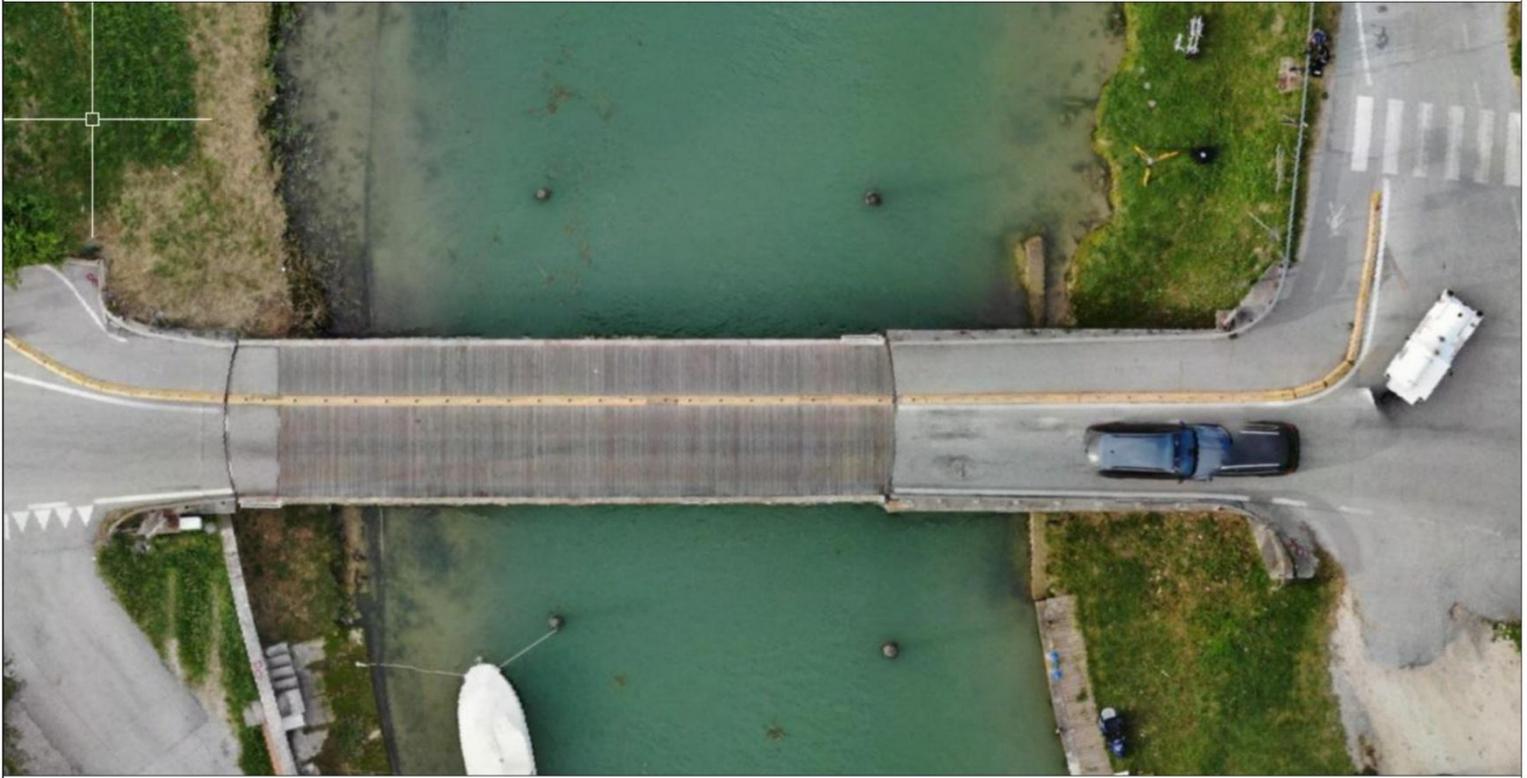




CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

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 appoggi a manovella

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

PE-IM-CA-202

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 SLU1	7
5.2	AZIONI VERTICALI SLE	8
6	<u>DIMENSIONAMENTO DEI MOTORIDUTTORI</u>	9
6.1	TIPOLOGIA DI RIDUTTORE	9
6.2	COPPIA E VELOCITA' RICHIESTE ALL'ALBERO LENTO	9
6.3	FATTORE DI SERVIZIO DEL RIDUTTORE	9
6.4	CARICO RADIALE ALL'ALBERO LENTO	10
6.5	OPTIONAL DEL MOTORIDUTTORE	10
7	<u>VERIFICA DEI COMPONENTI MECCANICI</u>	11
7.1	VERIFICA STATICA DELLE SALDATURE DELL'ALBERO	11
7.2	VERIFICA DELLE BRONZINE ALBERO.....	12
7.3	VERIFICA STATICA DELL'ALBERO	13
7.4	VERIFICA DEL PERNO DEL RULLO	15
