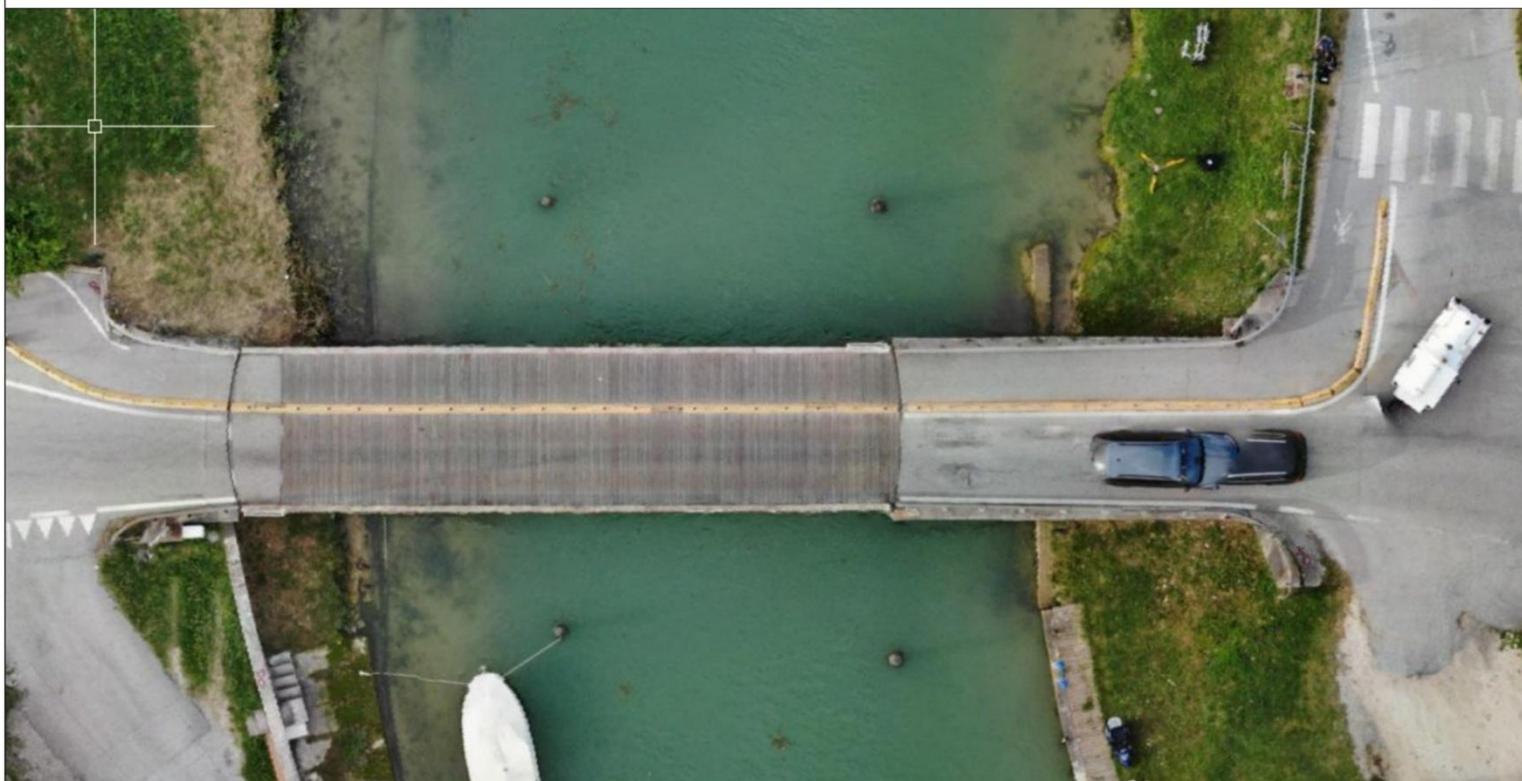




CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

Area Mobilità
Servizio Trasporti Eccezionali, Ponti e Piste Ciclabili

Ca' Corner, San Marco 2662 - 30124 Venezia (VE)
Via Forte Marghera, 191 - 30173 Mestre (VE)



PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEI PONTI GIREVOLI DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI VENEZIA - I° STRALCIO
SP62 - PONTE GIREVOLE SUL CANALE SAETTA A CAORLE
SP42 - PONTE GIREVOLE SUL CANALE CAVETTA A JESOLO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Arch. Alberta Parolin

Comune di Caorle (VE)

SUPPORTO AL RUP

Arch. Francesca Finco

SP62 "Ponte Tezze-Caorle"

PROGETTAZIONE

Mastergroup
Ing. Gianluca Susin
Ing. Mauro Tona

Studio di ingegneria RS

SP62 - PONTE GIREVOLE CANALE SAETTA

Relazione di calcolo gruppo
carrello di rotazione

REV.	DESCRIZIONE	DATA
1	EMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO	15/10/2024
2	MODIFICA RUP E SUPPORTO AL RUP	04/04/2025

PE-IM-CA-203

SCALA:

1 Sommario

2	<u>MATERIALI IMPIEGATI.....</u>	3
3	<u>NORMATIVE E METODO DI ANALISI</u>	4
4	<u>DESCRIZIONE GENERALE.....</u>	5
5	<u>CARICHI AGENTI.....</u>	7
5.1	AZIONI VERTICALI.....	7
5.2	AZIONI ORIZZONTALI.....	9
6	<u>VERIFICA DEL CARRELLO DI ROTAZIONE</u>	10
6.1	VERIFICA STATICA DELLE RUOTE.....	10
6.2	VERIFICA DELLA PISTA DI ROTOLAMENTO	11
6.3	VERIFICA DEL PERNO	11
6.4	VERIFICA DELLE BRONZINE.....	12
7	<u>VERIFICA DEL GIUNTO CENTRALE.....</u>	13
7.1	VERIFICA DELLA BRONZINA.....	13
7.2	VERIFICA DEL PERNO	13
7.3	VERIFICA DELLA BULLONATURA.....	15

2 MATERIALI IMPIEGATI

IDENTIFICATIVO	TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO [MPa] ¹	TENSIONE CARATTERISTICA DI ROTTURA [MPa] ²	MODULO ELASTICO [MPa]	MODULO ELASTICO TRASVERSALE [MPa]	COEFF. DI POISSON [-]	DENSITÀ [Kn/m ³]
S355J2 EN 10025-2:2004 Numero 1.0577	355	510	210000	81000	0.3	78
S235J2 EN 10025-2:2004 Numero 1.0117	235	360	210000	81000	0.3	78
39NiCrMo3 EN 10083-3:2006 Numero 1.6510	685	880	210000	81000	0.3	78
42CrMo4 ISO 683-2: 2018 Numero 1.7225	650	900	210000	81000	0.3	78
Bronzo G-CuSn12-C UNI EN 1982 Numero CC483K	150	270	75000	-	0.3	86
C40 UNI 7845-78	320	580	210000	81000	0.3	78

SPECIFICHE BULLONERIA (salvo dove diversamente specificato)

ACCIAIO INOX AISI 316 A4 – UNI 5739/5737 DIN 933/931

RONDELLE ACCIAIO INOX AISI 316 A4 – UNI6592

PIASTRINE A CUNEO CL.100 HV – UNI 6598

DADO ACCIAIO INOX AISI 316 A4 CLASSE 6S – UNI 5588 DIN 934

¹ S355J2 e S235J2: caratteristiche meccaniche riferite a spessori inferiori di 16 mm

39NiCrMo3: caratteristiche meccaniche riferite allo stato bonificato EN10083-3:2006 con diametri inferiori a 100mm

² S355J2 e S235J2: caratteristiche meccaniche riferite a spessori inferiori di 16 mm

39NiCrMo3: caratteristiche meccaniche riferite allo stato bonificato EN10083-3:2006 con diametri inferiori a 100mm

SMENGINEERING di Susin Ing. Gianluca, Via Piva 102 – 31049 Valdobbiadene (TV),

E-mail: gs.smengineering@gmail.com, Pec: gianluca.susin@ingpec.eu, Telefono: +39 3493148289

Codice Fiscale: SSNGLC90P17L565R, Partita IVA: 05020780267, CODICE SDI USAL8PV

3 NORMATIVE E METODO DI ANALISI

- UNI EN 13001-3-3:2015: Apparecchi di sollevamento - Criteri generali per il progetto - Parte 3-3: Stati limite e verifica di idoneità dei contatti ruota/rotaia
- CNR UNI 10011-67

4 DESCRIZIONE GENERALE

La struttura a ponte chiuso è assimilabile ad una trave continua a tre appoggi, i quali garantiscono la stabilità strutturale rispetto alle azioni verticali e orizzontali.

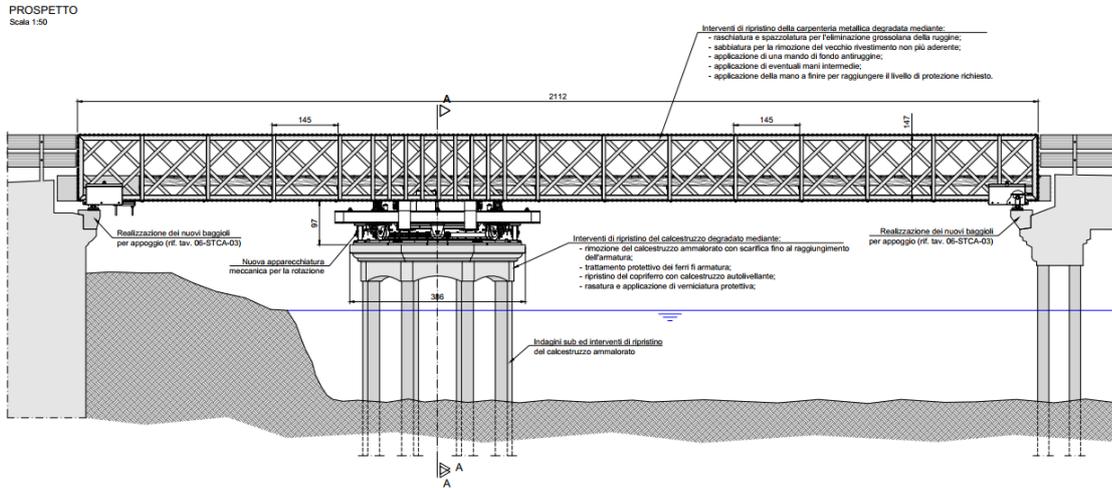


Figura 1

L'appoggio centrale è costituito da un carrello dotato di otto ruote ed un giunto di rotazione ed ha la funzione di vincolo rispetto alle azioni verticali e alle azioni dei momenti generati dal vento e dai carichi distribuiti.

Ogni ruota del carrello è dotata di una propria struttura di alloggiamento, ciascuna delle quali è avvitata alla carpenteria che sorregge l'impalcato. Le ruote scorrono su bronzine ragnate e rotolano su una pista calandrata in acciaio di sezione rettangolare.

Il giunto centrale è costituito dal perno, solidale alla pila, e da una bronzina che ruota insieme all'impalcato.

