

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.- Unidirezionale TRS-L 3700/4095/+ -85 - 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	VI0100	005	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	
B								
C								

Data: Mar. 2023

CIG. 8377957CD1

CUP: J41E9100000009

File: IN1712E12CLV10100005A.DWG

Cod. origine: CODICE



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

Scala di plot:

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA PRODUZIONE ANCHE PARZIALE È VIETATA

ID	Rev.	Date	RELAZIONE TECNICA	
R 1527	0	21/02/2023	TRS-L 3700/4095/±85	Pag 1 di 16



TENSA

GRUPPO DE ECCHER

RELAZIONE DI CALCOLO

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

TRS-L 3700/4095/±85

Dispositivo: Apparecchio d'appoggio Tens Railway Spherical unidirezionale longitudinale

Cliente: COSSI

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

Commessa n° 250190

SOMMARIO

DATI DI INPUT	.....	.2
VERIFICHE DI PROGETTO	.....	.5
1. SUPPORTI IN CLS	.....	.5
2. VERIFICA SUPERFICI DI SCORRIMENTO	.....	.8
3. CONTATTO ANELLO - PIASTRA DI SUPPORTO	.....	.11
4. VERIFICA GUIDA IN PTFE	.....	.11
5. VERIFICA DEL FONDELLO	.....	.12
6. PERNO DI CONTRASTO	.....	.12
7. ANCORAGGIO SUPERIORE	.....	.12
8. ANCORAGGIO INFERIORE	.....	.13

DISTRIBUZIONE:

Il presente documento è soggetto a distribuzione controllata.
Ai possessori di "copie controllate" verranno distribuite le eventuali e successive revisioni del presente documento.
Ai possessori di "copie non controllate" non verranno distribuite le successive edizioni.

Le copie controllate sono destinate ai "responsabili di processo" presso la sede e presso le unità produttive. Eventuali ulteriori "copie controllate" saranno definite e distribuite dal responsabile del coordinamento per la qualità. Copie aggiuntive, non distribuite dalla funzione qualità, devono essere considerate "non controllate".

Note:

Modifiche dalle versioni precedenti evidenziate con una barra laterale sul lato sinistro.

ID	Rev.	Data	Descrizione	Preparata da	Verificata da	Approvata da
R 1527	0	21/02/2023	Prima emissione	MI	LM	LM

RFI DTC SI PS SP IFS 002 F
RFI DTC SI PS MA IFS 001 F

Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili
Manuale di progettazione delle opere civili

L'apparecchio d'appoggio **SFERICO - UNIDIREZIONALE (TRS-L)** è un dispositivo d'appoggio in acciaio-PTFE/TS, a cerniera sferica, capace:

- 1) di rotazioni rispetto agli assi orizzontali;
- 2) di rotazione libera intorno a quello verticale;
- 3) di consentire spostamenti liberi nella direzione longitudinale;
- 4) di consentire reazione allo sforzo orizzontale nella direzione ortogonale allo scorrimento.

N.B. I cicli di protezione anticorrosiva utilizzati sono conformi ai cicli omologati RFI

DATI DI INPUT

PRESTAZIONI		IMPALCATO	CLS	
		PILA	CLS	
COMBINAZIONI	SLE	2467	-	520
		2467	-	520
		2467	-	520
	PERM.	1350	-	-
	SLU statico	3700	-	780
		3700	-	780
		1781	-	780
	SLU sismico	3113	-	968
		2328	-	4095
		1524	-	976

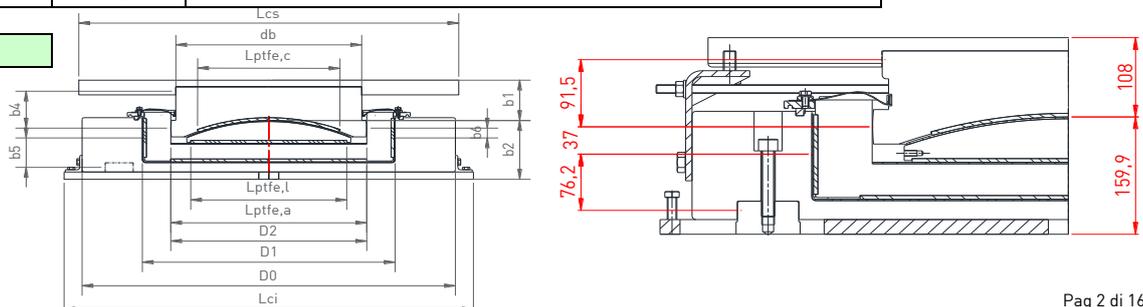
SCORRIMENTO (mm)	STATO LIMITE D'ESERCIZIO	LONG	±85
		TRASV	±0
STATO LIMITE ULTIMO	LONG	±85	
	TRASV	±0	
ROTAZIONE α (°)	STATO LIMITE D'ESERCIZIO	LONG	3,0
		TRASV	3,0
	STATO LIMITE ULTIMO	LONG	3,0
	TRASV	3,0	