7.5	VERIFICA DELLE BRONZINE PERNO	17
7.6	ANALISI DELL'ASSIEME	18

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.

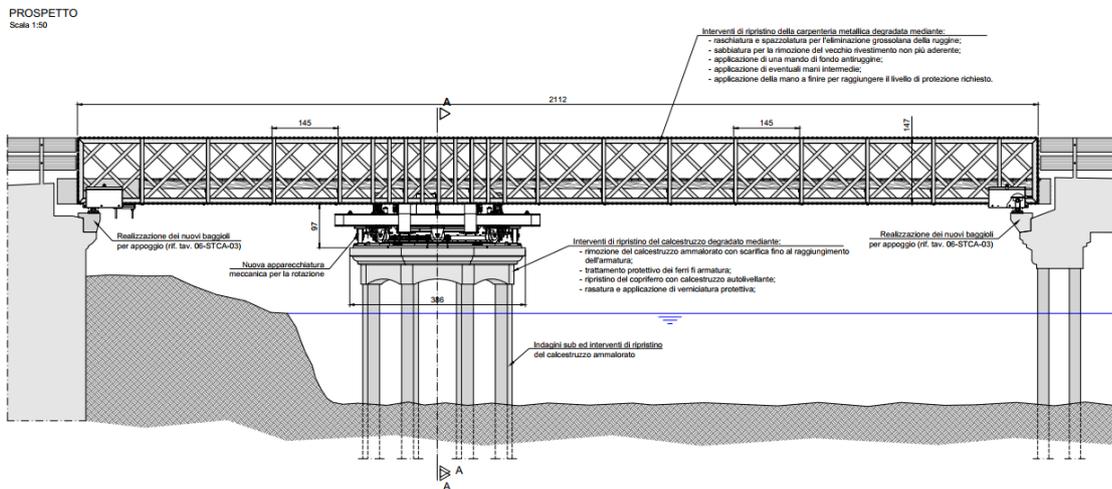


Figura 1

Gli appoggi alle estremità sono costituiti da quattro dispositivi a manovella comandati da motoriduttore. Gli appoggi sono solidali all'impalcato e compiono una rotazione 0-90° in modo da liberare l'ingombro al di sotto dell'impalcato e permettere la rotazione. La gestione delle due posizioni avviene grazie a due fincorsa meccanici.

Viene definita "messa su vincolo" l'operazione mediante il quale viene attivato l'appoggio alle estremità dell'impalcato.

Ogni appoggio dal lato di contatto con il baggiolo è dotato di un rullo, necessario a facilitare l'operazione di messa su vincolo limitando l'attrito.

L'albero ruota su bronzine.

