

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

VIADOTTI E PONTI

VIADOTTO SU RIO GUÀ AV/AC DAL km 34+047,75 AL km 34+125,75

GENERALE

Relazione tecnica appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000 (-5850)

GENERAL CONTRACTOR					DIRETTORE LAVORI			SCALA :	
IL PROGETTISTA INTEGRATORE Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 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	VI09B0	001	A		di

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	ing. Alberto LEVORATO	

Progettazione :

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	SETECO	Gen. 2023	M. Vaccarezza	Gen. 2023	G. Malavenda	Gen. 2023	Paolo Maestrelli Data: Gen. 2023
B								
C								

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712E12CLV109B0001A.DWG
		Cod. origine: CODICE



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

**Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-
9000(-5850)**

*Tratta AV/AC Verona-Padova – Impalcati ad arco (75m) VI09
Disegno di riferimento 220127-GD-19
c.o. 220127*

PAESE	CLIENTE
	SALCEF S.P.A.

Rif.:220127-CN-19-B



19 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 fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

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	27/10/2022	Prima emissione	LFI	CGI	CGI
B	19/12/2022	Tabella carichi	LFI	GBI	GBI

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

indice

1	INTRODUZIONE.....	6
1.1	Generalità.....	6
1.2	Materiali.....	6
1.2.a	Acciaio Strutturale	6
1.2.b	Acciaio non strutturale	6
1.2.c	PTFE	7
1.2.d	Acciaio inossidabile.....	8
1.2.e	Bulloni	8
1.2.f	Anello elastico.....	8
2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI	9
2.1	Simboli.....	9
2.2	Geometria	10
2.3	Forze e spostamenti.....	11
3	VERIFICHE	13
3.1	Calcolo dell'eccentricità	13
3.2	Verifica dell'PTFE.....	14
3.2.a	Verifica della resistenza dell'PTFE	14
3.2.b	Verifica delle dimensioni del PTFE.....	15
3.3	Capacità di rotazione	16
3.3.a	Movimento orizzontale della mediana (elemento sferico)	16
3.3.b	Gap x_1	16
3.3.c	Gap $w/2$	17
3.4	Verifica del basamento	17
3.5	Calcestruzzo	19
3.6	Ancoraggi	22
3.7	Perno e contropiastra	23
3.8	Pressioni di contatto fra piastra superiore e piastra di scorrimento.....	24
3.8.a	Contatto curvo fra piastra superiore e anello elastico	25
3.8.b	Contatto piano fra piastra di base e piastra di scorrimento.....	26
3.9	Calcolo della rigidezza dell'anello elastico	26
	APPENDICE A: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DEL BASAMENTO.....	29

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA CONTROPIASTRA	31
APPENDICE C: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELL'ANELLO ELASTICO	32

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

1 INTRODUZIONE

1.1 Generalità

Questa relazione è scritta facendo riferimento alla normativa europea EN 1337:2005 e alle istruzioni RFI-DTC-SICS-PS-SP-IFS-002-A e RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-A del gruppo Ferrovie dello Stato. Per il materiale di scorrimento PTFE si fa riferimento alla norma EN 1337-2. Per il materiale isolante si fa riferimento ai documenti ETA-17/0808.

1.2 Materiali

1.2.a Acciaio Strutturale

Tutte le parti strutturali degli appoggi sono realizzate in acciaio laminato EN 10025 tipo S355J2. Le proprietà sono riportate nella tabella seguente.

- Resilienza KV ≥ 27 J
- allungamento a rottura A ≥ 18 %

In accordo alla EN 10025 la tensione di rottura in funzione dello spessore vale:

spessore (mm)	t ≤ 100	100 < t ≤ 150	150 < t
Rottura f _u (N/mm ²)	470	450	450

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

spessore (mm)	≤ 16	>16 ≤ 40	>40 ≤ 63	>63 ≤ 80	>80 ≤ 100	>100 ≤ 150	>150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	>250
Snervamento f _y (N/mm ²)	355	345	335	325	315	295	285	275	265

Alla condizione SLU è stato considerato un coefficiente di sicurezza pari a $\gamma_m = 1.1$ 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 EN 10025 tipo S275JR o S235JR o equivalenti con le seguenti caratteristiche:

S275JR

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

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

S235JR

– tensione di rottura a trazione	$f_u \geq 340 \text{ N/mm}^2$
– tensione di snervamento (t > 20 mm)	$f_y \geq 225 \text{ N/mm}^2$
– 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:

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

Dove il coefficiente di sicurezza γ_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:

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

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

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.

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

1.2.d Acciaio inossidabile

In accordo alla EN 10088-2 tutte le superfici di scorrimento in contatto con il PTFE sono coperte da acciaio inossidabile del tipo X2CrNiMo17-12-2.

1.2.e Bulloni

I bulloni impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

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

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ tensione di rottura

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

$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$ tensione di rottura

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

1.2.f Anello elastico

L'anello elastico e le zanche di ancoraggio sono realizzati in 39NiCrMo3 in accordo con la norma EN 10083, avendo le seguenti caratteristiche:

- resilienza $KV \geq 30 \text{ J}$
- allungamento a rottura $A \geq 13\%$

Diametro [mm]	$d < 16$	$16 < d \leq 40$	$40 < d \leq 100$	$100 < d \leq 160$	$160 < d \leq 200$
Tensione di rottura f_u [N/mm ²]	980	930	880	830	740

Diametro [mm]	$d < 16$	$16 < d \leq 40$	$40 < d \leq 100$	$100 < d \leq 160$	$160 < d \leq 200$
Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	785	735	685	635	540

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

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

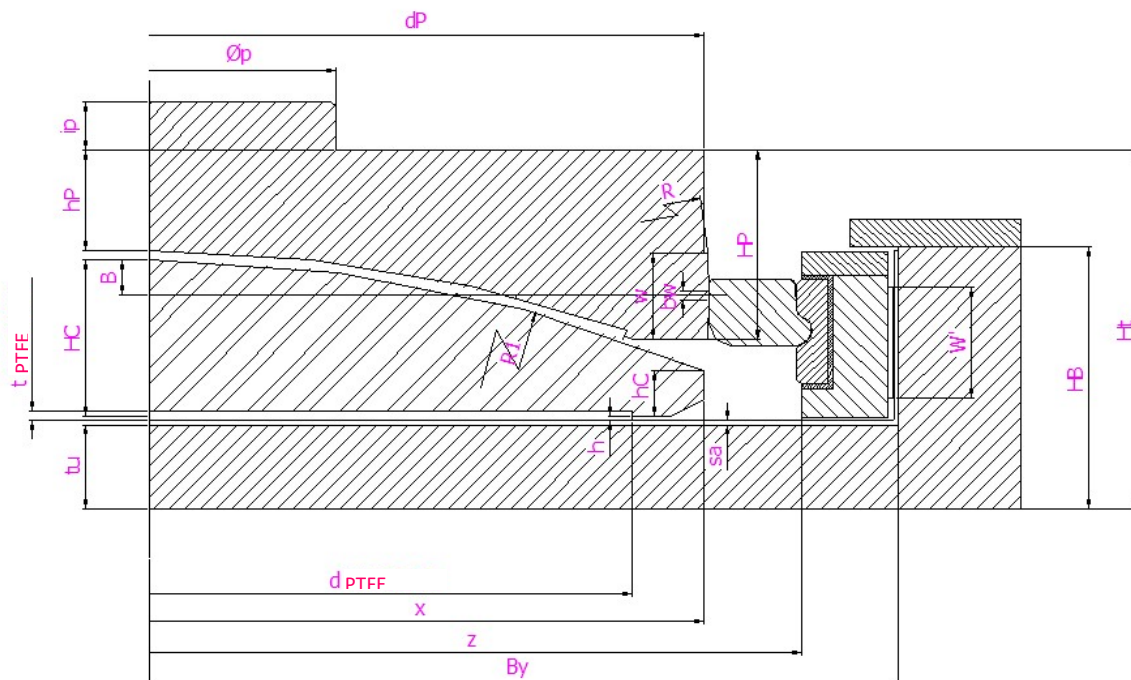
2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI

2.1 Simboli

A_b	Area resistente dei bulloni
B	Distanza tra il vertice della piastra mediana e l'asse di rotazione
d_P	Diametro della piastra superiore
d_{PTFE}	Diametro di PTFE
h	Protrusione PTFE
H	Forza orizzontale
HB	Spessore totale del basamento o della piastra di scorrimento
HC	Altezza totale della piastra mediana
hC	Altezza minima della piastra mediana
HP	Altezza totale della piastra superiore
hP	Minima altezza della piastra superiore
Ht	Altezza totale dell'appoggio
R	Raggio di curvatura del contatto piastra superiore/anello
R_1	Raggio della piastra mediana
s_a	Spessore dell'acciaio inox
t_u	Spessore del basamento o della piastra di scorrimento
t_{PTFE}	Spessore PTFE
V	Carico verticale
v	Distanza tra piastra mediana e anello per dielettricità
w	Altezza del contatto
x	Diametro della calotta sferica
z	Diametro interno dell'anello per dielettricità

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

2.2 **Geometria**



Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

2.3 Forze e spostamenti

Di seguito si riportano i carichi agenti sull'impalcato L=75m ad arco VI09 e nella tabella seguente i carichi di progetto assunti per il dimensionamento del dispositivo FXX 22500-15250-9000(-5850). Quest'ultimi essendo più gravosi rispetto ai carichi richiesti per i 75m permettono di massimizzare le sollecitazioni sul dispositivo.

		APPOGGIO FISSO					
		Reazioni degli apparecchi di appoggio					
		max N	min N	max T _{long}	min T _{long}	max T _{trasv}	min T _{trasv}
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
SLE	N max	15550	-	-	-	-	-
	N min	-	6350	-	-	-	-
	Tl max	-	-	7500	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	3500	-
SLU	N max	22257	-	-	-	-	-
	N min	-	6052	-	-	-	-
	Tl max	-	-	10360	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	4969	-
SLV	N max	12355	-	-	-	-	-
	N min	-	-	-	-	-	-
	N min (*)	-	12050	-	-	-	-
	Tl max	-	-	15225	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	8990	-
		(*) Nmin per Fh max					

				Carichi L=75m	Carichi di progetto	
SLE	Forza verticale max		V	kN	15550	15550
	Forza verticale min		V _{min}	kN	6350	6350
	Forza orizzontale longitudinale max		H _x	kN	7500	7500
	Forza orizzontale trasversale max		H _y	kN	3500	3500
	Forza orizzontale combinata statica max		H _{xy}	kN	8276.5	8276.5
	Rotazione totale		α	rad	0.05 (=3°)	0.05 (=3°)
SLU	Forza verticale max		V _{max}	kN	22257	23300
	Forza orizzontale longitudinale		H _x	kN	15225	18900
	Forza orizzontale trasversale		H _y	kN	8990	12600
	Forza orizzontale combinata max		H _{max}	kN	17681.1	22650
	Forza verticale concomitante con Hmax		V _{conc}	kN	12050	5850
	Rotazione totale		α	rad	0.05 (=3°)	0.05 (=3°)

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$H_{max} \sqrt{18830^2 + 12580^2} = 22650 \text{ kN}$$

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

3 VERIFICHE

3.1 Calcolo dell'eccentricità

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

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

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
μ_{max}	Massimo coefficiente di attrito
R_1	Raggio della piastra mediana
α_{tot}	Rotazione totale
HC	Altezza della mediana

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.

$$\sigma_{PTFE} = \frac{V_{min}}{A_{PTFE}} = \frac{6350 \cdot 10^3}{736^2 \cdot \pi/4} = 14.9 \text{ Mpa}$$

Per temperature superiori a -5 °C, il coefficiente di attrito statico su superficie curva è:

$$\mu_{max} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + \sigma_{PTFE}} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + 14.9} = 0.032$$

$$e_1 = \mu_{max} \cdot R_1 = 0.032 \cdot 1100 = 35.2 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A2})$$

$$e_3 = \alpha_{tot} \cdot (R_1 - HC) = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 116) = 51.2 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A3})$$

$$e_4 = \mu_{max} \cdot (R_1 - HC) = 0.032 \cdot (1100 - 116) = 31.5 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A4})$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$e_t = |e_1 - e_3 + e_4| = 15.5 \text{ mm}$$

S.L.U.

Per la determinazione della pressione sul PTFE viene considerato il valore massimo del carico assiale e il valore minimo del diametro di PTFE 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.

$$\sigma_{\text{PTFE}} = \frac{V_{\text{max}}}{A_{\text{PTFE}}} = \frac{23300 \cdot 10^3}{736^2 \cdot \pi/4} = 54.8 \text{ MPa}$$

$$\mu_{\text{max}} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + \sigma_{\text{PTFE}}} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + 54.8} = 0.012 < 0.025 \times \frac{2}{3} = 0.17 \rightarrow \mu_{\text{max}} = 0.017$$

$$e_1 = \mu_{\text{max}} \cdot R_1 = 0.017 \cdot 1100 = 18.3 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337-7 A2})$$

$$e_3 = \alpha_{\text{tot}} \cdot (R_1 - HC) = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 116) = 51.2 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337-7 A3})$$

$$e_4 = \mu_{\text{max}} \cdot (R_1 - HC) = 0.017 \cdot (1100 - 116) = 16.7 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337-7 A4})$$

$$e_t = |e_1 - e_3 + e_4| = 16.2 \text{ mm}$$

3.2 Verifica dell'PTFE

3.2.a Verifica della resistenza dell'PTFE

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

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

Dove:

$N_{\text{sd}} = 23300 \text{ kN}$	Massimo carico verticale SLU
$f_{k,\text{PTFE}} = 81 \text{ MPa}$	Resistenza caratteristica PTFE
$\gamma_m = 1,4$	coefficiente di sicurezza
$A_r = \lambda \cdot A$	Area ridotta
$A_{\text{PTFE}} = 425447 \text{ mm}^2$	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:

$$\lambda = 1 - \pi \cdot \frac{e_t}{d_{\text{PTFE}}} \cdot 0.75 = 1 - 3.14 \cdot \frac{16.2}{736} \cdot 0.75 = 0.95$$

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$N_{Rd,PTFE} = \frac{f_{k,PTFE}}{\gamma_m} A_r = \frac{\left(\frac{81}{1.4} \cdot 0.95 \cdot 425447\right)}{1000} = 23384.4 \text{ kN}$$

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

$$N_{Rd,PTFE} \geq N_{Sd} \rightarrow 23384.4 \text{ kN} \geq 23300 \text{ kN}$$

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

$$\sigma_p \geq 0$$

ovvero:

$$e_t(\text{SLS}) = 15.5 \text{ mm} \leq \frac{d_{PTFE}}{8} = \frac{736}{8} = 92 \text{ mm}$$

3.2.b 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:

$$h = \max \left\{ 2.2, 1.75 + \frac{d_{PTFE}}{1200} \pm 0.2 \right\}$$

Lo spessore totale della lastra deve essere:

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

dove:

h protrusione PTFE
t_{PTFE} spessore lastra PTFE

Per rispettare tali prescrizioni viene impiegata una lastra di PTFE con spessore 6mm con una protrusione di 2.5 mm. A favore di sicurezza si utilizza il valore massimo del diametro di PTFE.

