

C0	13/09/13	Emissione per approvazione	GP	NZ	LM
REVISIONE		DESCRIZIONE	EL	CON.	APP.

**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
MAGISTRATO ALLE ACQUE**

**NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA
DI VENEZIA**

LEGGE N. 798 DEL 29-11-1984
CONVENZIONE REP. N. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP. 8492 DEL 30-03-2011 (PROGETTAZIONE)

**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER
LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA
CUP: D51B020000500H1 (PROGETTAZIONE)**

PROGETTO ESECUTIVO

**WBS: CH.I1.48
WBE: CH.I1.48.PE.09**

**BOCCA DI CHIOGGIA – PARATOIE E CONNETTORI
PARATOIE
SISTEMA DI ALLOGGIAMENTO E TRATTENIMENTO SNODO
RELAZIONE DI CALCOLO**

ELABORATO G. Parodi	CONTROLLATO N. Zoratto	APPROVATO L. Mazza
N. ELABORATO MV078P-PE-CAR-2016-C0	CODICE FILE MV078P-PE-CAR-2016-C0.doc	DATA 13 Settembre 2013

CONSORZIO “VENEZIA NUOVA”

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE VERIFICATO: V. VARDONE CONTROLLATO: M. BRUNETTO CONSORZIO VENEZIA NUOVA	PROGETTAZIONE ALBERTO SCOTTI Sez. A - Settore di civile e ambientale della Provincia di Milano IL RESPONSABILE ING. A. SCOTTI n° A 9782 MILANO
---	---

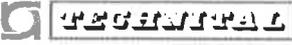
	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 2
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
1.1.	Descrizione	5
1.1.1.	Descrizione del sistema di trattenimento	5
1.1.2.	Descrizione dello snodo	5
1.2.	Disegni e documenti di riferimento	7
1.3.	Normativa di progetto	7
1.4.	Materiali	8
2.	DATI DI PROGETTO	9
2.1.	Caratteristiche dello snodo	9
2.2.	Tolleranze geometriche	14
2.3.	Carichi di progetto	15
2.4.	Combinazioni di carico	18
3.	ANALISI NUMERICHE	19
3.1.	Descrizione del codice di calcolo	19
3.2.	Modello globale del sistema di trattenimento dello snodo	26
3.2.1.	Descrizione del modello	26
3.2.2.	Materiali	32
3.2.3.	Sistema di riferimento ed unità di misura fondamentali	32
3.2.4.	Vincoli	33
3.2.5.	Carichi	34
3.2.6.	Tolleranze	35
3.3.	Modelli locali	37
3.3.1.	Modello Locale della corona di alloggiamento e trattenimento (ML1)	38
3.4.	Riassunto dei modelli implementati	41
3.5.	Combinazioni di carico agli Stati Limite Ultimi	42
3.6.	Combinazioni di carico allo Stato Limite di Fatica	42
4.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI	45
4.1.	Criteri di verifica per i componenti in acciaio	45
4.2.	Bulloni	45
4.3.	Corone di trattenimento	46
4.4.	Meccanismo antirotazione	52
4.5.	Snodo	54

 GENERALI	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 3
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

4.5.1.	Calotta	54
4.5.2.	Corpo sferico	57
4.5.3.	Boccola cilindrica	58
5.	VERIFICHE A FATICA	61
5.1.	Criteri di verifica	61
5.2.	Risultati verifiche per i principali dettagli	61
5.2.1.	Viti	61
5.2.2.	Corone di alloggiamento e trattenimento – raccordo dente esterno su calotta	65
5.2.3.	Corone di alloggiamento e trattenimento – fori passanti	68
	ALLEGATO 1	69
	DOCUMENTAZIONE SNODO TIPO INA	69
	ALLEGATO 2	92
	FORZE NODALI LUNGO LE LINEE/AREE DI INTERFACCIA INDIVIDUATE SULLA LAMA DELLA PARATOIA CONDIZIONE DI CARICO C10	92

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 4
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

1. INTRODUZIONE

Il sollevamento delle paratoie avviene per rotazione attorno all'asse congiungente i due perni degli elementi maschi dei connettori. La rotazione è consentita dalla presenza di due snodi sferici, uno per ciascuna cerniera, montati sui perni degli elementi maschio ed alloggiati nelle sedi predisposte sulle paratie principali delle paratoie.

Nell'ambito dello studio B.7.03/II è stata condotta una specifica sperimentazione su 5 boccole sferiche autolubrificanti, tramite un dedicato sistema di prova. Le risultanze di questi test sono dettagliatamente riportate nel rapporto C19 del citato studio, mentre alcuni parametri (in particolare deformabilità ed usura dei 5 snodi) sono stati sintetizzati anche all'interno della specifica di costruzione dell'elemento maschio.

Il fornitore del gruppo cerniera-connettore ha selezionato per la barriera di Treporti lo snodo tipo INA (v. disegni di riferimento) che quindi è diventato il nuovo riferimento progettuale. La verifica statica e funzionale dello snodo e di ogni suo componente, nonché il relativo progetto dei piani di montaggio/smontaggio, d'uso e di manutenzione, sono a carico del Fornitore dello snodo.

L'alloggiamento e il trattenimento laterale dello snodo è realizzato mediante l'inserimento di due corone con sezione a T nella sede ricavata nella paratia della paratoia e la loro successiva solidarizzazione tramite viti assiali (v. fig. 1-1).

Il piano di manutenzione delle paratoie prevede la rimozione, l'ispezione e la manutenzione delle stesse ogni 5 anni. Con la medesima frequenza si prevede quindi lo smontaggio dello snodo e del sistema di trattenimento. La vita utile di progetto del sistema di trattenimento è ≥ 10 anni, mentre la sostituzione delle viti è prevista in concomitanza con ogni manutenzione programmata delle paratoie.

Oggetto della presente relazione sono le verifiche strutturali del sistema di alloggiamento e trattenimento dello snodo tipo INA.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 5
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

1.1. Descrizione

1.1.1. Descrizione del sistema di trattenimento

Il sistema di trattenimento è costituito da due anelli con sezione a “T”, tra loro solidarizzati mediante 24 viti M24. Le viti hanno la testa incassata e il gambo che è passante in una corona, ma filettato nell’altra (fig. 1-1). La sezione a T consente alle corone di abbracciare la lama della paratoia sul lato esterno (foro ϕ 760 mm) e la calotta dello snodo sul lato interno (ϕ 600 mm).

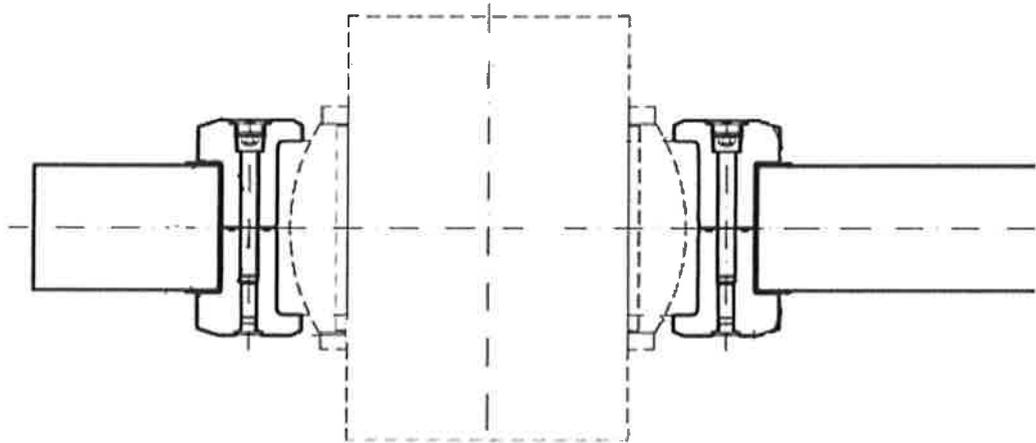


FIG. 1-1 - SCHEMA TRATTENIMENTO SNODO

1.1.2. Descrizione dello snodo

Il sistema in oggetto è stato progettato per lo snodo che sarà fornito dalla Schaeffler Technologies AG & Co. (nel seguito sarà denominato “snodo INA”), il quale si compone funzionalmente di 3 corpi.

1. Una boccia cilindrica interna (nel seguito “cilindro”) all’interno della quale è alloggiato il perno del maschio, realizzata con materiale composito sintetico multistrato.

2. Un corpo toroidale centrale, coassiale alla boccola cilindrica, con superficie esterna sferica (nel seguito “sfera”), realizzato in acciaio.
3. Una calotta esterna (nel seguito “calotta”) realizzata in due metà separate lungo un piano meridiano del perno. La calotta presenta superficie esterna cilindrica e superficie interna sferica ed è realizzata in materiale composito sintetico multistrato.

I due snodi di ciascuna paratoia si distinguono in “fisso” e “mobile” in direzione assiale. Lo snodo fisso è del tutto identico allo snodo mobile, ma è dotato di due ulteriori anelli coassiali al perno del maschio che vanno in battuta, esternamente sull’orecchia del maschio ed internamente sul corpo sferico dello snodo, impedendo lo spostamento laterale dello snodo stesso.

L’immagine seguente mostra lo snodo fisso assialmente. Le caratteristiche meccaniche e geometriche assunte nelle analisi sono riportate nel successivo cap. 2.

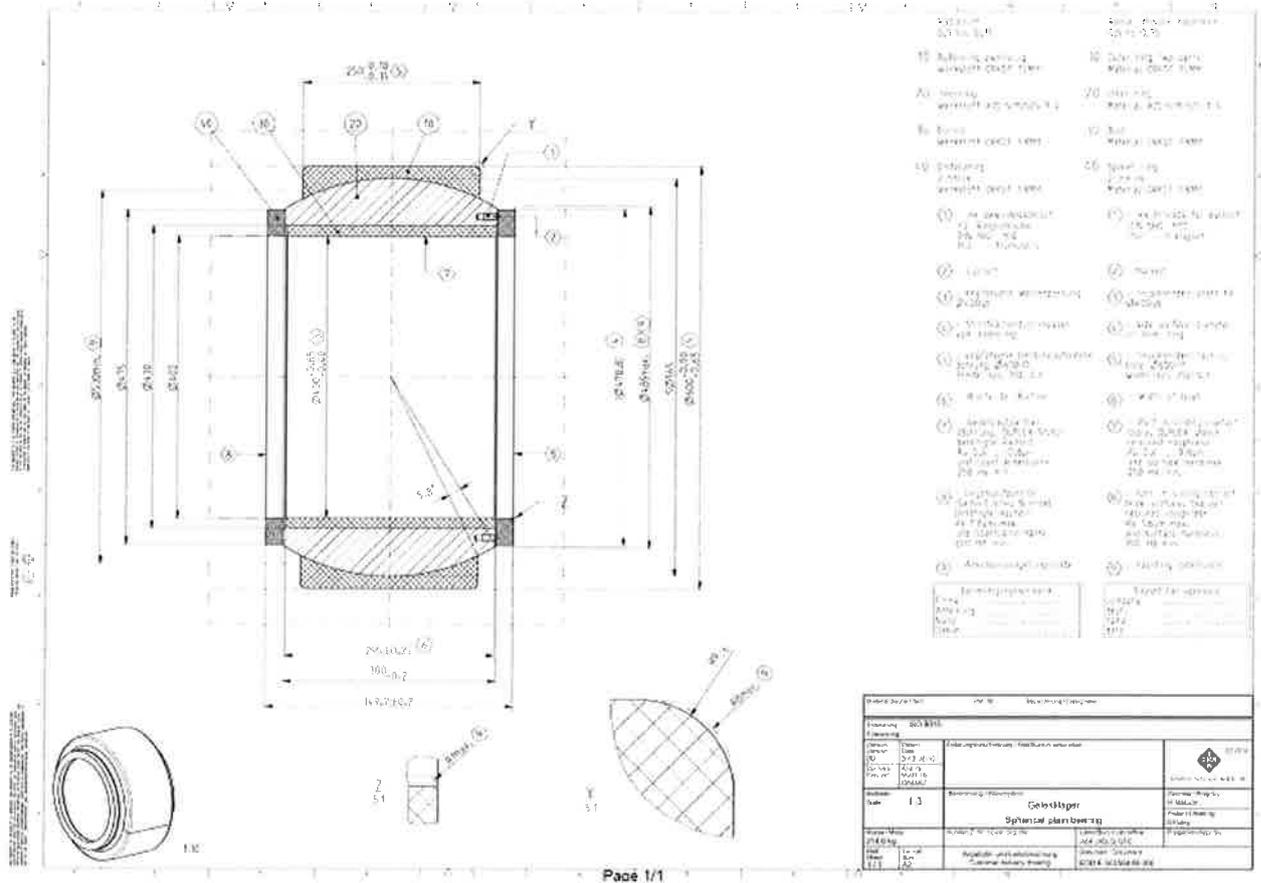


FIG. 1-2 - SNODO TIPO INA FISSO

 TEGENTRA	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 7
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

1.2. Disegni e documenti di riferimento

Elaborati grafici di riferimento:

MV078P-PE-CAD-2072	Bocca di Chioggia – Paratoie e connettori – Paratoie – Struttura principale – Sistema di alloggiamento e trattenimento snodo – Viste e sezioni
MV080P-PE-MAD-2073	Bocca di Chioggia – Paratoie e connettori – Paratoie – Struttura principale – Sistema di alloggiamento e trattenimento snodo – Dettagli
MV078P-PE-CMD-3335	Bocca di Chioggia – Paratoie e connettori – Connettori – Elemento maschio – Perno e snodo sferico
EDD F-562443.06 000	Spherical plain bearing – 10/08/2012
EDD F-563584.06 000	Spherical plain bearing – 10/08/2012

Documenti di riferimento:

MV078P-PE-CMR-3005-C0	Bocca di Chioggia – Paratoie e connettori – Connettori – Elemento femmina – Carichi di progetto
MV078C-PE-MMR-1325-C0	Prima Perizia di variante e suppletiva – Disciplinare tecnico

Documentazione tecnica trasmessa dal fornitore dello snodo INA e riportata in Allegato 1 al termine della relazione.

1.3. Normativa di progetto

Per il dimensionamento e la verifica del sistema di alloggiamento e trattenimento snodo si è fatto riferimento alle seguenti norme e pubblicazioni:

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 8
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

- [N1] Legge n. 1086 del 5 novembre 1971: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.”
- [N2] DNV RP-C203 – Fatigue strength analysis of offshore steel structures
- [N3] D.M. 14/01/2008: Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- [N4] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

1.4. Materiali

Per la realizzazione delle parti in esame, del sistema di trattenimento, sono previsti i seguenti materiali. Per ogni materiale si forniscono i valori di rottura [fu], snervamento [fy] e della tensione limite di progetto [fd].

Anelli di trattenimento

- corone - acciaio tipo SAF 2507 (1.4410 UNI-EN-10088)
 - $730 \leq f_u \leq 930 \text{ MPa}$
 - $f_y \geq 530 \text{ MPa}$ $f_d = 530 / 1.05 = 505 \text{ MPa}$

Bulloni

- viti - acciaio tipo A4-70 (UNI EN ISO 3506-1)
 - $f_u \geq 700 \text{ MPa}$
 - $f_y \geq 450 \text{ MPa}$ $f_d = 428 \text{ MPa}$

Sistema antisvitamento

- spine - acciaio tipo SAF 2507 (1.4410 UNI-EN-10088)
 - $730 \leq f_u \leq 930 \text{ MPa}$
 - $f_y \geq 530 \text{ MPa}$ $f_d = 530 / 1.05 = 505 \text{ MPa}$

Le parti in acciaio del sistema di trattenimento sono sotto protezione catodica, ove in continuità elettrica con la paratoia.

2. DATI DI PROGETTO

2.1. Caratteristiche dello snodo

Materiali

Il corpo sferico è previsto in acciaio INOX, mentre calotta, cilindro ed anelli sono realizzati in materiale composito sintetico. In particolare:

- calotta esterna – Orkot ® TLMM
- cilindro ed anelli – Orkot ® TXMM

Questi materiali appartengono ad un marchio registrato del gruppo Trelleborg che pertanto ne conosce in maniera esclusiva le caratteristiche e le proprietà. Nel seguito si riepilogano le informazioni in merito che ci sono state comunicate e che sono state utilizzate ai fini delle analisi numeriche.

I materiali di tipo Orkot ® TLMM e TXMM sono di tipo ortotropo. La seguente tabella riassume le 9 costanti elastiche e le caratteristiche meccaniche nelle 3 direzioni principali, ove le direzioni X e Y sono quelle nel piano del laminato e la direzione Z è quella perpendicolare al laminato.

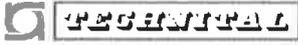
Proprietà		X	Y	Z
E	[MPa]	4000	4000	2320
α	[°C ⁻¹]	5÷6e-5	5÷6e-5	9÷10e-5
		XY	YZ	XZ
G	[MPa]	1416	874	874
ν		0.31	0.33	0.33

La matrice di cedevolezza del materiale che è stata adottata nelle analisi numeriche è definita come nel seguito.

$$\varepsilon = D^{-1} \sigma = C \sigma$$

$$\varepsilon^T = \{ \varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{yz} \quad \varepsilon_{xz} \}$$

$$\sigma^T = \{ \sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \sigma_{xy} \quad \sigma_{yz} \quad \sigma_{xz} \}$$

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 10
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

$$D^{-1} = C = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \hline C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ \hline C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \\ \hline \end{array}$$

Ove: $C_{12} = C_{21}$

$C_{13} = C_{31}$

$C_{23} = C_{32}$

Si ottiene:

$$C_{11} = 1 / E_x = 1 / 4000 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{22} = 1 / E_y = 1 / 4000 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{33} = 1 / E_z = 1 / 2320 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{44} = 1 / G_{xy} = 1 / 1416 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{55} = 1 / G_{yz} = 1 / 874 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{66} = 1 / G_{xz} = 1 / 874 \text{ MPa}^{-1}$$

$$C_{12} = -\nu_{xy} / E_x = -0.31 / 4000 \text{ MPa}^{-1} = C_{21}$$

$$C_{13} = -\nu_{xz} / E_x = -0.33 / 4000 \text{ MPa}^{-1} = C_{31}$$

$$C_{23} = -\nu_{yz} / E_y = -0.33 / 4000 \text{ MPa}^{-1} = C_{32}$$

Le caratteristiche meccaniche dell' Orkot ® sopra riportate sono valide per temperature fino a 100°C, mentre fino a 130°C (limite operativo del materiale) il degrado di rigidità è pari a 10% (v. figura seguente).

Il fornitore ha indicato una temperatura di progetto di 65°C e pertanto non è stato messo in conto alcun degrado dei valori di rigidità.

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 11
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

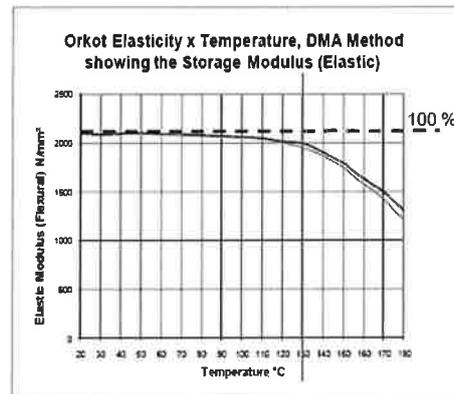
Orkot Marine Bearing Materials, TLMM and TXMM

Effects of increased temperature on Orkot Elasticity

Test Method:
Dynamic Mechanical Analysis (DMA)
Test mode: Flexural

Note: The elastic properties of Orkot Composites relate to the size and shape of the part, therefore an E-modulus typical for the product cannot be given.

The effects of temperature can be assessed by taking the elasticity at 20° C as 100 % and the % of it's decline as the operating temperature increases.



Conclusion: - negligible effects up to 100° C,
- consider 10 % more deflection when above 100° C
130 C is the temperature limit of TLMM and TXMM applications

TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS

TRELLEBORG

FIG. 2-1 – PROPRIETÀ MECCANICHE DELL'ORKOT® ALL'AUMENTARE DELLA TEMPERATURA

Il materiale Orkot ® mantiene un comportamento elastico per valori di pressione fino a circa 120÷150MPa. A valori di pressione superiori si manifesta un comportamento visco-elastico. Si veda in proposito la scheda di prodotto del Fornitore riportata nell'immagine seguente (fig. 2.2).

Le pressioni massime valutate dal fornitore per i componenti dello snodo, durante l'esercizio della paratoia, si mantengono all'interno del dominio elastico del materiale. Pertanto è stato simulato a modello un comportamento perfettamente elastico.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 12
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Orkot® Bearings



Deflection under load
Change of the wall thickness
of a cylindrical bearing (typically)

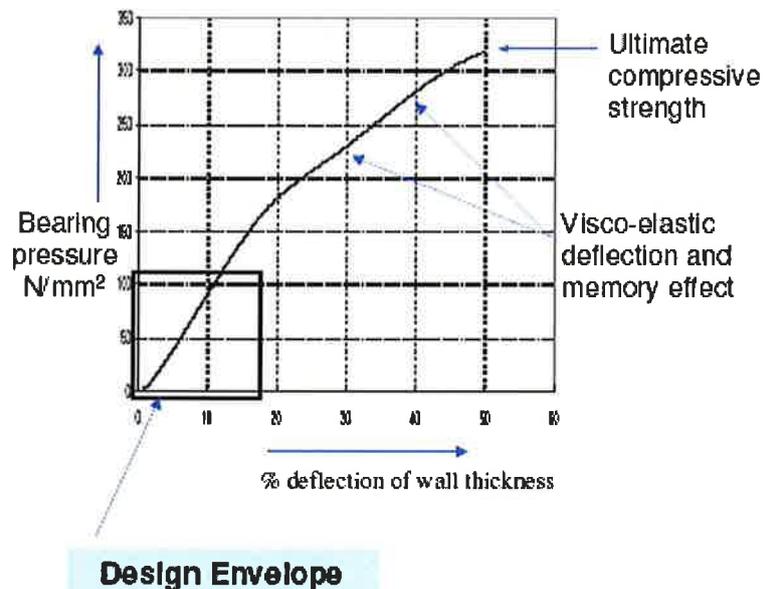


FIG. 2-2 – DOMINIO ELASTICO DELL' ORKOT ®

Rigonfiamento

Le specifiche dei materiali Orkot ® TXMM e TLMM fornite dal Produttore definiscono un rigonfiamento massimo dopo un anno di immersione inferiore allo 0.1% dello spessore (nella sola direzione ortogonale alle fibre). Si veda anche la mail del 01/08/2012 con oggetto: “Capittini - FIP Industriale - sistema Mo.S.E. - chiarimenti tecnici”.

Sulla base di quanto sopra indicato si è assunto che il rigonfiamento si esaurisca entro il primo anno e che pertanto abbia ricadute assolutamente trascurabili sulle variazioni dimensionali dei componenti.

Attrito

La seguente tabella mostra i valori dei coefficienti di attrito statico a secco dei due materiali per una pressione di 15 MPa.

Superficie	Min.	Max.
TLMM	0.13	0.18
TXMM	0.05	0.10

In presenza di pressioni più elevate i coefficienti di attrito si riducono (v. figura seguente).

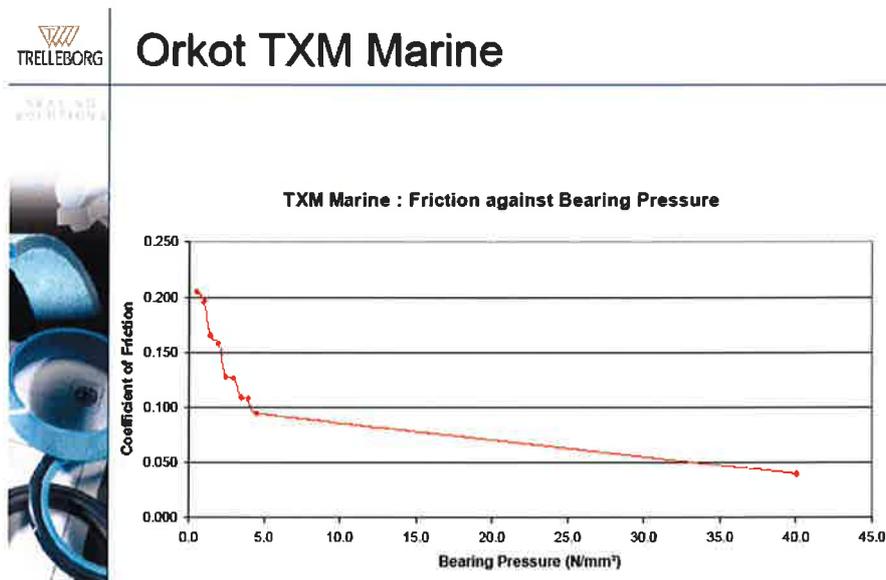


FIG. 2-3 – COEFFICIENTE DI ATTRITO ORKOT® TXM

La documentazione Shaeffler specifica per questa fornitura, indica la possibilità, per entrambe i materiali, di registrare in esercizio (quindi in presenza di acqua di mare e di sedimenti) valori compresi tra 0.1 e 0.3.

I valori adottati nelle analisi sono riportati al paragrafo 2.1.

2.2. Tolleranze geometriche

L'accoppiamento tra i diversi corpi che costituiscono lo snodo, il sistema di alloggiamento e trattenimento, la paratia della paratoia, il perno e i relativi alloggiamenti sull'elemento maschio, avviene entro una gamma di tolleranze definite negli elaborati grafici di progetto.

La tabella seguente riassume l'entità minima e massima del gioco tra le principali superfici di accoppiamento, ove valori positivi indicano un gioco effettivo, mentre valori negativi indicano interferenza. Tutte le misure sono espresse in [μm].

Interfaccia	Direzione	Gioco minimo	Gioco massimo
		[μm]	[μm]
Corone – Pinna	Diametricale	80	180
Corone – Pinna	Assiale	150	300
Corone	Assiale	0	0
Corone – Calotta snodo	Diametricale	-900	-580
Corone – Calotta snodo	Assiale	200	550
Boccola cilindrica snodo – Sfera	Diametricale	---	---
Perno – Boccola cilindrica snodo	Diametricale	415	710
Snodo – Orecchie maschio	Assiale	0	600

2.3. Carichi di progetto

La presente relazione fa riferimento alle condizioni di carico previste per la barriera di Chioggia. Lo snodo e il sistema di trattenimento sono soggetti ai carichi trasmessi dalla paratoia al connettore che sono già stati diffusamente trattati nel documento di progetto dell'elemento femmina MV078P-PE-CMR-3005 "Carichi di progetto".

carichi trasmessi dalla paratoia in condizioni operative (Q)

I carichi massimi trasmessi dalla paratoia al singolo snodo presentano componenti sia orizzontali in direzione mare-laguna (+X) e viceversa (-X), sia in direzione verticale di compressione (-Z) o di strappo (+Z). Nella seguente tabella si riportano le 12 combinazioni di azioni massime concomitanti considerate. I seguenti valori di carico sono intesi come già fattorizzati secondo gli opportuni coefficienti.

Stato limite	Combinazione	Fh = Fx (kN)	Fv = Fz (kN)	Fa = Fy (kN)
S.L.S. Tr=100 anni	C1	3420	1240	±700
	C2	3420	-2120	±700
	C3	-2840	1240	±700
	C4	-2840	-2120	±700
S.L.U. Tr=100 anni	C5	5130	1960	±1000
	C6	5130	-3180	±1000
	C7	-4260	1960	±1000
	C8	-4260	-3180	±1000
S.L.U. Tr=1000 anni	C9	7510	2730	±1000
	C10	7510	-3150	±1000
	C11	-4730	2730	±1000
	C12	-4730	-3150	±1000

Fh = Fx = forze orizzontali, positive se dirette verso laguna

Fv = Fz = forze verticali, positive se dirette verso l'alto

La forza radiale massima allo SLU è pari a 8145 kN (combinazione C10).

Inoltre, è prevista la presenza di un carico di 1000 kN (dir. Y) trasmesso dalla paratoia al perno in direzione trasversale (ovvero nella direzione di sviluppo della serie di paratoie che compongono la diga mobile). Tale valore di progetto è stato considerato valido per combinazioni di carico agli SLU con tempo di ritorno sia di 100 anni che di 1000 anni. Per le combinazioni SLS, tale carico è stato ridotto di un fattore 1.5.

L'immagine seguente mostra la convenzione di direzione e verso delle componenti positive delle forze trasmesse dalla paratoia alle cerniere.

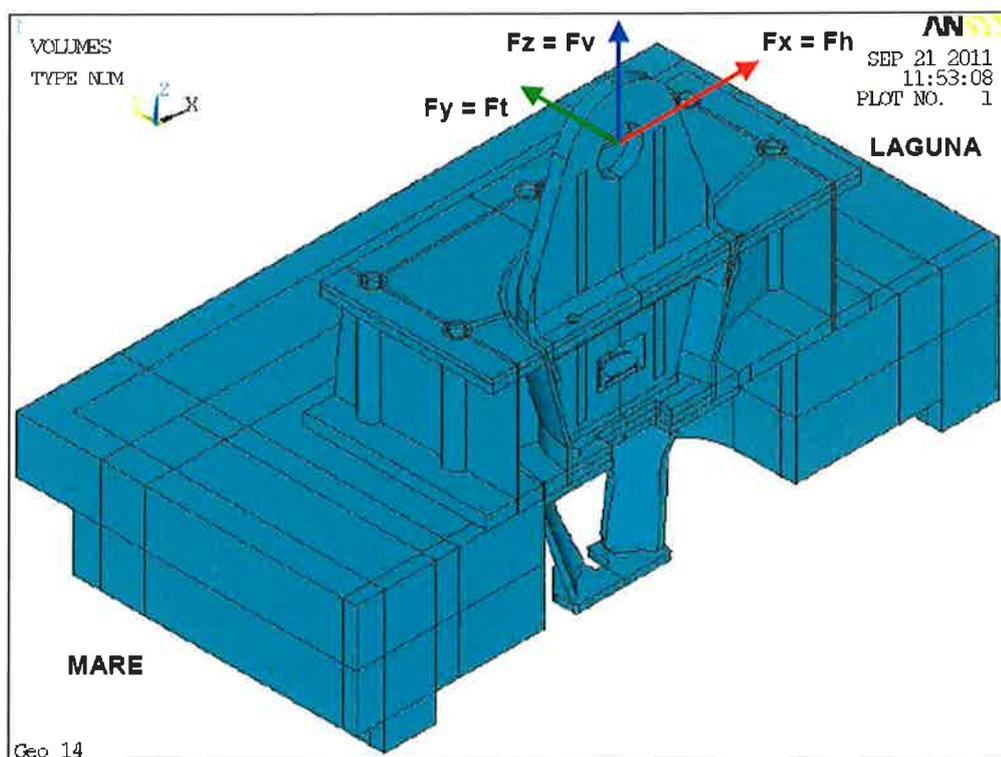


FIG. 2-4 – AZIONI SUL CONNETTORE – CONVENZIONE PER DIREZIONE E VERSO

Le modalità di applicazione dei carichi al modello globale del sistema di trattenimento è illustrata al par 3.2.5.

carichi ciclici trasmessi dalla paratoia (J)

Nella seguente tabella si riportano gli effetti del moto ondoso (comprensivi dell'effetto di onda breve e onda lunga) sul singolo connettore, attesi nel corso di 10 anni di esercizio (corrispondente a 600000 cicli) in termini di azioni orizzontali

e verticali trasmesse allo snodo (tratte dalla specifica di costruzione dell'elemento maschio MV078P-PE-CMS-3308).

Gli effetti di marea sono stati valutati prevedendo che il 95% dei cicli risulti concomitante ad una marea con dislivello mare-laguna di 30 cm cui corrispondono sul connettore le seguenti forze statiche: $F_h = +375\text{kN}$ e $F_v = -375\text{kN}$. Il rimanente 5% dei cicli risulta invece concomitante ad una marea con dislivello mare-laguna di 70 cm cui corrispondono sul connettore le seguenti forze statiche: $F_h = +875\text{kN}$ e $F_v = -500\text{kN}$.

Classe	Loading	[m]	Cicli	ΔF_h	ΔF_v	F _h	F _v	ΔF
						statica	statica	
				[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
1	f1-4	marea +0.30	450000	± 125	± 125	375	-375	300
2	f5-8		65000	± 250	± 250	375	-375	
3	f9-12		30000	± 375	± 375	375	-375	
4	f13-16		12000	± 500	± 500	375	-375	
5	f17-20		5000	± 625	± 625	375	-375	500
6	f21-24		1500	± 750	± 750	375	-375	
7	f25-28		1000	± 1000	± 1000	375	-375	
8	f29-32		150	± 1250	± 1250	375	-375	700
9	f33-36		100	± 1500	± 1500	375	-375	
10	f37-40		50	± 1750	± 1750	375	-375	
11	f41-44	marea +0.70	1500	± 125	± 125	875	-500	300
12	f45-48		7000	± 250	± 250	875	-500	
13	f49-52		7000	± 375	± 375	875	-500	
14	f53-56		5000	± 500	± 500	875	-500	500
15	f57-60		4500	± 625	± 625	875	-500	
16	f61-64		2000	± 750	± 750	875	-500	
17	f65-68		2000	± 1000	± 1000	875	-500	700
18	f69-72		1000	± 1250	± 1250	875	-500	
19	f73-76		800	± 1500	± 1500	875	-500	
20	f77-80		250	± 1750	± 1750	875	-500	
21	f81-84		200	± 2000	± 2000	875	-500	
22	f85-88		150	± 2250	± 2250	875	-500	
23	f89-92		50	± 2500	± 2500	875	-500	
24	f93-96		50	± 2750	± 2750	875	-500	
25	f97-100		50	± 3000	± 3000	875	-500	
26	f101-104		10	± 3250	± 3250	875	-500	

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 18
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

variazioni termiche (T)

In condizioni operative, durante il movimento di oscillazione della paratoia dovuta al moto ondoso, gli attriti sulle superfici di sfregamento dello snodo, determinano un incremento della temperatura dello snodo. Su indicazione del Produttore dello snodo si è assunto un valore di progetto di +65°C.

