

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



**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 MONTEBELLO VICENTINO dal km 33+163,75 al km 33+463,75

Appoggi campate 25 m c.a.p.

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328) - Relazione tecnica

GENERAL CONTRACTOR					DIRETTORE LAVORI				SCALA :
<b>IL PROGETTISTA INTEGRATORE</b> Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data:					Consorzio <b>Iricav Due</b> ing. Paolo CARMONA Data:				VARIE

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	12	CL	V10700	003	A	di

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	ing. <b>Alberto LEVRATO</b>	

Progettazione :

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

Data: Gen. 2023

CIG: 8377957CD1

CUP: J41E9100000009

File: IN1712EI2CLV10700003A.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

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE  
**Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)**  
*Tratta AV/AC Verona-Padova - Impalcati da 25m VI07*  
*Disegno di riferimento 220127-GD-82*  
*c.o. 220127*

PAESE	CLIENTE
	SALCEF S.P.A

Rif.:220127-CN-82-A



20 dicembre 2022

**FPC ITALIA SpA – UFFICIO TECNICO**

Via dei Missaglia, 97/A2

20142 MILANO

Telefono : +39 02 485691

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

**NOTA PRELIMINARE**

---

Ai termini di legge questo documento è di esclusiva e solo proprietà dell'ufficio tecnico.  
Questo documento è confidenziale, è quindi vietato riprodurlo, realizzarlo e/o in ogni modo possibile renderlo nota a terzi, senza una preventiva e scritta autorizzazione dell'ufficio tecnico.

**TABELLA DELLE REVISIONI**

---

Rev.	Data	Modifiche	Redatto	Controllato	Approvato
A	20/12/2022	Prima emissione	IFI	CGI	CGI

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

**Indice**

1	INTRODUZIONE .....	6
1.1	Generalità.....	6
1.2	Materiali.....	6
1.2.a	Acciaio Strutturale .....	6
1.2.b	Acciaio non strutturale.....	7
1.2.c	PTFE.....	7
1.2.d	Acciaio inossidabile .....	8
1.2.e	Bulloni .....	8
1.2.f	Zanche di ancoraggio .....	9
2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI.....	10
2.1	Simboli.....	10
2.2	Geometria.....	11
2.3	Forze e spostamenti.....	12
3	VERIFICHE.....	14
3.1	Calcolo dell'eccentricità.....	14
3.1.a	PTFE curvo .....	14
3.1.b	PTFE piano .....	15
3.2	Verifica del PTFE .....	17
3.2.a	Verifica della resistenza del PTFE curvo .....	17
3.2.b	Verifica della resistenza del PTFE piano .....	18
3.2.c	Verifica delle dimensioni del PTFE.....	19
3.3	Capacità di rotazione.....	20
3.3.a	Movimento orizzontale della mediana (calotta sferica).....	20
3.3.b	Gap $x_1$ .....	21
3.3.c	Gap $w/2$ .....	21
3.4	Verifica del basamento soggetto alla combinazione SLU sismico.....	23
3.5	Calcestruzzo.....	24
3.5.a	Verifica calcestruzzo inferiore (lato basamento).....	24
3.5.b	Verifica calcestruzzo superiore (lato piastra concava).....	32
3.6	Ancoraggi.....	40
3.6.a	Verifica ancoraggio inferiore (lato basamento).....	40

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

3.6.b	Verifica ancoraggio superiore (lato piastra concava).....	43
3.7	Perno e contropiastra.....	44
3.8	Requisiti aggiuntivi per il trasporto e l'installazione .....	45
3.9	Pressioni di contatto fra piastra concava e basamento .....	45
3.9.a	Contatto fra piastra concava e piastra di scorrimento .....	45
3.9.b	Contatto piano fra piastra di scorrimento e basamento.....	47
APPENDICE A: DESCRIZIONE MODELLO FEM UTILIZZATO.....		48
APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DEL BASAMENTO .....		60

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 1 INTRODUZIONE

#### 1.1 Generalità

Questa relazione è scritta facendo riferimento alla normativa europea EN 1337:2005 e alle istruzioni RFI-DTC-SI-PS-SP-IFS-002-E (nel seguito indicato come il "capitolato") e RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-B (nel seguito indicato come il "manuale") del gruppo Ferrovie dello Stato. Per il materiale di scorrimento PTFE si fa riferimento alla norma EN 1337-2.

#### 1.2 Materiali

##### 1.2.a Acciaio Strutturale

In accordo a quanto specificato nel "Capitolato Parte II – Sezione 12" 12.9.2.5.7 si riportano le proprietà degli acciai strutturali utilizzati.

- Resilienza KV  $\geq 27$  J
- allungamento a rottura A  $\geq 18$  % per acciaio S355, A  $\geq 17$  % per acciaio S460 e A  $\geq 14$  % per acciaio S690

Le proprietà dell'acciaio S355 in accordo alla EN 10025-2 tabella 7 sono riportate nel seguito:  
la tensione di rottura in funzione dello spessore vale:

spessore (mm)	$t \leq 100$	$100 < t \leq 150$	$150 < t$
Acciaio S355 Rottura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	470	450	450

La tensione di snervamento differenziata in funzione dello spessore vale invece:

spessore (mm)	$\leq 16$	$>16$ $\leq 40$	$>40$ $\leq 63$	$> 63$ $\leq 80$	$>80$ $\leq 100$	$>100$ $\leq 150$	$>150$ $\leq 200$	$> 200$ $\leq 250$	$>250$
Acciaio S355 Snervamento $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	355	345	335	325	315	295	285	275	265

Le proprietà dell'acciaio S460 in accordo alla EN 10025-3 tabella 5 sono riportate nel seguito:  
la tensione di rottura in funzione dello spessore vale:

spessore (mm)	$t \leq 100$	$100 < t \leq 200$
Acciaio S460 Rottura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	540	530

La tensione di snervamento differenziata in funzione dello spessore vale:

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

spessore (mm)	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	>80 ≤ 100	>100 ≤ 150	>150 ≤ 200
Acciaio S460 Snervamento $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	460	440	430	410	400	380	370

Le proprietà dell'acciaio S690 in accordo alla EN 10025-6 tabella 5 sono riportate nel seguito:  
la tensione di rottura in funzione dello spessore vale:

spessore (mm)	$3 \leq t \leq 50$	$50 < t \leq 100$	$100 < t \leq 150$
Acciaio S690 Rottura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	770	760	710

La tensione di snervamento differenziata in funzione dello spessore vale:

spessore (mm)	$\geq 3$ $\leq 50$	>50 $\leq 100$	>100 $\leq 150$
Acciaio S690 Snervamento $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	690	650	630

In accordo alla EN 1993-1-1 §3.2.6, nella progettazione si assumono le seguenti proprietà dell'acciaio:

- Modulo elastico,  $E = 210\,000\text{ MPa}$ ;
- Modulo di Poisson,  $\nu = 0.3$ ;

Alla condizione SLU è stato considerato un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma_m = 1.1$  ("Manuale" punto 2.8.1.3.1.1.5) in modo da definire la tensione di progetto valida per l'acciaio considerato.

#### 1.2.b Acciaio non strutturale

Le parti non strutturali dei dispositivi possono essere realizzate in acciaio tipo S275JR o equivalenti in accordo alla EN 10025-2 con le seguenti caratteristiche:

S275JR

- tensione di rottura a trazione  $f_u \geq 410\text{ N/mm}^2$
- tensione di snervamento ( $t > 20\text{ mm}$ )  $f_y \geq 265\text{ N/mm}^2$
- resilienza a 20°C  $KV \geq 27\text{ J}$
- allungamento a rottura  $A \geq 18\%$

#### 1.2.c PTFE

Le superfici di scorrimento sono costituite da un materiale antifrizione, in accordo alla EN 1337-2. La resistenza a compressione allo SLU del materiale di scorrimento è pari a:

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$$f_{d,PTFE} = \frac{f_{k,PTFE}}{\gamma_M}$$

Dove il coefficiente di sicurezza  $\gamma_M$  è pari a 1.4.

La normativa prevede la riduzione del valore caratteristico per temperature di esercizio superiori ai 30°C secondo la legge:

$f_{k,PTFE} = 90$  MPa per  $T < 30$  °C

$f_{k,PTFE} = 90 \times (1 - 0,02 \times (T - 30 \text{ °C}))$  MPa per  $30 \text{ °C} < T < 48 \text{ °C}$

Ovvero, la resistenza caratteristica deve essere ridotta del 2% per ogni grado al di sopra di 30 °C, fino ad una temperatura massima ammissibile di 48 °C.

Il coefficiente di attrito del PTFE a contatto con l'acciaio è calcolato in accordo alla normativa EN 1337-2 usando la formulazione riportata nell'appendice B:

$$0.03^{a)} \leq \mu_{max} = \frac{1.2}{10 + \sigma_{PTFE}} \leq 0.08$$

a) per le superfici curve, il valore di attrito si riduce a 0.025

Nel caso in cui la temperatura minima non scende sotto -5°C, i valori di attrito riportati potranno essere moltiplicati di un fattore 2/3.

#### 1.2.d **Acciaio inossidabile**

Le superfici di scorrimento in contatto con PTFE sono coperte da acciaio inossidabile del tipo X2CrNiMo17-12-2 conforme alla EN 10088-2.

#### 1.2.e **Bulloni**

I bulloni impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

Grado 8.8 (EN 1993-1-8:2005)

$f_{ub} = 800$  N/mm<sup>2</sup>      tensione di rottura

Grado 10.9 (EN 1993-1-8:2005)

$f_{ub} = 1000$  N/mm<sup>2</sup>      tensione di rottura



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Il coefficiente di sicurezza per i bulloni è preso uguale a  $\gamma_{M2} = 1,25$

#### 1.2.f Zanche di ancoraggio

Le zanche di ancoraggio sono realizzate in 42CrMo4+QT in accordo con la norma EN ISO 683-2, avendo le seguenti caratteristiche:

Diametro [mm]	d < 16	16 < d ≤ 40	40 < d ≤ 100	100 < d ≤ 160	160 < d ≤ 200
Tensione di rottura $f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1100	1000	900	800	750
Tensione di snervamento $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	900	750	650	550	500

Alla condizione SLU è stato considerato un coefficiente di sicurezza pari a  $\gamma_m = 1.1$  ("Manuale" punto 2.8.1.3.1.1.5) in modo da definire la tensione di progetto valida per l'acciaio considerato.

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

## 2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI

### 2.1 Simboli

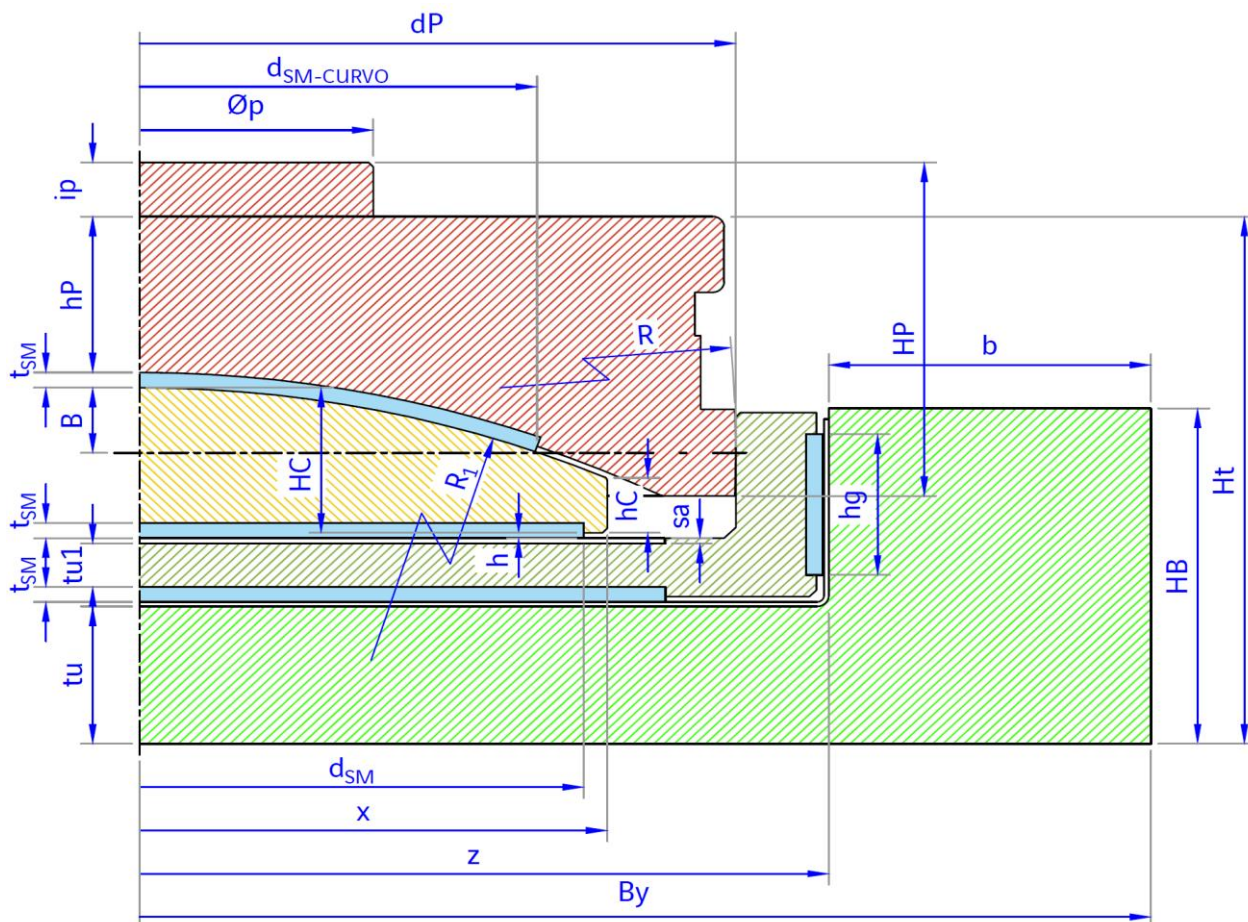
b	Spessore della parete del basamento
B	Distanza tra il vertice della calotta sferica e il punto di contatto piastra concava/anello
b,min	Spessore minimo della parete del basamento
B1x	Lunghezza contropiastra superiore lato piastra concava
B1y	Larghezza contropiastra superiore lato piastra concava
B2x	Lunghezza contropiastra inferiore lato basamento
B2y	Larghezza contropiastra inferiore lato basamento
Bx	Lunghezza del basamento
By	Larghezza del basamento
dP	Diametro della piastra concava
d <sub>SM</sub>	Diametro materiale di scorrimento
d <sub>SM-CURVO</sub>	Diametro materiale di scorrimento curvo
h	Protrusione materiale di scorrimento
HB	Altezza totale del basamento
hC	Altezza minima della calotta sferica
HC	Altezza totale della calotta sferica
hg	Altezza materiale di scorrimento guida (appoggi mobili unidirezionali)
hP	Altezza minima della piastra concava (altezza del perno esclusa)
HP	Altezza totale della piastra concava
Ht	Altezza totale dell'appoggio
ip	Altezza del perno
Øp	Diametro del perno
R	Raggio di curvatura del contatto piastra concava/piastra di scorrimento
R <sub>1</sub>	Raggio della calotta sferica
sa	Spessore dell'acciaio inox
t1_	Spessore contropiastra superiore lato piastra concava
t2_	Spessore contropiastra inferiore lato basamento
t <sub>SM</sub>	Spessore materiale di scorrimento
tu	Spessore minimo del basamento
tu1	Spessore minimo della piastra di scorrimento
w	Altezza del contatto
x	Diametro della calotta sferica
x <sub>1</sub>	Distanza tra il piano inferiore della piastra concava ed il piano di scorrimento
z	Larghezza interna basamento

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 2.2 Geometria



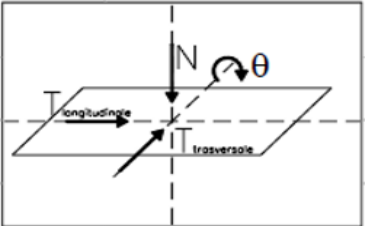
# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 2.3 Forze e spostamenti

Di seguito si riportano i carichi agenti sull'impalcato in c.a.p. L=25m VI07:

		APPOGGIO UNIDIREZIONALE LONG.					
		Reazioni degli apparecchi di appoggio					
		max N	min N	max T <sub>long</sub>	min T <sub>long</sub>	max T <sub>trasv</sub>	min T <sub>trasv</sub>
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
SLE	N max	2565	-	-	-	-	-
	N min	-	1255	-	-	-	-
	Tl max	-	-	0	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	529	-
SLU	N max	3685	-	-	-	-	-
	N min	-	1781	-	-	-	-
	Tl max	-	-	0	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	773	-
SLV	N max	3113	-	-	-	-	-
	N min	-	1524	-	-	-	-
	N min (*)	-	2328	-	-	-	-
	Tl max	-	-	0	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	4092	-
(*) Nmin per Fh max							

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Di seguito si riportano i carichi agenti sull'impalcato in c.a.p. L=25m VI07 per il dimensionamento del dispositivo GG 3685-4095.170(-2328):

				Carichi L=25m
SLE	Forza verticale max	N	kN	2565
	Forza verticale permanente	$N_{perm}$	kN	1298
	Forza verticale min	$N_{min}$	kN	1255
	Forza orizzontale trasversale max	$H_y$	kN	529
	Rotazione totale	$\alpha$	rad	0.05 (=3°)
SLU Statica	Forza verticale max statica	$N_{max}$	kN	3685
	Forza orizzontale trasversale statica	$H_{y,stat}$	kN	773
SLU sismica SLV	Forza orizzontale trasversale sismica max	$H_{y,sism}$	kN	4095
	Forza verticale max sismica	$N_{max,sism}$	kN	3113
	Forza verticale sismica concomitante con $H_{y,sism}$	$N_{conc}$	kN	2328
	Rotazione totale	$\alpha$	rad	0.05 (=3°)
	Spostamento massimo	$d_L$	mm	±85

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3 VERIFICHE

#### 3.1 Calcolo dell'eccentricità

##### 3.1.a PTFE curvo

La norma prevede una formulazione per il calcolo dell'eccentricità dovuta a carico, attrito, rotazione forze orizzontali (EN 1337-7 Appendice A):

$$\begin{aligned}e_1 &= \mu_{max} R_1 \\e_3 &= \alpha_{tot} \times R_1 \\e_4 &= \frac{H}{V} \times (R_1 - HC) = \mu_{max} \times (R_1 - HC) \\e_t &= |e_1 - e_3 + e_4|\end{aligned}$$

Dove:

$e_1$	Eccentricità dovuta all'attrito sulla superficie curva.
$e_3$	Eccentricità dovuta alla rotazione
$e_4$	Eccentricità dovuta alle forze orizzontali
$e_t$	Eccentricità totale
$\mu_{max}$	Massimo coefficiente di attrito
$R_1$	Raggio della piastra mediana
$\alpha_{tot}$	Rotazione totale
HC	Altezza della calotta sferica

Combinazione S.L.E.

Per la determinazione della pressione sul PTFE viene considerato il valore minimo del carico assiale per massimizzare le eccentricità. Questa condizione risulta infatti la peggiore al fine di soddisfare la non decomprimibilità del disco di PTFE.

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N_{min}}{A_{PTFE}}$$

Combinazione S.L.U.

Per la determinazione della pressione sul PTFE viene considerato il valore massimo del carico assiale in quanto si vuole massimizzare la sollecitazione. Questa condizione risulta infatti la peggiore al fine di soddisfare la verifica di resistenza del disco di PTFE.

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N_{max}}{A_{PTFE}}$$

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
 Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Calcolo eccentricità PTFE curvo		
SLE		
Nmin	1255	KN
d <sub>SM-curvo</sub>	336	mm
σ <sub>SM</sub>	14.2	Mpa
μ <sub>max</sub>	0.050	per T<-5
α	0.052	rad
R1	380	mm
HC	72.5	mm
e1	18.9	mm
e3	19.9	mm
e4	15.3	mm
et	14.3	mm
SLU		
Nmax	3685	KN
d <sub>SM-curvo</sub>	336	mm
σ <sub>SM</sub>	41.6	Mpa
μ <sub>max</sub>	0.025	per T<-5
α	0.052	rad
R1	380	mm
HC	72.5	mm
e1	9.5	mm
e3	19.9	mm
e4	7.7	mm
et	2.7	mm

3.1.b PTFE piano

La norma prevede una formulazione per il calcolo dell'eccentricità dovuta a carico, attrito, rotazione forze orizzontali (EN 1337-7 Appendice A):

$$\begin{aligned}
 e_1 &= \mu_{max} R_1 \\
 e_3 &= \alpha_{tot} \times R_1 \rightarrow 0 \\
 e_4 &= \frac{H}{V} \times (R_1 - HC) = \mu_{max} \times (R_1 - HC) \rightarrow 0 \\
 e_t &= e_1
 \end{aligned}$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Dove:

$e_1$	Eccentricità dovuta all'attrito sulla superficie curva.
$e_3$	Eccentricità dovuta alla rotazione (nulla per superfici piane)
$e_4$	Eccentricità dovuta alle forze orizzontali (nulla per superfici piane)
$e_t$	Eccentricità totale
$\mu_{max}$	Massimo coefficiente di attrito
$R_1$	Raggio della piastra mediana
$\alpha_{tot}$	Rotazione totale
HC	Altezza della calotta sferica

In questo caso i valori sono i seguenti:

S.L.E.

Per la determinazione della pressione sul PTFE viene considerato il valore minimo del carico assiale per massimizzare le eccentricità. Questa condizione risulta infatti la peggiore al fine di soddisfare la non decomprimibilità del disco di PTFE.

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N_{min}}{A_{PTFE}}$$

S.L.U.

Per la determinazione della pressione sul PTFE viene considerato il valore massimo del carico assiale in quanto si vuole massimizzare la sollecitazione. Questa condizione risulta infatti la peggiore al fine di soddisfare la verifica di resistenza del disco di PTFE.

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N_{max}}{A_{PTFE}}$$



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Calcolo eccentricità PTFE piano		
SLE		
Nmin	1255	KN
d <sub>SM</sub>	355	mm
σ <sub>SM</sub>	12.7	Mpa
μmax	0.053	per T<-5
R1	380	mm
e1	20.1	mm
et	20.1	mm
SLU		
Nmax	3685	KN
d <sub>SM</sub>	355	mm
σ <sub>SM</sub>	37.2	Mpa
μmax	0.030	per T<-5
R1	380	mm
e1	11.4	mm
et	11.4	mm

### 3.2 Verifica del PTFE

#### 3.2.a **Verifica della resistenza del PTFE curvo**

La massima pressione di compressione in corrispondenza del PTFE si trova con la seguente formula:

$$N_{Rd,PTFE} = \frac{f_{k,PTFE}}{\gamma_m} A_r$$

Dove:

N <sub>sd</sub>	Massimo carico verticale SLU
f <sub>k,PTFE</sub>	Resistenza caratteristica PTFE
γ <sub>m</sub> = 1,4	coefficiente di sicurezza
A <sub>r</sub> = λxA	Area ridotta
A <sub>PTFE</sub>	Area PTFE
λ	Fattore di riduzione dell'area di PTFE (EN 1337-7 B)

Tuttavia, essendo presente anche una superficie piana, in favore di sicurezza si considera il coefficiente λ indicato nella EN 1337-2 A:

$$\lambda = 1 - \pi \cdot \frac{e_t}{d_{SM-CURVO}} \cdot 0.75$$

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Si deve rispettare la seguente verifica per la massima pressione di compressione:

$$N_{Rd,PTFE} \geq N_{Sd}$$

Per gli Stati limite di Esercizio, il PTFE deve essere non parzializzato (EN 1337-7 § 6.2.2):

$$\sigma_p \geq 0$$

ovvero:

$$e_t(SLS) \leq \frac{d_{SM-CURVO}}{8}$$

Verifica PTFE SLU		
Nmax	3685	KN
$d_{SM-curvo}$	336	mm
A	88668	mm <sup>2</sup>
$\lambda$	0.99	
$f_{k,SM}$	81	Mpa
$\gamma_m$	1.4	
$N_{rd,SM}$	5088	KN
<b><math>N_{rd,SM} &gt; N_{sd,SLU}</math></b>	<b>OK</b>	72%
Verifica PTFE SLE		
$d/8$	42.0	mm
<b><math>e_t &lt; d/8</math></b>	<b>OK</b>	34%

#### 3.2.b Verifica della resistenza del PTFE piano

La massima pressione di compressione in corrispondenza del PTFE si trova con la seguente formula:

$$N_{Rd,PTFE} = \frac{f_{k,PTFE}}{\gamma_m} A_r$$

Dove:

$N_{sd}$	Massimo carico verticale SLU
$f_{k,PTFE}$	Resistenza caratteristica PTFE
$\gamma_m = 1,4$	coefficiente di sicurezza
$A_r = \lambda \times A$	Area ridotta
$A_{PTFE}$	Area PTFE
$\lambda$	Fattore di riduzione dell'area di PTFE (EN 1337-7 B)

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Si considera il coefficiente  $\lambda$  indicato nella EN 1337-2 A:

$$\lambda = 1 - \pi \cdot \frac{e_t}{d_{SM}} \cdot 0.75$$

Si deve rispettare la seguente verifica per la massima pressione di compressione:

$$N_{Rd,PTFE} \geq N_{Sd}$$

Per gli Stati limite di Esercizio, il PTFE deve essere non parzializzato (EN 1337-7 § 6.2.2):

$$\sigma_p \geq 0$$

ovvero:

$$e_t(SLS) \leq \frac{d_{SM}}{8}$$

Verifica PTFE SLU		
Nmax	3685	KN
d <sub>SM</sub>	355	mm
A	98980	mm <sup>2</sup>
$\lambda$	0.92	
f <sub>k,SM</sub>	81	Mpa
$\gamma_m$	1.4	
N <sub>rd,SM</sub>	5293	KN
<b>N<sub>rd,SM</sub> &gt; N<sub>sd,SLU</sub></b>	<b>OK</b>	70%
Verifica PTFE SLE		
d/8	44.4	mm
<b>e<sub>t</sub> &lt; d/8</b>	<b>OK</b>	45%

#### 3.2.c Verifica delle dimensioni del PTFE

La EN 1337-2 prevede che le lastre di PTFE siano incassate nella piastra di supporto. Nello specifico viene prescritto che la protrusione del PTFE sia pari a:

$$h = \max \left\{ \begin{array}{l} 2.2 \text{ mm} \\ 1.75 + \frac{d_{SM}}{1200} \pm \begin{cases} 0.2 \text{ mm} & \text{per } d_{SM} \leq 1200 \\ 0.3 \text{ mm} & \text{per } d_{SM} > 1200 \end{cases} \end{array} \right.$$

Lo spessore totale della lastra deve essere:

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$$2.2 \cdot h \leq t_{SM} \leq 8 \text{ mm}$$

dove:

h            protrusione PTFE  
 t<sub>SM</sub>        spessore lastra PTFE  
 d<sub>SM</sub>        diametro lastra PTFE

Verifica dimensioni PTFE		
1) Calotta		
d <sub>SM</sub>	355	mm
h	2.20	mm
h <sub>scelta</sub>	2.2	mm
<b>check</b>	<b>OK</b>	
t <sub>scelta</sub>	5	mm
2.2 h	4.8	mm
<b>check</b>	<b>OK</b>	
2) Piastra di scorrimento		
d <sub>SM, piastra scorr</sub>	480	mm
h	2.20	mm
h <sub>scelta</sub>	2.2	mm
<b>check</b>	<b>OK</b>	
t <sub>scelta</sub>	5	mm
2.2 h	4.8	mm
<b>check</b>	<b>OK</b>	

### 3.3 Capacità di rotazione

#### 3.3.a **Movimento orizzontale della mediana (calotta sferica)**

Al fine di garantire la rotazione della piastra concava la calotta sferica deve spostarsi orizzontalmente. Detto  $v$  lo spazio tra l'anello e la calotta sferica si dovrà verificare la seguente disequazione:

$$v \geq \alpha_{tot} \cdot R_3 + a_d$$

Con  $v$  pari a:

$$v = \frac{dP - x}{2}$$

dove:

$\alpha$             rotazione di progetto

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$R_3 = R_1 - B$	distanza dal punto di contatto piastra concava/anello al centro della calotta
$a_d$	marginale
$dP$	diametro interno piastra concava
$x$	diametro della calotta sferica

La norma (EN 1337-1 § 5.4) prevede un incremento di rotazione dato dal massimo tra 0,005 rad e  $10/R_3$ .  
Ovvero:  $a_d = \max(10 \text{ mm}; 0.005 \times R_3)$ .

In questo caso i  $3^\circ$  di rotazione sono considerati già comprensivi dei suddetti franchi prescritti dalla EN 1337-1 §5.4. Quindi il valore di  $a_d$  risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$v \geq \alpha_{tot} \times R_3$$

#### 3.3.b Gap $x_1$

Il gap  $x_1$  garantisce che durante la rotazione della piastra concava non si abbia interferenza con il basamento.

La norma prevede di incrementare il valore di  $x_1$ , sommando il movimento dovuto alla rotazione al valore massimo tra: 0,005 rad e  $10/(dP/2)$ . La verifica risulta:

$$x_1 \geq \frac{dP}{2} \times \alpha + a_d$$

$a_d$  margine di sicurezza =  $\max(10 \text{ mm}; 0.005 \times dP/2)$

In questo caso i  $3^\circ$  di rotazione sono considerati già comprensivi dei suddetti franchi prescritti dalla EN 1337-1 §5.4. Quindi il valore di  $a_d$  risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$x_1 \geq \frac{dP}{2} \times \alpha_{tot}$$

#### 3.3.c Gap $w/2$

Al fine di garantire che durante la rotazione della piastra concava il contatto sia sempre all'interno della piastra di scorrimento bisogna calcolare il gap  $w/2$ .

È possibile definire tale gap, ovvero la distanza tra il punto di contatto piastra concava/piastra di scorrimento e la parte inferiore della piastra stessa.

La verifica è:

$$\frac{w}{2} \geq \max\left(\frac{b_w}{2}; \alpha \cdot dP/2 + a_d\right)$$

$a_d$  margine di sicurezza =  $\max(10 \text{ mm}; 0.005 \times dP/2)$

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$$b_w = 3.04 \sqrt{\frac{1.5 H_{y,stat} \cdot R}{E_d \cdot dP}} \text{ altezza di contatto}$$

In questo caso i 3° di rotazione sono considerati già comprensivi dei suddetti franchi prescritti dalla EN 1337-1 §5.4. Quindi il valore di  $\alpha_d$  risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$\frac{w}{2} \geq \max\left(\frac{b_w}{2}; \alpha \cdot dP/2\right)$$

Capacità di rotazione		
<b>Movimento orizzontale della mediana</b>		
dP	440	mm
x	368	mm
$\alpha$	0.052	rad
$v = (dP-x)/2$	36	mm
B	26.7	mm
$R3 = R1 - B$	353.3	mm
$\alpha R3$	18.5	mm
<b><math>v &gt; \alpha R_3</math></b>	<b>ok</b>	51%
<b>Gap x1</b>		
x1	21.5	mm
dP	440.0	mm
$\alpha$	0.052	rad
$\alpha \cdot dp/2$	11.5	mm
<b><math>x_1 &gt; \alpha \cdot d_p/2</math></b>	<b>ok</b>	54%
<b>Gap w/2</b>		
w/2	26.5	mm
$H_{y,stat}$	773	KN
R	220.0	mm
E	210000	Mpa
dp	440.0	mm
bw	5.1	mm
$\alpha \cdot dp/2$	11.5	mm
$\max(bw/2; \alpha \cdot dp/2)$	11.5	mm
<b><math>w/2 &gt; \max(b_w/2; \alpha \cdot dp/2)</math></b>	<b>ok</b>	43%

# Relazione tecnica

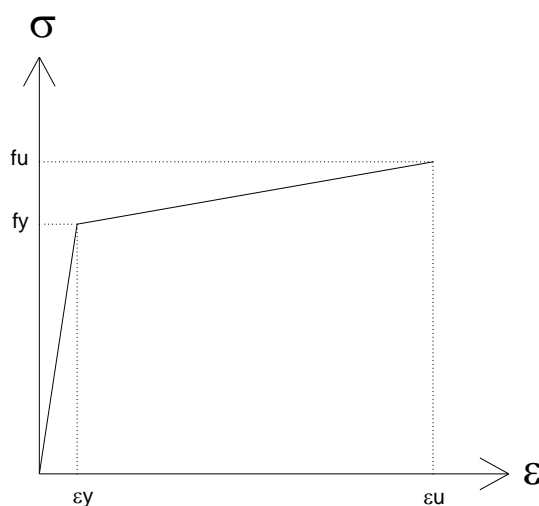
## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3.4 Verifica del basamento soggetto alla combinazione SLU sismico

Per quanto riguarda la verifica dello stato di sollecitazioni nella piastra di base in condizioni sismiche, in conformità a quanto descritto nella EN1337-7 EN1337-5, si esegue un'analisi non lineare agli elementi finiti.