$$h = \max \left\{ 2.2, 1.75 + \frac{d_{PTFE}}{1200} \pm 0.2 = 1.75 + \frac{800}{1200} \pm 0.2 \right\} = 2.5 \text{ mm}$$

$$2.2 \cdot h = 5.5 \leq t_{PTFE} = 6 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

3.3 Capacità di rotazione

3.3.a Movimento orizzontale della mediana (elemento sferico)

Al fine di garantire la rotazione del pistone la piastra mediana (elemento sferico) deve spostarsi orizzontalmente. Detto v lo spazio tra l'anello e la piastra mediana si dovrà verificare la seguente disequazione:

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

Con v pari a

$$v = \frac{z - x}{2} = \frac{980 - 850}{2} = 65 \text{ mm}$$

dove:

α	rotazione di progetto
$R_3 = R_1 + B$	distanza dal punto di contatto pistone/anello al centro della calotta = 1100 + 12 = 1112 mm
a_d	marginale
z	diametro interno dell'anello
x	diametro della piastra mediana (elemento sferico)

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

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 a_d risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$v = 65 \text{ mm} \geq \alpha_{tot} \times R_3 = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 1112 = 58.2 \text{ mm}$$

3.3.b Gap x_1

Il gap x_1 garantisce che durante la rotazione della piastra superiore (pistone) 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 $10/(d_p/2)$. La verifica risulta:

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

x_1 è calcolata geometricamente come segue:

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$x_1 = 77.5 \text{ mm}$$

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

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 a_d risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$x_1 = 77.5 \text{ mm} \geq \frac{d_p}{2} \times \alpha_{tot} = \frac{900}{2} \cdot 3 \cdot \frac{\pi}{180} = 23.6 \text{ mm}$$

3.3.c Gap w/2

Al fine di garantire che durante la rotazione del pistone il contatto sia sempre all'interno dell'anello elastico bisogna calcolare il gap w/2.

È possibile definire tale gap, ovvero la distanza tra il punto di contatto pistone/anello e la parte inferiore della piastra superiore (pistone).

La verifica è:

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

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

$$b_w = 3.04 \sqrt{\frac{1.5 H \cdot R}{E_d d_p}} = 3.04 \sqrt{\frac{1.5 \cdot 22650 \cdot 10^3 \cdot 2120}{210000 \cdot 900}} = 59.3 \text{ mm} \text{ altezza di contatto}$$

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 α_d risulta implicitamente considerato nella rotazione totale. Si può perciò scrivere:

$$\frac{w}{2} = 43 \text{ mm} \geq \max\left(\frac{b_w}{2}; \alpha \cdot d_p/2\right) = \max\left(\frac{59.3}{2}; 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{900}{2}\right) = 29.7 \text{ mm}$$

3.4 Verifica del basamento

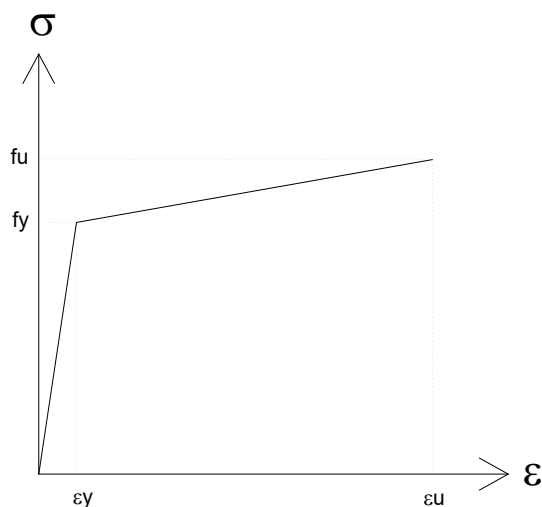
Per quanto riguarda la verifica dello stato di sollecitazioni nella piastra di base, è stata eseguita un'analisi non lineare agli elementi finiti.

Perciò, si definisce il diagramma sforzo-deformazione dell'acciaio utilizzato:

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)



con,

f_y =limite elastico, funzione dello spessore (come da tabella 7 della UNI EN 10025-2)

$\epsilon_y=f_y/E_d$, 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)

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

Si effettua una prima analisi applicando il carico massimo orizzontale sismico SLU e il carico verticale concomitante e si verifica che lo stato di deformazioni combinate secondo il criterio di Von Mises ϵ_{VM} non porti alla perdita di funzionalità degli appoggi, cioè non superi la deformazione massima ϵ_u , applicando un fattore di sicurezza γ pari a 2:

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

In seguito, per garantire la funzionalità e il transito dei treni dopo sisma, si verifica che lo spostamento residuo massimo $d_{res,max}$ dell'elemento analizzato sia inferiore al gioco ammesso dal capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili (parte II – sezione 12), applicando un fattore di sicurezza pari a 1.5:

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

I risultati sono riportati nell'allegato A.

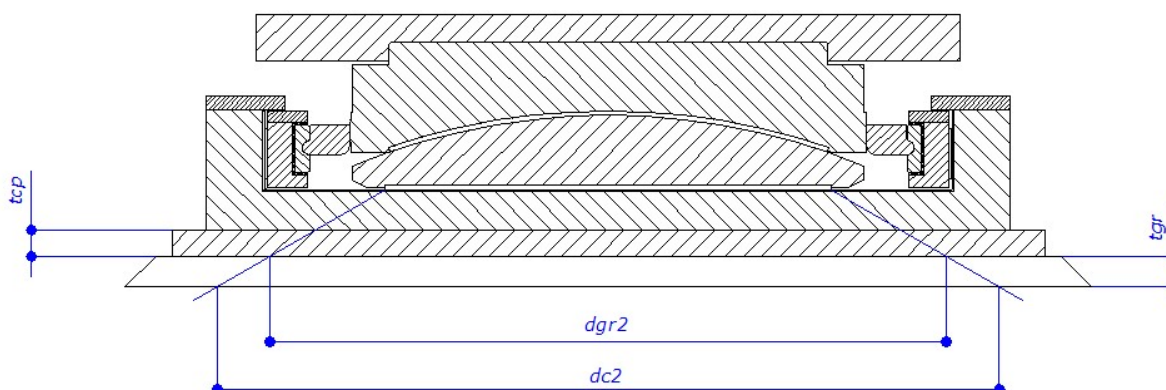
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

3.5 Calcestruzzo

L'area di contatto sul calcestruzzo viene ottenuta considerando una diffusione di 60° nell'acciaio e nel calcestruzzo.



dove,

$$d_{gr2} = d_{PTFE} + (2t_u + 2t_{cp}) \operatorname{tg}60^\circ = 800 + (2 \cdot 100 + 2 \cdot 25) \operatorname{tg}60^\circ = 1233 \text{ mm}$$

$$d_{c2} = d_{gr2} + 2 t_{gr2} \cdot \operatorname{tg}60^\circ = 1233 + 2 \cdot 50 \cdot \operatorname{tg}60^\circ = 1406 \text{ mm}$$

t_{gr2} spessore della malta ad alta resistenza

La condizione più gravosa per la verifica della sezione in calcestruzzo è quella allo stato limite SLV in cui si ha la massima sollecitazione orizzontale.

La verifica della pressione sul calcestruzzo allo stato limite ultimo SLU tiene conto del contributo dei momenti dovuti alle eccentricità, calcolati come segue:

$$M_1 = V \mu_{\max} \cdot R_1 = 5850 \cdot 0.034 \cdot (1100 \cdot 10^{-3}) = 216 \text{ kNm}$$

$$M_{2,long} = \mu_{\text{acciaio}} \cdot H_{\max,long} \frac{d_p}{2} = 0.2 \cdot 18900 \cdot \frac{900 \cdot 10^{-3}}{2} = 1701 \text{ kNm}$$

$$M_{2,trasv} = \mu_{\text{acciaio}} \cdot H_{\max,trasv} \frac{d_p}{2} = 0.2 \cdot 12600 \cdot \frac{900 \cdot 10^{-3}}{2} = 1134 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \alpha_{tot} \cdot (R_1 - HC) V = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 116) \cdot 10^{-3} \cdot 5850 = 299 \text{ kNm}$$

$$M_{4,long} = H_{\max,long} \cdot b_H = 18900 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 3969 \text{ kNm}$$

$$M_{4,trasv} = H_{\max,trasv} \cdot b_H = 12600 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 2646 \text{ kNm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

In accordo al manuale di progettazione delle opere civili (parte II - sezione 2), i momenti dovuti alle rotazioni (e_3) e alle forze orizzontali (e_4) non si sommano. Perciò:

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

$$M_{Ed,long} = \max(216 + 1701 - 299; 216 + 1701 + 3969) = 5886 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,trasv} = \max(216 + 1134 - 299; 216 + 1134 + 2646) = 3996 \text{ kNm}$$

Nel calcolo di M_1 , il coefficiente di attrito statico si ottiene considerando il carico sismico verticale concomitante:

$$\sigma_{PTFE} = \frac{V}{A_{PTFE}} = \frac{5850 \cdot 10^3}{736^2 \cdot \pi/4} = 13.8 \text{ Mpa}$$

$$\mu_{PTFE} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + \sigma_{PTFE}} = \frac{1.2 \times 2/3}{10 + 13.8} = 0.034$$

Nel calcolo dei momenti M_2 ed M_4 si richiamano i parametri seguenti:

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

d_p diametro del pistone

b_H braccio della forza orizzontale

Visto l'importanza del carico orizzontale ULS sismico rispetto al carico verticale concomitante, non si può trascurare l'effetto di trazione presente nelle viti imbullonate nelle zanche inferiori di ancoraggio. Perciò si considererà la sezione di calcestruzzo reagente a compressione con diametro d_{c2} e limite di resistenza f_{cd} e delle barre di rinforzo reagenti a trazione di area pari all'area del nocciolo della vite e limite di resistenza f_{yd} .

Si calcola il diagramma M-N di resistenza utilizzando il software di calcolo VcaSLU del prof. Gelfi e si verifica che il momento agente M_{Ed} sia minore o uguale al momento resistente M_{Rd} .

In particolare,

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \times 1.3 = \frac{0.85 \cdot 32}{1.5} \times 1.3 = 23.6 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{0.9 f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 1000}{1.25} = 720 \text{ MPa (in accordo alla EN 1993-1-8, tabella 3.4)}$$

$$d_{c2} = 1406 \text{ mm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$A_s = 16 \cdot 1121 \text{ mm}^2$$

La verifica di resistenza a compressione del calcestruzzo risulta soddisfatta:

$$M_{Ed,long} = 5886 \text{ kNm} \leq M_{Rd,long} = 8314 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,trasv} = 3996 \text{ kNm} \leq M_{Rd,trasv} = 5760 \text{ kNm}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: F3_basamento_SLV2_PTFE

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: F3_basamento_SLV2

Sezione circolare cava N° barre: 16 Zoom

N°	As [mm²]	x [mm]	y [mm]
1	1121	-650	735
2	1121	-390	735
3	1121	-130	735
4	1121	130	735
5	1121	390	735
6	1121	650	735

Sezioni: Raggio esterno: 703 [mm], Raggio interno: 0 [mm], N° barre uguali: 0, Diametro barre: 0 [mm], Copriferro (baric.): 0 [mm]

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 5850 kN, M_{xEd}: 5886 kNm, M_{yEd}: 3996 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls, Coord.[mm] xN: 0, yN: 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: S.L.U. + Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

Vertici: 50 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

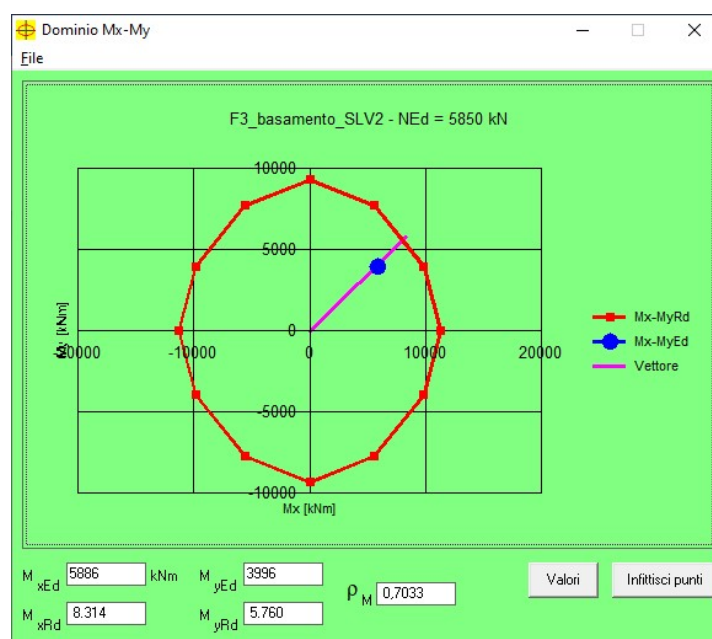
angolo asse neutro θ°: 317

Precompresso:

Materiali: C32/40_RI

10,9	67,5 %	2	3,5	23,6	3,5	0,8	13,5	0,8	2,257								
E _{su}	f _{yd}	E _s	E _s /E _c	E _{syd}	σ _{c,adm}	τ _{co}	τ _{c1}	ε _c	ε _s	σ _c	σ _s	ε _c	ε _s	d	x	x/d	δ

N_{xRd}: 8.314 kN m, M_{yRd}: 5.760 kN m, σ_c: -23,6 N/mm², ε_c: 3,5 %, ε_s: 8,558 %, d: 1.684 mm, x: 488,8 mm, x/d: 0,2903, δ: 0,8028



Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

3.6 Ancoraggi

L'ancoraggio viene eseguito mediante zanche incassate nella piastra di base e annegate nel calcestruzzo.

Si definiscono le seguenti quantità:

\varnothing_b	diametro del bullone = 42 mm
\varnothing_z	diametro min. della zanca = 115 mm
\varnothing'_z	diametro max. della zanca = 130 mm
n_z	numero delle zanche = 16 zanche
n'_z	numero effettivo di anelli nella zanca = 8
\varnothing_p	diametro del pozzetto = 225 mm
l_p	profondità del pozzetto = 515 mm
n_p	numero di pozzetti = 16
f_{yk}	tensione di snervamento = 635 MPa
γ_m	coefficiente parziale di sicurezza pari uguale a 1.1

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

$$\varnothing_{min} = \sqrt{\frac{3.5(H/n_z)}{2.5\sqrt{(R_{ck}f_{yk})}}} = \sqrt{\frac{3.5(22650 \cdot 10^3/16)}{2.5\sqrt{(75 \cdot 635)}}} = 95 \text{ mm} \leq \varnothing_z = 115 \text{ mm}$$

La verifica di resistenza a taglio nella sezione minore della zanca è la seguente:

$$\tau = \frac{H/n_z}{(\varnothing_z^2 - \varnothing_b^2)\pi/4} = \frac{22650 \cdot 10^3/16}{(115^2 - 42^2)\pi/4} = 157 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_m\sqrt{3}} = 333 \text{ MPa}$$

