

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 unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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	V109B0	003	A		di

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	ing. Alberto LEVRATO	

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: IN1712E12CLV109B0003A.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 ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

Tratta AV/AC Verona-Padova - Impalcati ad arco (75m) VI09

Disegno di riferimento 220127-GD-21

c.o. 220127

PAESE	CLIENTE
	SALCEF S.P.A.

Rif.:220127-CN-21-B



29 Novembre 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 ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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	29/11/2022	Tabella dei carichi	LFI	CGI	CGI

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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	ISOGLIDE	7
1.2.d	Acciaio inossidabile	8
1.2.e	Bulloni	8
1.2.6	Zanche di ancoraggio	8
2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI.....	9
2.1	Simboli.....	9
2.2	Geometria.....	10
2.3	Forze e spostamenti.....	11
3	VERIFICHE.....	12
3.1	Calcolo dell'eccentricità.....	12
3.2	Verifica dell'ISOGLIDE.....	13
3.2.a	Verifica della resistenza dell'ISOGLIDE	13
3.2.b	Verifica delle dimensioni dell'ISOGLIDE.....	14
3.3	Capacità di rotazione.....	15
3.3.a	Movimento orizzontale della mediana (elemento sferico).....	15
3.3.b	Gap x1	15
3.3.c	Gap w/2	16
3.4	Verifica della piastra di scorrimento	16
3.5	Calcestruzzo.....	18
3.6	Ancoraggi.....	21
3.7	Perno e contropiastra.....	22
3.8	Requisiti aggiuntivi per il trasporto e l'installazione	23
3.9	Pressioni di contatto fra piastra superiore e piastra di scorrimento.....	23
3.9.a	Contatto curvo fra piastra superiore e piastra di posizionamento	23
3.9.b	Contatto piano fra piastra di base e piastra di scorrimento.....	24
	APPENDICE A: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA PIASTRA DI SCORRIMENTO.....	25

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA CONTROPIASTRA..... 27

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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 ISOGLIDE si fa riferimento ai documenti ETA-17/0808 ed EAD 050009-00-0301 "Spherical and cylindrical bearing with special sliding material made of fluoropolymer".

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)	$t \leq 100$	$100 < t \leq 150$	$150 < t$
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

- tensione di rottura a trazione $f_u \geq 410$ N/mm²
- tensione di snervamento ($t > 20$ mm) $f_y \geq 265$ N/mm²
- resilienza a 20°C KV ≥ 27 J

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

- allungamento a rottura $A \geq 18 \%$

S235JR

- tensione di rottura a trazione $f_u \geq 340 \text{ N/mm}^2$
- tensione di snervamento ($t > 20 \text{ mm}$) $f_y \geq 225 \text{ N/mm}^2$
- resilienza a 20°C $KV \geq 27 \text{ J}$
- allungamento a rottura $A \geq 18 \%$

1.2.c ISOGLIDE

Le superfici di scorrimento sono costituite da un materiale antifrizione, in accordo al certificato ETA-17/0808. La resistenza a compressione allo SLU del materiale di scorrimento è pari a:

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

Dove il coefficiente di sicurezza γ_M è pari a 1.4.

Le resistenze caratteristiche a compressione del materiale di scorrimento sono valide per temperature effettive fino a 90°C. Per gli appoggi con temperatura effettiva superiore a 35°C si prevede la riduzione della resistenza a compressione. Per temperature al di sopra di 35 °C fino ad un massimo di 90°C, le resistenze caratteristiche a compressione saranno valutate con una interpolazione lineare dei valori dati nella tabella seguente:

Temperatura effettiva T [°C]	≤ 35°C	48 °C	60°C	70°C	80°C	90°C
Resistenza caratteristica a compressione $f_{k,ISOGLIDE}$ [MPa]	180	150	135	120	100	90

Il coefficiente di attrito statico dell'ISOGLIDE è calcolato a seconda della temperatura effettiva minima e della pressione di contatto usando le seguenti formule:

$$- 50 \text{ °C} \leq T < - 35 \text{ °C} \quad 0.032 \leq \mu_{st} = \frac{3.9}{60 + \sigma_{ISOGLIDE}} \leq 0.052$$

$$- 35 \text{ °C} \leq T < - 5 \text{ °C} \quad 0.020 \leq \mu_{st} = \frac{2.0}{40 + \sigma_{ISOGLIDE}} \leq 0.036$$

$$T \geq - 5 \text{ °C} \quad 0.011 \leq \mu_{st} = \frac{1.35}{60 + \sigma_{ISOGLIDE}} \leq 0.018$$

Con $\sigma_{ISOGLIDE}$ si indica la pressione media sul disco di ISOGLIDE.

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

1.2.d Acciaio inossidabile

In accordo alla EN 10088-2 tutte le superfici di scorrimento in contatto con l'ISOGLIDE 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 $\gamma_{M2} = 1,25$

1.2.6 Zanche di ancoraggio

Le zanche di ancoraggio sono realizzate 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 ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