TEMPERATURA DI ESERCIZIO	30°C
TEMPERATURA MINIMA	-5°C

DATI DIMENSIONALI

r	[mm]	589	Raggio di curvatura calotta sferica
L _{PTFE,c}	[mm]	340	Diametro proiettato calotta PTFE
h	[mm]	105	"Piastra concava superiore - altezza escluso perno"
d _b	[mm]	465	Piastra concava superiore - dimensione
t _b	[mm]	77,5	Piastra concava superiore - spessore minimo sotto calotta escluso perno
L _{PTFE,l}	[mm]	390	Diametro lente PTFE piano
L _{PTFE,a}	[mm]	520	Diametro lente PTFE elemento ripartizione
L _{sap}	[mm]	410	Diametro proiettato calotta saponetta (comprensivo rotazioni sicurezza)
h _{sap,tot}	[mm]	57	Altezza totale calotta saponetta
t _p	[mm]	25	Fondello - spessore BASE
t _a	[mm]	46,0	Spessore base anello
H ₁	[mm]	122,2	Fondello - altezza pareti WALLS
H _{2min}	[mm]	87,0	Altezza minima anello di ripartizione
D ₀	[mm]	940	Fondello - dimensione esterna
D _{0'}	[mm]	925	Fondello - dimensione direzione scorrimento
D ₁	[mm]	641	Fondello - dimensione interna
D ₂	[mm]	490	Anello di ripartizione sul dielettrico - dimensione interna
S _{cs}	[mm]	40	Contropiastra superiore - spessore
L _{cs}	[mm]	900	Contropiastra superiore - dimensione
S _{ci}	[mm]	20	Contropiastra inferiore - spessore
L _{ci}	[mm]	1020	Contropiastra inferiore - dimensione
L _{ci'}	[mm]	970	Contropiastra inferiore - dimensione
h _{allett}	[mm]	30	Spessore strato di allettamento
φ _{pn}	[mm]	465	Diametro del perno - Perno portante verticalmente
b ₁	[mm]	108,4	Distanza superficie proiettata PTFE - CLS superiore
b ₂	[mm]	159,9	Distanza superficie proiettata PTFE - CLS inferiore
b ₄	[mm]	91,5	Distanza superficie di contatto anello - sup. contatto perno
b ₅	[mm]	76,2	Distanza superficie di contatto anello - ZANCA
w	[mm]	47,0	Altezza del dente di contatto

GEOMETRIA



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 od inghisata mediante zanche in acciaio.

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 AL CICLO 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 20µm a 100µm).

Gli apparecchi d'appoggio sono provvisti di un rivestimento protettivo delle superfici metalliche soggette ad aggressione chimica e fotochimica, realizzato come da specifica 17122K04-04

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:

	Minimum yield strength MPa - Nominal thickness mm							
	≤ 16	> 16	> 40	> 63	> 80	> 100	> 150	> 200
	≤ 40	≤ 63	≤ 80	≤ 100	≤ 150	≤ 200	≤ 250	≤ 250
S235 J2	235	225	215	215	215	195	185	175
S275 J2	275	265	255	245	235	225	215	205
S355 J2	355	345	335	325	315	295	285	275

	Tensile strength MPa - Nominal thickness mm			
	<3	≥3	> 100	> 150
	≤ 100	≤ 150	≤ 250	≤ 250
S235 J2	360	360	350	340
S275 J2	430	410	400	380
S355 J2	510	470	450	450

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:

42CrMo4 42CrMoS4	EN ISO 683-2				
	Spessore				
	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 R_z 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

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 .

Si riportano le resistenze di progetto agli stati limite consentite dalla EN 898:

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
		carichi variabili	90
	per le guide	temp., ritiro e deformaz. viscosa	30
		carichi permanenti	10

Il valore va ridotto del 2% per ogni grado maggiore di 30°C

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

Malta reoplastica

Per l'inghisaggio dei tirafondi si utilizza malta reoplastica premiscelata 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}	3700 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	780 (KN)
- Diametro area proiettata lente PTFE L_{PTFE}	340 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	105 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	465 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	1020 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 40,8 MPa)	0,017
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto sup. b_1	108,4 (mm)
- Distanza contatto anello /perno. b_4	91,5 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,80E+05 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{3,70E+06 \text{ (N)}}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	9,8 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	10,3 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r+b_1)$	36,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	19,3 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	39,4 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{PTFE,CURVO} + 2 \tan 60^\circ (h+S_{cs}) = 527 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 218421 \text{ (mm}^2\text{)}$$

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}	0,075
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	0,82

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 179936 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{20,56 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

Rck	55 (MPa)
$fd = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot Rck) / 1,5$	33,63 (MPa)

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < fd$

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 sismico concomitante N	2328 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	4095 (KN)
- Diametro area proiettata lente PTFE L_{PTFE}	340 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	105 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	465 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	1020 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 25,7 MPa)	0,022
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto sup. b_1	108,4 (mm)
- Distanza contatto anello /perno. b_4	91,5 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{4,10E+06 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{2,33E+06 \text{ (N)}}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	13,2 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	86,2 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r+b_1)$	36,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	161,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	260,4 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{PTFE,CURVO} + 2 \tan 60^\circ (h+S_{cs}) = 527 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 218421 \text{ (mm}^2\text{)}$$

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}	0,494
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	-0,16

SI RIMANDA AL PAR 9 - 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 minimo N_{min}	1780 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	773 (KN)
- Diametro area proiettata lente PTFE L_{PTFE}	340 (mm)
- Altezza piastra di supporto superiore h	105 (mm)
- Diametro piastra di supporto superiore d_b	465 (mm)
- Spessore contropiastra superiore S_{cs}	40 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	1020 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 19,6 MPa)	0,027
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE / supporto sup. b_1	108,4 (mm)
- Distanza contatto anello / perno. b_4	91,5 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,73E+05 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{min} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,78E+06 \text{ (N)}}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	15,9 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	21,3 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r + b_1)$	36,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_4 =$	39,7 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	76,9 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{TS,CURVO} + 2 \tan 60^\circ (h + S_{cs}) = 527 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 218421 \text{ (mm}^2\text{)}$$

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}	0,146
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	0,66

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 143349 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{12,42 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

Rck	55 (MPa)
$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot Rck) / 1,5$	33,63 (MPa)

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

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}	3700 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	780 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart. $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Spessore Fondello tp	25 (mm)
- Dim. fondello direz.scorrimento Do'	925 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	970 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 17,4 MPa)	0,029
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	159,9 (mm)
- Distanza contatto anello / zanca b_5	76,2 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,80E+05 \text{ (N)}}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{3,70E+06 \text{ (N)}}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	17,2 (mm)
	$e_2 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	10,3 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	22,5 (mm)
forze laterali	$e_4 = V_{ud}/N_{TOT} \cdot b_5 =$	16,1 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	43,6 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{TS,a} + 2 \tan 60^\circ (t_p + S_{ci} + h_{allett}) = 787 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 486124 \text{ (mm}^2\text{)}$$

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}	0,055
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls})$	0,87

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 422690 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{8,75 \text{ (MPa)}}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