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

$$p = \frac{H/n_p}{\varnothing_p l_p} = \frac{22650 \cdot 10^3/16}{225 \cdot 515} = 12 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 23.6 \text{ MPa}$$

Si calcola il valore di sforzo di pressione che si sviluppa sugli anelli della zanca di ancoraggio per effetto della forza di trazione nella situazione di minimo carico verticale, come indicato nel paragrafo 3.5. A favore di sicurezza, si assume come valore di trazione agente il valore limite di trazione del bullone e come valore limite di pressione sulla malta di allettamento $1.3\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c$. Non si considera reagente il primo anello ma soltanto gli anelli successivi in quanto sono disposti al di sotto dell'armatura di rinforzo del baggiolo. Perciò, la verifica è la seguente:

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

$$\sigma_m = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{n'_z(\phi'_z{}^2 - \phi_z^2)\pi/4} = \frac{1121 \cdot 720}{8(130^2 - 115^2)\pi/4} = 35 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 1.3\alpha_{cc}f_{ck}/\gamma_c = 44 \text{ MPa}$$

Per quanto riguarda la verifica di contatto della zanca incassata nel basamento, si fa riferimento all'analisi agli elementi finiti descritta nel paragrafo 3.4. I risultati sono riportati nell'allegato A e rispettano i criteri limiti già indicati nel paragrafo 3.4.

3.7 Perno e contropiastra

Definite le seguenti quantità:

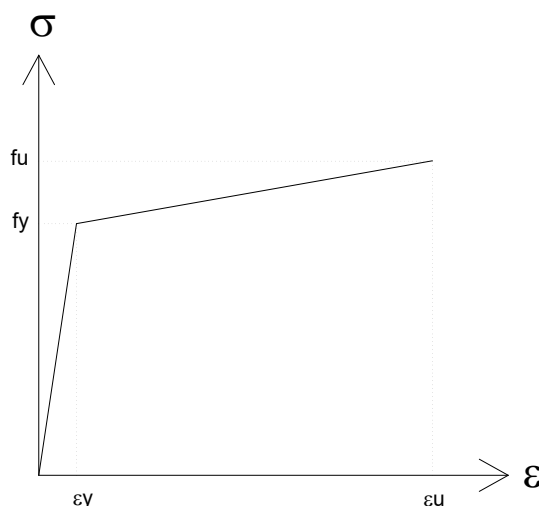
ϕ_p	diametro della sezione resistente minore del perno = 855 mm
A	area sezione resistente minore del perno = 574146 mm ²
f_{up}	resistenza ultima dell'acciaio del perno = 450 MPa
γ_{M2}	coefficiente di sicurezza=1.25

La verifica a taglio del perno risulta la seguente:

$$H = 22650 \text{ kN} \leq F_{vrd} = \frac{0.6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 574146 \cdot 450}{1.25} = 124015 \text{ kN}$$

Per quanto riguarda la verifica delle sollecitazioni nella contropiastra, è stata eseguita un'analisi non lineare agli elementi finiti poiché i carichi orizzontali sono molto rilevanti e quindi la verifica a rifollamento valida per piastre non vincolate ai bordi risulta troppo cautelativa.

Perciò, 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)

$\epsilon_y=f_y/E_d$, 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)

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

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

Si effettua una prima analisi applicando il carico massimo orizzontale sismico SLU e il carico verticale concomitante e si verifica che lo stato di deformazioni combinate secondo il criterio di Von Mises ϵ_{VM} non porti alla perdita di funzionalità degli appoggi, cioè non superi la deformazione massima ϵ_u , applicando un fattore di sicurezza γ pari a 2:

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

In seguito, per garantire la funzionalità e il transito dei treni dopo sisma, si verifica che lo spostamento residuo massimo $d_{res,max}$ dell'elemento analizzato sia inferiore al gioco ammesso dal capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili (parte II – sezione 12), applicando un fattore di sicurezza pari a 1.5:

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

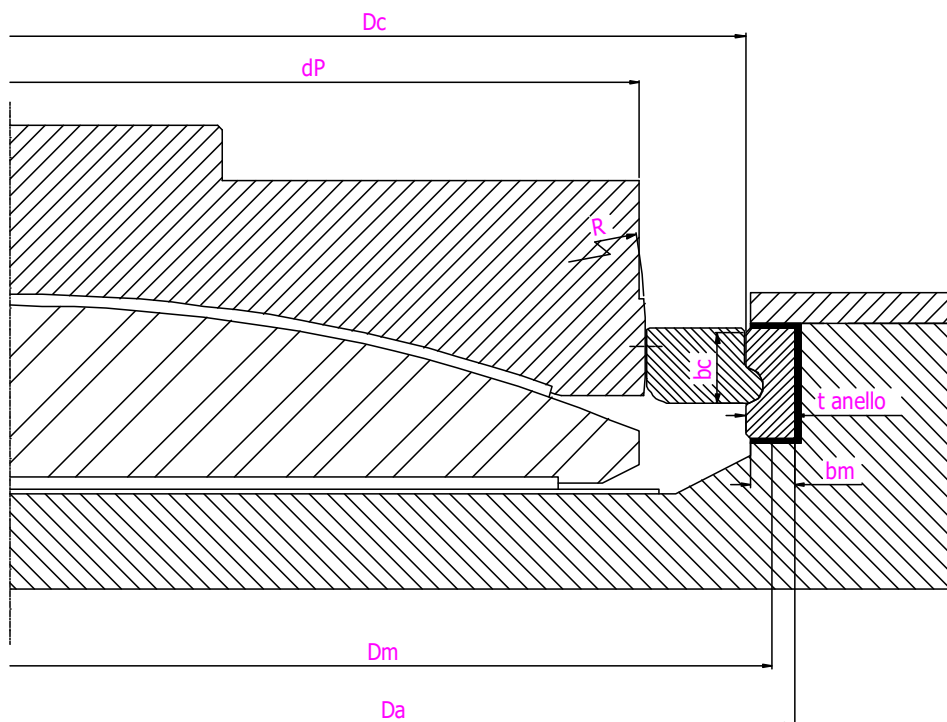
I risultati sono riportati nell'allegato B.

3.8 Pressioni di contatto fra piastra superiore e piastra di scorrimento

Il trasferimento delle forze orizzontali tra piastra superiore e basamento avviene tramite l'anello elastico e l'anello di posizionamento.

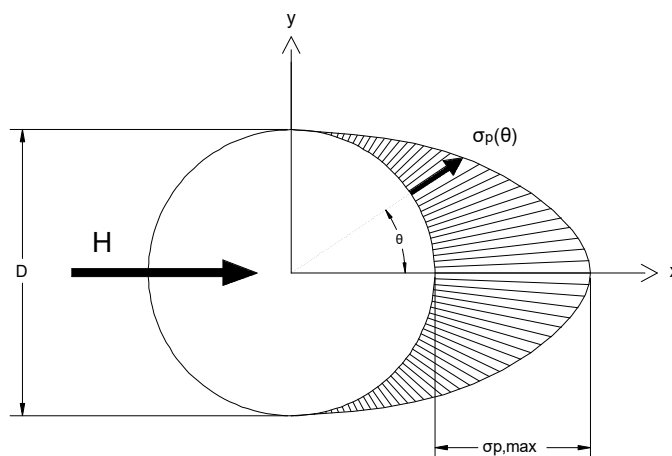
Per tutte le verifiche che seguiranno, ci si riferisca alle dimensioni riportate nella figura sottostante:

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
 Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)



3.8.a Contatto curvo fra piastra superiore e anello elastico

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.