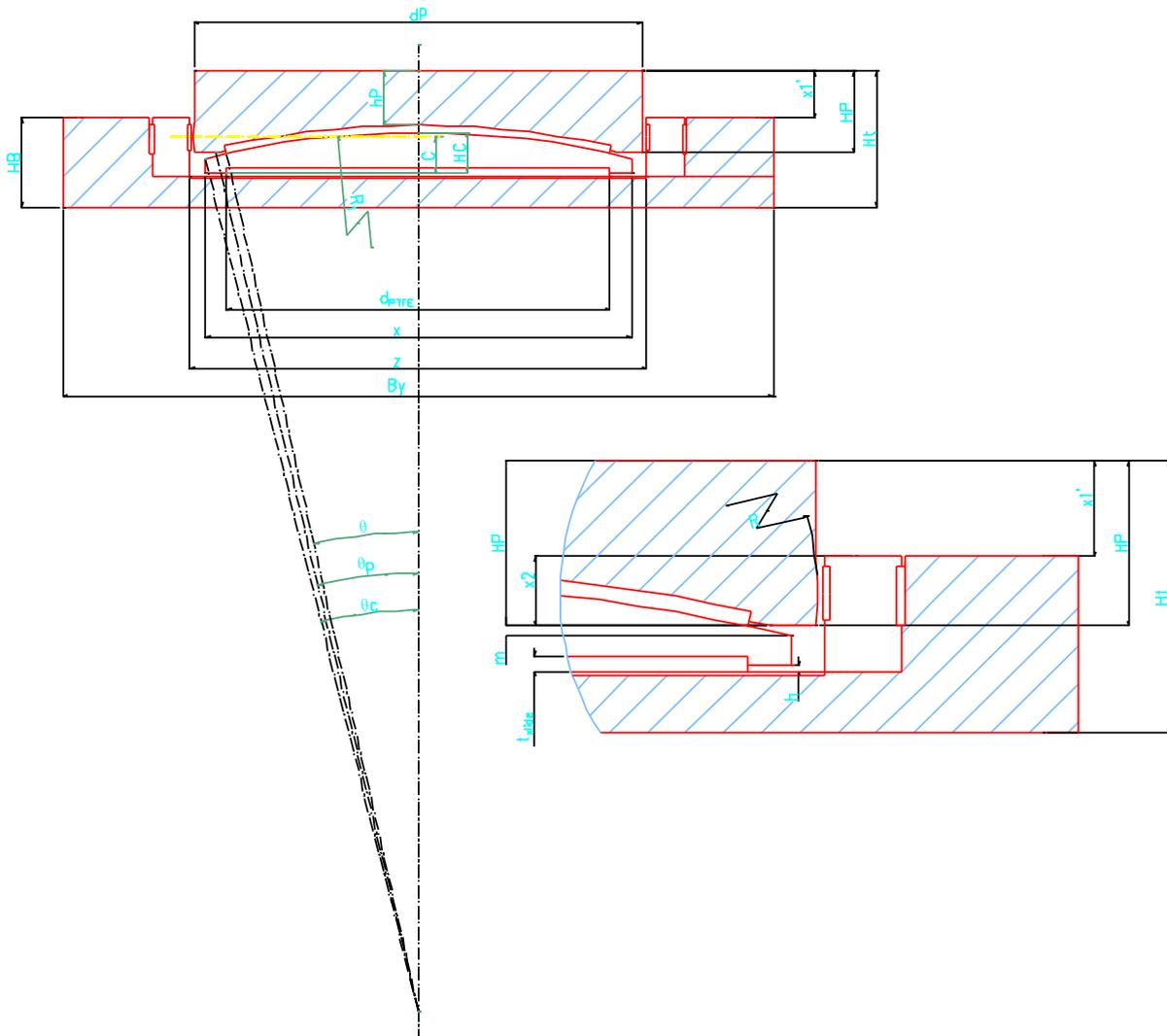
2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE, FORZE E SPOSTAMENTI

2.1 Simboli

A_b	Area resistente dei bulloni
b	Larghezza della guida
B	Distanza tra il vertice della piastra mediana e l'asse di rotazione
B_x	Lunghezza della piastra di scorrimento
B_y	Larghezza della piastra di scorrimento
d_P	Diametro della piastra superiore
$d_{ISOGLIDE}$	Diametro del ISOGLIDE
h	Protrusione ISOGLIDE
H	Forza orizzontale
HB	Spessore totale 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 curvature del contatto piastra superiore/anello
R_1	Raggio della piastra mediana
s_a	Spessore dell'acciaio inox
t_u	Spessore della piastra di scorrimento
$t_{ISOGLIDE}$	Spessore ISOGLIDE
v	Distanza tra piastra mediana e anello per dielettricità

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

2.2 Geometria



Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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 GG 22500-5250.320(-5950). Quest'ultimi essendo più gravosi rispetto ai carichi richiesti per i 75m permettono di massimizzare le sollecitazioni sul dispositivo.

		APPOGGIO UNIDIREZIONALE					
		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	-	6400	-	-	-	-
	Tl max	-	-	-	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	2700	-
SLU	N max	22212	-	-	-	-	-
	N min	-	6119	-	-	-	-
	Tl max	-	-	-	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	3796	-
SLV	N max	11815	-	-	-	-	-
	N min	-	-	-	-	-	-
	N min (*)	-	11850	-	-	-	-
	Tl max	-	-	-	-	-	-
	Tt max	-	-	-	-	5205	-
(*) Nmin per Fh max							

				Carichi L=75m	Carichi di progetto	
SLE	Forza verticale max		V	kN	15550	15550
	Forza verticale min		V _{min}	kN	6400	6400
	Forza orizzontale trasversale max		H _y	kN	2700	2700
	Rotazione totale		α	rad	0.05 (=3°)	0.05 (=3°)
SLU	Forza verticale max		V _{max}	kN	22212	23300
	Forza orizzontale trasversale		H _y	kN	5205	7000
	Forza verticale concomitante con Hmax		V _{conc}	kN	11850	5950
	Rotazione totale		α	rad	0.05 (=3°)	0.05 (=3°)
	Spostamento max		d _x	mm	±160	