Rck	40 (MPa)
$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot Rck) / 1,5$	24,46 (MPa)

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 sismico N	2328 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	4095 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart. $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Spessore Fondello t_p	25 (mm)
- Dimensione interna Fondello D	490 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	1020 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 11,0 MPa)	0,038
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	159,9 (mm)
- Distanza contatto anello / supporto inf. b_5	76,2 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{4,10E+06 (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{2,33E+06 (N)}$$

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 $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	22,5 (mm)
$e_2 = V_s/N_s \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	86,2 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	22,5 (mm)
forze laterali $e_4 = V_s/N_s \cdot b_5 =$	134,0 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	242,7 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{PTFE,a} + 2 \tan 60^\circ (t_p + S_{ci} + h_{allett}) = 787 (mm)$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 486124 (mm^2)$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

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

$$\text{rapporto } e_{tot}/\phi_{cls} = 0,308$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls}) = 0,27$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 132776 (mm^2)$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{17,53 (MPa)}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

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

$$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = \mathbf{24,46 (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

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 minimo N_{min}	1780 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	773 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart. $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Spessore Fondello t_p	25 (mm)
- Dimensione interna Fondello D	490 (mm)
- Spessore contropiastra inferiore S_{ci}	20 (mm)
- Lato contropiastra superiore L_{cs}	900 (mm)
- Lato contropiastra inferiore L_{ci}	1020 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} (sul PTFE 8,4 MPa)	0,044
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,20
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Distanza PTFE supporto inferiore b_2	159,9 (mm)
- Distanza contatto anello / supporto inf. b_5	76,2 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,730E+05 (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{min} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,78E+06 (N)}$$

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 $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	25,6 (mm)
$e_2 = V_s/N_s \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	21,3 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2)$	22,5 (mm)
forze laterali $e_4 = V_s/N_s \cdot b_5 =$	33,1 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	80,0 (mm)

Impronta di carico cls con ripartizione a 60°

$$\phi_{cls} = L_{PTFE,a} + 2 \tan 60^\circ (t_p + S_{ci} + h_{allett}) = 787 (mm)$$

Calcolo area di contatto circolare A

$$A_{cls} = \pi \cdot (1/2 \phi_{cls})^2 = 486124 (mm^2)$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

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

$$\text{rapporto } e_{tot}/\phi_{cls} = 0,102$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot}/\phi_{cls}) = 0,76$$

Calcolo area ridotta

$$A_{r,cls} = A_{cls} \cdot \lambda = 369654 (mm^2)$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_{r,cls} = \mathbf{4,82 (MPa)}$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls confinato

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

$$f_d = 0,85 \cdot 1,3 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = \mathbf{24,46 (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2. VERIFICA SUPERFICI DI SCORRIMENTO

2.1 PTFE SOTTO ELEMENTO INTERMEDIO

2.1.1 Verifica della pressione con Nmax cond. Statiche

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.

- Carico verticale massimo N_{max}	3700 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	780 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	17,4 MPa) 0,029
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,2
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Braccio interno b_6 (Dist Guida-Dente pist.)	37 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,80E+05 (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{3,70E+06 (N)}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	17,2 (mm)
	$e_2 = Vs/Ns \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	10,3 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r - b_7)$	25,4 (mm)
forze laterali	$e_4 = Vs/Ns \cdot b_6 =$	7,8 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	35,3 (mm)

Calcolo area di contatto circolare A_{PTFE}

$$A_{PTFE} = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE})^2 = 212371 (mm^2)$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

$$\text{rapporto } e_{tot}/L_{PTFE} = 0,068$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot e_{tot} / L_{PTFE} = 0,840$$

Calcolo area ridotta

$$A_r = A_{PTFE} \cdot \lambda = 178413 (mm^2)$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_r = \mathbf{20,74 (MPa)}$$

Calcolo valore di progetto f_d del PTFE

$$f_d = f_k / \gamma_m \text{ (carichi permanenti e variabili)} = \mathbf{64,29 (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.1.2 Verifica della pressione con N di Vmax cond. Sismiche

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.

- Carico verticale concomitante N	2328 (KN)
- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	11,0 MPa) 0,038
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,2
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Braccio interno b_6 (Dist Guida-Dente pist.)	37 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{4,10E+06 (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{2,33E+06 (N)}$$

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	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	22,5 (mm)
	$e_2 = Vs/Ns \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	86,2 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot (r - b_7)$	25,4 (mm)
forze laterali	$e_4 = Vs/Ns \cdot b_6 =$	65,1 (mm)
totale	$e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4$	173,7 (mm)

Calcolo area di contatto circolare A_{PTFE}

$$A_{PTFE} = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE})^2 = 212371 (mm^2)$$

Calcolo coefficiente riduttivo λ

$$\text{rapporto } e_{tot}/L_{PTFE} = 0,334$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot e_{tot} / L_{PTFE} = 0,213$$

Calcolo area ridotta

$$A_r = A_{PTFE} \cdot \lambda = 45260 (mm^2)$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_r = \mathbf{51,44 (MPa)}$$

Calcolo valore di progetto f_d del PTFE

$$f_d = f_k / \gamma_m \text{ (carichi permanenti e variabili)} = \mathbf{64,29 (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.1.3 Verifica della pressione con Nmin cond. Statiche

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.

- Carico verticale minimo N_{min}	1780 (KN)
- Carico longitudinale concomitante V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante V_y	773 (KN)
- Diametro area PTFE el. ripart $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE 8,4 MPa)	0,044
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio μ_a	0,2
- Angolo di rotazione α	0,052 rad
- Braccio interno b_6 (Dist Guida-Dente pist.)	37 (mm)

Calcolo domanda V_{ud}

$$V_{ud} = V_y \cdot 10^3 = \mathbf{7,73E+05 (N)}$$

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello

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

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{1,78E+06 (N)}$$

Calcolo eccentricità totale

Le forze di attrito, derivanti dall'applicazione dei carichi orizzontali, e la condizione ruotata dell'appoggio producono una eccentricità della forza verticale N che deve essere tenuta in conto nella verifica degli elementi strutturali adiacenti e dell'appoggio stesso.