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

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

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

La verifica di pressione massima è la seguente:

$$\sigma_{p,max} = \sqrt{\frac{H \cdot E_d}{15R \cdot D}} = \sqrt{\frac{22650 \cdot 10^3 \cdot 210000}{15(2120) \cdot 900}} = 407.7 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.1} = 409.1 \text{ MPa}$$

Con,

H forza orizzontale applicata

D diametro della piastra di contatto

R raggio di curvatura del contatto

E_d modulo elastico dell'acciaio impiegato per la realizzazione della piastra superiore assunto pari a 210000N/mm²

f_{uk} tensione di rottura

3.8.b Contatto piano fra piastra di base e piastra di scorrimento

Il contatto tra la piastra di base e la piastra di scorrimento avviene mediante una lastrina isolante di PTFE.

La pressione sulla lastrina di PTFE è pari a:

$$H_{Rd,long,ISOGLIDE} = \frac{f_{k,ISOGLIDE}}{\gamma_m} B_{long,d} \cdot w' = \frac{180}{1.4} \cdot 1290 \cdot 115 = 19074 \text{ kN} \geq H = 18900 \text{ kN}$$

$$H_{Rd,trasv,ISOGLIDE} = \frac{f_{k,ISOGLIDE}}{\gamma_m} B_{trasv,d} \cdot w' = \frac{180}{1.4} \cdot 1000 \cdot 115 = 14786 \text{ kN} \geq H = 12600 \text{ kN}$$

w' è l'altezza della lastra di PTFE incassata nell'elemento *Piastra di scorrimento* mentre B_{long,d} e B_{trasv,d} rappresentano la lunghezza di detta lastra nelle due direzioni ortogonali all'asse longitudinale e trasversale.

3.9 Calcolo della rigidezza dell'anello elastico

Utilizzando il programma Straus7 si è eseguita un'analisi agli elementi finiti dell'anello smorzante soggetto ad una forza orizzontale pari a 300 kN distribuita.

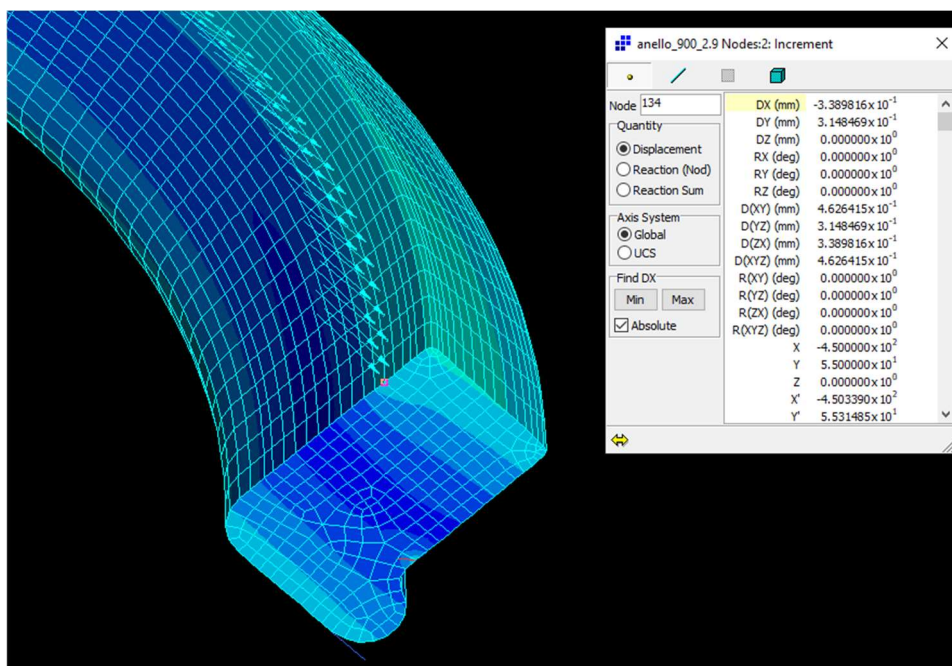
Data la simmetria, è stata schematizzata una metà dell'anello servendosi di una mesh di 25900 elementi brick ad 8 nodi per complessivi 32200 nodi.

Come condizione di carico si è distribuita una forza orizzontale di 300 kN con legge sinusoidale, secondo quanto riportato in precedenza, ottenendo una deformazione elastica utile di 0.34 mm (nodo 134).

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)



La rigidezza di calcolo del dispositivo risulta essere:

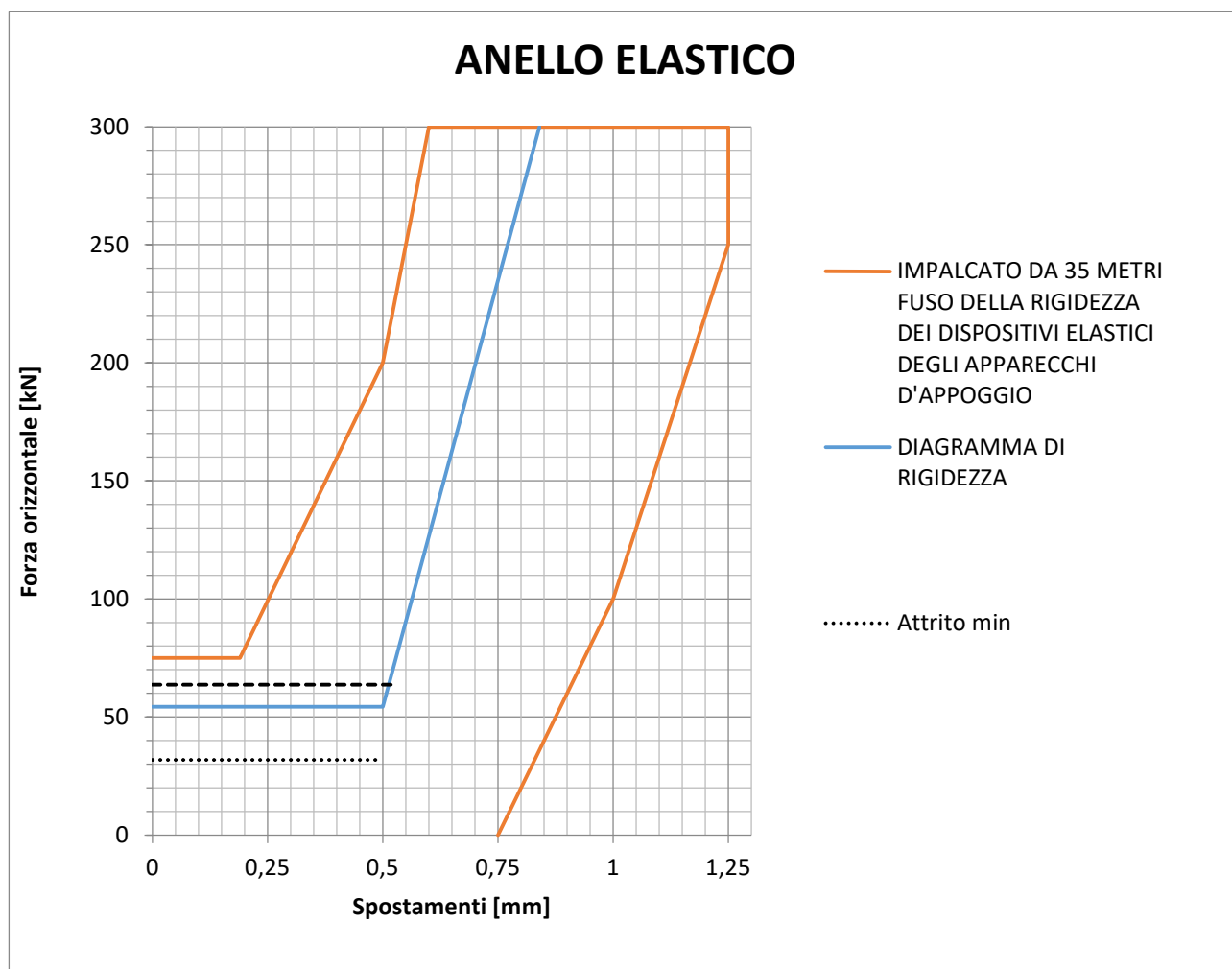
$$K \cong 300/0.34 = 880 \text{ kN/mm}$$