A tale scopo si definisce il diagramma sforzo-deformazione dell'acciaio utilizzato:



con,

$f_y$ =limite elastico, funzione dello spessore, come da tabella 7 della UNI EN 10025-2 e così come riportato nel par 1.2.a

$\epsilon_y=f_y/E_d$  deformazione elastica, con  $E_d=210\text{GPa}$  il modulo elastico

$f_u$ =limite di rottura, funzione dello spessore come da tabella 7 della UNI EN 10025-2 e così come riportato nel par 1.2.a

$\epsilon_u=10\%$ , deformazione massima di incrudimento

L'analisi a elementi finiti viene condotta con tre differenti step di verifica:

#### Fase 1

Viene considerata la condizione più sfavorevole, cioè la condizione eccezionale delle azioni in combinazione sismica, in cui al modello FEM sono applicati il carico massimo orizzontale sismico SLU ( $H_{y,sism} = 4095 \text{ kN}$ ) e il carico verticale minimo concomitante ( $N_{conc}=2328 \text{ kN}$ ). Il parametro di verifica è che lo stato di deformazione, combinato secondo il criterio di Von Mises  $\epsilon_{VM}$ , non porti alla perdita di funzionalità degli appoggi. Come limite di accettabilità si controlla che lo stato di deformazione sia minore del limite di deformazione massima ridotto di un fattore di sicurezza  $\epsilon$  pari a 2

$$\epsilon_{VM} \leq \frac{\epsilon_u}{\gamma} = 5\%$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### Fase 2

Al fine di garantire la funzionalità al transito dei treni a seguito dell'evento sismico, si verificano le deformazioni residue del componente.

Il valore di controllo preso in analisi è lo spostamento residuo massimo  $d_{res,max}$  del componente. Come limite di accettabilità si verifica che tale spostamento sia inferiore al gioco ammesso dal capitolato generale (parte II – sezione 12) ridotto di un ulteriore fattore di sicurezza pari a 1.5:

$$d_{res,max} \leq \frac{\text{gioco elemento}}{1.5}$$

### Fase 3

Al fine di assicurare la piena capacità portante si verifica che il dispositivo sia in grado di assorbire i carichi statici dovuti alla combinazione fondamentale SLU che possono intervenire in seguito all'evento sismico.

Come base del modello si assume l'elemento deformato analizzato nella fase 1 e poi scaricato. A questo viene applicato il nuovo step di carico della combinazione statica fondamentale SLU; carico massimo orizzontale SLU ( $H_{y,stat} = 773$  kN) e carico verticale ( $N_{max}=3685$  kN).

A risultato dell'analisi si conferma che l'elemento soggetto ai carichi massimi della combinazione fondamentale SLU è in grado di rispondere elasticamente non superando mai il limite di snervamento  $f_y$ .

I risultati analitici delle 3 fasi di analisi sono riportati nell'allegato B.

## 3.5 Calcestruzzo

### 3.5.a Verifica calcestruzzo inferiore (lato basamento)

In accordo al manuale di progettazione delle opere civili (parte II - sezione 2), si considerano i momenti seguenti:

- Momento  $M_1$  dovuto all'attrito sulla superficie curva di scorrimento
- Momento  $M_2$  dovuto all'attrito fra piastra concava e piastra di scorrimento
- Momento  $M_3$  dovuto alla rotazione
- Momento  $M_4$  dovuto all'eccentricità della forza orizzontale

Le verifiche di resistenza verranno condotte assumendo le ipotesi seguenti:

- Il momento dovuto alla rotazione sarà considerato solo in senso longitudinale
- I momenti dovuti alle rotazioni ( $M_3$ ) e alle forze orizzontali ( $M_4$ ) non sono concomitanti; pertanto, i singoli effetti non si sommano tra loro.

Al fine delle verifiche si assume come momento massimo agente il maggiore tra i seguenti:

$$M_{Ed} = \max(|M_1 + M_2 - M_3|; M_1 + M_2 + M_4)$$



# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### SLU statico

La condizione di carico per la verifica della pressione sul calcestruzzo dei baggioli è data dall'azione del massimo carico orizzontale  $H_{y,stat}$  e del carico verticale massimo  $N_{max}$ . La verifica tiene conto del contributo delle eccentricità, calcolate come segue:

$$e_1 = \mu_{max} \cdot R_1$$

$$e_2 = \mu_{acciaio} \cdot \frac{H_{y,stat}}{N_{max}} \cdot \frac{dP}{2}$$

$$e_3 = \alpha_{tot} \cdot R_1$$

$$e_4 = \frac{H_{y,stat}}{N_{max}} \cdot b_{H,inf}$$

$$e_t = \max(|e_1 + e_2 - e_3|; e_1 + e_2 + e_4)$$

Nel calcolo di  $e_1$ , il coefficiente di attrito statico si ottiene considerando:

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N}{A_{PTFE}}$$

Nel calcolo delle eccentricità  $e_2$  e  $e_4$  si richiamano i parametri seguenti:

$\mu_{acciaio}$  coefficiente di attrito fra la piastra concava e l'anello uguale a 0.2;

$dP$  diametro della piastra concava;

$b_{H,inf}$  braccio tra la forza orizzontale (punto di contatto tra piastra concava e piastra di scorrimento) e intradosso contropiastra inferiore.

In accordo alla EN1337-2 annex A, l'area di contatto  $A_{c2}$  è ridotta per effetto dell'eccentricità totale  $e_t$  del carico verticale secondo la formula seguente:

$$A_{r2} = \lambda_2 \cdot A_{c2}$$

La verifica è:

$$\sigma_{c,sd2} = \frac{N}{A_{r2}} \leq f_{cd,inf}$$

Dove:

$$f_{cd,inf} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \times 1.3$$

resistenza di progetto

$$\lambda_2 = 1 - 0.75\pi \frac{e_t}{d_{c2}}$$

coefficiente di riduzione

$$A_{r2} = \lambda_2 \cdot A_{c2} = \lambda_2 \cdot \frac{\pi}{4} d_{c2}^2$$

area di diffusione ridotta

$$d_{gr2} = \min(d_{SM} + 2 \cdot ((t_{u1} + s_a + t_{SM}) \cdot \text{tg}60^\circ); d_{SM, \text{piastra scorr}}) + 2 \cdot (s_a + t_u + t_{cp}) \cdot \text{tg}60^\circ$$

$$d_{c2} = d_{gr2} + 2 t_{gr} \cdot \text{tg}60^\circ$$

diametro di diffusione del carico

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
 Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Verifica calcestruzzo inferiore		
$d_{SM}$	355	mm
$d_{SM, \text{piastra scorr}}$	480	mm
$d_{\text{min}, \text{cpinf}}$	855	mm
$d_{\text{min}, \text{piastra di base}}$	760	mm
$t_u 1$	26.7	mm
$t_{cp}$ (spessore contropiastra inf)	20	mm
$t_{gr2}$ (spessore malta)	30	mm
$s_a 1$	2.5	mm
$t_{SM}$	5.0	mm
$t_u$	51.5	mm
$s_a$	2.0	mm
$d_{gr2}$	728.08	mm
$d_{c2}$	832.01	mm
$V_{\text{max}, \text{slu}}$	3685	kN
$H_{y, \text{stat}}$	773	kN
SLU STATICO		
$\sigma_{SM}$	41.6	Mpa
$\mu_{\text{slu}}$	0.025	per $T < -5$
$d_{SM\text{-curvo}}$	336	mm
$\alpha$	0.052	rad
$d_P$	440	mm
$R_1$	380	mm
$e_1$	9.5	mm
$e_2$	9.2	mm
$e_3$	19.9	mm
$b_h$	155.7	mm
$e_4$	32.7	mm
$e_t$	51.4	mm
$f_{ck}$	32	Mpa
$\lambda$	0.85	
$A_{r2}$	464555	mm <sup>2</sup>
$\sigma_{cls}$	7.9	Mpa
$f_{cd}$	23.6	Mpa
$\sigma_{cls} < f_{cd}$	<b>OK</b>	34%

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### SLU sismico

La verifica in condizioni sismiche del calcestruzzo inferiore viene eseguita attraverso analisi FEM dell'intero pacchetto basamento / contropiastra / malta e calcestruzzo (per maggiori dettagli sul modello utilizzato e sulla distribuzione dei carichi applicati vedi Allegato A).

In accordo alla normativa EN 1337-2 e al manuale di progettazione delle opere civili vengono applicati sul modello agli elementi finiti le seguenti combinazioni di carichi:

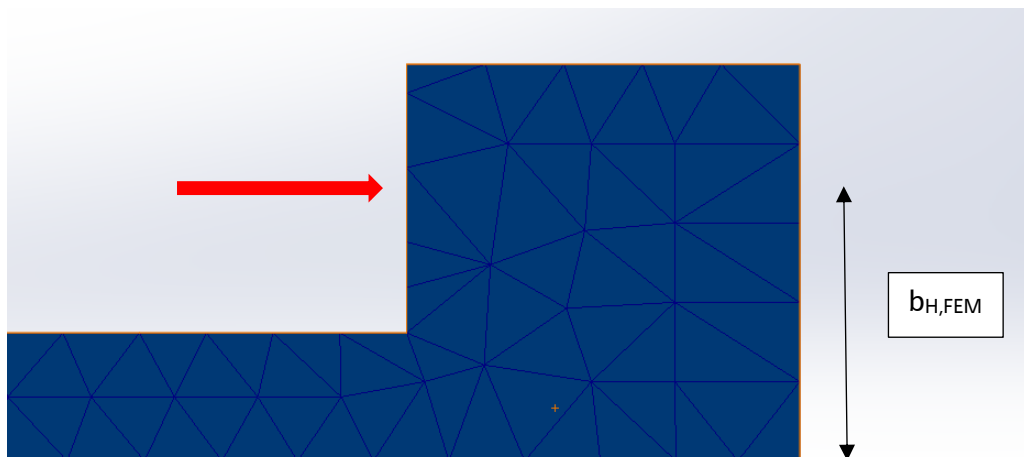
- $N_{conc}$ : Carico verticale minimo concomitante al massimo carico sismico orizzontale SLV (2328 kN).
- $M_2 = \mu_{acciaio} \cdot H_{y,sism} \frac{dP}{2} = 0.2 \cdot 4095 \cdot \frac{0.440}{2} = 180.2 kNm$

Il momento  $M_2$  viene applicato sulla parete interna del basamento con una forza equivalente con braccio pari a metà diametro interno del basamento:

$$N_{eq} = \frac{M_2}{\frac{z_{max}}{2}} = \frac{180.2 kNm}{\frac{0.5239m}{2}} = 687.8 kN$$

- $M_4 = H_{y,sism} \cdot b_{H,inf} = 4095 \cdot 0.1557 = 637.6 kNm$

Il momento  $M_4$  viene applicato tramite una forza orizzontale equivalente con il braccio effettivo presente sul modello FEM sotto rappresentato:



$$H_{eq} = \frac{M_4}{b_{H,FEM}} = \frac{637.6 kNm}{0.1102m} = 5781.2 kN$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Come limite di accettabilità si verifica che la forza risultante data dalle pressioni agenti sul calcestruzzo sia inferiore della capacità resistente del calcestruzzo definita con formulazione in accordo all'Eurocodice UNI EN 1992-1-1 §6.7:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \min \left( \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}; 3 \right) \geq F_{ed}$$

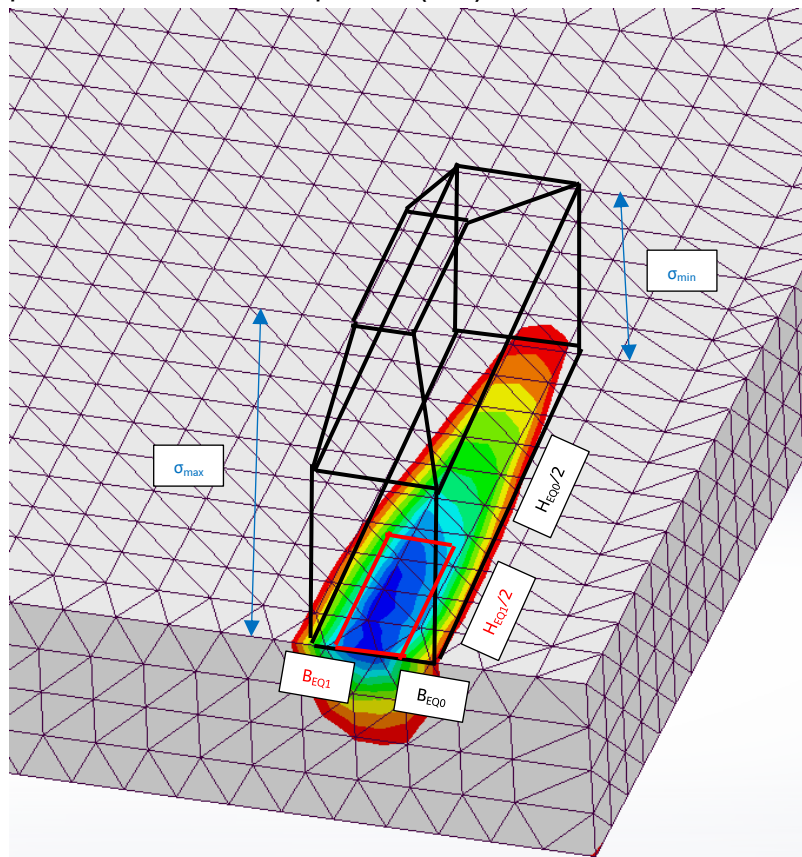
Tale verifica viene eseguita nella porzione di area maggiormente sollecitata e quindi più critica.

Dove:

$$f_{cd} = \text{resistenza di progetto} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 32}{1.5} = 18.13 \text{ MPa}$$

$F_{ed}$  = forza risultante agente sul calcestruzzo.