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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 sull'ISOGLIDE viene considerato il valore minimo del carico assiale per massimizzare le eccentricità. Questa condizione risulta infatti la peggiore al fine di soddisfare la non decompresibilità del disco di ISOGLIDE.

$$\sigma_{ISOGLIDE} = \frac{V_{min}}{A_{ISOGLIDE}} = \frac{6400 \cdot 10^3}{520^2 \cdot \pi/4} = 30.14 \text{ Mpa}$$

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

$$\mu_{max} = \frac{1.35}{60 + \sigma_{ISOGLIDE}} = \frac{1.35}{60 + 30.14} = 0.0150$$

$$e_1 = \mu_{max} \cdot R_1 = 0.0150 \cdot 1100 = 16.5 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A2})$$

$$e_3 = \alpha_{tot} \cdot (R_1 - HC) = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 77) = 53.6 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A3})$$

$$e_4 = \mu_{max} \cdot (R_1 - HC) = 0.015 \cdot (1100 - 77) = 15.3 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A4})$$

$$e_t = |e_1 - e_3 + e_4| = 21.8 \text{ mm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

S.L.U.

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

$$\sigma_{\text{ISOGLIDE}} = \frac{V_{\text{max}}}{A_{\text{ISOGLIDE}}} = \frac{23300 \cdot 10^3}{520^2 \cdot \pi/4} = 109.7 \text{ MPa}$$

$$\mu_{\text{max}} = \frac{1.35}{60 + \sigma_{\text{ISOGLIDE}}} = \frac{1.35}{60 + 109.7} = 0.008 < 0.011 \rightarrow \mu_{\text{max}} = 0.011$$

$$e_1 = \mu_{\text{max}} \cdot R_1 = 0.011 \cdot 1100 = 12.1 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A2})$$

$$e_3 = \alpha_{\text{tot}} \cdot (R_1 - HC) = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 77) = 53.2 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A3})$$

$$e_4 = \mu_{\text{max}} \cdot (R_1 - HC) = 0.011 \cdot (1100 - 77) = 11.3 \text{ mm} \quad (\text{EN 1337 - 7 A4})$$

$$e_t = |e_1 - e_3 + e_4| = 29.8 \text{ mm}$$

3.2 Verifica dell'ISOGLIDE

3.2.a **Verifica della resistenza dell'ISOGLIDE**

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

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

Dove:

$$N_{\text{sd}} = 23300 \text{ kN}$$

$$f_{k,\text{ISOGLIDE}} = 180 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = 1,4$$

$$A_r = \lambda \cdot A$$

$$A_{\text{ISOGLIDE}} = 212372 \text{ mm}^2$$

$$\lambda$$

Massimo carico verticale SLU

Resistenza caratteristica ISOGLIDE

coefficiente di sicurezza

Area ridotta

Area ISOGLIDE

Fattore di riduzione dell'area di ISOGLIDE (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:

$$\lambda = 1 - \pi \cdot \frac{e_t}{d_{\text{ISOGLIDE}}} \cdot 0.75 = 1 - 3.14 \cdot \frac{29.8}{520} \cdot 0.75 = 0.86$$

Relazione tecnica
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

$$N_{Rd,ISOGLIDE} = \frac{f_{k,ISOGLIDE}}{\gamma_m} A_r = \frac{\left(\frac{180}{1.4} \cdot 0.86 \cdot 212372\right)}{1000} = 23613 \text{ kN}$$

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

$$N_{Rd,ISOGLIDE} \geq N_{Sd} \rightarrow 23613 \text{ kN} \geq 23300 \text{ kN}$$

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

$$\sigma_p \geq 0$$

ovvero:

$$e_t(\text{SLS}) = 21.8 \text{ mm} \leq \frac{d_{ISOGLIDE}}{8} = \frac{520}{8} = 65 \text{ mm}$$

3.2.b Verifica delle dimensioni dell'ISOGLIDE

Il documento EAD 050009-00-0301 prevede che le lastre di ISOGLIDE siano incassate nella piastra di supporto. Nello specifico viene prescritto che la protrusione dell'ISOGLIDE sia pari a:

$$h = \max \left\{ 2.5, 2.25 + \frac{d_{ISOGLIDE}}{2000} \pm 0.2 \right\}$$

Lo spessore totale della lastra deve essere:

$$2.75 \cdot h \leq t_{ISOGLIDE} \leq 10 \text{ mm}$$

dove:

h protrusione ISOGLIDE
t_{ISOGLIDE} spessore lastra ISOGLIDE

Per rispettare tali prescrizioni viene impiegata una lastra di ISOGLIDE con spessore 8mm con una protrusione di 2.6 mm.

$$h = \max \left\{ 2.5, 2.25 + \frac{d_{ISOGLIDE}}{2000} \pm 0.2 = 2.25 + \frac{615}{2000} \pm 0.2 \right\} = 2.6 \text{ mm}$$

$$2.75 \cdot h = 7.15 \leq t_{ISOGLIDE} = 8 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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

$$v = \frac{z - x}{2} = \frac{750 - 635}{2} = 57.5 \text{ mm}$$

dove:

α	rotazione di progetto
$R_3 = R_1 - B$	distanza dal punto di contatto pistone/anello al centro della calotta = 1100-10 = 1090 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:

$$v = 57.5 \text{ mm} \geq \alpha_{tot} \times R_3 = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 1090 = 57.1 \text{ mm}$$

3.3.b **Gap x_1**

Il gap x_1 garantisce che durante la rotazione della piastra superiore (pistone) non si abbia interferenza con la piastra di scorrimento.