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	25,6 (mm)
$e_2 = Vs/Ns \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	21,3 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_7) =$	25,4 (mm)
forze laterali $e_4 = Vs/Ns \cdot b_6 =$	16,1 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4 =$	63,0 (mm)

Calcolo area di contatto circolare A_{PTFE}

$$A_{PTFE} = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE})^2 = 212371 (mm^2)$$

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 .

$$\text{rapporto } e_{tot}/L_{PTFE} = 0,121$$

$$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot e_{tot}/L_{PTFE} = 0,715$$

Calcolo area ridotta

$$A_r = A_{PTFE} \cdot \lambda = 151802 (mm^2)$$

Calcolo pressione media su area ridotta

$$f_c = N_{tot} / A_r = \mathbf{11,73 (MPa)}$$

Calcolo valore di progetto f_d del PTFE

$$f_d = f_k / \gamma_m \text{ (carichi permanenti e variabili)} = \mathbf{64,29 (MPa)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.1.4 Separazione superfici di scorrimento (SLE)

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.

- Diametro area PTFE el. ripart $L_{PTFE,a}$	520 (mm)
- Carico verticale N_{se}	2467 (KN)
- Carico orizzontale $V_{ue} = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2}$	520 (KN)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE 2,4 MPa)	0,053
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Angolo di rotazione α	0,052 (rad)

$$N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} = \mathbf{2,57E+03 (KN)}$$

Calcolo eccentricità totale

attrito $e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	31,4 (mm)
$e_2 = Vs/Ns \cdot \mu_a \cdot D/2 =$	9,9 (mm)
rotazione $e_3 = \alpha \cdot (r - b_2) =$	25,4 (mm)
forze laterali $e_4 = Vs/Ns \cdot b_5 =$	7,5 (mm)
totale $e_{TOT} = e_1 + e_2 + e_4 =$	48,8 (mm)
$L_{PTFE} / 8 =$	65,0 (mm)

OK VERIFICA SODDISFATTA $e < L/8$

2.2 PTFE CALOTTA CURVA

2.2.1 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 Nmax in quanto le eccentricità dipendenti dalle forze orizzontali e2 ed e4 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 e3=0

- Carico verticale massimo	N_{max}	3700 (KN)
- Carico longitudinale concomitante	V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante	V_y	780 (KN)
- Diametro area proiettata lente PTFE	$L_{PTFE,c}$	340 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	40,8 (MPa)	0,017
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio	μ_a	0,2
- Angolo di rotazione	α	0,052 rad

Calcolo domanda V_{ud}
 $V_{ud} = V_y \cdot 10^3 =$ **7,80E+05 (N)**

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello
 $N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} =$ (non agente) **0,00E+00 (N)**
 $N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} =$ **3,70E+06 (N)**

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	9,8 (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	$e_{TOT} = |e_1|$	9,8 (mm)

Calcolo area di contatto circolare A_{PTFE}
 $A_{PTFE} = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE})^2 =$ 90792 (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	θ_{PTFE}	16,78 (°)
rapporto $e_{tot} / L_{PTFE} =$		0,029
λ (da prospetto B.1. EN 1337/7)		0,943

Calcolo area ridotta
 $A_r = A_{PTFE} \cdot \lambda$ 85617 (mm²)

Calcolo pressione media su area ridotta
 $f_c = N_{tot} / A_r =$ **43,22 (MPa)**

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

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.3 PTFE CALOTTA PIANO

2.3.1 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. La verifica dimensionante viene eseguita con la combinazione con Nmax in quanto le eccentricità dipendenti dalle forze orizzontali e2 ed e4 non sono presenti nel PTFE della calotta sferica.

- Carico verticale massimo	N_{max}	3700 (KN)
- Carico longitudinale concomitante	V_x	0 (KN)
- Carico trasversale concomitante	V_y	780 (KN)
- Diametro area PTFE piano	$L_{PTFE,I}$	390 (mm)
- Raggio di curvatura superficie sferica	r	589 (mm)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE	31,0 (MPa)	0,020
- Coeff. di attrito acciaio / acciaio	μ_a	0,2
- Angolo di rotazione	α	0,052 rad

Calcolo domanda V_{ud}
 $V_{ud} = V_y \cdot 10^3 =$ **7,80E+05 (N)**

Incremento del carico verticale per attrito basculante - fondello
 $N_{TL} = \mu_a \cdot V_{ud} =$ (non agente) **0,00E+00 (N)**
 $N_{TOT} = N_{max} \cdot 10^3 + N_{TL} =$ **3,70E+06 (N)**

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	11,5 (mm)
	$e_2 =$ nullo PTFE sup piana	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot r$	30,8 (mm)
forze laterali	$e_4 =$ nullo PTFE sup piana	0,0 (mm)
totale	$e_{TOT} = \max(|e_1|; |e_3|) =$	30,8 (mm)

Calcolo area di contatto circolare A_{PTFE}
 $A_{PTFE} = \pi \cdot (1/2 L_{PTFE})^2 =$ 119459 (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 $e_{tot} / L_{PTFE} =$		0,079
$\lambda = 1 - 0,75 \pi \cdot (e_{tot} / \phi_{cls})$		0,81

Calcolo area ridotta
 $A_r = A_{PTFE} \cdot \lambda$ 97201 (mm²)

Calcolo pressione media su area ridotta
 $f_c = N_{tot} / A_r =$ **38,07 (MPa)**

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

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

2.4 SEPARAZIONE SUPERFICI DI SCORRIMENTO (SLE)

2.4.1 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 $L_{PTFE,c}$	340 (mm)
- Carico verticale N_{se}	2467 (kN)
- Carico orizzontale $V_{ue} = V_y$	520 (kN)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE 27,2 MPa)	0,022
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Angolo di rotazione α	0,052 (rad)

Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	12,7 (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	$e_{TOT} = \max(|e_1|; |e_3|) =$	12,7 (mm)
	$L_{TS} / 8 =$	42,5 (mm)

