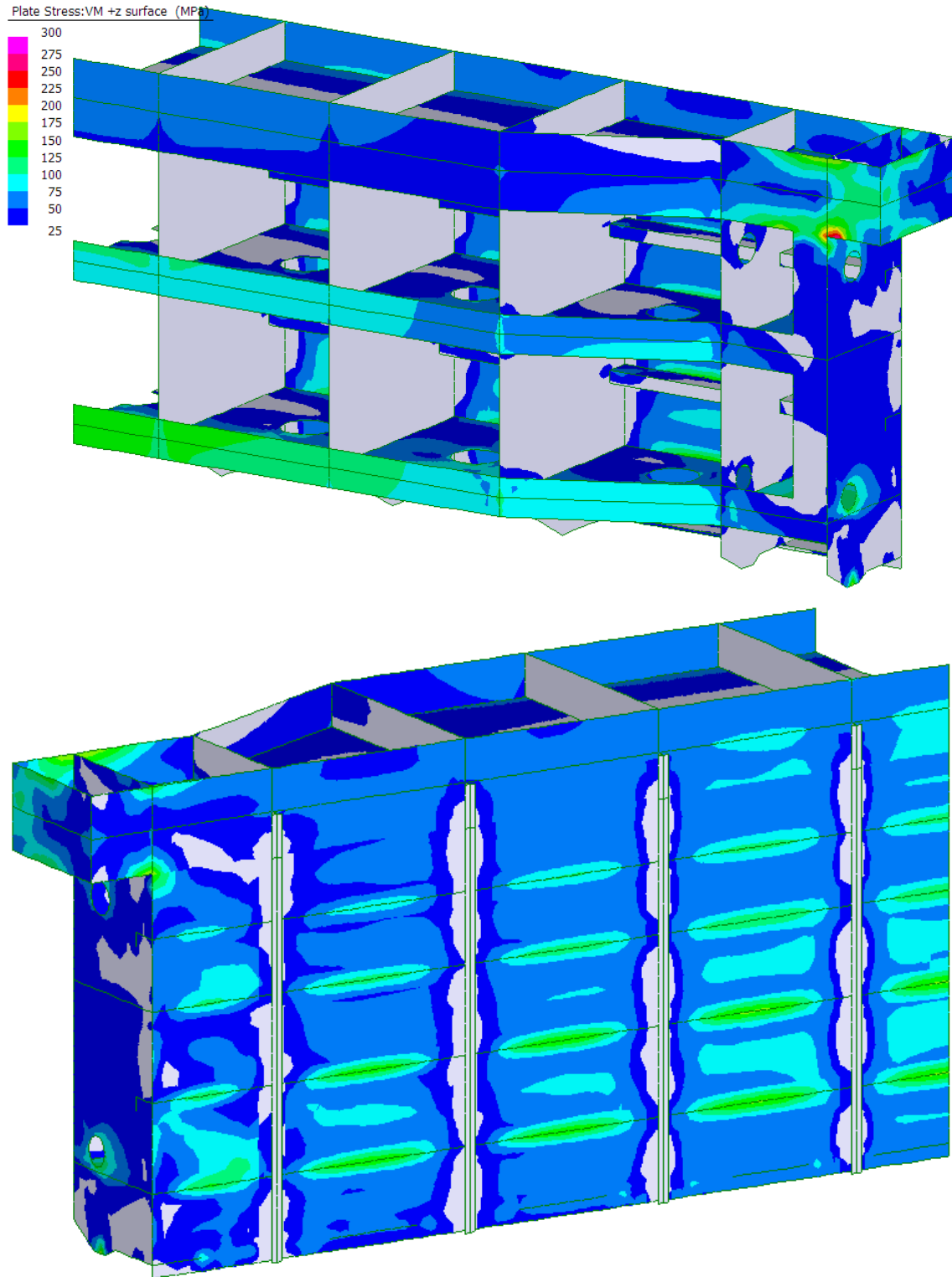
---

#### 4.1.5.2 VERIFICA ALLO SLU

---

Si considera la combinazione SLU “1.3 G + 1.5 Q<sub>H=4.5m</sub>”. Questa combinazione è rilevante solamente per la verifica delle strutture in carpenteria del settore 3 nella zona del punto di sollevamento (e d'appoggio del tegolo superiore). Tutte le altre componenti della paratoia sono soggette ad uno stato tensionale di minor entità rispetto alle condizioni “DIGA”.

➤ settore 3



Massimo stress di Von Mises sul settore 3: 274 MPa < 338 MPa (→ sicurezza circa 23%)



-  $A = 192 \text{ cm}^2$

e

-  $\tau = 355 \text{ kg/cm}^2$

-  $\sigma_{id} = 614 \text{ kg/cm}^2 < 0,85 f_{yd}$

Bulloni calibrati: sono previsti 12 bulloni M24 inox A4-70 (classe 8.8) con una sezione resistente  $A = 3,53 \text{ cm}^2$

$f_{dv} = 3960 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow R_{M24} = 13978 \text{ kg/bullone}$

n° sezioni necessarie =  $68071/13978 = 4,87$

n° sezioni resistenti =  $12 > 4,87$

Rifollamento: risulta:

$A = 2 \times 2,4 = 4,8 \text{ cm}^2$

$p_R = 68071/(2 \times 12 \times 4,8) = 590 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$

Asse bozzello:

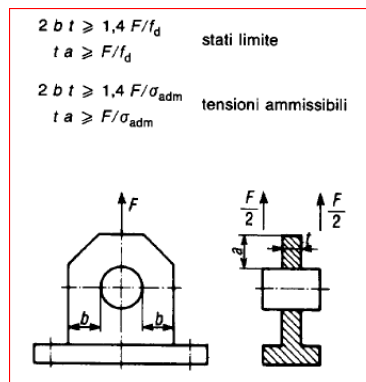
$\phi = 125 \text{ mm}$

$A_{sezione} = 122,66 \text{ cm}^2$

$\tau = 277 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{id} = 480 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$  (AISI 431 bonificato)

Verifica cerniera: (secondo UNI 10011:1988 – par. 5.6.3.)



si considera  $b = 160 \text{ mm}$  ( $< 178 \text{ mm}$ ) e risulta:

-  $2 b t = 64 \text{ cm}^2 > 1,4 \times (68071/2) / f_{yd} = 14,1 \text{ cm}^2$

-  $t a = 30,6 \text{ cm}^2 > (68071/2) / f_{yd} = 10,07 \text{ cm}^2$

-  $b / t = 8$

#### 4.2.2 AGGANCIAMENTO PARATOIA INFERIORE

Vengono verificati i singoli componenti del sistema di sollevamento; la verifica viene effettuata considerando la condizione più gravosa costituita da:

- argano sollevamento paratoia superiore in blocco
- paratoia inferiore che aggancia la superiore

e valutata al paragrafo 4.1.5 – CONDIZIONE DI CARICO IDROSTATICO DA QUOTA 172,00 M –  
SOLLEVAMENTO CON TEGOLO ELEMENTO SUPERIORE IN APPOGGIO VERTICALE AL SETTORE 3