Il diagramma di rigidezza atteso del dispositivo elastico (ottenuto considerando un carico permanente V_{Perm} e un coefficiente di attrito del PTFE di primo distacco $\mu_{\text{PTFE},1}$) è rappresentato in seguito, insieme al fuso della rigidezza, con:

$$V_{\text{Perm}} = 6350 \text{ kN}$$

$$0.005 \leq \mu_{\text{PTFE},1} \leq 0.010$$

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)



In allegato C si riportano i risultati dell'analisi non lineare in termini di deformazioni dell'anello elastico in condizioni sismiche SLV.

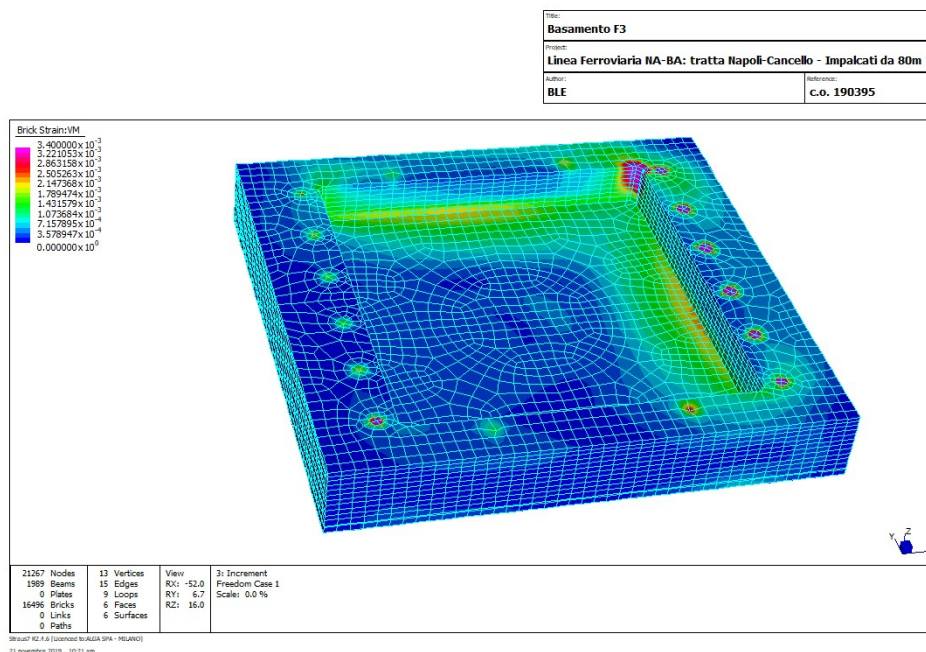
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

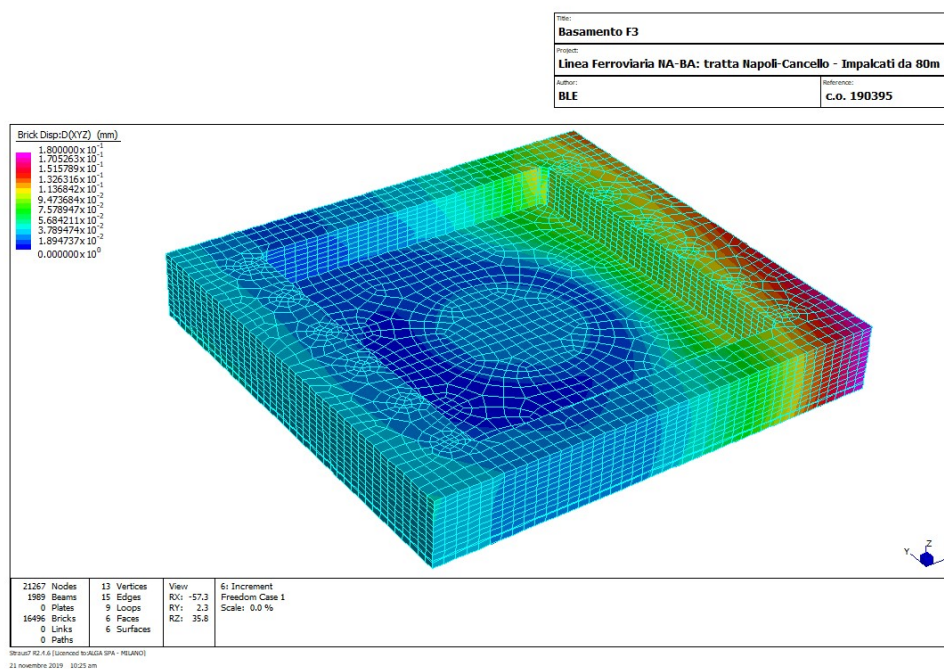
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

APPENDICE A: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DEL BASAMENTO

A1. Piastra di base dell'appoggio fisso in fase sismica (deformazione massima = 0.34% < 5%):



A2. Piastra di base dell'appoggio fisso in fase post-sismica (spostamento residuo massimo = 0.18mm < 1mm/1.5=0.67mm):