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:

$$x_1 = 33.6 \text{ mm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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

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:

$$x_1 = 33.6 \text{ mm} \geq \frac{d_p}{2} \times \alpha_{tot} = \frac{750}{2} \cdot 3 \cdot \pi/180 = 19.6 \text{ mm}$$

3.3.c **Gap w/2**

Al fine di garantire che durante la rotazione del pistone il contatto sia sempre all'interno dell'anello di posizionamento 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:

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

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

$$b_w = 3.04 \sqrt{\frac{1.5H \cdot R}{E_d d_p}} = 3.04 \sqrt{\frac{1.5 \cdot 7000 \cdot 10^3 \cdot 790}{210000 \cdot 750}} = 22.1 \text{ mm} \text{ altezza di contatto}$$

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

$$\frac{w}{2} = 36 \text{ mm} \geq \max\left(\frac{b_w}{2}; \alpha \cdot d_p/2\right) = \max\left(\frac{22.1}{2}; 3 \cdot \pi/180 \cdot \frac{750}{2}\right) = 19.6 \text{ mm}$$

3.4 **Verifica della piastra di scorrimento**

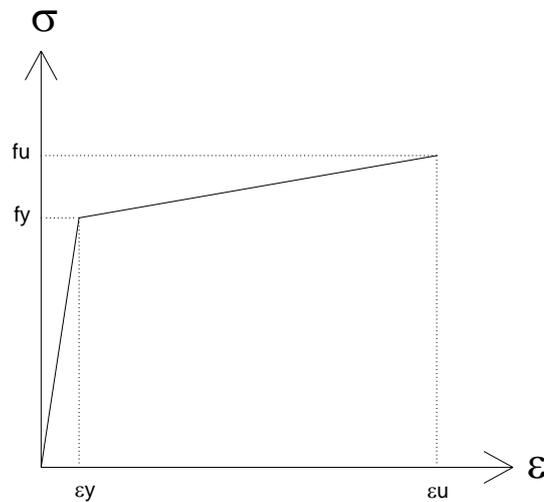
Per quanto riguarda la verifica dello stato di sollecitazioni nella piastra di scorrimento, è stata eseguita un'analisi non lineare agli elementi finiti.

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

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)



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.

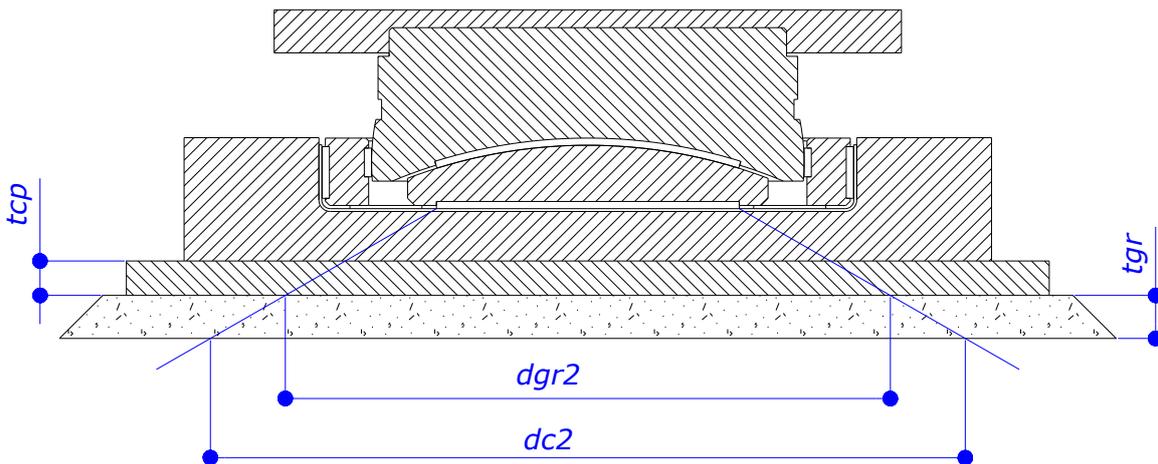
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

3.5 Calcestruzzo

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



dove,

$$d_{gr2} = d_{ISOGLIDE} + (2t_u + 2t_{cp}) \operatorname{tg}60^\circ \quad d_{gr2} = 615 + (2 \cdot 85 + 2 \cdot 25) \operatorname{tg}60^\circ = 996 \text{ mm}$$

$$d_{c2} = d_{gr2} + 2 \cdot t_{gr2} \cdot \operatorname{tg}60^\circ \quad d_{c2} = 996 + 2 \cdot 50 \cdot \operatorname{tg}60^\circ = 1169 \text{ mm}$$

t_{gr2} spessore della malta ad alta resistenza

La condizione più gravosa per la verifica della sezione in calcestruzzo è quella allo stato limite ultimo SLU in cui si ha la massima sollecitazione verticale ($H_{max} = 3800 \text{ kN}$). La verifica della pressione sul calcestruzzo tiene conto del contributo dei momenti dovuti alle eccentricità, calcolati come segue:

$$M_1 = V_{max} \cdot \mu_{ISOGLIDE} \cdot R_1 = 23300 \cdot 0.011 \cdot 1100 \cdot 10^{-3} = 282 \text{ kNm}$$

$$M_2 = \mu_{acciaio} \cdot H_{max} \cdot \frac{d_p}{2} = 0.2 \cdot 3800 \cdot \frac{750 \cdot 10^{-3}}{2} = 285 \text{ kNm}$$

$$M_3 = \alpha_{tot} \cdot (R_1 - HC) \cdot V = 3 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot (1100 - 77) \cdot 10^{-3} \cdot 23300 = 1248 \text{ kNm}$$

$$M_4 = H_{max} \cdot b_H = 3750 \cdot 144.1 \cdot 10^{-3} = 547.6 \text{ kNm}$$

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:

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

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

$$M_{Ed} = \max(|282 + 285 - 1248|; |282 + 285 + 547.6|) = 1114.6 \text{ kNm}$$

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

μ_{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

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,

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

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

$$d_{c2} = 1169 \text{ mm}$$

$$A_s = 8 \cdot 561 \text{ mm}^2$$

La verifica di resistenza a compressione del calcestruzzo risulta soddisfatta:

$$M_{Ed} = 1114.6 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 1916 \text{ kNm}$$

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

Verifica C.A. S.L.U. - File: U3_basamento_SLU

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

Titolo: U3_basamento_SLU

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 585 [mm]

Raggio interno: 0 [mm]

N° barre uguali: 0

Diametro barre: 0 [mm]

Copriferro (baric.): 0 [mm]

N° barre: 8 Zoom

N°	As [mm²]	x [mm]	y [mm]
1	561	-450	470
2	561	-150	470
3	561	150	470
4	561	450	470
5	561	-450	-470
6	561	-150	-470

Tipologia Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

File

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipologia flessione

Retta Deviate

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 mm Col. modello

Precompresso

Materiali

10.9 C32/40

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰

f_{yd} 720 N/mm² ϵ_{cu} 3.5

E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 23.6

E_s/E_c 7 f_{cc}/f_{cd} 0.8

ϵ_{syd} 3.6 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75

$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6

τ_{c1} 1.829

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[mm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura

Sez. interamente reagente

M_{xRd} 1.916 kN m

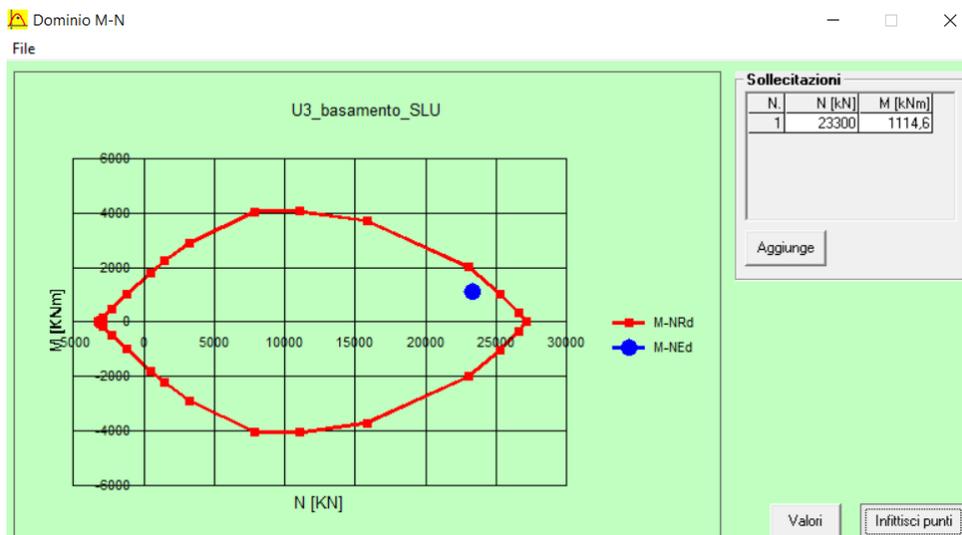
σ_{cs} -23.6 N/mm²

σ_{ci} -1.268 N/mm²

ϵ_{cs} 3.4592 ‰

ϵ_{ci} 0.0545 ‰

x 1188.7



Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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 = 30 mm
\varnothing_z	diametro min. della zanca = 90 mm
\varnothing_z'	diametro max. della zanca = 100 mm
n_z	numero delle zanche = 8 zanche
n'_z	numero effettivo di anelli nella zanca = 5
\varnothing_p	diametro del pozzetto = 200 mm
l_p	profondità del pozzetto = 355 mm
n_p	numero di pozzetti = 8
f_{yk}	tensione di snervamento = 685 MPa
γ_m	coefficiente parziale di sicurezza pari uguale a 1.1

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

$$\varnothing_{min} = \sqrt{\frac{3.5(H/n_z)}{2.5\sqrt{(R_{ck}f_{yk})}}} = \sqrt{\frac{3.5(7000 \cdot 10^3/8)}{2.5\sqrt{(75 \cdot 685)}}} = 75 \text{ mm} \leq \varnothing_z = 90 \text{ mm}$$

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

$$\tau = \frac{H/n_z}{(\varnothing_z^2 - \varnothing_b^2) \pi/4} = \frac{7000 \cdot 10^3/8}{(90^2 - 30^2) \pi/4} = 155 \text{ MPa} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_m \sqrt{3}} = 360 \text{ MPa}$$

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} :

$$p = \frac{H/n_p}{\varnothing_p l_p} = \frac{7000 \cdot 10^3/8}{200 \cdot 355} = 12 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 23.6 \text{ MPa}$$

Dall'analisi effettuata al paragrafo precedente 3.5, si evidenzia che tutta la sezione di calcestruzzo reagisce a compressione, quindi la verifica a trazione delle zanche non è necessari.