Essendo il modello simmetrico, tale azione è determinata come 2 volte il volume racchiuso tra il valore di pressione massima di picco determinato tramite l'analisi agli elementi finiti ( $\sigma_{max}$ ) ed il limite di pressione indicato da capitolato ( $\sigma_{min}$ ) come da schema sotto rappresentato:



# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

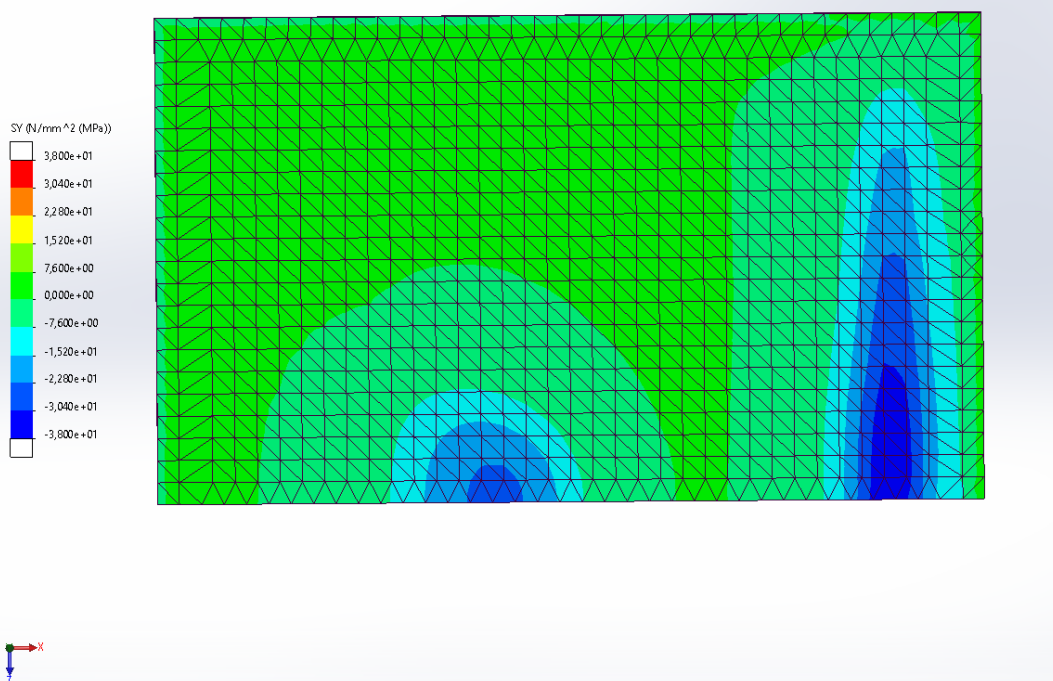
$$\sigma_{min} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 1.3 = \frac{0.85 \cdot 32}{1.5} \cdot 1.3 = 23.57 \text{ MPa}$$

$$F_{ed} = \sigma_{min} \cdot A_{c0} + \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{3} \cdot (A_{c0} + A_1 + \sqrt{A_{c0} \cdot A_1})$$

$$A_1 = B_{eq1} \times H_{eq1}$$

$$A_{c0} = \text{Area caricata} (B_{eq0} \times H_{eq0})$$

Per definire i valori dell'area caricata si prende in analisi la distribuzione delle pressioni sul calcestruzzo; dall'analisi agli elementi finiti condotta si evidenzia la seguente distribuzione degli sforzi sul baggiolo in CA:



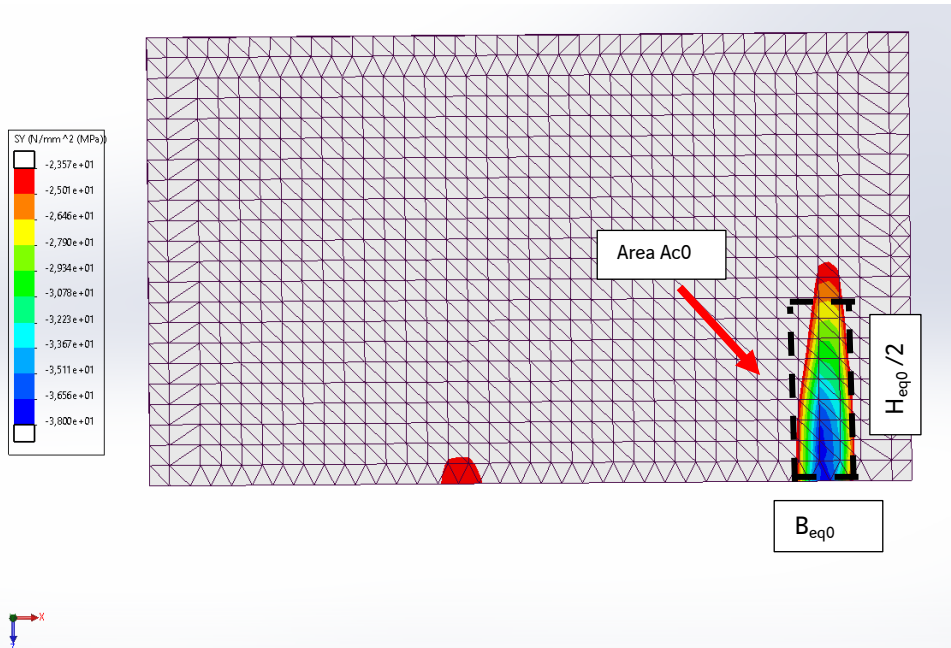
Sulla base di questa distribuzione di sforzi è possibile definire la porzione di area caricata  $A_{c0}$  con cui eseguire la verifica in accordo al §6.7 della EN UNI 1992-1-1. È stata assunta pari alla somma delle aree degli elementi sollecitati tra il valore di pressione massima di picco ( $\sigma_{max}$ ) e il limite di pressione indicato da capitolato ( $\sigma_{min}$ ).

Nella figura seguente si evidenziano gli elementi interessati.

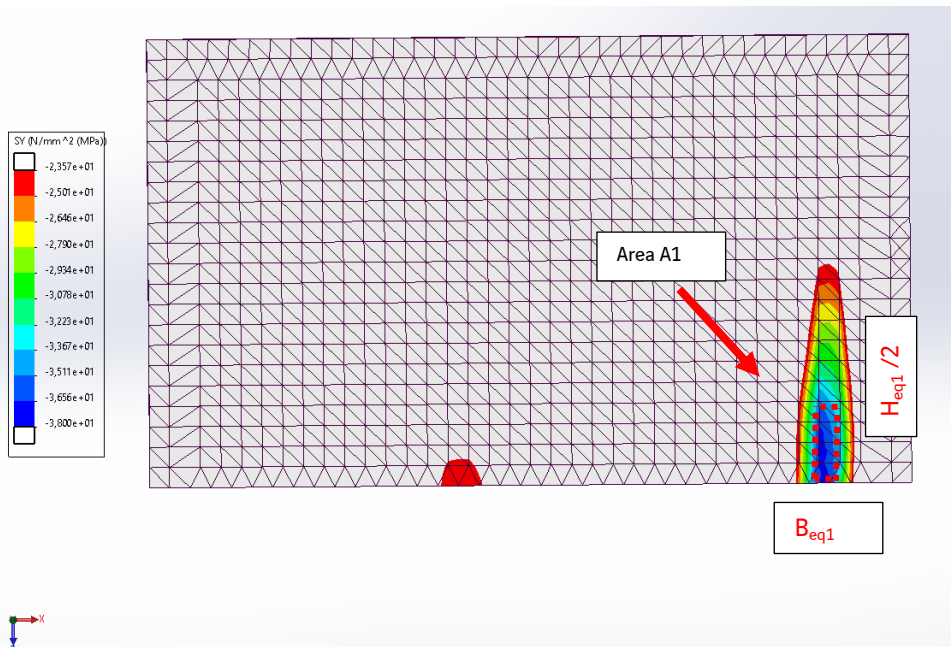
# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)



$$A_{c0} = B_{eq0} \cdot H_{eq0} = 79mm \cdot 462mm = 36498 mm^2$$



$$A_1 = B_{eq1} \cdot H_{eq1} = 19mm \cdot 172mm = 3268 mm^2$$

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$A_{c1}$  = massima area di diffusione del carico utilizzata per il calcolo e che ha una forma ometetica a quella di  $A_{c0}$

La determinazione della massima area di diffusione del carico ( $A_{c1}$ ) è definita in base ai limiti geometrici presenti tra appoggio e baggio. In base alle dimensioni riportate nelle tavole di posa in opera e sostituzione dei dispositivi si rileva che è consentita una diffusione in entrambe le direzioni pari a 70mm. Pertanto, il valore di superficie assunto è il seguente:

$$\begin{aligned} A_{c1} &= (B_{eq0} + 2 \cdot 70mm) \cdot (H_{eq0} + 2 \cdot 70mm) \\ &= (79mm + 2 \cdot 70mm) \cdot (462mm + 2 \cdot 70mm) = 131838 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sulla base dei parametri definiti è possibile verificare la capacità portante del baggio:

$$F_{ed} = (23.57 \cdot 36498 + \frac{38 - 23.57}{3} \cdot (36498 + 3268 + \sqrt{36498 \cdot 3268}))/1000 = 1104.1 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu} = 36498 \cdot 18.13 \cdot \min\left(\sqrt{\frac{131838}{36498}}; 3\right) = 1257.6 \text{ kN} > 1104.1 \text{ kN}$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3.5.b Verifica calcestruzzo superiore (lato piastra concava)

Con le stesse ipotesi enunziate al paragrafo precedente, si calcola il momento totale che agisce sulla trave.

$$M_{Ed} = \max(|M_1 + M_2 - M_3|; M_1 + M_2 + M_4)$$

#### SLU statico

La verifica di resistenza del calcestruzzo della trave viene fatta considerando la combinazione data dall'azione del massimo carico orizzontale  $H_{y,stat}$  e del carico verticale massimo  $N_{max}$ . La verifica tiene conto del contributo delle eccentricità, calcolate come segue:

$$e_1 = \mu_{max} \cdot R_1$$
$$e_2 = \mu_{acciaio} \cdot \frac{H_{y,stat}}{N_{max}} \cdot \frac{dP}{2}$$
$$e_3 = \alpha_{tot} \cdot R_1$$
$$e_4 = \frac{H_{y,stat}}{N_{max}} \cdot b_H$$

$$e_t = \max(|e_1 + e_2 - e_3|; e_1 + e_2 + e_4)$$

Nel calcolo di  $e_1$ , il coefficiente di attrito statico si ottiene considerando:

$$\sigma_{PTFE} = \frac{N}{A_{PTFE}}$$

Nel calcolo delle eccentricità  $e_2$  e  $e_4$  si richiamano i parametri seguenti:

$\mu_{acciaio}$  coefficiente di attrito fra il pistone e l'anello uguale a 0.2;

$dP$  diametro del pistone;

$b_H$  braccio tra la forza orizzontale (punto di contatto tra piastra concava e piastra di scorrimento) ed estradosso contropiastra superiore.

In accordo alla EN1337-2 annex A, l'area di contatto  $A_{c1}$  è ridotta per effetto dell'eccentricità totale  $e_t$  del carico verticale secondo la formula seguente:

$$A_{r1} = \lambda_1 \cdot A_{c1}$$

La verifica è:

$$\sigma_{c,sd1} = \frac{N}{A_{r1}} \leq f_{cd,sup}$$

Dove:

$$f_{cd,inf} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \times 1.3$$

resistenza di progetto

$$\lambda_1 = 1 - 0.75\pi \frac{e_t}{d_{c1}}$$

coefficiente di riduzione



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$$A_{r1} = \lambda_1 \cdot A_{c1} = \lambda_1 \cdot \frac{\pi}{4} d_{c1}^2$$

area di diffusione ridotta

$$d_{c1} = \phi_P + 2 \tan(60^\circ) (t_{cp,sup} - i_p)$$

diametro di diffusione del carico

Verifica calcestruzzo superiore		
dp superiore	487	mm
ip	22.0	mm
dmin,cpsup	900.0	mm
t <sub>cp</sub> (spessore contropiastra sup)	40	mm
d <sub>c1</sub>	549.4	mm
V <sub>max,slu</sub>	3685	kN
H <sub>y,stat</sub>	773	kN
SLU STATICO		
σ <sub>SM</sub>	41.6	Mpa
μ <sub>slu</sub>	0.025	per T<-5
d <sub>SM-curvo</sub>	336	mm
α	0.052	rad
dP	440	mm
R1	380	mm
e1	9.5	mm
e2	9.2	mm
e3	19.9	mm
b <sub>h</sub>	123.5	mm
e4	25.9	mm
e <sub>t</sub>	44.6	mm
f <sub>ck</sub>	45	Mpa
λ	0.81	
A <sub>r1</sub>	191647	mm <sup>2</sup>
σ <sub>cls</sub>	19.2	Mpa
f <sub>cd</sub>	33.2	Mpa
σ <sub>cls</sub> < f <sub>cd</sub>	<b>OK</b>	58%

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

#### SLU sismico

La verifica in condizioni sismiche del calcestruzzo superiore viene eseguita attraverso analisi FEM dell'intero pacchetto CLS superiore / contropiastra / pistone / calotta (per maggiori dettagli sul modello utilizzato e sulla distribuzione dei carichi applicati vedi Allegato A).

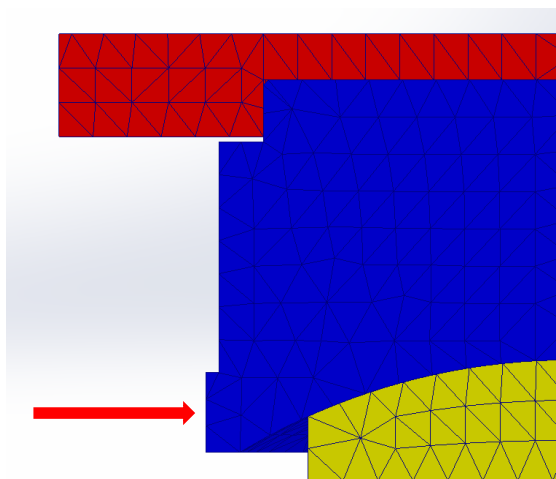
In accordo alla normativa EN 1337-2 e al manuale di progettazione delle opere civili vengono applicati sul modello agli elementi finiti le seguenti combinazioni di carichi:

- $N_{conc}$ : Carico verticale minimo concomitante al massimo carico sismico orizzontale SLV (2328 kN)
- $M_2 = N_{conc}e_2 = \mu_{acciaio} \cdot H_{y,sism} \frac{dP}{2} = 0.2 \cdot 4095 \cdot \frac{0.440}{2} = 180.2 kNm$

Il momento  $M_2$  viene applicato sulla parete esterna del pistone con una forza uguale a  $0.2 \cdot H_{max}$  con braccio pari a metà diametro esterno del pistone.

- $M_4 = N_{conc}e_4 = H_{y,sism} \cdot b_H = 4095 \cdot 0.1235 = 505.7 kNm$

Il momento  $M_4$  viene applicato tramite una forza orizzontale agente sull'area di contatto tra pistone e piastra di scorrimento:



Come limite di accettabilità si verifica che la forza risultante data dalle pressioni agenti sul calcestruzzo sia inferiore della capacità resistente del calcestruzzo definita con formulazione in accordo all'Eurocodice UNI EN 1992-1-1 §6.7:

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \min \left( \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}; 3 \right) \geq F_{ed}$$

Tale verifica viene eseguita nella porzione di area maggiormente sollecitata e quindi più critica.

Dove:

$$f_{cd} = \text{resistenza di progetto} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 45}{1.5} = 25.5 \text{ MPa}$$

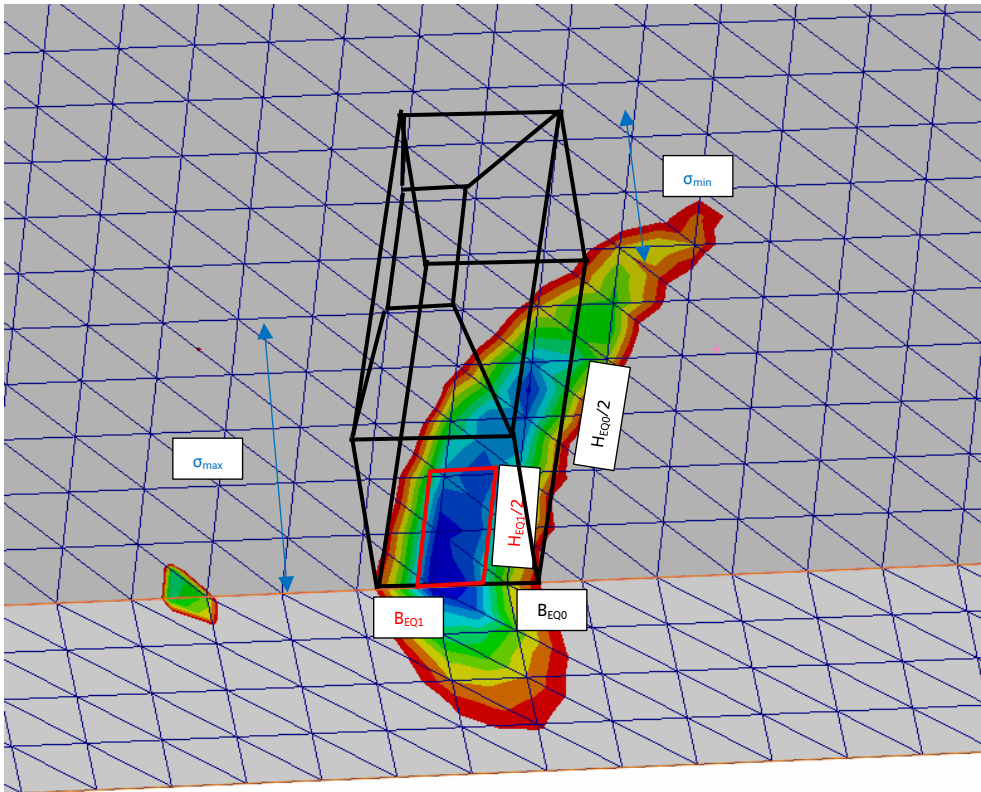
$F_{ed}$  = forza risultante agente sul calcestruzzo.