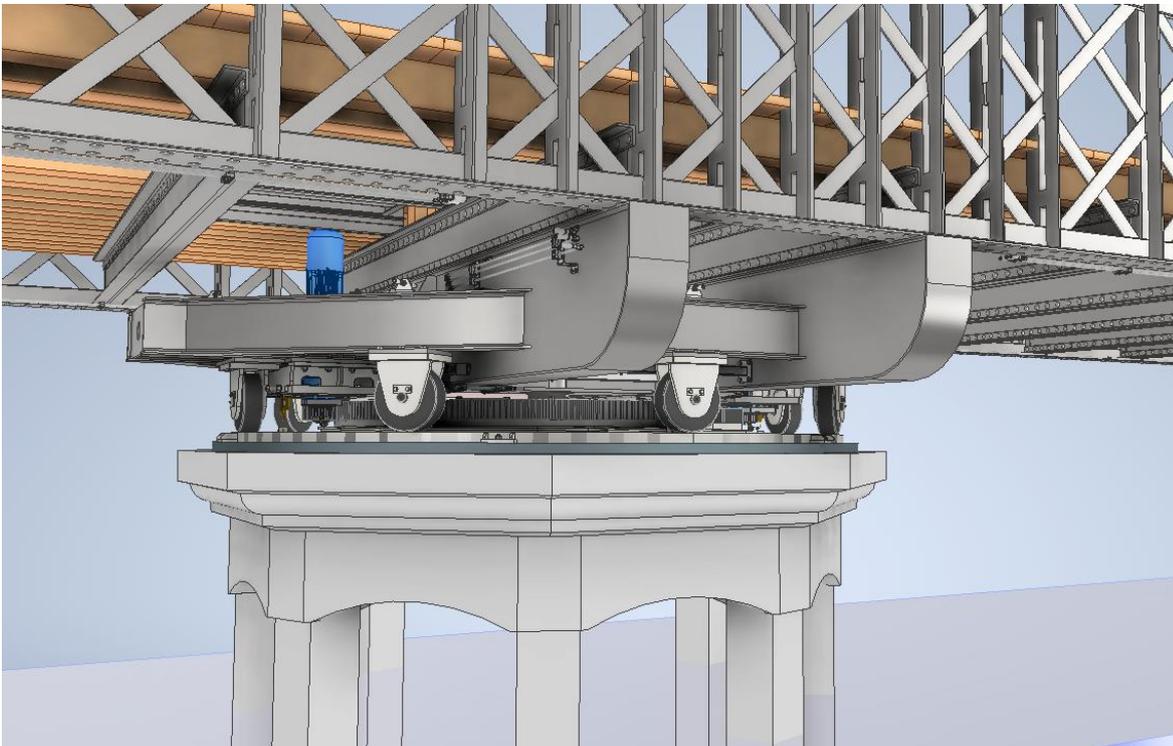


Figura 2: vista del sistema carrello di rotazione

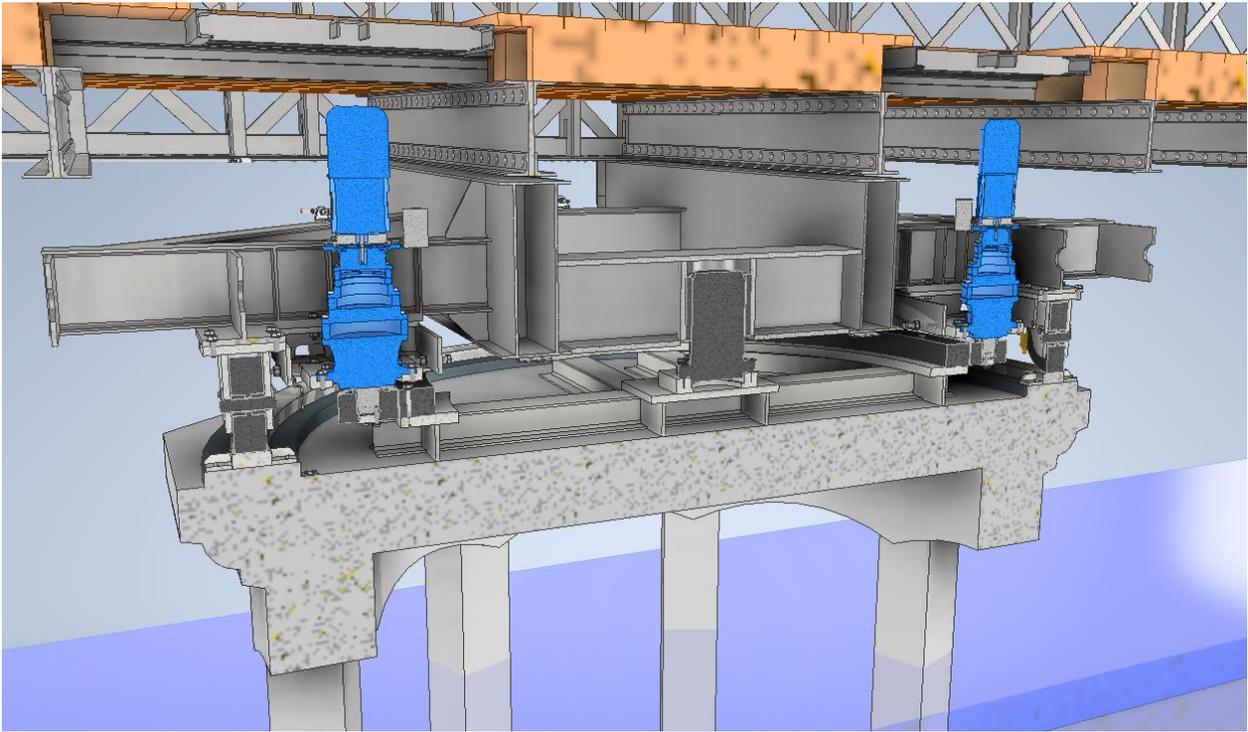


Figura 3: sezione

5 CARICHI AGENTI

Durante l'esercizio il sistema carrello offre il vincolo rispetto le azioni verticali che si scaricano sulle otto ruote, e alle azioni orizzontali, che si scaricano sul perno centrale.

5.1 AZIONI VERTICALI

Le azioni verticali che agiscono sulle ruote vengono ricavate dal modello di assieme del ponte, secondo lo SLU1, il quale risulta essere la combinazione peggiore:

$$SLU1 = 1.26 * (G1 + G2) + 1.6 * Q_{tr} + 1.26 * 0.6 * Q_w + 1.5 * 0 * Q_s$$

Dove:

$G1, G2$ = peso proprio e carichi permanenti non strutturali

Q_{tr} = carico variabile da traffico

Q_w = azione del vento

Q_s = azione della neve

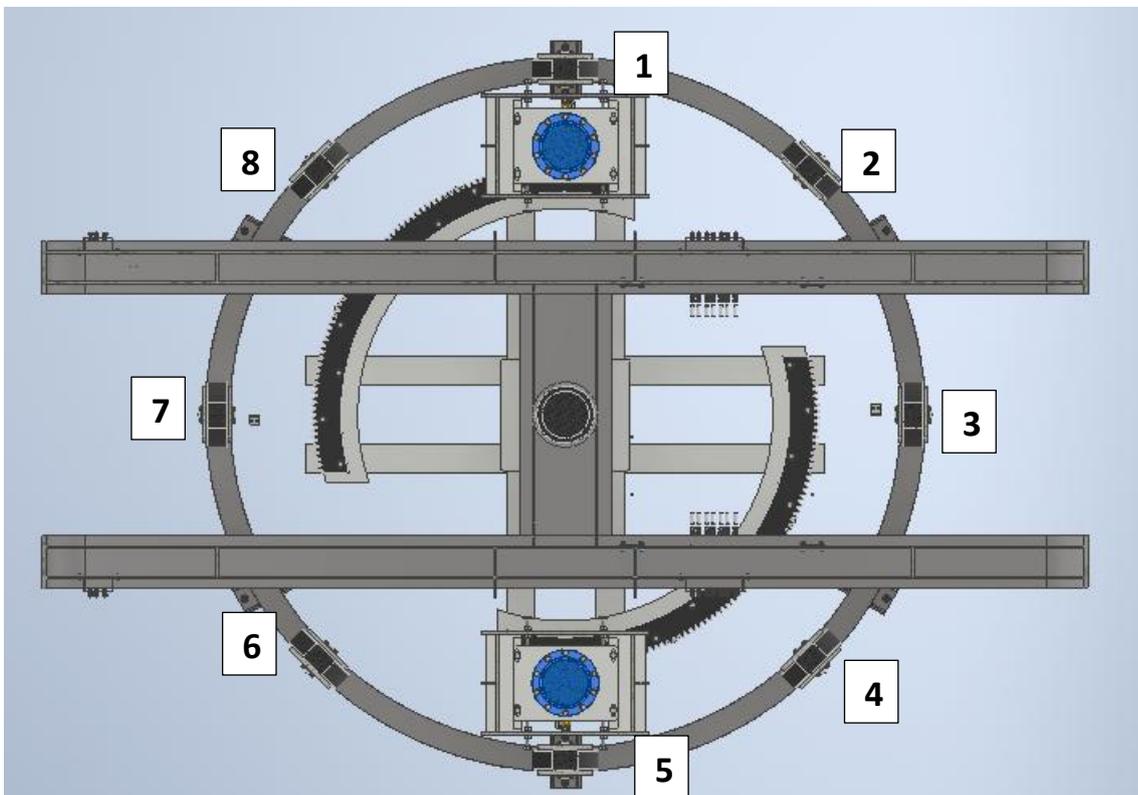
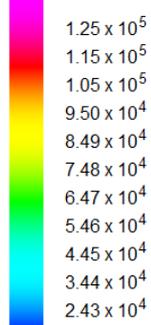


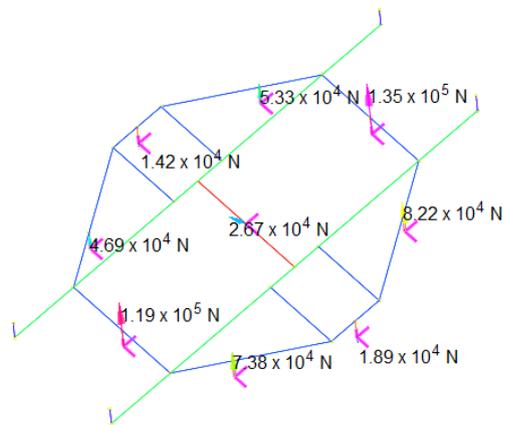
Figura 4: numerazione ruote

Ruota	Reazione [kN]
1	135
2	82.2
3	18.9
4	73.8
5	119
6	46.9
7	14.2
8	53.3

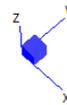
Beam Node React: Mag(T) (N)
 Max = 1.35×10^5 [Bm:445;Nd:195]



Min = 1.42×10^4 [Bm:442;Nd:191]



11: [1: SLU1] [Combination]



La ruota numero 1 è quella sul lato della campata lunga, sul quale agisce il maggior carico.

5.2 AZIONI ORIZZONTALI

Le azioni orizzontali sono dovute a:

- Azione del vento
- Azioni da frenamento o accelerazione

Descrizione	Valore	Unità di misura
Area di esposizione max	66.5	m ²
Carico da vento	1.29	kN/m ²
Azione da frenamento o accelerazione	29	kN

Le due azioni hanno versi e direzioni diverse, ma ai fini della verifica del perno centrale possono essere combinate come segue:

$$F_{ris} = \sqrt{((q_w * A_{max})^2 + Q_{fa}^2)} = 90.6 \text{ kN}$$

6 VERIFICA DEL CARRELLO DI ROTAZIONE

6.1 VERIFICA STATICA DELLE RUOTE

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro ruota	320	mm
Durezza HBW	202	MPa
Numero di ruote	8	-
Larghezza effettiva	90	mm
Modulo elastico equivalente	205	GPa

Secondo la UNI EN13001-3-3, il contatto ruota/rotaia nel caso in esame viene classificato come lineare.

Per la verifica statica della ruota si deve verificare che la forza di contatto di progetto sia minore della forza limite di contatto di progetto:

$$F_{Sd,s} \leq F_{Rd,s}$$

Dove la forza limite di contatto di progetto è definita come la forza che causa una deformazione radiale permanente dello 0.02% del raggio della ruota.