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.

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

3.7 Perno e contropiastra

Definite le seguenti quantità:

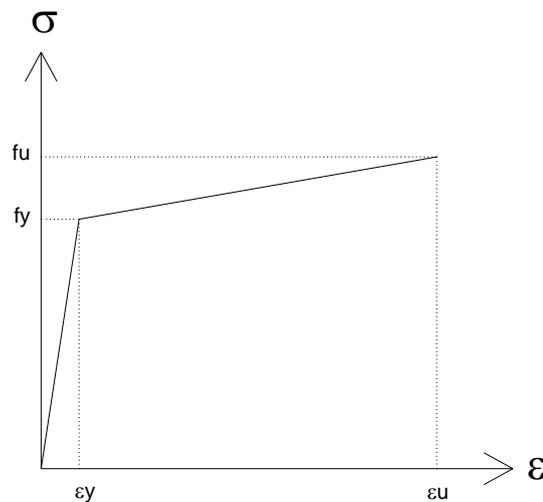
\varnothing_p	diametro della sezione resistente minore del perno = 600 mm
A	area sezione resistente minore del perno = 282743 mm ²
f_{up}	resistenza ultima dell'acciaio del perno = 450 MPa
γ_{M2}	coefficiente di sicurezza=1.25.

La verifica a taglio del perno risulta la seguente:

$$H = 7000 \text{ kN} \leq F_{vrd} = \frac{0.6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 61073 \text{ kN}$$

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)

$\varepsilon_y=f_y/E_d$, 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)

$\varepsilon_u=10\%$, 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:

Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

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

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 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:

$$t_u = 85 \text{ mm} \geq 0.04 \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)} = 0.04 \cdot \sqrt{1300^2 + 860^2} = 62.3 \text{ mm}$$

Dove:

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

3.9 Pressioni di contatto fra piastra superiore e piastra di scorrimento

Il trasferimento delle forze orizzontali tra piastra superiore e piastra di scorrimento avviene tramite la piastra di posizionamento.

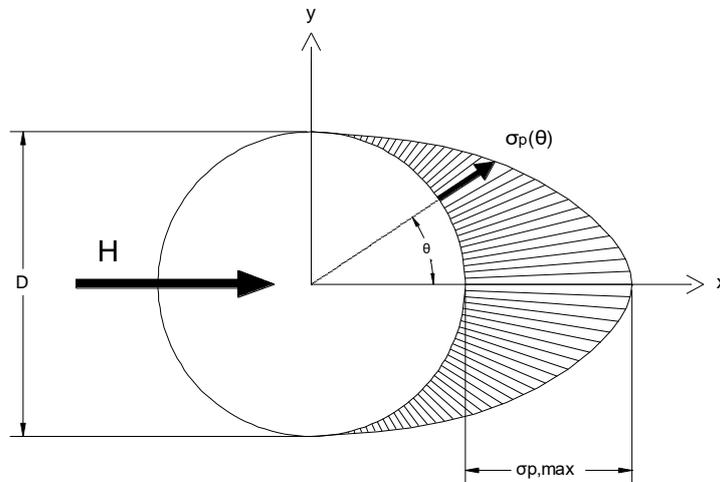
3.9.a Contatto curvo fra piastra superiore e piastra di posizionamento

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 ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)



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

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

La verifica di pressione massima è la seguente:

$$\sigma_{p,max} = \sqrt{\frac{H \cdot E_d}{15R \cdot D}} = \sqrt{\frac{7000 \cdot 10^3 \cdot 210000}{15(790) \cdot 750}} = 406.7 \text{ MPa} \leq \frac{f_{uk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.1} = 409.1 \text{ MPa}$$

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

3.9.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 di ISOGLIDE.

La pressione sulla lastrina di ISOGLIDE è pari a:

$$H_{Rd,ISOGLIDE} = \frac{f_{k,ISOGLIDE}}{\gamma_m} B_{x,d} \cdot w' = \frac{180}{1.4} \cdot 790 \cdot 70 = 7110 \text{ kN} \geq H = 7000 \text{ kN}$$

w' è l'altezza della lastra di ISOGLIDE incassata nell'elemento *Piastra di base* mentre $B_{x,d}$ rappresenta la lunghezza di detta lastra.

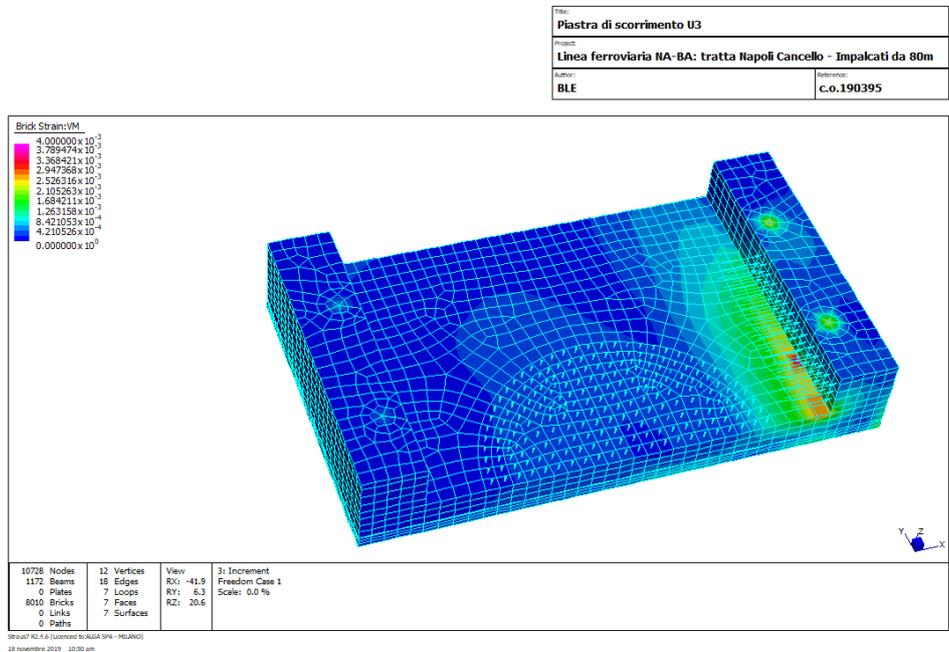
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