Pertanto si è tenuto conto di una variazione termica pari a $\Delta T = +50^{\circ}\text{C}$ sui componenti sintetici e di una variazione termica pari a $\Delta T = +30^{\circ}\text{C}$ nel corpo sferico in acciaio, assumendo per quest'ultimo una maggiore conducibilità termica.

2.4. Combinazioni di carico

Sono previste combinazioni di carico agli Stati Limite Ultimi (SLU) per le verifiche di resistenza secondo la normativa di riferimento [N3] e combinazioni di carico per le verifiche a fatica.

Per le combinazioni di carico agli SLU sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di amplificazione dei carichi base sopra riportati:

(Q)	azioni trasmesse dalla paratoia (C ₅ -C ₁₂)	x	1.0*
(T)	azioni termiche	x	1.5

* Le condizioni di carico C₅-C₁₂ sono da intendersi già espresse agli SLU.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 19
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3. ANALISI NUMERICHE

Le analisi descritte nel presente capitolo sono state condotte con l'ausilio del codice di calcolo automatico ANSYS MECHANICAL:

autore: ANSYS Inc.
release: 11.0

3.1. Descrizione del codice di calcolo

ANSYS é un programma di calcolo automatico in grado di eseguire analisi strutturali e termiche mediante il metodo degli elementi finiti (E.F.) e si adatta all'analisi di una ampia gamma di problemi ingegneristici.

Tra le funzionalità del software si annoverano: analisi statiche e dinamiche lineari o non lineari, analisi modali e di buckling mediante estrazione di auto-valori.

ANSYS permette di includere e gestire debitamente nell'analisi effetti del secondo ordine e non-linearità di varia natura (geometrica e di materiale). Tra questi aspetti si ricordano a titolo di esempio: plasticità, grandi deformazioni, grandi spostamenti, iperelasticità, viscosità, contatti mono e bi-lateri, comportamenti tenso-irrigidenti, anisotropie del materiale e legami costitutivi dipendenti da svariati parametri (es. temperatura).

Il programma di calcolo include anche particolari caratteristiche quali ad esempio la possibilità di gestire in modo automatizzato la sottomodellazione o la condensazione statica di parti del modello o la possibilità di trattare problemi accoppiati.

ANSYS è distribuito per uso commerciale dal 1970 ed è stato adottato in modo estensivo nei settori più disparati, tra cui l'industria automobilistica, l'industria aerospaziale, i settori delle costruzioni, dell'elettronica, dell'energia ed altri ancora.

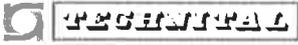
Studi professionali, società di ingegneria e di consulenza, università utilizzano ANSYS per analisi, ricerca ed a scopo didattico, tanto che il programma è riconosciuto a livello mondiale come uno dei più flessibili e potenti strumenti nel suo campo.

Nel maggio 1995 il programma di calcolo ANSYS ha ottenuto la certificazione di qualità ISO-9001 dalla Underwriters Laboratories Inc.

La verifica dell'affidabilità e la validazione del programma e dei relativi algoritmi solutivi è costantemente effettuata dallo sviluppatore, in accordo a ben definite procedure nell'ambito del programma di qualità. Una parte significativa dei casi di prova adottati ai fini della validazione (inclusivi dei relativi files di input e dei commenti) è disponibile direttamente nel manuale d'uso del programma.

Le procedure interne normalmente utilizzate per il controllo dell'attendibilità delle modellazioni a elementi finiti prevedono almeno i seguenti step:

- 1) Individuazione delle informazioni che si desidera ottenere dalla modellazione agli elementi finiti.
- 2) Ideazione del modello o dei modelli in grado di fornire tali informazioni. In tale fase si decide tra l'altro:
 - a. estensione della zona da modellare.
 - b. la tipologia di analisi (lineare, non lineare, statica dinamica etc.).
 - c. la tipologia di elementi finiti da utilizzare, monodimensionali, bidimensionali, solidi etc. In particolare il codice Ansys prevede una biblioteca di elementi molto ricca. Sono disponibili centinaia di elementi finiti diversi, e all'interno di ciascuno di essi sono attivabili delle opzioni che specializzano e differenziano ulteriormente il comportamento di ciascuna tipologia di elemento.
 - d. La scala della modellazione che evidentemente è correlata alle informazioni che il modello deve essere in grado di fornire.
 - e. Eventuale realizzazione di software dedicato per attività di pre e/o soprattutto post processing ed ideazione dello stesso. A tal fine segnaliamo che all'interno dell'ambiente di Ansys è possibile sviluppare macro personalizzate di pre-post processing, mediante il linguaggio APDL, accedendo direttamente al database che contiene tutti i dati ed i risultati delle analisi.
- 3) Se ritenuto necessario, soprattutto se la modellazione presenta caratteristiche di originalità rispetto alle normali esperienze già svolte e testate, esecuzione di casi test atti a validare le scelte effettuate allo step precedente. I casi test in genere consistono in modelli ad elementi finiti simili per tipologia di analisi, di elementi utilizzati al modello da realizzarsi, ma semplificati e di cui sia disponibile la soluzione vuoi per via analitica e/o da letteratura, in modo da poter validare le scelte effettuate. Su tali casi test è anche possibile eseguire il

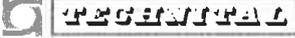
	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 21
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

“debugging” ed il controllo delle eventuali macro sviluppate per le operazioni di pre-post processing.

- 4) Realizzazione del modello o dei modelli e controlli formali dei dati quali ad esempio controllo di:
 - a. corretta connessione tra le parti strutturali;
 - b. dati generali (dimensioni geometriche, materiali etc);
 - c. corretta disposizione dei vincoli a terra;
 - d. corretta disposizione dei carichi, verifica delle risultanti dei carichi
- 5) Esecuzione di casi test del modello, in genere con carichi semplificati o atti ad evidenziare, su particolari strutture, potenziali errori di modellazione. Ad esempio applicazione di carichi atti a verificare il corretto comportamento di strutture che presentino piani di simmetria e/o applicazione di carichi semplificati che agevolino il controllo dei risultati mediante il confronto con stime eseguite sulla base di valutazioni ingegneristiche semplificate.
- 6) Esecuzione dei run di analisi necessari e controllo dei risultati. Le seguenti tipologie di controllo, ovviamente già previste sulle analisi test di cui al precedente punto, vengono normalmente eseguite:
 - a. Controllo delle reazioni vincolari e dell’equilibrio con i carichi applicati.
 - b. Controllo assenza di anomalie nella distribuzione di spostamenti e sforzi.
 - c. Verifica delle eventuali macro di post processing per confronto passo-passo con i risultati di analogo post-processing eseguito a mano.
 - d. Controllo di parametri di spostamento globale e del livello di sollecitazione media, mediante confronto con valutazioni ingegneristiche indipendenti, eseguite su schemi strutturali semplificati e con le risultanze delle attività eseguite in fase di predimensionamento della struttura in esame, se disponibili.
 - e. Quando significativo, controllo delle concentrazioni di sforzo sulla base di dati di letteratura (ad esempio utilizzo di stress concentration factors disponibili in letteratura relativi alla geometria in esame).

Tutte le attività vengono svolte da personale qualificato ed esperto di analisi strutturale e con buona esperienza nell’utilizzo del codice in esame.

Le fasi di ideazione del modello, di controllo e di valutazione dei risultati vengono seguite anche dal responsabile di commessa.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 22
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Con riferimento ai modelli utilizzati per le analisi di cui alla presente relazione si segnala quanto segue.

Per quanto riguarda le attività di cui al presente documento si segnala che fin dalle fasi iniziali di progettazione si è individuata la necessità, dopo prime valutazioni ingegneristiche eseguite su schemi strutturali semplificati e in base a considerazioni di equilibrio, di analisi strutturali in grado di cogliere la distribuzione di sforzi nelle diverse condizioni di carico.

Tale necessità è giustificata, oltre che dall'importanza del particolare strutturale in esame, dalla sua complessità geometrica e dal grado di iperstaticità interno degli elementi della connessione.

La tecnica di analisi numerica agli elementi finiti è stata ritenuta idonea allo scopo.

Lo scopo principale delle modellazioni (V. precedente punto 1) è stato individuato nella valutazione di:

- stato di sollecitazione dei diversi componenti del sistema per l'esecuzione delle verifiche di resistenza e a fatica;
- pressioni di contatto tra i diversi componenti a contatto.

Le caratteristiche principali dei modelli evidenziate nel corso delle attività di cui al precedente punto 2) sono qui elencate:

- Per cogliere in modo fedele il comportamento strutturale del sistema di trattenimento si è ritenuto necessario modellare l'intero sistema costituito da:
 - o sistema di trattenimento,
 - o snodo,
 - o una porzione di pinna della paratoia.

Per maggiori dettagli si veda il capitolo relativo alla descrizione del modello globale.

- La necessità di cogliere in modo corretto la trasmissione delle sollecitazioni per contatto tra i diversi elementi ha richiesto l'estensivo utilizzo di elementi di contatto monolatero tra superfici. Ne consegue che tutte le analisi sul modello globale sono analisi non lineari in virtù della presenza degli elementi di contatto monolatero.

I materiali sono stati sempre considerati elastici lineari.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 23
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Non sono richieste analisi dinamiche.

Pertanto le analisi eseguite sul modello globale sono analisi statiche, elastiche, non lineari. Il programma esegue analisi “step by step” incrementando i carichi e iterando fino a convergenza all’interno di ciascun sub-step di carico (metodo Newton-Raphson) controllando la convergenza sia sugli spostamenti che sulle forze nodali.

- Le dimensioni, in termini di gradi di libertà, del modello globale, la contemporanea necessità di analisi in campo non lineare ed il numero di condizioni di carico rende l’onere computazione del modello globale significativo. Pertanto nel modello globale non è stato possibile modellare in modo sufficientemente accurato alcune zone dove il dettaglio geometrico avrebbe richiesto elementi di taglia inferiore a quanto utilizzato.

Ne è derivata la necessità di realizzare modelli locali molto più raffinati utilizzati soprattutto a fini delle verifiche a fatica che ovviamente sono più sensibili alle concentrazioni di sollecitazioni indotte dalla geometria locale. Le condizioni al contorno da applicare sui modelli locali in corrispondenza delle superfici esterne degli stessi vengono desunte dal modello globale secondo le modalità descritte più in dettaglio nel seguito.

- Gli elevati spessori delle lamiere e dei corpi ha richiesto l’utilizzo di elementi finiti solidi. Sia nel modello globale che nei modelli locali sono stati utilizzati adottati elementi isoparametrici quadratici per meglio cogliere le concentrazioni di sforzo.
- Per i contatti sono stati utilizzati elementi di contatto bidimensionali anch’essi quadratici.
- L’utilizzo di analisi elastiche per la definizione dello stato di sollecitazione negli elementi della connessione, pienamente giustificato dal livello di sollecitazione presente e in linea con una corretta prassi progettuale. In merito ai risultati rilevabili in corrispondenza di punti angolosi e discontinuità geometriche, è noto che nell’ambito della teoria elastica, la presenza di intagli, raccordi etc. amplifica lo stato di sforzo esistente nelle zone adiacenti a tali di-

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 24
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

scontinuità geometriche, ad esempio a seguito a carichi esterni e/o distorsioni imposte.

Se tali discontinuità geometriche hanno una geometria ben definita, ad esempio un raggio di raccordo tra due zone di un asse avente diametri diversi, è possibile determinare un fattore “k” di concentrazione degli sforzi, correlato alla geometria locale ed allo stato di sollecitazione nell’intorno della discontinuità. L’approccio ad elementi finiti, purché localmente la mesh sia sufficientemente raffinata, è perfettamente in grado di tener in conto tale fattore di concentrazione nella valutazione dello stato di sforzo locale.

Tuttavia se la discontinuità geometrica è particolarmente severa lo stato di sforzo locale in corrispondenza dell’intaglio supera il limite di validità della teoria elastica. In particolare in una fessura in cui il raggio all’apice della fessurata tende a zero, o comunque in un punto angoloso in cui il raggio al vertice dell’angolo tende a zero, il fattore di concentrazione degli sforzi, nell’ambito della teoria elastica, tende ad infinito. Quindi, nell’ambito della teoria elastica, ne deriverebbe una punta di sollecitazione locale pari ad infinito che evidentemente non ha significato fisico.

Nei modelli globali e locali utilizzati nella presente relazione sono presenti punti angolosi.

In tale configurazione la soluzione elastica rigorosa prevede un picco di sollecitazione, assai limitato in estensione, ma di ampiezza infinita che il modello ad elementi finiti, proprio per la natura discreta del modello adottato, non può fornire. Ne derivano alcune conseguenze:

- In tali posizioni che, interessano zone estese al più pochi mm, la soluzione elastica fornita dal modello ad elementi finiti perde di significato, pertanto il valore di picco di sforzo fornito dalla modellazione numerica in tali posizioni non ha senso.
- In tali posizioni la verifica di resistenza, basata sul confronto con un valore limite di sforzo, perde significato.

Un possibile approccio per una migliore stima dello stato tensionale in tali zone sarebbe il ricorso ad una modellazione che preveda un comportamento elasto-plastico dei materiali. Tale approccio, che appesantirebbe ulteriormente l’onere computazionale, appare però del tutto ingiustificato quando, come nel presente caso, il superamento dei limiti elastici del materiale, sotto

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 25
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

combinazioni di carico con periodo di ritorno di 1000 anni, amplificate da un fattore 1.5, è limitato a zone estremamente limitate nell'intorno di discontinuità geometriche (punti angolosi) dove comunque, per ogni livello di carico anche modesto si supererebbe comunque il limite elastico del materiale.

In sostanza ai fini delle verifiche di resistenza occorre valutare l'entità della zona interessata dai picchi di sollecitazione: qualora questa sia estremamente limitata ed in corrispondenza di discontinuità geometriche vale la considerazione che anche le plasticizzazioni conseguenti interesseranno una estensione trascurabile.

A tal proposito si ricorda che, nell'ambito della metodologia di verifica agli stati limite ultimi adottata, è ammessa la plasticizzazione dell'intera sezione resistente, (nel ns. caso lo spessore delle lamiera) e pertanto il criterio adottato di accettare le inevitabili plasticizzazioni molto limitate in corrispondenza delle discontinuità geometriche è sicuramente più restrittivo dei criteri consentiti dalle normative vigenti.

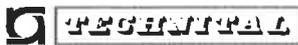
Infine per quanto concerne le attività di cui al precedente punto 3 si segnala che sulla tipologia di elementi utilizzati ed analisi effettuate è stata raccolta in passato una vasta casistica di precedenti applicazioni a supporto della modellazione adottata.

Riguardo invece all'applicazione al caso in esame si fa notare che nel corso delle attività di progettazione sono stati realizzati diversi modelli tra loro indipendenti, a supporto di soluzioni progettuali tra loro diverse per dimensioni, ma concettualmente simili.

Tutti tali modelli sono stati realizzati utilizzando il codice Ansys.

In tali modelli sono state utilizzate diverse tecniche di modellazione.

Pertanto si è pervenuti ai modelli finali ora utilizzati a valle di un processo di affinamento continuo, in cui i risultati delle modellazioni precedenti costituiscono anche una validazione degli step successivi di modellazione.

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 26
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3.2. Modello globale del sistema di trattenimento dello snodo

Allo scopo di condurre le analisi strutturali, è stato implementato un modello numerico complessivo ad elementi finiti per l'analisi e verifica del sistema di trattenimento dello snodo. Il modello numerico complessivo include, oltre allo snodo ed alle corone, anche una porzione di paratia della paratoia (fig. 3-1).

In condizioni operative la paratoia di Chioggia presenta un assetto variabile, determinato principalmente dalle azioni di moto ondoso, con oscillazioni di circa $\pm 10^\circ$ attorno ad un'inclinazione statica nominale di 42.5° .



FIG. 3-1 - MODELLO GENERALE TRATTENIMENTO SNODO

Il modello include 33251 elementi per un totale di 161455 nodi.

3.2.1. Descrizione del modello

Il modello in esame consta delle seguenti parti:

- Paratia. La modellazione della paratia della paratoia è stata interamente effettuata mediante elementi finiti solidi quadratici SOLID 95 (fig. 3-2). La porzione modellata copre l'intera altezza della paratia (al netto del fasciame superiore) ed un'estensione tale da coprire i 1660 mm terminali della paratia principale; non sono pertanto compresi i rinforzi con i piatti verticali divaricati.

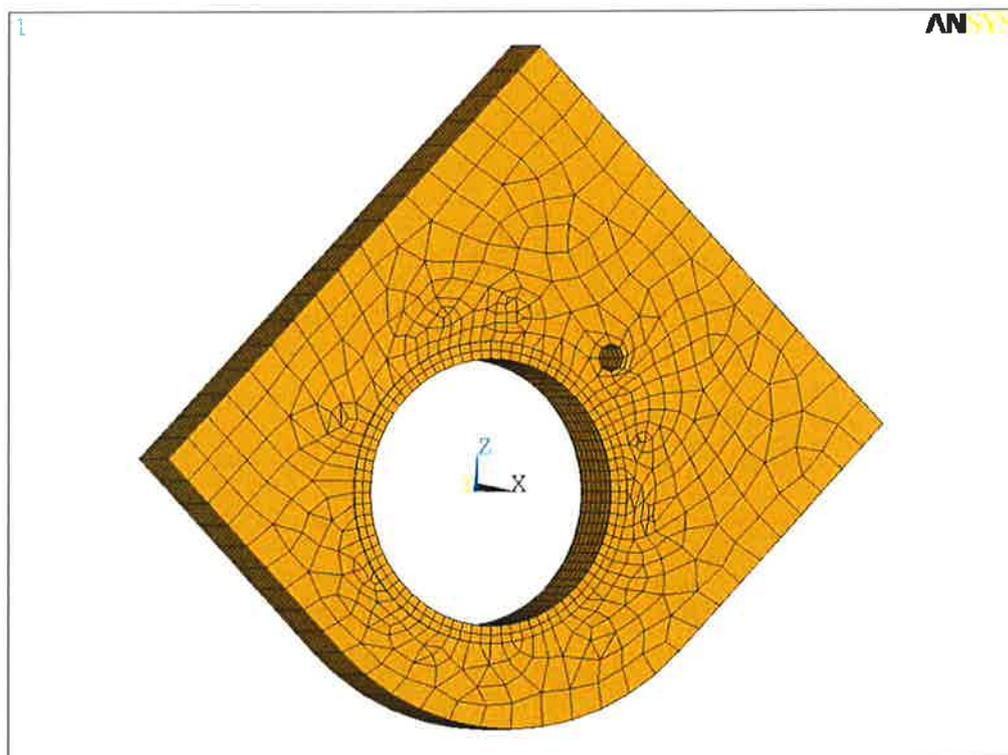


FIG. 3-2 - PORZIONE DI PARATIA DELLA PARATOIA

- Corone di alloggiamento e trattenimento. La modellazione delle corone è stata interamente eseguita mediante elementi finiti solidi quadratici SOLID 95 (fig. 3-3). Le corone sono forate in corrispondenza del passaggio delle viti e presentano gli scassi per l'alloggiamento delle teste.

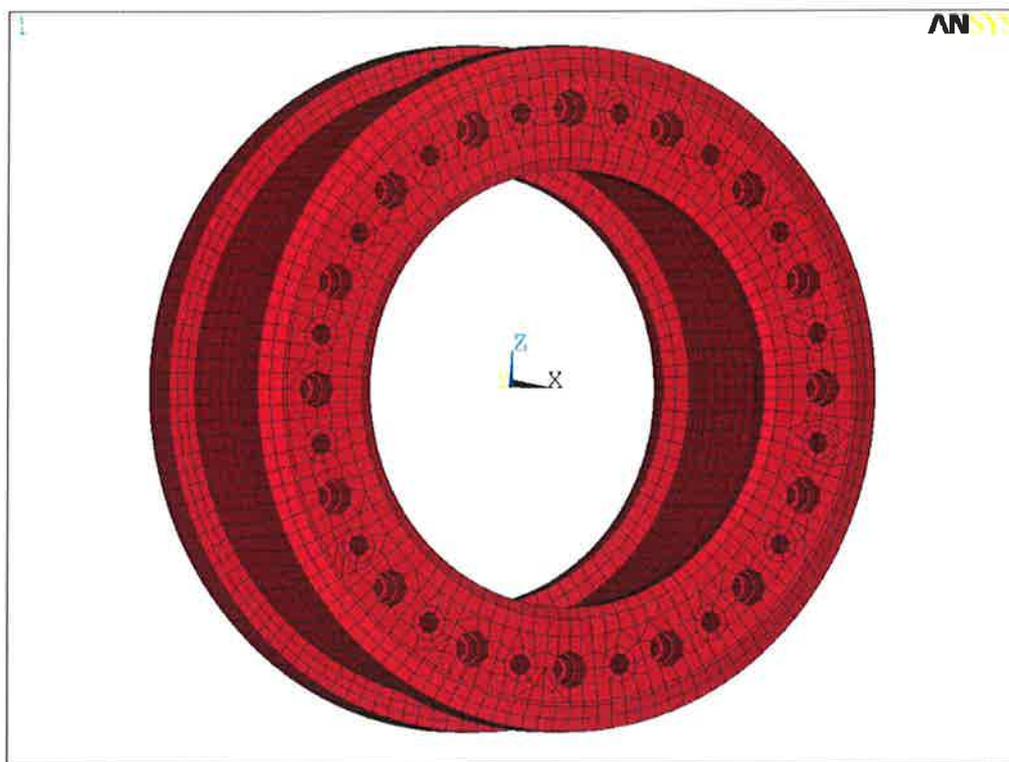


FIG. 3-3 - CORONE DI ALLOGGIAMENTO E TRATTENIMENTO

- Snodo. Lo snodo è stato modellato mediante elementi finiti solidi quadratici SOLID 95 (fig. 3-4). Non essendo oggetto delle analisi, non si è tenuto conto del taglio diametrale presente sulla calotta esterna, la quale è stata pertanto modellata integra.

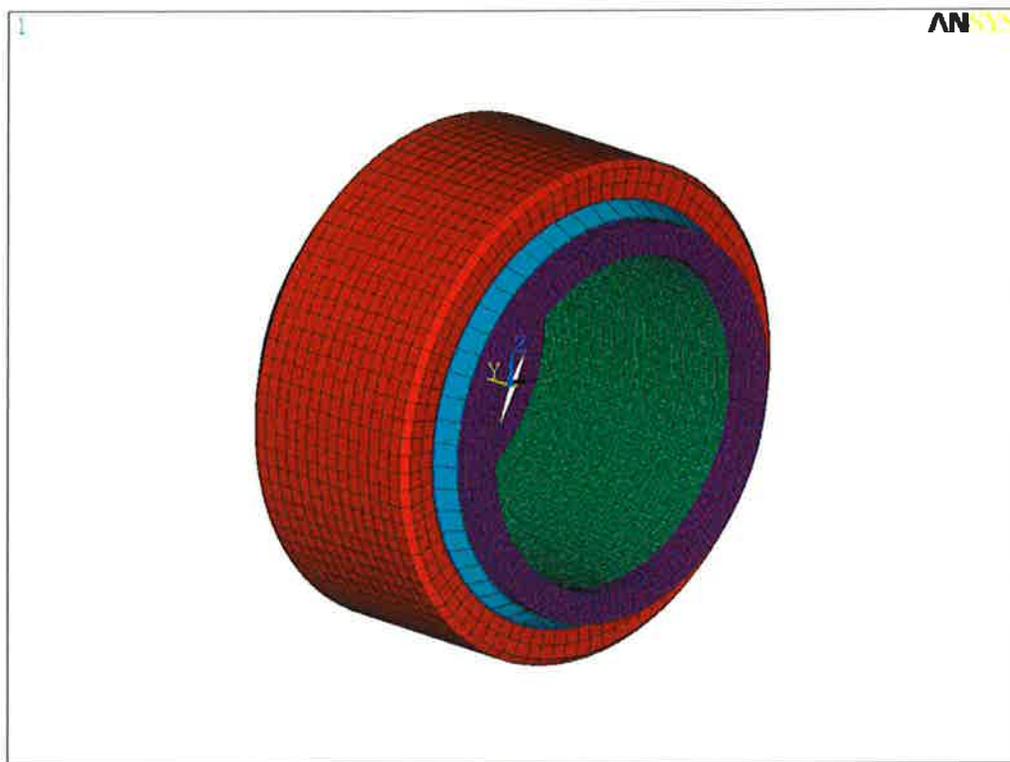


FIG. 3-4 - SNODO

- Contatti. Il modello riproduce la trasmissione dei carichi per contatto tra le diverse parti mediante l'utilizzo di elementi di contatto. Tutti i contatti modellati sono di natura monolatera (CONTA 174). Le superfici di battuta acciaio su acciaio (interfaccia paratia e corone di trattenimento snodo) presentano coefficiente di attrito pari a 0.25 (fig. 3-5). Le superfici di interfaccia tra acciaio e Orkot® TXMM (interfaccia anelli laterali snodo e boccola cilindrica interna) presentano coefficiente di attrito pari a 0.05 (fig. 3-7). Le superfici di interfaccia tra acciaio e Orkot® TLMM (interfaccia calotta sferica) presentano coefficiente di attrito pari a 0.13 (fig. 3-6), cautelativamente ridotto a 0.05, ad eccezione della superficie sferica ove è stato ridotto a 0.10. Sono poi state eseguite delle analisi in cui i coefficienti d'attrito dei materiali sintetici sono stati incrementati al valore di 0.3 per tutti i contatti.

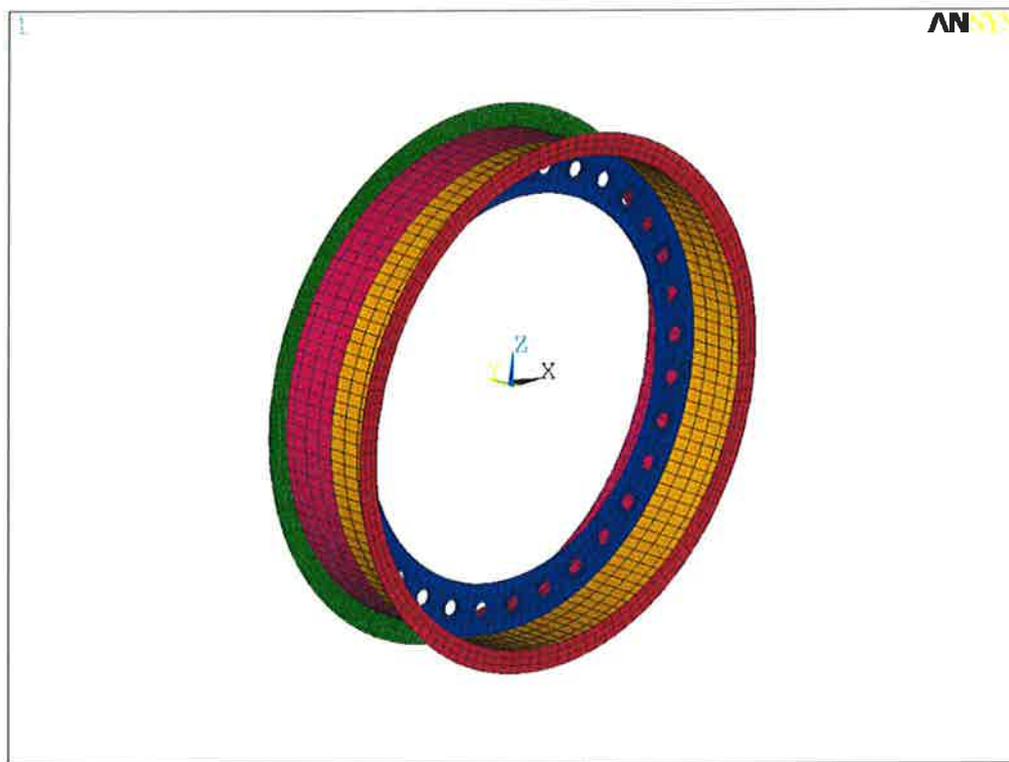


FIG. 3-5 - CONTATTI ACCIAIO-ACCIAIO

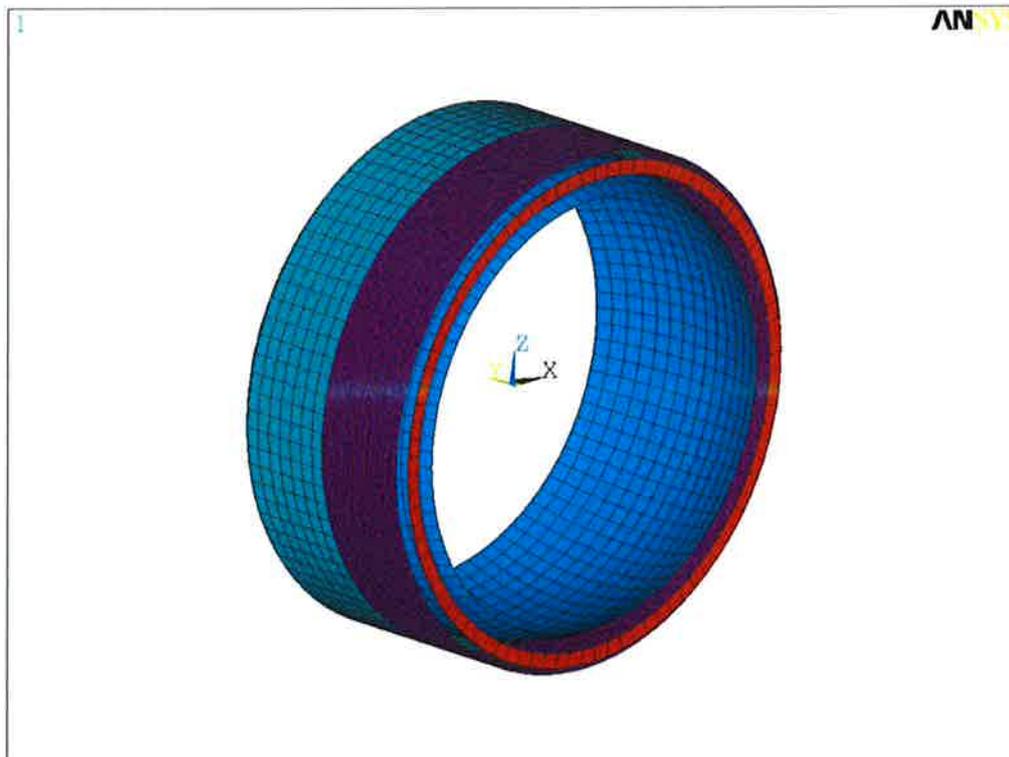


FIG. 3-6 - CONTATTI ORKOT® TLMM

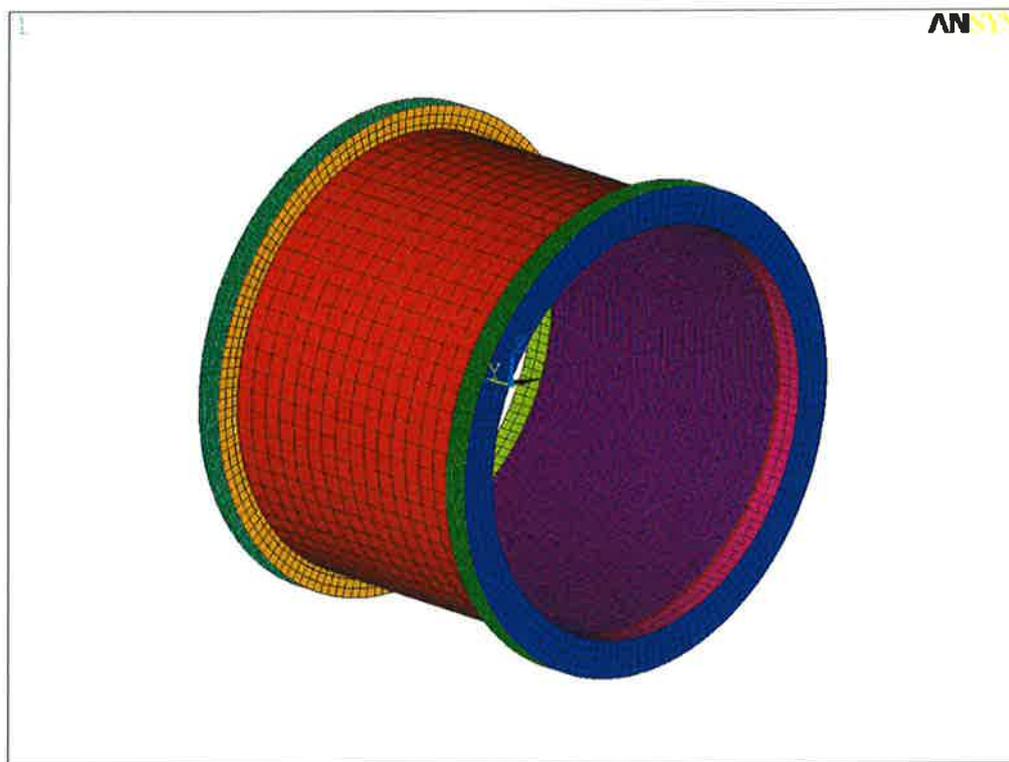


FIG. 3-7 - CONTATTI ORKOT® TXMM

- Viti. Le viti di collegamento delle due corone sono state modellate con elementi “beam” in grado di trasmettere, oltre all’azione assiale, anche taglio e momento. Le viti sono state precaricate al valore di tiro di progetto (90 kN) mediante l’applicazione di una variazione termica equivalente. Il nodo in corrispondenza della testa della vite è stato vincolato rigidamente ai nodi della corona che individuano la sede della testa. Il tratto filettato della vite è stato ugualmente modellato con elementi beam i cui nodi sono collegati rigidamente, mediante vincoli cinematici, ad una corona di nodi appartenenti alla madre vite. Lo schema tipico del collegamento delle viti è rappresentato in fig. 3-8.