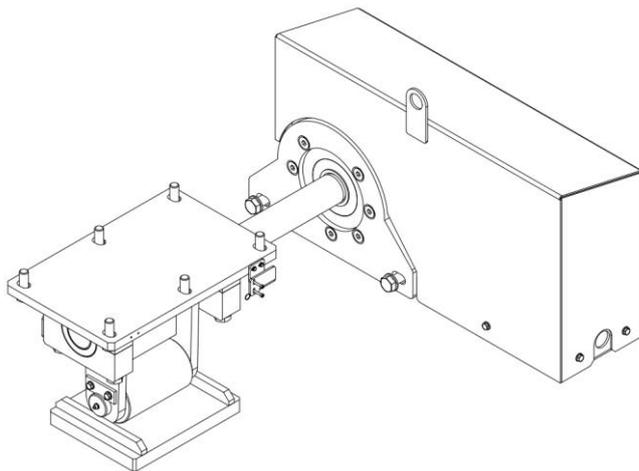


Figura 2: appoggio a manovella versione dx, in posizione di ponte aperto al traffico

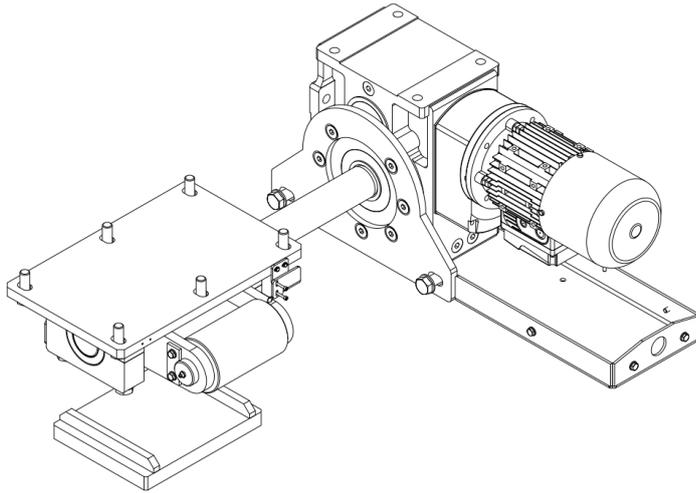


Figura 3: appoggio a manovella in versione dx, senza carter motore, in posizione di rotazione ponte

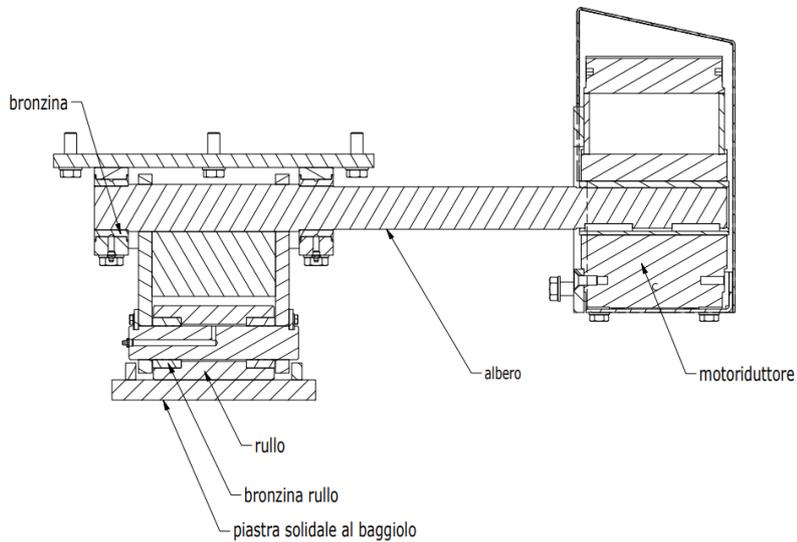


Figura 4: sezione dell'appoggio a manovella

5 CARICHI AGENTI

Durante l'esercizio gli appoggi a manovella offrono il vincolo rispetto le azioni verticali.