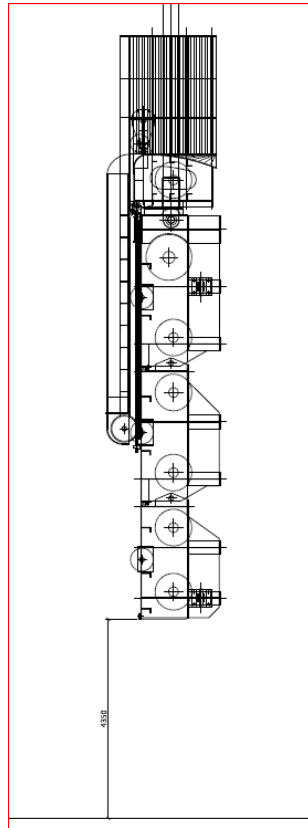
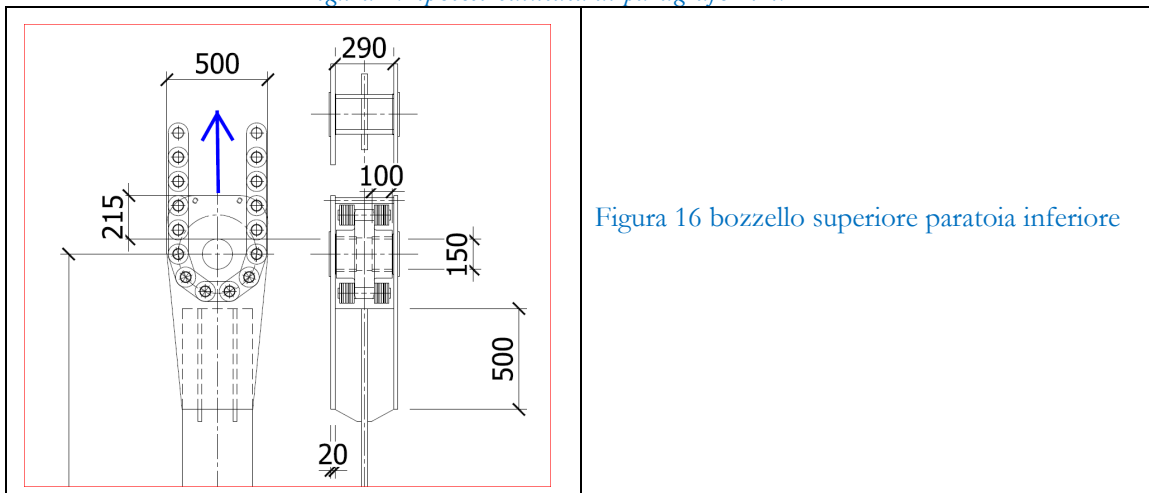


Figura 15 ipotesi valutata al paragrafo 4.1.5



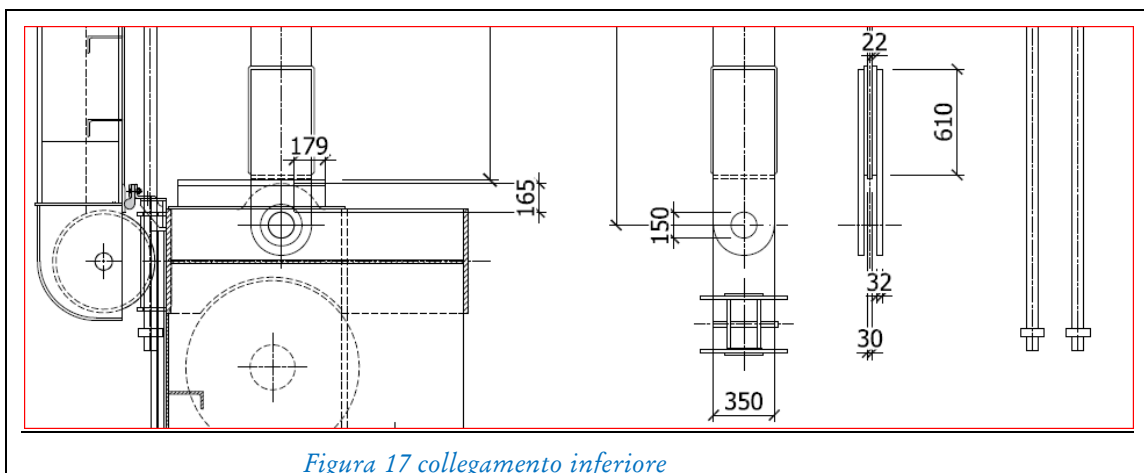


Figura 17 collegamento inferiore

Le condizioni valutate al paragrafo 4.1.5 vengono, per sicurezza e senza superare il massimo stress di Von Mises ipotizzato (ammissibile/calcolato = circa 23%), maggiorate di circa il 10% per sopperire a condizioni quali:

- maggiori attriti dovuti a carenza di manutenzione,
- configurazioni diverse che comportano differenti sforzi di manovra,

senza comunque incidere sugli aspetti strutturali globali già verificati al paragrafo 4.1.2 – IPOTESI “DIGA”.

Come risulta dai paragrafi precedenti, il peso complessivo dei tre settori della paratoia inferiore e della paratoia superiore da sollevare è uguale a 129,8 t.

Considerando la seguente fattorizzazione:

- peso proprio: x 1,3
- carichi variabili: x 1,5

risulta:

	kg	fattorizzazione	SLU (kg)
peso proprio	129.800	1,3	168.740
variabili	77.905	1,5	116.857
totale	207.705		285.597
SLU ogni bozzello			142.799
maggiorazione circa 10%			157.300

Si considera quindi per ogni bozzello:

$$T_{SLU} = 157.300 \text{ kg}$$

Asse inferiore:

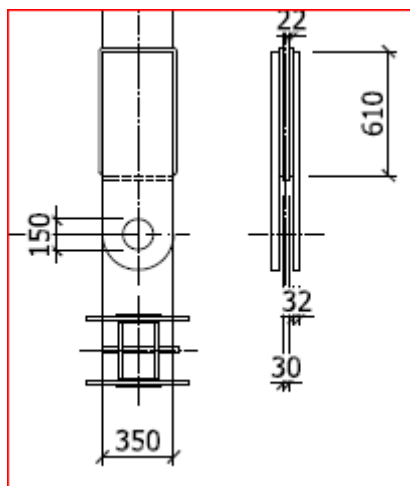
$$\phi = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sezione} = 176,6 \text{ cm}^2$$

$$\tau = 277 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = 480 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd} \text{ (AISI 431 bonificato)}$$

Saldature gruppo di collegamento inferiore tirante



Spessore minimo = 22 mm

h cordoni d'angolo = 600 mm

sezione saldature a = 10 mm

n. cordoni per ogni sezione = 2

lunghezza saldature h = 1200 mm

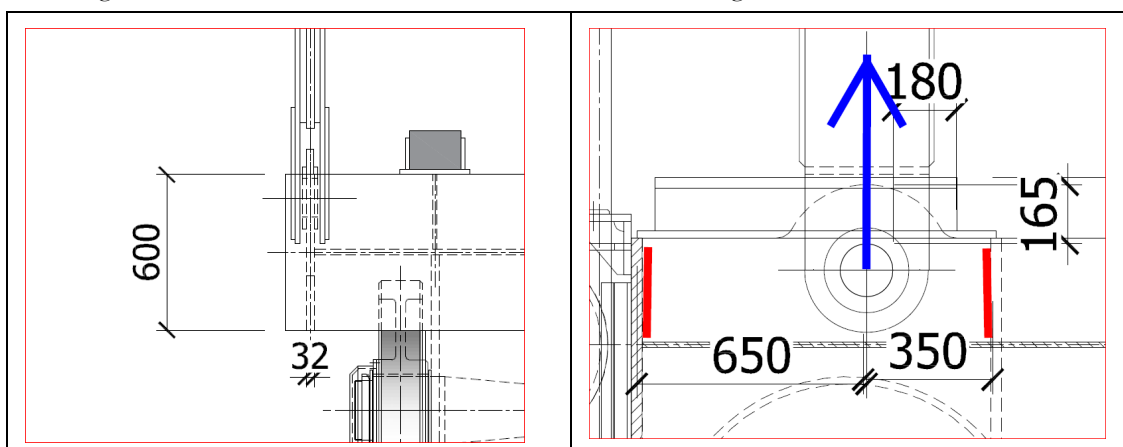
$A_{sezione} = 240 \text{ cm}^2$

$$\tau = 655 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = 1135 \text{ kg/cm}^2 < 0,85 f_{yd}$$

Struttura di collegamento paratoia

Il collegamento è realizzato come indicato nello schema che segue:



Le saldature di collegamento sono d'angolo (indicate in **rosso**), continue a ripristino della sezione minima (30 mm) con a = 15 mm



La lunghezza dei 4 cordoni d'angolo è di  $600 \times 4 = 2400$  mm e la sezione è:

$$A = 1,5 \times 240 = 360 \text{ cm}^2$$

Per la saldatura più sollecitata risulta:

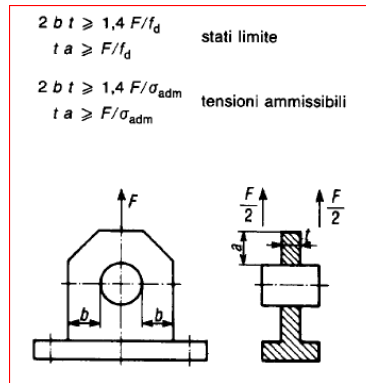
$$T = 157300 \times (650/1000) = 102245 \text{ kg}$$

con:

$$\tau = 568 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = 984 \text{ kg/cm}^2 < 0,85 f_{yd}$$

Verifica cerniera: (secondo UNI 10011:1988 – par. 5.6.3.)



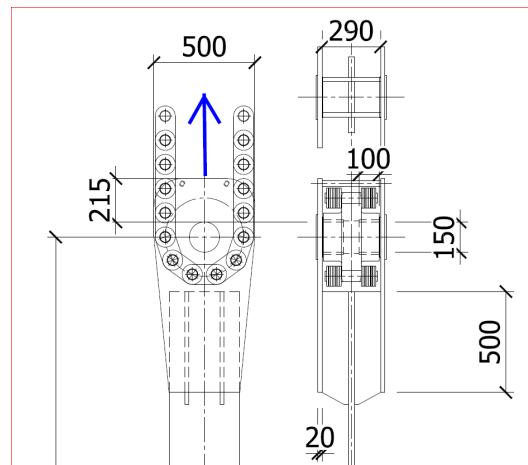
risulta:

- $2bt = 115,2 \text{ cm}^2 > 1,4 \times 157300 / f_d = 65,2 \text{ cm}^2$
- $ta = 52,8 \text{ cm}^2 > 157300 / f_d = 46,5 \text{ cm}^2$
- $b/t = 5,68 < 8$

---

4.2.2.1 1° ELEMENTO SUPERIORE (BOZZELLO ARGANO)

---



Saldature gruppo di collegamento tirante

Spessore minimo = 20 mm

h cordoni d'angolo = 500 mm

sezione saldature a = 10 mm

n. cordoni per ogni sezione = 4

$A_{\text{sezione}} = 200 \text{ cm}^2$

$\tau = 786 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{\text{id}} = 1362 \text{ kg/cm}^2 < 0,85 f_{\text{yd}}$

Asse bozzello:

$\phi = 150 \text{ mm}$

$A_{\text{sezione}} = 176,6 \text{ cm}^2$

$\tau = 277 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{\text{id}} = 480 \text{ kg/cm}^2 < f_{\text{yd}} \text{ (AISI 431 bonificato)}$

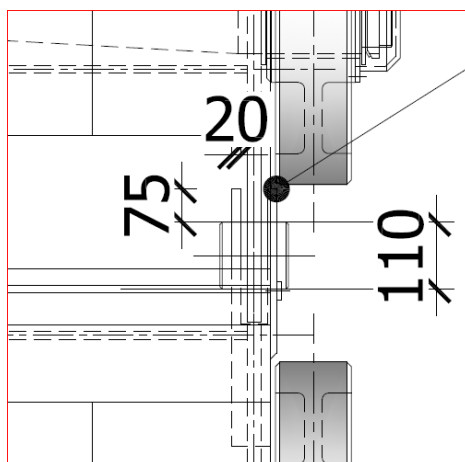
---

**4.2.2.2 CERNIERE 1° E 2° LEMENTO INFERIORE**

---

Il collegamento è realizzato tramite cerniere con collegamento maschio-femmina alesati dopo saldatura per garantire il rispetto delle geometrie di progetto.

L'elemento superiore è in lamiera dello spessore di 32 mm, la forcina inferiore è ricavata da forgiato collegato alla fiancata mediante saldatura a piena penetrazione.



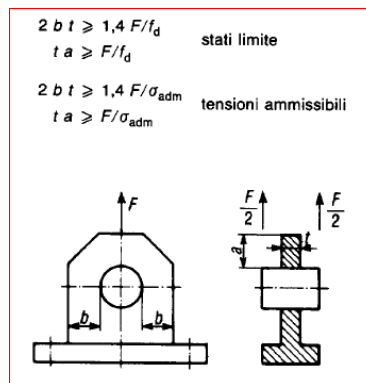
I quattro giunti sono uguali e dimensionati per un carico come segue:

1° elemento inferiore	kg	fattorizzazione	SLU (kg)
peso proprio	24.049	1,3	31.263
attrito ruote (1° distacco)	12.915		
attrito tenute (1° distacco)	1.250		
totale variabili	14.165	1,5	21.247
		SLU totale	52.510
	SLU ogni cerniera		26.255

2° elemento intermedio	kg	fattorizzazione	SLU (kg)
peso proprio	26.245	1,3	34.119
attrito ruote (1° distacco)	12.957		
attrito tenute (1° distacco)	1.500		
totale variabili	14.457	1,5	21.685
		SLU totale	55.804
	SLU ogni cerniera		27.902

totale su cerniere tra secondo e terzo elemento superiore	54.157 (→ 55.000 kg)
---	----------------------

Verifica cerniera inferiore (femmina): (secondo UNI 10011:1988 – par. 5.6.3.)



Con:

$b = 95 \text{ mm}$

$t = 20 \text{ mm}$

$a = 75 \text{ mm}$

$F = 55000/2 = 27500 \text{ kg}$

Materiale: S450 forgiato

risulta:

- $2 b t = 38 \text{ cm}^2 > 1,4 \times 27500 / f_{yd} = 11,36 \text{ cm}^2$
- $t a = 15 \text{ cm}^2 > 27500 / f_{yd} = 8,11 \text{ cm}^2$
- $b / t = 4,75 < 8$

Verifica cerniera superiore (maschio):

Con:

$$b = 95 \text{ mm}$$

$$t = 32 \text{ mm}$$

$$a = 75 \text{ mm}$$

$$F = 55000 \text{ kg}$$

Materiale: S450 forgiato

risulta:

- $2 b t = 60,8 \text{ cm}^2 > 1,4 \times 55000 / f_{yd} = 22,71 \text{ cm}^2$
- $t a = 24 \text{ cm}^2 > 55000 / f_{yd} = 16,22 \text{ cm}^2$
- $b / t = 2,96 < 8$

Asse bozzello:

- $\phi = 110 \text{ mm}$
  - $A_{sezione} = 94,99 \text{ cm}^2$
  - $\tau = 579 \text{ kg/cm}^2$
  - $\sigma_{id} = 1003 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd} \text{ (AISI 431 bonificato)}$
-

### 4.3 RUOTE E ASSI

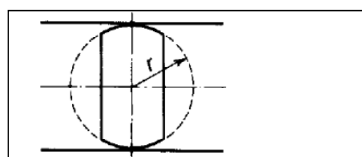
#### 4.3.1 RUOTE

Le dimensioni delle ruote e degli assi sono state raggruppate in tre gruppi standard.

I carichi di ogni ruota sono indicati ai paragrafi precedenti (SLE) e sono riassunti nella tabella che segue dove sono evidenziati quelli dimensionanti:

REAZIONI VINCOLARI	R [ton]	dimensioni
<b>CARICHI ORIZZONTALI</b>		
Spinta ruote settore 1		
ruota inferiore	155.2	
ruota superiore	114.9	
Spinta ruote settore 2		
<b>ruota inferiore</b>	<b>163.8</b>	$\phi 800 \times 150$
ruota superiore	108	
Spinta ruote settore 3		
ruota inferiore	79.5	
<b>ruota superiore</b>	<b>290.3</b>	$\phi 1000 \times 150$
Spinta ruote tegolo superiore		
ruota gargame	127.9	$\phi 800 \times 150$
ruote su rotaia		
R1	30.2	
<b>R2</b>	<b>30.7</b>	$\phi 550 \times 80$ (fascia Burbak 59 mm)
R3	28.2	
R4	32.9	

Secondo le prescrizioni del paragrafo 5.6.2.3. della CNR UNI 10011 - 88:



$$\sigma = \sqrt{\frac{0,18 E F}{r b}}$$

➤ **Ruota  $\phi 800 \times 150$**

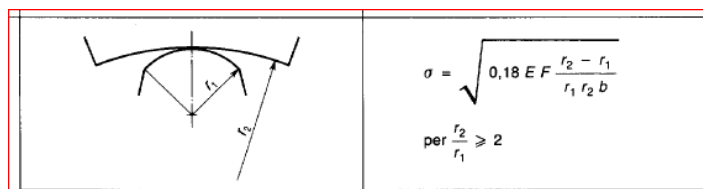
- La fascia di contatto è pari a 150 mm
- Il diametro di rotolamento è pari a 800 mm
- Il materiale previsto è S450J0
- Risulta (con  $\gamma_g = 1,5$ ):
  - $\sigma = 12442 \text{ kg/cm}^2 = 4 \times 3110 \text{ kg/cm}^2 < 4 \times f_{yd}$

➤ **Ruota  $\phi 1000 \times 150$**

- La fascia di contatto è pari a 150 mm
- Il diametro di rotolamento è pari a 1000 mm
- Il materiale previsto è S450J0
- Risulta (con  $\gamma_g = 1,5$ ):
  - $\sigma = 14814 \text{ kg/cm}^2 = 4 \times 3704 \text{ kg/cm}^2 < 4 \times f_{yd}$

---

Relativamente alle ruote da 800 e 1000 mm di diametro, la superficie di contatto (fascia di rotolamento) viene arrotondata con un raggio di 6000 mm ( $r_1$ ) per evitare concentrazioni di carico dovute alla deformazione elastica delle strutture; in tale caso, ipotizzando che il piano di rotolamento subisca una minima plasticizzazione assumendo un raggio di curvatura  $r_2$  pari a 12000 mm ( $r_2/r_1 = 2$ ) applicando la condizione del paragrafo 5.6.2.3. della CNR UNI 10011 - 88:



risulta che la fascia minima  $b$  necessaria è minore di quella prevista (150 mm) e che, quindi, durante l'esercizio avviene un assestamento della pista di scorrimento che riduce, ottimizzandole, le geometrie del contatto.

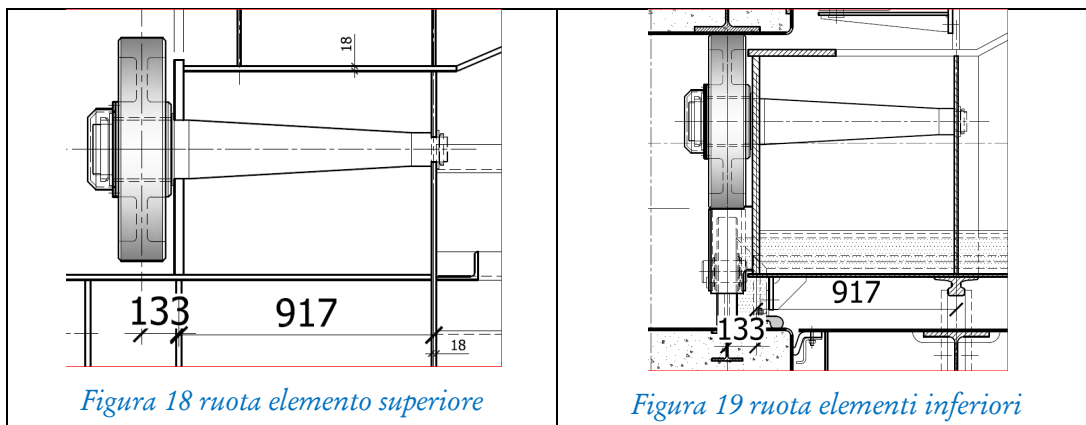
---

➤ **Ruota  $\phi 550 \times 80$**

- La fascia di contatto è pari a 59 mm (fascia Burbak A75)
- Il diametro di rotolamento è pari a 550 mm
- Il materiale previsto è S355J0
- Risulta (con  $\gamma_g = 1,5$ ):
  - $\sigma = 10723 \text{ kg/cm}^2 = 4 \times 2681 \text{ kg/cm}^2 < 4 \times f_{yd}$

## 4.3.2

## ASSI



Materiale AISI 431 forgiato bonificato

Gli assi sono soggetti a flessione e taglio; in favore della sicurezza, della precisione di costruzione e dei giochi, si considera:

- 133 mm → 138 mm
- 917 mm → 900 mm

➤ **ASSE per Ruota  $\phi 800 \times 150$**

Per la sezione di incastro risulta:

- $T = 283,30 \text{ t}$
- $M = 3391 \text{ t cm}$

**Asse  $\phi 210 \text{ mm}$**

- $A = 346 \text{ cm}^2$
- $J = 9542 \text{ cm}^4$
- $W = 867 \text{ cm}^3$

**Risulta:**

- $\sigma_f = +/- 3910 \text{ kg/cm}^2$
- $\tau = +/- 819 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{id} = +/- 4150 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$

➤ **ASSE per Ruota  $\phi 1000 \times 150$**

Per la sezione di incastro risulta:

- $T = 502 \text{ t}$

- $M = 7028 \text{ t cm}$

**Asse  $\phi 260 \text{ mm}$**

- $A = 530 \text{ cm}^2$
- $J = 22420 \text{ cm}^4$
- $W = 1725 \text{ cm}^3$

**Risulta:**

- $\sigma_f = +/- 4070 \text{ kg/cm}^2$
- $\tau = +/- 947 \text{ kg/cm}^2$
- $\sigma_{id} = +/- 4360 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$

---

➤ **Verifica rifollamento (paratoia superiore/tegolo)**

**Materiale fiancate S355J0**

**Asse  $\phi 210 \text{ mm}$**

Condizioni più sfavorevoli:

- $\sigma_{rif} = 221210 / (3,2 \times 21) = 3292 \text{ kg/cm}^2 < 1,35 f_{yd}$

---

➤ **Verifica rifollamento (elementi paratoia inferiore)**

**Materiale fiancate S450J0**

**Asse  $\phi 210 \text{ mm}$**

Condizioni più sfavorevoli:

- $\sigma_{rif} = 283300 / (3,2 \times 21) = 4216 \text{ kg/cm}^2 < 1,35 f_{yd}$

**Asse  $\phi 260 \text{ mm}$**

Condizione “regolazione” (SLU)

$$R_{SLE} = 152,8 \text{ t}$$

$$T_{SLU} = (152,8 \times 1,5) \times [1 + (138/900)] = 264,34 \text{ t}$$

- $\sigma_{rif} = 264340 / (3,2 \times 26) = 3177 \text{ kg/cm}^2 < 1,35 f_{yd}$

Condizione “RARA” (SLE RARA)

$$T_{SLE} = (290,3 \times 1) \times [1 + (138/900)] = 334,81 \text{ t}$$



➤  $\sigma_{\text{rif}} = 334810 / (3,2 \times 26) = 4024 \text{ kg/cm}^2 < 1,35 f_{yd}$

➤ **ASSE per Ruota  $\phi 550 \times 80$**

Si tratta di ruote standard.



n	applicazione	carico normale SLE (kg/r)	max carico eccezionale SLE (kg/r)	dimensioni boccole – $F \times L$ (mm)	n° boccole / ruota (con spallamento centrale)	pressione specifica normale (SLE) kg/cm <sup>2</sup>	pressione specifica eccezionale (SLE) kg/cm <sup>2</sup>
1	ruota	117.300,00	155.200,00	$F 210 \times 200$	2	279	370
2	ruota	84.200,00	114.900,00	$F 210 \times 200$	2	200	274
3	ruota	117.200,00	163.800,00	$F 210 \times 200$	2	279	390
4	ruota	73.200,00	108.000,00	$F 210 \times 200$	2	174	257
5	ruota	59.800,00	79.500,00	$F 210 \times 200$	2	142	189
6	ruota	152.800,00	290.300,00	$F 260 \times 200$	2	294	558
7	ruota reciproca	14.600,00	30.700,00	$F 100 \times 140$	2	104	219
8	ruota	38.400,00	127.900,00	$F 210 \times 200$	2	91	305
9	sollevamento par.inf	76.308,25	109.044,97	$F 150 \times 280$	2	182	260
10	sollevamento par.sup.	49.431,70	49.431,70	$F 125 \times 240$	2	165	165

Vengono scelte boccole in deva.glide a basso coefficiente di attrito (0,15) e pressione massima 300 MPa = 3000 kg/cm<sup>2</sup>

## 5. ARGANI DI MANOVRA

### 5.1 DESCRIZIONE - FUNZIONALITÀ

Ogni elemento sarà movimentato da un proprio argano indipendente che garantirà una velocità di **salita e di discesa** degli elementi di:

- **0,25 m/min in condizioni ordinarie**
- **0,30 m/min in condizioni eccezionali.**

La velocità di salita di 0,25 m/min sarà garantita anche qualora il gruppo di sollevamento della paratoia inferiore debba sollevare contemporaneamente entrambi gli elementi in caso di guasto dell'altro sistema.