Essendo il modello simmetrico, tale azione è determinata come 2 volte il volume racchiuso tra il valore di pressione massima di picco determinato tramite l'analisi agli elementi finiti ( $\sigma_{\max}$ ) ed il limite di pressione indicato da capitolato ( $\sigma_{\min}$ ) come da schema sotto rappresentato:

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)



$$\sigma_{min} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \cdot 1.3 = \frac{0.85 \cdot 45}{1.5} \cdot 1.3 = 33.15 \text{ MPa}$$

$$F_{ed} = \sigma_{min} \cdot A_{c0} + \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{3} \cdot (A_{c0} + A_1 + \sqrt{A_{c0} \cdot A_1})$$

$$A_1 = B_{eq1} \times H_{eq1}$$

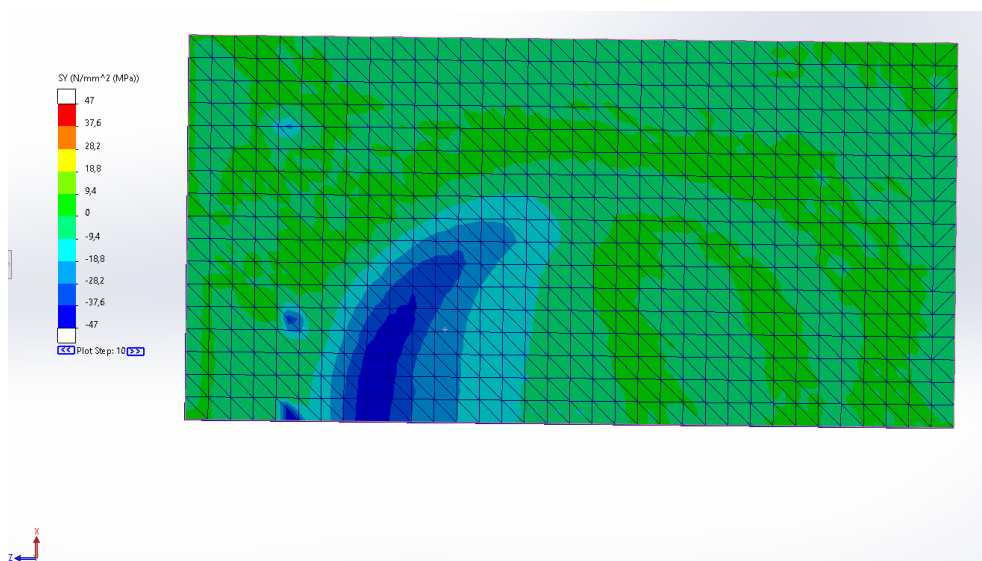
$$A_{c0} = \text{Area caricata (} B_{eq0} \times H_{eq0} \text{)}$$

Per definire i valori dell'area caricata si prende in analisi la distribuzione delle pressioni sul calcestruzzo; dall'analisi agli elementi finiti condotta si evidenzia la seguente distribuzione degli sforzi sulla trave in CA:

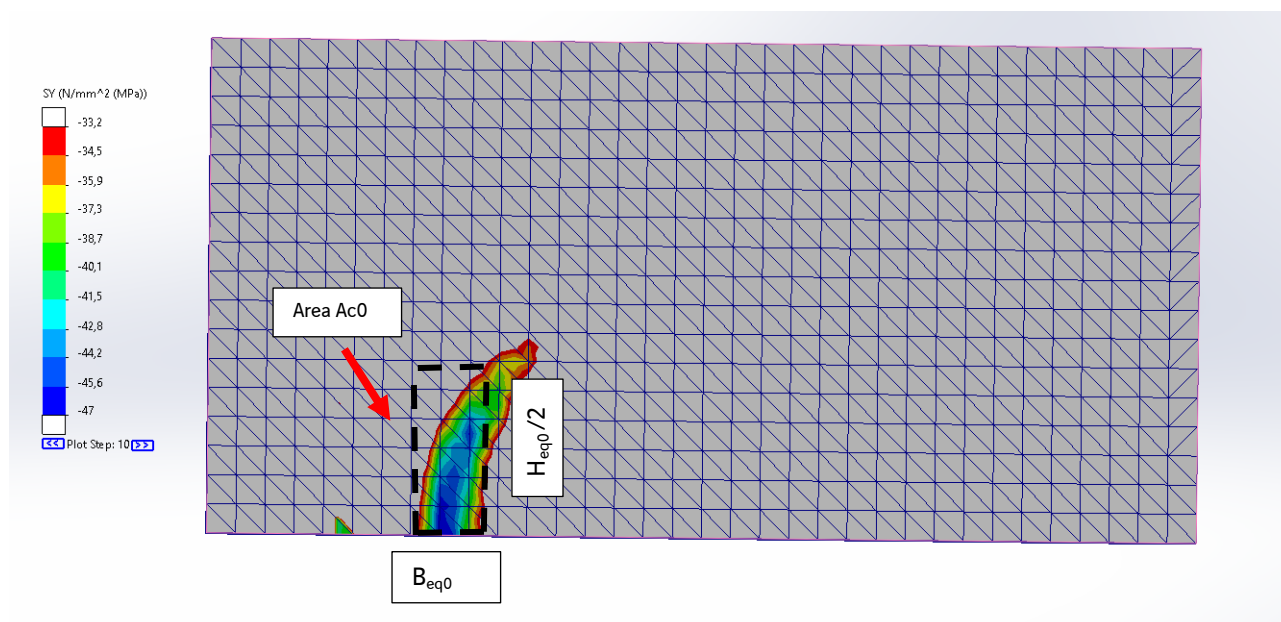
# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)



Sulla base di questa distribuzione di sforzi è possibile definire la porzione di area caricata  $A_{c0}$  con cui eseguire la verifica in accordo al §6.7 della EN UNI 1992-1-1. È stata assunta pari alla somma delle aree degli elementi sollecitati tra il valore di pressione massima di picco ( $\sigma_{max}$ ) e il limite di pressione indicato da capitolato ( $\sigma_{min}$ ) considerando un'area rettangolare equivalente. Nella figura seguente si evidenziano gli elementi interessati.

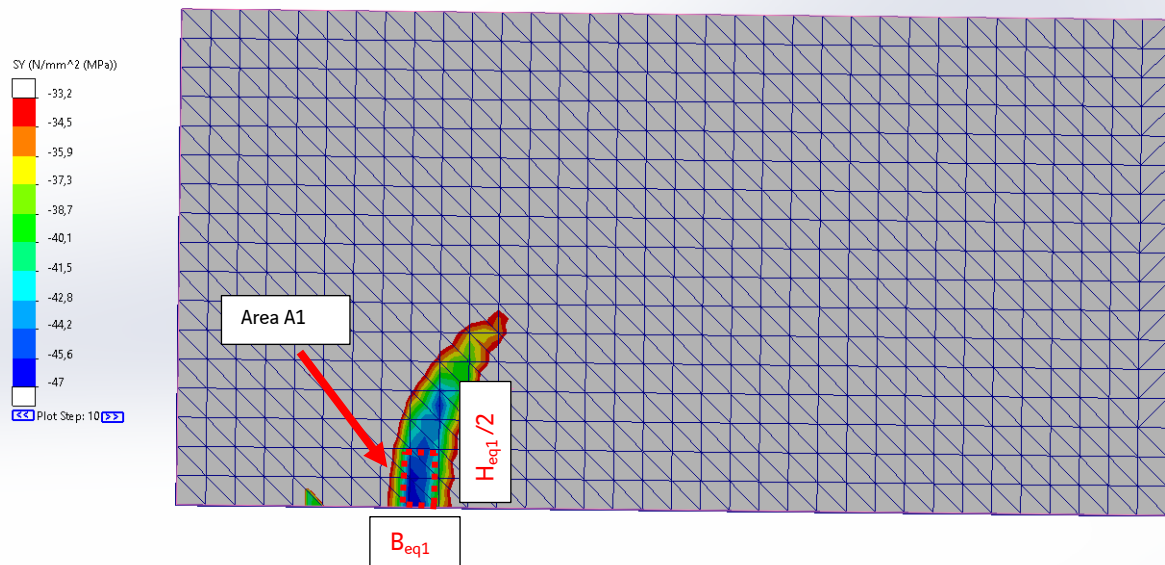


$$A_{c0} = B_{eq0} \cdot H_{eq0} = 55mm \cdot 308mm = 16940 mm^2$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)



$$A_1 = B_{eq1} \cdot H_{eq1} = 20mm \cdot 112mm = 2236 \text{ mm}^2$$

$A_{c1}$  = massima area di diffusione del carico utilizzata per il calcolo e che ha una forma omoetica a quella di  $A_{c0}$

La determinazione della massima area di diffusione del carico ( $A_{c1}$ ) è definita in base ai limiti geometrici presenti tra appoggio e trave. Non essendoci limiti geometrici alla diffusione degli sforzi è consentita una diffusione in entrambe le direzioni pari a 55mm. Pertanto, il valore di superficie assunto è il seguente:

$$\begin{aligned} A_{c1} &= (B_{eq0} + 2 \cdot 55mm) \cdot (H_{eq0} + 2 \cdot 55mm) \\ &= (55mm + 2 \cdot 55mm) \cdot (308mm + 2 \cdot 55mm) = 68970 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sulla base dei parametri definiti è possibile verificare la capacità portante del baggio:

$$F_{ed} = (33.15 \cdot 16940 + \frac{47 - 33.15}{3} \cdot (16940 + 2236 + \sqrt{16940 \cdot 2236}))/1000 = 678.5 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu} = 16940 \cdot 25.5 \cdot \min\left(\sqrt{\frac{68970}{16940}}; 3\right) = 871.6 \text{ kN} > 678.5 \text{ kN}$$

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Di seguito si riporta inoltre il tasso di sfruttamento del calcestruzzo superiore, il quale può essere considerato anche come fattore di sicurezza nel caso in cui non si volesse considerare il calcestruzzo superiore come non confinato:

$$\frac{F_{Rdu}}{F_{ed}} = \frac{871.6}{678.5} = 1.28$$

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3.6 Ancoraggi

#### 3.6.a Verifica ancoraggio inferiore (lato basamento)

L'ancoraggio inferiore viene eseguito mediante zanche incassate nel basamento.

Si definiscono le seguenti quantità:

$\varnothing_{b,inf}$	di diametro del bullone
$\varnothing_{z,inf}$	di diametro della zanca
$\varnothing'_{z,inf}$	di diametro min. della zanca
$n'_{z,inf}$	numero lavorazioni zanca
$\varnothing_p$	di diametro del pozzetto
$l_p$	profondità del pozzetto
$n_p$	numero di pozzetti
$i_z$	incasso zanche
$n_{z,inf}$	numero delle zanche
$f_{yk,zanca}$	tensione di snervamento zanca
$f_{u,zanca}$	resistenza ultima della zanca
$f_{yk,basamento}$	tensione di snervamento basamento (S355)
$\gamma_m$	coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.1
$R_{ck,inf}$	resistenza cubica della malta di allettamento
$f_{ck,malta}$	resistenza caratteristica malta di allettamento

La verifica di contatto diretto della zanca annegata nella malta è soddisfatta:

$$\varnothing_{min} = \sqrt{\frac{3.5(H_{y,sism}/n_{z,inf})}{2.5\sqrt{(R_{ck,inf} f_{yk,zanca})}}} \leq \varnothing_{z,inf}$$

La verifica di resistenza a taglio della zanca è la seguente (1.5 è un fattore amplificativo dovuto alla non ispezionabilità):

$$\frac{H_{y,sism}}{n_{z,inf}} \leq F_{vrd} = \frac{0.6 \cdot A \cdot f_{u,zanca}}{\gamma_{M2} \cdot 1.5}$$

Si verifica che le pressioni di contatto tra l'incasso della zanca e il basamento siano inferiori alla tensione di rifollamento. Si utilizza la tensione di snervamento del basamento ( $f_{yk,basamento}$ ) che risulta molto inferiore alla tensione di snervamento delle zanche ( $f_{yk,zanche}$ ):

$$H_{y,sism} < \frac{1.5 f_{yk,basamento} \varnothing_{z,inf} i_z n_{z,inf}}{1.05}$$



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

La pressione di contatto tra la malta di riempimento dei pozzetti e il calcestruzzo dei baggioli risulta inferiore alla resistenza di progetto  $f_{cd,inf}$ :

$$p = \frac{H_{y,sism}/n_p}{\phi_p l_p} < f_{cd,inf} = 1.3 \cdot \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck,inf}}{\gamma_c}$$

La condizione di carico eccezionale data dalla combinazione sismica provoca una forza di trazione negli elementi di ancoraggio si procede pertanto a verificare l' idoneità del sistema zanca / bullone.

Al fine di assicurare il fissaggio alle strutture adiacenti, la zanca presenta delle lavorazioni in modo da offrire una superficie di collegamento e di trasmissione del carico alla malta che la ingloba.

La verifica viene condotta controllando che la pressione agente sugli anelli delle zone lavorate non ecceda la capacità resistente a compressione della malta.

Il valore di trazione agente è determinato tramite il modello agli elementi finiti sulla base di quanto osservato nei capitoli precedenti, il valore rilevato è pari a 141.8 kN.

Il valore limite di pressione sulla malta si assume  $1.3\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$ .

La verifica è la seguente:

$$\sigma_m = \frac{N_{t,ed}}{n'_{z,inf}(\phi_z^2 - \phi'_z{}^2)\pi/4} \leq f_{cd} = 1.3 \cdot \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck,malta}}{\gamma_c}$$

Si verifica inoltre che lo sforzo di trazione nell'acciaio della sezione ridotta della zanca non ecceda la resistenza del materiale:

$$\sigma_{t,z} = \frac{N_{t,ed}}{\phi'_z{}^2\pi/4} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

Infine, si verifica che la forza di trazione del bullone di ancoraggio non ecceda la capacità massima del bullone:

$$F_{t,rd} > N_{t,ed}$$

**Relazione tecnica**  
**Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE**  
 Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Ancoraggi		
a) inferiore		
Hy,sism	4095	KN
Øb	20	mm
Øzanca	60.0	mm
Ø'zanca	38.0	mm
As,bullone (area resistente)	244.8	mm <sup>2</sup>
numero lavorazioni zanca	2	-
nz	8	-
Øpozzetti	150	mm
lpozzetti	235	mm
npozzetti	8	-
iz (netto smusso)	23.0	mm
fyk,zanca	650.0	Mpa
fu,zanca	900.0	Mpa
fyk,basamento	285.0	MPa
fck,malta	60.0	MPa
Rck,malta	75.0	Mpa
Ømin	57.0	mm
<b>check : Ømin &lt; Øzanca</b>	<b>OK</b>	<b>95%</b>
τ	203.7	Mpa
0.6*fuk / (1.5 γM2 )	288.0	Mpa
<b>check : τ &lt; 0.6*fuk / (1.5 γM2 )</b>	<b>OK</b>	<b>71%</b>
(1.5*fyk,basamento*Øzanca*iz*nz)/1.05	4495	kN
<b>Check : Hmax &lt; (1.5*fyk,basamento*Øzanca*iz*nz)/1.05</b>	<b>OK</b>	<b>91%</b>
p	14.5	MPa
<b>Check : p &lt; fcd,inf</b>	<b>OK</b>	<b>62%</b>
σm	41.9	MPa
fcd,malta	44.2	MPa
<b>Check : σm &lt; fcd,malta</b>	<b>OK</b>	<b>95%</b>
σt,z	125.0	MPa
fyk/1.1	590.9	MPa
<b>Check : σt,z &lt; fyk/1.1</b>	<b>OK</b>	<b>21%</b>
F <sub>t,Rd</sub>	176.3	kN
N <sub>t,Ed</sub>	141.8	kN
<b>Check : Ft,Rd &gt; Nt,Ed</b>	<b>OK</b>	<b>80%</b>