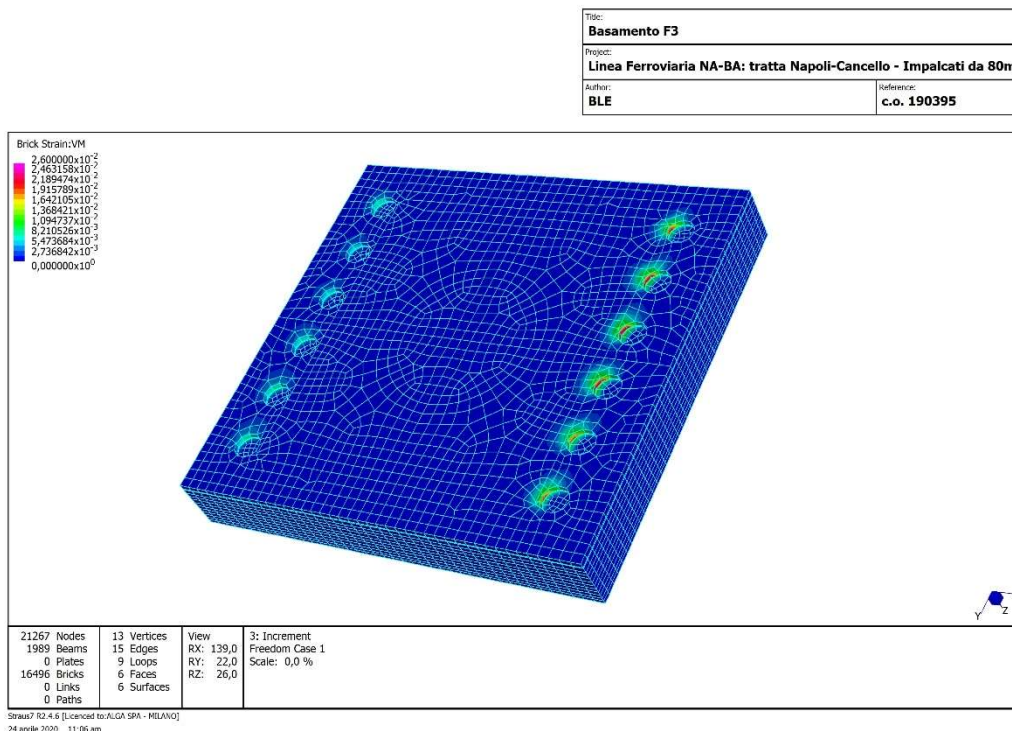


Relazione tecnica

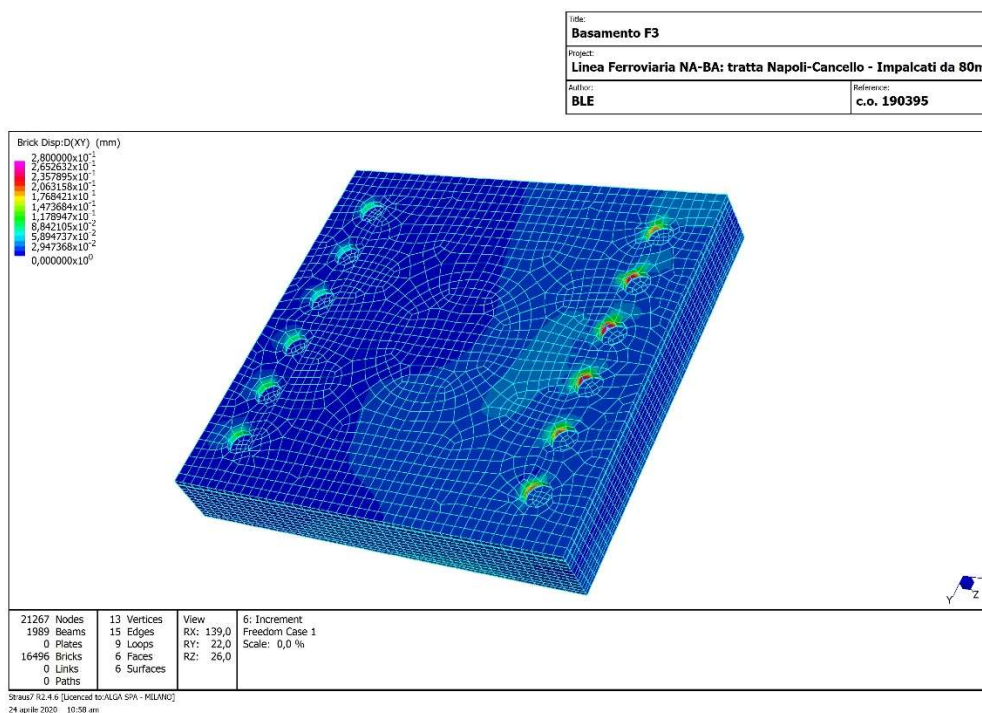
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

A3. Zona di contatto zanca / piastra di base dell'appoggio fisso in fase sismica (deformazione massima = 2.6% < 5%):



A4. Zona di contatto zanca / piastra di base dell'appoggio fisso in fase post-sismica (spostamento residuo massimo = 0.28mm < 0.5mm/1.5=0.33mm):



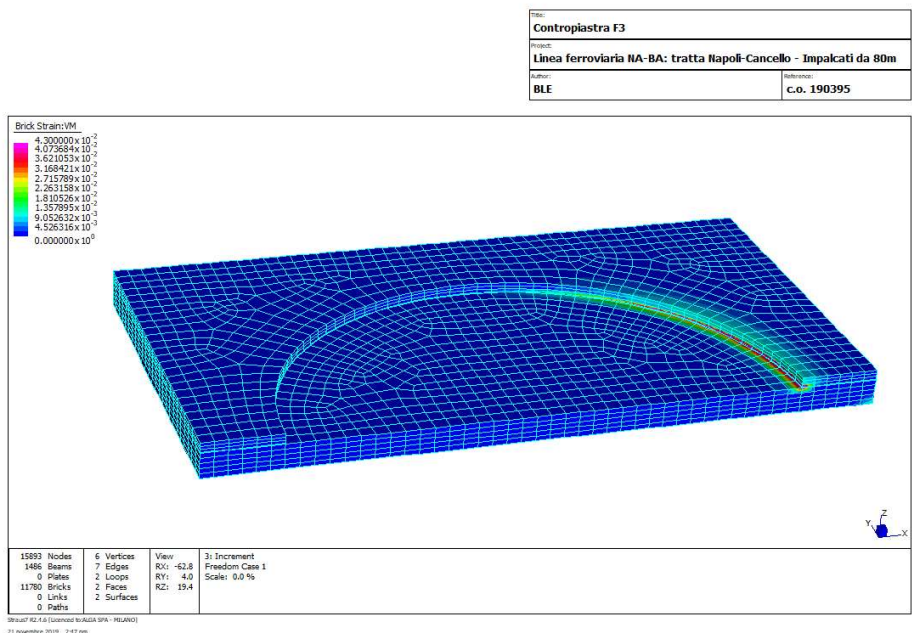
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

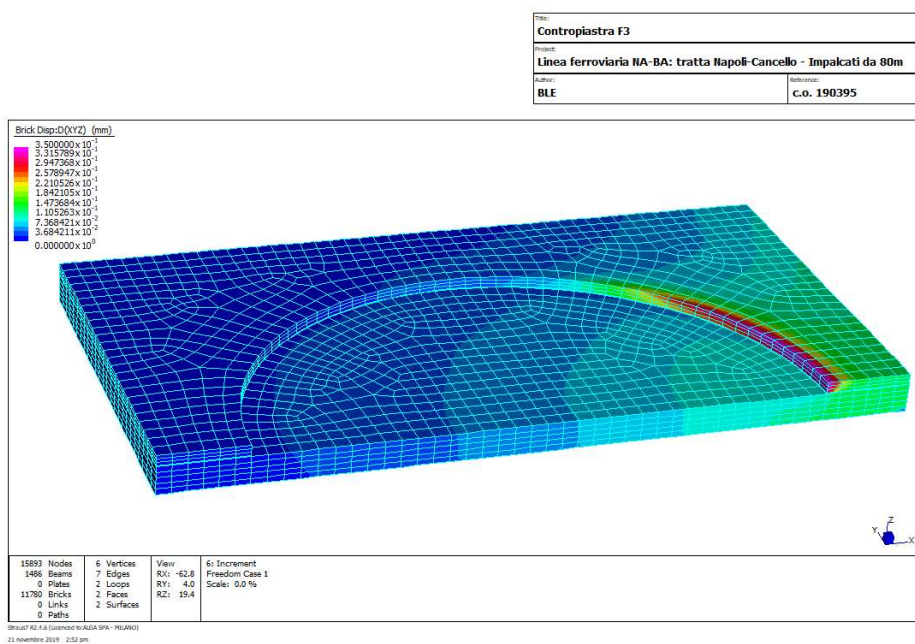
Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA CONTROPIASTRA

B1. Contropiastra dell'appoggio fisso in fase sismica (deformazione massima = 4.3% < 5%):



B2. Contropiastra dell'appoggio fisso in fase post-sismica (spostamento residuo massimo = 0.3mm < 1mm/1.5=0.66mm):



Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D PTFE

Appoggio fisso cedevole FXX 22500-15250-9000(-5850)

APPENDICE C: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELL'ANELLO ELASTICO

C1. Deformazioni dell'anello elastico in fase sismica (deformazione massima = 0.75% < 5%)

Title: Anello elastico F3	
Project: Linea ferroviaria NA-BA: tratta Napoli-Cancello - Impalcati da 80m	
Author: BLE	Reference: c.o. 190395