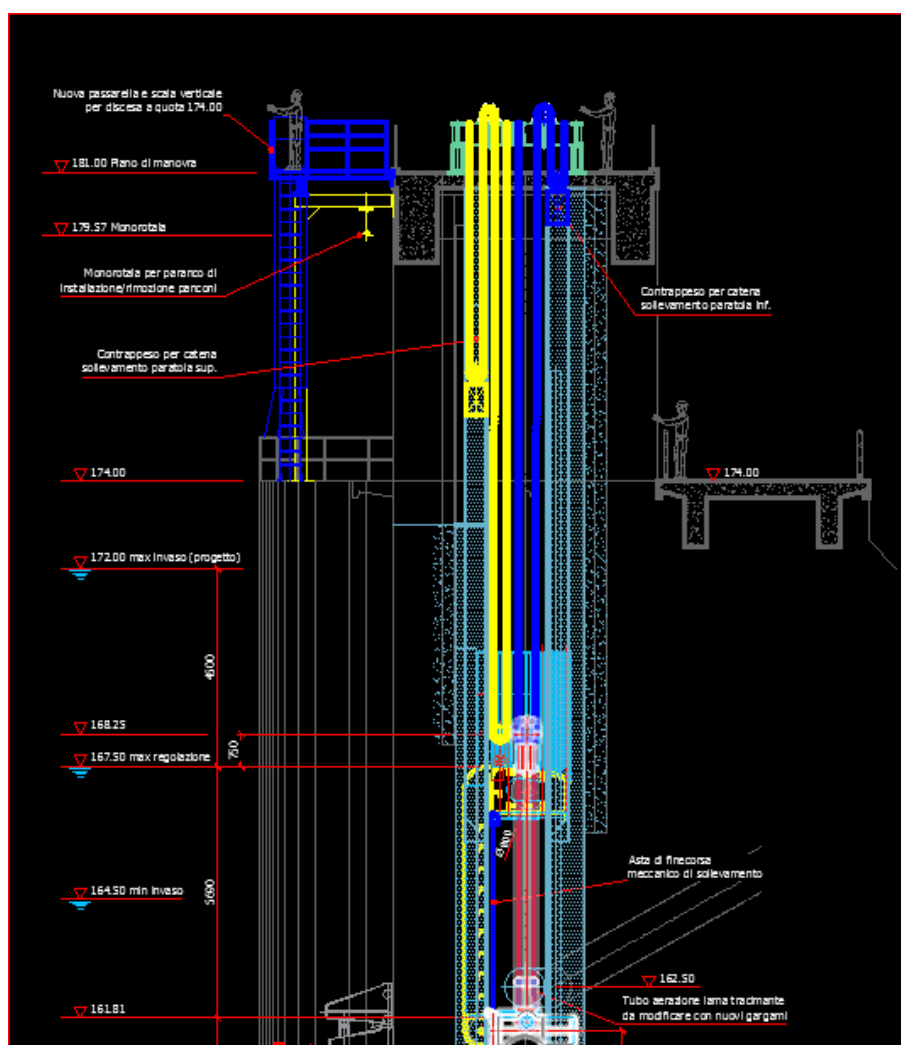


Figura 20 sezione nuovi gruppi di sollevamento (inferiore: blu – superiore: giallo)

## 5.2 SFORZI DI MANOVRA

Sono costituiti dalle seguenti componenti, oltre al peso proprio:

- Carico verticale da vena stramazante
- Attrito tenute

Per le tenute a profilo idraulico (nota musicale) si considera la seguente tabella (caso 6):

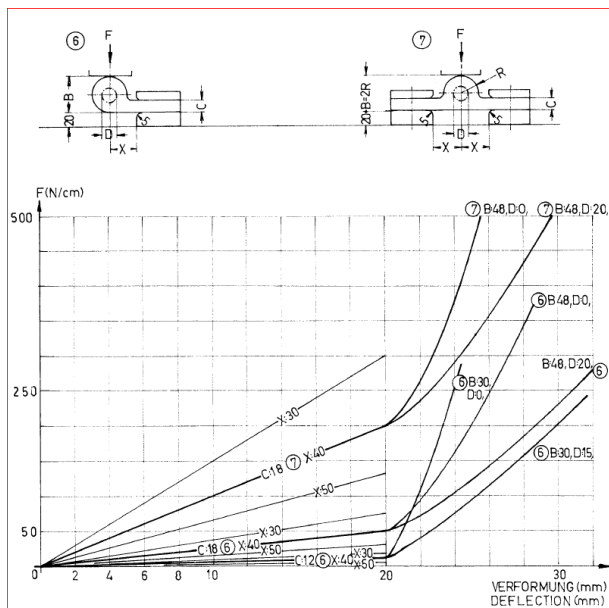


Figura 21 da tabelle SEMPERIT

Tenendo conto che la superficie di contatto sarà ricoperta da materiale con coefficiente di attrito pari a 0,23 (TCI) si considera una resistenza per attrito pari a:

- a regime (dopo circa 5-10 S dall'inizio manovra): 200 kg/m
- attrito di I° distacco (si considera una maggiorazione del 25%)

Analogamente per quelle a L (caso 3):

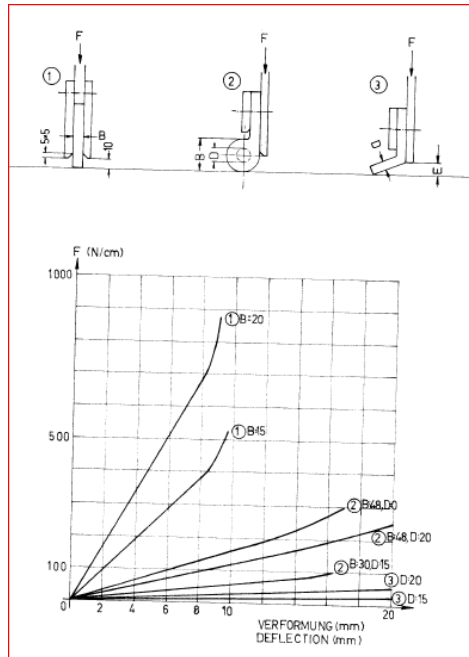


Figura 22 da tabelle SEMPERIT

si considera una resistenza per attrito pari a:

- a regime (dopo circa 5-10 S dall'inizio manovra): 100 kg/m
- attrito di I° distacco (si considera una maggiorazione del 25%)

- Attrito ruote

si considera la seguente formula:

$$W = \frac{P}{D} \left( f + \frac{d}{2} \right)$$

che fornisce il seguente risultato medio per le ruote principali (diametro 800 – 1000)

- a regime (dopo circa 5-10 S dall'inizio manovra): W = 19 kg/t
- attrito di I° distacco (si considera una maggiorazione del 25%)

e, per le ruote reciproche:

- a regime (dopo circa 5-10 S dall'inizio manovra): W = 22 kg/t
- attrito di I° distacco (si considera una maggiorazione del 25%)

5.3 DIMENSIONAMENTO ARGANO PARATOIA SUPERIORE

ELEMENTO SUPERIORE (elettromeccanico)				
	imput	carico/attrito	carico/attrito	
		regime	primo distacco	
	kg - kg/m	kg	kg	note
peso proprio da movimentare		39.160	39.160	
carico vena stramazzante		25.892	25.892	in regolazione la vena contratta = $2/3 H = 2 \text{ m}$
		38.838	38.838	<u>per sicurezza si considera il massimo livello a monte a quota 172 m slm (4,5 m) e contrazione di vena = <math>2/3 H = 3 \text{ m}</math></u>
carico ruote				
principali (diam. 800 mm)	260.000	4.940	6.175	
reciproche (diam. 550 mm)	244.000	5.368	6.710	
rulli laterali	3.916	117	147	stima 10% peso da movimentare
tenute	100	2.500	3.125	tenute a L
totale sollevamento		90.924	94.156	
sollevamento su ogni bozzello (non fattorizzato)		45.462	47.078	su ogni noce
arrotondamento			49.432	5%
tiro catena			27.462	rendimento 90%
rottura catena minimo			137.310	coefficiente di sicurezza = 5
catena GALLE 100 G - rottura kg	180.000		6,55	coefficiente di sicurezza

Viene definita la seguente configurazione:

- 2 catene GALLE passo 100 mm –  $R_{rottura} = 180 \text{ ton}$
- 2 noci laterali per il sollevamento:
  - o  $z = 8$
  - o  $\Phi_{prim.} = 261,3126 \text{ mm}$  (tiro in  $2^\circ$ )
- 2 assi di collegamento con giunti a denti
- Un riduttore ad assi paralleli
  - o  $R_{nominale} = 1/250$
  - o  $n_1 = 182,8 \text{ g/1'}$
  - o  $n_2 = 0,7312 \text{ g/1'}$
  - o fattore di servizio AGMA  $> 1,5$
- due freni elettroidraulici

- $n_2 = 182,8 \text{ g/1'}$
- potenza frenata = 11 kW
- due motoriduttori
  - $R = 1/7,22$
  - $n_1 = 1460 \text{ g/1'}$
  - $n_2 = 182,8 \text{ g/1'}$
- comandi emergenza:
  - vedi avanti

con le seguenti prestazioni:

ELEMENTO SUPERIORE (elettromeccanico)				
		ingresso	uscita	uscita
	kW / rapp.rid.	giri/min	giri/min	m/1' velocità sollevamento
motore 4 p.	11 kW	1460	1460	
motoriduttore	7,5	1460	194,67	
riduttore	250	194,67	0,78	
noce motrice Z=8 catena GALLE p. 100 mm - diam.prim. =	0,2613126 m	0,7787	0,7787	0,3195
				regolata con inverter
				0,30
potenza				
	kg	kg	kg	kW installata
		regime	primo distacco	
totale		90.924	94.156	
potenza		4,75	4,91	11,00
rendimento minimo >		0,43	0,45	richiesto
rendimento gruppi			0,73	installato

- tiro totale  $\cong 95.000 \text{ kg}$
- tiro catena  $\cong 28.000 \text{ kg}$
- coeff. sic. rottura catena =  $6,52 > 5$
- coppia asse noce M1  $\cong 3660 \text{ kg m}$
- coppia asse lento riduttore M2  $\cong 7320 \text{ kg m}$
- velocità sollevamento  $v = 0,3 \text{ m/1'}$  (dimensionante: le due velocità di 0,30 e 0,25 m/1' sono ottenute con inverter)
- potenza teorica motore
  - $P_S = 5,99 \text{ kW}$  (spunto 10 S)
  - $P_R = 5,78 \text{ kW}$  (dopo 10 S)
- considerando: rendimento riduttori, ecc. = 0,73
  - potenza installata: 11 kW
- n° manovre:
  - 2/h (regolazione): corsa 3000 mm
  - sollevamento: corsa 11750 mm



- durata manovre:
  - o regolazione = 10/12' (velocità regolate con inverter)
  - o sollevamento totale = 30/47' (velocità regolate con inverter)

#### 5.4 DIMENSIONAMENTO ARGANO PARATOIA INFERIORE

ELEMENTO INFERIORE - SOLLEVAMENTO SINGOLO (elettromeccanico)				
	imput	carico/attrito	carico/attrito	
		regime	primo distacco	
	kg - kg/m	kg	kg	note
peso proprio da movimentare		totale kg	totale kg	
1° elemento inferiore	24.049			paratoia con accessori
2° elemento intermedio	26.245			paratoia con accessori e rotaie
3° elemento superiore	34.894			paratoia con accessori e rotaie
catena (L= 14 m)	3.136			GALLE 120 G - 112 kg/m
bozzello + asta sollevamento	2.100			
totale	88.324	88.324	88.324	
carico ruote				
principali (diam. 800-1000 mm)	1.770.000	33.630	42.038	
reciproche (diam. 550 mm)	244.000	5.368	6.710	movimento relativo
rulli laterali	8.832	265	331	stima 10% peso da movimentare
rulli contrasto frontale	13.249	397	497	stima 15% peso da movimentare
tenute				
verticali elemento inferiore	200	3560	4.450	
interfaccia con elemento sup.	200	2400	3.000	movimento relativo
totale sollevamento		133.944	145.349	
sollevamento su ogni bozzello (non fattorizzato)		66.972	72.675	su ogni noce
arrotondamento			76.308	circa 5%
tiro catena			42.393	rendimento 90%
minimo rottura catena			211.967	coefficiente di sicurezza = 5
catena GALLE 120 G - rottura kg	250.000		5,90	coefficiente di sicurezza

Per valutare le condizioni di aggancio tra la paratoia inferiore e la superiore vengono fatte le seguenti considerazioni (vedi paragrafo 4.1.5):

AGGANCIO - CONDIZIONE PEGGIORE		
spinta idrostatica totale (sui due elementi paratoia)	t	1.200
attrito complessivo ruote	kg	22.800
altri attriti (sicurezza)	kg	10.000
SOLLEVAMENTO FASE AGGANCIO al contatto	kg	125.346

ELEMENTO INFERIORE - SOLLEVAMENTO INFERIORE + SUPERIORE (elettromeccanico)				
	imput	carico/attrito	carico/attrito	
		regime	primo distacco	
	kg - kg/m	kg	kg	note
peso proprio da movimentare		39.160	39.160	
carico vena stramazzante		25.892	25.892	in regolazione la vena contratta = $2/3 H = 2 m$
		38.838	38.838	<u>per sicurezza si considera il massimo livello a monte a quota 172 m s.l.m (4,5 m) e contrazione di vena = <math>2/3 H = 3 m</math></u>
carico ruote				
principali (diam. 800 mm)	260.000	0	1.235	solo 1° distacco
reciproche (diam. 550 mm)	244.000	0	0	non c'è movimento relativo
rulli laterali	0	0	0	la paratoia è appoggiata sulla inferiore
rulli contrasto frontale	0	0	0	stima 15% peso da movimentare
tenute	100	2.500	3.125	tenute a L
totale sollevamento elemento superiore		80.499	82.359	
totale sollevamento elemento inferiore			125.346	vedi note precedenti
totale			207.705	
sollevamento su ogni bozzello (non fattorizzato)			103.852	su ogni noce
arrotondamento			109.045	circa 5%
tiro catena			60.581	rendimento 90%
rottura catena			302.903	coefficiente di sicurezza = 5
catena GALLE 120 G - rottura kg	250.000		4,13	coefficiente di sicurezza accettabile: considerata l'eccezionalità dell'evento

Viene definita la seguente configurazione:

- 2 catene GALLE passo 120 mm –  $R_{rottura} = 250$  ton
- 2 noci laterali per il sollevamento:
  - o  $z = 9$
  - o  $\Phi_{prim.} = 350,8565$  mm (tiro in 2°)
- 2 assi di collegamento con giunti a denti
- un riduttore ad assi paralleli bi sporgenti
  - o  $R_{nominale} = 1/250$
  - o  $n_1 = 136,15$  g/1'
  - o  $n_2 = 0,5444$  g/1'
  - o fattore di servizio AGMA > 1,5
- due freni elettroidraulici (uno di scorta all'altro)
  - o  $n_2 = 136,15$  g/1'
  - o potenza frenata = 18,5 kW
- due motoriduttori (uno di scorta all'altro) con regolazione motore con INVERTER
  - o  $R = 1/10,2$
  - o  $n_1 = 1470$  g/1' (regolazione con inverter)
  - o  $n_2 = 136,15$  g/1' (regolazione con inverter)
- comandi emergenza:
  - vedi avanti

con le seguenti prestazioni:

sollevamento singolo (solo elemento inferiore)

ELEMENTO INFERIORE - SOLLEVAMENTO SINGOLO (elettromeccanico)				
		ingresso	uscita	uscita
	kW / rapp. rid.	giri/min	giri/min	m/1' velocità sollevamento
motore 4 p.	18,5 kW	1470	1470	
motoriduttore	10,2	1470	144,12	
riduttore (ELLI)	250	144,12	0,5765	
noce motrice Z=9 catena GALLE p. 120 mm - diam.prim. =	0,3508565	0,5765	0,5765	0,3175
				regolata con inverter
				0,30
potenza				
	kg	kg	kg	kW installata
		regime	primo distacco	
totale		133.944	145.349	
potenza		6,95	7,54	18,50
rendimento minimo >		0,38	0,41	richiesto
rendimento gruppi			0,73	installato

- sollevamento totale = 146.000 kg
- tiro catena = 42.000 kg
- ceff. sic. rott. catena =  $6 > 5$
- coppia asse noce  $M_1 \cong 7300 \text{ kg m}$
- coppia asse lento riduttore  $M_2 \cong 14600 \text{ kg m}$
- velocità sollevamento  $v = 0,3 \text{ m/1'}$  (dimensionante – le due velocità di 0,30 e 0,25 m/1' sono ottenute con inverter)
- potenza teorica motore
  - o  $P_s = 8,52 \text{ kW}$  (spunto 10 S)
  - o  $P_R = 7,86 \text{ kW}$  (dopo 10 S)
- n° manovre = 1 / settimana
- corsa totale 19 m
- durata manovra = 63 ' (max a velocità regolata inverter)

sollevamento doppio: elemento inferiore aggancia elemento superiore

ELEMENTO INFERIORE - SOLLEVAMENTO INFERIORE + SUPERIORE (elettromeccanico)				
		ingresso	uscita	uscita
	kW / rapp.rid.	giri/min	giri/min	m/1' velocità sollevamento
motore 4 p.	<b>18,5 kW</b>	1166,67	1166,67	regolata con inverter
motoriduttore	10,2	1166,67	114,38	
riduttore	250	114,38	0,4575	
				regolata con inverter
noce motrice Z=9 catena GALLE p. 120 mm - diam.prim. =	0,3508565	0,4575	0,4575	0,2520
potenza				
	kg	kg	kg	kW installata
		regime	primo distacco	
totale			207.705	
potenza			8,55	18,50
rendimento minimo >			0,46	richiesto
rendimento gruppi			<b>0,73</b>	<b>installato</b>

- tiro totale = 210.000 kg
- tiro catena = 61.000 kg
- ceff. sic. rott. catena = 4,13 (accettabile considerata la eccezionalità dell'evento)
- coppia asse noce  $M_1 \cong 11.650 \text{ kg m}$
- coppia asse lento riduttore  $M_2 \cong 23.300 \text{ kg m}$
- velocità sollevamento  $v = 0,25 \text{ m/1'}$  (dimensionante – velocità ottenuta con inverter)
- potenza teorica motore:  $P = 14,90 \text{ kW}$ ,

- considerando: rendimento riduttori, ecc. = 0,73
  - o potenza installata: 18,50 kW
- n° manovre: **solo** in condizioni eccezionali
- corsa totale 19 m
- durata manovra = 76 ' (con velocità regolata inverter)

Questa funzionalità dovrà comunque essere organizzata con idonei interventi per evitare che la catena e i gruppi di sollevamento della paratoia superiore possano essere danneggiati; dovranno quindi essere scollegati i giunti a denti di collegamento delle noci di sollevamento (previo supporto degli assi di collegamento) e verifica che i contrappesi possano scorrere nelle guide (verifica rocchetti e bozzelli contrappesi).

## 5.5 ARGANO OLEODINAMICO DI EMERGENZA

È prevista l'installazione di un sistema di movimentazione oleodinamico alternativo a quello elettromeccanico principale costituito da una centralina a quota 181 m slm.

La centralina sarà alimentata da rete (e/o gruppo elettrogeno), posizionata in zona baricentrica ai due argani ed alimenterà, con collegamenti non fissi e procedure dedicate, 4 motori orbitali collegati all'asse dei motori elettrici da 11 e 18,5 kW.

Per motivi di standardizzazione i 4 motori saranno uguali e dimensionati con riferimento alla coppia massima da erogare:

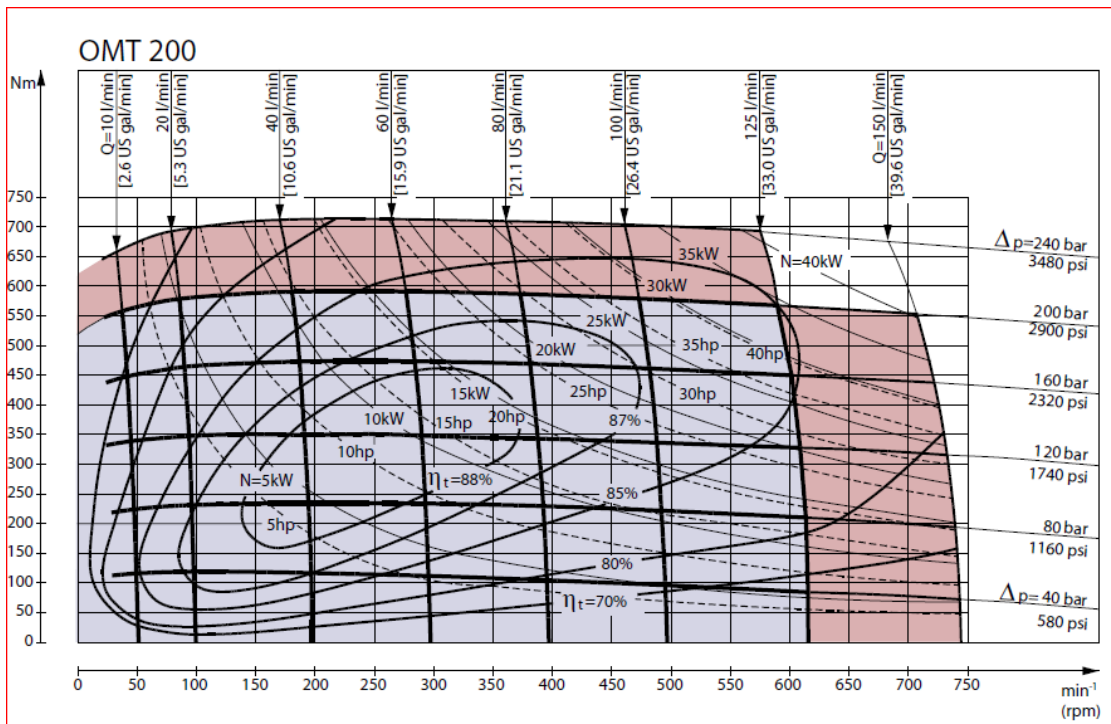
$$M_{\text{motore 11 kW}} = \frac{716,2 \times P \text{ (CV)}}{n} = 7,34 \text{ kg m}$$

$$M_{\text{motore 18,5 kW}} = \frac{716,2 \times P \text{ (CV)}}{n} = 12,26 \text{ kg m}$$

dimensionamento per motore            12,26            kg m  
 18,5 kW                                        122,58            N m

scelto

### Danfoss OMT 200 autofrenante

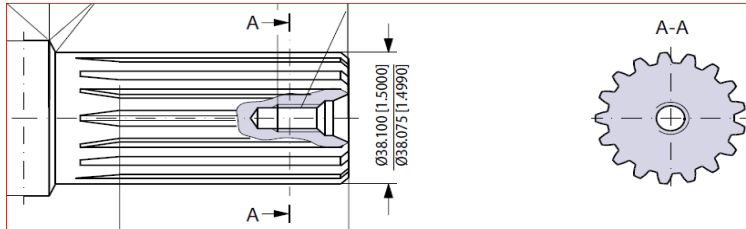


delle seguenti caratteristiche funzionali/prestazionali:

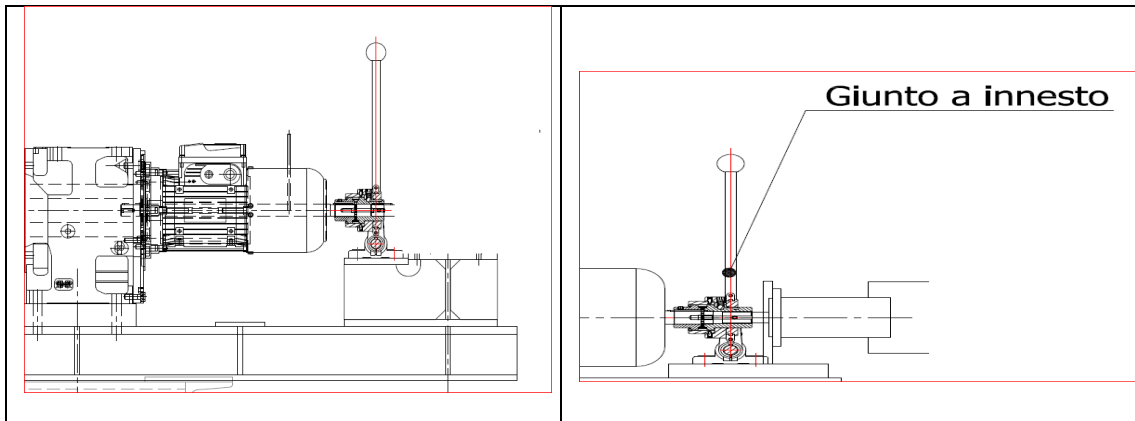
coppia erogata servizio continuo            225,00            N m  
 n    500,00            rpm  
 Velocità manovra                                        0,11            m/1'

pressione	80,00	bar
Q (portata)	100,00	l/1'
tempo manovra salita 13 m	120,36	minuti

Con asse a profilo scanalato:

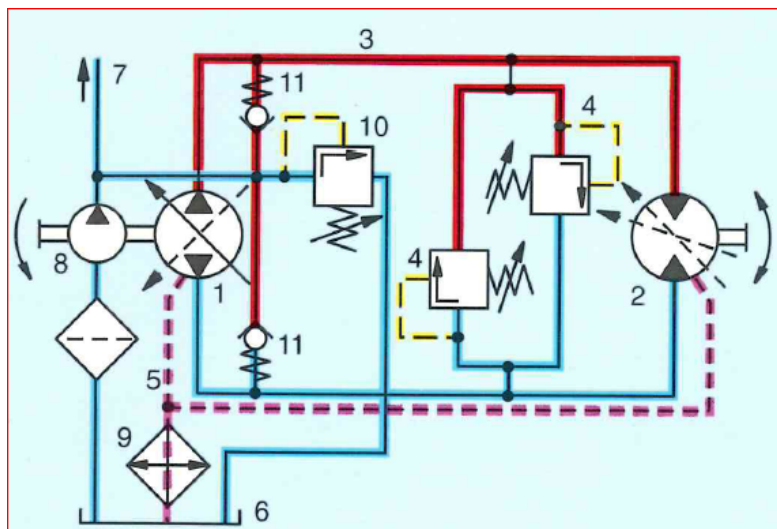


Ogni motore è installato sul telaio di supporto del motore elettrico e inseribile con un giunto ad innesto:



La potenza teorica necessaria è pari a circa 11 kW e, prevedendo un rendimento di circa il 55%, la potenza installata per ogni pompa è di 22 kW.

La centralina prevede due pompe a portata variabile regolabile (una di scorta all'altra), circuito di drenaggio e ricircolo olio drenato, gruppo refrigerante aria-olio con lo schema come segue:



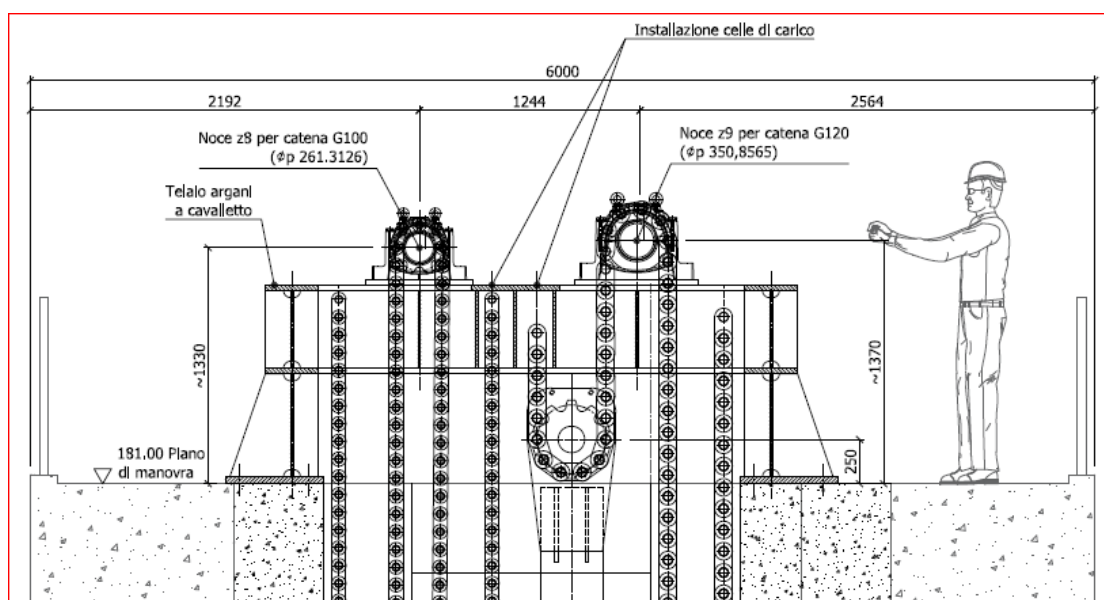
dove:

1. Pompa,
2. Motore OMT 200,
3. Circuito mandata,
4. Valvole imitatrici pressione,
5. Condotto di drenaggio,
6. Serbatoio olio drenaggio,
7. Pilotaggio pompa ausiliaria reintegro olio drenato,
8. Pompa ausiliaria,
9. Accessori filtraggio olio,
10. Valvola imitatrice pressione pompa ausiliaria,
11. Valvole non ritorno.

---

## 5.6 TELAIO ARGANI

---



Lo schema statico è quello di una trave su due appoggi con luce 2700 mm e più carichi concentrati.

I carichi concentrati sono quelli calcolati in precedenza e la struttura principale è costituita da due travi HEB 500 in acciaio S275J0 accoppiate e opportunamente irrigidite nei punti di applicazione dei carichi.

Schema di carico: SOLLEVAMENTO NORMALE

Risulta:

- Deformazione elastica: 0,71 mm (dimensionante – accettabile)
- Momento flettente (SLE):  $M = 3547 \text{ t cm}$
- Sollecitazione a flessione (SLU):  $\sigma_f = +/- 1230 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$
- Massimo carico sugli appoggi (SLE):  $N = 74.000 \text{ kg}$



Schema di carico: AGGANCIIO

Risulta:

- Deformazione elastica: 0,65 mm
- Momento flettente (SLE):  $M = 3315 \text{ t cm}$
- Sollecitazione a flessione (SLU):  $\sigma_f = +/- 770 \text{ kg/cm}^2 < f_{yd}$
- Massimo carico sugli appoggi (SLE):  $N = 76.000 \text{ kg}$

---

Considerata la preliminarità di questa Relazione di Calcolo, si tralasciano ulteriori verifiche.