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

#### 3.6.b Verifica ancoraggio superiore (lato piastra concava)

L'ancoraggio superiore viene eseguito mediante zanche incassate nella contropiastra. Si definiscono le seguenti quantità:

$\varnothing_{z,sup}$	di diametro della zanca
$n_{z,sup}$	numero delle zanche
$f_{yk}$	tensione di snervamento
$f_{u,zanca}$	resistenza ultima della zanca
$\gamma_m$	coefficiente parziale di sicurezza pari uguale a 1.1

La verifica di contatto diretto della zanca annegata nella trave prefabbricata è la seguente:

$$\varnothing_{min} = \sqrt{\frac{3.5(H_{y,sism}/n_{z,sup})}{2.5\sqrt{(R_{ck,sup}f_{yk})}}} \leq \varnothing_{z,sup}$$

La verifica di resistenza a taglio della zanca è la seguente (1.5 è un fattore amplificativo dovuto alla non ispezionabilità):

$$\frac{H_{y,sism}}{n_{z,sup}} \leq F_{vrd} = \frac{0.6 \cdot A \cdot f_{u,zanca}}{\gamma_{M2} \cdot 1.5}$$

b) superiore		
$H_{y,sism}$	4095	KN
$\varnothing_{zanca}$	40.0	mm
$n_z$	20	-
$i_z$	40.0	mm
$R_{ck,cls\ sup}$	55.0	MPa
$f_{yk,zanca}$	750.0	Mpa
$f_{u,zanca}$	1000.0	Mpa
$\varnothing_{min}$	37.6	mm
<b>check : <math>\varnothing_{min} &lt; \varnothing_{zanca}</math></b>	<b>OK</b>	<b>94%</b>
$\tau$	162.9	Mpa
$0.6 \cdot f_{uk} / (1.5 \gamma_{M2})$	320.0	Mpa
<b>check : <math>\tau &lt; 0.6 \cdot f_{uk} / (1.5 \gamma_{M2})</math></b>	<b>OK</b>	<b>51%</b>

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3.7 Perno e contropiastra

Definite le seguenti quantità:

$\varnothing_p$	di diametro della sezione resistente minore del perno
A	area sezione resistente minore del perno
$i_p$	altezza del perno
$t_{cp}$	altezza di contatto del perno ( $i_p-2$ )
$f_{up}$	resistenza ultima dell'acciaio del perno (S355)
$f_{yk}$	minore tra la tensione di snervamento dell'acciaio del perno (S355) e della contropiastra superiore (S355)
$\gamma_{M2}$	coefficiente di sicurezza = 1.25
$\gamma_{M0}$	coefficiente parziale di sicurezza pari uguale a 1.05

La verifica a taglio del perno risulta la seguente (1.5 è un fattore amplificativo dovuto alla non ispezionabilità):

$$H_{y,sism} \leq F_{vrd} = \frac{0.6 \cdot A \cdot f_{up}}{1.5 \cdot \gamma_{M2}}$$

La resistenza a rifollamento della contropiastra è la seguente:

$$H_{y,sism} \leq F_{b,Rd} = \frac{1.5 \cdot f_{yk} \cdot \phi_p \cdot t_{cp}}{\gamma_{M0}}$$

Perno e contropiastra		
<b>a) Verifica a taglio</b>		
$H_{y,sism}$	4095	KN
Diámetro della sezione resistente minore del perno	433	mm
A	147526	mm <sup>2</sup>
$f_{up}$	450.0	Mpa
$F_{vrd}$	21244	KN
<b>H &lt; Fvrd</b>	<b>ok</b>	<b>19%</b>
<b>b) Verifica a rifollamento</b>		
$f_{yk}$ (minimo tra acc perno e acc Cp sup)	295.0	Mpa
$\varnothing_p$	487	mm
$i_p$ (lordo dello smusso)	22.0	mm
$t_{cp}$ ( $i_p-2$ )	20.0	mm
$F_{b,Rd}$	4105	KN
<b>H &lt; Fb,Rd</b>	<b>ok</b>	<b>99.8%</b>

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### 3.8 Requisiti aggiuntivi per il trasporto e l'installazione

Al fine di garantire la non deformabilità dell'appoggio durante la fase di trasporto ed installazione si deve verificare che:

$$t_u \geq 0.04 \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}$$

Dove:

- $t_u$  Altezza minima della piastra di base.
- $B_x$  lunghezza della piastra di base
- $B_y$  larghezza della piastra di base

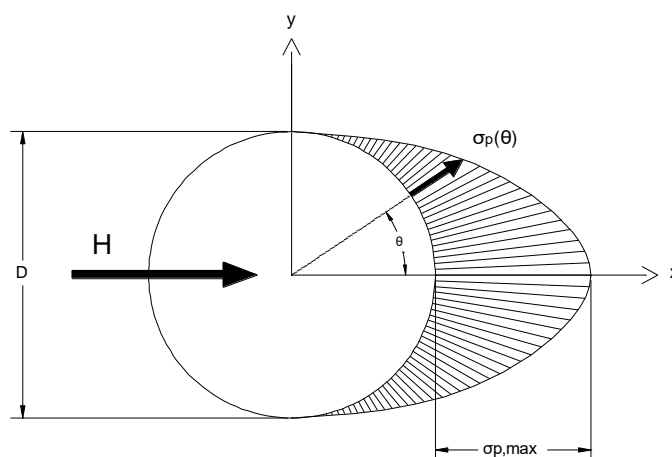
Requisiti aggiuntivi per il trasporto e l'installazione		
$B_x$ (dimensione x basamento)	980.0	mm
$B_y$ (dimensione y basamento)	760.0	mm
$t_u$	51.5	mm
$t_{lim}$	49.6	mm
$t_u > t_{lim}$	OK	96.3%

### 3.9 Pressioni di contatto fra piastra concava e basamento

Il trasferimento delle forze orizzontali tra piastra concava e basamento avviene tramite la piastra di scorrimento.

#### 3.9.a **Contatto fra piastra concava e piastra di scorrimento**

In accordo alla EN 1337-5, si assume che la pressione risultante dalle azioni orizzontali esterne sia distribuita parabolicamente su metà perimetro e il valore massimo sia considerato 1.5 volte il valore medio.



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

La formula della pressione di contatto  $\sigma_p(\theta)$  in funzione dell'angolo  $\theta$  variando da  $-\pi/2$  a  $\pi/2$ , è la seguente:

$$\sigma_p(\theta) = \sigma_{p,max} \cos^2(\theta)$$

La resistenza meccanica delle facce di contatto è verificata per la combinazione fondamentale SLU di azioni in conformità alla EN 1337-5 §6.2.3.3:

$$\sigma_{p,max} = \sqrt{\frac{H_{y,stat} \cdot E_d}{15 \cdot R \cdot D}} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_m}$$

Con,

$H_{y,stat}$  forza orizzontale SLU non sismica

D diametro della piastra concava

R raggio di curvatura del contatto

$E_d$  modulo elastico dell'acciaio impiegato per la realizzazione della piastra superiore assunto pari a 210000N/mm<sup>2</sup>

$f_{uk}$  tensione di rottura (acciaio S355)

Per la combinazione sismica SLV la faccia di contatto della piastra concava può essere ipotizzata piatta, può quindi essere eseguita la verifica in conformità alla EN 1337-5 §6.2.3.2:

$$\sigma_{p,max} = \frac{1.5 \cdot H_{y,sism}}{w_{SLV} \cdot dP} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$$

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Pressioni di contatto fra piastra concava e basamento		
Pressioni di contatto tra piastra concava e piastra di scorrimento		
Hy,stat	773	KN
Ed	210000	Mpa
R raggio di curvatura del contatto	220.0	mm
dP diametro interno anello smorzante	440.0	mm
fuk minore tra acc pistone e anello	450.0	MPa
$\sigma_{p,max}$	334.4	MPa
$f_{uk}/1.1$	409.1	MPa
$\sigma_{p,max} < f_{uk}/1.1$	<b>ok</b>	<b>81.7%</b>
Hy,sism	4095	KN
Wslv altezza di contatto piatto	52.5	mm
dP diametro interno anello smorzante	440.0	mm
$\sigma_{p,max}$	265.9	MPa
fyk minore tra acc pistone e anello	295.0	MPa
$f_{yk}/1.1$	268.2	MPa
$\sigma_{p,max} < f_{yk}/1.1$	<b>ok</b>	<b>99.2%</b>

#### 3.9.b Contatto piano fra piastra di scorrimento e basamento

Il contatto tra la piastra di scorrimento e basamento avviene mediante una lastrina di PTFE. La tensione di contatto viene verificata con la formula seguente:

$$H_{Rd,PTFE} = \frac{f_{k,PTFE}}{\gamma_m} B_{x,d} \cdot w' \geq H_{y,sism}$$

w' è l'altezza della lastra di PTFE incassata nell'elemento Piastra di scorrimento mentre B<sub>x,d</sub> rappresenta la lunghezza di detta lastra.

Contatto piano fra piastra di scorrimento e basamento (PTFE)		
Hy,sism	4095	kN
Bx,d (lunghezza piastrina)	750.0	mm
w' (altezza piastrina)	95.0	mm
fk	81.0	Mpa
fk/1.4	57.9	Mpa
Hrd	4122	kN
<b>Hrd &gt; Hy,sismico</b>	<b>ok</b>	<b>99.3%</b>

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### APPENDICE A: DESCRIZIONE MODELLO FEM UTILIZZATO

- Modello FEM basamento/CP inferiore/malta/CLS inferiore

#### Elementi utilizzati e proprietà

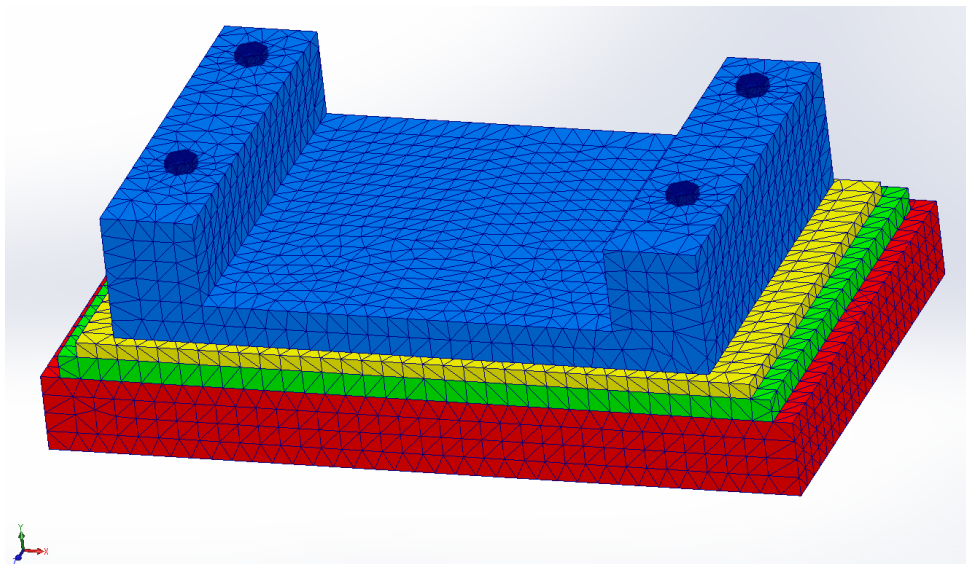
Il Modello agli elementi finiti, utilizzato per le analisi sopra specificate, è costituito da una Mesh solida di 50108 elementi:

- Basamento: elementi rappresentati di colore blu
- Contropiastra inferiore: elementi rappresentati di colore giallo
- Malta: elementi rappresentati di colore verde
- CLS inferiore: elementi rappresentati di colore rosso

Tramite l'assegnazione di un "Component Contact – Bonded" tra contropiastra inferiore, malta e CLS inferiore i suddetti elementi si comportano come un blocco unico, ciascuno con le proprietà ad esso pertinenti. Tra il basamento e la contropiastra inferiore, invece, è stato posto un vincolo di non compenetrazione ("Contact set – No penetration").

É stato modellato metà basamento. Per questo motivo, lungo il piano di simmetria yz, sono state bloccate le rotazioni lungo y, z e lo spostamento lungo x. Il calcestruzzo inferiore, invece, è stato incastrato alla base.

A1. Modello completo agli elementi finiti utilizzato





# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Per ciascun elemento sono state assegnate le seguenti proprietà di pertinenza:

#### Basamento

Acciaio strutturale:  $E = 210 \text{ GPa}$  /  $\nu = 0.3$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_25\_U\_cls\_inf  
 Name: Structural Steel  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: Structural Steel  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.100000031e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3000000119	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	345000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

#### Contropiastra inferiore

Acciaio strutturale:  $E = 210 \text{ GPa}$  /  $\nu = 0.3$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_25\_U\_cls\_inf  
 Name: Structural Steel  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: Structural Steel  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.100000031e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3000000119	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	345000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

#### Malta

Malta di allettamento 60/75:  $E = 39 \text{ GPa}$  /  $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$  /  $\nu = 0.2$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library

Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

Category: 220127\_25\_U\_cls\_inf

Name: fck 60

Default failure criterion: Max von Mises Stress

Description: fck 60

Source:

Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3.89999846e+10	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.200000003	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	2200	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	60000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

#### CLS inferiore

Calcestruzzo C32/40:  $E = 33.3 \text{ GPa}$  /  $f_{ck} = 32 \text{ MPa}$  /  $\nu = 0.2$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library

Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

Category: 220127\_25\_U\_cls\_inf

Name: fck 32

Default failure criterion: Max von Mises Stress

Description: fck 32

Source:

Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3.3346e+10	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.2	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	1000	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	30000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

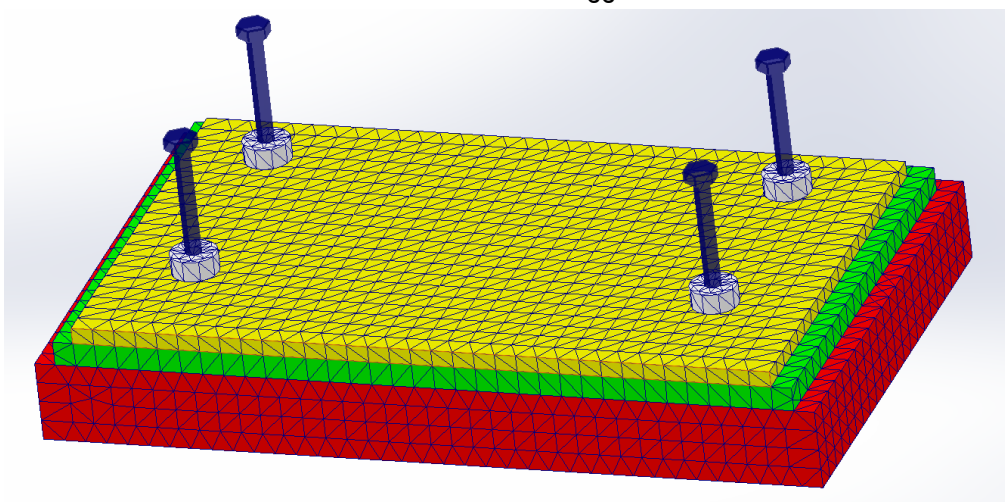
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### Modellazione ancoraggi esterni

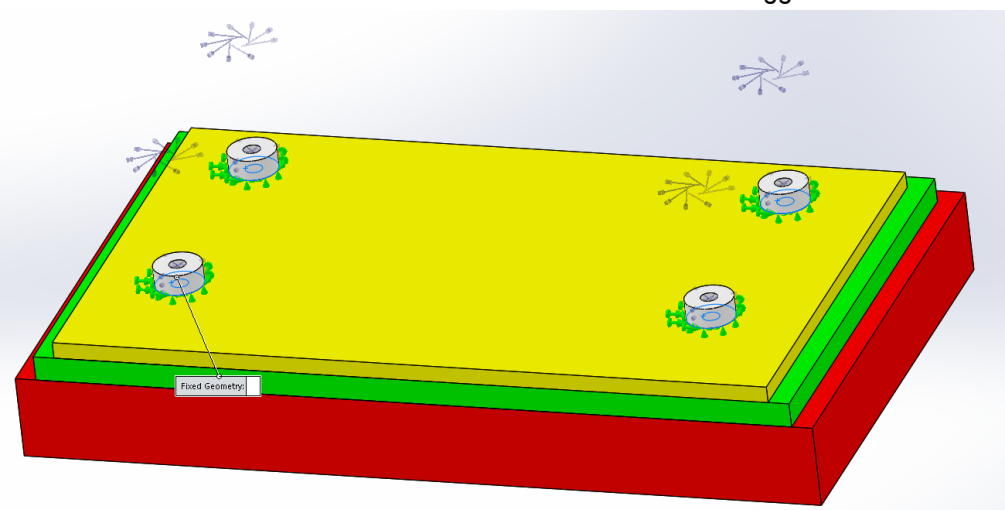
Per quanto concerne la rappresentazione degli elementi di ancoraggio esterno, sono stati modellati i bulloni tramite elementi di connessione "Counterbore Screw", i quali si innestano direttamente nelle zanche di ancoraggio nel tratto di gambo filettato (dimensioni e proprietà assegnate al suddetto elemento sono congruenti a quanto già specificato nei paragrafi precedenti e a quanto indicato nel disegno generale dell'appoggio in esame).