Per materiali non temprati in superficie, la forza limite di contatto di progetto è definita come:

$$F_{Rd,s} = \frac{(7 * HB)^2}{\gamma_m} * \frac{(\pi * D_w * b * (1 - \nu^2))}{E_m} * f_1 * f_2 = 657kN$$

Dove:

E_m = modulo elastico equivalente

ν = coefficiente di Poisson

D_w = diametro della ruota

b = larghezza effettiva

HB = durezza in funzione dell'unità

γ_m = coefficiente di resistenza generale = 1.1

f_1 = coefficiente decrescente per la pressione al bordo = 1

f_2 = coefficiente decrescente per la distribuzione della pressione non uniforme = 0.9

Assumendo come forza di contatto di progetto la reazione della ruota 1, la verifica statica è soddisfatta.

6.2 VERIFICA DELLA PISTA DI ROTOLAMENTO

La determinazione della profondità della massima sollecitazione di taglio è importante per definire la profondità alla quale il materiale della pista deve essere indurito.

La UNI EN13001-3-3 prescrive che la profondità di indurimento sia almeno il doppio di quella della massima sollecitazione di taglio.

Per i casi di contatto lineare, la massima profondità di taglio si calcola come:

$$z_{ml} = 0.5 * \sqrt{F_{Sd0,s} * \frac{\pi * D_w * (1 - \nu^2)}{b * E_m}} = 1.29 \text{ mm}$$

6.3 VERIFICA DEL PERNO

I perni ruota sono costruiti in acciaio legato bonificato 39NiCrMo, e durante l'esercizio vengono sottoposti a sforzo di taglio e momento flettente.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro	50	mm
b	102	mm
t	20	mm
Forza massima	135	kN

Date le tolleranze di progetto, si può assumere che l'accoppiamento perno-bronzina e perno-sede siano mobili, ne consegue una distribuzione del momento flettente che interessa tutta la lunghezza del perno.

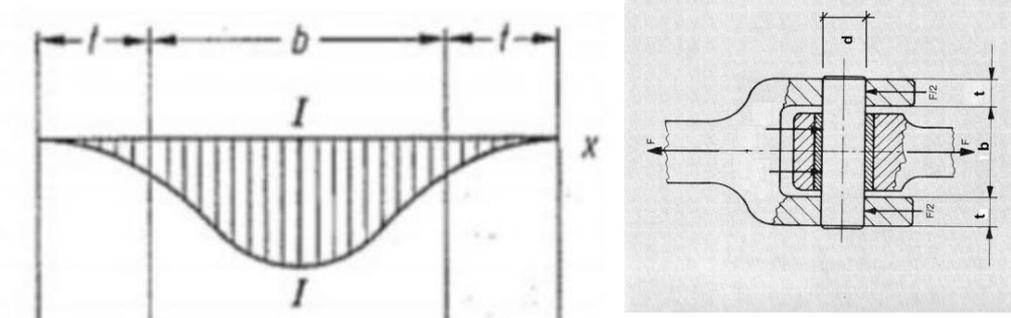


Figura 5: distribuzione del momento flettente

Lo sforzo normale e di taglio si calcolano³ come segue:

$$\sigma = F * (t + b) * \frac{32}{\pi * d^3}$$

$$\tau = F * \frac{2}{\pi * d^2}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = 340 \text{ MPa}$$

Il perno è verificato.

³ Gustav Niemann, Hans Winter, Bernd-Robert Hohn; "Manuale degli organi delle macchine", Revisione tecnico-scientifica a cura di Piermaria Davoli, Mauro Filippini, Mario Guagliano, 2006 Tecniche Nuove via Eritrea 21 Milano.

6.4 VERIFICA DELLE BRONZINE

Le bronzine sono costruite in bronzo G-CuSn12-C, vengono montate in interferenza sulla sede della ruota ed hanno accoppiamento libero rispetto il perno per permetterne la rotazione.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro interno	50	mm
Lunghezza bronzina	42	mm
Numero di bronzine per ruota	2	
Forza massima	135	kN

La tensione ammissibile per il contatto superficiale di aree di limitata estensione rispetto alle dimensioni dell'elemento strutturale si calcola come:

$$\sigma_{s,amm} = 1.35 * \frac{\sigma_e}{1.5} = 135 \text{ MPa}$$

La pressione superficiale si calcola come:

$$\sigma_s = \frac{F}{2 * d * l} = 32 \text{ MPa}$$

Le bronzine sono verificate.

7 VERIFICA DEL GIUNTO CENTRALE

7.1 VERIFICA DELLA BRONZINA

Le bronzine sono costruite in bronzo G-CuSn12-C, vengono montate in interferenza sulla sede della carpenteria ed hanno accoppiamento libero rispetto il perno per permetterne la rotazione.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro interno	230	mm
Lunghezza bronzina	200	mm
Forza massima	90.6	kN

La tensione ammissibile per il contatto superficiale di aree di limitata estensione rispetto alle dimensioni dell'elemento strutturale si calcola come:

$$\sigma_{s,amm} = 1.35 * \frac{\sigma_e}{1.5} = 135 \text{ MPa}$$

La pressione superficiale si calcola come:

$$\sigma_s = \frac{F}{d * l} = 2 \text{ MPa}$$

La bronzina è verificata.

7.2 VERIFICA DEL PERNO

Il perno del giunto centrale di rotazione è costruito in acciaio C40 e durante l'esercizio viene sottoposto a sforzo di taglio e momento flettente.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro	230	mm
Distanza applicazione forza	270	mm
Forza massima	90.6	kN

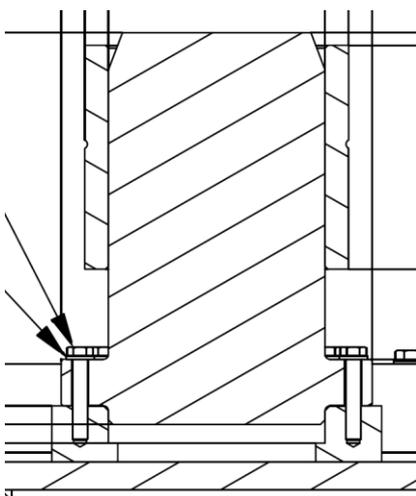
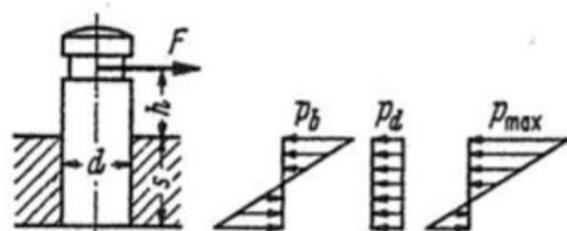


Figura 6: sezione del perno montato in assieme



Gli sforzi agenti sul perno si calcolano³ come segue:

$$\sigma = F * h * \frac{32}{\pi * d^3}$$

$$\tau = 4 * \frac{f}{\pi * d^2}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} = 20.4 \text{ MPa}$$

Il perno è verificato.

7.3 VERIFICA DELLA BULLONATURA

Il perno è fissato sulla carpenteria di base per mezzo di una flangia bullonata circolare.

La flangia è provvista di un tacco di taglio che scarica la bullonatura dall'azione tagliente. La bullonatura, dunque, si trova sottoposta alla sola azione del momento flettente.

Descrizione	Valore	Unità di misura
Tipo vite	M16 passo grosso	
Limite snervamento della vite (cl. A4-70)	450	MPa
Area resistente vite	157	mm ²
Inerzia della corona circolare di viti (I)	32163101	mm ⁴
Massima distanza vite-centro (y_max)	154	mm
Momento flettente su flangia (M)	24450	Nm

Lo sforzo massimo sulle viti si calcola come:

$$\sigma = M * \frac{y_{max}}{I} = 117 \text{ MPa}$$

La bullonatura è verificata.