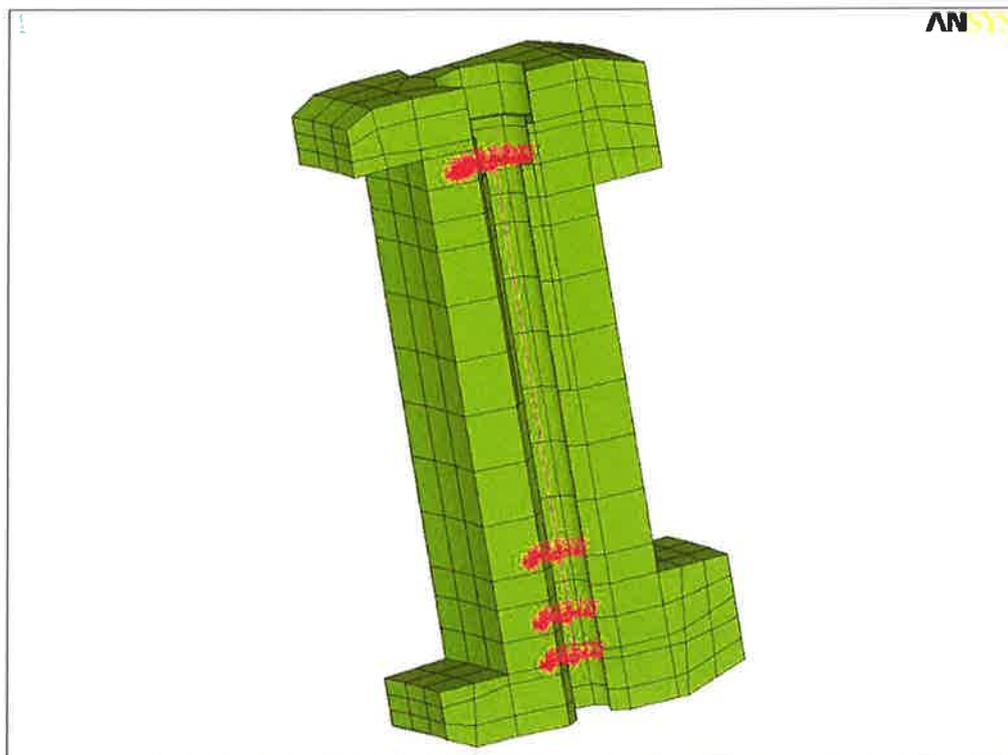


FIG. 3-8 - SCHEMA VITI

3.2.2. Materiali

Con riferimento ai materiali sintetici ortotropi costituenti la calotta, gli anelli e il cilindro dello snodo, la matrice di cedevolezza del materiale ($\varepsilon = C \cdot \sigma$) utilizzata nelle analisi è quella già definita al §2.1.

Come anticipato, le analisi svolte non tengono conto degli effetti di rigonfiamento sullo spessore dell'Orkot® in quanto trascurabili in confronto al valore dell'interferenza radiale di montaggio tra la calotta e le corone di trattenimento.

3.2.3. Sistema di riferimento ed unità di misura fondamentali

Il sistema di riferimento cartesiano globale ha origine nella mezzeria dell'asse del perno della paratoia, asse Z verticale verso l'alto, asse X orizzontale diretto dal mare verso la laguna ed asse Y trasversale tale da formare una terna destrorsa.

Le grandezze fondamentali in esame sono espresse con le seguenti unità di misura:

lunghezze: [metri]

masse: [tonnellate metriche]

forze: [kN]

Conseguentemente, per i risultati riportati nel seguito, salvo quando diversamente indicato, gli sforzi (o pressioni) sono espressi in [kPa, kN/m²], mentre gli spostamenti sono espressi in [m].

3.2.4. Vincoli

Il modello è stato vincolato a terra in corrispondenza del perno e delle orecchie del maschio. Tali elementi sono stati modellati come superfici rigide di contatto.

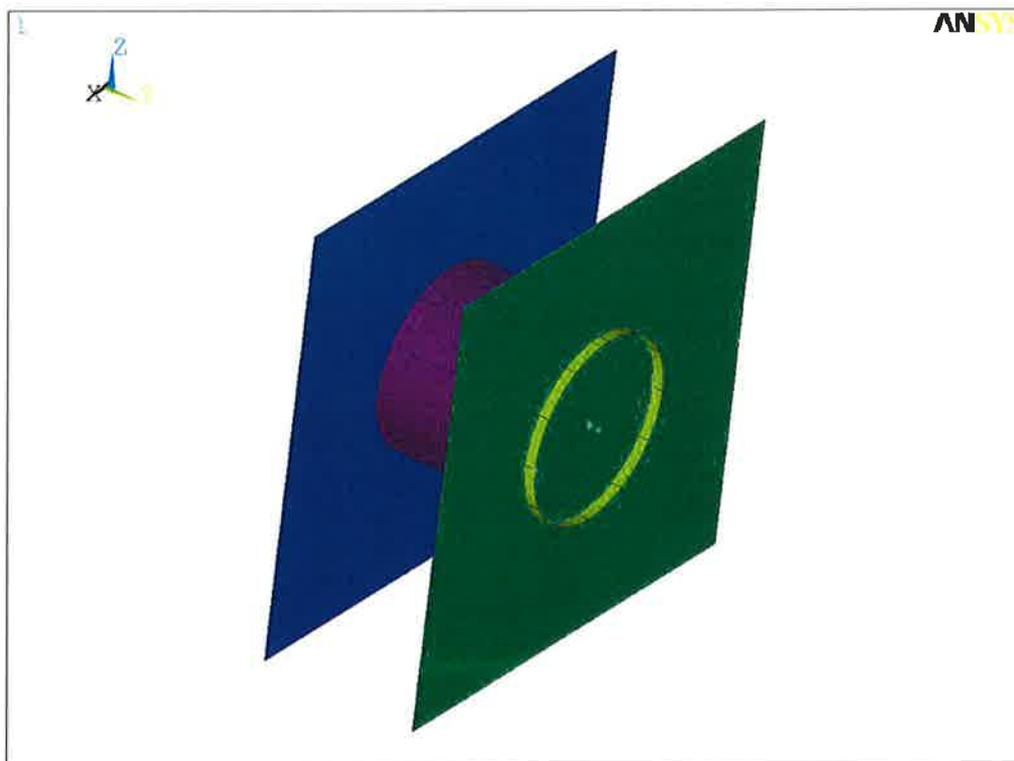


FIG. 3-9 - VINCOLI

Per semplicità di modellazione, gli anelli laterali di contenimento dello snodo fisso (di interfaccia con le orecchie del maschio) sono stati vincolati tangenzialmente in corrispondenza di 3 nodi posti a 120° sulla superficie cilindrica interna.

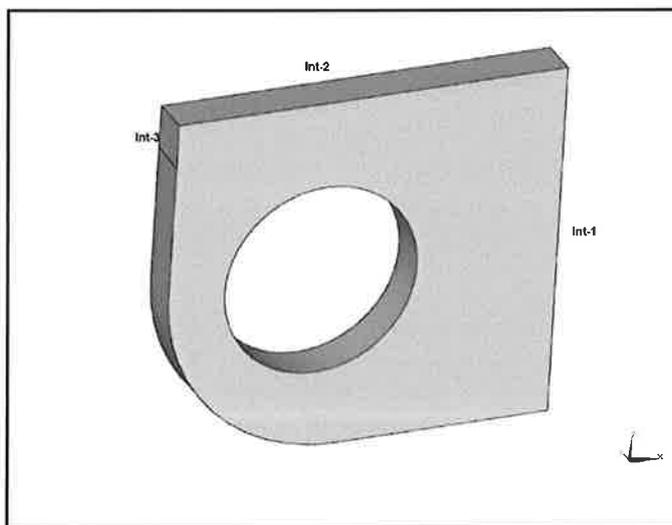
	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 34
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3.2.5. Carichi

Il precarico assiale delle viti è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a circa $-108\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le azioni trasmesse dalla paratoia lungo le superfici d'interfaccia della porzione modellata della pinna (fig. 3-10), sono state ricavate dal modello numerico della paratoia. Tale modello ha fornito la distribuzione di pressioni e forze nodali lungo le interfacce. Si individuano tre superfici di interfaccia, come evidenziato nello schema seguente. In particolare l'interfaccia n°1 è di superficie, mentre la n°2 e la n° 3 sono lineari, vanno cioè a coprire i due spigoli in cui il fasciame superiore incontra la lama della paratia. La condizione di carico esaminata è la C10 ($F_{\text{radiale}} = 8145\text{ kN}$, $F_{\text{assiale}} = 1000\text{ kN}$) valida per le verifiche SLU. In allegato 2 si descrivono:

- le coordinate dei nodi;
- le forze nodali presenti lungo le lungo le linee/aree di interfaccia;
- le risultanti lungo le linee/aree di interfaccia.



Le distribuzioni così ottenute sono state applicate sulle corrispondenti interfacce del modello del sistema di trattenimento oggetto della presente relazione. Poiché ovviamente i due modelli presentano mesh differenti, non è stato possibile applicare direttamente le forze nodali del primo modello ai nodi del secondo. Pertanto le forze nodali del primo modello sono state ricondotte ad una distribuzione di pressioni equivalenti; queste distribuzioni di pressioni sono state quindi applicate alle interfacce del modello globale del sistema di trattenimento dello snodo.

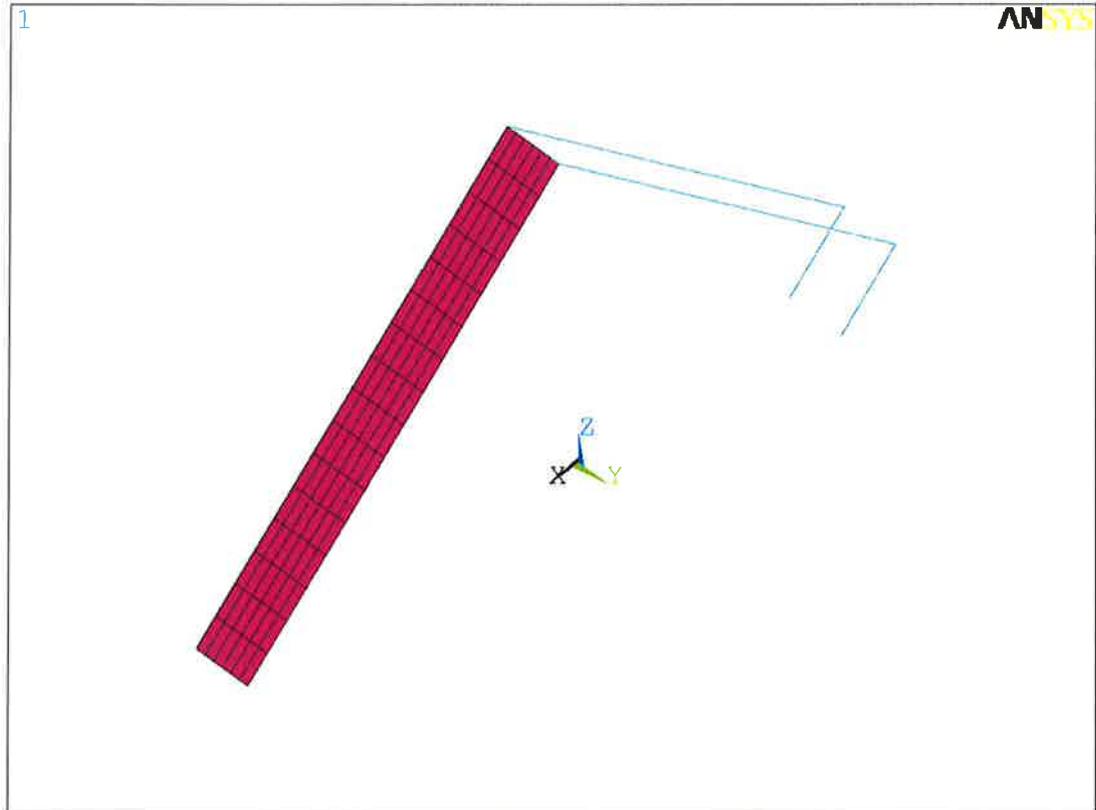


FIG. 3-10 - SUPERFICI/LINEE DI APPLICAZIONE DEI CARICHI

3.2.6. Tolleranze

Le analisi sono state condotte per due serie di possibili tolleranze, scelte tra i valori presentati al § 2.2.

Interfaccia	Direzione	Serie 1	Serie 2
		[μm]	[μm]
Corone – Pinna	Diametricale	180	80
Corone – Pinna	Assiale	300	150
Corone	Assiale	0	0
Corone – Calotta snodo	Diametricale	-580	-900

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 36
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Corone – Calotta snodo	Assiale	200	200
Boccola cilindrica snodo – Sfera	Diametrale	---	---
Perno – Boccola cilindrica snodo	Diametrale	710	415
Snodo – Orecchie maschio	Assiale	600	600

Nella tabella precedente, valori positivi indicano un gioco effettivo, mentre valori negativi indicano un'interferenza.

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 37
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3.3. Modelli locali

La complessità del modello globale del sistema di trattenimento, legata all'elevato numero di gradi di libertà e alle numerose superfici di contatto tra corpi indipendenti cinematicamente non vincolati, rende le analisi molto onerose. Ove si rende necessario uno studio puntuale dello stato di sforzo locale è pertanto necessario predisporre appositi modelli locali di dettaglio.

In questi casi si è fatto ricorso alla tecnica della sottomodellazione (funzionalità offerta dal codice di calcolo adottato), realizzando un modello locale della parte in esame, più raffinato e ricco di dettagli e discretizzato con elementi di grandezza compatibile con la geometria locale e adeguata allo studio dello stato di sforzo locale.

L'adozione di questi sotto-modelli permette, quindi, di rappresentare in modo più preciso le regioni di interesse studiandone lo stato di sforzo locale, senza aumentare inutilmente la dimensione computazionale del modello globale.

La tecnica di sottomodellazione implementata nel codice di calcolo e adottata nelle analisi consiste nel definire una o più regioni di confine / interfaccia tra il modello globale ed il sottomodello locale. Le condizioni al contorno, in termini di spostamenti e rotazioni, dei nodi appartenenti alla regione di interfaccia del modello locale vengono dedotte dal campo di spostamenti e rotazioni del modello globale. Poiché, ovviamente, la mesh dei due modelli è differente, e in generale quella del modello locale risulta più fitta, spostamenti e rotazioni dei nodi del sottomodello sono ricavati per interpolazione del campo di spostamenti dei nodi del modello globale discretizzato ed approssimato dalle funzioni di forma degli elementi secondo il principio tradizionale base del metodo degli elementi finiti. Le operazioni di interpolazione del campo di spostamenti dal modello globale al sottomodello locale sono eseguite in modo automatico dal programma di calcolo.

Pertanto, al termine delle analisi sul modello numerico globale (per le condizioni di carico interessate), il codice di calcolo valuta, a partire dal campo di spostamenti ottenuto e mediante interpolazione, le condizioni al contorno da imporre sulla frontiera di interfaccia del sotto-modello. La frontiera di quest'ultimo deve ovviamente trovarsi nella stessa posizione che avrebbe nel modello globale, ovvero nel medesimo sistema di riferimento globale.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 38
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

L'applicazione delle condizioni al contorno desunte per interpolazione dal modello globale, unitamente alla definizione della porzione dei carichi che eventualmente agiscono direttamente sugli elementi del sottomodello, induce nel sottomodello stesso il medesimo stato di sforzo su larga scala colto dal modello globale, ma la maggior ricchezza di dettagli modellati e la maggior raffinatezza della mesh permettono di cogliere in maniera più precisa lo stato di sforzo locale.

Si descrive nel seguito il sotto-modello implementato.

3.3.1. Modello Locale della corona di alloggiamento e trattenimento (ML 1)

Lo studio di dettaglio dello sforzo locale nella corona di alloggiamento e trattenimento laterale dello snodo, in particolare nelle zone di massimo sforzo, è stato condotto mediante un modello locale (ML_1).

Esso comprende un settore di anello meshato con elementi finiti quadratici di dimensioni minori rispetto a quelle utilizzate nel modello globale (circa 27500 elementi e 98000 nodi). In particolare la zona di raccordo in corrispondenza della fascia di battuta sulla calotta esterna dello snodo ($R = 8 \text{ mm}$) è stata meshata con elementi di dimensioni tali da poter descrivere in maniera adeguata la geometria del raccordo e poter cogliere fedelmente lo stato di sforzo locale (FIG. 3-12).

Il modello non include né elementi di contatto, né viti. Le analisi condotte sono di tipo elastico lineare.

 TRASPORTI	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 39
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

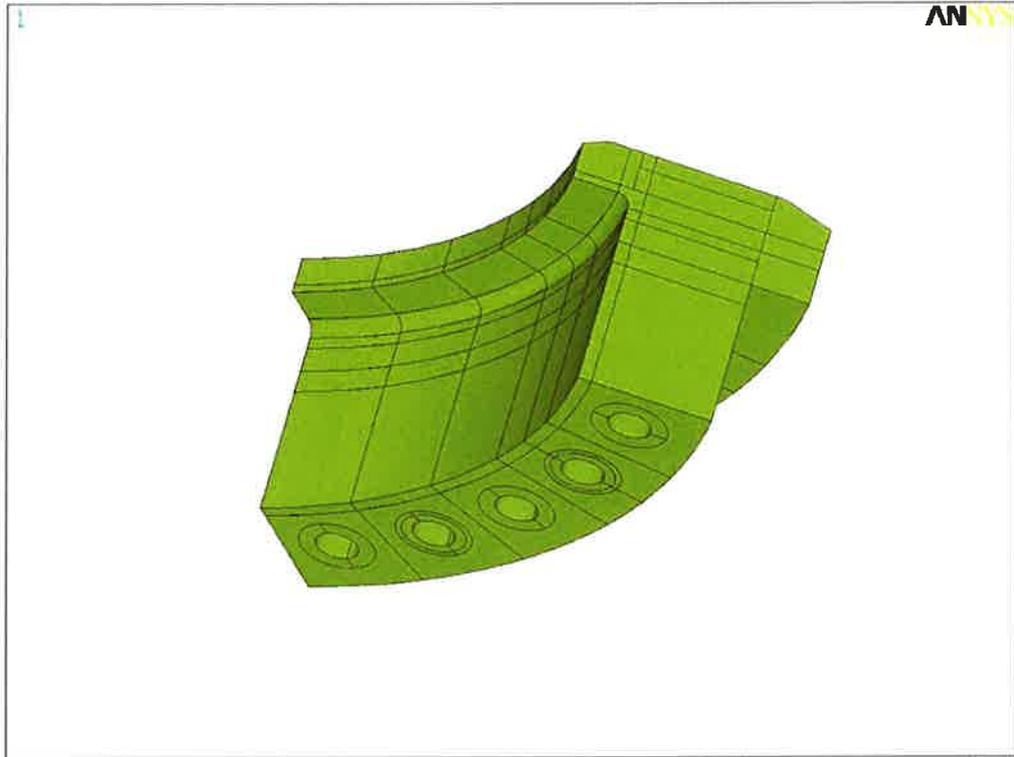


FIG. 3-11

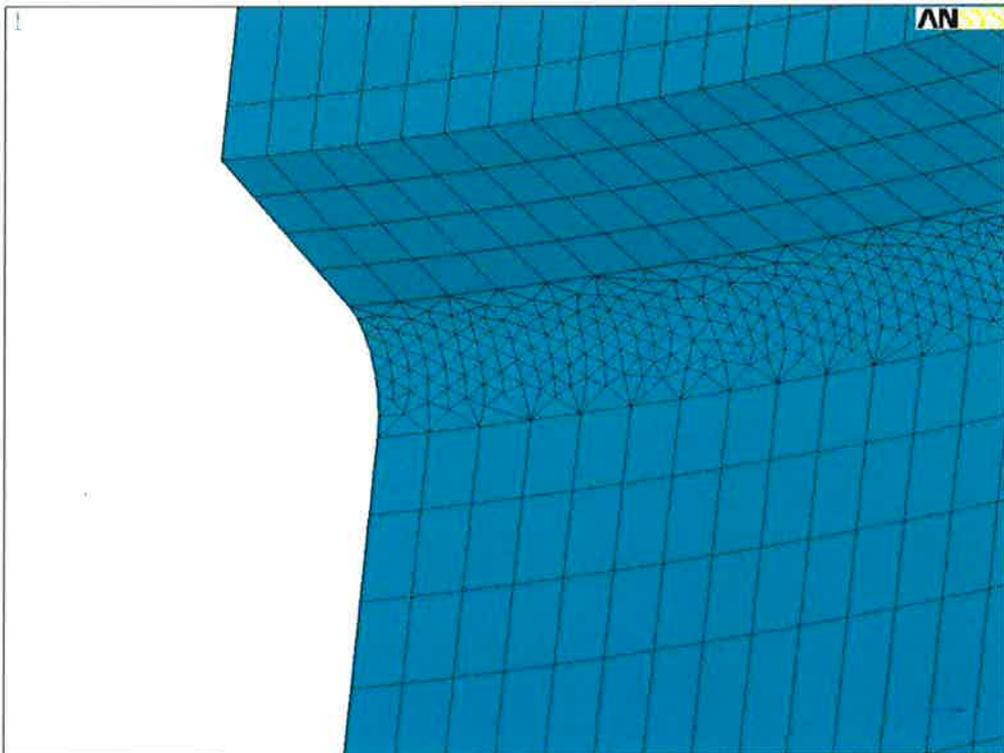


FIG. 3-12

Vincoli

Le superfici di interfaccia con gli altri corpi non modellati e le superfici di taglio dell'anello costituiscono le aree di frontiera del sottomodello; i nodi appartenenti a tali aree sono i nodi di frontiera.

Ai gradi di libertà traslazionali dei nodi di frontiera del sottomodello sono applicati gli spostamenti calcolati dal programma a partire dal campo di spostamenti ottenuto come soluzione delle analisi svolte sul modello globale, secondo i criteri descritti in §3.3. Le immagini seguenti evidenziano le regioni di interfaccia tra modello globale e modello locale (aree viola).



FIG. 3-13

Carichi

Il modello non include carichi applicati. Lo stato di sforzo è determinato dall'imposizione delle condizioni al contorno cinematiche.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 41
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3.4. Riassunto dei modelli implementati

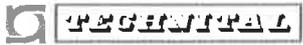
Si riassumono nella seguente tabella i modelli ad elementi finiti implementati e gli utilizzi di ciascun modello ai fini delle verifiche.

Codice	Descrizione Modello	Modello dal quale sono tratte le cond. al contorno	Utilizzo
MG_0	Globale intero	-	analisi strutturale sistema di trattenimento
ML_1	Locale - settore corona di trattenimento	MG_0	Analisi stato di sforzo locale corona

Tutti i modelli includono materiali esclusivamente di tipo elastico-lineare.

Per i modelli MG_0 sono state condotte analisi statiche non-lineari, ove la non linearità è determinata dalla necessità di modellare i contatti monolateri.

Le analisi condotte con tutti gli altri modelli locali e di dettaglio sono di tipo statico elastico lineare.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 42
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

3.5. Combinazioni di carico agli Stati Limite Ultimi

Le verifiche agli SLU sono state condotte con riferimento alla combinazione di carico C10, in quanto più gravosa per la presenza della massima forza radiale sullo snodo. La combinazione è stata analizzata sia in presenza che in assenza di variazione termica nello snodo.

3.6. Combinazioni di carico allo Stato Limite di Fatica

Per le verifiche a fatica del connettore si è fatto riferimento alle azioni cicliche trasmesse dalla paratoia, dovute al moto ondoso (§2.3).

A ciascuna classe corrispondono 4 possibili direzioni delle forze oscillanti orizzontali e verticali, derivanti dalla permutazione dei segni di tali forze. Alle componenti oscillanti delle forze trasmesse dalla paratoia (spettro precedente) sono state sommate le componenti statiche di forza orizzontale e verticale dovuti agli effetti di marea concomitanti; si ottengono in tal modo 4 condizioni di carico per ciascuna classe, caratterizzate da un diverso valore di risultante radiale e di direzione.

In funzione della classe di carico e dell'entità della marea associata, la risultante radiale presenta una diversa frequenza di occorrenza nei 4 quadranti di carico. Quando si hanno forze da moto ondoso di bassa intensità, prevale l'effetto statico e quindi l'orientamento della forza radiale risultante è maggiormente vincolato (insistenza su 1 o massimo 2 quadranti). Al crescere della componente oscillante, la risultante, sebbene con diversa intensità, può ricadere in tutti e 4 i quadranti.

Le percentuali indicate nella tabella che segue sono state stimate a partire dai dati registrati nel corso delle prove su modello fisico di Voltabarozzo, per un tratto di barriera di Chioggia e di Treporti, e più in particolare:

- Studio B.6.53 - Modello fisico in scala 1:30 di un tratto di barriera di Chioggia
Prove: A12 – ES02 – ES21.
- Studio B.7.03/I - Modello fisico in scala 1:30 di un tratto di barriera di Treporti
Prove: 273 e 416.

Classe	Marea	Cicli	ΔF_h	ΔF_v	F_h statica	F_v statica	ΔF assiale	quad 1	quad 2	quad 3	quad 4
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	+0.30	450000	± 125	± 125	375	-375	300		100		
2		65000	± 250	± 250	375	-375			100		
3		30000	± 375	± 375	375	-375			100		
4		12000	± 500	± 500	375	-375		25	25	25	25
5		5000	± 625	± 625	375	-375	500	25	25	25	25
6		1500	± 750	± 750	375	-375		25	25	25	25
7		1000	± 1000	± 1000	375	-375		25	25	25	25
8		150	± 1250	± 1250	375	-375	700	25	25	25	25
9		100	± 1500	± 1500	375	-375		25	25	25	25
10		50	± 1750	± 1750	375	-375		25	25	25	25
11	+0.70	1500	± 125	± 125	875	-500	300		100		
12		7000	± 250	± 250	875	-500			100		
13		7000	± 375	± 375	875	-500			100		
14		5000	± 500	± 500	875	-500	500		100		
15		4500	± 625	± 625	875	-500		50	50		
16		2000	± 750	± 750	875	-500		50	50		
17		2000	± 1000	± 1000	875	-500	700	25	25	25	25
18		1000	± 1250	± 1250	875	-500		25	25	25	25
19		800	± 1500	± 1500	875	-500		25	25	25	25
20		250	± 1750	± 1750	875	-500		25	25	25	25
21		200	± 2000	± 2000	875	-500		25	25	25	25
22		150	± 2250	± 2250	875	-500		25	25	25	25
23		50	± 2500	± 2500	875	-500		25	25	25	25
24		50	± 2750	± 2750	875	-500		25	25	25	25
25		50	± 3000	± 3000	875	-500		25	25	25	25
26		10	± 3250	± 3250	875	-500		25	25	25	25

Per ciascun livello di variazione di forza assiale sullo snodo (300 / 500 / 700 kN), sono state valutate le azioni radiali minime e massime trasmesse dalla paratoia, concomitanti ai 3 valori di azione assiale. In tal modo sono state individuate 6

condizioni di carico, tutte analizzate mediante il modello numerico globale (v. tabella seguente).

F_A	F_{R_min}	F_{R_max}
[kN]	[kN]	[kN]
300	100	1526
500	280	2050
700	515	5575

Lo stato di sforzo per le altre condizioni di carico intermedie è stato dedotto per interpolazione lineare, in funzione della forza radiale associata al valore di forza assiale in esame.

4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

4.1. Criteri di verifica per i componenti in acciaio

Le verifiche di resistenza agli Stati Limite Ultimi sono state condotte confrontando lo stato di sforzo puntuale secondo la definizione di Von Mises con la tensione ammissibile del materiale. Le verifiche dei bulloni sono condotte mediante l'approccio ingegneristico.

I valori ammissibili di tensione sono dettagliati per ciascun elemento strutturale al § 1.4. Gli sforzi plottati nelle immagini seguenti sono espressi in kPa.

4.2. Bulloni

Le sollecitazioni massime nei bulloni si riscontrano per la combinazione C10, con i valori di tolleranze della serie 2 e coefficiente di attrito $\mu=0.3$ per il materiale Orkot ®. La figura seguente mostra le azioni assiali nei bulloni.

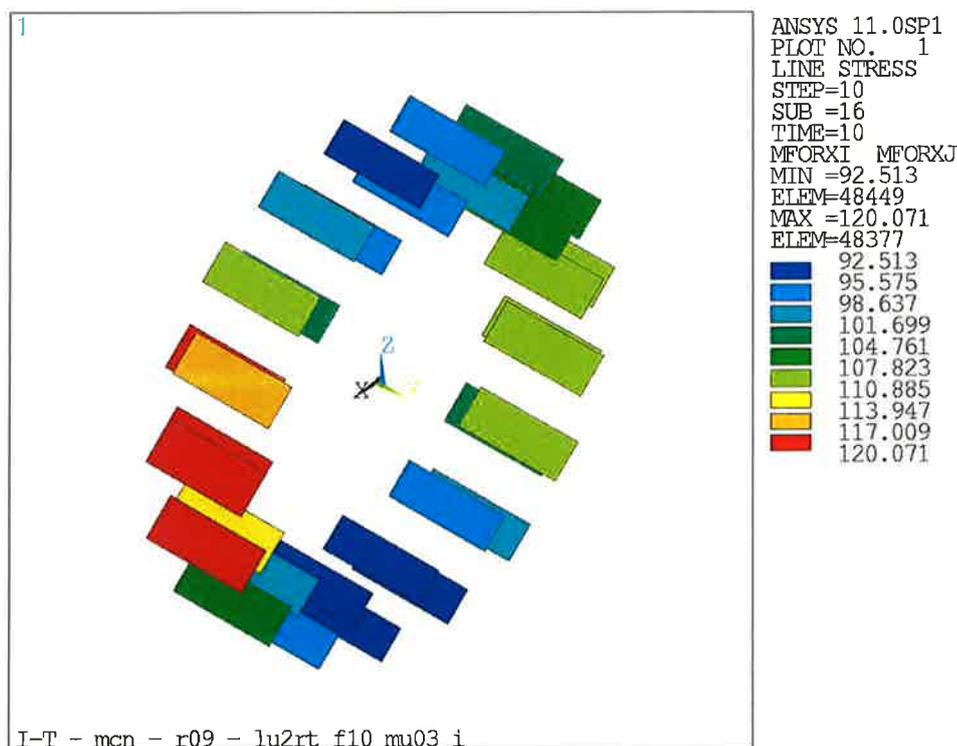
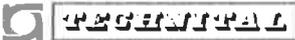


FIG. 4-1 BULLONI – AZ. ASSIALI [kN] – C10, $F_a = 1000 \text{ kN} + \text{DT}$, $m=0.3$, i_2

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 46
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

L'azione nel bullone più caricato è pari a:

$$F_{b_N} = 1.2 \times 90 \text{ kN} + (120 \text{ kN} - 90 \text{ kN}) = 108 + 30 = 138 \text{ kN}$$

ove 90 kN è il valore di precarico del bullone, 30 kN è l'incremento dell'azione assiale per effetto dei carichi applicati.

Le flessioni parassite nei bulloni inducono degli sforzi pari a 83.2 MPa nel bullone più sollecitato. Si stima la forza assiale equivalente pari a:

$$F_{b_M} = 8.32 \text{ kN/cm}^2 \times 3.53 \text{ cm}^2 = 29.4 \text{ kN}$$

Si ha quindi:

$$(F_{b_N} + F_{b_M}) / F_{t_Rd} = (138 + 29.4) / 178 = 168 / 178 = 0.944 < 1$$

con

$$F_{t_Rd} = 0.9 \times 70.0 \text{ kN/cm}^2 \times 3.53 \text{ cm}^2 / 1.25 = 178 \text{ kN}$$

Il valore di taglio nel bullone più sollecitato è pari a 0.6 kN, valore trascurabile.

4.3. Corone di trattenimento

Si riporta nel seguito un'immagine degli sforzi equivalenti di von Mises presenti nelle corone di trattenimento dello snodo, con riferimento alla combinazione di carico per la quale risultano più impegnati (C10 + ΔT, tolleranze "serie 2").

 VEGETTA	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 47
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

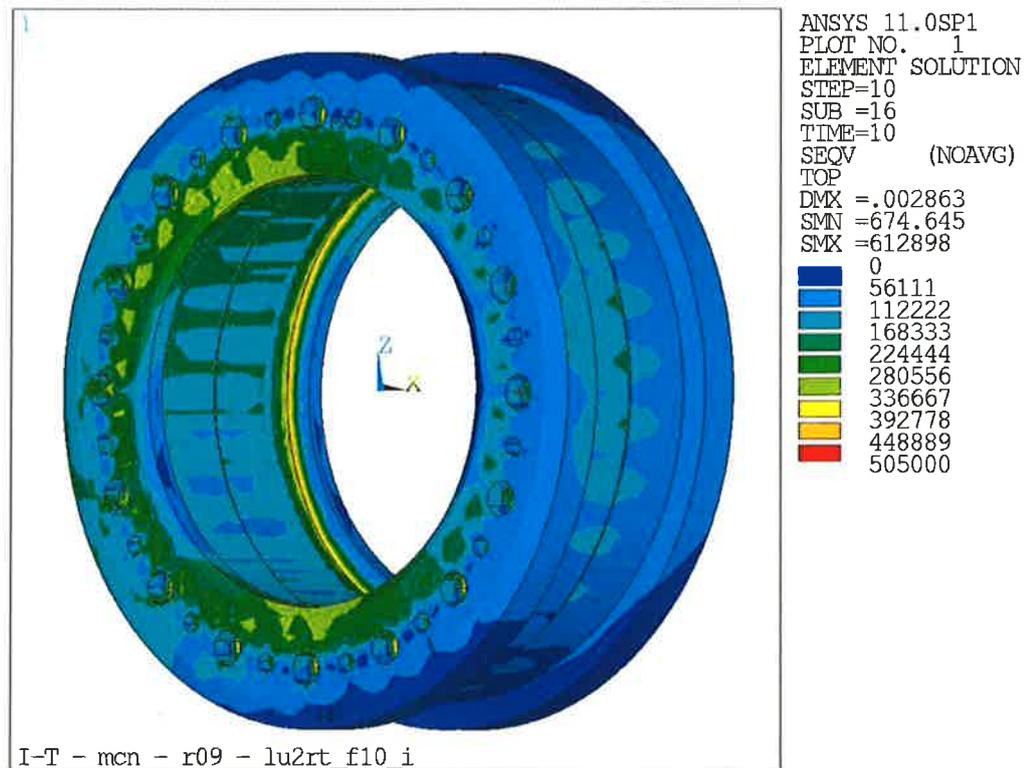


FIG. 4-2 -CORONE - SFORZI EQUIV. [KPA] – C10, FA = 1000 kN + DT, I2

La tensione massima è pari a circa 613 MPa. Tale valore si manifesta in corrispondenza di un punto angolare alla base della sede della testa dei bulloni.

Lo stato di sforzo nella zona del raccordo tra le superfici di battuta con lo snodo è stato valutato anche con il modello locale di un settore del solo anello di trattenimento descritto al §3.3.1. L'immagine seguente mostra il plottaggio dello sforzo equivalente di von Mises nella zona del raccordo. Lo sforzo massimo è pari a circa 762 MPa. L'immagine di fig. 4-4 mostra che le zone di superamento della tensione limite di progetto si limitano ad una zona corticale estremamente superficiale. Le verifiche di resistenza si ritengono ugualmente soddisfatte tenendo conto che le plasticizzazioni interessano solo una minima parte dello spessore.

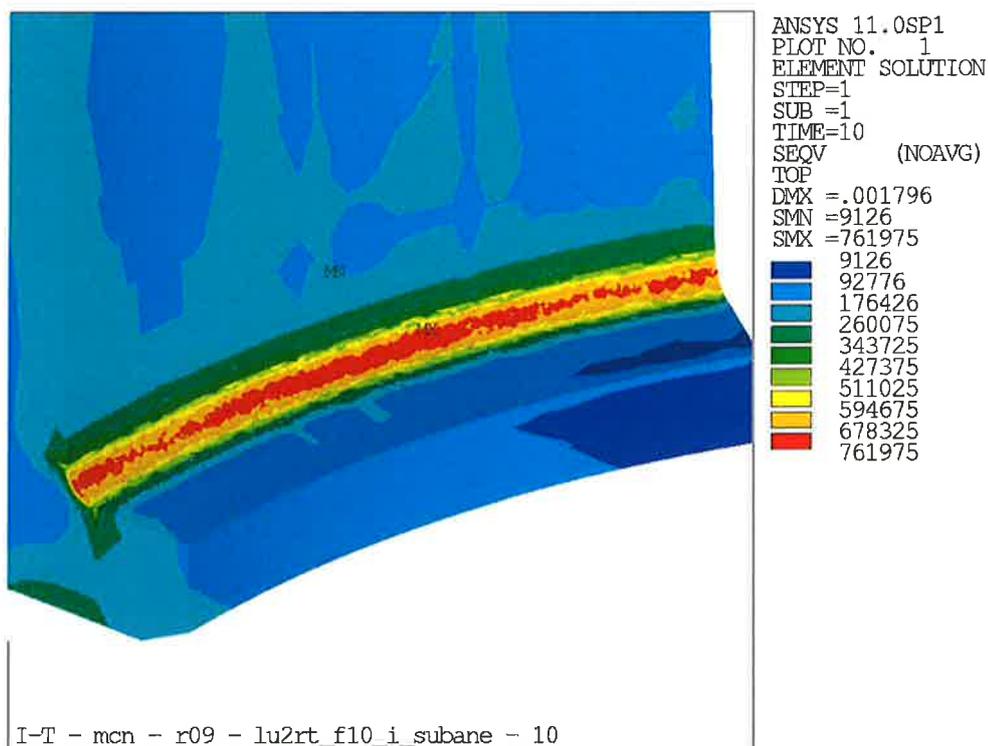


FIG. 4-3 – CORONE – RACCORDO R8 - SFORZI EQUIVALENTI [KPA] – C10, FA = 1000 kN + DT, I2

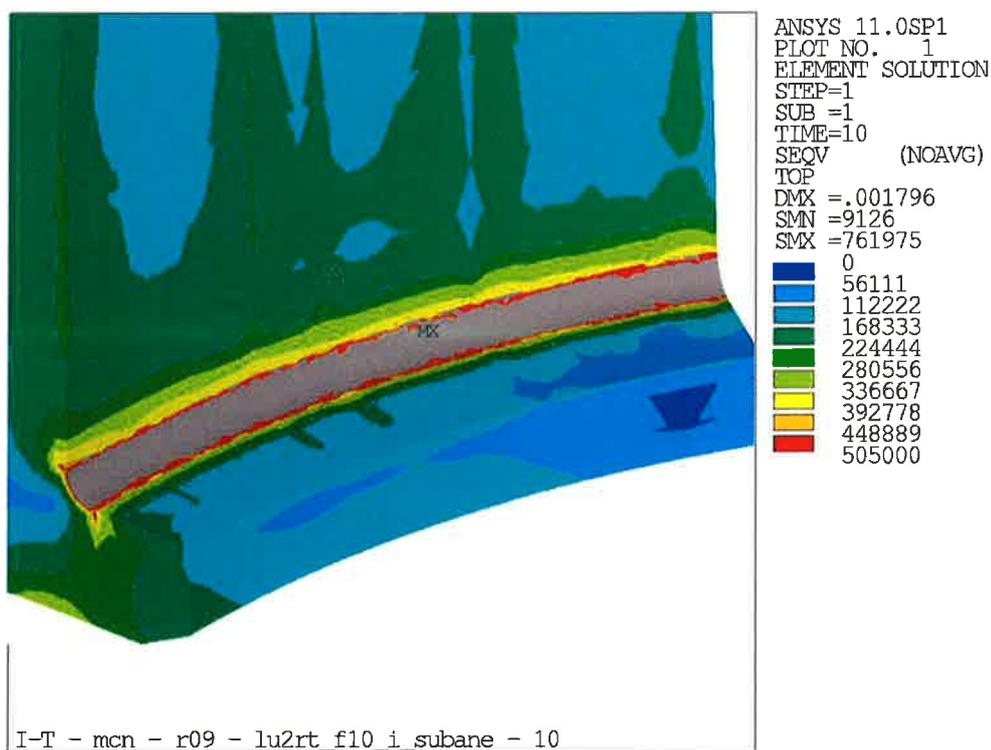
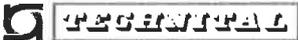


FIG. 4-4 – CORONE – RACCORDO R8 - SFORZI EQUIVALENTI [KPA] – C10, FA = 1000 kN + DT, I2

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 49
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

La fig. 4-5 mostra invece lo stato tensionale nel medesimo dettaglio in assenza di variazioni termiche. Lo sforzo massimo è pari a circa 482 MPa.

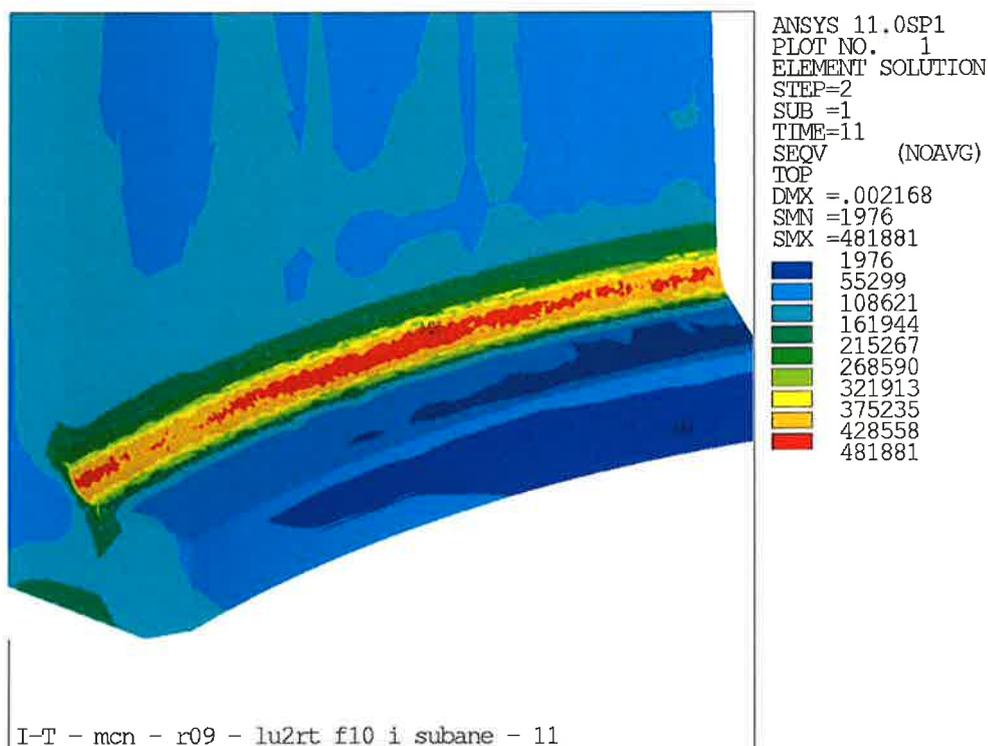


FIG. 4-5 – CORONE – RACCORDO R8 - SFORZI EQUIVALENTI [kPA] – C10, FA = 1000 kN, i2

L'immagine seguente (fig. 4-6) mostra la distribuzione di pressioni di contatto tra le corone di trattenimento e le superfici di battuta laterale, con la calotta esterna dello snodo (anelli interni di diametro minore) e con la paratia (anelli esterni di diametro maggiore).

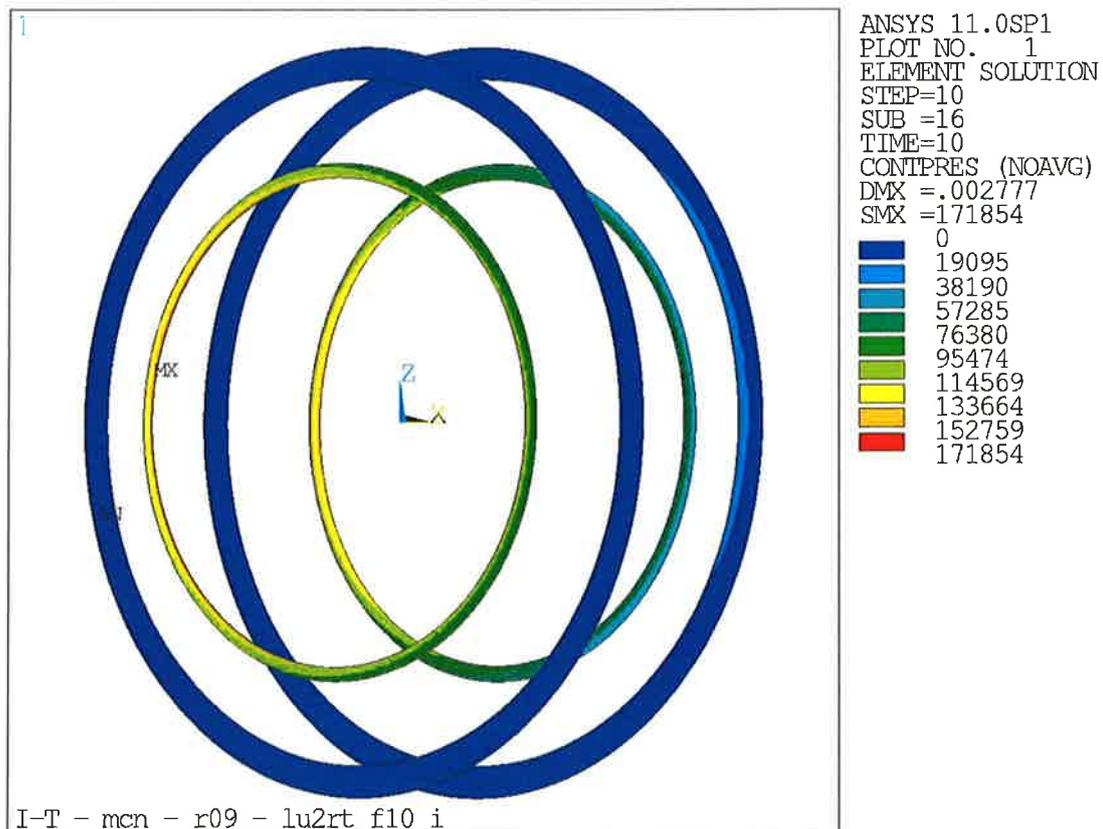


FIG. 4-6 -CORONE – PRESSIONI DI CONTATTO LATERALI [KPA] – C10, FA=1000 kN + DT, I2

La massima pressione di contatto laterale riscontrata sulla calotta dello snodo è pari a circa 172 MPa, mentre la massima pressione di contatto presenti sulle imbullatura laterali della paratia è pari a 49 MPa (non rappresentata in figura).

L'immagine seguente (fig. 4-7) mostra la distribuzione delle pressioni di contatto tra le corone di trattenimento e la superficie cilindrica di alloggiamento nel foro della paratia. Il massimo valore di pressione è pari a 118 MPa.

Il plottaggio mostra che le pressioni si manifestano in un settore ove si realizza la battuta tra la paratia e le corone. Inoltre, la presenza della forza assiale tende ad aprire gli anelli generando una torsione della corona, la quale a sua volta determina una concentrazione delle pressioni in corrispondenza del bordo della paratia.

 REGENTAL	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 51
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

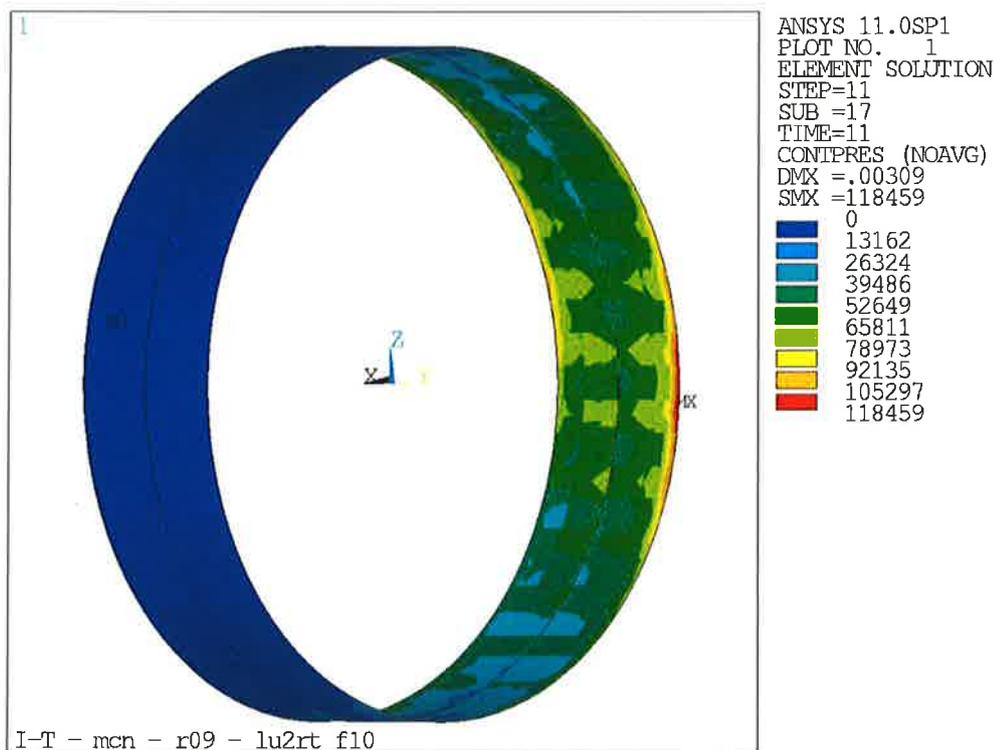


FIG. 4-7 -CORONE – PRES. DI CONTATTO LATO PARATIA[KPA] – C10, FA=1000 kN + DT, I1

L'immagine seguente (fig. 4-8) mostra la distribuzione delle pressioni di contatto tra le corone e la superficie cilindrica di alloggiamento dello snodo. Il massimo valore di pressione è pari a circa 145 MPa. La zona maggiormente impegnata interessa un solo settore della calotta ove si realizza la battuta con le corone. Nello spessore, poi, le pressioni massime si localizzano nella zona centrale, sebbene siano in parte disassate rispetto al piano di mezzeria della paratia a causa della presenza della forza assiale.

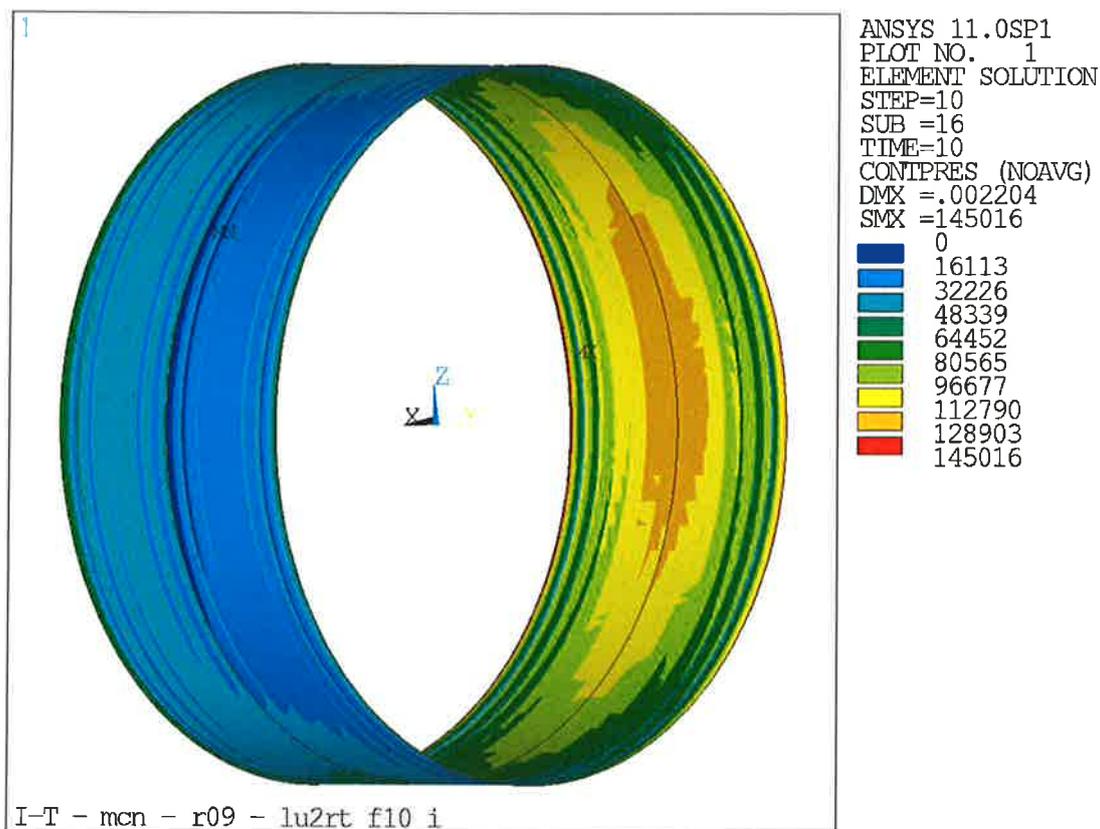


FIG. 4-8 -CORONE – PRESSIONI DI CONTATTO LATO SNODO [kPA] – C10, FA=1000 kN + DT, I2

4.4. Meccanismo antirotazione

Si riportano nel seguito le verifiche di resistenza del meccanismo di antirotazione delle corone di trattenimento laterale dello snodo nei confronti di un momento torcente agente attorno all'asse del perno. Tale momento è generato dalle forze di attrito che si oppongono al movimento della paratoia. Poiché tali azioni taglienti, distribuite lungo la superficie di strisciamento, sono proporzionali alla forza radiale concomitante esercitata dalla paratoia, cautelativamente le verifiche sono state condotte con riferimento alla forza radiale massima prevista alla barriera di Chioggia.

$$F_r = 8145 \text{ kN} \quad (\text{valore SLU})$$

Assumendo, a favore di sicurezza, un valore di attrito statico pari a 0.15 tra perno e boccia cilindrica interna dello snodo, si ha:

$$M_{\text{tor}} = 0.15 \times 8145 \text{ kN} \times 0.2 \text{ m} = 244.4 \text{ kNm}$$

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 53
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Il meccanismo antirotazione è costituito da una spina passante nella paratia della paratoia, composta da due pezzi cilindrici sagomati opportunamente in testa per essere bloccati meccanicamente nell'asola predisposta su ciascuna corona .

L'azione di taglio massima agente sull'area di taglio di una spina pari a:

$$F_T = 2/3 \times 244.4 \text{ kNm} / 0.54\text{m} = 302 \text{ kN}$$

valutata tenendo conto di una distribuzione non uniforme del momento torcente tra i due anelli (2/3 – 1/3).

Lo sforzo di taglio è pari a:

$$\tau = 302\text{kN} / (4.5\text{cm} \times 6.6\text{cm}) = 102 \text{ MPa} < 292 \text{ Mpa}$$

La pressione di contatto è pari a:

$$\sigma = 302\text{kN} / (4.0\text{cm} \times 6.6\text{cm}) = 114 \text{ MPa} < 505 \text{ Mpa}$$

La forza radiale massima allo SLE è invece pari a:

$$F_r = 4025 \text{ kN} \quad (\text{valore SLE})$$

da cui l'azione di taglio massimo su ciascuna parte di spina è pari a:

$$F_T = 302 \text{ kN} \times 4025 / 8145 = 149 \text{ kN}$$

La forza di contatto del perno sulla paratia, tenuto conto dei bracci di leva è pari a 303 kN.

La resistenza a rifollamento è pari a:

$$F_{b,Rd,ser} = 0.6 \times 8.0 \text{ cm} \times 4.5 \text{ cm} \times 28.5 \text{ kN/cm}^2 / 1.00 = 616 \text{ kN} > 303 \text{ kN}$$

Le tensioni di contatto sono pari a:

$$\sigma_{h,Ed} = 0.591 \cdot \sqrt{(210\text{GPa} \cdot 303\text{kN} (38\mu\text{m}) / 45\text{mm} / (80\text{mm})^2)} = 54 \text{ MPa} < f_{h,Ed}$$

$$f_{h,Ed} = 2.5 \times 285 / 1.0 = 713 \text{ MPa}$$

4.5. Snodo

Le analisi numeriche svolte sul modello globale forniscono indicazioni in merito allo stato di sollecitazione presente anche nei componenti dello snodo. Non disponendo dei criteri di verifica applicabili per il materiale sintetico tipo Orkot®, nel seguito si riportano, a titolo informativo, solo alcune immagini dello stato di sforzo riscontrato per una condizione di carico caratteristica fra quelle analizzate.

Per le verifiche di questi componenti si rimanda pertanto alla documentazione tecnica prodotta dal fornitore dello snodo.

4.5.1. Calotta

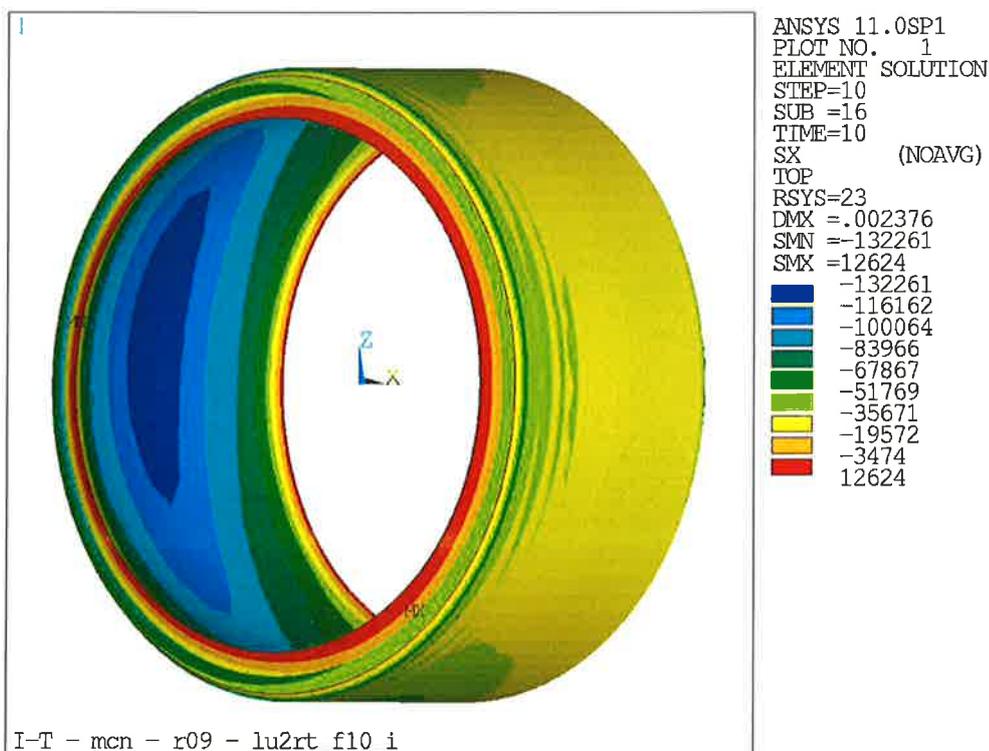


FIG. 4-9 - CALOTTA – SFORZI RADIALI [kPA] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, I2

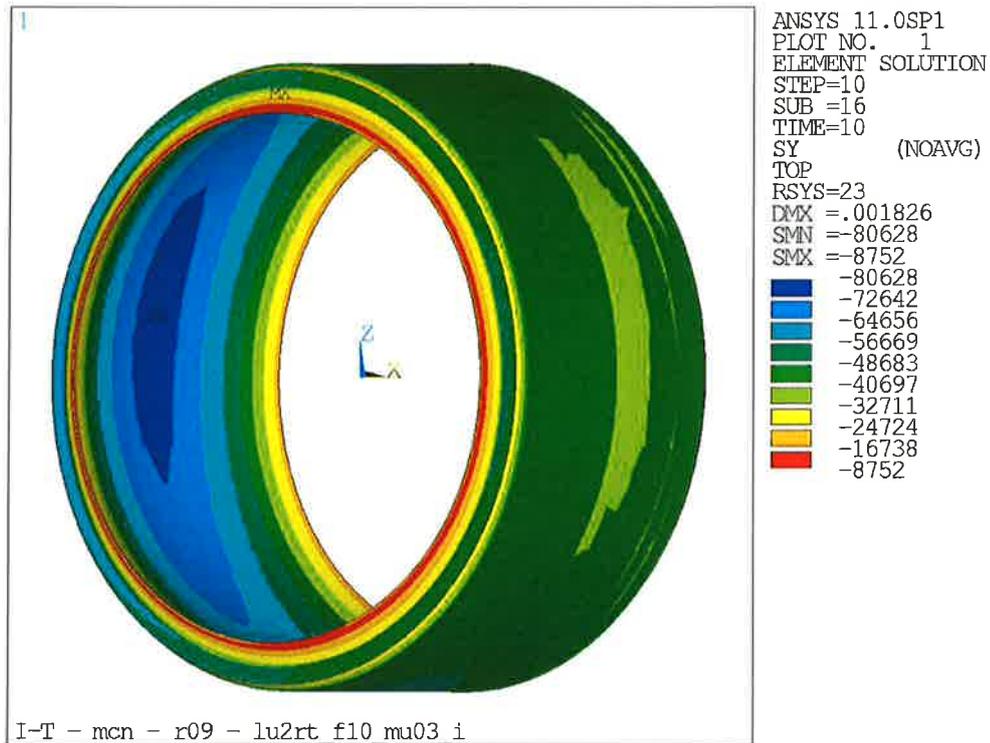


FIG. 4-10 - CALOTTA - SF. CIRCONF. [kPA] - COND. C10, FA = 1000 kN + Dt, M=0.3, i2

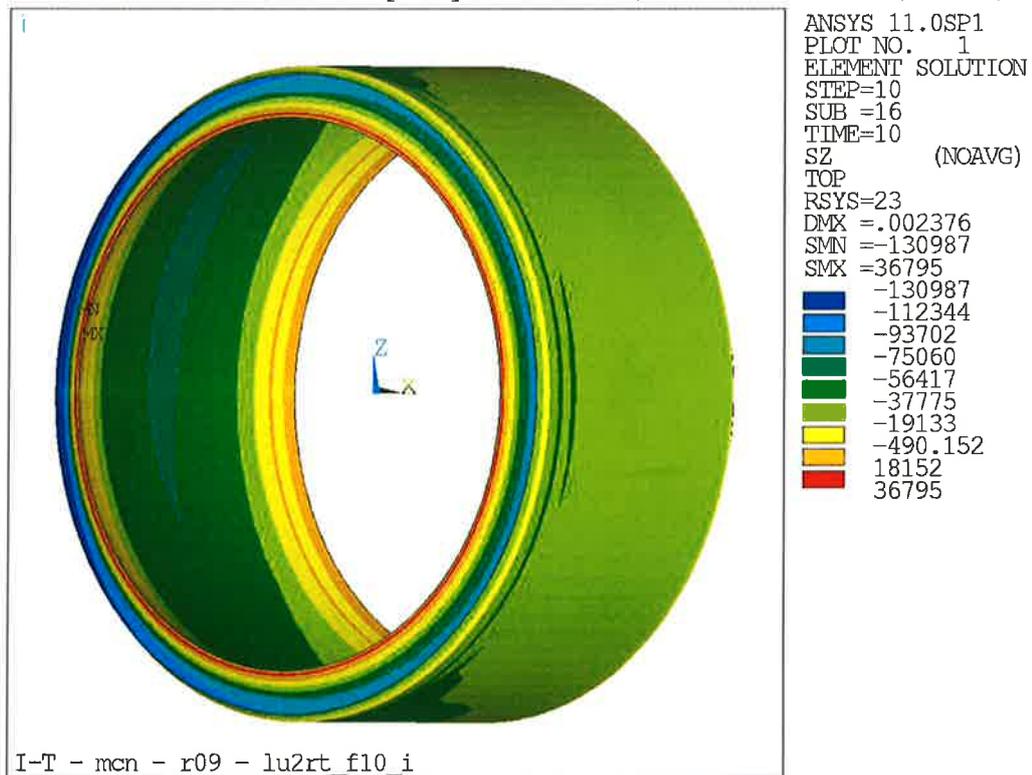


FIG. 4-11 - CALOTTA - SFORZI ASSIALI [kPA] - COND. C10, FA = 1000 kN + Dt, i2

 GENERAL	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 56
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

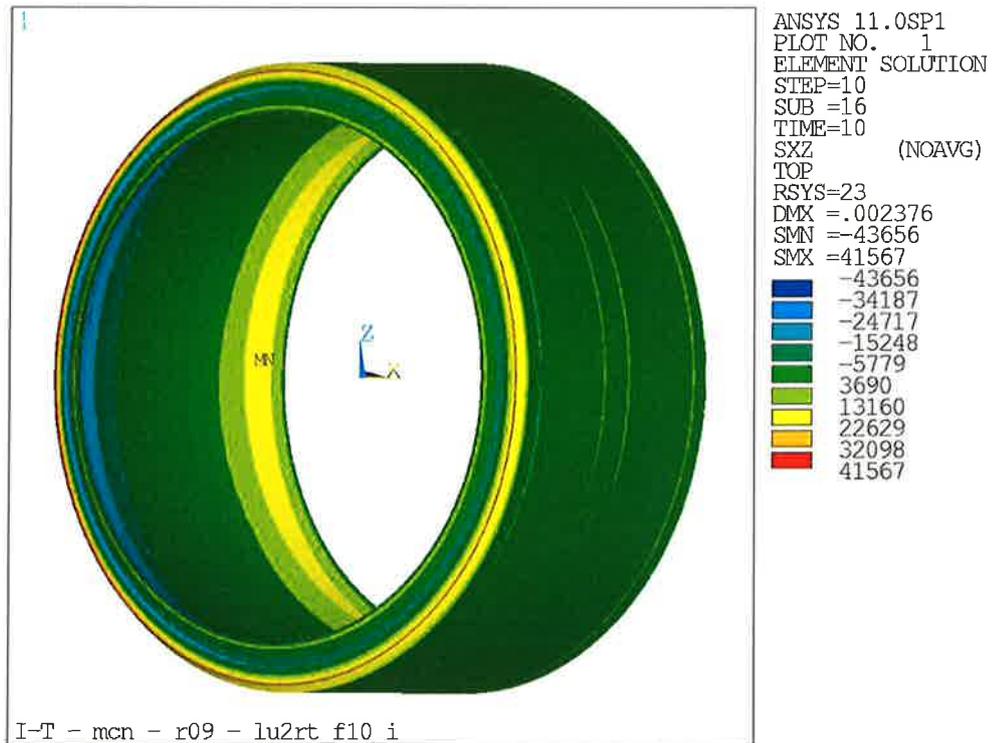


FIG. 4-12 - CALOTTA – SFORZI TAGLIO (XZ) [kPa] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, I2

Gli sforzi massimi riscontrati nella calotta cilindrica sono pari a -132 MPa di compressione radiale, -81 MPa di compressione e +16 MPa di trazione circonferenziale (non rappresentato), -131 Mpa di compressione e +37 MPa di trazione assiale e 44MPa di taglio.

4.5.2. Corpo sferico

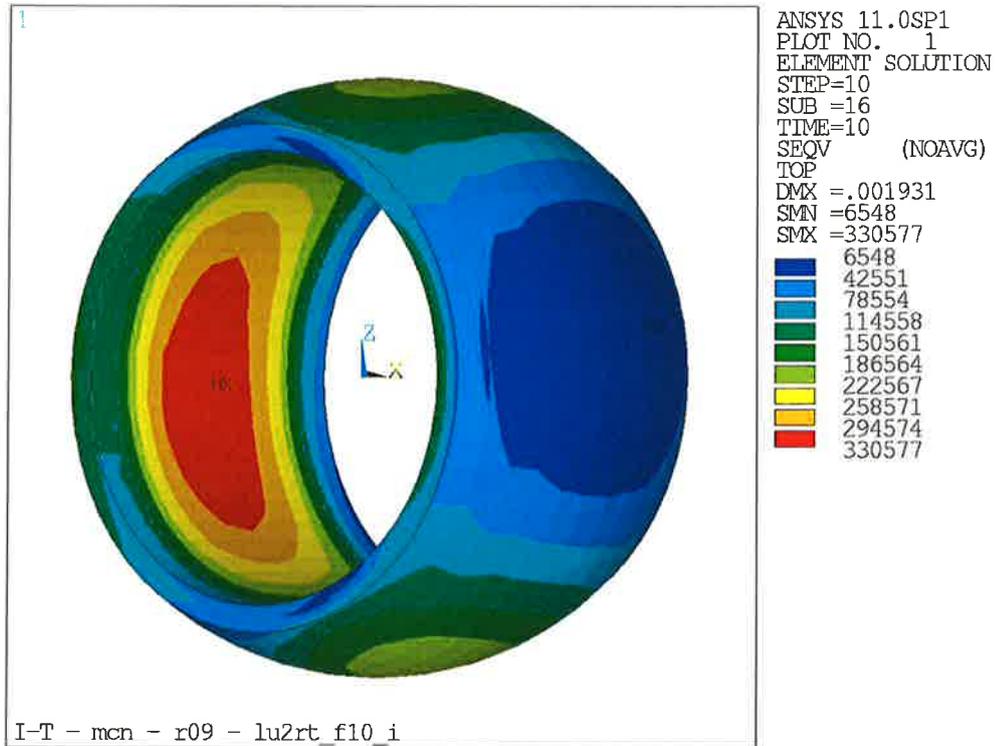


FIG. 4-13 - SFERA – SFORZI EQUIVALENTI [KPA] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, I2

Lo sforzo massimo nel corpo sferico dello snodo è pari a 331 MPa.

4.5.3. Boccola cilindrica

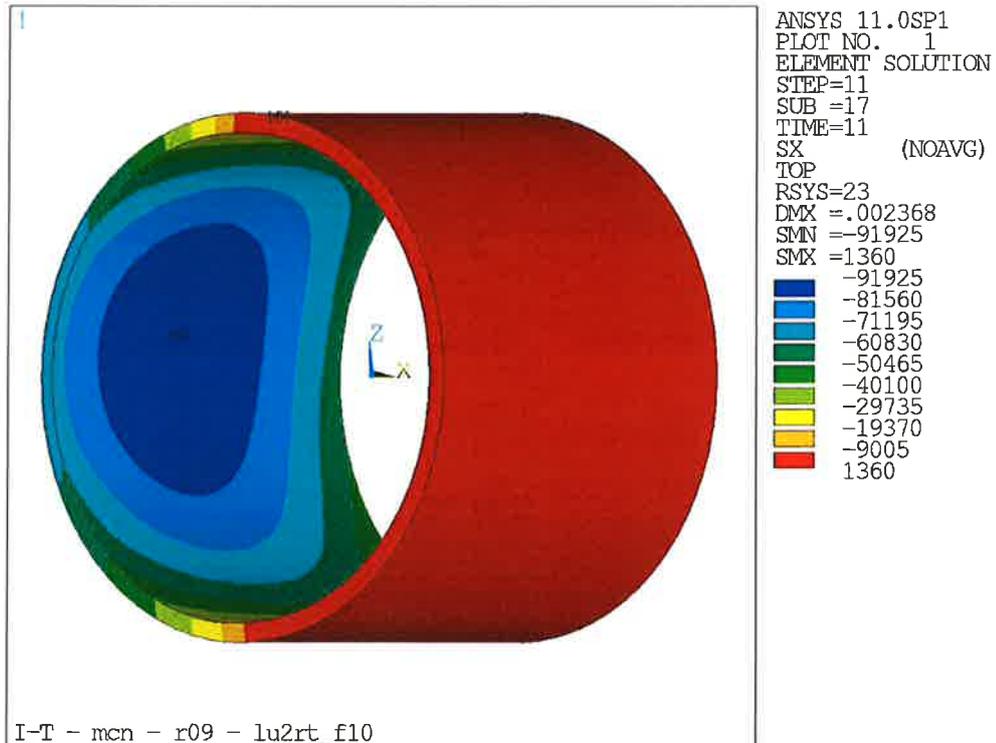


FIG. 4-14 - CILINDRO – SFORZI RADIALI (X) [kPA] – COND. C10, FA = 1000 kN, I1

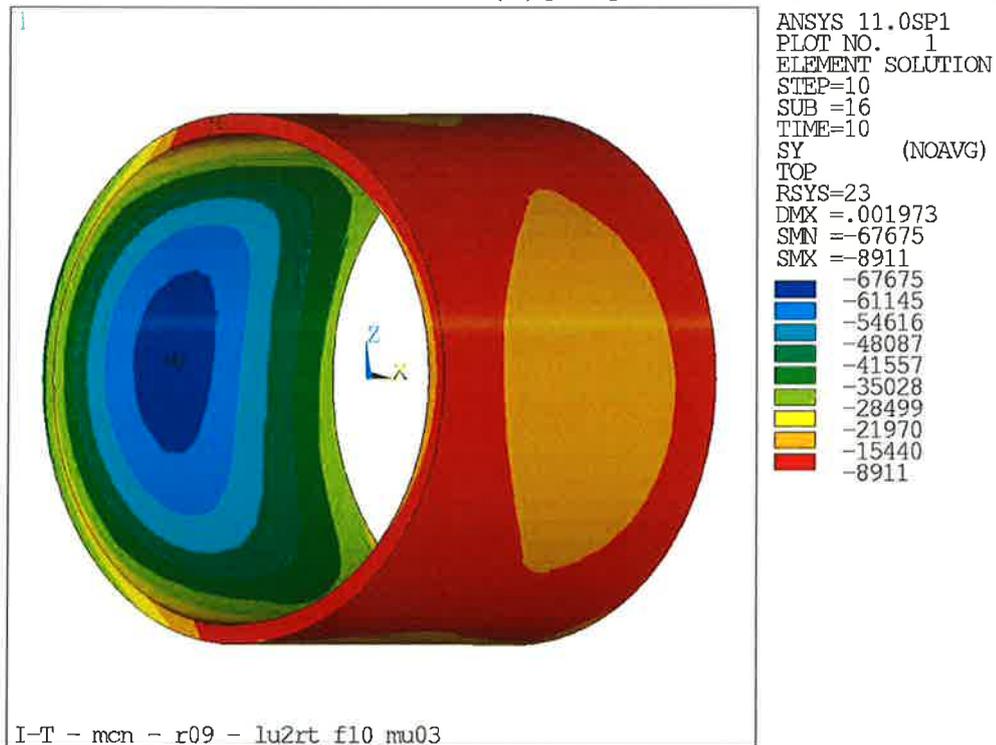


FIG. 4-15 - CIL. – SFORZI CIRC. (Y) [kPA] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, M= 0.3

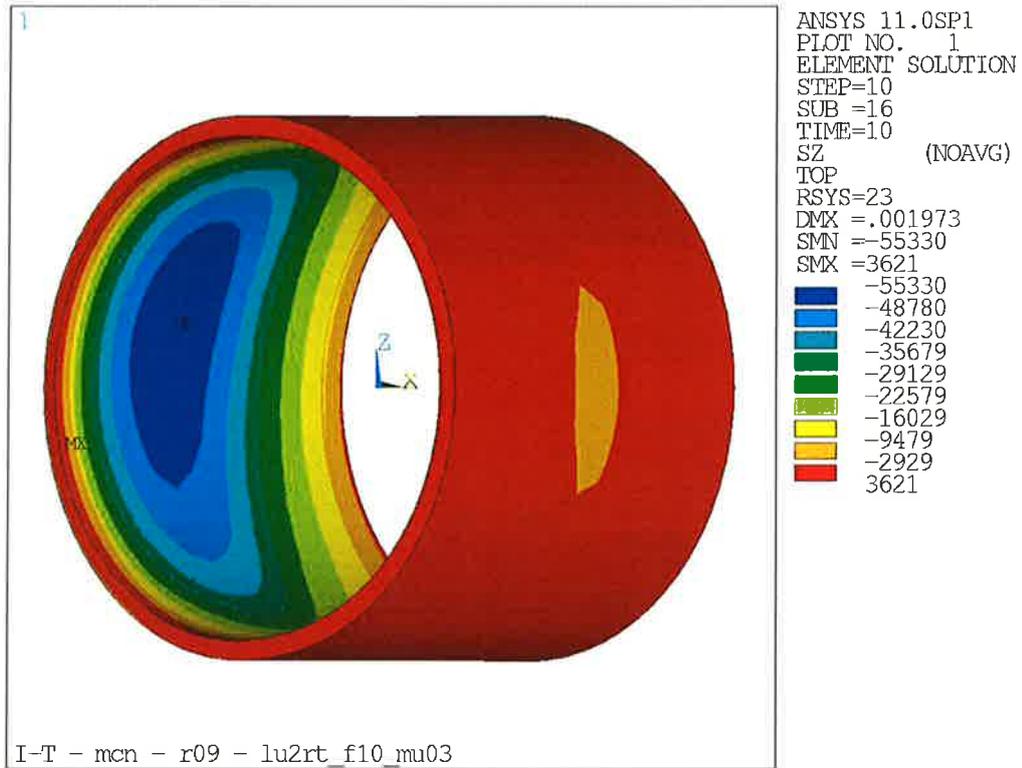


FIG. 4-16 - CIL. – SFORZI ASSIALI (Z) [kPA] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, M= 0.3

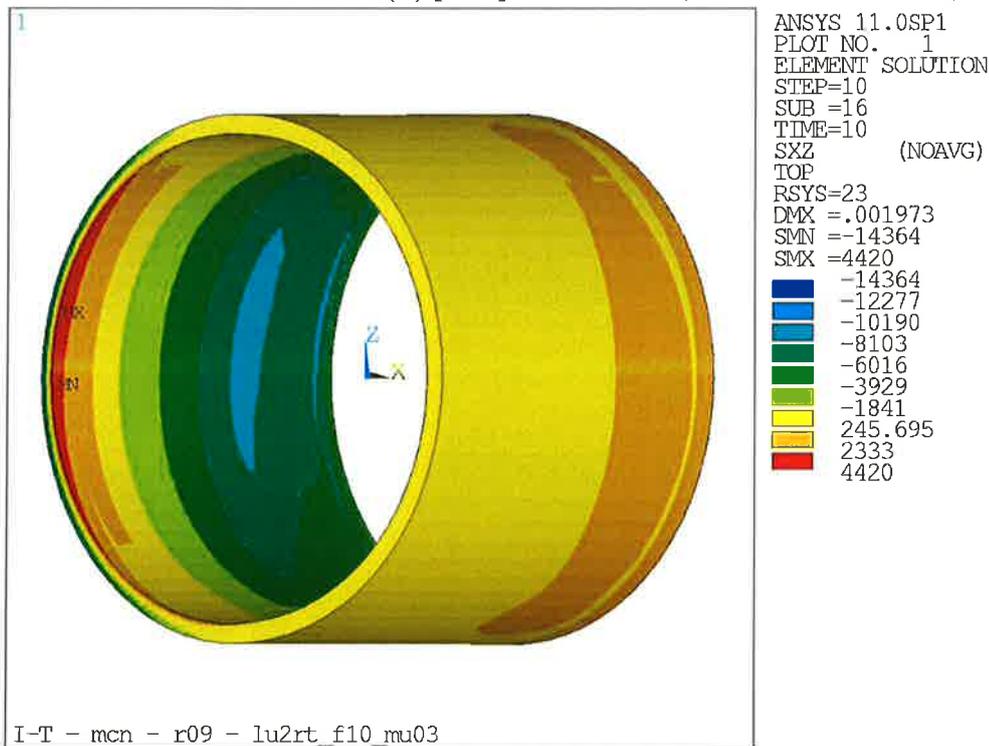


FIG. 4-17 - CIL. – SF. TAGLIO (YZ) [kPA] – COND. C10, FA = 1000 kN + DT, M= 0.3

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 60
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Gli sforzi massimi nella boccia cilindrica sono pari a -92 MPa di compressione radiale, -68 MPa di compressione circonferenziale, -55 Mpa di compressione assiale e 14MPa di taglio.

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 61
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

5. VERIFICHE A FATICA

5.1. Criteri di verifica

Le verifiche allo stato limite di fatica dei dettagli più impegnati del sistema di alloggiamento e trattenimento dello snodo, descritte nel presente capitolo, sono state condotte in accordo ai criteri forniti in [N2]. Tale normativa, specifica per costruzioni marittime di tipo off-shore realizzate in acciaio, è stata utilizzata ai fini delle verifiche a fatica, anche in virtù del fatto che essa contempla curve S-N specifiche per strutture immerse in acqua marina e provviste di protezione catodica.

L'entità complessiva del danno al termine della vita utile a fatica è stata valutata nell'ipotesi di accumulo lineare di danno, mediante la formula di Palmgren-Miner.

5.2. Risultati verifiche per i principali dettagli

Per le verifiche condotte sul sistema di trattenimento dello snodo si è assunto un coefficiente di sicurezza pari a 3 nei confronti dell'accumulo di danno. Ricordiamo inoltre, che la vita di progetto del sistema di trattenimento è pari a 10 anni; per le viti dovrà essere ridotta a 5 anni, se sarà rispettata la tempistica del ciclo di manutenzione programmato. A favore di sicurezza, le verifiche a fatica sono state condotte per lo spettro di carico definito sull'orizzonte temporale di 10 anni per tutti i componenti del sistema in oggetto.

Si riportano nel seguito i risultati delle verifiche a fatica per i dettagli più significativi.

5.2.1. Viti

La verifica è stata condotta in accordo ai criteri della [N2] utilizzando la curva di danno F1 valida per bulloni con filettatura ottenuta per rullatura e soggetti a trazione in acqua di mare, in presenza di protezione catodica.

I valori di $\Delta\sigma$ nella vite più sollecitata sono stati valutati per interpolazione lineare tra i valori estremi calcolati in presenza di forza radiale minima e massima per ciascun livello di forza assiale (§3.6).

La tabella seguente riporta il quadro riassuntivo delle verifiche a fatica in accordo con la simbologia della normativa di riferimento.

Parametri curva di Wholer

Curva	m_1	$\log a_1$	m_2	$\log a_2$	k	t,ref [mm]	gomito [cicli]	σ [MPa]	σ [MPa]
F1	3	11.299	5	14.832	0.25	25	1E+06	59.0	59.0
t	24	mm							
Danno	0.024								

Classe	Cicli	Eventi [Num]	ΔF_h [kN]	ΔF_v [kN]	F_h statica [kN]	F_v statica [kN]	$F_{r,tot}$ [kN]	ΔF_{ass} [kN]	$\Delta\sigma_{TOT}$ [MPa]	N ammiss.	Danno
1	450000	0	+125	+125	375	-375	559	300	26.6	53233075	0.0000
		0	-125	+125	375	-375	354	300	26.4	56207620	0.0000
		0	-125	-125	375	-375	559	300	26.6	53233075	0.0000
		450000	+125	-125	375	-375	707	300	26.9	51205857	0.0088
2	65000	0	+250	+250	375	-375	637	300	26.8	52148631	0.0000
		0	-250	+250	375	-375	177	300	26.1	58927695	0.0000
		0	-250	-250	375	-375	637	300	26.8	52148631	0.0000
3	30000	65000	+250	-250	375	-375	884	300	27.1	48905907	0.0013
		0	+375	+375	375	-375	750	300	26.9	50636078	0.0000
		0	-375	+375	375	-375	0	300	25.9	61807269	0.0000
4	12000	0	-375	-375	375	-375	750	300	26.9	50636078	0.0000
		30000	+375	-375	375	-375	1061	300	27.3	46728814	0.0006
		3000	+500	+500	375	-375	884	300	27.1	48905907	0.0001
		3000	-500	+500	375	-375	177	300	26.1	58927695	0.0001
5	5000	3000	-500	-500	375	-375	884	300	27.1	48905907	0.0001
		3000	+500	-500	375	-375	1237	300	27.6	44666990	0.0001
		1250	+625	+625	375	-375	1031	500	39.6	7362252	0.0002
		1250	-625	+625	375	-375	354	500	40.0	7016461	0.0002
6	1500	1250	-625	-625	375	-375	1031	500	39.6	7362252	0.0002
		1250	+625	-625	375	-375	1414	500	39.4	7567102	0.0002
		375	+750	+750	375	-375	1186	500	39.5	7444290	0.0001
		375	-750	+750	375	-375	530	500	39.9	7104808	0.0001
7	1000	375	-750	-750	375	-375	1186	500	39.5	7444290	0.0001
		375	+750	-750	375	-375	1591	500	39.3	7663844	0.0000
		250	+1000	+1000	375	-375	1510	500	39.3	7619547	0.0000
		250	+1000	+1000	375	-375	1510	500	39.3	7619547	0.0000

		250	-1000	+1000	375	-375	884	500	39.7	7285542	0.0000
		250	-1000	-1000	375	-375	1510	500	39.3	7619547	0.0000
		250	+1000	-1000	375	-375	1945	500	39.1	7861820	0.0000
8	150	37.5	+1250	+1250	375	-375	1846	700	74.2	502364	0.0001
		37.5	-1250	+1250	375	-375	1237	700	70.0	598490	0.0001
		37.5	-1250	-1250	375	-375	1846	700	74.2	502364	0.0001
		37.5	+1250	-1250	375	-375	2298	700	77.3	443803	0.0001
9	100	25	+1500	+1500	375	-375	2187	700	76.6	457350	0.0001
		25	-1500	+1500	375	-375	1591	700	72.4	539901	0.0000
		25	-1500	-1500	375	-375	2187	700	76.6	457350	0.0001
		25	+1500	-1500	375	-375	2652	700	79.8	404229	0.0001
10	50	12.5	+1750	+1750	375	-375	2531	700	78.9	417178	0.0000
		12.5	-1750	+1750	375	-375	1945	700	74.9	488717	0.0000
		12.5	-1750	-1750	375	-375	2531	700	78.9	417178	0.0000
		12.5	+1750	-1750	375	-375	3005	700	82.2	369223	0.0000
11	1500	0	+125	+125	875	-500	1068	300	27.4	46640957	0.0000
		0	-125	+125	875	-500	839	300	27.0	49484003	0.0000
		0	-125	-125	875	-500	976	300	27.2	47753150	0.0000
		1500	+125	-125	875	-500	1179	300	27.5	45333394	0.0000
12	7000	0	+250	+250	875	-500	1152	300	27.5	45644381	0.0000
		0	-250	+250	875	-500	673	300	26.8	51662450	0.0000
		0	-250	-250	875	-500	976	300	27.2	47753150	0.0000
		7000	+250	-250	875	-500	1352	300	27.8	43388104	0.0002
13	7000	0	+375	+375	875	-500	1256	300	27.6	44454230	0.0000
		0	-375	+375	875	-500	515	300	26.6	53848588	0.0000
		0	-375	-375	875	-500	1008	300	27.3	47367615	0.0000
		7000	+375	-375	875	-500	1526	300	28.0	41532726	0.0002
14	5000	0	+500	+500	875	-500	1375	500	39.4	7545841	0.0000
		0	-500	+500	875	-500	375	500	39.9	7027108	0.0000
		0	-500	-500	875	-500	1068	500	39.6	7381844	0.0000
		5000	+500	-500	875	-500	1700	500	39.2	7724343	0.0006
15	4500	0	+625	+625	875	-500	1505	500	39.3	7616710	0.0000
		0	-625	+625	875	-500	280	500	40.0	6979847	0.0000
		2250	-625	-625	875	-500	1152	500	39.5	7426523	0.0003
		2250	+625	-625	875	-500	1875	500	39.1	7822398	0.0003
16	2000	0	+750	+750	875	-500	1644	500	39.2	7693209	0.0000
		0	-750	+750	875	-500	280	500	40.0	6979847	0.0000
		1000	-750	-750	875	-500	1256	500	39.4	7481884	0.0001
		1000	+750	-750	875	-500	2050	500	39.0	7922144	0.0001
17	2000	500	+1000	+1000	875	-500	1941	700	74.9	489262	0.0010
		500	-1000	+1000	875	-500	515	700	65.0	747313	0.0007
		500	-1000	-1000	875	-500	1505	700	71.8	553389	0.0009
		500	+1000	-1000	875	-500	2401	700	78.0	431752	0.0012

18	1000	250	+1250	+1250	875	-500	2253	700	77.0	449161	0.0006
		250	-1250	+1250	875	-500	839	700	67.2	675236	0.0004
		250	-1250	-1250	875	-500	1790	700	73.8	510296	0.0005
		250	+1250	-1250	875	-500	2753	700	80.5	393774	0.0006
19	800	200	+1500	+1500	875	-500	2577	700	79.3	412187	0.0005
		200	-1500	+1500	875	-500	1179	700	69.6	608934	0.0003
		200	-1500	-1500	875	-500	2095	700	75.9	468847	0.0004
		200	+1500	-1500	875	-500	3105	700	82.9	360084	0.0006
20	250	62.5	+1750	+1750	875	-500	2907	700	81.5	378486	0.0002
		62.5	-1750	+1750	875	-500	1526	700	72.0	550107	0.0001
		62.5	-1750	-1750	875	-500	2414	700	78.1	430265	0.0001
		62.5	+1750	-1750	875	-500	3457	700	85.4	330107	0.0002
21	200	50	+2000	+2000	875	-500	3243	700	83.9	347942	0.0001
		50	-2000	+2000	875	-500	1875	700	74.4	498257	0.0001
		50	-2000	-2000	875	-500	2741	700	80.4	394931	0.0001
		50	+2000	-2000	875	-500	3810	700	87.8	303351	0.0002
22	150	37.5	+2250	+2250	875	-500	3582	700	86.2	320328	0.0001
		37.5	-2250	+2250	875	-500	2226	700	76.8	452555	0.0001
		37.5	-2250	-2250	875	-500	3075	700	82.7	362832	0.0001
		37.5	+2250	-2250	875	-500	4163	700	90.2	279400	0.0001
23	50	12.5	+2500	+2500	875	-500	3923	700	88.6	295380	0.0000
		12.5	-2500	+2500	875	-500	2577	700	79.3	412187	0.0000
		12.5	-2500	-2500	875	-500	3412	700	85.0	333785	0.0000
		12.5	+2500	-2500	875	-500	4516	700	92.7	257899	0.0000
24	50	12.5	+2750	+2750	875	-500	4267	700	90.9	272835	0.0000
		12.5	-2750	+2750	875	-500	2929	700	81.7	376431	0.0000
		12.5	-2750	-2750	875	-500	3752	700	87.4	307538	0.0000
		12.5	+2750	-2750	875	-500	4869	700	95.1	238543	0.0001
25	50	12.5	+3000	+3000	875	-500	4611	700	93.3	252441	0.0000
		12.5	-3000	+3000	875	-500	3281	700	84.1	344664	0.0000
		12.5	-3000	-3000	875	-500	4095	700	89.8	283824	0.0000
		12.5	+3000	-3000	875	-500	5222	700	97.6	221073	0.0001
26	10	2.5	+3250	+3250	875	-500	4958	700	95.7	233968	0.0000
		2.5	-3250	+3250	875	-500	3634	700	86.6	316354	0.0000
		2.5	-3250	-3250	875	-500	4439	700	92.1	262384	0.0000
		2.5	+3250	-3250	875	-500	5575	700	100.0	205266	0.0000

Il danno totale è pari a $0.024 < 0.33$, la verifica è pertanto soddisfatta.

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 65
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

5.2.2. Corone di alloggiamento e trattenimento – raccordo dente esterno su calotta

La corona di trattenimento dello snodo, in corrispondenza dell'intersezione tra superficie cilindrica di alloggiamento della calotta esterna dello snodo e la superficie laterale di battuta con la calotta stessa, presenta un raccordo di raggio 8 mm. La verifica di tale dettaglio è condotta in accordo ai criteri della [N2].

In particolare è stata utilizzata la curva B1 valida per dettagli riferiti al materiale base (in assenza di saldature).

I valori di $\Delta\sigma_1$ (sforzo principale di trazione), nel settore di raccordo più sollecitato, sono stati valutati per interpolazione lineare tra i valori estremi calcolati in presenza di forza radiale minima e massima, per ciascun livello di forza assiale (§3.6). Tali valori di sforzo sono stati calcolati mediante il modello locale (v. §3.3.1). La tabella seguente riporta il quadro riassuntivo delle verifiche a fatica in accordo con la simbologia della normativa di riferimento.

Parametri curva di Wholer

Curva	m_1	$\log a_1$	m_2	$\log a_2$	k	t,ref [mm]	gomito [cicli]	σ [MPa]	σ [MPa]
B1	4	14.917	5	17.146	0	25	1E+06	169.5	169.5
t	30	mm							
Danno	0.135								

Classe	Cicli	Eventi	ΔF_h [kN]	ΔF_v [kN]	F_h statica [kN]	F_v statica [kN]	$F_{r,tot}$ [kN]	ΔF_{ass} [kN]	$\Delta\sigma_{TOT}$ [MPa]	N ammiss.	Danno
1	450000	0	+125	+125	375	-375	559	300	109.4	8924559	0.0000
		0	-125	+125	375	-375	354	300	102.1	12634212	0.0000
		0	-125	-125	375	-375	559	300	109.4	8924559	0.0000
2	65000	450000	+125	-125	375	-375	707	300	114.7	7045968	0.0639
		0	+250	+250	375	-375	637	300	112.2	7864455	0.0000
		0	-250	+250	375	-375	177	300	95.7	17394011	0.0000
3	30000	0	-250	-250	375	-375	637	300	112.2	7864455	0.0000
		65000	+250	-250	375	-375	884	300	121.0	5388195	0.0121
		0	+375	+375	375	-375	750	300	116.2	6593168	0.0000
4	12000	0	-375	+375	375	-375	0	300	89.4	24475984	0.0000
		0	-375	-375	375	-375	750	300	116.2	6593168	0.0000
		30000	+375	-375	375	-375	1061	300	127.4	4177139	0.0072
4	12000	3000	+500	+500	375	-375	884	300	121.0	5388195	0.0006
		3000	-500	+500	375	-375	177	300	95.7	17394011	0.0002

		3000	-500	-500	375	-375	884	300	121.0	5388195	0.0006
		3000	+500	-500	375	-375	1237	300	133.7	3278479	0.0009
5	5000	1250	+625	+625	375	-375	1031	500	148.4	1945362	0.0006
		1250	-625	+625	375	-375	354	500	120.1	5607057	0.0002
		1250	-625	-625	375	-375	1031	500	148.4	1945362	0.0006
		1250	+625	-625	375	-375	1414	500	164.4	1164766	0.0011
6	1500	375	+750	+750	375	-375	1186	500	154.9	1570859	0.0002
		375	-750	+750	375	-375	530	500	127.5	4159413	0.0001
		375	-750	-750	375	-375	1186	500	154.9	1570859	0.0002
		375	+750	-750	375	-375	1591	500	171.8	948001	0.0004
7	1000	250	+1000	+1000	375	-375	1510	500	168.4	1032235	0.0002
		250	-1000	+1000	375	-375	884	500	142.2	2403161	0.0001
		250	-1000	-1000	375	-375	1510	500	168.4	1032235	0.0002
		250	+1000	-1000	375	-375	1945	500	186.6	681454	0.0004
8	150	37.5	+1250	+1250	375	-375	1846	700	231.9	285422	0.0001
		37.5	-1250	+1250	375	-375	1237	700	195.4	566594	0.0001
		37.5	-1250	-1250	375	-375	1846	700	231.9	285422	0.0001
		37.5	+1250	-1250	375	-375	2298	700	259.1	183211	0.0002
9	100	25	+1500	+1500	375	-375	2187	700	252.4	203445	0.0001
		25	-1500	+1500	375	-375	1591	700	216.6	374981	0.0001
		25	-1500	-1500	375	-375	2187	700	252.4	203445	0.0001
		25	+1500	-1500	375	-375	2652	700	280.4	133686	0.0002
10	50	12.5	+1750	+1750	375	-375	2531	700	273.1	148446	0.0001
		12.5	-1750	+1750	375	-375	1945	700	237.9	257945	0.0000
		12.5	-1750	-1750	375	-375	2531	700	273.1	148446	0.0001
		12.5	+1750	-1750	375	-375	3005	700	301.6	99821	0.0001
11	1500	0	+125	+125	875	-500	1068	300	127.6	4134352	0.0000
		0	-125	+125	875	-500	839	300	119.4	5764262	0.0000
		0	-125	-125	875	-500	976	300	124.3	4709250	0.0000
		1500	+125	-125	875	-500	1179	300	131.6	3546038	0.0004
12	7000	0	+250	+250	875	-500	1152	300	130.6	3678067	0.0000
		0	-250	+250	875	-500	673	300	113.5	7431136	0.0000
		0	-250	-250	875	-500	976	300	124.3	4709250	0.0000
		7000	+250	-250	875	-500	1352	300	137.8	2818839	0.0025
13	7000	0	+375	+375	875	-500	1256	300	134.4	3197270	0.0000
		0	-375	+375	875	-500	515	300	107.9	9589069	0.0000
		0	-375	-375	875	-500	1008	300	125.5	4501582	0.0000
		7000	+375	-375	875	-500	1526	300	144.0	2260919	0.0031
14	5000	0	+500	+500	875	-500	1375	500	162.8	1224614	0.0000
		0	-500	+500	875	-500	375	500	121.0	5402318	0.0000
		0	-500	-500	875	-500	1068	500	149.9	1846482	0.0000
		5000	+500	-500	875	-500	1700	500	176.4	853597	0.0059
15	4500	0	+625	+625	875	-500	1505	500	168.2	1038898	0.0000

		0	-625	+625	875	-500	280	500	117.0	6389283	0.0000
		2250	-625	-625	875	-500	1152	500	153.5	1643658	0.0014
		2250	+625	-625	875	-500	1875	500	183.7	725635	0.0031
16	2000	0	+750	+750	875	-500	1644	500	174.0	900522	0.0000
		0	-750	+750	875	-500	280	500	117.0	6389283	0.0000
		1000	-750	-750	875	-500	1256	500	157.8	1429776	0.0007
		1000	+750	-750	875	-500	2050	500	191.0	620595	0.0016
17	2000	500	+1000	+1000	875	-500	1941	700	237.6	258996	0.0019
		500	-1000	+1000	875	-500	515	700	152.0	1723649	0.0003
		500	-1000	-1000	875	-500	1505	700	211.5	412894	0.0012
		500	+1000	-1000	875	-500	2401	700	265.3	166696	0.0030
18	1000	250	+1250	+1250	875	-500	2253	700	256.4	190994	0.0013
		250	-1250	+1250	875	-500	839	700	171.4	956270	0.0003
		250	-1250	-1250	875	-500	1790	700	228.6	302561	0.0008
		250	+1250	-1250	875	-500	2753	700	286.4	122693	0.0020
19	800	200	+1500	+1500	875	-500	2577	700	275.9	142601	0.0014
		200	-1500	+1500	875	-500	1179	700	191.9	609023	0.0003
		200	-1500	-1500	875	-500	2095	700	246.9	222116	0.0009
		200	+1500	-1500	875	-500	3105	700	307.6	92268	0.0022
20	250	62.5	+1750	+1750	875	-500	2907	700	295.7	107992	0.0006
		62.5	-1750	+1750	875	-500	1526	700	212.7	403360	0.0002
		62.5	-1750	-1750	875	-500	2414	700	266.1	164750	0.0004
		62.5	+1750	-1750	875	-500	3457	700	328.8	70700	0.0009
21	200	50	+2000	+2000	875	-500	3243	700	315.9	82966	0.0006
		50	-2000	+2000	875	-500	1875	700	233.7	276891	0.0002
		50	-2000	-2000	875	-500	2741	700	285.8	123871	0.0004
		50	+2000	-2000	875	-500	3810	700	350.0	55073	0.0009
22	150	37.5	+2250	+2250	875	-500	3582	700	336.2	64625	0.0006
		37.5	-2250	+2250	875	-500	2226	700	254.8	196071	0.0002
		37.5	-2250	-2250	875	-500	3075	700	305.8	94488	0.0004
		37.5	+2250	-2250	875	-500	4163	700	371.2	43531	0.0009
23	50	12.5	+2500	+2500	875	-500	3923	700	356.8	50994	0.0002
		12.5	-2500	+2500	875	-500	2577	700	275.9	142601	0.0001
		12.5	-2500	-2500	875	-500	3412	700	326.0	73101	0.0002
		12.5	+2500	-2500	875	-500	4516	700	392.4	34857	0.0004
24	50	12.5	+2750	+2750	875	-500	4267	700	377.4	40724	0.0003
		12.5	-2750	+2750	875	-500	2929	700	297.0	106133	0.0001
		12.5	-2750	-2750	875	-500	3752	700	346.5	57317	0.0002
		12.5	+2750	-2750	875	-500	4869	700	413.6	28239	0.0004
25	50	12.5	+3000	+3000	875	-500	4611	700	398.1	32884	0.0004
		12.5	-3000	+3000	875	-500	3281	700	318.2	80590	0.0002
		12.5	-3000	-3000	875	-500	4095	700	367.1	45505	0.0003
		12.5	+3000	-3000	875	-500	5222	700	434.8	23118	0.0005

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0						Pag. n. 68
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO						

26	10	2.5	+3250	+3250	875	-500	4958	700	418.9	26824	0.0001
		2.5	-3250	+3250	875	-500	3634	700	339.4	62279	0.0000
		2.5	-3250	-3250	875	-500	4439	700	387.7	36546	0.0001
		2.5	+3250	-3250	875	-500	5575	700	456.0	19107	0.0001

Il danno totale è pari a $0.135 < 0.33$, la verifica è pertanto soddisfatta.

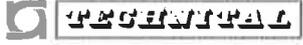
5.2.3. Corone di alloggiamento e trattenimento – fori passanti

In corrispondenza dei fori passanti per l'inserimento delle viti di assieme, si manifestano delle concentrazioni locali di sforzo legate alla presenza dei fori stessi, sia in virtù di una riduzione dell'area netta sia in virtù di un fattore di concentrazione degli sforzi a bordo foro.

Per la verifica a fatica di tali zone, in accordo ai criteri della [N2], è possibile fare riferimento alla medesima curva utilizzata per la verifica del raccordo del dente di battuta (§5.2.2), curva valida per dettagli riferiti al materiale base (in assenza di saldature).

In presenza della condizione di carico più gravosa a fatica, gli sforzi radiali e circolari massimi negli corone, tenendo conto della presenza dei fori, sono pari rispettivamente a -327 MPa e +221 MPa.

Poiché tali valori massimi sono inferiori ai massimi calcolati per il raccordo al piede del dente, poiché lo spettro delle tensioni al bordo foro è funzione del medesimo spettro di carico che determina le tensioni sul raccordo del dente, in fine, poiché ad entrambi i dettagli è applicabile la medesima curva di danno, allora il danno calcolato sul bordo foro sarà inferiore al danno già valutato per il raccordo. Le verifiche risultano pertanto automaticamente soddisfatte.

	Rev.	Data:	El. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 69
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

ALLEGATO 1

DOCUMENTAZIONE SNODO TIPO INA

Schaeffler Technologies AG & Co. KG 81072 Herzogenaurach (Germany)

Spett.le
FIP Industriale S.p.A.
via Scapacchiò, 41
35030 Selvazzano Dentro (PD)

ITALY

Your ref., your letter dated

Our ref., our letter dated

Phone +49 9132
82-2086

Fax +49 9132
82-452086



Discussion Points - comment

29.05.2012

Dear Mr. Colato,
Dear Mr. Fisichella,

following the meeting we had in FIP Industriale on 18/04/2012, please find here our answers to the points we discussed together.

Point 1)

Book of application references for Schaeffler rolling and plain bearings in civil engineering and marine power applications and for Orkot material in marine environment

The book is ready and has been sent in a separate e-mail due to the large size of the files on Tuesday the 8th of May 2012.

Point 2)

Not need for compliance of Schaeffler spherical plain bearings F-563584.05.GE and F-562443.05.GE with standard ISO 12240-1

An ISO cannot be followed as these do not meet the technical requirements for MOSE e.g. material specification using polymer composites which can operate submerged in seawater at any water depth. The MOSE requirements call for a tailor-made solution in terms of material selection, this in turn provides opportunities for improvement of the geometry, fitting arrangement and running clearances.

Point 3)

Basic design concept for spherical plain bearings F-563584.05.GE and F-562443.05.GE applying Orkot Marine-Grade polymer composite

The design is based on over 30 years experience of delivering tailor-made solutions to the Shipbuilding Industry, Oil & Gas Offshore, Hydro Power and Civil Engineering including port and harbour installations such as sluice gates and flood defenses e.g. Rijkswaterstaat Netherlands and Port of Bristol UK.

For longevity the ball is fitted with a plain bush; the centre bearing. The rotational movement takes place between the pin and the centre bush. The ball moves in the outer ring to facilitate the tilting, that is the capability of the bearing assembly to self-align the gate hinge to shaft misalignment. Shaft misalignment maybe due to such circumstance as tolerances at installation of the gate hinges and, as will be mentioned later, also to a dynamic shaft misalignment which may need to be covered when opening resp. closing the gate. Fore mentioned separation of movements is required for longevity by keeping the sliding distance during the operation to a minimum; the shaft diameter relates to the ball OD by a factor 400/565. The assembly has an inherent preference for movement of centre bearing by comparison to movement on the outer rings by its geometry: the torque to movement is 400/565

Schaeffler Technologies
AG & Co. KG
Industriestrasse 1-3
81074 Herzogenaurach (Germany)
Phone +49 9132 82-0
Fax +49 9132 82-1950
www.ina.com
Registered Seat
Herzogenaurach (Germany)
Commercial Register
AG Furtth HRA 9049

General Partner
Schaeffler AG
Registered Seat
Herzogenaurach (Germany)
Commercial Register
AG Furtth HRB 13202

Executive Board
Dr. Juergen M. Geissinger (President and CEO), Wolfgang Dangel*, Prof. Dr. Peter Gutzmer*, Kurt Mirach*, Klaus Rosenfeld*, Robert Schulian*, Rainer Hundsdorfer, Norbert Indekrofer, Oliver Jung, Prof. Dr. Peter Pleus, Dr. Gerhard Schuff
*Management Board

Bank
Commerzbank Nuremberg
BLZ 760 800 40 Account 121048400
BIC DRES DE 33 760
IBAN DE35 7608 0040 0121 0464 00

VAT reg. no. DE 267 981 853

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 73
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Page 2 of our letter dated 29.05.2012

in favour of the shaft. This effect is further reinforced by selecting self-lubricating polymer composite with different friction coefficients; Orkot TLMM in the outer ring has a higher coefficient of friction compared to Orkot TXMM in the centre bush. As combined effect the torque to move the ball in the outer ring is > 2 the torque to move the centre bearing.

Bearing drawings

F-562443.05.GE version AC date 09/05/2012

F-563584.05.GE version AC date 09/05/2012

Design criteria for bearing load calculations on Orkot TLMM and TXMM

By convention in mechanical engineering the bearing pressure is calculated as an average over the projected area, it's noteworthy that the design criteria and ultimate material strength apply to the same method. Further details can be found in attached document Orkot Elasticity2.pdf

Material strength

Compressive Load perpendicular to laminate:

Ultimate radial load capability > 280 M Pa (one value taken for both materials)

Recommended design limit: 120 M Pa

Shear stress parallel to laminate: limit 80 M Pa

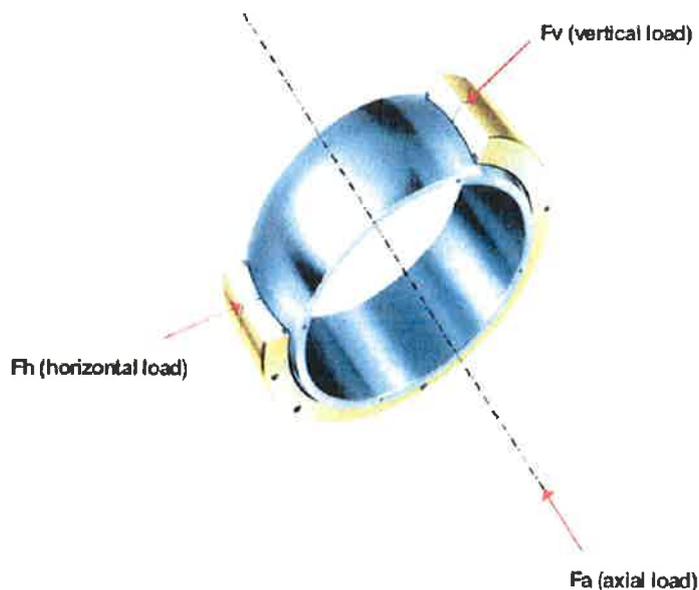
Compressive Load parallel to laminate refers to load capability in axial direction;

Ultimate pressure > 90 M Pa

Recommended design limit 40 M Pa

Please refer also to the attached data sheets.

Load specification and safety factors



	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 74
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Page 3 of our letter dated 29.05.2012

Operating temperature and Orkot material temperature limits

The bearings may only be operated in seawater with a temperature range from - 5 C to + 45 C. The material properties of Orkot TLMM and TXMM allow for an operating temperature range - 150 C to + 130 C

Point 3)

Calculations

(based on operating conditions according to information of the customer)

• Centre Bearing, Identical for both drawings

1) Normal operating conditions

Radial load up to 5250 kN which equates to

$$P_{\text{compression}} = 5250 \times 10E3 / (400 \times 295) = 44 \text{ MPa (factor 6 < material limit)}$$

Shear force at sliding surface assuming COF 0.10 (conservative number for TXMM) and bearing contact-to-shaft over an arc of 120 degrees:

$$P_{\text{shear}} = 5250 \times 10E3 \times 0.10 / (120/360 \times \pi \times 400 \times 295) = 4 \text{ MPa}$$

(ultimate limit 80 MPa)

2) Ultimate Load Conditions

$$\text{Radial Force } 8150 \text{ kN} \Rightarrow 8150 \times 10E3 / (400 \times 295) = 69 \text{ MPa}$$

(factor 4 < limit of 280 M Pa)

Corresponding shear force at sliding surface (contact angle 120 degr) when COF = 0.30

(COF not for material only but including effects of sand as seen in FIP tests)

$$\text{Shear} = 8150 \times 10E3 \times 0.3 / (120/360 \times \pi \times 400 \times 295) = 20 \text{ MPa}$$

(ultimate limit 80 MPa)

• Outer Ring, drawing 562443.05, free axial sliding

1) Normal operating conditions

Radial load

$$P_{\text{rad}} = 5250 \text{ kN} / (250 \times 565) = 37 \text{ MPa} \quad (\text{factor 7 < limit})$$

Friction force from axial movement, COF = 0.10

$P_{\text{axial}} = 5250 \text{ kN} \times 0.10 / \text{sideward area}$

$$= 5250 \times 10E3 \times 0.10 / ((565^2 - 508^2) \times \pi / 4) = 11 \text{ M Pa} \quad (\text{factor 8 < limit})$$

Bearing pressure from radial and axial combined: $\sqrt{37^2 + 11^2} = 39 \text{ MPa}$

$$(\text{limit is } \sqrt{\text{rad}^2 + \text{axial}^2} = 126 \text{ MPa})$$

2) Ultimate Load Conditions

Radial load

$$P_{\text{rad}} = 8150 \text{ kN} / (250 \times 565) = 58 \text{ MPa} \quad (\text{factor 4.8 < limit})$$

Friction force from axial movement,

COF = 0.30 (including effects of sand as per FIP tests)

$P_{\text{axial}} = 8150 \text{ kN} \times 0.30 / \text{sideward area}$

$$= 8150 \times 10E3 \times 0.30 / ((565^2 - 508^2) \times \pi / 4) = 51 \text{ MPa (factor 1.8 < limit)}$$

Bearing pressure from radial and axial combined: $\text{sqrt}(58^2 + 51^2) = 77 \text{ M Pa}$

$$(\text{limit is } \text{sqrt}(\text{rad} + \text{axial}) = 294 \text{ MPa})$$

Page 4 of our letter dated 29.05.2012

• **Outer Ring, axially fixed bearing, drawing 563584.05**

1) **Normal Operating Conditions**

Calculations similar to the ones above with additional calculation when the bearing rests against the thrust washer, the axial force is then 500 kN and no axial friction:

$$P_{axial} = 500 \text{ kN} / \text{sideward area} = 500 \times 10E3 / ((565^2 - 508^2) \times \pi/4) = 10 \text{ MPa}$$

(factor 8 < limit)

$$\text{Bearing pressure from radial and axial combined: } \sqrt{37^2 + 10^2} = 38 \text{ MPa}$$

(limit is $\sqrt{\text{rad}^2 + \text{axial}^2} = 126 \text{ MPa}$)

2) **Ultimate Load Conditions**

Calculations similar to the ones above with additional calculation when the bearing rests against the thrust washer, the axial force is then 1000 kN and no axial friction:

$$P_{axial} = 1000 \text{ kN} / \text{sideward area} = 1000 \times 10E3 / ((565^2 - 508^2) \times \pi/4) = 20 \text{ MPa}$$

(factor 4.5 < limit)

$$\text{Bearing pressure from radial and axial combined: } \sqrt{58^2 + 20^2} = 61 \text{ MPa}$$

(limit is $\sqrt{\text{rad}^2 + \text{axial}^2} = 294 \text{ MPa}$)

• **Axial Thrust Bearings**

These are made of flat laminate, the design criteria apply perpendicular to the laminate, the values are the same as for cylindrical bushes.

1) **Normal Operating Conditions**

Axial Load up to 500 kN results into an average pressure of

$$P_{axial} = 5 \times 10^5 / ((475^2 - 402^2) \times \pi/4) = 10 \text{ MPa}$$

(recommended design limit 120 MPa)

2) **Ultimate Operating Conditions**

A bearing load 1000 kN results into twice the pressure; 20 MPa
(ultimate limit > 280 MPa)

• **Effects on load distribution due to shaft misalignment**

Arguments

- 1) Shaft misalignment may occur at installation, if so it'll be fixed in orientation and permanent.
- 2) Upon activation of the flood barrier the gates raise from horizontal to an elevation of approximately 70 degrees. In elevated position the gates move over an angle up to +/- 10 degrees. This equals to 20 degrees from top to bottom of the cycle, 40 degrees movement per cycle.

As a worst case scenario a pin alignment error up 0.50 degr is specified by FIP when a gate rises from its horizontal position to 70 degrees elevation.

Subsequently with the gate operating in active mode, 20 degrees rotational movement; the corresponding tilting will be $20/70 \times 0.50 = 0.14$ degrees.

Page 5 of our letter dated 29.05.2012

1) Effects of edge loads on the Centre Bearing

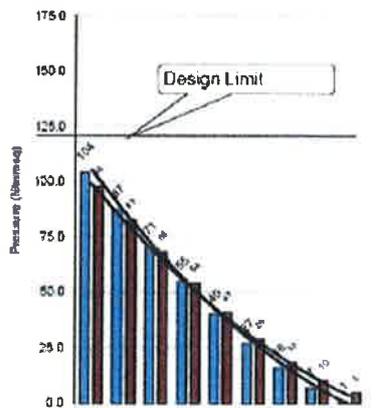
Tilting of the shaft in the centre bearing causes the contact pressure to increase locally. A tilting up to 0.2 degrees has been considered in the charts here below.

Edgeload worst case:

Centre Bush tilts ± 0.2 degr. at maximum radial load 5250 kN

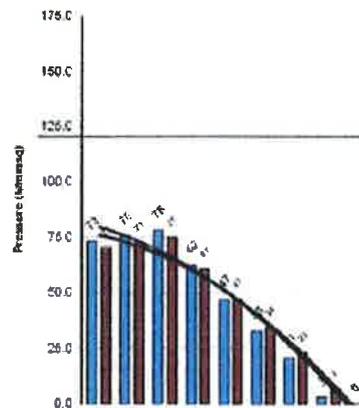
The charts show the pressure distribution along the length of the bearing, 295 mm.

Bore of centre bush is straight
(as new):



Load distribution along bearing length

Bore of centre bush wears conically at
both ends when it tilts whilst rotating



Load distribution along bearing length

Conclusions:

The edge loading as a result of shaft tilting is not critical for the bearing load capability as demonstrated in the load distribution chart 'as new'.

A wear pattern will develop; one end or possibly both ends become wider in time and conical in shape. As the conical shape develops the load distribution will become more regular, a taper length up to $\frac{1}{4}$ of the overall bearing length has been considered in the calculation.

2) Effects of edge loads on the Thrust Bearings

Tilting of the ball due to clearance of the centre bearing relative to the shaft is taken up by the elasticity of the thrust washer. As a consequence the bearing pressure will vary locally;

- If the centre bearing is to tilt ± 0.14 degrees the contact over the circumference of the thrust bearing will be partial; When the axial load is 500 kN the resulting bearing reaction at the highest loaded contact area may increase from 10 MPa average to 45 MPa locally (design limit 120 MPa) with a contact area from full circle down to 0.4 circle.
- The combination of 1000 kN axial force and 0.2 degrees tilting results in a localised pressure up to 77 MPa (limit > 280 MPa) and a contact area from full circle down to $\frac{1}{2}$ circle.

Page 6 of our letter dated 29.05.2012

Point 4)

Comments about pv factor

For metal bearings this is commonly covered by considering a P v limit. This is given as a material property and relates amongst others to the capabilities to absorb and dissipate the friction heat generated locally in the sliding area. For polymer bearings however this method is confusing as polymers are thermal insulators and there's virtually no capacity for heat storage. The friction heat is not stored nor dissipated by the bearing but instead by the shaft and/or a cooling fluid if present. Therefore the P v value depends on the installation; it's not a bearing material property alone. The maximum operating condition for Orkot Marine materials is 130 C (with still a safety margin up to 180 C where the material properties maybe affected).

Point 5)

Bearing wear

Wear is the effect of repeated movements and load oscillations. Regular wear has been calculated for an operating profile as per FIP table 11.1 for a total of 600,000 cycles. The calculation is based tests conducted at FIP Industriale.

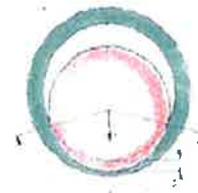
The FIP test results have been analysed and conclude to an average wear rate $k = 2.5 \times 10^{-16} \text{ m}^3/\text{Nm}$ using the formula stated here below. The same wear rate k and the same formula is subsequently used to calculate the wear for the operating profile in table 11.1

1) Centre Bearing

Definitions

The wear develops over an angle β going from a point of contact (zero) at one side, to a maximum (6 o'clock position) and back to zero at the other side.

The wear depth = delta W at the deepest point



Formula, based on Archard's equation Wear volume = $k \times F \times s$
 $\Delta W \text{ (mm)} = k \times F \times s \times 72 \times 10E10 / (Ds \times \pi \times \beta \times L)$

k = wear rate (m^3/Nm)

F = average load force (N)

s = travelled distance during the projected number of cycles (m)

Ds = shaft diameter (mm)

β = sum of the contact angle under load force F + angle of rotational movement
the contact angle under load force F relates to the elasticity of Orkot and is computed using proprietary software

L = bearing length (mm)

2) Wear on the Thrust Bearings

The wear depth = wear volume Q / surface area (mm)

The wear volume is calculated using Archard's equation $Q = k \times F \times s$

Page 7 of our letter dated 29.05.2012

3) Wear on the Outer Ring assuming the worst case shaft misalignment

When activating the gates under normal conditions e.g. load up to 5250 kN radial and 500 kN axial and a shaft misalignment of 0.5 degr. the ball may be forced to tilt over $0.5 - 0.14$ (centre bearing) = 0.36 degrees.

The number of cycles has not been stated in the MOSE specification but assuming that each gate will be activated 520 times (10 years, once a week) the tilting will cause a ball movement of $520 \times 0.36/360 \times 2 \times \pi \times 0.565/2 = 1$ m.

This is a small value and the wear will be insignificant.

Bearing Wear Limits,

allowable loss of thickness whereby functionality remains intact:

- Centre Bearing; Bearing is retained in ball = $\frac{1}{2}$ Wall thickness = 7 mm.

Beyond this there maybe wear on the OD as well. The bearing remains functional up to the point where the entire wall thickness (14 mm) has disappeared.

- Outer Ring; = 10 mm. Beyond this the ball may contact the keeper ring

- Thrust Bearings = > 20 mm

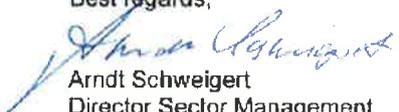
Wear Calculation

The wear calculation of bearings is based on the wear rate factor (k) of sliding material (ORKOT), which is calculate according to test of company FIP for bearings operated in seawater; the possible ingress of sand in operation remains an unknown factor, regarding wear calculation, and a final statement can be obtained only in operation.

Attention

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

Best regards,

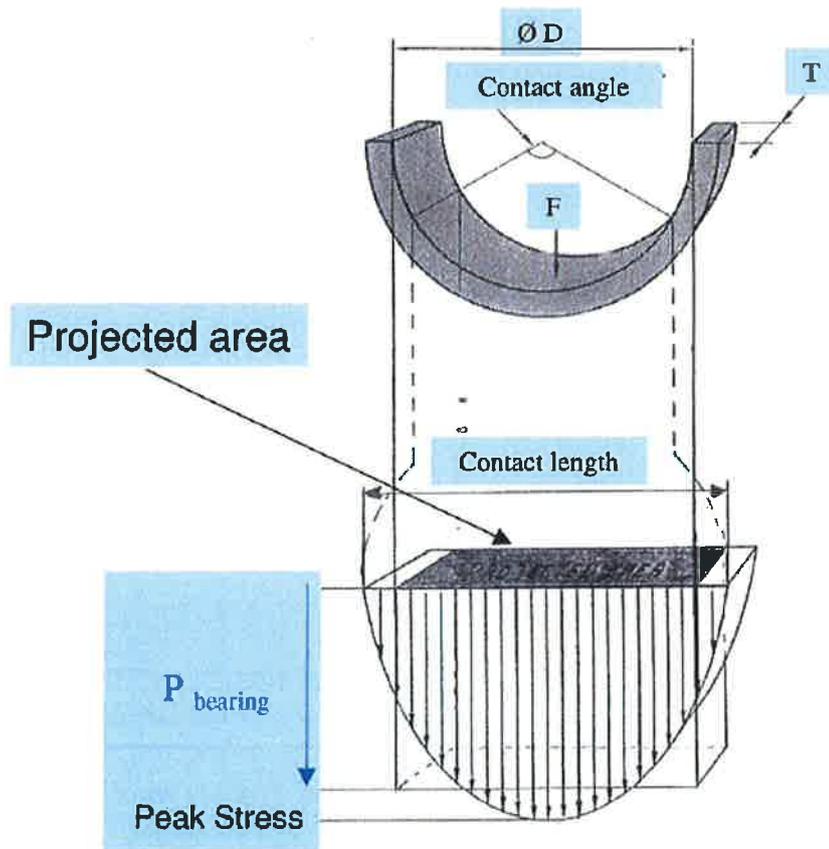

Arndt Schweigert
Director Sector Management
Power Generation


Josip Naglic
Application Engineering
Power Generation

Orkot® Bearings



Load Distribution & Contact Area



Contrary to metal bearings,
 no Hertzian pressures

Orkot® Bearings



Bearing Pressure P

= calculated over the projected area:

$$P_{\text{bearing}} = \frac{F_{\text{load}}}{D_{\text{shaft}} \times T_{\text{bearing length}}} \quad \text{N/mm}^2$$

= commonly used, as 'yard stick' for:

- mechanical stresses
- operating mode i.e. - boundary lubrication
- fluid film lubrication (hydrodynamic)

= simplified formula

- does not consider the actual contact area
- does not tell how the load is distributed
- local pressure peaks are not shown

Orkot® Bearings

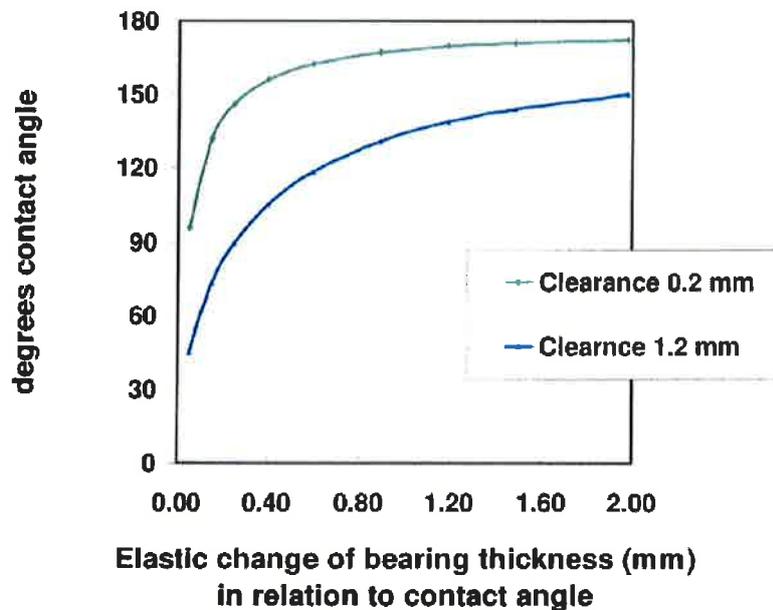


Contact angle

A wide contact angle provides
 an even load distribution

Material elasticity allows the contact angle
 to establish

Calculation example, bearing 120 x 100 mm diam.



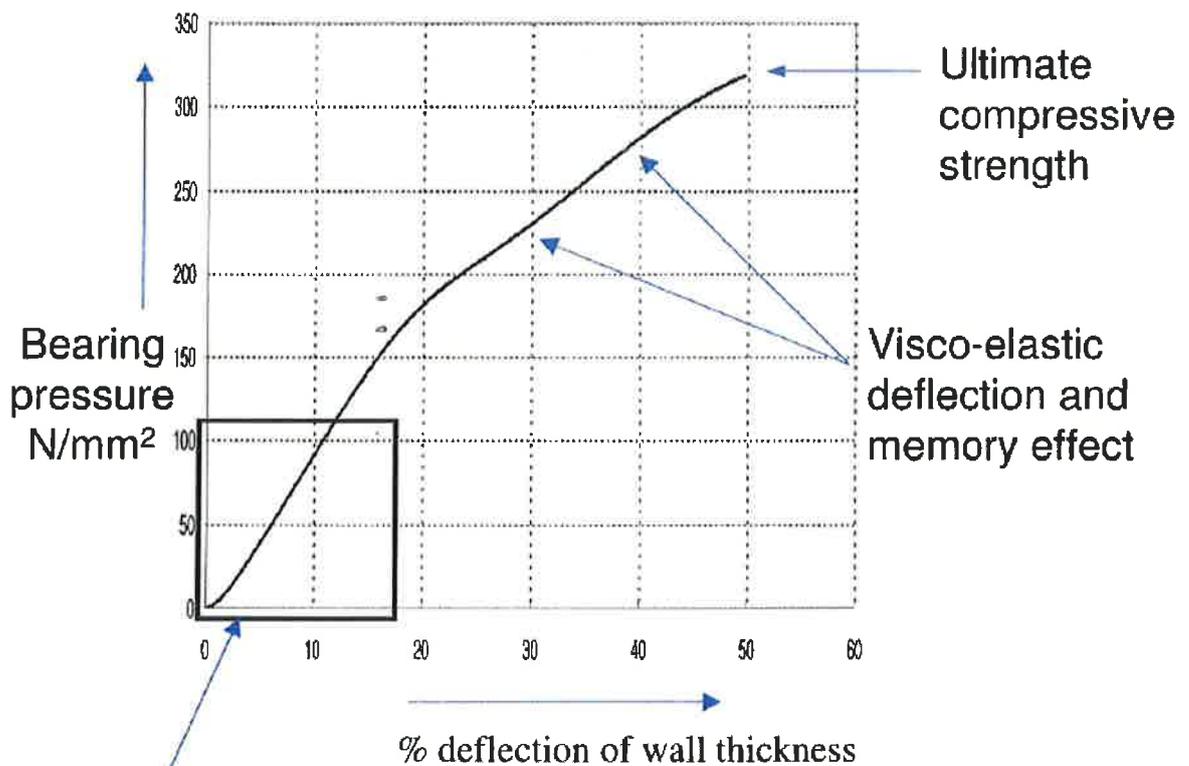
Housing 120 mm
 Shaft 100 mm

Orkot® Bearings



Deflection under load

Change of the wall thickness
 of a cylindrical bearing (typically)



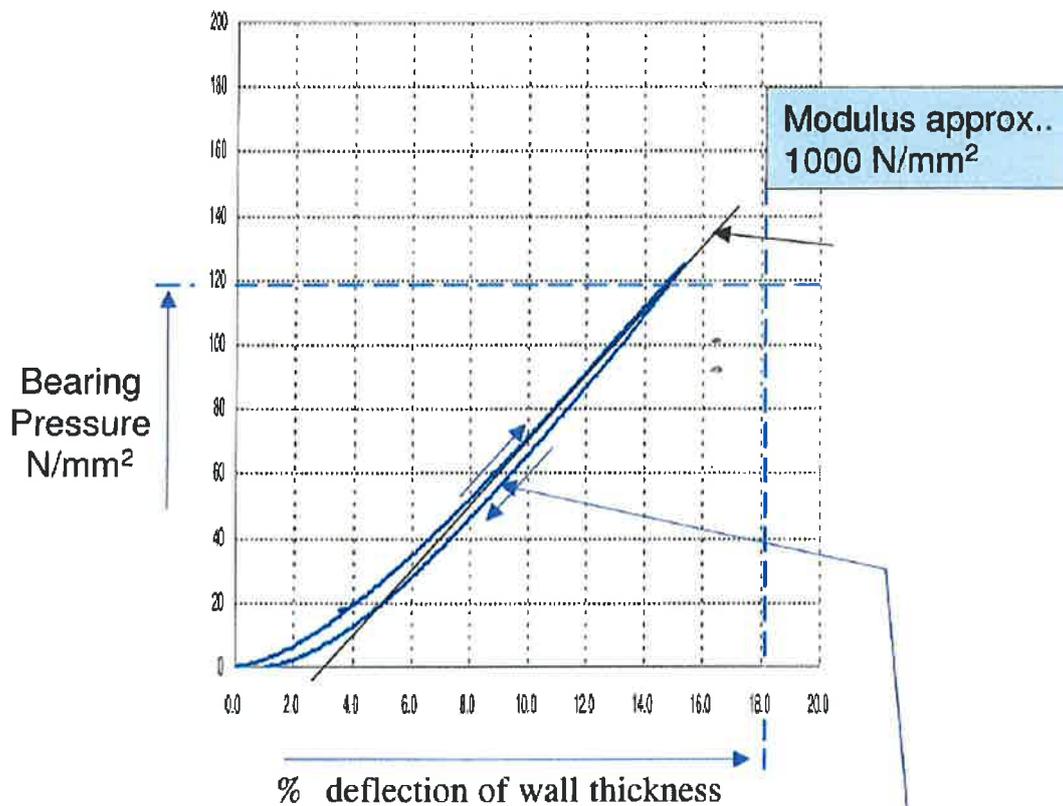
Design Envelope

Orkot® Bearings



Elasticity within the design envelope

for a cylindrical bearing, typically



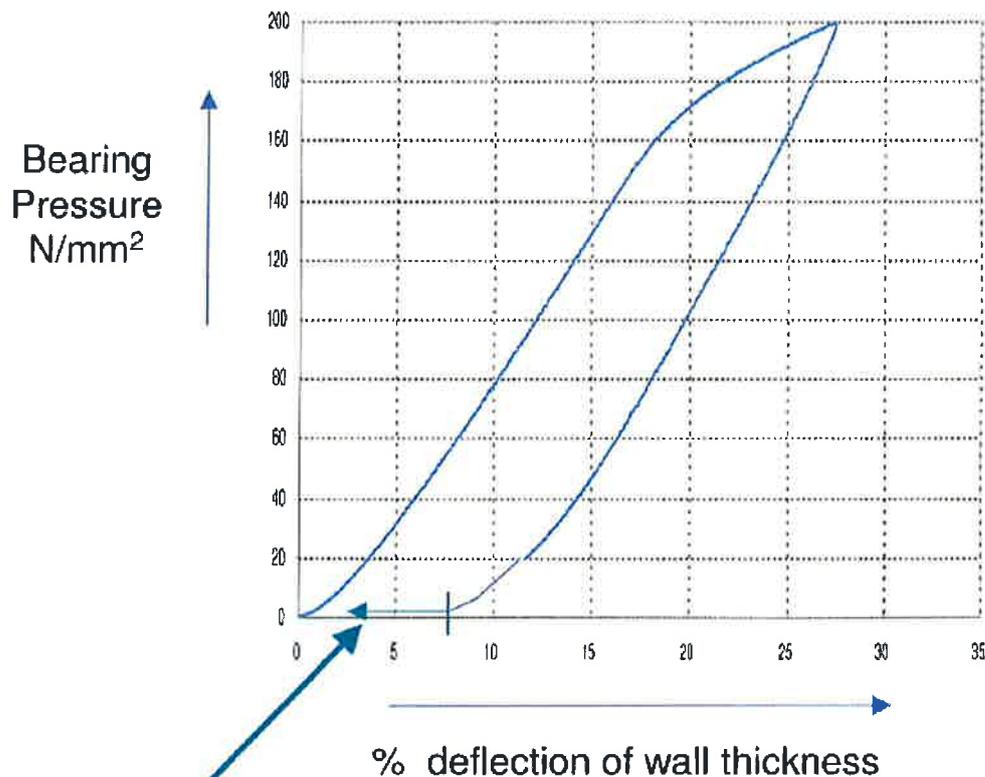
hysteresis = shock & vibration dampening effect

Orkot® Bearings



Visco-elastic behaviour

Deflection of a cylindrical bearing
 when exceeding the design limits
 i.e. under overload conditions



Memory effect

- slow, but substantial recovery from plastic deformation
- takes time; several minutes up to some hours

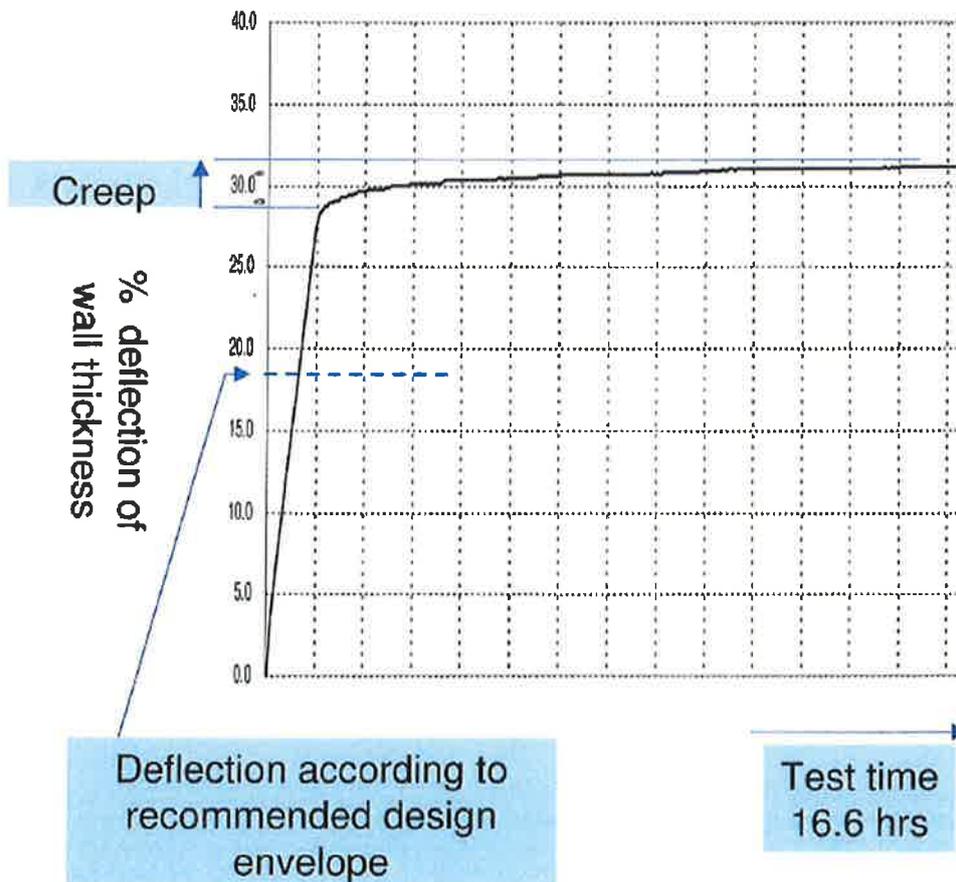
Orkot® Bearings



Creep Resistance

of a cylindrical bearing
 when exceeding the design limits,
 i.e. under overload conditions

Test at permanent load of 165 N/mm²



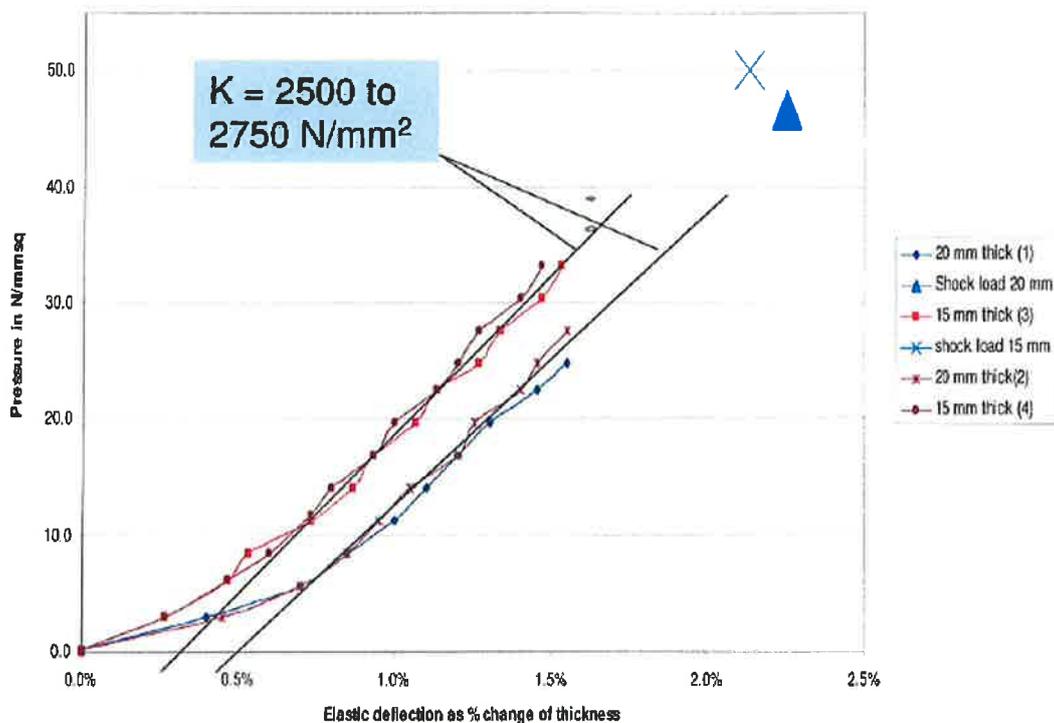
Orkot® Bearings



Elasticity of flat sheet / slide pad

$K =$ typically 2200 to 3000 N/mm²

Compression tests on flat sheets 165 x 110 mm
 Material TLM Marine, fitted into a steel recess



Trelleborg Sealing Solutions Rotherham UK
Technical Data

Orkot Marine Bearing Materials, TLMM and TXMM



TRELLEBORG

Orkot Marine Bearing Materials, TLMM and TXMM

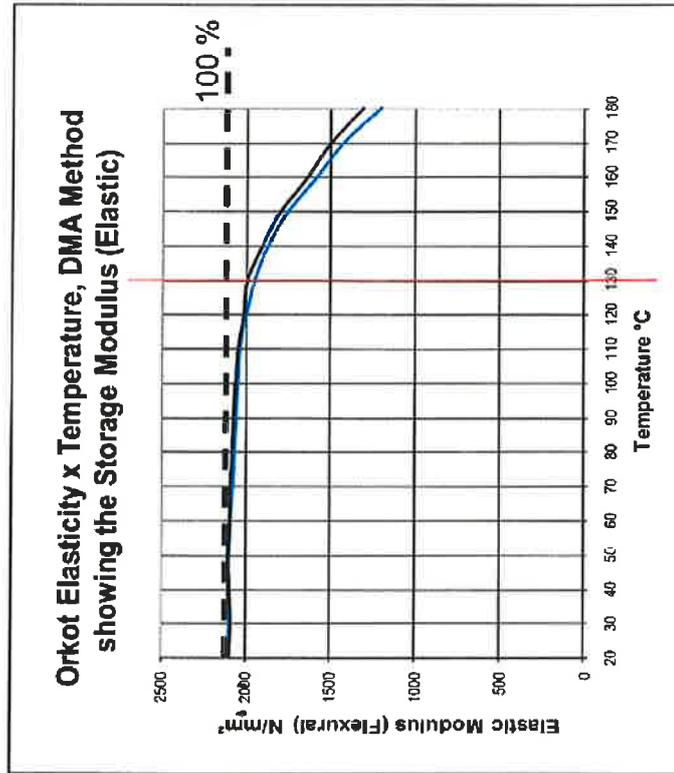
Effects of increased temperature on Orkot Elasticity

Test Method:
Dynamic Mechanical Analysis (DMA)

Test mode: Flexural

Note: The elastic properties of Orkot Composites relate to the size and shape of the part, therefore an E-modulus typical for the product cannot be given.

The effects of temperature can be assessed by taking the elasticity at 20° C as 100 % and the % of it's decline as the operating temperature increases.



Conclusion: - negligible effects up to 100° C,
- consider 10 % more deflection when above 100° C

TRELLEBORG SEALING SOLUTIONS

130 C is the temperature limit of TLMM and TXMM applications

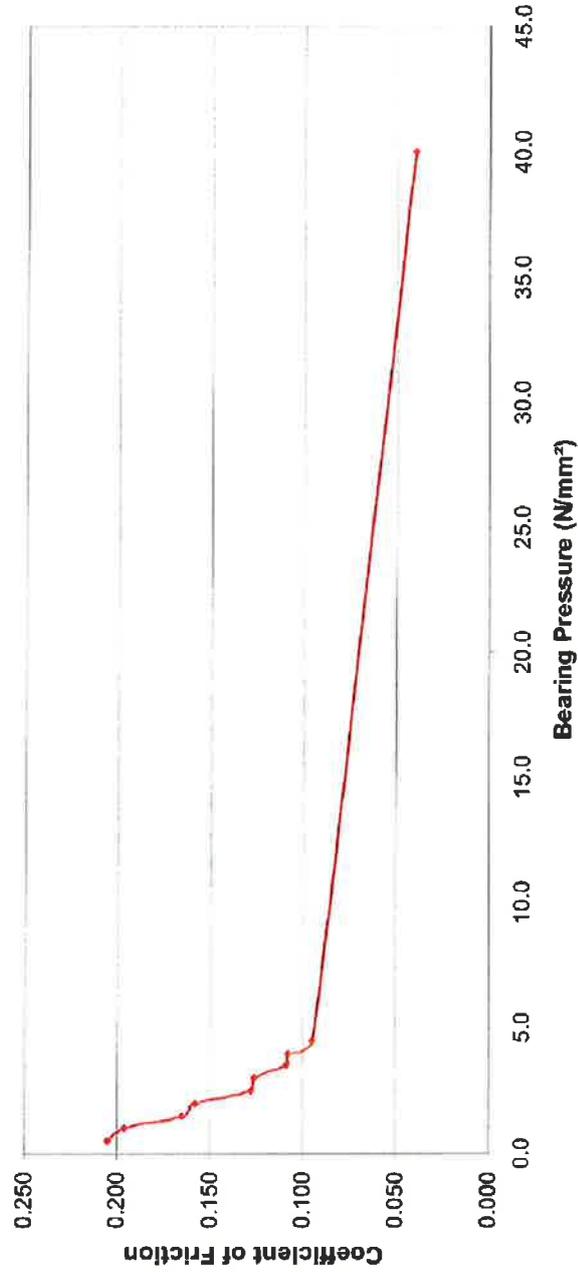


TRELLEBORG

Orkot TXM Marine



TXM Marine : Friction against Bearing Pressure



Orkot® TLM Marine

Orkot® TLM Marine is a non asbestos laminated material manufactured by impregnating special fabrics with thermosetting resins and incorporates solid lubricants. Orkot® TLM Marine possesses exceptional wear resistance and dimensional stability in water with virtually no swell .

MECHANICAL PROPERTIES

TENSILE STRENGTH	60	N/mm ²	8700	lb/in ²
TENSILE MODULUS	3200	N/mm ²	465000	lb/in ²
COMPRESSIVE STRENGTH				
Normal to Laminate	300	N/mm ²	43500	lb/in ²
Parallel to Laminate	90	N/mm ²	13000	lb/in ²
FLEXURAL STRENGTH	65	N/mm ²	9400	lb/in ²
FLEXURAL MODULUS	1900	N/mm ²	276000	lb/in ²
SHEAR STRENGTH	80	N/mm ²	11600	lb/in ²
IMPACT STRENGTH	120	kJ/m ²	0.079	kJ/in ²
DENSITY	1.25	g/cm ³	0.045	lb/in ³
HARDNESS ROCKWELL M			90	
SWELL IN WATER (% of wall thickness after 1 year)			< 0.1%	-

THERMAL PROPERTIES

LINEAR EXPANSION CO-EFFICIENTS 20-100°C / 68-212°F	per °C X 10 ⁻⁵	per °F X 10 ⁻⁵
PARALLEL TO LAMINATE	5 - 6	2.7 - 3.3
NORMAL TO LAMINATE	9 - 10	5.0 - 5.5
STATIC CO EFFICIENT OF FRICTION DRY AT 15N/mm ² / 2180 lb/in ²	0.13 - 0.18	

THE ABOVE VALUES ARE TYPICAL

The information in this data sheet is based on many decades of experience in the manufacture and application of our products. However, unknown parameters and conditions may restrict general statements during usage. It is vital that Customers satisfy themselves as to the suitability of individual products through adequate testing. For this reason, and due to the wide range of applications of our products, Trelleborg can accept no liability as to the suitability or correctness of our recommendations in individual cases. For specific operating conditions please consult your Trelleborg Sealing Solutions technical representative.

© Trelleborg Sealing Solutions 2009. All rights reserved.

This data sheet, or any part thereof, may not be reproduced without our permission.



OL260/TLMM Issue 2

Orkot® TXM Marine

Orkot® TXM Marine is manufactured from medium weave fabrics with excellent mechanical strength, it has a unique low friction bearing surface incorporating molybdenum disulphide and P.T.F.E. Orkot® TXM Marine is recommended for all bearings where a combination of strength and very low friction is required, it will eliminate stick-slip in many applications.

MECHANICAL PROPERTIES

TENSILE STRENGTH	55	N/mm ²	8000	lb/in ²
TENSILE MODULUS	3200	N/mm ²	465000	lb/in ²
COMPRESSIVE STRENGTH				
Normal to Laminate	280	N/mm ²	40600	lb/in ²
Parallel to Laminate	90	N/mm ²	13000	lb/in ²
FLEXURAL STRENGTH	65	N/mm ²	9400	lb/in ²
FLEXURAL MODULUS	1800	N/mm ²	261600	lb/in ²
SHEAR STRENGTH	80	N/mm ²	11600	lb/in ²
DENSITY	1.25	g/cm ³	0.045	lb/in ³
IMPACT STRENGTH	120	kJ/m ²	0.079	kJ/in ²
HARDNESS ROCKWELL M			90	
SWELL IN WATER (% of wall thickness after 1 year)	-		< 0.1%	

THERMAL PROPERTIES

LINEAR EXPANSION CO-EFFICIENTS 20-100°C / 68-212°F	per °C X 10 ⁻⁵	per °F X 10 ⁻⁵
PARALLEL TO LAMINATE	5 - 6	2.7 - 3.3
NORMAL TO LAMINATE	9 - 10	5.0 - 5.5
STATIC CO EFFICIENT OF FRICTION DRY AT 15N/mm ² / 2180 lb/in ²		0.05 - 0.10

THE ABOVE VALUES ARE TYPICAL

The information in this data sheet is based on many decades of experience in the manufacture and application of our products. However, unknown parameters and conditions may restrict general statements during usage. It is vital that Customers satisfy themselves as to the suitability of individual products through adequate testing. For this reason, and due to the wide range of applications of our products, Trelleborg can accept no liability as to the suitability or correctness of our recommendations in individual cases. For specific operating conditions please consult your Trelleborg Sealing Solutions technical representative.

© Trelleborg Sealing Solutions 2009. All rights reserved.

This data sheet, or any part thereof, may not be reproduced without our permission.

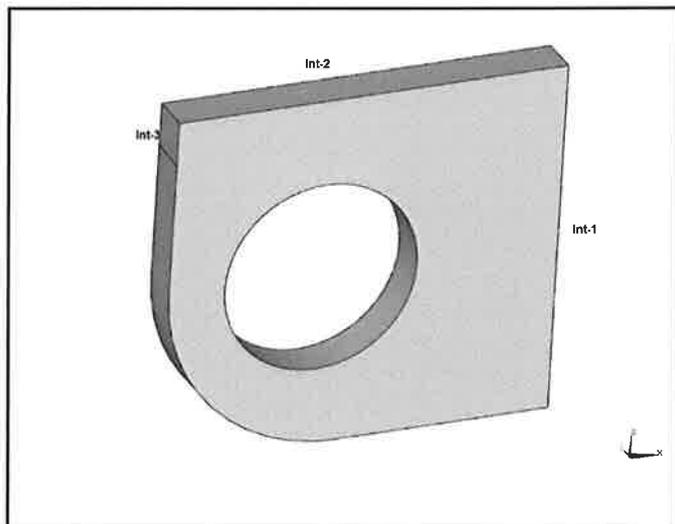


OL260/TXMM Issue 2

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 92
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

ALLEGATO 2

FORZE NODALI LUNGO LE LINEE/AREE DI INTERFACCIA
INDIVIDUATE SULLA LAMA DELLA PARATOIA
CONDIZIONE DI CARICO C10



Nei listati seguenti si riportano le coordinate dei nodi presenti lungo le interfacce sopra evidenziate.

SUPERFICIE DI INTERFACCIA INT-1

LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0

SORT TABLE ON NODE NODE NODE

NODE	X	Y	Z
10820	1010.00000000	-10090.00000000	-693.2500000000
10821	1010.00000000	-10090.00000000	-645.5000000000
10822	1010.00000000	-10090.00000000	-597.7500000000
10823	1010.00000000	-10090.00000000	-550.0000000000
10824	1010.00000000	-10090.00000000	-502.2500000000
10825	1010.00000000	-10090.00000000	-454.5000000000
10826	1010.00000000	-10090.00000000	-406.7500000000
10827	1010.00000000	-10090.00000000	-359.0000000000
10828	1010.00000000	-10090.00000000	-311.2500000000
10829	1010.00000000	-10090.00000000	-263.5000000000
10830	1010.00000000	-10090.00000000	-215.7500000000
10831	1010.00000000	-10090.00000000	-168.0000000000
10832	1010.00000000	-10090.00000000	-120.2500000000
10833	1010.00000000	-10090.00000000	-72.5000000000
10834	1010.00000000	-10090.00000000	-24.7500000000
10837	1010.00000000	-10090.00000000	-741.0000000000
10845	1010.00000000	-10090.00000000	787.0000000000
12121	1010.00000000	-9910.00000000	-693.2500000000
12122	1010.00000000	-9910.00000000	-645.5000000000
12123	1010.00000000	-9910.00000000	-597.7500000000

NODE	X	Y	Z
12124	1010.00000000	-9910.00000000	-550.0000000000
12125	1010.00000000	-9910.00000000	-502.2500000000
12126	1010.00000000	-9910.00000000	-454.5000000000

12127	1010.00000000	-9910.00000000	-406.7500000000
12128	1010.00000000	-9910.00000000	-359.0000000000
12129	1010.00000000	-9910.00000000	-311.2500000000
12130	1010.00000000	-9910.00000000	-263.5000000000
12131	1010.00000000	-9910.00000000	-215.7500000000
12132	1010.00000000	-9910.00000000	-168.0000000000
12133	1010.00000000	-9910.00000000	-120.2500000000
12134	1010.00000000	-9910.00000000	-72.5000000000
12135	1010.00000000	-9910.00000000	-24.7500000000
12138	1010.00000000	-9910.00000000	787.0000000000
12147	1010.00000000	-9910.00000000	-741.0000000000
12178	1010.00000000	-9970.00000000	787.0000000000
12195	1010.00000000	-10030.00000000	787.0000000000
12998	1010.00000000	-9970.00000000	-693.2500000000
12999	1010.00000000	-9970.00000000	-645.5000000000
13000	1010.00000000	-9970.00000000	-597.7500000000
13001	1010.00000000	-9970.00000000	-550.0000000000

NODE	X	Y	Z
13002	1010.00000000	-9970.00000000	-502.2500000000
13003	1010.00000000	-9970.00000000	-454.5000000000
13004	1010.00000000	-9970.00000000	-406.7500000000
13005	1010.00000000	-9970.00000000	-359.0000000000
13006	1010.00000000	-9970.00000000	-311.2500000000
13007	1010.00000000	-9970.00000000	-263.5000000000
13008	1010.00000000	-9970.00000000	-215.7500000000
13009	1010.00000000	-9970.00000000	-168.0000000000
13010	1010.00000000	-9970.00000000	-120.2500000000
13011	1010.00000000	-9970.00000000	-72.5000000000
13012	1010.00000000	-9970.00000000	-24.7500000000
13013	1010.00000000	-9970.00000000	-741.0000000000
16037	1010.00000000	-10060.00000000	-741.0000000000
16038	1010.00000000	-10060.00000000	787.0000000000
16055	1010.00000000	-9940.00000000	787.0000000000
16056	1010.00000000	-9940.00000000	-741.0000000000
16090	1010.00000000	-9910.00000000	23.0000000000
16091	1010.00000000	-9910.00000000	70.7500000000
16092	1010.00000000	-9910.00000000	118.5000000000
16093	1010.00000000	-9910.00000000	166.2500000000

NODE	X	Y	Z
16094	1010.00000000	-9910.00000000	214.0000000000
16095	1010.00000000	-9910.00000000	261.7500000000
16096	1010.00000000	-9910.00000000	309.5000000000
16097	1010.00000000	-9910.00000000	357.2500000000
16098	1010.00000000	-9910.00000000	405.0000000000
16099	1010.00000000	-9910.00000000	452.7500000000
16100	1010.00000000	-9910.00000000	500.5000000000
16101	1010.00000000	-9910.00000000	548.2500000000
16102	1010.00000000	-9910.00000000	596.0000000000
16103	1010.00000000	-9910.00000000	643.7500000000
16104	1010.00000000	-9910.00000000	691.5000000000
16105	1010.00000000	-9910.00000000	739.2500000000
16242	1010.00000000	-10000.00000000	787.0000000000
16243	1010.00000000	-10000.00000000	-741.0000000000
16267	1010.00000000	-10030.00000000	739.2500000000
16268	1010.00000000	-10030.00000000	691.5000000000
16269	1010.00000000	-10030.00000000	643.7500000000

16270	1010.00000000	-10030.00000000	596.000000000
16271	1010.00000000	-10030.00000000	548.250000000
16272	1010.00000000	-10030.00000000	500.500000000

NODE	X	Y	Z
16273	1010.00000000	-10030.00000000	452.750000000
16274	1010.00000000	-10030.00000000	405.000000000
16275	1010.00000000	-10030.00000000	357.250000000
16276	1010.00000000	-10030.00000000	309.500000000
16277	1010.00000000	-10030.00000000	261.750000000
16278	1010.00000000	-10030.00000000	214.000000000
16279	1010.00000000	-10030.00000000	166.250000000
16280	1010.00000000	-10030.00000000	118.500000000
16281	1010.00000000	-10030.00000000	70.750000000
16282	1010.00000000	-10030.00000000	23.000000000
16288	1010.00000000	-9970.00000000	23.000000000
16289	1010.00000000	-9970.00000000	70.750000000
16290	1010.00000000	-9970.00000000	118.500000000
16291	1010.00000000	-9970.00000000	166.250000000
16292	1010.00000000	-9970.00000000	214.000000000
16293	1010.00000000	-9970.00000000	261.750000000
16294	1010.00000000	-9970.00000000	309.500000000
16295	1010.00000000	-9970.00000000	357.250000000
16296	1010.00000000	-9970.00000000	405.000000000
16297	1010.00000000	-9970.00000000	452.750000000

NODE	X	Y	Z
16298	1010.00000000	-9970.00000000	500.500000000
16299	1010.00000000	-9970.00000000	548.250000000
16300	1010.00000000	-9970.00000000	596.000000000
16301	1010.00000000	-9970.00000000	643.750000000
16302	1010.00000000	-9970.00000000	691.500000000
16303	1010.00000000	-9970.00000000	739.250000000
16853	1010.00000000	-10090.00000000	23.000000000
16854	1010.00000000	-10090.00000000	70.750000000
16855	1010.00000000	-10090.00000000	118.500000000
16856	1010.00000000	-10090.00000000	166.250000000
16857	1010.00000000	-10090.00000000	214.000000000
16858	1010.00000000	-10090.00000000	261.750000000
16859	1010.00000000	-10090.00000000	309.500000000
16860	1010.00000000	-10090.00000000	357.250000000
16861	1010.00000000	-10090.00000000	405.000000000
16862	1010.00000000	-10090.00000000	452.750000000
16863	1010.00000000	-10090.00000000	500.500000000
16864	1010.00000000	-10090.00000000	548.250000000
16865	1010.00000000	-10090.00000000	596.000000000
16866	1010.00000000	-10090.00000000	643.750000000

NODE	X	Y	Z
16867	1010.00000000	-10090.00000000	691.500000000
16868	1010.00000000	-10090.00000000	739.250000000
21262	1010.00000000	-10060.00000000	-645.500000000
21263	1010.00000000	-10060.00000000	-550.000000000
21264	1010.00000000	-10060.00000000	-454.500000000
21265	1010.00000000	-10060.00000000	-359.000000000
21266	1010.00000000	-10060.00000000	-263.500000000
21267	1010.00000000	-10060.00000000	-168.000000000
21268	1010.00000000	-10060.00000000	-72.500000000

21269	1010.00000000	-10060.00000000	23.0000000000
21270	1010.00000000	-10060.00000000	118.5000000000
21271	1010.00000000	-10060.00000000	214.0000000000
21272	1010.00000000	-10060.00000000	309.5000000000
21273	1010.00000000	-10060.00000000	405.0000000000
21274	1010.00000000	-10060.00000000	500.5000000000
21275	1010.00000000	-10060.00000000	596.0000000000
21276	1010.00000000	-10060.00000000	691.5000000000
21697	1010.00000000	-9940.00000000	-645.5000000000
21698	1010.00000000	-9940.00000000	-550.0000000000
21699	1010.00000000	-9940.00000000	-454.5000000000

NODE	X	Y	Z
21700	1010.00000000	-9940.00000000	-359.0000000000
21701	1010.00000000	-9940.00000000	-263.5000000000
21702	1010.00000000	-9940.00000000	-168.0000000000
21703	1010.00000000	-9940.00000000	-72.5000000000
21704	1010.00000000	-9940.00000000	23.0000000000
21705	1010.00000000	-9940.00000000	118.5000000000
21706	1010.00000000	-9940.00000000	214.0000000000
21707	1010.00000000	-9940.00000000	309.5000000000
21708	1010.00000000	-9940.00000000	405.0000000000
21709	1010.00000000	-9940.00000000	500.5000000000
21710	1010.00000000	-9940.00000000	596.0000000000
21711	1010.00000000	-9940.00000000	691.5000000000
21828	1010.00000000	-10000.00000000	691.5000000000
21829	1010.00000000	-10000.00000000	596.0000000000
21830	1010.00000000	-10000.00000000	500.5000000000
21831	1010.00000000	-10000.00000000	405.0000000000
21832	1010.00000000	-10000.00000000	309.5000000000
21833	1010.00000000	-10000.00000000	214.0000000000
21834	1010.00000000	-10000.00000000	118.5000000000
21835	1010.00000000	-10000.00000000	23.0000000000

NODE	X	Y	Z
21836	1010.00000000	-10000.00000000	-72.5000000000
21837	1010.00000000	-10000.00000000	-168.0000000000
21838	1010.00000000	-10000.00000000	-263.5000000000
21839	1010.00000000	-10000.00000000	-359.0000000000
21840	1010.00000000	-10000.00000000	-454.5000000000
21841	1010.00000000	-10000.00000000	-550.0000000000
21842	1010.00000000	-10000.00000000	-645.5000000000
23846	1010.00000000	-10030.00000000	-24.7500000000
23847	1010.00000000	-10030.00000000	-72.5000000000
23848	1010.00000000	-10030.00000000	-120.2500000000
23849	1010.00000000	-10030.00000000	-168.0000000000
23850	1010.00000000	-10030.00000000	-215.7500000000
23851	1010.00000000	-10030.00000000	-263.5000000000
23852	1010.00000000	-10030.00000000	-311.2500000000
23853	1010.00000000	-10030.00000000	-359.0000000000
23854	1010.00000000	-10030.00000000	-406.7500000000
23855	1010.00000000	-10030.00000000	-454.5000000000
23856	1010.00000000	-10030.00000000	-502.2500000000
23857	1010.00000000	-10030.00000000	-550.0000000000
23858	1010.00000000	-10030.00000000	-597.7500000000

NODE	X	Y	Z
------	---	---	---

23859	1010.00000000	-10030.00000000	-645.5000000000
23860	1010.00000000	-10030.00000000	-693.2500000000
24719	1010.00000000	-10030.00000000	-741.0000000000

SUPERFICIE DI INTERFACCIA INT-2

LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0

SORT TABLE ON NODE NODE NODE

NODE	X	Y	Z
15005	75.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15006	50.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15007	986.052631579	-10090.00000000	787.0000000000
15008	962.105263158	-10090.00000000	787.0000000000
15009	938.157894737	-10090.00000000	787.0000000000
15010	914.210526316	-10090.00000000	787.0000000000
15011	890.263157895	-10090.00000000	787.0000000000
15012	866.315789474	-10090.00000000	787.0000000000
15013	842.368421053	-10090.00000000	787.0000000000
15014	818.421052632	-10090.00000000	787.0000000000
15015	794.473684210	-10090.00000000	787.0000000000
15016	770.526315790	-10090.00000000	787.0000000000
15017	746.578947368	-10090.00000000	787.0000000000
15018	722.631578947	-10090.00000000	787.0000000000
15019	698.684210526	-10090.00000000	787.0000000000
15020	674.736842105	-10090.00000000	787.0000000000
15021	650.789473684	-10090.00000000	787.0000000000
15022	626.842105263	-10090.00000000	787.0000000000
15023	602.894736842	-10090.00000000	787.0000000000
15024	578.947368421	-10090.00000000	787.0000000000

NODE	X	Y	Z
15025	555.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15118	-25.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15119	-50.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15120	-75.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15121	-100.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15122	-125.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15123	-150.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15124	-175.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15125	-200.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15126	-225.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15127	-250.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15128	-275.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15129	-300.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15130	-325.0000000000	-10090.00000000	787.0000000000
15200	-25.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000
15201	-50.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000
15202	-75.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000
15203	-100.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000
15204	-125.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000
15205	-150.0000000000	-9910.00000000	787.0000000000

NODE	X	Y	Z
------	---	---	---

15206	-175.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15207	-200.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15208	-225.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15209	-250.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15210	-275.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15211	-300.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15212	-325.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15326	986.052631579	-9910.000000000	787.000000000
15327	962.105263158	-9910.000000000	787.000000000
15328	938.157894737	-9910.000000000	787.000000000
15329	914.210526316	-9910.000000000	787.000000000
15330	890.263157895	-9910.000000000	787.000000000
15331	866.315789474	-9910.000000000	787.000000000
15332	842.368421053	-9910.000000000	787.000000000
15333	818.421052632	-9910.000000000	787.000000000
15334	794.473684210	-9910.000000000	787.000000000
15335	770.526315790	-9910.000000000	787.000000000
15336	746.578947368	-9910.000000000	787.000000000
15337	722.631578947	-9910.000000000	787.000000000
15338	698.684210526	-9910.000000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
15339	674.736842105	-9910.000000000	787.000000000
15340	650.789473684	-9910.000000000	787.000000000
15341	626.842105263	-9910.000000000	787.000000000
15342	602.894736842	-9910.000000000	787.000000000
15343	578.947368421	-9910.000000000	787.000000000
15344	555.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15346	75.000000000	-9910.000000000	787.000000000
15347	50.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21202	531.052631579	-10090.000000000	787.000000000
21203	507.105263158	-10090.000000000	787.000000000
21204	483.157894737	-10090.000000000	787.000000000
21205	459.210526316	-10090.000000000	787.000000000
21206	435.263157895	-10090.000000000	787.000000000
21207	411.315789474	-10090.000000000	787.000000000
21208	387.368421053	-10090.000000000	787.000000000
21209	363.421052632	-10090.000000000	787.000000000
21210	339.473684210	-10090.000000000	787.000000000
21211	315.526315790	-10090.000000000	787.000000000
21212	291.578947368	-10090.000000000	787.000000000
21213	267.631578947	-10090.000000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
21214	243.684210526	-10090.000000000	787.000000000
21215	219.736842105	-10090.000000000	787.000000000
21216	195.789473684	-10090.000000000	787.000000000
21217	171.842105263	-10090.000000000	787.000000000
21218	147.894736842	-10090.000000000	787.000000000
21219	123.947368421	-10090.000000000	787.000000000
21259	100.000000000	-10090.000000000	787.000000000
21260	25.000000000	-10090.000000000	787.000000000
21495	-350.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21496	-375.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21497	-400.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21498	-425.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21499	-450.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21500	-475.000000000	-9910.000000000	787.000000000

21501	-500.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21502	-525.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21503	-550.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21504	-575.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21505	-600.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21506	-625.000000000	-9910.000000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
21657	531.052631579	-9910.000000000	787.000000000
21658	507.105263158	-9910.000000000	787.000000000
21659	483.157894737	-9910.000000000	787.000000000
21660	459.210526316	-9910.000000000	787.000000000
21661	435.263157895	-9910.000000000	787.000000000
21662	411.315789474	-9910.000000000	787.000000000
21663	387.368421053	-9910.000000000	787.000000000
21664	363.421052632	-9910.000000000	787.000000000
21665	339.473684210	-9910.000000000	787.000000000
21666	315.526315790	-9910.000000000	787.000000000
21667	291.578947368	-9910.000000000	787.000000000
21668	267.631578947	-9910.000000000	787.000000000
21669	243.684210526	-9910.000000000	787.000000000
21670	219.736842105	-9910.000000000	787.000000000
21671	195.789473684	-9910.000000000	787.000000000
21672	171.842105263	-9910.000000000	787.000000000
21673	147.894736842	-9910.000000000	787.000000000
21674	123.947368421	-9910.000000000	787.000000000
21693	100.000000000	-9910.000000000	787.000000000
21694	-0.682121026330E-12	-9910.000000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
21695	25.000000000	-9910.000000000	787.000000000
27767	-350.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27768	-375.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27769	-400.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27770	-425.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27771	-450.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27772	-475.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27773	-500.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27774	-525.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27775	-550.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27776	-575.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27777	-600.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27778	-625.000000000	-10090.000000000	787.000000000
27779	-0.682121026330E-12	-10090.000000000	787.000000000
460836	986.052631579	-9970.000000000	787.000000000
460837	962.105263158	-9970.000000000	787.000000000
460838	938.157894737	-9970.000000000	787.000000000
460839	914.210526316	-9970.000000000	787.000000000
460840	890.263157895	-9970.000000000	787.000000000
460841	866.315789474	-9970.000000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
460842	842.368421053	-9970.000000000	787.000000000
460843	818.421052632	-9970.000000000	787.000000000
460844	794.473684210	-9970.000000000	787.000000000
460845	770.526315790	-9970.000000000	787.000000000
460846	746.578947368	-9970.000000000	787.000000000