5.1 AZIONI VERTICALI SLU1

Le reazioni verticali massime richieste agli appoggi 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

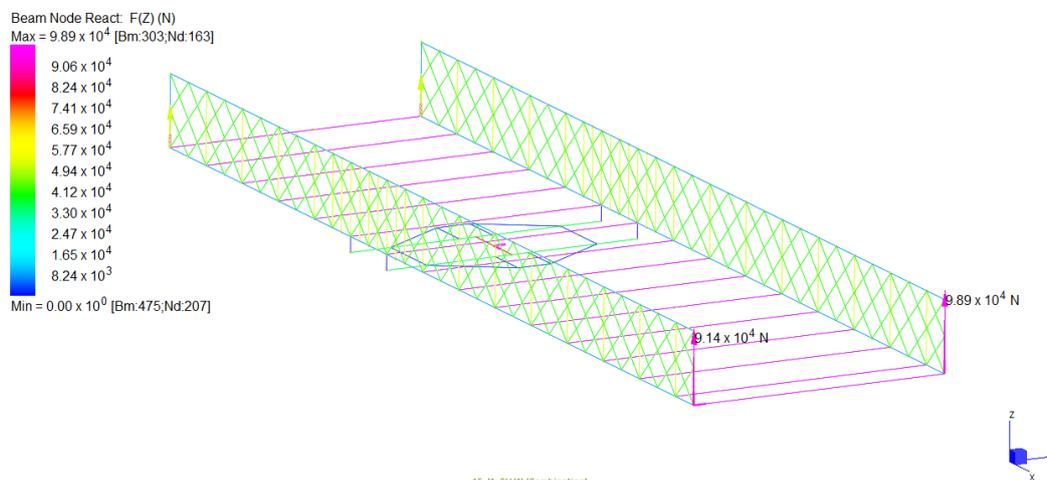


Figura 5: reazioni verticali massime degli appoggi lato campata lunga, caso di carico SLU1

Il valore maggiore si ottiene dal lato della campata lunga e vale 98.9 kN.

5.2 AZIONI VERTICALI SLE

Le reazioni verticali allo SLE vengono determinate considerando il ponte vuoto, con il solo peso proprio, condizione in cui avviene la messa su vincolo degli appoggi a manovella

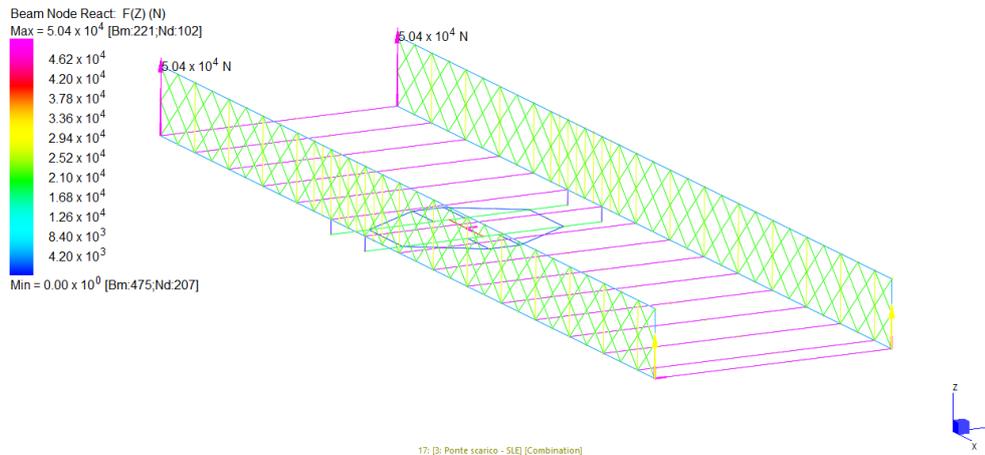


Figura 6: reazioni verticali massime degli appoggi lato campata corta, caso di carico SLE

Il valore maggiore si ottiene dal lato della campata corta, e vale 50.4 kN.

6 DIMENSIONAMENTO DEI MOTORIDUTTORI

Il dimensionamento del motoriduttore è un processo iterativo volto a identificare la soluzione di ottimo rispetto ai seguenti parametri:

- Tipologia di riduttore
- Coppia richiesta all'albero lento, sia motrice che frenante e velocità di rotazione
- Fattore di servizio del riduttore
- Carico radiale sull'albero lento del riduttore
- Optional richiesti

6.1 TIPOLOGIA DI RIDUTTORE

La tipologia del riduttore viene scelta in base all'applicazione ed ai carichi agenti in esercizio.