OK VERIFICA SODDISFATTA $e < L/8$

2.4.2 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 $L_{PTFE,l}$	390 (mm)
- Carico verticale N_{se}	2467 (kN)
- Carico orizzontale $V_{ue} = V_y$	520 (kN)
- Coeff. attrito μ_{max} sul PTFE 20,7 MPa)	0,026
- Raggio di curvatura superficie sferica r	589 (mm)
- Angolo di rotazione α	0,052 (rad)

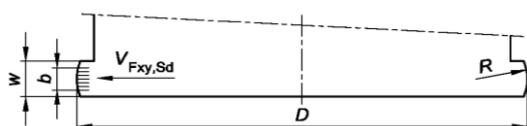
Calcolo eccentricità totale

attrito	$e_1 = \mu_{max} \cdot r =$	12,7 (mm)
	$e_2 =$ nullo PTFE sup. concava	0,0 (mm)
rotazione	$e_3 = \alpha \cdot r$	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)
	$L_{TS} / 8 =$	48,8 (mm)

OK VERIFICA SODDISFATTA $e < L/8$

3. 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	0 (kN)
	Statica	0 (kN)
- Carico trasversale V_y	Sismica	4095 (kN)
	Statica	780 (kN)
- Resistenza a trazione (SLU) $f_d = f_y / \gamma_m$		295 (N/mm ²)
- Resistenza ultima (SLU) f_u		450 (N/mm ²)
- Dente curvo / piano		CURVO
- Lato interno pistone $D_2 - 1$ mm		489 (mm)
- Modulo di elasticità E_d		205000 (N/mm ²)
- Raggio di curvatura $R > \min(100\text{mm}; 0.5 \cdot D)$		244,5 (mm)
- Massima rotazione di progetto α		0,052 rad
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_m		1,1
- Altezza del dente w		47,0 (mm)
- Altezza del dente minima w_{min}		46,8 mm OK
- Altezza zona di contatto del dente b		5,1 (mm)

Calcolo domanda V_{sd}

$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} =$	Sismica	4095 (kN)
	Statica	780 (kN)

Calcolo capacità V_{rd}

$V_{rd} = (D \cdot w \cdot f_y) / (1.5 \cdot \gamma_m) =$	Sismica	4109 (kN)
$V_{rd} = 15 \cdot [D \cdot R \cdot f_u^2] / [E_d \cdot \gamma_m^2] =$	Statica	1464 (kN)

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

4. VERIFICA GUIDA IN PTFE

- Carico longitudinale V_x	0 (kN)
- Carico trasversale V_y	4095 (kN)
- Resistenza a compressione PTFE f_k	90 (N/mm ²)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_m	1,4
- Lato interno elem. ripartizione D_2	490 (mm)
- Lato esterno elem. di ripartizione D_1	632 (mm)
- Lunghezza della guida in PTFE	611,0 (mm)
- Altezza minima del PTFE	104,3 (mm)
- Altezza del PTFE H'	108,0 (mm)
- Spessore minimo elemento con PTFE	33,0 (mm)
- Spessore minimo compreso PTFE-inox	37,5 (mm)
- Spessore anello t_c	71,0 (mm)

Calcolo domanda

$V_{sd} = V_y =$	4095 (kN)
$f_c = V_{sd} / [(D_1 \cdot H)'] =$	62,1 (N/mm²)

Calcolo capacità

$f_d = f_k / \gamma_m$	64,3 (N/mm²)
------------------------	--------------------------------

OK VERIFICA SODDISFATTA $f_c < f_d$

La EN1337-2 par.6.8,3per le guide consente di ignorare l'eccentricità, permettendo di calcolare il limite di tensione di compressione come N_{max}/A

5. VERIFICA DEL FONDELLO	S355J2
---------------------------------	--------

Per il dimensionamento e la verifica dell'Fondello si devono eseguire le regole di progetto per il vaso ed il pistone degli appoggi metallici a disco elastomerico confinato. [EN1337/5 pt.6]. Il fondello viene quindi diviso in due parti: le pareti laterali (WALLS) e l'anello di base (BASE)

5.1 Verifica a taglio delle pareti laterali (WALL)

- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (mm)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_m	1,1
- Resistenza a taglio (SLU) $f_d = f_y / (\gamma_m \cdot \sqrt{3})^{1/2}$	155 (N/mm ²)
- Lato interno D_1	641 (mm)
- Lato esterno D_0	940 (mm)

Calcolo domanda per unità di lunghezza V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} = \mathbf{4095 \text{ (KN)}}$$

Calcolo capacità V_{rd}

$$V_{rd} = [(D_0 - D_1) / 2 \cdot D_1 \cdot f_d] = \mathbf{14838 \text{ (KN)}}$$

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

5.2 Verifica a trazione dell'anello di base (BASE)

- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (mm)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_m	1,1
- Resistenza a trazione (SLU) $f_d = f_y / \gamma_m$	268 (N/mm ²)
- Lato esterno in diserz. Scorrim. D_0'	925 (mm)
- Spessore anello t_a	25 (mm)

Calcolo domanda V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} = \mathbf{4095 \text{ (KN)}}$$

Calcolo capacità V_{rd}

$$V_{rd} = D_0 \cdot t_a \cdot f_d = \mathbf{6202 \text{ (KN)}}$$

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

6. PERNO DI CONTRASTO	S355J2
------------------------------	--------

6.1 Verifica a taglio

- Diametro perno ϕ_{pn}	465 (mm)
- Diametro foro per perno ϕ_{pno}	466 (mm)
- Numero perni n_p	1 (mm)
- Penetrazione perno nella controp. h_{pn}	22,0 (mm)
- Altezza piastra concava h	105,0 (mm)
- Resistenza ultima pistone (SLU) f_{tk}	450,0 (N/mm ²)
- Resistenza a taglio (SLU) $fd = f_{tk} \cdot 0.6 / \gamma_{m2}$	216 (N/mm ²)
- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (mm)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m	1,5

Calcolo domanda V_{sd}

$$V_{sd} = \gamma_m (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} = \mathbf{6143 \text{ (KN)}}$$