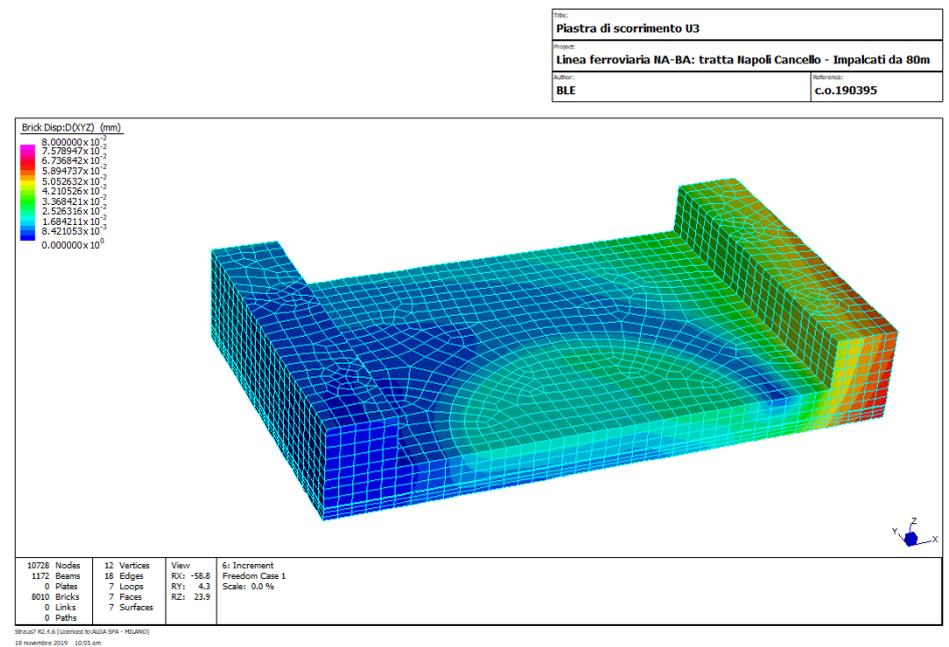
Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

APPENDICE A: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA PIASTRA DI SCORRIMENTO

A1. Guida dell'appoggio unidirezionale in fase sismica (deformazione massima = 0.4% < 5%)



A2. Guida dell'appoggio unidirezionale in fase post-sismica (spostamento residuo massimo = 0.08mm < 1.5mm/1.5=1mm)