Le zanche di ancoraggio esterne vengono modellate tramite elementi cilindrici in acciaio inseriti nei corrispettivi incassi inferiori del basamento e opportunamente incastrate alla base.

### A2. Modellazione bulloni esterni di ancoraggio e innesto zanca/bullone



### A3. Modellazione vincolo delle zanche di ancoraggio



# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

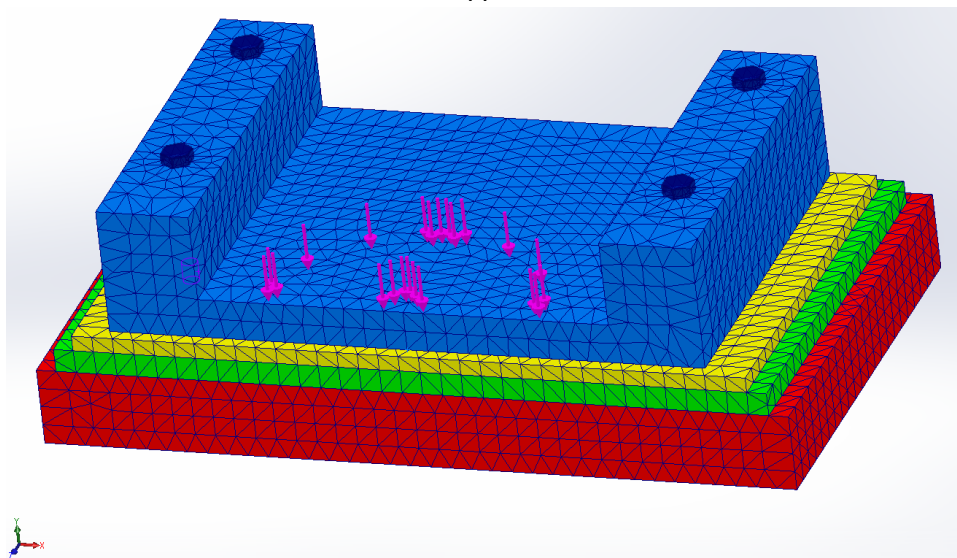
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### Distribuzione dei carichi applicati

Questo paragrafo ha come unico scopo quello di rappresentare l'andamento e le modalità di applicazione dei carichi. Per i valori numerici e le combinazioni dei carichi utilizzati si rimanda ai capitoli specifici ad essi pertinenti.

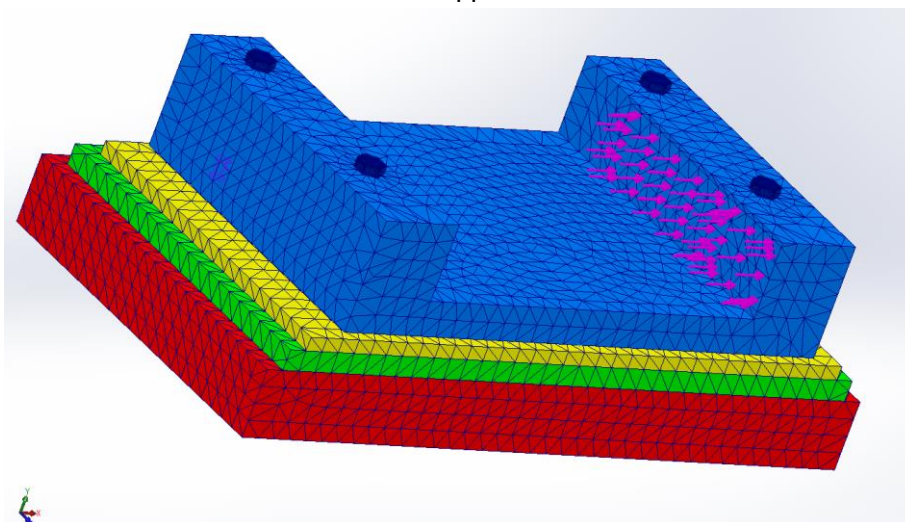
Il carico verticale viene applicato al modello come una pressione normale uniforme sull'impronta circolare del disco antifrizione piatto a contatto con il basamento:

A4. Carico verticale applicato al modello FEM



Il carico orizzontale viene applicato al modello come una pressione normale con distribuzione uniforme sull'area della lastrina antifrizione a contatto con la parete del basamento:

A5. Carico orizzontale applicato al modello FEM



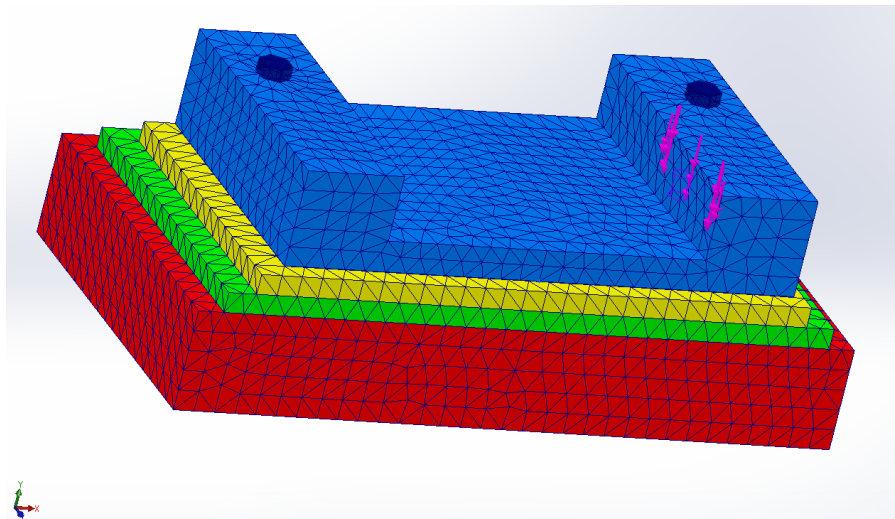
## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

Per le verifiche sismiche del CLS inferiore, viene applicata una pressione verticale con distribuzione uniforme sull'area della lastrina antifrizione a contatto con la parete del basamento tra un angolo di  $0^\circ$  e  $30^\circ$  rispetto al centro del basamento, in modo tale da applicare il momento  $M_2$ :

A6. Momento  $M_2$  applicato al modello FEM



#### Area di contatto tra basamento e contropiastra inferiore

È stato previsto un vincolo unilatero nelle aree di contatto tra il basamento e la contropiastra inferiore.

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

- Modello FEM CLS superiore/CP superiore/pistone/calotta

### Elementi utilizzati e proprietà

Il Modello agli elementi finiti, utilizzato per le analisi sopra specificate, è costituito da una Mesh solida di 28865 elementi:

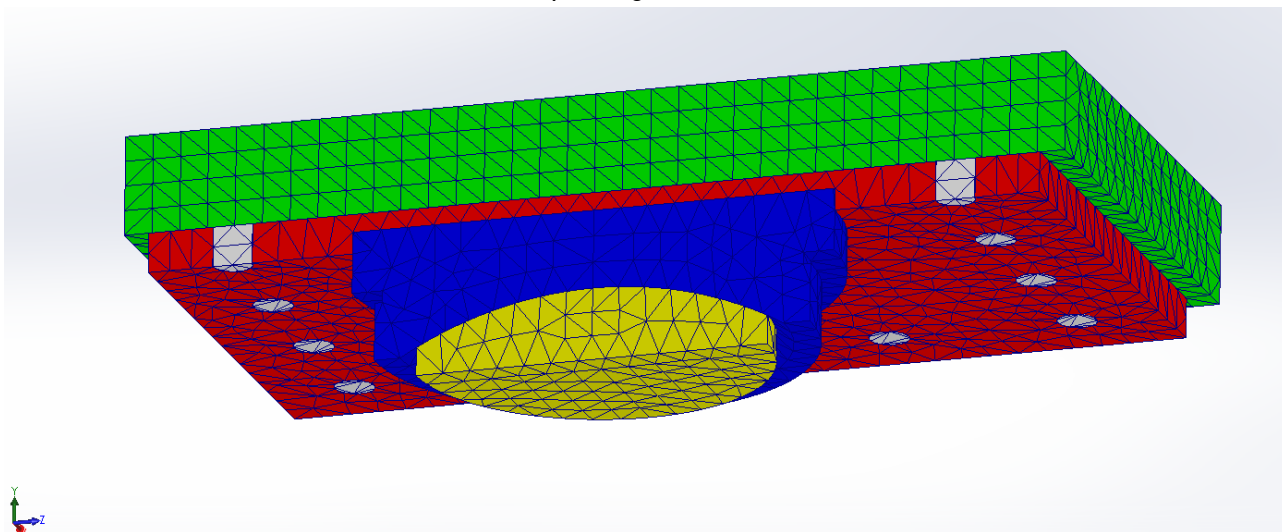
- Cls superiore: elementi rappresentati di colore verde
- Contropiastra superiore: elementi rappresentati di colore rosso
- Pistone: elementi rappresentati di colore blu
- Calotta: elementi rappresentati di colore giallo

Tra le superfici degli accoppiamenti contropiastra superiore/pistone e pistone/calotta è stato assegnato un vincolo di non compenetrazione ("Contact set – No penetration").

É stato modellato metà pistone. Per questo motivo, lungo il piano di simmetria yz, sono state bloccate le rotazioni lungo y, z e lo spostamento lungo x.

Il cls superiore, invece, è stato incastrato alla base.

A7. Modello completo agli elementi finiti utilizzato



Per ciascun elemento e quindi per ciascun elemento brick ad esso associato sono state assegnate le seguenti proprietà di pertinenza:

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

#### CLS superiore

Calcestruzzo C45/55:  $E = 36.3 \text{ GPa}$  /  $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$  /  $\nu = 0.2$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Data

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_22\_U\_cls\_sup  
 Name: fck 45  Include creep effect  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: fck 45  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3.628299878e+10	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.200000003	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	2200	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	45000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)

#### Contropiastra superiore

Acciaio strutturale:  $E = 210 \text{ GPa}$  /  $\nu = 0.3$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Data

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_22\_U\_cls\_sup  
 Name: Structural Steel  Include creep effect  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: Structural Steel  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	345000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### Pistone

Acciaio strutturale:  $E = 210 \text{ GPa}$  /  $\nu = 0.3$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_22\_U\_cls\_sup  
 Name: Structural Steel  Include creep effect  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: Structural Steel  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	345000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)

### Calotta

Acciaio strutturale:  $E = 210 \text{ GPa}$  /  $\nu = 0.3$  / comportamento elastico

Properties Tables & Curves Appearance CrossHatch Custom Application Dal

Material properties  
Materials in the default library can not be edited. You must first copy the material to a custom library to edit it.

Model Type: Linear Elastic Isotropic  Save model type in library  
 Units: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
 Category: 220127\_22\_U\_cls\_sup  
 Name: Structural Steel  Include creep effect  
 Default failure criterion: Max von Mises Stress  
 Description: Structural Steel  
 Source:  
 Sustainability: Undefined

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.3	N/A
Shear Modulus	0	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength	0	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	345000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0	/K
Thermal Conductivity	0	W/(m-K)
Specific Heat	0	J/(kg-K)



# Relazione tecnica

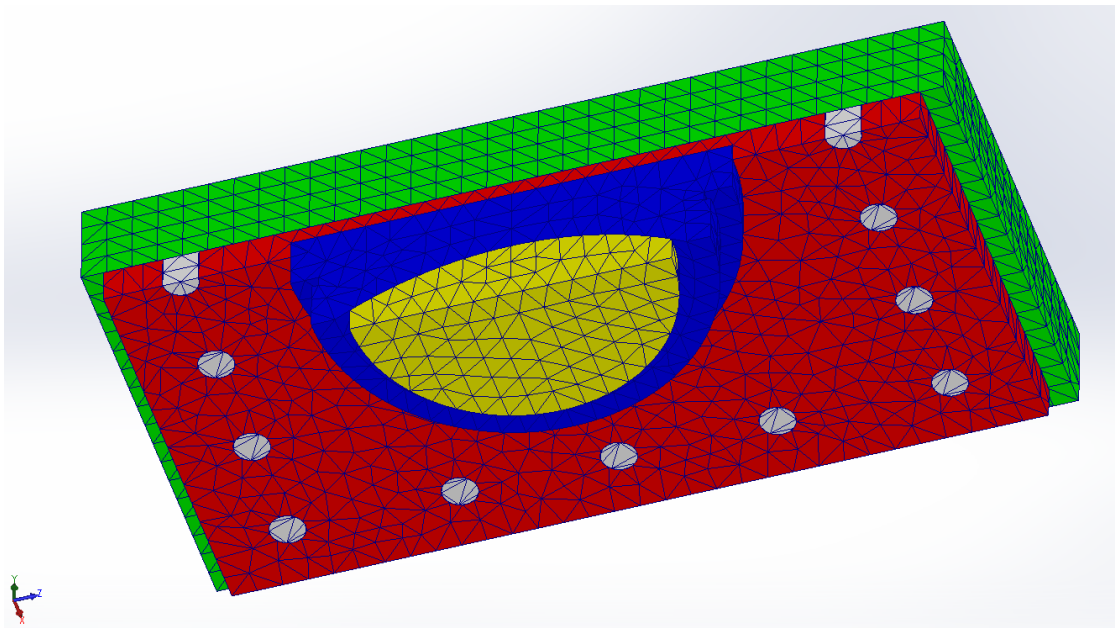
## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

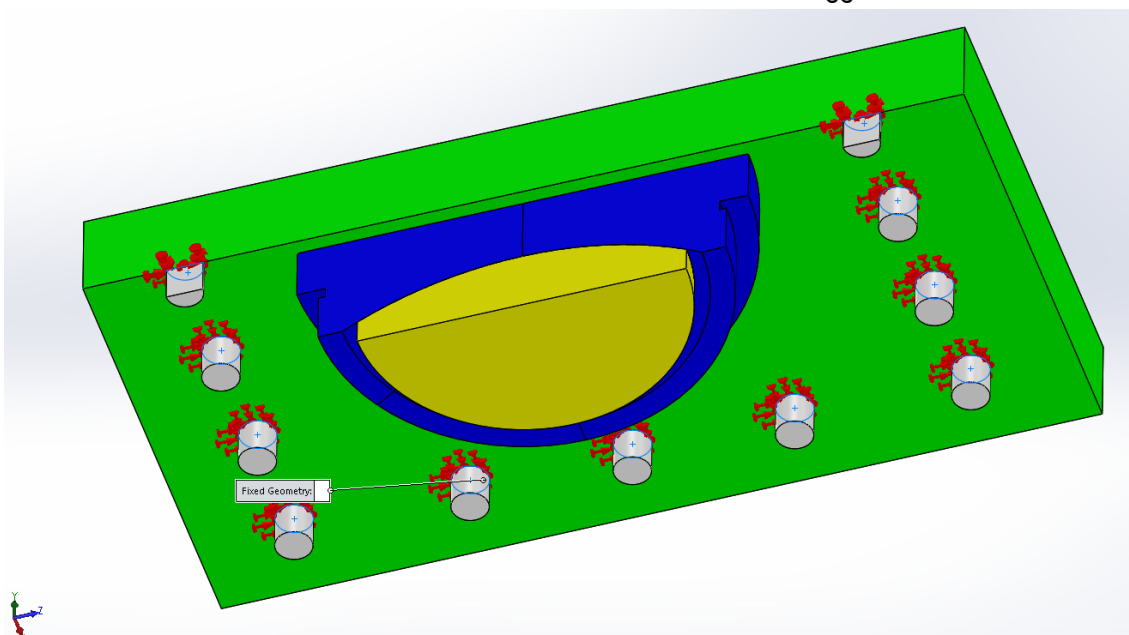
### Modellazione ancoraggi esterni

Per quanto concerne la modellazione delle zanche di ancoraggio superiore, queste ultime vengono modellate tramite elementi cilindrici in acciaio inseriti nei corrispettivi incassi superiori della contropiastra e opportunamente incastrati alla base.