Calcolo capacità V_{rd}

$$V_{rd} = (\phi_{pn}^2 \cdot \pi \cdot fd) / 4 = \mathbf{36682 \text{ (KN)}}$$

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

6.2 Verifica a rifollamento perno - contropiastra

S355J2

- Battuta del perno sulla contropiastra t	20,0 (mm)
- Lato minimo contropiastra L_{min}	900 (mm)
- spessore contropiastra S_{cs}	40,0 (mm)
- Resistenza a snervamento contropiastra f_y	345 (N/mm ²)

- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}	1,1
--	-----

Calcolo domanda V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} = \mathbf{4095 \text{ (KN)}}$$

Calcolo rifollamento perno V_{rd}

$$fd = (f_y / \gamma_{m0}) = \mathbf{314 \text{ (N/mm}^2\text{)}}$$

$$V_{rd} = 1.5 \cdot fd \cdot t \cdot \phi_{pn} = \mathbf{4375 \text{ (KN)}}$$

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	20
- Resist. a rottura f_t	1000 (N/mm ²)
- Resist. a taglio zanca $fd = f_t \cdot 0.6 / \gamma_{m2}$	480 (N/mm ²)
- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (KN)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m	1,5

Calcolo domanda sul singolo zanca V_{sd}

$$V_{sd} = 1.5 \cdot (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{307 \text{ (KN)}}$$

Calcolo capacità del singolo zanca V_{rd}

$$V_{rd} = (\phi_t^2 \cdot \pi \cdot fd) / 4 = \mathbf{603 \text{ (KN)}}$$

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

7.2 Calcolo lunghezza tirafondi/zanche superiori

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)

7.3 Verifica a rifollamento zanca - contropiastra

S355J2

- Diametro foro ϕ_{foro}	40,5 (mm)
- Penetrazione zanca t	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">40</div> (mm)
- spessore contropiastra S_{cs}	40,0 (mm)
- Resistenza a snervamento f_y	345 (Mpa)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}	1,1
$fd = f_y / \gamma_{m0} =$	314 (N/mm ²)

Calcolo domanda in corrispondenza di un tirafondo V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = \mathbf{205 \text{ (KN)}}$$

$$V_{rd} = 1.5 \cdot fd \cdot t \cdot \phi_{foro} = \mathbf{753 \text{ (KN)}}$$

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

7.4 Sollecitazioni di contatto

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

Calcolo carico limite P_u

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

Calcolo domanda CLS V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = 205 \text{ [KN]}$$

Calcolo capacità CLS V_{rd}

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

OK VERIFICA SODDISFATTA per CLS

8. ANCORAGGIO INFERIORE

42CrMo4

8.1 Verifica a taglio zanche

- Diametro zanca ft	75,0 (mm)
- Numero zanca nt	6
- Resist. a rottura ft	900 (N/mm ²)
- Resist. a taglio zanca $fd = ft \cdot 0.6 / \text{gm}2$	432 (N/mm ²)
- Carico longitudinale V_x	0 (KN)
- Carico trasversale V_y	4095 (KN)
- Coef. per non ispezionabilità γ_m	1,5

Calcolo domanda sulla singola zanca V_{sd}

$$V_{sd} = \gamma_m (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = 1024 \text{ [KN]}$$

Calcolo capacità del singolo zanca V_{rd}

$$V_{rd} = (\phi_v^2 \cdot \pi \cdot fd) / 4 = 1909 \text{ [KN]}$$

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

8.2 Calcolo lunghezza zanche inferiori

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

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

(minimo 250 mm)

8.3 Verifica a rifollamento zanca - basamento

S355J2

- Diametro foro ϕ_{foro}	75,5 (mm)
- Battuta fondello- zanca t	23,0 (mm)
- spessore minimo basamento t_a	46,0 (mm)
- Resistenza a snervamento fondello f_{yk}	295,0 (Mpa)
- Coefficiente parziale di sicurezza γ_{m0}	1,1

Calcolo domanda in corrispondenza di un tirafondo V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = 683 \text{ [KN]}$$

$$fd = f_{yk} / \gamma_{m0} = 268 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$V_{rd} = 1.5 \cdot fd \cdot t \cdot \phi_{foro} = 694 \text{ [KN]}$$

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

8.4 Verifica inghisaggio tirafondi

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

Calcolo carico limite P_u

$$P_u = 2.5 \cdot \phi^2 \cdot (R_{bk} \cdot R_s)^{1/2} = 3533 \text{ [KN]}$$

Calcolo domanda MASTERFLOW 928 V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = 683 \text{ [KN]}$$

Calcolo capacità MASTERFLOW 928 V_{rd}

$$P_{amm} = P_u / (3.5) = 1009 \text{ [KN]}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA per MASTERFLOW

8.5 Verifica tensioni foro CLS

- Diametro foro nel cls ϕ_{cls}	170 (mm)
- Resistenza carat. MASTERFLOW 928 R'_{bk}	75 (MPa)
- Resistenza caratteristica cls R_{bk}	40 (MPa)

Calcolo carico limite P_u

$$P_u = 2.5 \cdot \phi_{cls}^2 \cdot (R'_{bk} \cdot R_{bk})^{1/2} = 3957295 \text{ [N]}$$

Calcolo domanda CLS V_{sd}

$$V_{sd} = (V_{x,sd}^2 + V_{y,sd}^2)^{1/2} / n_t = 683 \text{ [KN]}$$

Calcolo capacità CLS V_{rd}

$$P_{amm} = P_u / (3.5) = 1131 \text{ [KN]}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA per CLS

9. VERIFICA SOVRASTRUTTURA IN CONDIZIONI SISMICHE

9.1 Verifica della sottostruttura in condizioni di Sismiche (N_{min} - H_{max}) - Modello FEM

Visto l'elevato sbilanciamento tra forza massima orizzontale e carico verticale, si è proceduto a eseguire un'analisi non lineare agli elementi finiti (Software NASTRAN) per valutare la pressione sul calcestruzzo superiore in condizioni SISMICHE di massimo carico orizzontale e minimo carico verticale concomitante.