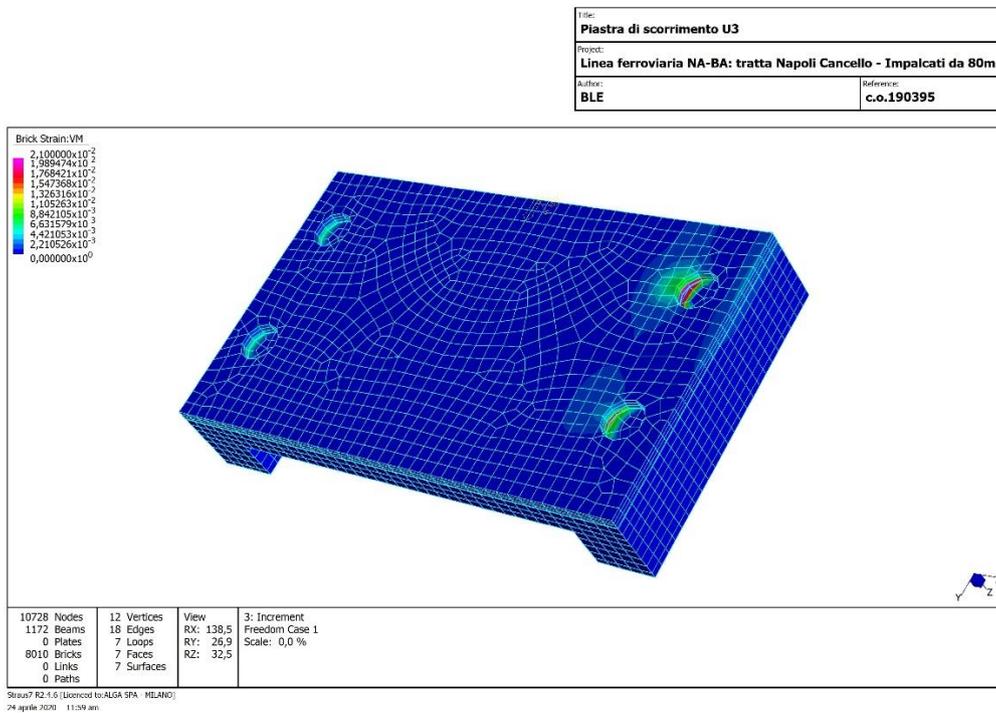


Relazione tecnica

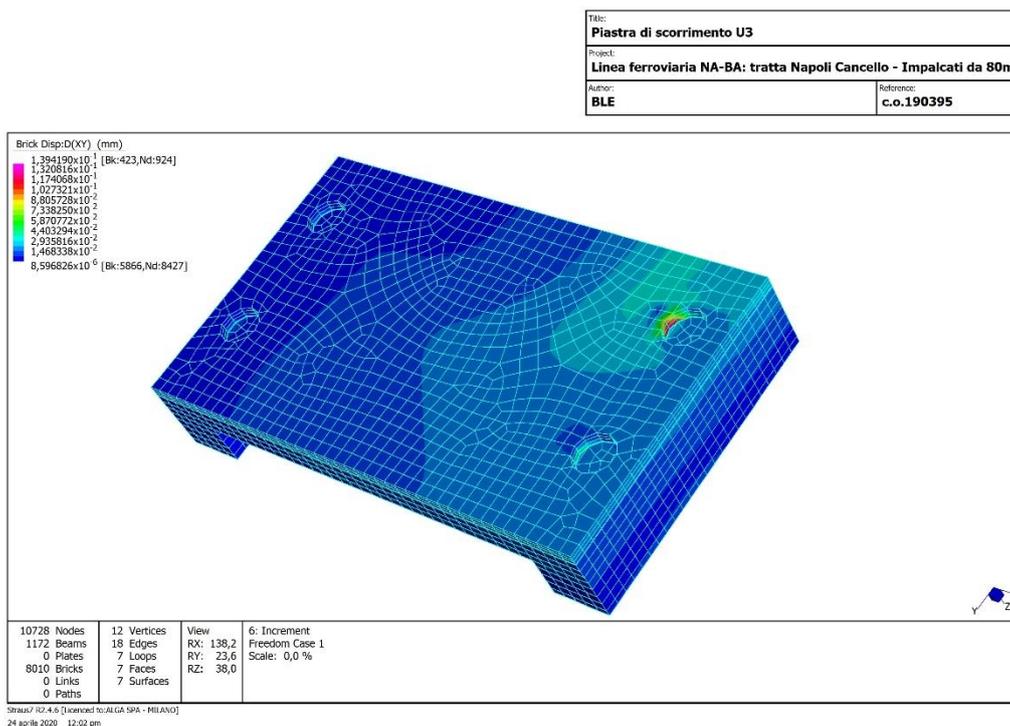
Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

A3. Zona di contatto zanca / piastra di base dell'appoggio unidirezionale in fase sismica (deformazione massima = 2.1 % < 5%):



A4. Zona di contatto zanca / piastra di base dell'appoggio unidirezionale in fase post-sismica (spostamento residuo massimo =0.14mm < 0.5mm/1.5=0.33mm):



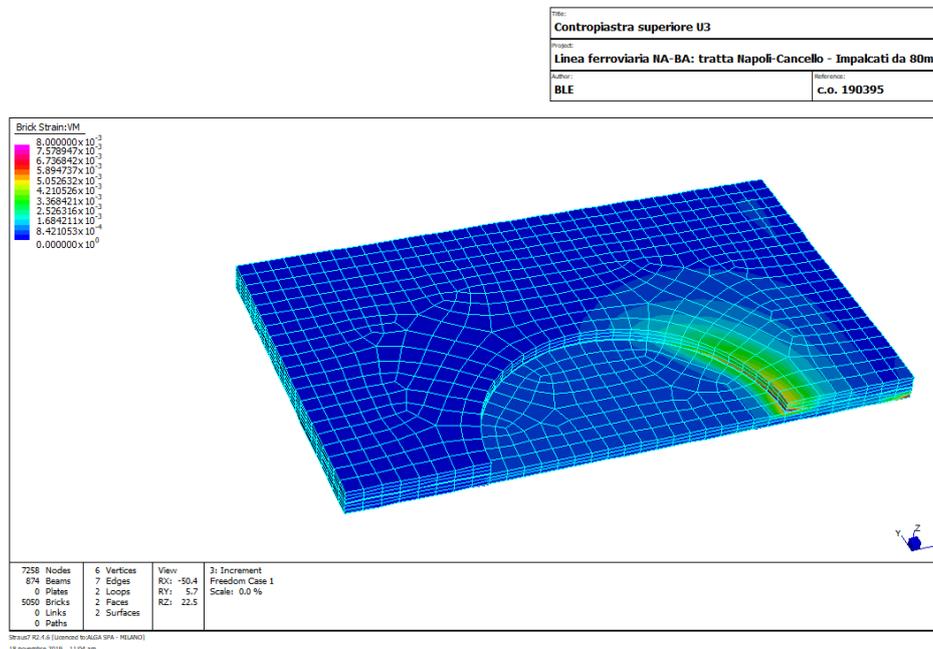
Relazione tecnica

Appoggi sferici FREYSSINET TETRON SB-D ISOGLIDE

Appoggio mobile unidirezionale GG 22500-5250.320 (-5950)

APPENDICE B: ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI DELLA CONTROPIASTRA

B1. Contropiastra dell'appoggio unidirezionale in fase sismica (deformazione massima = 0.8% < 5%)



B2. Contropiastra dell'appoggio unidirezionale in fase post-sismica (spostamento residuo massimo = 0.15mm < 1mm/1.5 = 0.66mm)