460847	722.631578947	-9970.00000000	787.000000000
460848	698.684210526	-9970.00000000	787.000000000
460849	674.736842105	-9970.00000000	787.000000000
460850	650.789473684	-9970.00000000	787.000000000
460851	626.842105263	-9970.00000000	787.000000000
460852	602.894736842	-9970.00000000	787.000000000
460853	578.947368421	-9970.00000000	787.000000000
460865	100.000000000	-9970.00000000	787.000000000
460866	25.000000000	-9970.00000000	787.000000000
460876	-0.682121026330E-12	-9970.00000000	787.000000000
461188	-25.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461189	-50.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461190	-75.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461191	-100.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461192	-125.000000000	-9970.00000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461193	-150.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461194	-175.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461195	-200.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461196	-225.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461197	-250.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461198	-275.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461199	-300.000000000	-9970.00000000	787.000000000
461366	50.000000000	-10000.00000000	787.000000000
461367	-0.682121026330E-12	-10030.00000000	787.000000000
461368	75.000000000	-10030.00000000	787.000000000
461369	100.000000000	-10030.00000000	787.000000000
461392	147.894736842	-10000.00000000	787.000000000
461393	195.789473684	-10000.00000000	787.000000000
461394	243.684210526	-10000.00000000	787.000000000
461395	291.578947368	-10000.00000000	787.000000000
461396	339.473684210	-10000.00000000	787.000000000
461397	387.368421053	-10000.00000000	787.000000000
461398	435.263157895	-10000.00000000	787.000000000
461399	483.157894737	-10000.00000000	787.000000000
461400	531.052631579	-10000.00000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461401	578.947368421	-10000.00000000	787.000000000
461402	626.842105263	-10000.00000000	787.000000000
461403	674.736842105	-10000.00000000	787.000000000
461404	722.631578947	-10000.00000000	787.000000000
461405	770.526315790	-10000.00000000	787.000000000
461406	818.421052632	-10000.00000000	787.000000000
461407	866.315789474	-10000.00000000	787.000000000
461408	914.210526316	-10000.00000000	787.000000000
461409	962.105263158	-10000.00000000	787.000000000
461410	986.052631579	-10030.00000000	787.000000000
461411	962.105263158	-10030.00000000	787.000000000
461412	938.157894737	-10030.00000000	787.000000000
461413	914.210526316	-10030.00000000	787.000000000
461414	890.263157895	-10030.00000000	787.000000000
461415	866.315789474	-10030.00000000	787.000000000
461416	842.368421053	-10030.00000000	787.000000000
461417	818.421052632	-10030.00000000	787.000000000
461418	794.473684210	-10030.00000000	787.000000000

461419	770.526315790	-10030.0000000	787.000000000
461420	746.578947368	-10030.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461421	722.631578947	-10030.0000000	787.000000000
461422	698.684210526	-10030.0000000	787.000000000
461423	674.736842105	-10030.0000000	787.000000000
461424	650.789473684	-10030.0000000	787.000000000
461425	626.842105263	-10030.0000000	787.000000000
461426	602.894736842	-10030.0000000	787.000000000
461427	578.947368421	-10030.0000000	787.000000000
461428	50.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461429	147.894736842	-9940.0000000	787.000000000
461430	195.789473684	-9940.0000000	787.000000000
461431	243.684210526	-9940.0000000	787.000000000
461432	291.578947368	-9940.0000000	787.000000000
461433	339.473684210	-9940.0000000	787.000000000
461434	387.368421053	-9940.0000000	787.000000000
461435	435.263157895	-9940.0000000	787.000000000
461436	483.157894737	-9940.0000000	787.000000000
461437	531.052631579	-9940.0000000	787.000000000
461438	578.947368421	-9940.0000000	787.000000000
461439	626.842105263	-9940.0000000	787.000000000
461440	674.736842105	-9940.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461441	722.631578947	-9940.0000000	787.000000000
461442	770.526315790	-9940.0000000	787.000000000
461443	818.421052632	-9940.0000000	787.000000000
461444	866.315789474	-9940.0000000	787.000000000
461445	914.210526316	-9940.0000000	787.000000000
461446	962.105263158	-9940.0000000	787.000000000
461496	-600.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461497	-550.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461498	-500.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461499	-450.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461500	-400.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461501	-350.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461502	-300.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461503	-250.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461504	-200.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461505	-150.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461506	-100.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461507	-50.000000000	-9940.0000000	787.000000000
461528	50.000000000	-10060.0000000	787.000000000
461551	962.105263158	-10060.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461552	914.210526316	-10060.0000000	787.000000000
461553	866.315789474	-10060.0000000	787.000000000
461554	818.421052632	-10060.0000000	787.000000000
461555	770.526315790	-10060.0000000	787.000000000
461556	722.631578947	-10060.0000000	787.000000000
461557	674.736842105	-10060.0000000	787.000000000
461558	626.842105263	-10060.0000000	787.000000000
461559	578.947368421	-10060.0000000	787.000000000
461560	531.052631579	-10060.0000000	787.000000000

461561	483.157894737	-10060.0000000	787.000000000
461562	435.263157895	-10060.0000000	787.000000000
461563	387.368421053	-10060.0000000	787.000000000
461564	339.473684210	-10060.0000000	787.000000000
461565	291.578947368	-10060.0000000	787.000000000
461566	243.684210526	-10060.0000000	787.000000000
461567	195.789473684	-10060.0000000	787.000000000
461568	147.894736842	-10060.0000000	787.000000000
462117	-600.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462118	-550.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462119	-500.000000000	-10000.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
462120	-450.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462121	-400.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462122	-350.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462123	-300.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462124	-250.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462125	-200.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462126	-150.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462127	-100.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462128	-50.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462129	-25.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462130	-50.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462131	-75.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462132	-100.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462133	-125.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462134	-150.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462135	-175.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462136	-200.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462137	-225.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462138	-250.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462139	-275.000000000	-10030.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
462140	-300.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462211	-50.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462212	-100.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462213	-150.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462214	-200.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462215	-250.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462216	-300.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462217	-350.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462218	-400.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462219	-450.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462220	-500.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462221	-550.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462222	-600.000000000	-10060.0000000	787.000000000
462295	-0.682121026330E-12	-10000.0000000	787.000000000
462313	50.000000000	-9970.0000000	787.000000000
462314	75.000000000	-9970.0000000	787.000000000
462315	100.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462316	50.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462317	25.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462328	555.000000000	-9970.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
------	---	---	---

462329	531.052631579	-9970.00000000	787.000000000
462330	507.105263158	-9970.00000000	787.000000000
462331	483.157894737	-9970.00000000	787.000000000
462332	459.210526316	-9970.00000000	787.000000000
462333	435.263157895	-9970.00000000	787.000000000
462334	411.315789474	-9970.00000000	787.000000000
462335	387.368421053	-9970.00000000	787.000000000
462336	363.421052632	-9970.00000000	787.000000000
462337	339.473684210	-9970.00000000	787.000000000
462338	315.526315790	-9970.00000000	787.000000000
462339	291.578947368	-9970.00000000	787.000000000
462340	267.631578947	-9970.00000000	787.000000000
462341	243.684210526	-9970.00000000	787.000000000
462342	219.736842105	-9970.00000000	787.000000000
462343	195.789473684	-9970.00000000	787.000000000
462344	171.842105263	-9970.00000000	787.000000000
462345	147.894736842	-9970.00000000	787.000000000
462346	123.947368421	-9970.00000000	787.000000000
462349	555.000000000	-10030.00000000	787.000000000
462350	531.052631579	-10030.00000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
462351	507.105263158	-10030.00000000	787.000000000
462352	483.157894737	-10030.00000000	787.000000000
462353	459.210526316	-10030.00000000	787.000000000
462354	435.263157895	-10030.00000000	787.000000000
462355	411.315789474	-10030.00000000	787.000000000
462356	387.368421053	-10030.00000000	787.000000000
462357	363.421052632	-10030.00000000	787.000000000
462358	339.473684210	-10030.00000000	787.000000000
462359	315.526315790	-10030.00000000	787.000000000
462360	291.578947368	-10030.00000000	787.000000000
462361	267.631578947	-10030.00000000	787.000000000
462362	243.684210526	-10030.00000000	787.000000000
462363	219.736842105	-10030.00000000	787.000000000
462364	195.789473684	-10030.00000000	787.000000000
462365	171.842105263	-10030.00000000	787.000000000
462366	147.894736842	-10030.00000000	787.000000000
462367	123.947368421	-10030.00000000	787.000000000
462408	-0.682121026330E-12	-9940.00000000	787.000000000
462418	100.000000000	-9940.00000000	787.000000000
462485	-325.000000000	-9970.00000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
462486	-350.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462487	-375.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462488	-400.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462489	-425.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462490	-450.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462491	-475.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462492	-500.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462493	-525.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462494	-550.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462495	-575.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462496	-600.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462497	-625.000000000	-9970.00000000	787.000000000
462586	-0.682121026330E-12	-10060.00000000	787.000000000
462588	100.000000000	-10060.00000000	787.000000000

462874	-325.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462875	-350.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462876	-375.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462877	-400.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462878	-425.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462879	-450.000000000	-10030.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
462880	-475.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462881	-500.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462882	-525.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462883	-550.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462884	-575.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462885	-600.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462886	-625.000000000	-10030.0000000	787.000000000

SUPERFICIE DI INTERFACCIA INT-3

LIST ALL SELECTED NODES. DSYS= 0

SORT TABLE ON NODE NODE NODE

NODE	X	Y	Z
15131	-650.000000000	-10090.0000000	743.666666667
15132	-650.000000000	-10090.0000000	700.333333333
15133	-650.000000000	-10090.0000000	657.000000000
15134	-650.000000000	-10090.0000000	523.500000000
15214	-650.000000000	-9910.0000000	743.666666667
15215	-650.000000000	-9910.0000000	700.333333333
15216	-650.000000000	-9910.0000000	657.000000000
15226	-650.000000000	-9910.0000000	523.500000000
21520	-650.000000000	-9910.0000000	787.000000000
21523	-650.000000000	-9910.0000000	613.666666667
21524	-650.000000000	-9910.0000000	570.333333333
21545	-650.000000000	-9910.0000000	520.000000000
21547	-650.000000000	-9910.0000000	527.000000000
27797	-650.000000000	-10090.0000000	613.666666667
27798	-650.000000000	-10090.0000000	570.333333333
27799	-650.000000000	-10090.0000000	787.000000000
27800	-650.000000000	-10090.0000000	520.000000000
27801	-650.000000000	-10090.0000000	527.000000000
461200	-650.000000000	-9970.0000000	570.333333333
461201	-650.000000000	-9970.0000000	787.000000000

NODE	X	Y	Z
461202	-650.000000000	-9970.0000000	613.666666667
461209	-650.000000000	-9970.0000000	527.000000000
461210	-650.000000000	-9970.0000000	520.000000000
461494	-650.000000000	-9940.0000000	613.666666667
461495	-650.000000000	-9940.0000000	700.333333333
462099	-650.000000000	-10030.0000000	527.000000000
462100	-650.000000000	-10030.0000000	520.000000000
462112	-650.000000000	-10000.0000000	613.666666667
462113	-650.000000000	-10000.0000000	700.333333333
462114	-650.000000000	-10030.0000000	743.666666667
462115	-650.000000000	-10030.0000000	700.333333333

462116	-650.000000000	-10030.0000000	787.000000000
462186	-650.000000000	-10060.0000000	700.333333333
462187	-650.000000000	-10060.0000000	613.666666667
462484	-650.000000000	-9970.0000000	523.500000000
462498	-650.000000000	-9970.0000000	657.000000000
462499	-650.000000000	-9970.0000000	700.333333333
462500	-650.000000000	-9970.0000000	743.666666667
462518	-650.000000000	-9940.0000000	527.000000000
462519	-650.000000000	-9940.0000000	520.000000000

NODE	X	Y	Z
462527	-650.000000000	-9940.0000000	787.000000000
462860	-650.000000000	-10030.0000000	523.500000000
462861	-650.000000000	-10000.0000000	527.000000000
462862	-650.000000000	-10000.0000000	520.000000000
462870	-650.000000000	-10030.0000000	657.000000000
462871	-650.000000000	-10030.0000000	613.666666667
462872	-650.000000000	-10030.0000000	570.333333333
462873	-650.000000000	-10000.0000000	787.000000000
462915	-650.000000000	-10060.0000000	527.000000000
462916	-650.000000000	-10060.0000000	520.000000000
462917	-650.000000000	-10060.0000000	787.000000000

FORZE NODALI LUNGO LA SUPERFICIE DI INTERFACCIA INT-1

***** POSTI NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****

LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
15131	2484.	0.8222E+05	-7798.	0.000	0.000	0.000
15132	-2187.	-9662.	-8121.	0.000	0.000	0.000
15133	2669.	-0.1041E+06	-0.1296E+05	0.000	0.000	0.000
15134	-7914.	-0.3983E+05	-0.2432E+05	0.000	0.000	0.000
15214	1840.	0.6749E+05	0.1846E+05	0.000	0.000	0.000
15215	-1203.	0.1606E+05	0.1110E+05	0.000	0.000	0.000
15216	102.8	8443.	0.2109E+05	0.000	0.000	0.000
15226	1254.	-9071.	6320.	0.000	0.000	0.000
21520	5102.	0.2695E+05	0.1794E+05	0.000	0.000	0.000
21523	649.1	-8568.	1685.	0.000	0.000	0.000
21524	-1452.	-0.6661E+05	1018.	0.000	0.000	0.000
21545	-3298.	-0.3442E+05	-0.1707E+05	0.000	0.000	0.000
21547	-5641.	-0.6209E+05	-0.2301E+05	0.000	0.000	0.000
27797	-4775.	-0.9309E+05	1838.	0.000	0.000	0.000
27798	6627.	-0.3190E+06	5405.	0.000	0.000	0.000
27799	0.1487E+05	0.3378E+05	-1046.	0.000	0.000	0.000
27800	0.1399E+05	-0.9509E+05	0.4502E+05	0.000	0.000	0.000
27801	0.1618E+05	-0.1937E+06	0.3380E+05	0.000	0.000	0.000
461200	-0.1096E-05	0.8444E-05	0.3269E-06	0.000	0.000	0.000
461201	-0.4816E-06	-0.3071E-05	0.2082E-06	0.000	0.000	0.000
461202	-0.1333E-05	0.1214E-04	0.2710E-06	0.000	0.000	0.000
461209	-0.5583E-06	0.1150E-04	0.3527E-06	0.000	0.000	0.000
461210	-0.6195E-06	-0.2234E-05	-0.2244E-05	0.000	0.000	0.000
461494	-0.5765E-07	0.8207E-05	-0.2295E-06	0.000	0.000	0.000
461495	-0.3608E-06	0.4589E-05	-0.6647E-06	0.000	0.000	0.000
462099	0.1569E-06	0.1682E-06	0.3905E-06	0.000	0.000	0.000
462100	0.4135E-06	0.1080E-06	0.5542E-06	0.000	0.000	0.000

462112	-0.6412E-07	0.4660E-05	0.2703E-06	0.000	0.000	0.000
462113	0.4263E-07	-0.5557E-05	-0.4233E-06	0.000	0.000	0.000
462114	-0.1731E-06	-0.5627E-05	0.1071E-06	0.000	0.000	0.000
462115	0.2184E-06	-0.5473E-05	0.7550E-07	0.000	0.000	0.000
462116	-0.2441E-06	-0.9063E-06	0.7507E-07	0.000	0.000	0.000
462186	-0.3398E-06	-0.1090E-04	-0.5511E-06	0.000	0.000	0.000
462187	-0.2048E-06	0.1634E-04	-0.3738E-06	0.000	0.000	0.000
462484	-0.5175E-06	-0.1916E-04	-0.8130E-07	0.000	0.000	0.000
462498	-0.4779E-06	0.1206E-04	-0.5998E-06	0.000	0.000	0.000
462499	-0.5530E-06	-0.4665E-05	0.1084E-06	0.000	0.000	0.000
462500	0.1084E-06	-0.6318E-05	-0.1061E-06	0.000	0.000	0.000
462518	-0.2550E-06	-0.3283E-07	0.6710E-07	0.000	0.000	0.000
462519	-0.1039E-06	0.6374E-08	0.3982E-06	0.000	0.000	0.000
462527	-0.1325E-06	-0.3151E-05	0.2938E-06	0.000	0.000	0.000
462860	-0.9591E-07	-0.3704E-07	-0.8913E-06	0.000	0.000	0.000
462861	-0.1145E-06	0.1901E-07	0.2710E-06	0.000	0.000	0.000
462862	-0.1828E-06	-0.1607E-06	0.4179E-06	0.000	0.000	0.000
462870	0.1497E-06	0.2937E-05	-0.2137E-06	0.000	0.000	0.000
462871	-0.3176E-07	0.2442E-06	-0.8037E-06	0.000	0.000	0.000
462872	0.3483E-07	-0.2957E-07	0.1667E-06	0.000	0.000	0.000
462873	-0.3754E-06	-0.1237E-04	0.4012E-06	0.000	0.000	0.000
462915	0.2298E-06	0.1617E-04	-0.6644E-06	0.000	0.000	0.000
462916	-0.6558E-06	0.2202E-04	-0.4535E-06	0.000	0.000	0.000
462917	0.8613E-08	-0.8516E-05	0.1488E-06	0.000	0.000	0.000

***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

FX = 39298.79
FY = -800189.4
FZ = 69346.11
MX = 0.4097528E+09
MY = 0.7150401E+08
MZ = 0.5241361E+09

SUMMATION POINT= 0.0000 -10000. 0.0000

FORZE NODALI LUNGO LA LINEA DI INTERFACCIA INT-2 (Y+)

***** POST1 NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****

LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
15200	0.3021E+05	-0.1102E+05	3.579	0.000	0.000	0.000
15201	0.1527E+05	-5048.	-16.84	0.000	0.000	0.000
15202	0.3009E+05	-9116.	9.814	0.000	0.000	0.000
15203	0.1511E+05	-3990.	-19.46	0.000	0.000	0.000
15204	0.2962E+05	-6749.	15.43	0.000	0.000	0.000
15205	0.1467E+05	-2731.	-23.92	0.000	0.000	0.000
15206	0.2885E+05	-3948.	20.71	0.000	0.000	0.000
15207	0.1412E+05	-1213.	-25.49	0.000	0.000	0.000
15208	0.2793E+05	-550.7	21.99	0.000	0.000	0.000
15209	0.1361E+05	677.2	-24.98	0.000	0.000	0.000
15210	0.2704E+05	3661.	19.75	0.000	0.000	0.000
15211	0.1320E+05	3030.	-24.98	0.000	0.000	0.000
15212	0.2641E+05	8904.	17.65	0.000	0.000	0.000
15326	0.2453E+05	-0.1267E+05	-366.6	0.000	0.000	0.000
15327	0.1273E+05	-7154.	260.5	0.000	0.000	0.000

15328	0.2422E+05	-0.1172E+05	-204.8	0.000	0.000	0.000
15329	0.1177E+05	-5703.	148.1	0.000	0.000	0.000
15330	0.2302E+05	-0.1141E+05	-91.99	0.000	0.000	0.000
15331	0.1152E+05	-5593.	58.06	0.000	0.000	0.000
15332	0.2214E+05	-0.1107E+05	-29.63	0.000	0.000	0.000
15333	0.1085E+05	-5380.	16.42	0.000	0.000	0.000
15334	0.2138E+05	-0.1098E+05	-2.714	0.000	0.000	0.000
15335	0.1023E+05	-5479.	-10.81	0.000	0.000	0.000
15336	0.2075E+05	-0.1124E+05	14.37	0.000	0.000	0.000
15337	0.1010E+05	-5682.	-9.062	0.000	0.000	0.000
15338	0.2018E+05	-0.1150E+05	8.793	0.000	0.000	0.000
15339	0.1006E+05	-5827.	-1.531	0.000	0.000	0.000
15340	0.1980E+05	-0.1174E+05	1.619	0.000	0.000	0.000
15341	9855.	-5952.	1.645	0.000	0.000	0.000
15342	0.1950E+05	-0.1207E+05	-3.535	0.000	0.000	0.000
15343	9802.	-6155.	6.465	0.000	0.000	0.000
15344	0.1934E+05	-0.1243E+05	-6.646	0.000	0.000	0.000
15346	0.2926E+05	-0.1371E+05	-17.15	0.000	0.000	0.000
15347	0.1487E+05	-6616.	-4.180	0.000	0.000	0.000
21495	0.1297E+05	5985.	-28.77	0.000	0.000	0.000
21496	0.2617E+05	0.1552E+05	19.70	0.000	0.000	0.000
21497	0.1300E+05	9773.	-38.74	0.000	0.000	0.000
21498	0.2637E+05	0.2407E+05	24.94	0.000	0.000	0.000
21499	0.1326E+05	0.1474E+05	-53.31	0.000	0.000	0.000
21500	0.2691E+05	0.3538E+05	12.91	0.000	0.000	0.000
21501	0.1371E+05	0.2123E+05	-54.32	0.000	0.000	0.000
21502	0.2718E+05	0.5069E+05	48.69	0.000	0.000	0.000
21503	0.1388E+05	0.3099E+05	-120.2	0.000	0.000	0.000
21504	0.2601E+05	0.7110E+05	-23.58	0.000	0.000	0.000
21505	0.1736E+05	0.3765E+05	-559.5	0.000	0.000	0.000
21506	0.1500E+05	0.1164E+06	1950.	0.000	0.000	0.000
21657	9725.	-6324.	5.054	0.000	0.000	0.000
21658	0.1939E+05	-0.1284E+05	-4.526	0.000	0.000	0.000
21659	9736.	-6518.	-0.6166	0.000	0.000	0.000
21660	0.1964E+05	-0.1328E+05	-1.509	0.000	0.000	0.000
21661	9910.	-6736.	-4.476	0.000	0.000	0.000
21662	0.2012E+05	-0.1368E+05	1.127	0.000	0.000	0.000

***** POST1 NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****

LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1
THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
21663	0.1017E+05	-6927.	-11.57	0.000	0.000	0.000
21664	0.2085E+05	-0.1403E+05	8.435	0.000	0.000	0.000
21665	0.1048E+05	-7049.	-24.08	0.000	0.000	0.000
21666	0.2190E+05	-0.1437E+05	19.04	0.000	0.000	0.000
21667	0.1094E+05	-7113.	-38.13	0.000	0.000	0.000
21668	0.2318E+05	-0.1468E+05	22.89	0.000	0.000	0.000
21669	0.1180E+05	-7289.	-27.54	0.000	0.000	0.000
21670	0.2448E+05	-0.1471E+05	-0.2955	0.000	0.000	0.000
21671	0.1274E+05	-7374.	-1.363	0.000	0.000	0.000
21672	0.2579E+05	-0.1443E+05	-22.99	0.000	0.000	0.000
21673	0.1344E+05	-7174.	10.06	0.000	0.000	0.000
21674	0.2700E+05	-0.1386E+05	-20.07	0.000	0.000	0.000
21693	0.1406E+05	-6898.	1.491	0.000	0.000	0.000
21694	0.1521E+05	-5961.	-9.342	0.000	0.000	0.000
21695	0.2994E+05	-0.1252E+05	-5.039	0.000	0.000	0.000

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 108
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

FX = 1234357.
FY = 1631.116
FZ = 814.9515
MX = -1210343.
MY = 0.9724484E+09
MZ = -0.5414487E+09

SUMMATION POINT= 0.0000 -10000. 0.0000

FORZE NODALI LUNGO LA LINEA DI INTERFACCIA INT-2 (Y-)

***** POSTI NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****

LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
15005	0.2987E+05	-7469.	-13.68	0.000	0.000	0.000
15006	0.1467E+05	-3990.	-5.208	0.000	0.000	0.000
15007	0.2092E+05	9595.	380.6	0.000	0.000	0.000
15008	0.1001E+05	5641.	-195.6	0.000	0.000	0.000
15009	0.2115E+05	8356.	107.6	0.000	0.000	0.000
15010	0.1043E+05	3848.	-74.99	0.000	0.000	0.000
15011	0.2110E+05	7277.	68.53	0.000	0.000	0.000
15012	0.1065E+05	3480.	-42.47	0.000	0.000	0.000
15013	0.2121E+05	6467.	25.20	0.000	0.000	0.000
15014	0.1056E+05	3027.	-11.76	0.000	0.000	0.000
15015	0.2131E+05	5820.	5.905	0.000	0.000	0.000
15016	0.1038E+05	2781.	-9.979	0.000	0.000	0.000
15017	0.2144E+05	5394.	8.622	0.000	0.000	0.000
15018	0.1063E+05	2581.	-7.196	0.000	0.000	0.000
15019	0.2170E+05	4868.	3.359	0.000	0.000	0.000
15020	0.1098E+05	2270.	-2.862	0.000	0.000	0.000
15021	0.2207E+05	4178.	-0.4153	0.000	0.000	0.000
15022	0.1117E+05	1904.	-1.876	0.000	0.000	0.000
15023	0.2247E+05	3448.	-2.623	0.000	0.000	0.000
15024	0.1143E+05	1530.	-1.617	0.000	0.000	0.000
15025	0.2292E+05	2634.	-2.921	0.000	0.000	0.000
15118	0.2641E+05	-8855.	-6.894	0.000	0.000	0.000
15119	0.1247E+05	-4467.	-5.284	0.000	0.000	0.000
15120	0.2361E+05	-9065.	-1.508	0.000	0.000	0.000
15121	0.1084E+05	-4521.	-2.377	0.000	0.000	0.000
15122	0.2019E+05	-8928.	-4.669	0.000	0.000	0.000
15123	8911.	-4335.	6.118	0.000	0.000	0.000
15124	0.1628E+05	-8371.	-11.22	0.000	0.000	0.000
15125	6915.	-3963.	11.73	0.000	0.000	0.000
15126	0.1213E+05	-7427.	-14.06	0.000	0.000	0.000
15127	4916.	-3411.	12.18	0.000	0.000	0.000
15128	7943.	-6110.	-15.15	0.000	0.000	0.000
15129	2923.	-2658.	11.48	0.000	0.000	0.000
15130	3821.	-4392.	-16.17	0.000	0.000	0.000
21202	0.1165E+05	1107.	-3.314	0.000	0.000	0.000
21203	0.2346E+05	1780.	-3.654	0.000	0.000	0.000
21204	0.1189E+05	678.2	-3.913	0.000	0.000	0.000
21205	0.2411E+05	907.0	-5.209	0.000	0.000	0.000
21206	0.1222E+05	224.9	-4.375	0.000	0.000	0.000

21207	0.2488E+05	-25.64	-6.676	0.000	0.000	0.000
21208	0.1258E+05	-250.5	-6.155	0.000	0.000	0.000
21209	0.2575E+05	-1001.	-8.272	0.000	0.000	0.000
21210	0.1293E+05	-743.2	-6.698	0.000	0.000	0.000
21211	0.2674E+05	-1941.	-8.837	0.000	0.000	0.000
21212	0.1334E+05	-1224.	-10.57	0.000	0.000	0.000
21213	0.2781E+05	-2848.	-5.243	0.000	0.000	0.000
21214	0.1408E+05	-1637.	-13.18	0.000	0.000	0.000
21215	0.2857E+05	-3902.	-4.202	0.000	0.000	0.000
21216	0.1472E+05	-2219.	-13.30	0.000	0.000	0.000
21217	0.2907E+05	-5060.	-13.71	0.000	0.000	0.000
21218	0.1497E+05	-2892.	1.081	0.000	0.000	0.000
21219	0.2915E+05	-6213.	-19.33	0.000	0.000	0.000

***** POST1 NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****
LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
21259	0.1493E+05	-3450.	-2.084	0.000	0.000	0.000
21260	0.2857E+05	-8277.	-7.298	0.000	0.000	0.000
27767	974.9	-1678.	10.07	0.000	0.000	0.000
27768	-171.2	-2215.	-18.46	0.000	0.000	0.000
27769	-928.3	-430.9	11.64	0.000	0.000	0.000
27770	-3914.	562.5	-28.80	0.000	0.000	0.000
27771	-2812.	1152.	31.79	0.000	0.000	0.000
27772	-7164.	4276.	-78.44	0.000	0.000	0.000
27773	-4300.	3221.	95.64	0.000	0.000	0.000
27774	-9849.	9378.	-158.1	0.000	0.000	0.000
27775	-6013.	6982.	233.7	0.000	0.000	0.000
27776	-8322.	0.1637E+05	-404.3	0.000	0.000	0.000
27777	-3408.	5186.	282.3	0.000	0.000	0.000
27778	-0.1004E+05	0.4362E+05	-200.3	0.000	0.000	0.000
27779	0.1377E+05	-4293.	-0.8806	0.000	0.000	0.000

***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM *****

FX = 873686.4
FY = 42278.12
FZ = -178.2550
MX = -0.3325683E+08
MY = 0.6872482E+09
MZ = 0.1037075E+09

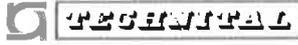
SUMMATION POINT= 0.0000 -10000. 0.0000

FORZE NODALI LUNGO LA LINEA DI INTERFACCIA INT-3 (Y+)

***** POST1 NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****
LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
15214	1840.	0.6749E+05	0.1846E+05	0.000	0.000	0.000
15215	-1203.	0.1606E+05	0.1110E+05	0.000	0.000	0.000
15216	102.8	8443.	0.2109E+05	0.000	0.000	0.000
15226	1254.	-9071.	6320.	0.000	0.000	0.000

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 110
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

```

21520 5102. 0.2695E+05 0.1794E+05 0.000 0.000 0.000
21523 649.1 -8568. 1685. 0.000 0.000 0.000
21524 -1452. -0.6661E+05 1018. 0.000 0.000 0.000
21545 -3298. -0.3442E+05 -0.1707E+05 0.000 0.000 0.000
21547 -5641. -0.6209E+05 -0.2301E+05 0.000 0.000 0.000

```

***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

FX = -2644.916
FY = -61809.37
FZ = 37526.83
MX = 0.1379585E+08
MY = 0.2454068E+08
MZ = 0.4041413E+08

```

SUMMATION POINT= 0.0000 -10000. 0.0000

FORZE NODALI LUNGO LA LINEA DI INTERFACCIA INT-3 (Y-)

***** POSTI NODAL TOTAL FORCE SUMMATION *****

LOAD STEP= 11 SUBSTEP= 1

THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

NODE  FX    FY    FZ    MX    MY    MZ
15131 2484.  0.8222E+05 -7798.  0.000  0.000  0.000
15132 -2187. -9662. -8121.  0.000  0.000  0.000
15133 2669. -0.1041E+06 -0.1296E+05 0.000  0.000  0.000
15134 -7914. -0.3983E+05 -0.2432E+05 0.000  0.000  0.000
27797 -4775. -0.9309E+05 1838.  0.000  0.000  0.000
27798 6627. -0.3190E+06 5405.  0.000  0.000  0.000
27799 0.1487E+05 0.3378E+05 -1046.  0.000  0.000  0.000
27800 0.1399E+05 -0.9509E+05 0.4502E+05 0.000  0.000  0.000
27801 0.1618E+05 -0.1937E+06 0.3380E+05 0.000  0.000  0.000

```

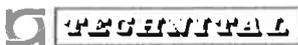
***** SUMMATION OF TOTAL FORCES AND MOMENTS IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM

```

FX = 41943.70
FY = -738380.0
FZ = 31819.27
MX = 0.3959570E+09
MY = 0.4696333E+08
MZ = 0.4837219E+09

```

SUMMATION POINT= 0.0000 -10000. 0.0000

	Rev.	Data:	EI. MV078P-PE-CAR-2016-C0	Pag. n. 111
	Rev.: C0	Data: 13/09/2013	SISTEMA ALLOGGIAMENTO TRATTENIMENTO SNODO – RELAZIONE DI CALCOLO	

Condizione C10 – Forze/momenti risultanti lungo le linee/aree di interfaccia

Forze Momenti	Area Int-1	Linee Int-3		Linee Int-2	
		y+	y-	y+	y-
Fx	-7.91E+06	-2644.92	41943.70	1234357.00	873686.40
Fy	-252342.5	-61809.37	-738380.00	1631.12	42278.12
Fz	5.69E+06	37526.83	31819.27	814.95	-178.26
Mx	-3.85E+08	13795850.00	395957000.00	-1210343.00	-33256830.00
My	-1.73E+09	24540680.00	46963330.00	972448400.00	687248200.00
Mz	-9.61E+07	40414130.00	483721900.00	-541448700.00	103707500.00

Forze (N) e momenti (N*mm) totali, rispetto all'origine, sulle tre aree di interfaccia