E' stato pertanto modellato il calcestruzzo superiore, la contropiastra superiore, il pistone, il materiale di scorrimento Tensaslide e la lente sferica. Ad eccezione del contatto tra Tensaslide e pistone, considerato come contatto unito, gli altri contatti sono di tipo unilaterale.

E' stata valutata la condizione di carico sismica più gravosa in termini di eccentricità dovuta al rapporto tra carico orizzontale e carico verticale. Si è applicato alla calotta un carico verticale pari a 2328 kN associato ad un carico orizzontale concomitante pari a 4095 kN ed alla relativa forza di attrito di 819 kN (attrito = 20%).

Caratteristiche modello:

CONTATTI - Interfaccia di contatto unilatero tra:

- Tensaslide e lente,
- pistone e contropiastra superiore
- contropiastra superiore e calcestruzzo.

VINCOLI - STEP DI CARICO 1 - Vincolo bilatero rigido nelle 3 direzioni all'estradosso del supporto superiore modellato. Vincolo bilatero rigido all'intradosso della calotta sferica in direzione longitudinale e trasversale. 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).

-STEP DI CARICO 2 - Vincolo bilatero rigido nelle tre direzioni all'intradosso della calotta sferica. Vincolo bilatero rigido nelle 3 direzioni all'estradosso del supporto superiore modellato. 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).

CARICHI - STEP DI CARICO 1 - Carico verticale applicato alla superficie inferiore della calotta sferica.

- STEP DI CARICO 2 - Carico orizzontale applicato nel dente di contatto del pistone. Forza dovuta all'attrito dente pistone/elemento intermedio applicata uniformemente sul dente di contatto per una apertura pari a 60°.

Materiali:

Il materiale acciaio è stato modellato mediante una curva bilineare con le caratteristiche dell'acciaio considerato definite in termini di modulo elastico E, tensione limite di snervamento f_{yk} e rigidità post-elastica k_2 .

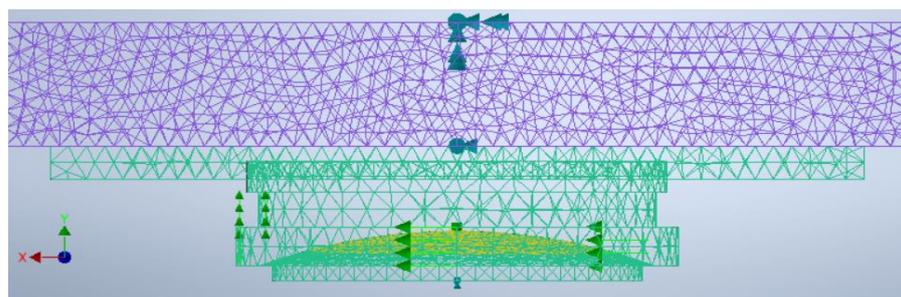
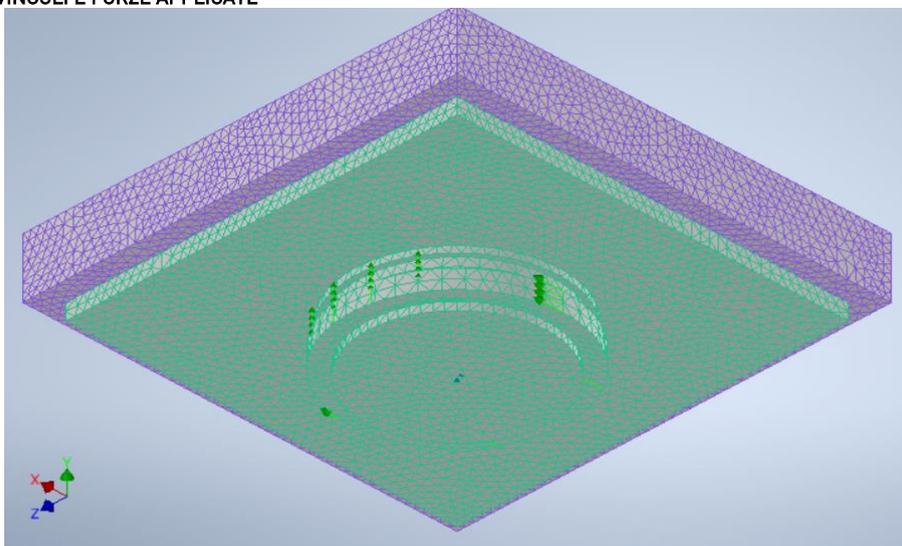
Il materiale di scorrimento PTFE è stato modellato come lineare elastico descritto dal solo modulo elastico E.

Il materiale calcestruzzo è stato modellato come lineare elastico descritto dal solo modulo elastico E.

Elementi:

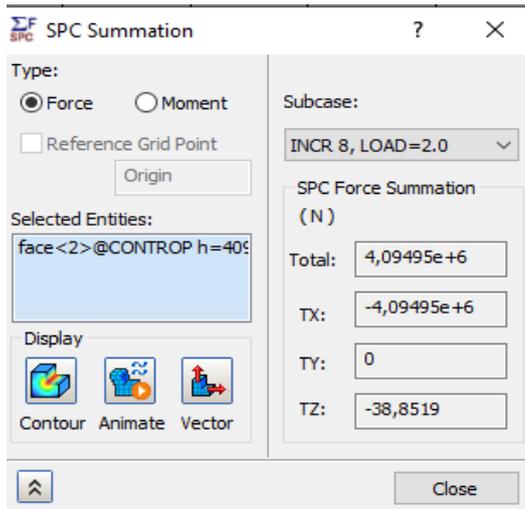
Sono stati utilizzati elementi SOLIDI isoparametrici a 4 e 10 nodi (Linear e Parabolic Tetrahedrons).

MODELLO - VINCOLI E FORZE APPLICATE

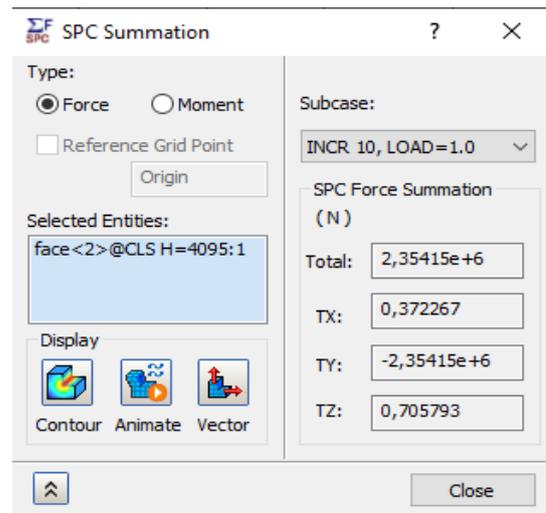


9.2 Reazioni vincolari come verifica della corretta applicazione dei carichi.

Reazione orizzontale nella contropiastra (H=4095 kN) nella fase 2

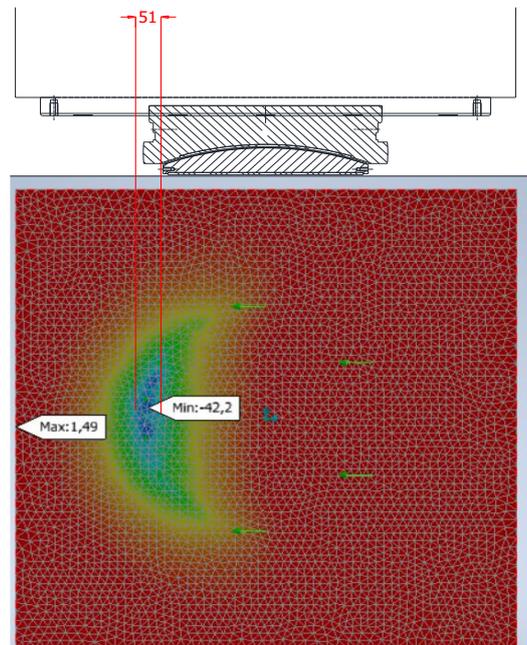
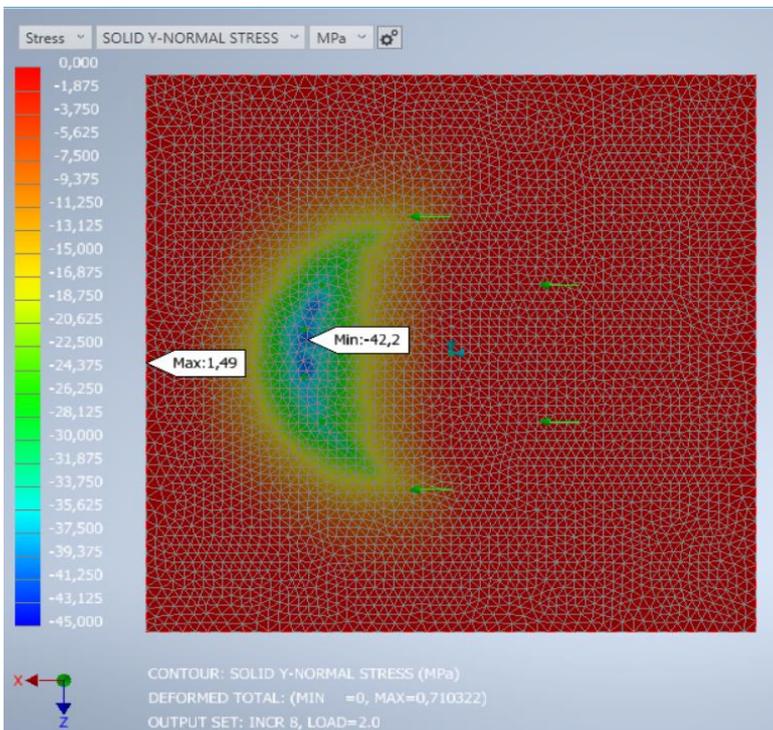


Reazione verticale nel CLS nella contropiastra (N=2328 kN) nella fase 1



9.3 Verifica della tensione di compressione sul calcestruzzo inferiore come da MdP RFI.

Tensioni di compressione all'interfaccia di contatto superiore



9.4 Verifica della tensione come da par. 6.7 dell' EC1992-1-1

- Angolo di diffusione comoda fig 6,29 del par.6,7 dell'EC1992-1-1

$$\Theta = \arctan(1/2) = 26,57 \text{ (}^\circ\text{)}$$

- Larghezza minima trave B_{tmin} 1400 (mm)

- Altezza minima trave ht_{min} 250,0 (mm)

Impronta di carico cls superiore considerando come striscia di partenza quella dell'immagine sopra come se per 51 mm ci fosse una tensione costante pari a 42 Mpa

Impronta da FEM $\emptyset_{cls}(Ac0)$ 51 (mm)

Calcolo area di contatto circolare caricata A_{c0}

$$A_{c0} = \pi \cdot (1/2 \cdot \varnothing_{cls(Ac0)})^2 = 2043 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Impronta di carico cls superiore con ripartizione con angolo Θ come da EC1992-1-1

$$\varnothing_{cls(Ac1)} = \varnothing_{cls(Ac0)} + 2 \cdot h_{\min} \cdot \tan(\Theta) = 301 \text{ (mm)}$$

Calcolo area di diffusione circolare caricata A_{c1}

$$A_{c1} = \pi \cdot (1/2 \cdot \varnothing_{cls(Ac1)})^2 = 71158 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Calcolo del fattore m come da EC1993-1-1 par.6,7

$$m = \min(3; (A_{c1}/A_{c0})^{0.5}) = 5,9 \text{ limitato al valore } m=3$$

Calcolo resistenza cilindrica a compressione cls

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

$$f_{cd} = 0,85 \cdot (0,83 \cdot R_{ck}) / 1,5 = 25,87 \text{ (MPa)}$$

- Tensione sul cls ottenuta da FEM

$$42,0 \text{ (Mpa)}$$

Calcolo della tensione limite come da EC1993-1-1 par.6,7

$$\sigma_{LIM} = f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{1/2} \leq 3 f_{cd} = 77,6 \text{ (mm}^2\text{)}$$

OK VERIFICA SODDISFATTA