A8. Modellazione zanche di ancoraggio superiore



A9. Modellazione vincolo delle zanche di ancoraggio



## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

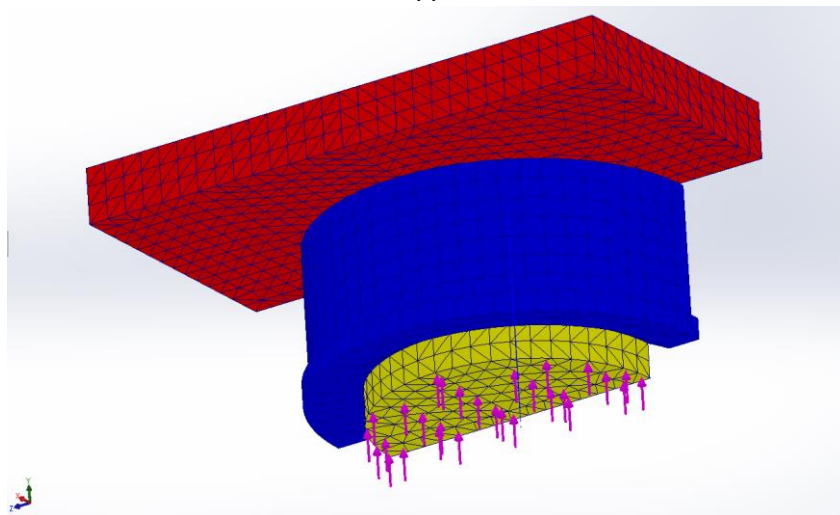
#### Distribuzione dei carichi applicati

Questo paragrafo ha come unico scopo quello di rappresentare l'andamento e le modalità di applicazione dei carichi. Per i valori numerici e le combinazioni dei carichi utilizzati si rimanda ai capitoli specifici ad essi pertinenti.

Le immagini sotto riportate non sono del dispositivo oggetto di questa relazione di calcolo ma fanno riferimento ad un modello generico. Esse hanno come unico scopo quello di illustrare i metodi generali di modellazione utilizzati.

Il carico verticale viene applicato al modello come una pressione normale uniforme sull'impronta circolare del disco antifrizione curvo a contatto con il pistone:

A10. Carico verticale applicato al modello FEM



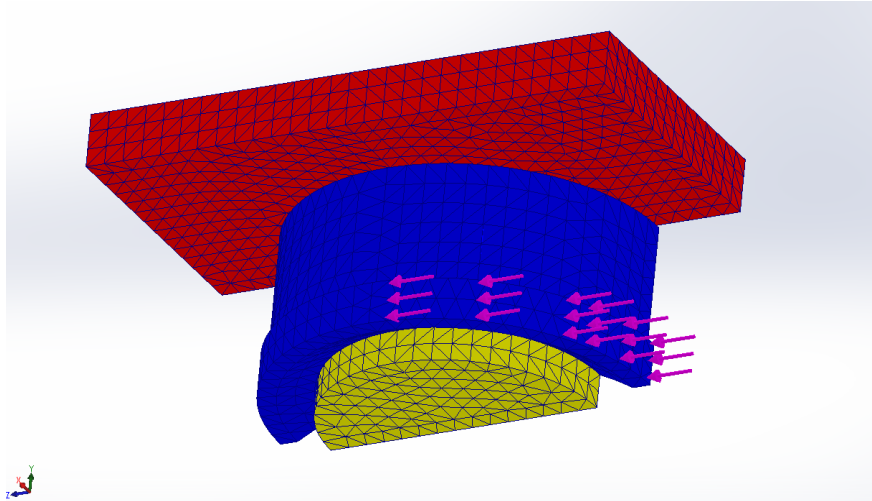
Il carico orizzontale viene applicato al modello come una pressione normale con distribuzione parabolica sull'area di contatto tra pistone e anello elastico (la rappresentazione sottostante ha come unico scopo quello di riportare la porzione di pistone caricata, la distribuzione del carico, come descritto in precedenza, è parabolico e non uniforme):

## Relazione tecnica

### Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

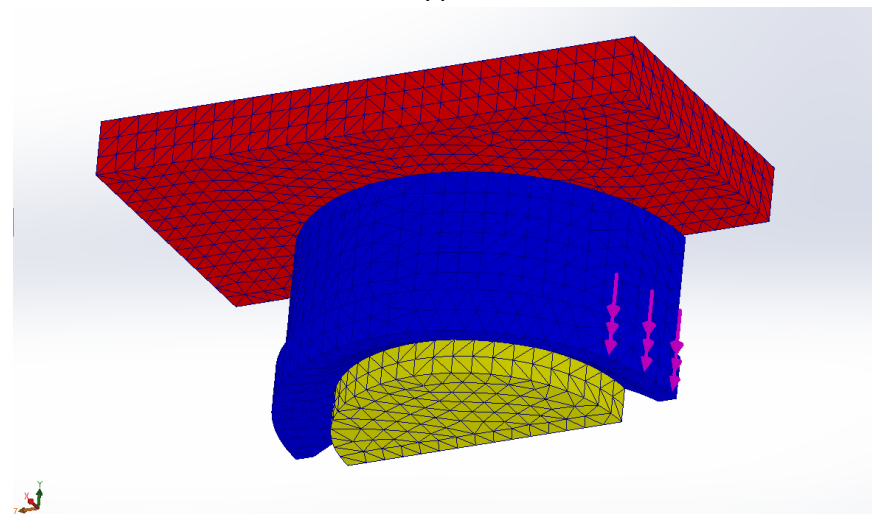
Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

A11. Carico orizzontale applicato al modello FEM



Il carico verticale generato da attrito acciaio/acciaio viene applicato come una pressione circonferenziale verticale sull'area di contatto pistone/anello elastico tra un angolo di  $0^\circ$  e  $30^\circ$  rispetto al centro del pistone, in modo tale da applicare il momento  $M_2$ :

A12. Momento  $M_2$  applicato al modello FEM



L'analisi agli elementi finiti viene eseguita in due differenti step temporali:

- Step 1: viene applicato solamente il carico verticale concomitante  $N_{conc}$  (vedi Figura A10.) in modo tale da imporre l'impacchettamento di tutto il sistema contropiastra superiore/pistone/calotta.
- Step 2: viene vincolata verticalmente la calotta in modo tale da mantenere in equilibrio tutto il sistema contropiastra superiore/pistone/calotta impacchettato e viene applicato il carico orizzontale sismico (come figura A11.) e il carico verticale per generare il momento  $M_2$  (vedi figura A12.).

# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DEL BASAMENTO

#### Fase 1 sismica

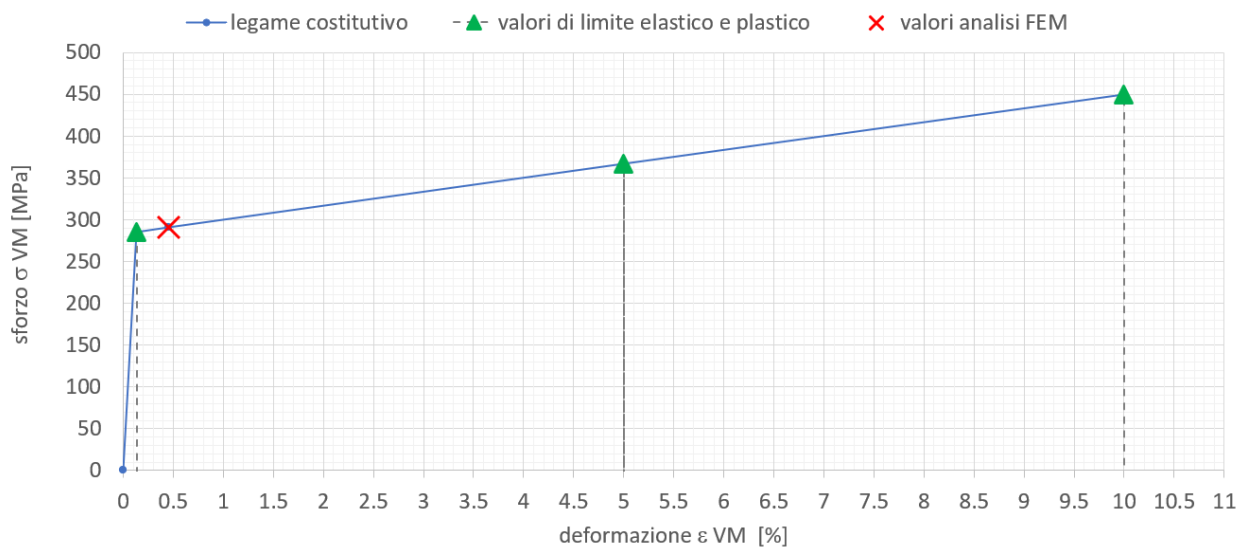
Come si evince dai risultati, si osservano livelli di deformazione leggermente al di sopra del limite elastico in prossimità della zona gravata dal carico orizzontale. Dall'analisi dei valori si evidenzia che tali valori risultano molto contenuti ed appena oltre il limite elastico del materiale. Il picco di deformazione massima in corrispondenza dello spigolo tra fondello e parete del basamento è del tipo localizzato ed ha un valore di 0.45% come valore di deformazione e 290MPa di valore di sforzo.

Deformazione elastica basamento:  $\varepsilon_{el} = \frac{285 \text{ MPa}}{210000 \text{ MPa}} = 0.001357 = 0.1357\%$

Deformazione massima raggiunta dall'analisi FEM  $\varepsilon_{vm} = 0.45\%$

Deformazione massima - valore di controllo  $\varepsilon_{amm} = 5\%$

Deformazione massima del materiale  $\varepsilon_{materiale} = 10\%$

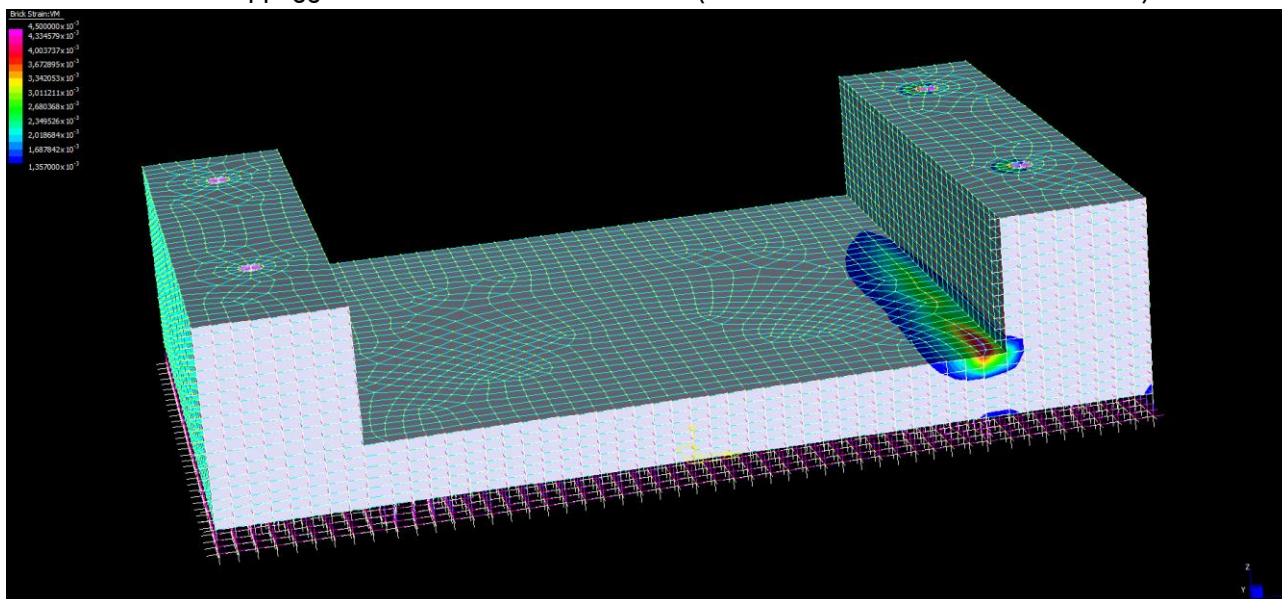


# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

### Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

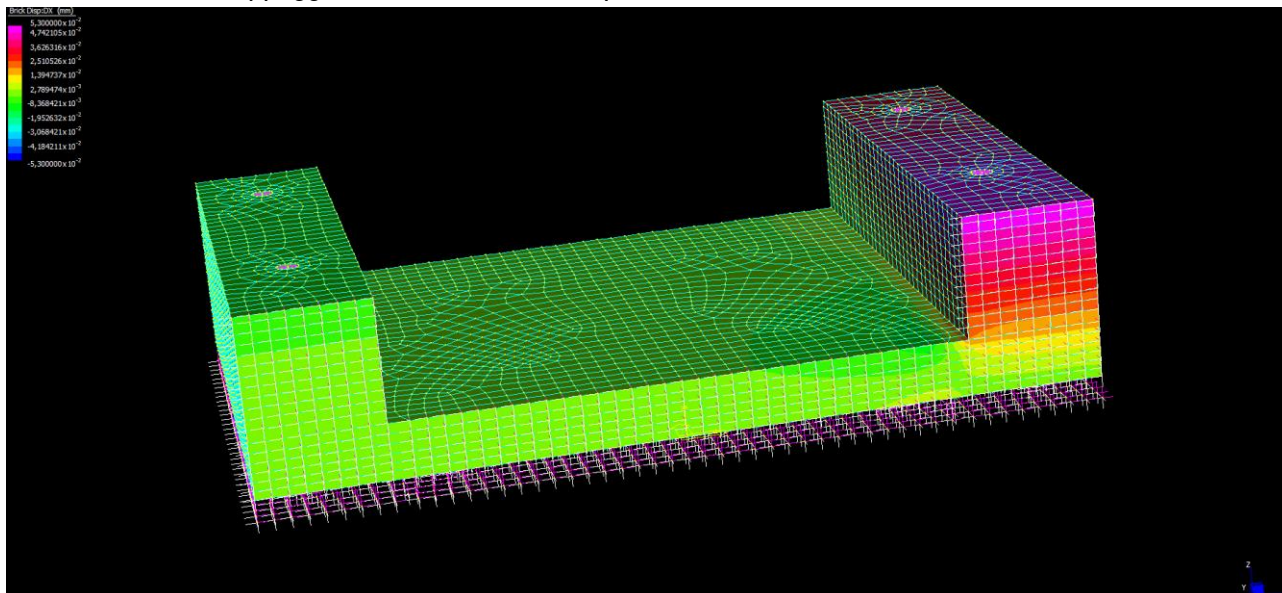
B1. Basamento dell'appoggio unidirezionale in fase sismica (deformazione massima = 0.45 % < 5%)



### Fase 2 post-sisma

Il risultato dell'analisi mostra uno spostamento residuo massimo = 0.053 mm < 1.5mm/1.5 = 1mm).

B2. Basamento dell'appoggio unidirezionale in fase post-sismica



Si fa notare che lo spostamento residuo trovato risulta comparabile al valore di tolleranza meccanica del pezzo stesso, quindi, a nostro avviso, più che trascurabile.



# Relazione tecnica

## Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio unidirezionale GG 3685-4095.170(-2328)

### Fase 3 post-sisma SLU statico

Gli sforzi massimi ottenuti dall'analisi risultano ampliamenti inferiori al limite di snervamento del materiale. Il pezzo risulta completamente elastico e dopo l'evento sismico è in grado di assorbire i carichi statici della combinazione fondamentale SLU.

B3. Basamento dell'appoggio unidirezionale in fase post-sismica riapplicando i carichi SLU statici:

