

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

PONTI E VIADOTTI

Viadotto Fibbio dal Km 7+663,97 al Km 10+036,67

GENERALE

Appoggi campate c.a.p.- Fisso TRS-FS 3600/3512/1782 - Relazione di calcolo

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA :	
IL PROGETTISTA INTEGRATORE ing. Claudio DE GIUDICI iscritto all'ordine degli ingegneri di Udine n. 1875 Data:		Consorzio Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data:						Varie	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	12	CL	V10100	002	A	di

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	ing. Alberto LEVORATO	

Progettazione :

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	E.d.in.	Mar. 2023	M. Proietti	Mar. 2023	G. Grimaldi	Mar. 2023	 Data: Mar. 2023
B								
C								

CIG. 8377957CD1

CUP: J41E9100000009

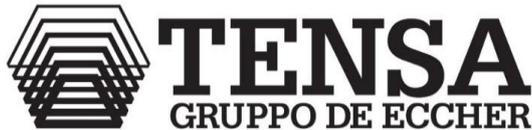
File: IN1712E12CLV10100002A.DWG

Cod. origine: CODICE



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

ID	Rev.	Date	TECHNICAL REPORT	
R1524	0	21/02/2023	TRS-FS 3600/3512/1782	Page 1 of 25



RELAZIONE DI CALCOLO

conforme a
-EN 1337
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 F
- RFI DTC SI PS SP IFS 002 F

TRS-FS 3600/3512/1782

Dispositivo: Apparecchio d'appoggio Tens Railway Spherical fisso a risposta orizzontale elastica

Cliente: COSSI

Lavoro: LINEA AV VR-PD Lotto VR-VI - VI01,VI02,VI03

SOMMARIO

DATI DI INPUT	.....	.2
VERIFICHE DI PROGETTO	.....	.6
1. SUPPORTI IN CLS	.....	.6
2. VERIFICA SUPERFICI DI SCORRIMENTO	.....	.9
3. VERIFICA RESINA DIELETTICA	.....	.10
4. CONTATTO ANELLO - PIASTRA DI SUPPORTO	.....	.10
5. VERIFICA FONDELLO MEDIANTE ANALISI FEM	.....	.11
6. PERNO DI CONTRASTO	.....	.13
7. ANCORAGGIO SUPERIORE	.....	.14
8. ANCORAGGIO INFERIORE	.....	.14
10. VERIFICA DELL'ANELLO ELASTICO	.....	.15
APPENDICE A. VERIFICA CLS SUPERIORE IN CONDIZIONE SISMICA CON MODELLAZIONE FEM	.....	.20
APPENDICE B. VERIFICA DI CONFRONTO CON IL DISPOSITIVO OMOLOGATO	.....	.22

DISTRIBUTION:

The present document is subject to controlled distribution.
To the holders of "controlled copies" any eventual following revision will be distributed.
To the holders of "non-controlled copies" new editions will not be distributed.

Controlled copies are addressed to the "process responsables" in the Company; both in the Office and in the production plant. Eventual further "controlled copies" will be defined and distributed from the Director of the Technical Department.
Any additional copy, not distributed as above, must be considered as "not controlled".

Notations:

Modifications from previous versions highlighted with sideline bar on left side.

ID	Rev.	Date	Description	Made by	Verified by	Approved by
R1524	0	21/02/2023	First issue	MI	LM	LM

EN 1337-2	Appoggi strutturali - Elementi di scorrimento
EN 1337-7	Appoggi strutturali - Appoggi sferici e cilindrici di PTFE
RFI DTC SI PS MA IFS 001 F	Manuale di progettazione delle opere civili
RFI DTC SI PS SP IFS 002 F	Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili

L'apparecchio d'appoggio TRS-FS è un dispositivo di tipo fisso in ACCIAIO-PTFE a CERNIERA SFERICA con ANELLO ELASTICO, in grado di:

- 1) rotazioni rispetto agli assi orizzontali;
- 2) rotazione libera intorno a quello verticale;
- 3) vincolare gli spostamenti in tutte le direzioni, a cedevolezza controllata mediante anello elastico.

DATI DI INPUT

PRESTAZIONI

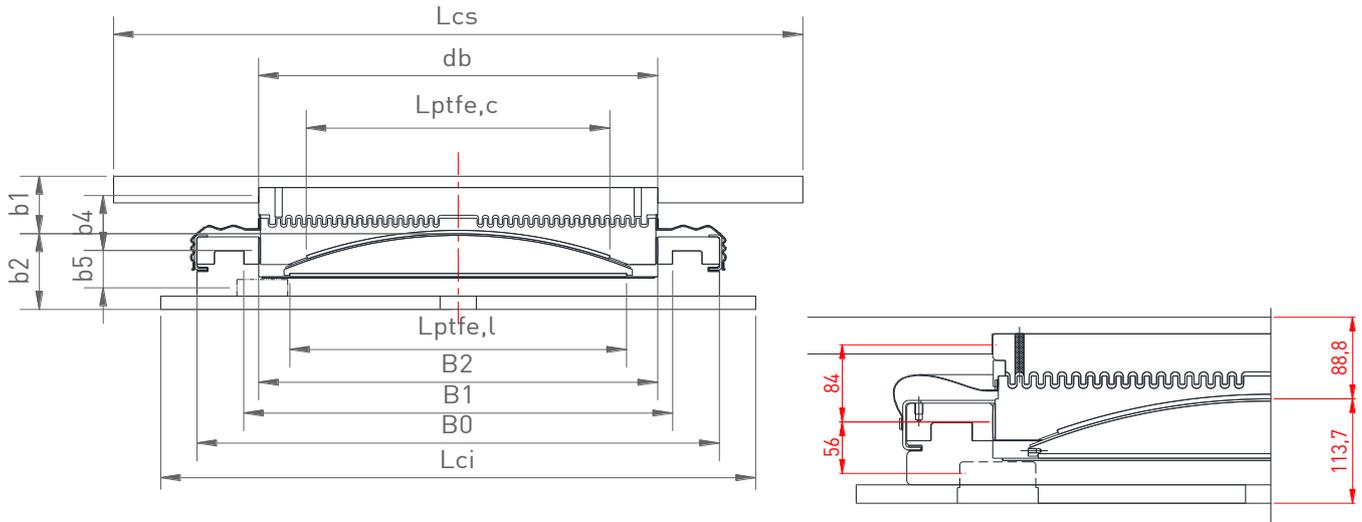
COMBINAZIONI		N [kN]	Tlong [kN]	Ttrasv [kN]
CARICHI DI PROGETTO	SLE	2400	1017	347
		2400	1017	347
		2400	1017	347
	PERM.	1350	-	-
	SLU statico	3600	1526	520
		3600	1526	520
		1570	1526	520
	SLU sismico	3161	2845	289
		1723	3512	502
		1541	290	1782

IMPALCATO		CLS	
PILA		CLS	
SCORRIMENTO (mm)	MASSIMO	LONG	±0
		TRASV	±0
ROTAZIONE α [°]	STATO LIMITE D'ESERCIZIO	LONG	3,0
		TRASV	3,0
	STATO LIMITE ULTIMO	LONG	3,0
		TRASV	3,0
TEMP. OPERATIVA MAX		30°C	
TEMP. OPERATIVA MIN		-5°C	

DATI DIMENSIONALI

r	[mm]	589	Raggio di curvatura calotta sferica
LPTFE,c	[mm]	418	Diametro proiettato calotta PTFE
h	[mm]	115,5	Piastra concava superiore - altezza complessiva
hs	[mm]	55,0	Pistone elemento superiore
db	[mm]	550	Piastra concava superiore - diametro
tb	[mm]	64,2	Piastra concava superiore - spessore minimo in mezzzeria pistone assemblato
LPTFE,l	[mm]	460	Diametro proiettato lente PTFE piana
Lsap	[mm]	480	Diametro proiettato calotta sferica (comprensivo rotazioni sicurezza)
hsap,tot	[mm]	60,0	"Altezza totale calotta sferica"
tp	[mm]	27,0	Fondello - spessore BASE
H	[mm]	60	Fondello - altezza pareti WALLS - Hmin=60mm (consigliato60mm)
D0	[mm]	720	Fondello - dimensione piatto di base
B0	[mm]	720	Fondello - dimensione esterna
B1	[mm]	591,1	Fondello - dimensione interna dente di battuta
B2	[mm]	550	Pistone su anello elastico - diametro
Scs	[mm]	40	Contropiastra superiore - spessore
Lcs	[mm]	950	Contropiastra superiore - dimensione
Sci	[mm]	20	Contropiastra inferiore - spessore
Lci	[mm]	820	Contropiastra inferiore - dimensione
hallett	[mm]	30	Spessore strato di allettamento
φpn	[mm]	550	Diametro del perno - Perno portante verticalmente
b1	[mm]	88,8	Distanza superficie proiettata PTFE - CLS superiore
b2	[mm]	113,7	Distanza superficie proiettata PTFE - CLS inferiore
b4	[mm]	84,0	Distanza superficie di contatto anello - sup. contatto perno
b5	[mm]	56,0	Distanza superficie di contatto anello - sup. contatto zanca
w	[mm]	39,0	Altezza del dente di contatto - minima 34mm

GEOMETRIA



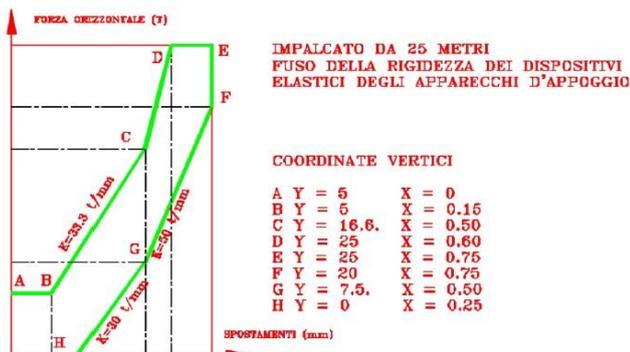
PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il dispositivo ha comportamento a cerniera sferica, capace di rotazioni rispetto agli assi orizzontali fino a $\pm 3^\circ$ (0,052 rad) e libere attorno all'asse verticale, ed in grado di modulare la risposta orizzontale manifestando un comportamento a molla inкруdente assial-simmetrica, all'interno di un gioco predefinito; ad esaurimento del gioco la risposta è assimilabile a rigida fino al valore richiesto da progetto.

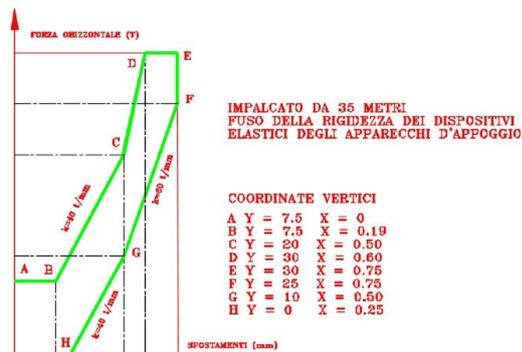
DIELETTICITA'

Nell'accoppiamento tra piastra isolante e pistone, al momento dell'assemblaggio in stabilimento, viene interposto uno strato di materiale dielettrico relizzato in resina epossidica.

DEFORMAZIONE ORIZZONTALE ELASTICA



(Fusi di tolleranza della risposta. Allegato A -RFI DTC SI PS SP IFS 002 E)



TRASMISSIONE DELLE FORZE ORIZZONTALI

Ancoraggio inferiore:

Il collegamento dell'apparecchio d'appoggio alla struttura portante è garantito da appositi tirafondi d'ancoraggio assemblati alla piastra di base tramite viti che ne garantiscono la smontabilità.

Ancoraggio superiore:

Il collegamento dell'apparecchio d'appoggio alla struttura portata è garantito da un perno che trova alloggiamento nella contropiastra in acciaio saldata all'intradosso della trave.

TARGHETTA DI IDENTIFICAZIONE

Gli appoggi sono muniti di targhetta di identificazione in alluminio (marcatura CE) sulla quale vengono riportate le seguenti indicazioni:

- Ente certificante;
- Nome del fabbricante ed anno di costruzione;
- Numero e tipo di appoggio;
- Valori del carico verticale, del carico orizzontale, delle rotazioni consentite;

PROTEZIONE DALLA CONTAMINAZIONE E DALLA CORROSIONE

- IL CICLO DI TRATTAMENTO UTILIZZATO SARA' CONFORME AI CICLI OMOLOGATI RFI -

I fogli di acciaio austenitico vengono collegati mediante saldatura di cordone continuo alla piastra di supporto. Non viene effettuato nessun trattamento alla piastra di supporto posta sotto il foglio di acciaio austenitico. L'area della piastra posta invece dietro il foglio di PTFE viene protetta mediante uno strato di imprimitura (spessore della pellicola essiccata da 20mm a 100mm). Gli apparecchi d'appoggio sono provvisti di un rivestimento protettivo delle superfici metalliche soggette ad aggressione chimica e fotochimica, realizzato come da specifica 17122K01-04

Questo sistema protettivo anti-corrosione garantisce che per un periodo di 10 anni gli appoggi siano conformi ai requisiti dettagliati in seguito:

- densità di bolle non superiore al grado 1 della ISO 4628-2
- ossidazione non superiore al grado R1 della ISO 4628-3
- distacco del rivestimento non superiore alla classe 1 della ISO 4628-4
- desquamazione non superiore alla classe 1 della ISO 4628-5

Il sistema di protezione anticorrosiva è stato testato attraverso le prove riportate in tabella:

PROVE	NORMA	CRITERI DI ACCETTAZIONE
nebbia salina	ISO 7253	dopo 720h
		bolle non superiori al grado 1 della ISO 4628-2
		ossidazione non superiore al grado R1 della ISO 4628-3
		distacco non superiore alla classe 1 della ISO 4628-4
		desquamazione non superiore alla classe 1 della ISO 4628-5
spessore minimo della pellicola secca	ISO 2808	come specificato dal produttore della vernice
adesione dopo quadrettatura	ISO 2409	0 od 1
caduta di una massa	ISO 6272	nessun danno visibile con un peso di 1 kg e una altezza di caduta di 10 cm

MATERIALI IMPIEGATI

Laminati piatti

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio sono secondo le UNI EN10025 e vengono di seguito riportate:

		UNI EN 10025							
		Spessore							
S355	fyk	<16	16<s≤40	40<s≤63	63<s≤80	80<s≤100	100<s≤150	150<s≤200	200<s≤250
		355	345	335	325	315	295	285	275
	ftk	<16	16<s≤40	40<s≤63	63<s≤80	80<s≤100	100<s≤200	100<s≤200	200<s≤250
		470				450			

		UNI EN 10025							
		Spessore							
S460	fyk	<16	16<s≤40	40<s≤63	63<s≤80	80<s≤100	100<s≤150	150<s≤200	200<s≤250
		460	440	430	410	400	380	370	370
	ftk	<16	16<s≤40	40<s≤63	63<s≤80	80<s≤100	100<s≤200	100<s≤200	200<s≤250
		540				530			

Acciaio fucinato e stampato

ACCIAIO LEGATO

Per la realizzazione dell'anello, dei perni di ancoraggio, dei tirafondi e delle zanche si utilizza acciaio 42CrMo4 o 42CrMoS4 bonificato.

Si riportano di seguito le tensioni ammesse dalle EN ISO 683 per l'acciaio 42CrMo4 o 42CrMoS4 bonificato:

		EN ISO 683-2			
		Spessore			
42CrMo4 42CrMoS4	fyk	<16	16<s≤40	40<s≤100	100<s≤160
		900	750	650	550
	ftk	<16	16<s≤40	40<s≤100	100<s≤160
		1100	1000	900	800

Acciaio inossidabile

AISI 316 - AISI 316L

Le superfici di scorrimento a contatto con il PTFE sono in acciaio austenitico X5 CrNiMo 17/12 (AISI 316) oppure X2 CrNiMo 17/12 (AISI 316 L) rispondenti alla EN10088-2.

Tutte le superfici sono lucidate a specchio e dopo il trattamento superficiale la rugosità Rz non deve eccedere 1 micron e la durezza deve essere compresa tra 150 HV1 e 220 HV1.

materiale	X5 CrNiMo 17/12	X2 CrNiMo 17/12
AISI	316	316 L
allungamento minimo (%)	40	40
tensione di rottura (MPa)	540	520
tens.di snervamento (MPa)	205	195
<i>resistenze agli stati limite (MPa)</i>		
trazione compressione	205	195
taglio	118	113

Acciaio austenoferritico (Duplex)

Duplex F51

L'anello elastico, ed il riporto per il contatto tra pistone ed anello, sono in acciaio austenoferritico DUPLEX F51 (ASTM A182) / X2CrNiMoN22-5-3 (EN 10088-3) rispondente alla EN 10088-3.

materiale	Duplex F51
allungamento minimo [%]	25
tensione di rottura [Mpa]	650
tensione di snervamento [Mpa]	450

Bulloneria

Per il fissaggio meccanico dei tirafondi si impiega bulloneria che può essere a seconda dei casi di classe 8.8 - 10.9 - 12.9 .

vite classe	8.8	10.9	12.9
tensione di rottura [MPa]	800	1000	1200
tens.di snervamento [MPa]	640	900	1080
<i>resistenze agli stati limite [MPa]</i>			
trazione compressione	560	700	840
taglio	396	495	595

PTFE

Le superfici di scorrimento sono realizzate in PTFE vergine di primo impiego in lastre ottenute per libero deposito e non addensate.

Il PTFE ha le seguenti caratteristiche meccaniche:

Densità	2140 ÷ 2200 Kg / m ³
Resistenza a trazione [23°C]	29 ÷ 40 MPa
Allungamento a rottura [23°C]	> 300 %
Durezza con penetratore a sfera	23 ÷ 33 MPa

I valori della resistenza a compressione caratteristica f_k , validi per temperature sino a 30°C, sono i seguenti:

materiale	posizione	azione	f_k [MPa]	
PTFE	per le superfici principali dell'appoggio	carichi permanenti e variabili	90	Il valore va ridotto del 2% per ogni grado maggiore di 30°C
		carichi variabili	90	
	per le guide	temp., ritiro e deformaz. viscosa	30	
		carichi permanenti	10	

Lubrificante

Nelle impronte delle superfici in PTFE trova alloggiamento il lubrificante costituito da grasso di silicone con le seguenti caratteristiche:

Penetrazione dopo lavorazione	26.5 ÷ 29.5	mm
Punto di gocciolamento	≥ 180	°C
Separazione dell'olio dopo 24 ore a 100°C	≤ 3 %	in massa
Resistenza all'ossidazione - caduta della pressione dopo 100h a 160°C	≤ 0.1	MPa
Punto di scorrimento dell'olio base	≤ - 60	°C

Resina epossidica isolante

Tra il pistone e la piastra isolante si interpone una resina epossidica di sicuro potere dielettrico tipo EPOJET, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tipologia del prodotto	bicomponente	
Consistenza dell'impasto	liquido fluido	
Tempo di lavorabilità a + 23°C	max	40 minuti
Caricabilità alla massima resistenza	dopo	7 giorni
Resistenza a compressione	95	Mpa

Malta reoplastica

Per l'inghisaggio dei tirafondi si utilizza malta reoplastica premicelata a ritiro compensato tipo MASTERFLOW O SIMILARE con le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione dopo 28 gg	75	MPa
Resistenza a compressione dopo 90 gg	85	MPa
Modulo elastico dopo 28 gg	30000	MPa
Aderenza al cls	elevata	
Aderenza all'acciaio	elevata	

VERIFICHE DI PROGETTO

1. SUPPORTI IN CLS

1.1 Cls Superiore

1.1.1 Verifica sovrastruttura condizione Statica (Nmax-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità.

- Carico verticale massimo N_{max}	3600 (kN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	1526 (kN)
- Carico trasversale concomitante V_y	520 (kN)
- Diam. area proiettata calotta PTFE $L_{PTFE,c}$	418 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	115,5 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	550 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax sul PTFE $26,2$ (MPa)	0,022
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto superiore b_1	88,8 (mm)
- Distanza contatto anello / perno b_4	84,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = \mathbf{1,53E+06 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{3,60E+06 \text{ (N)}}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	13,0 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	23,3 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r+b_1)$	35,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	35,6 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	71,9 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{ds} = \phi_{pn} + 2 \tan 60^\circ (S_{cs} - h_{pen}) = 612 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 294506 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

rapporto e_{tot}/ϕ_{cls}	0,117
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	0,72

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 213007 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{16,90 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

$$R_{ck} = 55 \text{ (MPa)}$$

$$f_{d,cls} = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = \mathbf{33,63 \text{ (MPa)}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

1.1.2 Verifica sovrastruttura condizione Sismica (Ncon-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità.

- Carico verticale concomitante N	1723 (kN)
- Carico longitudinale massimo V_x	3512 (kN)
- Carico trasversale concomitante V_y	502 (kN)
- Diam. area proiettata calotta PTFE $L_{PTFE,c}$	418 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	115,5 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	550 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE $12,6$ (MPa)	0,035
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto superiore b_1	88,8 (mm)
- Distanza contatto anello / perno b_4	84,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = \mathbf{3,51E+06 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,72E+06 \text{ (N)}}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	20,9 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	112,1 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r+b_1)$	35,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	171,2 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	304,2 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{ds} = \phi_{pn} + 2 \tan 60^\circ (S_{cs} - h_{pen}) = 612 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 294506 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

rapporto e_{tot}/ϕ_{cls}	0,497
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	-0,17

SI RIMANDA AD APPENDICE -MODELLAZIONE FEM

1.1.3 Verifica sovrastruttura condizione Statica (Nmin-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità.

- Carico verticale N_{min}	1570 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	1526 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	520 (KN)
- Diam. area proiettata calotta PTFE $L_{PTFE,c}$	418 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	115,5 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	550 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	820 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE 11,4 MPa)	0,037
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto superiore b_1	88,8 (mm)
- Distanza contatto anello / perno b_4	84,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = 1,53E+06 \text{ (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N_{min} \cdot 10^3 + N_{TL} = 1,57E+06 \text{ (N)}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	22,0 (mm)
$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	53,5 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r+b_1)$	35,5 (mm)
forze laterali $e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	81,6 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	157,1 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\emptyset_{cls} = L_{PTFE,CURVO} + 2 \tan 60^\circ (h+S_{cs}) = 612 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \emptyset_{cls})^2 = 294506 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

$$\text{rapporto } e_{tot}/\emptyset_{cls} = 0,26$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\emptyset_{cls}) = 0,40$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 116510 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = 13,48 \text{ (MPa)}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

$$R_{ck} = 55 \text{ (MPa)}$$

$$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = 33,63 \text{ (MPa)}$$

1.2 Cls Inferiore

1.2.1 Verifica sottostruttura condizione Statica (Nmax-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità.

- Carico verticale massimo N_{max}	3600 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	1526 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	520 (KN)
- Diametro area PTFE piano $L_{PTFE,l}$	460 (mm)
- Spessore base fondello t_a	27 (mm)
- Dimensione interna fondello B_2	550 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	820 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE 21,7 MPa)	0,025
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	113,7 (mm)
- Distanza contatto anello / zanca b_5	56,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = 1,53E+06 \text{ (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = 3,60E+06 \text{ (N)}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	14,9 (mm)
$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	23,3 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	24,9 (mm)
forze laterali $e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_5 =$	23,7 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	61,9 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\emptyset_{cls} = L_{PTFE,PIANO} + 2 \tan 60^\circ (t_p+S_{ci}+h_{all}) = 734 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \emptyset_{cls})^2 = 422750 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

$$\text{rapporto } e_{tot}/\emptyset_{cls} = 0,084$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\emptyset_{cls}) = 0,80$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 338671 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = 10,6 \text{ (MPa)}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

$$R_{ck} = 40 \text{ (MPa)}$$

$$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = 24,5 \text{ (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

1.2.2 Verifica sottostruttura condizione Sismica (Nconc-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità.

- Carico verticale concomitante N	1723 (KN)
- Carico longitudinale V_x	3512 (KN)
- Carico trasversale V_y	502 (KN)
- Diametro area PTFE piano $L_{PTFE,I}$	460 (mm)
- Spessore base fondello t_a	27 (mm)
- Dimensione interna fondello B_2	550 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	820 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE 10,4 MPa)	0,039
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	113,7 (mm)
- Distanza contatto anello / zanca b_5	56,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = \mathbf{3,51E+06 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,72E+06 \text{ (N)}}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	23,1 (mm)
$e_2 = V_s/N_s \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	112,1 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	24,9 (mm)
forze laterali $e_4 = V_s/N_s \cdot b_5 =$	114,1 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	249,4 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\emptyset_{cls} = L_{PTFE,PIANO} + 2 \tan 60^\circ (tp + Sci + h_{all}) = 734 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \emptyset_{cls})^2 = 422750 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

$$\text{rapporto } e_{tot}/\emptyset_{cls} = 0,340$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\emptyset_{cls}) = 0,20$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 84171 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$fc = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{20,47 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

$$Rck = 40 \text{ (MPa)}$$

$$fd = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot Rck) / 1,5 = \mathbf{24,46 \text{ (MPa)}}$$

1.2.3 Verifica sottostruttura condizione Statica (Nmin-Hmax)

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del cls in funzione dell'eccentricità

- Carico verticale N_{min}	1570 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	1526 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	520 (KN)
- Diametro area PTFE piano $L_{PTFE,I}$	460 (mm)
- Spessore base fondello t_a	27 (mm)
- Dimensione interna fondello B_2	550 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	950 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	820 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE 9,5 MPa)	0,041
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	113,7 (mm)
- Distanza contatto anello / zanca b_5	56,0 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = \text{MAX}(V_x, V_y) = \mathbf{1,53E+06 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

$$N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = 0,00E+00 \text{ (N)}$$

$$N_{TOT} = N_{min} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,57E+06 \text{ (N)}}$$

Calcolo eccentricità totale

MdP 2.8.1.3.2.1 Per ciò che concerne i momenti agenti si potrà ipotizzare che i momenti dovuti alle rotazioni potranno essere considerati solo quelli in senso long., mentre i momenti dovuti alle forze orizzontali dovrà assumersi il maggiore tra long e trasv. Tuttavia i momenti dovuti a forze orizzontali e rotazioni non si sommano.

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	24,2 (mm)
$e_2 = V_s/N_s \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	53,5 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	24,9 (mm)
forze laterali $e_4 = V_s/N_s \cdot b_5 =$	54,4 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	132,1 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\emptyset_{cls} = L_{PTFE,PIANO} + 2 \tan 60^\circ (tp + Sci + h_{all}) = 734 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \emptyset_{cls})^2 = 422750 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici piane e con aree di impronta esclusivamente circolari.

$$\text{rapporto } e_{tot}/\emptyset_{cls} = 0,180$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\emptyset_{cls}) = 0,58$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 243383 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$fc = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{6,45 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

$$Rck = 40 \text{ (MPa)}$$

$$fd = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot Rck) / 1,5 = \mathbf{24,46 \text{ (MPa)}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $fc < fd$

OK VERIFICA SODDISFATTA $fc < fd$

2. VERIFICA SUPERFICI DI SCORRIMENTO

2.1 PTFE CALOTTA CURVA

2.1.1 Determinazione della pressione con Nmax

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del PTFE in funzione dell'eccentricità. Per la verifica del PTFE della calotta, l'area delle superfici curve di scorrimento è sostituita dall'area della sua proiezione su una superficie piana. La verifica dimensionante viene eseguita con la combinazione con N_{max} in quanto le eccentricità dipendenti dalle forze orizzontali e_2 ed e_4 non sono presenti nel PTFE della calotta sferica. Poiché la superficie curva è posizionata sul pistone il carico verticale sarà sempre centrato anche in condizioni ruotate pertanto $e_3=0$

- Carico verticale massimo	N_{max}	3600 (KN)
- Carico longitudinale concomitante	V_x	1526 (KN)
- Carico trasversale concomitante	V_y	520 (KN)
- Diam. area proiettata lente PTFE	$L_{PTFE,c}$	418 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE)	26,2 MPa)	0,022
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio	μ_a	0,2
- Angolo di rotazione	α	0,052 rad

Calcolo domanda V_{ud}
 $V_{ud} = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2} \cdot 10^3 = 1,61E+06 \text{ (N)}$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello
 $N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = \text{(non agente)} = 0,00E+00 \text{ (N)}$
 $N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = 3,60E+06 \text{ (N)}$

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	13,0 (mm)
	$e_2 = \text{nulla PTFE sup. concava}$	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 = \text{nulla PTFE sup. concava}$	0,0 (mm)
forze laterali	$e_4 = \text{nulla PTFE sup. concava}$	0,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = |e_1|$	13,0 (mm)

Calcolo area di contatto circolare APTFE
 $APTFE = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE,C})^2 = 137228 \text{ (mm)}$

Calcolo coefficiente riduttivo λ
 Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici di scorrimento curve e con aree di impronta circolari ed è funzione del rapporto e_{TOT}/L e θ .

Semiangolo incluso dalle superfici PTFE	q_{PTFE}	20,78 (°)
rapporto $e_{tot} / L_{PTFE} =$		0,031
λ (da prospetto B.1. EN 1337/7)		0,938

Calcolo area ridotta
 $A_r = APTFE \cdot \lambda = 128720 \text{ (mm}^2\text{)}$

Calcolo pressione media su area ridotta
 $f_c = N_{tot} / A_r = 27,97 \text{ (MPa)}$

Calcolo valore di progetto f_d del PTFE
 $f_d = f_k / \gamma_m \text{ (carichi permanenti e variabili)} = 64,29 \text{ (MPa)}$

2.2 PTFE PIANO

2.1.2 Determinazione della pressione con Nmax

La verifica verrà eseguita considerando sollecitazioni di sola compressione e quindi una pressione media calcolata su un'area ridotta del PTFE in funzione dell'eccentricità. La verifica dimensionante viene eseguita con la combinazione con N_{max} in quanto le eccentricità dipendenti dalle forze orizzontali e_2 ed e_4 non sono presenti nel PTFE della calotta sferica.

- Carico verticale massimo	N_{max}	3600 (KN)
- Carico longitudinale concomitante	V_x	1526 (KN)
- Carico trasversale concomitante	V_y	520 (KN)
- Diametro area PTFE piano	$L_{PTFE,L}$	460 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Coeff. attrito mmax (sul PTFE)	21,7 MPa)	0,025
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio	μ_a	0,2
- Angolo di rotazione	α	0,052 rad

Calcolo domanda V_{ud}
 $V_{ud} = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2} \cdot 10^3 = 1,61E+06 \text{ (N)}$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello
 $N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} = \text{(non agente)} = 0,00E+00 \text{ (N)}$
 $N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = 3,60E+06 \text{ (N)}$

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	14,9 (mm)
	$e_2 = \text{nulla PTFE sup piana}$	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot r$	30,8 (mm)
forze laterali	$e_4 = \text{nulla PTFE sup piana}$	0,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = \max\{|e_1|; |e_3|\} =$	30,8 (mm)

Calcolo area di contatto circolare APTFE
 $APTFE = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE,L})^2 = 166190 \text{ (mm)}$

Calcolo coefficiente riduttivo λ
 Il coefficiente riduttivo fa riferimento ad elementi con superfici di scorrimento curve e con aree di impronta circolari ed è funzione del rapporto e_{TOT}/L e θ .

rapporto $e_{tot} / L_{PTFE} =$		0,067
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot} / \phi_{cls})$		0,84

Calcolo area ridotta
 $A_r = APTFE \cdot \lambda = 139938 \text{ (mm}^2\text{)}$

Calcolo pressione media su area ridotta
 $f_c = N_{tot} / A_r = 25,73 \text{ (MPa)}$

Calcolo valore di progetto f_d del PTFE
 $f_d = f_k / \gamma_m \text{ (carichi permanenti e variabili)} = 64,29 \text{ (MPa)}$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.3 SEPARAZIONE SUPERFICI DI SCORRIMENTO (SLE)

2.3.1 Superficie curva

La separazione delle superfici di scorrimento può condurre alla perdita di lubrificante, all'usura dovuta alla contaminazione e all'aumento della deformazione dovuto alla mancanza di confinamento del PTFE. Deve pertanto risultare $sp > 0$ condizione soddisfatta quando l'eccentricità totale ricade all'interno del nocciolo d'inerzia dell'area proiettata ($e < L/8$).

- Diam area proiettata lente PTFE	$L_{PTFE,c}$	418 (mm)
- Carico verticale massimo	Nse	2400 (KN)
- Carico orizzontale max	$Vue = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2}$	1075 (KN)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	17,5 MPa)	0,029
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Angolo di rotazione	α	0,052 (rad)

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	17,1 (mm)
	$e_2 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
forze laterali	$e_4 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = \max(|e_1|; |e_3|) =$	17,1 (mm)
	$L_{PTFE} / 8 =$	52,3 (mm)

OK VERIFICA SODDISFATTA $e < L/8$

2.3.2 Superficie piana

La separazione delle superfici di scorrimento può condurre alla perdita di lubrificante, all'usura dovuta alla contaminazione e all'aumento della deformazione dovuto alla mancanza di confinamento del PTFE. Deve pertanto risultare $sp > 0$ condizione soddisfatta quando l'eccentricità totale ricade all'interno del nocciolo d'inerzia dell'area proiettata ($e < L/8$).

- Diam area sup PTFE piana	$L_{PTFE,l}$	460 (mm)
- Carico verticale massimo	Nse	2400 (KN)
- Carico orizzontale max	$Vue = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2}$	1075 (KN)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	14,4 MPa)	0,033
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Angolo di rotazione	α	0,052 (rad)

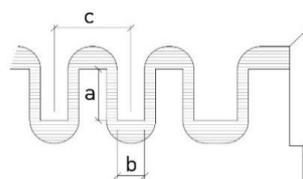
Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	19,3 (mm)
	$e_2 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha r$	30,8 (mm)
forze laterali	$e_4 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = \max(|e_1|; |e_3|) =$	30,8 (mm)
	$L_{PTFE} / 8 =$	52,3 (mm)

OK VERIFICA SODDISFATTA $e < L/8$

3. VERIFICA RESINA DIELETRICA

Verificata delle tensioni di compressione agenti sulla superficie dielettrica in resina epossidica non rinforzata, utilizzata per il riempimento degli anelli dentati di ingranamento fra calotta sferica e piastra superiore.



3.1 Verifica a compressione resina dielettrica

- Carico longitudinale max V_x	Sismica	3512 (KN)
- Carico trasversale conc V_y	Sismica	502 (KN)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}		1,5
- Resistenza carat. resina epossidica f_k		95 (N/mm ²)
- Diametro dente resina più esterno		516 (mm)
- Diametro dente resina più interno		58 (mm)
- Altezza utile denti di ritegno dei settori circolari, a		9,0 (mm)
- Spessore denti di ritegno dei settori circ. b		5,0 (mm)
- Interasse anelli, c		14,0 (mm)
- Numero di anelli previsti		17 (mm)
- Area cumulativa del fronte di battuta - Ab		87822 (mm ²)

Calcolo domanda

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} = 3548 \text{ (KN)}$$

$$f_c = 1,5 \cdot V_{sd} / Ab = \mathbf{61 \text{ (N/mm}^2\text{)}}$$

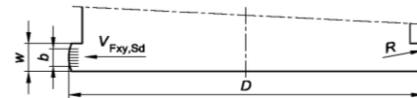
Calcolo capacità

$$f_d = f_k / \gamma_M = \mathbf{63 \text{ (N/mm}^2\text{)}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

4. CONTATTO ANELLO - PIASTRA DI SUPPORTO

Verifiche eseguite in funzione delle combinazioni di carico, secondo RFI DTC SI PS MA IFS 001 E §2.8.1.3.2.6.2: SLU non sismica - faccia di contatto curva (UNI EN 1337-5 § 6.2.3.3); SLV sismica - faccia di contatto potizzata piana (UNI EN 1337-5 § 6.2.3.2).



- Carico longitudinale V_x	Sismica	3512 (KN)
	Statica	1526 (KN)
- Carico trasversale V_y	Sismica	502 (KN)
	Statica	520 (KN)
- Resistenza a trazione (SLU) f_{yk}		325 (N/mm ²)
- Resistenza ultima (SLU) f_u		470 (N/mm ²)
- Lato interno anello di ritegno B2		550 (mm)
- Modulo di elasticità Ed		205000 (N/mm ²)
- Raggio di curvatura R $> \min(100\text{mm}; 0.5 \cdot D)$		275 (mm)
- Massima rotazione di progetto α		0,052 rad
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_m		1,1
<i>Requisiti geometrici per superfici piane</i>		
- Altezza del dente w		39,0 (mm)
- Altezza zona di contatto del dente b		7,4 (mm)

Calcolo domanda V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} =$$

Sismica	3548 (KN)
Stat	1612 (KN)

Calcolo capacità V_{rd}

$$V_{rd} = (D \cdot w \cdot f_y) / (1.5 \cdot \gamma_m) =$$

Sismica	4225 (KN)
Stat	2020 (KN)

OK VERIFICA SODDISFATTA $V_{rd} > V_{sd}$

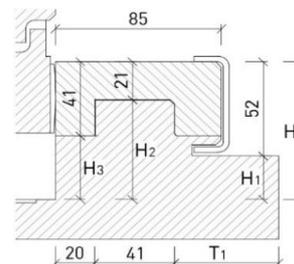
5. VERIFICA FONDELLO MEDIANTE ANALISI FEM

S460NL

Vista la particolare configurazione del fondello dell'appoggio con pareti piuttosto tozze ha poco senso effettuare la verifica del basamento separando le pareti dalla base. Sia le pareti che la base del basamento offrono un notevole contributo reciproco alla resistenza dell'elemento. Per la verifica del basamento si ricorrerà pertanto ad una analisi più accurata agli elementi finiti mediante Software di analisi Nastran. La possibilità di eseguire un'analisi agli elementi finiti, in alternativa alle formule semplificate presenti in normativa, è anche riportata nella EN 1337-5 par. 6.2.2.

Geometria del fondello

- Lato esterno fondello D_0	720 (mm)
- Dimensione interna fondello B_2	591 (mm)
- Dimensione interna fondello B_1	550 (mm)
- Altezza parete fondello H	60,0 (mm)
- Altezza H1 fondello	19,0 (mm)
- Altezza H2 fondello	38,8 (mm)
- Altezza H3 fondello	19,0 (mm)
- Spessore T1 fondello	24,5 (mm)
- Spessore base anello t_a	27 (mm)



Carichi applicati e materiali

Calcolo domanda V_{sd}

- Carico longitudinale V_x	Sismica	3512 (KN)
- Carico trasversale V_y	Sismica	502 (KN)
$V_{sd} = \sqrt{V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2}^{1/2} =$		3548 (KN)

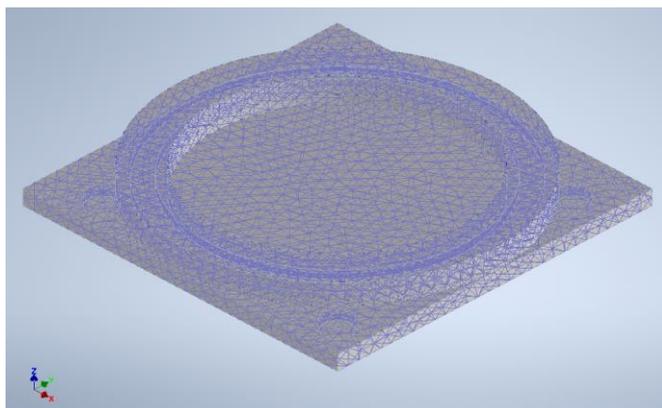
Materiale fondello

S460

- Resistenza a trazione (SLU) f_{yk}	410 (N/mm ²)
- Resistenza ultima (SLU) f_u	540 (N/mm ²)
- Resistenza a trazione (SLU) $f_d = f_y / \gamma_m$	373 (N/mm ²)

Modello - Mesh

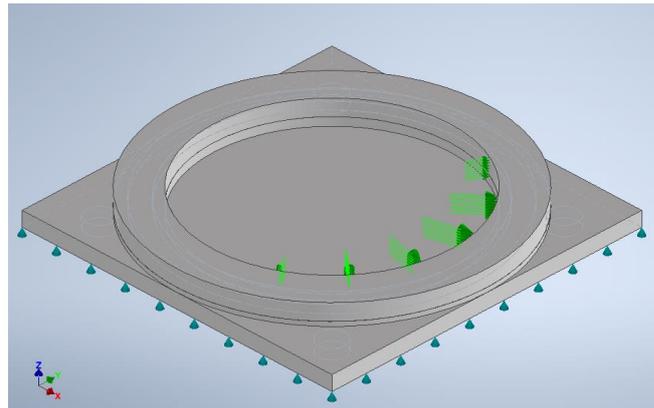
E' stato modellato l'intero fondello in accoppiamento con l'anello elastico. E' stata eseguita un'analisi non lineare a causa della presenza dei contatti tra anello e fondello. Tutte le interfacce tra corpi, sono infatti ricoperte da coppie di elementi di contatto Target e Contact per realizzare contatti di tipo Node to Surface. La mesh è stata eseguita utilizzando elementi SOLIDI isoparametrici a 4 nodi (Linear Tetrahedrons). Si riporta di seguito un'immagine del modello eseguito.



Carichi - Vicoli

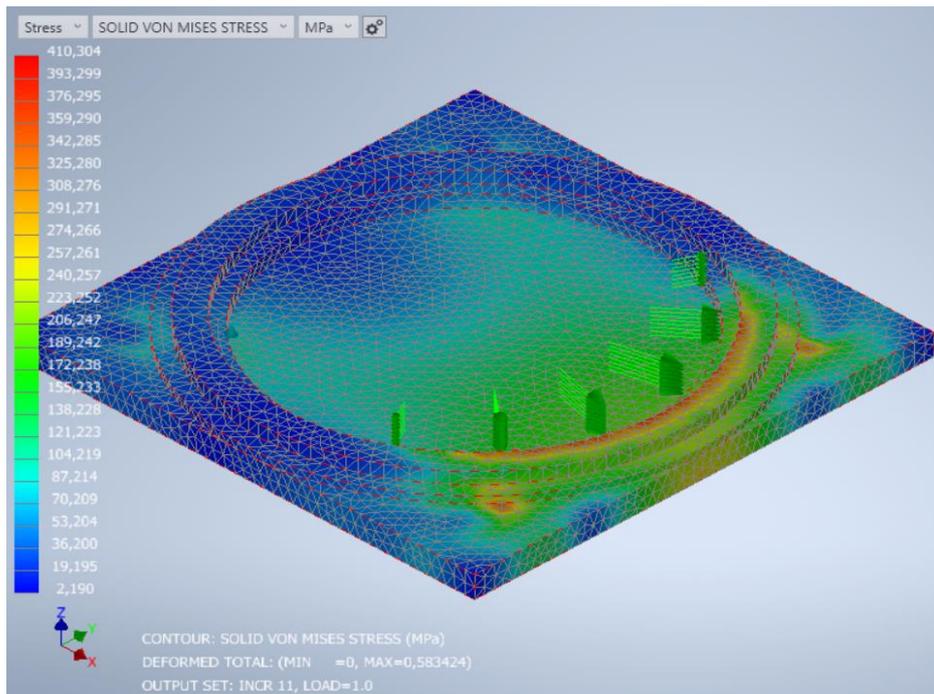
La forza è stata applicata mediante "bearing load" ovvero una configurazione di carico che rappresenta la tipica distribuzione del carico di compressione che si verifica nelle aree di contatto tra elementi cilindrici.

I vicoli alle forze orizzontali sono stati applicati all'interno dei fori per le zanche mentre sulla superficie inferiore del fondello è stato applicato un carrello per prendere la reazione verticale simulando la presenza della sottostruttura.



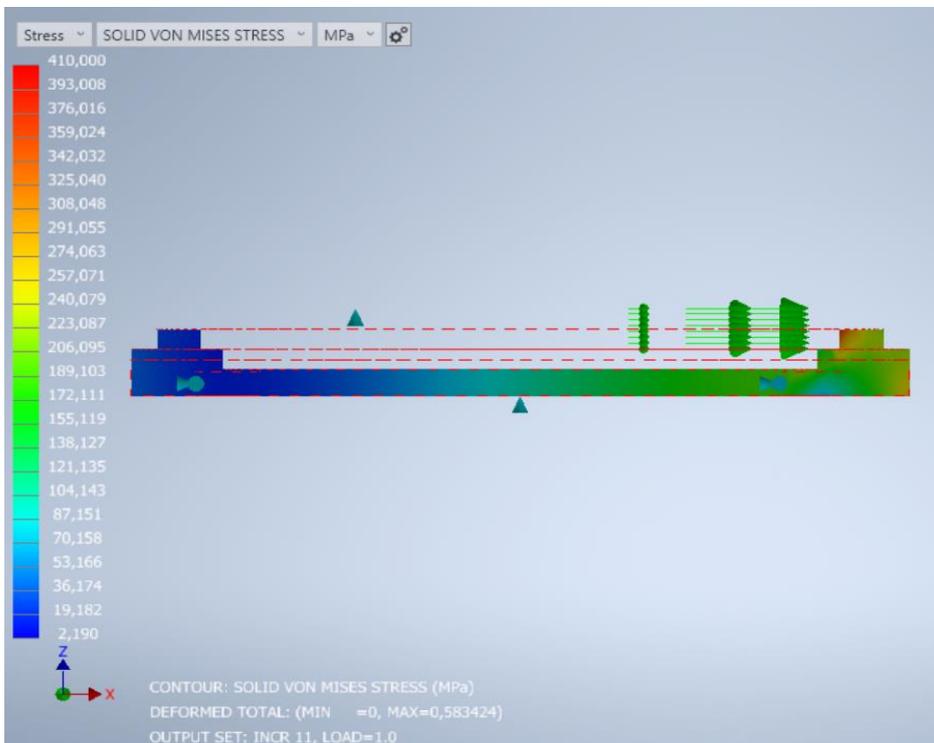
5.1 Verifica a trazione e taglio delle pareti laterali (WALL)

-Diagramma delle tensioni di Von Mises all'interno del fondello



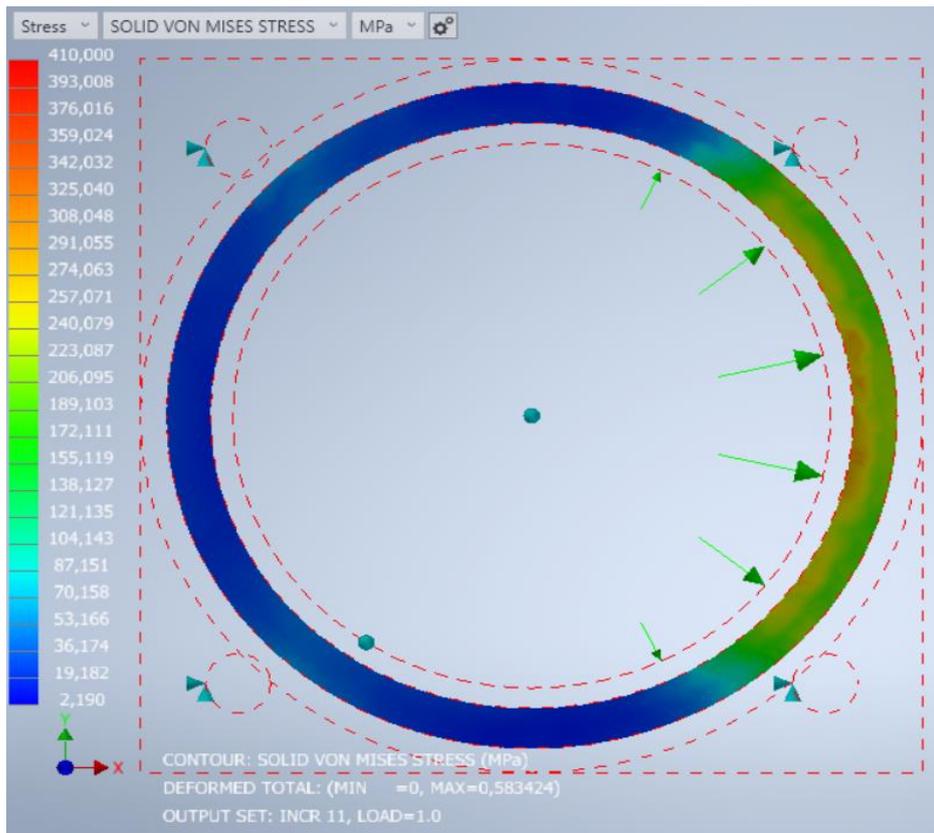
In nessun punto del fondello viene superato il valore di tensione di snervamento del materiale $f_y=410$ Mpa.
La verifica risulta SODDISFATTA

5.2 Verifica a trazione della base del fondello



Come si vede dalla sezione nella figura sopra riportata, in nessun punto del fondello (base e pareti) viene superato il valore di tensione di snervamento del materiale $f_y=410$ Mpa.

La verifica risulta SODDISFATTA



Come si vede dalla sezione nelle figure sopra riportata ,in nessun punto della sezione del dente viene superato il valore di tensione di snervamento del materiale $f_y=410$ Mpa.

La verifica risulta SODDISFATTA

6. PERNO DI CONTRASTO S355J2

6.1 Verifica a taglio

- Diametro perno ϕ_{pn} 550 (mm)
- Diametro foro per perno ϕ_{pn0} 551 (mm)
- Numero perni n_p 1 (mm)
- Penetrazione perno nella controp. h_{pn} 22,0 (mm)
- Altezza piastra concava h 115,5 (mm)
- Resistenza a taglio [SLU] $f_d = f_t k \cdot 0.6 / 1.25$ 226 (N/mm²)
- Carico longitudinale V_x Sismica 3512 (KN)
- Carico trasversale V_y Sismica 502 (mm)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m 1,5

Calcolo domanda V_{sd}

$V_{sd} = \gamma_m (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} =$ **5322 (KN)**

Calcolo capacità V_{rd}

$V_{rd} = (\phi_{pn}^2 \cdot \pi \cdot f_d) / 4 =$ **53599 (KN)**

OK VERIFICA SODDISFATTA $V_{rd} > V_{sd}$

6.2 Verifica a rifollamento perno - contropiastra

S355J2

- Battuta del perno t 20,0 (mm)
- Lato contropiastra L_{min} 950 (mm)
- spessore contropiastra S_{cs} 40,0 (mm)
- Resistenza a snervamento contropiastra f_y : 345 (N/mm²)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0} 1,1

Calcolo domanda V_{sd}

$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} =$ **3548 (KN)**

Calcolo capacità V_{rd}

La verifica completa della contropiastra è riportata in Appendice

$f_d = f_y / \gamma_{m0} =$ 314 (N/mm²)

$V_{rd} = 1.5 f_d \cdot t \cdot \phi_{pn} =$ **5175 (KN)**

OK VERIFICA SODDISFATTA $V_{rd} > V_{sd}$

7. ANCORAGGIO SUPERIORE

42CrMo4

7.1 Verifica a taglio zanche

- Diametro zanca ϕ_t		40,0 (mm)
- Numero zanca n_t		16
- Resist. a rottura ft		1000 (N/mm ²)
- Resist. a taglio zanca $fd = ft \cdot 0.6 / \gamma_{m2}$		480 (N/mm ²)
- Carico longitudinale V_x	Sismica	3512 (KN)
- Carico trasversale V_y	Sismica	502 (KN)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m		1,5

Calcolo domanda sul singolo tirafondo/zanca Vsd

$$Vsd = \gamma_m (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{333 \text{ [KN]}}$$

Calcolo capacità del singolo tirafondo/zanca Vrd

$$Vrd = (\phi_t^2 \cdot \pi \cdot fd) / 4 = \mathbf{603 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vrd > Vsd

7.2 Calcolo lunghezza zanche superiori

La lunghezza della zanca viene calcolata moltiplicando per tre volte il diametro minimo necessario dello stesso.

$$L_t = \phi_t \cdot 3 = \mathbf{250 \text{ mm}}$$

(minimo 250 mm comprensivo di contropiastra)

7.3 Verifica a rifollamento zanca - contropiastra

S355J2

- Diametro foro ϕ_{foro}		40,5 (mm)
- Penetrazione zanca t	<input type="text" value="40"/>	(mm)
- spessore contropiastra S_{cs}		40,0 (mm)
- Resistenza a snervamento fyk		345 (Mpa)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}		1,1

Calcolo domanda in corrispondenza di un tirafondo Vsd

$$Vsd = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{222 \text{ [KN]}}$$

$$fd = fyk / \gamma_{m0} = \mathbf{314 \text{ [N/mm}^2\text{]}}$$

$$Vrd = 1.5 \cdot fd \cdot t \cdot \phi_{foro} = \mathbf{753 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vrd > Vsd

7.4 Sollecitazioni di contatto

- Diametro zanca ϕ_t		40,0 (mm)
- Resistenza caratteristica cls R_{ck}		55 (MPa)
- Tens. di snerv. zanca (42CrMo4) R_s		750 (MPa)

Calcolo carico limite P_u

$$P_u = 2.5 \cdot \phi_{cls}^2 \cdot (R'_{bk} \cdot R_{bk})^{1/2} = \mathbf{812404 \text{ [N]}}$$

Calcolo domanda CLS Vsd

$$Vsd = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{222 \text{ [KN]}}$$

Calcolo capacità CLS Vrd

$$P_{amm} = P_u / (3.5) = \mathbf{232 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA per CLS

R1524Rev0

8. ANCORAGGIO INFERIORE

42CrMo4

8.1 Verifica a taglio tirafondi

- Diametro zanca ϕ_t		75,0 (mm)
- Numero zanca n_t		4
- Resist. a rottura ft		900 (N/mm ²)
- Resist. a taglio tirafondo $fd = ft \cdot 0.6 / \gamma_{m2}$		432 (N/mm ²)
- Carico longitudinale V_x	Sismica	3512 (KN)
- Carico trasversale V_y	Sismica	502 (KN)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m		1,5

Calcolo domanda sul singolo tirafondo Vsd

$$Vsd = \gamma_m (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{1330 \text{ [KN]}}$$

Calcolo capacità del singolo tirafondo Vrd

$$Vrd = (\phi_t^2 \cdot \pi \cdot fd) / 4 = \mathbf{1909 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vrd > Vsd

8.2 Calcolo lunghezza zanche inferiori

La lunghezza del tirafondo viene calcolata moltiplicando per tre volte il diametro minimo necessario dello stesso.

$$L_t = \phi_t \cdot 3 = \mathbf{250 \text{ mm}}$$

(minimo 250 mm)

8.3 Verifica a rifollamento zanca - basamento

S460NL

- Diametro foro ϕ_{foro}		75,5 (mm)
- Battuta fondello- zanca t		23,0 (mm)
- spessore minimo basamento t_a		37,0 (mm)
- Resistenza a snervamento fondello fyk		410,0 (Mpa)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}		1,1

Calcolo domanda in corrispondenza di un tirafondo Vsd

$$Vsd = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{887 \text{ [KN]}}$$

$$fd = fy / \gamma_{m0} = \mathbf{373 \text{ [N/mm}^2\text{]}}$$

$$Vrd = 1.5 \cdot fd \cdot t \cdot \phi_{foro} = \mathbf{964 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vrd > Vsd

8.4 Verifica inghisaggio zanche con Masterflow o similare

- Diametro zanca ϕ_t		80,0 (mm)
- Resistenza carat. MASTERFLOW 928 R'_{bk}		75 (MPa)
- Tens. di snerv. zanca (42CrMo4) R_s		650 (MPa)

Calcolo domanda MASTERFLOW 928 Vsd

$$Vsd = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{887 \text{ [KN]}}$$

Calcolo capacità MASTERFLOW 928 Vrd

$$P_{amm} = 2.5 / 3.5 \cdot \phi_t^2 \cdot (R'_{bk} \cdot R_s)^{1/2} = \mathbf{1009 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vsd < Pamm

- Diametro minimo foro nel cls ϕ_{cls}		180 (mm)
- Resistenza caratteristica cls R_{bk}		40 (MPa)

Calcolo capacità CLS Vrd

$$P_{CLS} = 2.5 / 3.5 \cdot \phi_{cls}^2 \cdot (R'_{bk} \cdot R_{bk})^{1/2} = \mathbf{1268 \text{ [KN]}}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA Vsd < PCLS

10. VERIFICA DELL'ANELLO ELASTICO

Le verifiche seguenti sono quelle riportate nell'OMOLOGAZIONE TENSA 10/A

STUDIO DEL COMPONENTE A DEFORMAZIONE ORIZZONTALE ELASTICA

Il carico orizzontale H viene trasmesso dal pistone al fondello attraverso il componente a deformazione elastica rappresentato dall'anello in acciaio, realizzato in **Duplex F51** (X2CrNiMoN22-5-3 EN 10088-3).

La validazione del procedimento di calcolo che segue ha lo scopo di comprovare l'esattezza del modello matematico utilizzato per definire le seguenti grandezze in funzione dello spostamento:

- Mappa delle tensioni nella sezione critica
- Reazione di contrasto

Giochi e tolleranze di lavorazione.

Nel comportamento complessivo del dispositivo è importante, per il rispetto del fuso di risposta richiesto, controllare con precisione nell'ordine del centesimo di millimetro le lavorazioni di alcune dimensioni del fondello, anello e pistone. A tale riguardo si riportano le tolleranze di lavorazione ed il conseguenziale gioco max/min atteso:

A C C O P P I A M E N T I							
(dimensioni in mm)							
PISTONE - ANELLO			ANELLO - FONDELLO			GIOCO APPOGGIO	
pistone	anello	gioco	anello	fondello	gioco	MAX	MIN
φ 550	φ 550		φ 672	φ 672			
- 0.00	+ 0.10	+ 0.10	+ 0.10	- 0.00	+ 0.10		+ 0.20
- 0.05	+ 0.15	+ 0.20	+ 0.15	- 0.05	+ 0.20	+ 0.40	
			φ 590	φ 591.1			
			- 0.00	+ 0.10	+ 1.20		
			- 0.05	+ 0.15	+ 1.30		

Si riporta di seguito lo spostamento totale (*gioco + deformazione anello*) consentito dal dispositivo. Per permettere l'immediato confronto con il fuso di risposta richiesto, i movimenti sono calcolati sul *raggio*:

M O V I M E N T O				
(dimensioni in mm)				
	LIBERO		ELASTICO	TOTALE
	pistone-anello	anello-fondello	deformazione elastica anello	spostam. totale appoggio
min	+ 0.05	+ 0.05	1.2/2-0.05 = + 0.55	0.05+0.05+0.55 = + 0.65
max	+ 0.10	+ 0.10	1.3/2-0.10 = + 0.55	0.10+0.10+0.55 = + 0.75

La deformabilità elastica dei contatti fa ritenere i movimenti riportati passibili di un aumento di circa 0.05 mm.

- Validazione del modello matematico

Il sistema composto da anello e fondello è stato studiato agli "elementi finiti". Allo scopo di semplificare la computazione e confrontare le risultanze ottenute, l'elaborazione è stata così scomposta:

- Studio dell'anello
- Studio del fondello

STEP 1:

E' stato studiato l'anello con gli effettivi giochi tra anello-pistone e anello-fondello realizzati mediante elementi GAP. Il fondello è ipotizzato infinitamente rigido imponendo nei punti di collegamento dei vincoli fissi.

Finalità: raccogliere le reazioni sui vincoli fissi da tradurre in azioni sul fondello nell'analisi da condurre nello step 2.

STEP 2:

Le reazioni raccolte nello step 1 sono state applicate nei corrispondenti punti del fondello.

Finalità: raccogliere gli spostamenti nei punti di applicazione delle forze, da imporre nello step 3 ai vincoli dell'anello.

STEP 3:

Analisi dell'anello nelle stesse condizioni dello step 1, a meno degli spostamenti imposti ai punti di vincolo così come ricavati dallo step 2.

Finalità: ricavare lo stato tensionale effettivo nell'anello.

In considerazione delle basse variazioni delle reazioni ricavate nello step 3 rispetto a quelle dello step 1, si è ritenuto lecito interrompere l'iterazione in questa fase.

STUDIO DELL'ANELLO

- Software utilizzato -
COSMOS/M

- Geometria -

E' stato realizzato un semi anello con diametro interno 550 mm e diametro esterno 720 mm con alleggerimento 41x20. All'interno è stato simulato il pistone ed il dente di contrasto del fondello.

- Elementi -

Sono stati utilizzati elementi SOLIDI isoparametrici a 8 nodi per simulare l'anello ed elementi TRUSS 3D per simulare il pistone. Il fondello è stato schematizzato mediante vincoli rigidi. Per simulare il gioco esistente tra anello e pistone sono stati utilizzati elementi GAP di collegamento all'estremità delle TRUSS 3D. Per simulare il gioco esistente tra anello e fondello, sono stati utilizzati elementi GAP di collegamento ai punti di vincolo.

- Materiale -

Il materiale utilizzato viene caratterizzato dai seguenti parametri:

a) Modulo di elasticità (Young) = 206840 Mpa

b) Modulo di Poisson = 0.28

- Vincoli -

Negli elementi TRUSS 3D rappresentanti il fondello:

<i>nodi</i>	<i>spostamenti</i>	<i>rotazioni</i>
centrali	X Y Z	X Y Z
a contatto con l'anello	X Y Z	X

Negli elementi TRUSS 3D rappresentanti il pistone:

<i>nodi</i>	<i>spostamenti</i>	<i>rotazioni</i>
centrali	Y Z (X imposto)	X Y Z
a contatto con l'anello	Y	nessuno

Gli elementi SOLIDI rappresentanti l'anello:

<i>nodi</i>	<i>spostamenti</i>	<i>rotazioni</i>
sul piano di simmetria	Z	X Y
su 1/2 perimetro esterno	Y	nessuno
su 1/2 perimetro interno	Y	nessuno

- Azioni -

E' stato imposto uno spostamento in direzione X ai punti centrali degli elementi TRUSS 3D rappresentanti il pistone in step di 0.1 mm.

- Registrazioni -

Sono state rilevate le reazioni sui vincoli fissi.

STUDIO DEL FONDELLO

- Software utilizzato -
COSMOS/M

- Geometria -

E' stato modellato metà fondello con diametro esterno 722 mm avente il dente di contrasto all'anello di diametro esterno 672 mm e diametro interno 591 mm. Lo spessore totale è 68 mm mentre lo spessore minimo è 27.2 mm. In corrispondenza del contatto con l'anello sono state applicate le azioni orizzontali agenti.

- Elementi -

Sono stati utilizzati elementi SOLIDI isoparametrici a 8 nodi per simulare il fondello.

- Materiale -

Il materiale utilizzato viene caratterizzato dai seguenti parametri:

a) Modulo di elasticità (Young) = 206840 Mpa

b) Modulo di Poisson = 0.28

- Vincoli -

Gli elementi SOLIDI rappresentanti il fondello:

<i>nodì</i>	<i>spostamenti</i>	<i>rotazioni</i>
sul piano di simmetria	Z	X Y
punti giacenti sul perimetro esterno ϕ 722 mm	X Y	nessuno
sulla superficie di contatto con la contropiastra	Y	nessuno

- Azioni -

Sono state imposte le azioni derivanti dallo studio dell'anello nelle direzioni X e Z.

- Registrazioni -

Sono stati rilevati gli spostamenti nei punti di applicazione della forza.

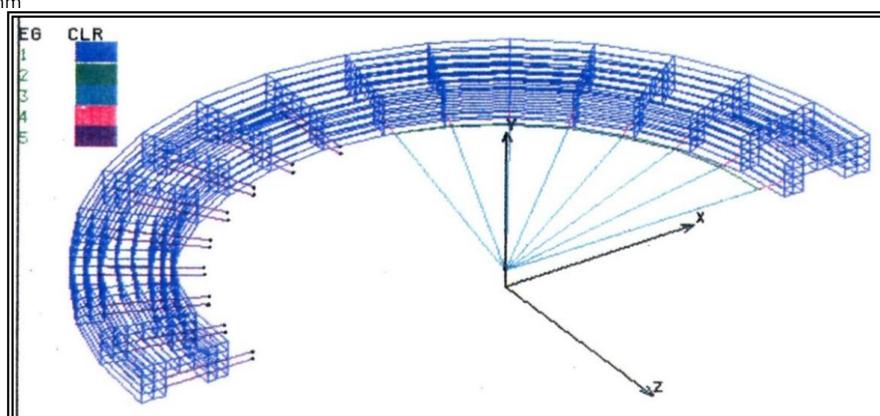
RISULTATO ANALISI STRUTTURALE

STEP 1

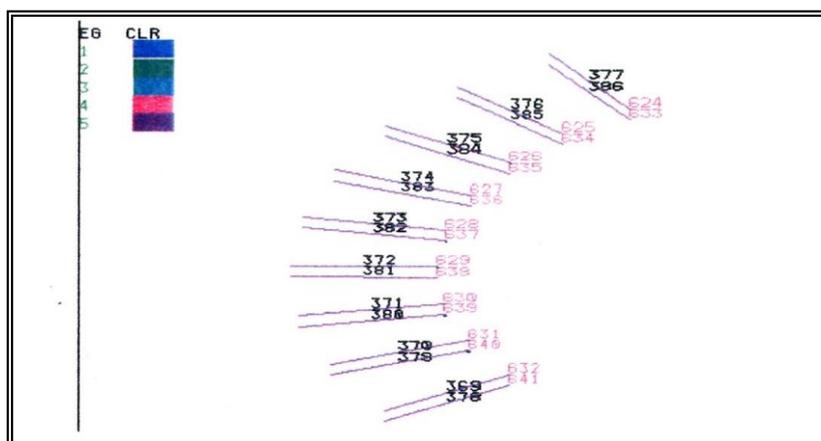
Studio ANELLO

Spostamento imposto + 0.70 mm

Allungamento anello + 0.50 mm



SCHEMA DI VINCOLO



REAZIONI

REAZIONE NEI NODI DEL FONDELLO

F7=Sblock,F8=Eblock ,F9=Search/rep,F10=Find

Windows:1 File:ANELLO.OUT Dedit Ver. 1.3 Line:95 col:4

LOAD CASE NUMBER =1

FORCED IN THE CLOSED BOUNDARY/GAP ELEMENT(S), NCE = 18

ELEMENT	FX	FY	FZ	GAP DISTANCE
369	0.11097E+05	0.00	-0.37902E-02	0.100
370	0.23197E+05	0.00	0.47720E+4	0.100
371	0.20511E+05	0.00	0.86645E+04	0.100
372	0.19066E+05	0.00	0.12856E+05	0.100
373	0.19334E+05	0.00	0.19334E+05	0.100
374	0.16041E+05	0.00	0.23790E+05	0.100
375	0.64137E+04	0.00	0.15182E+05	0.100
376	0.13790E+04	0.00	0.67034E+04	0.100
384	0.30740E+04	0.00	0.72768E+04	0.100
385	0.25392E+05	0.00	0.12343E+05	0.100

F7=Sblock,F8=Eblock ,F9=Search/rep,F10=Find

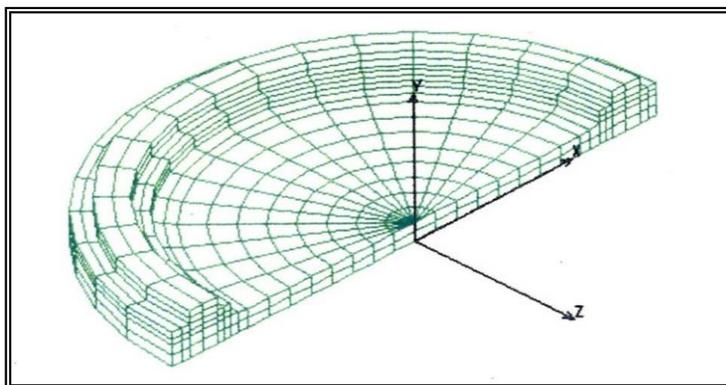
Windows:1 File:ANELLO.OUT Dedit Ver. 1.3 Line:115 col:3

REACTION FORCE

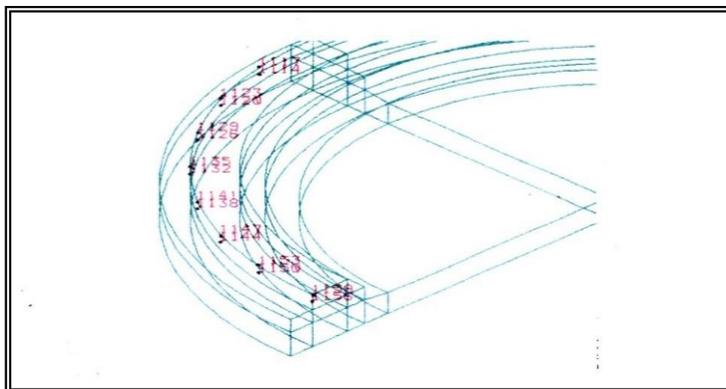
NODE	REACTION FORCE -DIR 1	REACTION FORCE DIR 3
625	-1379.0	-6703.4
626	-6413.7	-15182
627	-16041	-23790
628	-19334	-19334
629	-19066	-12856
630	-20511	-8664.5
631	-23197	-4772.0
632	-11097	
634	-2539.2	-12343

STEP 2

Studio FONDELLO



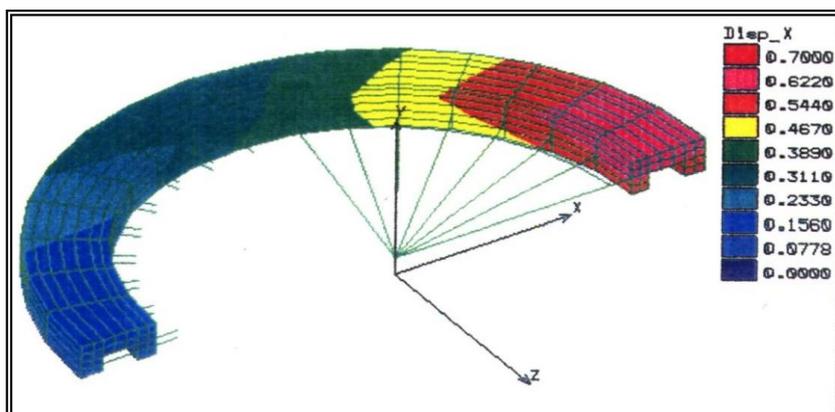
SCHEMA DI VINCOLO



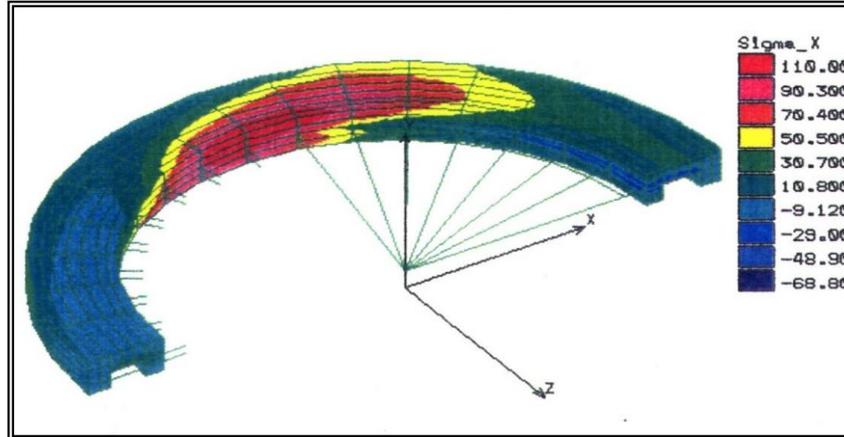
AZIONI

STEP 3

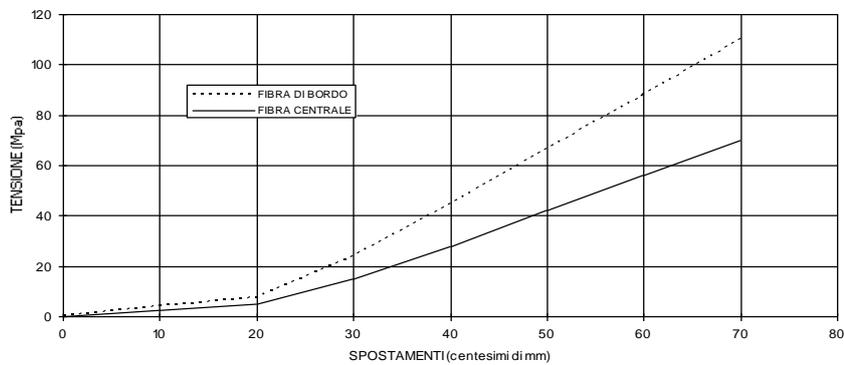
Studio ANELLO + FONDELLO



MAPPA DEGLI SPOSTAMENTI



Si riporta di seguito il diagramma della *tensione in X* registrata allo spigolo interno dell'anello e nella fibra centrale in funzione dello spostamento imposto come desunto dall'elaborazione effettuata.



CONCLUSIONI

Nel rispetto del fuso di tolleranza richiesto e sfruttando quanto più è possibile il gioco di fabbricazione consentito tra gli elementi, è sufficiente deformare l'anello di 0.5 mm registrando nella sezione critica le seguenti tensioni:

- AL BORDO = 110 Mpa
- AL CENTRO = 70 Mpa

Verifica a fatica

In conformità a quanto previsto dalla ISTRUZIONE 44 f con riferimento ai particolari strutturali riportati in fig. 2A si fa presente che la sezione di verifica [sezione diametrica ortogonale alla forza] è caratterizzata da:

- mancanza di concentrazione di carico ortogonale agli spigoli interni;
- assenza di saldature;
- assenza di intagli ortogonali alla forza esterna;
- verso di lavorazione concorde alla direzione della forza esterna.

Per quanto detto si adotta:
 $\Delta\sigma = 160$ Mpa

La verifica secondo il metodo della regola di Miner (par. 2.4.1) fornisce per il numeri di cicli N_i :

essendo:

dove:

$\Delta\sigma = 110$ Mpa = Ampiezza calcolata al bordo
 $\Delta\sigma_D$ = Ampiezza consentita per vita indefinita

risulta pertanto:

$$N_i = \frac{1}{(\gamma_s \times \gamma_m \times \Delta\sigma)^3} \times \Delta\sigma_A^3 \times 2 \times 10^6$$

$$= \frac{1}{(1 \times 1.25 \times 110)^3} \times 160^3 \times 2 \times 10^6 = 3.1E6$$

dove:

$\gamma_s = 1$ = Coefficiente d'incremento D_s
 $\gamma_m = 1.25$ = Coefficiente per probabilità di sopravvivenza > 95%

Dalla sperimentazione effettuata si è riscontrato che gli anelli, sottoposti a 4E6 di cicli (due serie da 2E6), non hanno subito alcuna alterazione nella risposta orizzontale, determinata con le prove statiche per la verifica del rispetto del fuso.

APPENDICE A. VERIFICA CLS SUPERIORE IN CONDIZIONE SISMICA CON MODELLAZIONE FEM

Visto il valore esiguo del λ ottenuto con la verifica al paragrafo 1.1.2, si è proceduto a eseguire un'analisi agli elementi finiti per valutare la pressione sul calcestruzzo in condizioni di massimo carico orizzontale.

È stato pertanto modellato il calcestruzzo superiore, la contropiastra superiore, il pistone, il PTFE e la lente sferica.

Ad eccezione del contatto tra PTFE e pistone, considerato come contatto unito, gli altri contatti sono di tipo unilaterale.

È stata valutata la condizione di carico sismica, applicando alla calotta un carico verticale pari a 1723 kN associato ad un carico orizzontale concomitante pari a 3550 kN ed alla relativa forza di attrito di 710 kN (attrito = 20%).

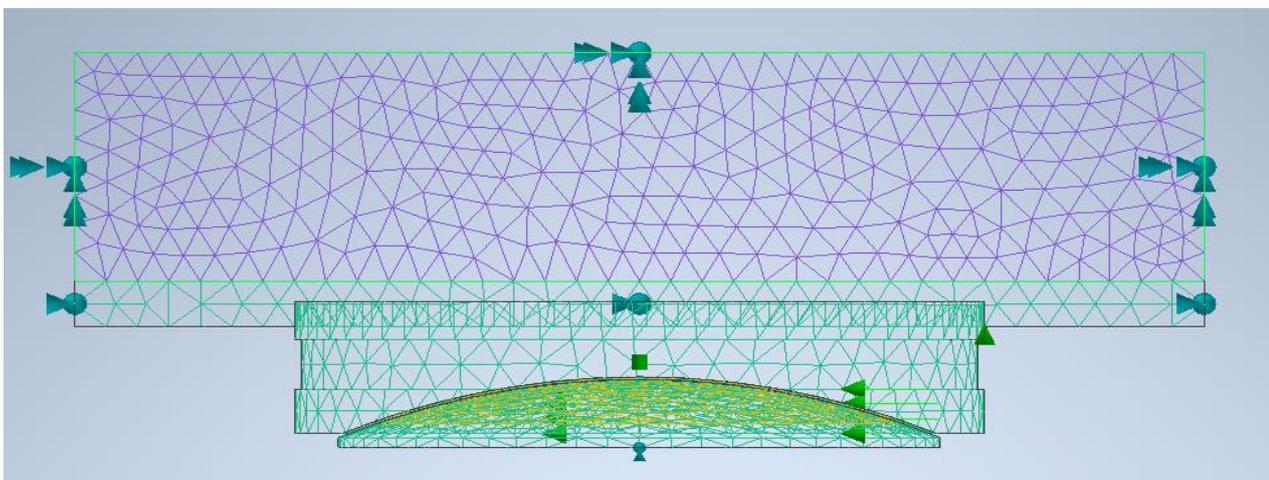
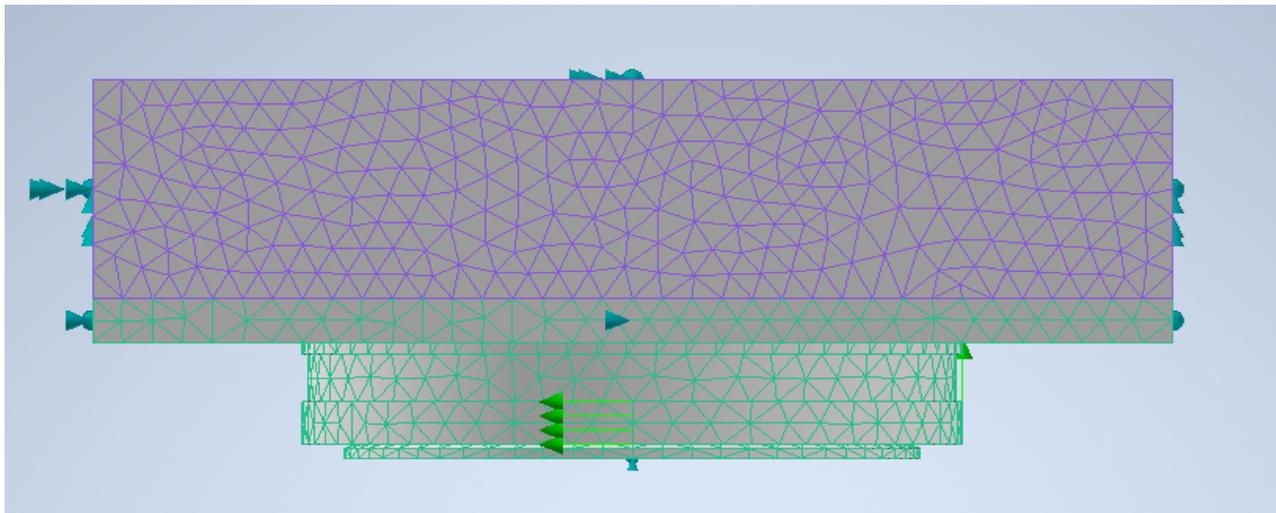
Caratteristiche modelli:

Interfaccia di contatto unilatero tra PTFE e pistone, tra pistone e contropiastra superiore e tra contropiastra superiore e calcestruzzo.

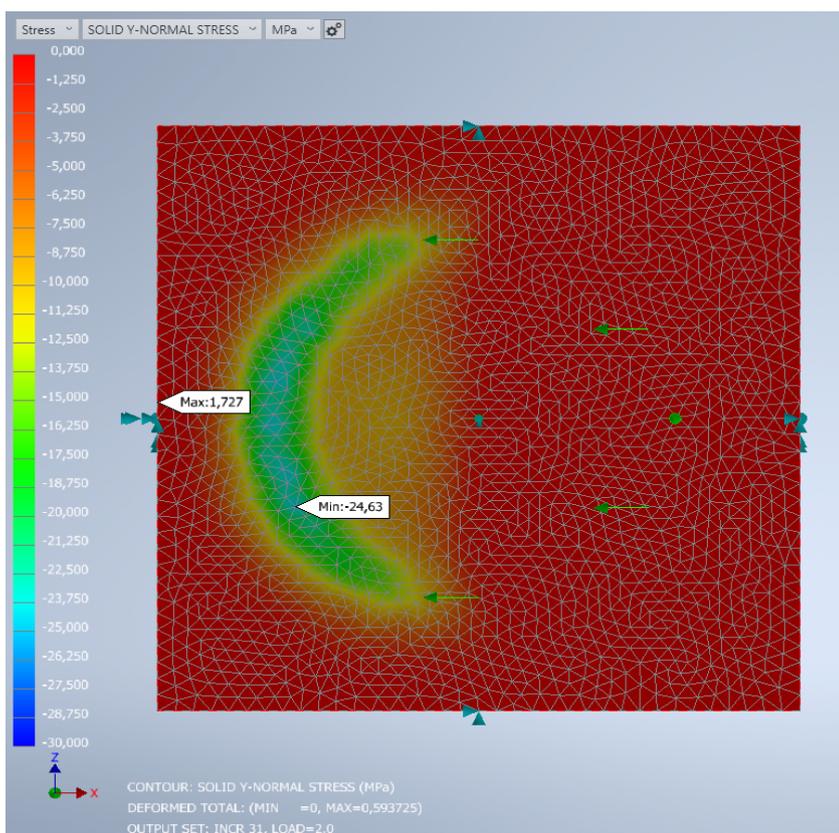
Vincoli bilateri rigidi nelle 3 direzioni all'estradosso del supporto superiore modellato. Vincoli bilateri rigidi all'intradosso della calotta in direzione e verticale (dopo applicazione carico verticale). Contropiastra superiore vincolata in direzione longitudinale e trasversale per il trasferimento dei carichi orizzontali (le forze passano per le zanche superiori ma ai fini di questa analisi non sono influenti e appesantirebbero notevolmente la modellazione)

Il supporto in calcestruzzo è modellato con materiale lineare elastico

MODELLO- VINCOLI E FORZE APPLICATE

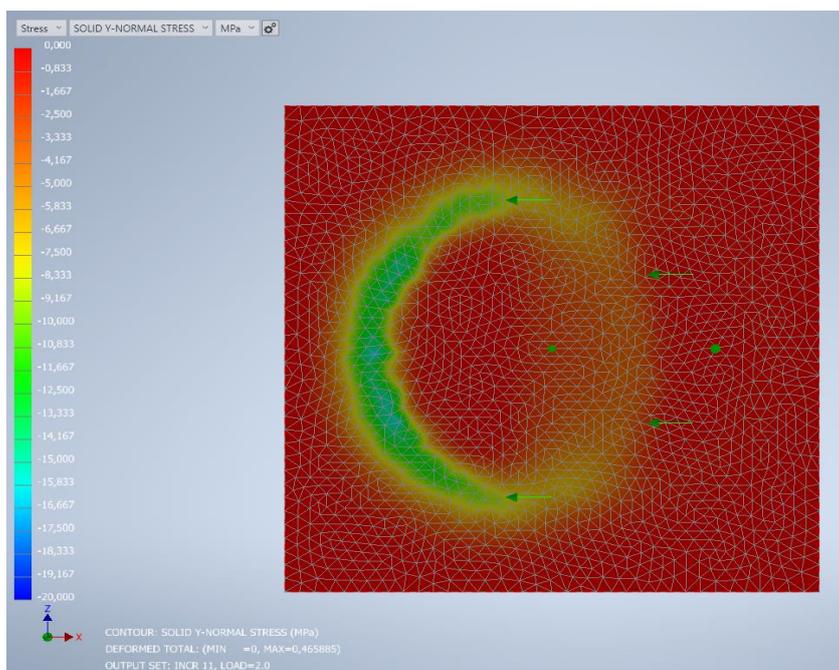


TENSIONI DI COMPRESSIONE NEL CALCESTRUZZO ALL'INTERFACCIA DI CONTATTO CON LA CONTROPIASTRA IMMAGINANDO IL VERSO DELLA FORZA DOVUTA ALL'ATTRITO VERSO L'ALTO



Il valore di tensione di compressione è pari a circa 24 Mpa., pertanto inferiore al valore limite $f_{cd} = 33,6$ Mpa
 La verifica risulta soddisfatta

TENSIONI DI COMPRESSIONE NEL CALCESTRUZZO ALL'INTERFACCIA DI CONTATTO CON LA CONTROPIASTRA IMMAGINANDO IL VERSO DELLA FORZA DOVUTA ALL'ATTRITO VERSO IL BASSO



Il valore di tensione di compressione è pari a circa 16 Mpa., pertanto inferiore al valore limite $f_{cd} = 33,6$ Mpa
 La verifica risulta soddisfatta

L'appoggio sferico fisso progettato, TRS-FS 3600/3512/1782, presenta le stesse dimensioni in pianta ed in altezza della soluzione omologata, TRS-FS 5700/2500/2500, quindi centrando in pieno la prescrizione del rispetto geometrico con quanto omologato. TENSA, per tener conto dei carichi di progetto leggermente più alti, ha provveduto alla sola sostituzione dell'acciaio del basamento con un acciaio al carbonio, sempre riconducibile alla norma EN10025, ma con caratteristiche prestazionali maggiori [S460J2 anziché S355J2].

Sottolineamo che l'anello elastico, elemento a cui è deputata la risposta elastica dell'appoggio all'interno del fuso previsto dal Capitolato Ferroviario, è rimasto inalterato sia per dimensioni, per forma e per materiale.

Di seguito viene eseguita un'analisi agli elementi finiti del fondello (unico elemento con variazione rispetto a quanto omologato), comparando lo stato tensionale tra le due conofigurazioni e verificando l'assenza di plasticizzazioni:

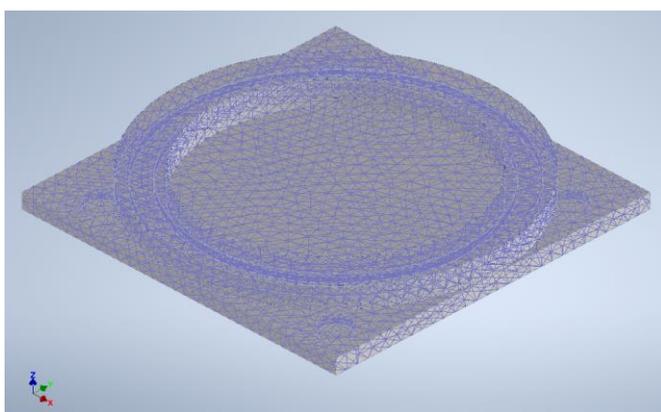
- CONFIGURAZIONE DI PROGETTO Carico agente 3550 kN - Resistenza acciaio Fondello $f_{yk}=410$ Mpa

- CONFIGURAZIONE DI OMOLOGAZIONE Carico agente 2500 kN - Resistenza acciaio Fondello $f_{yk}=325$ Mpa

La tipologia di modello, mesh, materiali, il sistema di vincolo, l'applicazione del carico (ad eccezione del valore) sono analoghi a quanto riportato al par.5 della presente relazione.

Modello - Mesh

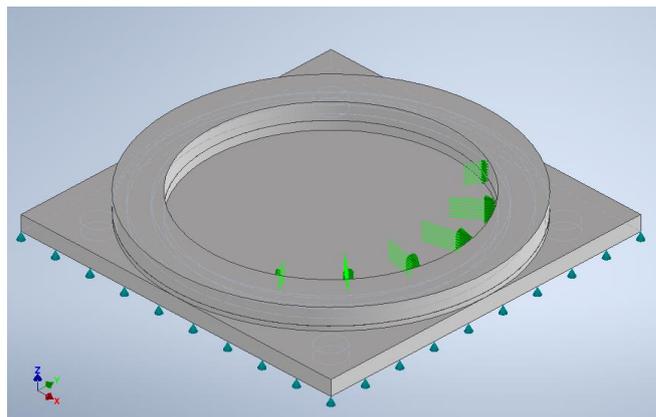
E' stato modellato l'intero fondello in accoppiamento con l'anello elastico. E' stata eseguita un'analisi non lineare a causa della presenza dei contatti tra anello e fondello. Tutte le interfacce tra corpi, sono infatti ricoperte da coppie di elementi di contatto Target e Contact per realizzare contatti di tipo Node to Surface. La mesh è stata eseguita utilizzando elementi SOLID isoparametrici a 4 nodi (Linear Tetrahedrons). Si riporta di seguito un'immagine del modello eseguito.



Carichi - Vicoli

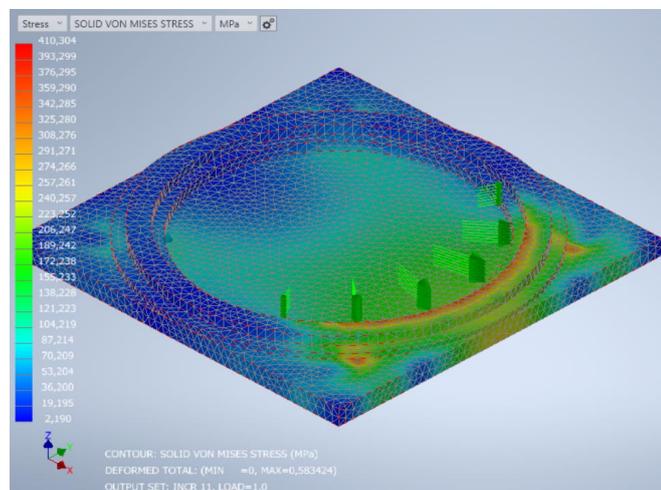
La forza è stata applicata mediante "bearing load" ovvero una configurazione di carico che rappresenta la tipica distribuzione del carico di compressione che si verifica nelle aree di contatto tra elementi cilindrici.

I vicoli alle foze orizzontali sono stati applicati all'interno dei fori per le zanche mentre sulla superficie inferiore del fondello è stato applicato un carrello per prendere la reazione verticale simulando la presenza della sottostruttura.

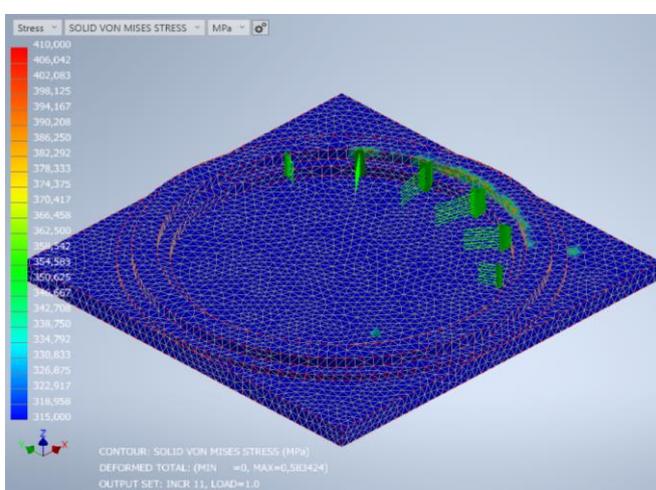


-Diagramma delle tensioni di Von Mises all'interno del fondello CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Diagramma tensioni fondello



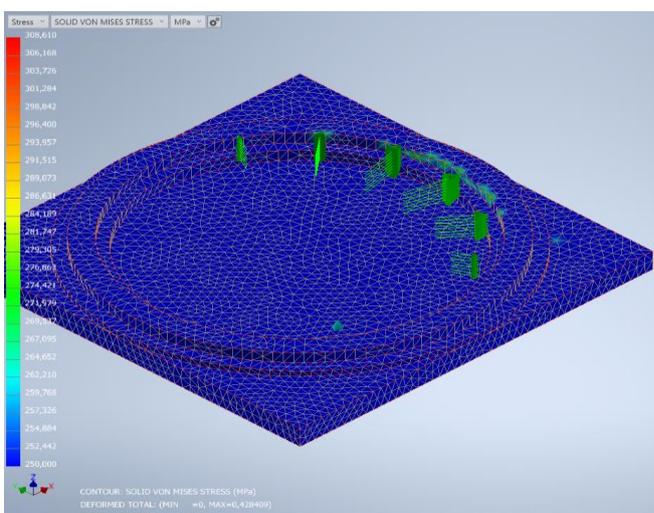
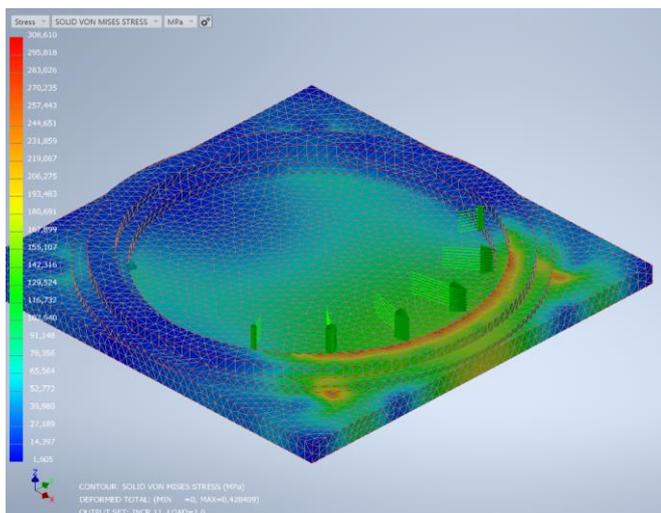
Porzione del fondello con fattore di sicurezza $F.S = 410/315 = 1,3$



Come si vede dalle immagini sopra, la fascia di colore verde ha tensioni medie di circa 340 Mpa . $F.S = 410/340 = 1,20$ e non supera in nessun punto lo snervamento del materiale S460 pari a 410 MPa

Diagramma tensioni fondello

Porzione del fondello con fattore di sicurezza $F.S = 325/250 = 1,3$

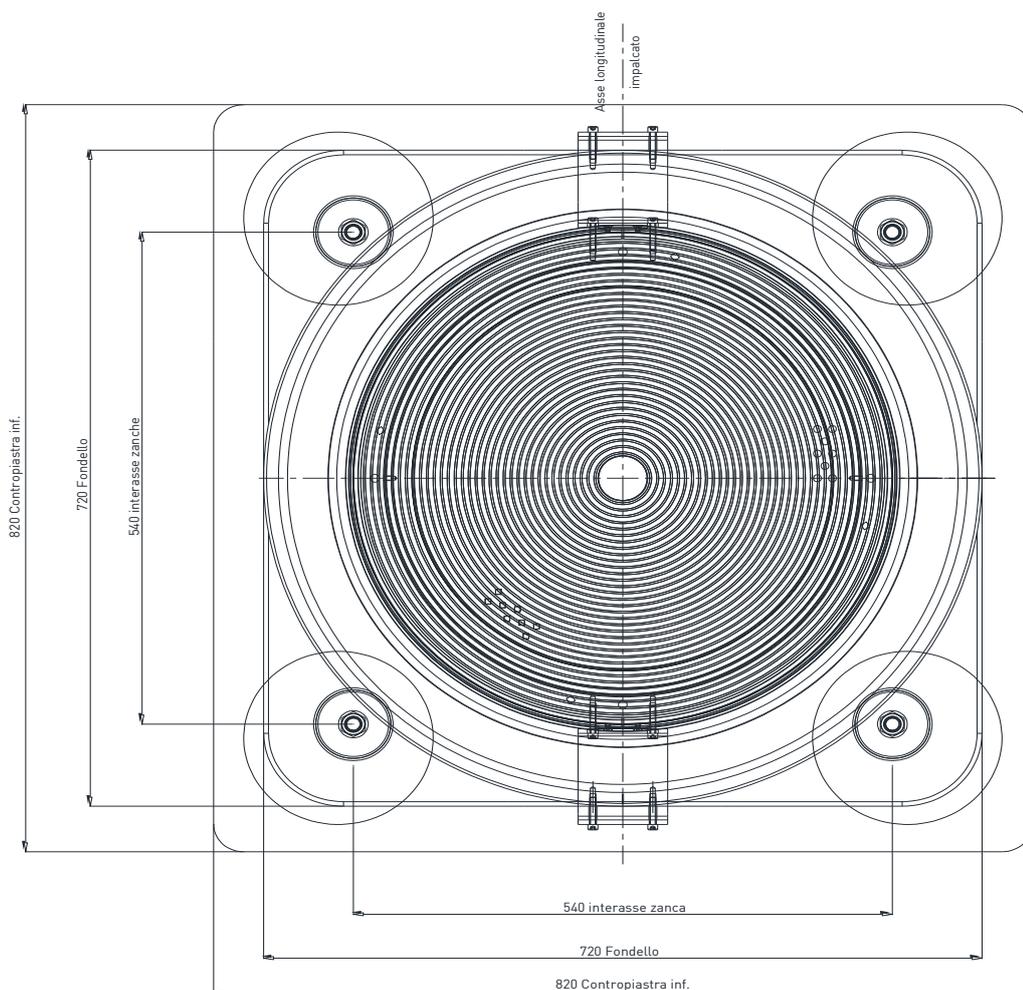
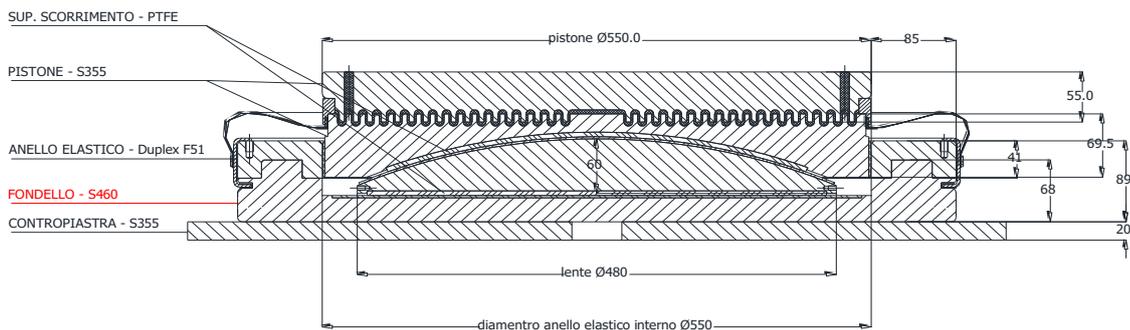


Come si vede dalle immagini sopra, la fascia di colore verde ha tensioni medie di circa 270 Mpa . $F.S = 325/270 = 1,20$ e non supera in nessun punto lo snervamento del materiale S355 pari a 325 MPa

Si fa inoltre presente che, per esigenze legate al mercato ed alla difficoltà di reperimento di materiale dotato di DoP (Declaration of Performance) soprattutto per i tondi da cosatruzione e a causa della variazione della norma armonizzata che lo regola, si è proceduto, a sostituire il materiale delle zanche di ancoraggio, mantenendo sempre un acciaio legato ovviamente di pari caratteristiche prestazionali ma passando dal 39NiCrMo3 a un 42CrMo4. Tale sostituzione, che non impatta minimamente nel funzionamento dell'appoggio e tantomeno nella trasmissione delle forze, si rende necessaria per poter consegnare un appoggio che possa essere marcabile CE, altrimenti non sarebbe più possibile temperare a detta prescrizione di legge.

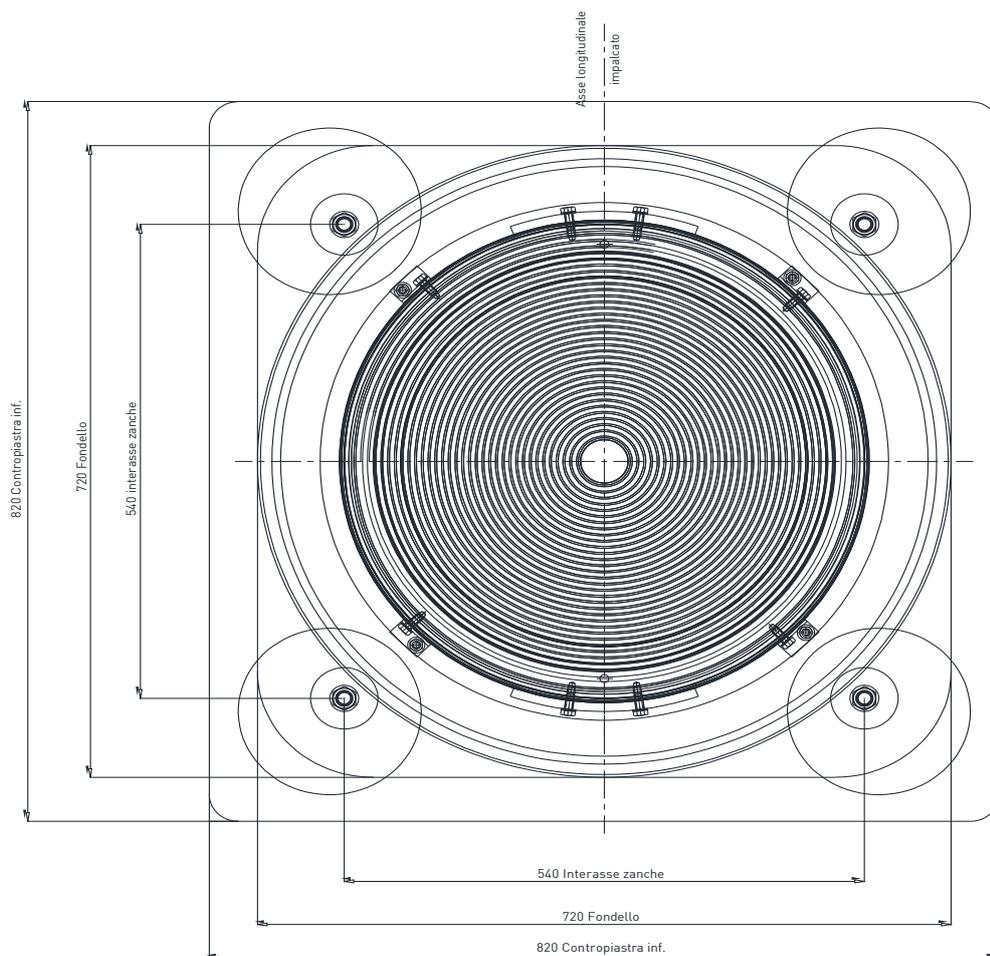
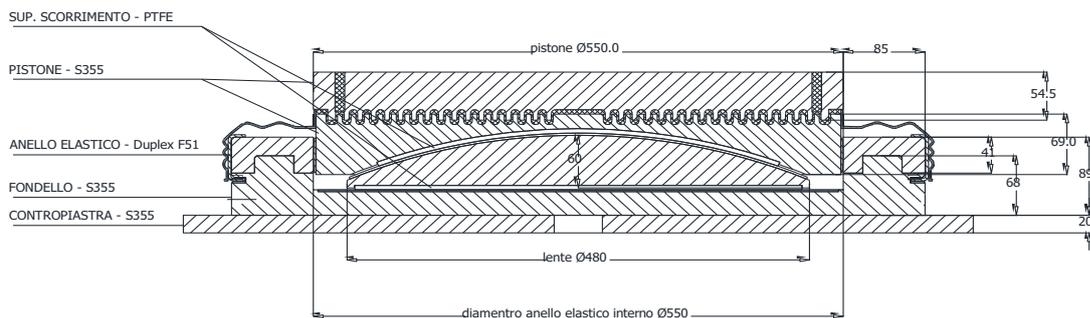
Di seguito si riportano i disegni con le dimensioni e i materiali principali dell'appoggio. In rosso le variazioni rispetto al dispositivo omologato.

COSSI – LINEA AV VR-PD Lotto VR-VI campate
cap 25 m
APPOGGIO FISSO ELASTICO
TRS FS 3600/3512/1782



26	Paralovere	Gomma	EN 1337/2	-	1
25	Angolare d'assemblaggio provvis.	S275JR	EN 10025	Verniciatura	4
24	Rondella per part.23	R40	EN 20898	Zincatura	12
23	Vite d'assemblaggio provvisorio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	12
22	Rondella per part.21	R40	EN 20898	Zincatura	2
21	Vite d'assemblaggio provvisorio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	2
20	Distanziale d'assemblaggio provvis.	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
19	Staffa d'assemblaggio provvisorio	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
18	Placca d'assemblaggio provvisorio	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
17	Anello antisollamento	X2-X5CrNiMo17/12	EN 10088/2	-	1
16	Rondella per part.15	R40	EN 10025	Zincatura	4
15	Vite d'ancoraggio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	4
14	Zanca d'ancoraggio inferiore	42CrMo4	EN 10083	-	4
13	Zanca d'ancoraggio superiore	42CrMo4	EN 10083	-	4
12	Contropiastria inferiore	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
11	Contropiastria superiore	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
10	Pistone superiore	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
9	Supporto isolante	Resina epossidica	-----	EPOJET	1
8	Elemento basculante	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
7	Superficie di scorrimento	X2-X5CrNiMo17/12	EN 1337/2	-	1
6	Superficie di scorrimento	P.T.F.E. vergine	EN 1337/2	-	1
5	Calotta sferica	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
4	Superficie di scorrimento	P.T.F.E. vergine	EN 1337/2	-	1
3	Superficie di scorrimento	X2-X5CrNiMo17/12	EN 10088/2	-	1
2	Anello	Duplex F51	EN 10088	Vedi tavola specifica	1
1	Fondello	S460	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
POS	DENOMINAZIONE	MATERIALE	NORMATIVA	TRATTAMENTI	QTY

OMOLOGAZIONE TENSA 10/A
 APPOGGIO FISSO ELASTICO
 TRS FS 5700/2500/2500



26	Paravolere	Domina	EN 1337/2	-	1
25	Angolare d'assemblaggio provvis.	S275JR	EN 10025	Verniciatura	4
24	Rondella per part.23	R40	EN 20898	Zincatura	12
23	Vite d'assemblaggio provvisorio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	12
22	Rondella per part.21	R40	EN 20898	Zincatura	2
21	Vite d'assemblaggio provvisorio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	2
20	Distanziale d'assemblaggio provvis.	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
19	Stiffa d'assemblaggio provvisorio	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
18	Placca d'assemblaggio provvisorio	S275JR	EN 10025	Verniciatura	2
17	Anello antiscivolo	XZ- XSLrNMot17/12	EN 10088/2	-	1
16	Rondella per part.15	R40	EN 10025	Zincatura	4
15	Vite d'ancoraggio	Classe 8.8	EN 20898	Zincatura	4
14	Zanca d'ancoraggio inferiore	99NiCrMo3 bonif.	EN 10083	-	4
13	Zanca d'ancoraggio superiore	99NiCrMo3 bonif.	EN 10083	-	4
12	Contropiastro inferiore	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
11	Contropiastro superiore	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
10	Piastre di collegamento	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
9	Supporto isolante	Resina epossidica	DIN 18156	-	1
8	Elemento basculante	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
7	Superficie di scorrimento	XZ- XSLrNMot17/12	EN 1337/2	-	1
6	Superficie di scorrimento	P.T.F.E. vergine	EN 1337/2	-	1
5	Calotta sferica	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
4	Superficie di scorrimento	P.T.F.E. vergine	EN 1337/2	-	1
3	Superficie di scorrimento	XZ- XSLrNMot17/12	EN 10088/2	-	1
2	Anello	F51	ASTM A182/A	Vedi tavola specifica	1
1	Fondello	S355J2	EN 10025	Vedi tavola specifica	1
POS	DENOMINAZIONE	MATERIALE	NORMATIVA	TRATTAMENTI	N° PZ