Nel caso in esame, considerando gli ingombri a disposizione, i valori di coppia e velocità angolare richieste ed i valori di carico radiale sull'albero lento, si è scelto di montare un motoriduttore ortogonale ad ingranaggi con albero lento cavo.

6.2 COPPIA E VELOCITA' RICHIESTE ALL'ALBERO LENTO

Velocità e coppia all'albero lento dipendono dal rapporto di riduzione del riduttore e dalla coppia e velocità del motore elettrico montato sul riduttore stesso. La coppia motrice e la velocità del motore possono essere modulate tramite l'azionamento ad inverter del motore.

Nel caso dell'appoggio a manovella, qualora la piastra del baggiolo fosse posizionata all'altezza ideale di progetto, la coppia necessaria alla messa su vincolo sarebbe considerabile nulla.

Tuttavia, ai fini del calcolo è stata ipotizzata una tolleranza di +/- 5 mm rispetto all'altezza di posizionamento ideale della piastra, corrispondente ad un disallineamento di 40 mm tra il punto di rotazione della manovella ed il punto di contatto del rullo con la piastra sul baggiolo.

La coppia massima richiesta all'albero lento è dunque:

$$T = e_{max} * R_{max} = 2016 Nm$$

Dove:

$$e_{max} = eccentricità\ massima = 40\ mm$$

$$R_{max} = forza\ di\ reazione\ massima = 50.4\ kN$$

Dal catalogo del possibile fornitore Rossi S.p.a., data la potenza installata di 1.1 kW, il motoriduttore necessario è il MRC3I125-24x20090S4, che ridotto 1:305 fornisce una coppia nominale di 2107 Nm.

La velocità nominale dell'albero lento per questo motoriduttore è di 4.59 rpm.

Il tempo nominale di apertura e chiusura dell'appoggio a manovella è dunque di 3.5 secondi.

Considerando che non ci sono particolari esigenze di tempo ciclo, in ottica di preservare gli organi meccanici evitando urti e sovraccarichi, è consigliabile rallentare il motore portando il tempo di apertura a 6 secondi.

6.3 FATTORE DI SERVIZIO DEL RIDUTTORE

Il fattore di servizio è un parametro calcolabile secondo modelli proposti dai costruttori, nel caso in esame dal catalogo del possibile fornitore *Rossi S.p.A.*, è stato scelto il motoriduttore epicicloidale MRC3I125-24x20090S4, con fattore di servizio 1.2.

6.4 CARICO RADIALE ALL'ALBERO LENTO

L'architettura dell'appoggio a manovella (figura 4), prevede due bronzine a sostegno dell'appoggio, ne consegue che il carico radiale sul riduttore è nullo.

6.5 OPTIONAL DEL MOTORIDUTTORE

Gli optional richiesti al motore sono dovuti principalmente all'ambiente in cui vengono installati.

Sono stati ritenuti necessari i seguenti optional:

- Verniciatura superficiale dei motori e dei riduttori per ambiente aggressivo, con classe C5m
- Grado di protezione del motore IP56 o superiori
- Freno motore e relativa bulloneria in acciaio inox aisi 316
- Leva di sblocco del freno manuale

7 VERIFICA DEI COMPONENTI MECCANICI

7.1 VERIFICA STATICA DELLE SALDATURE DELL'ALBERO

Il metodo di verifica utilizzato è quello del dominio di resistenza della sfera mozza, mentre viene utilizzato il metodo della sezione di gola ribaltata per valutare le tensioni sul cordone.

Le equazioni di verifica ed i coefficienti utilizzati (S355) sono indicate in figura 8, il loro utilizzo dipende dallo stato tensionale cui è sottoposto il cordone.

$$\sqrt{n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \beta_1 f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 f_{yk}$$

Grado	Coefficiente β_1	Coefficiente β_2
S235	0.85	1.00
S275 e S355	0.70	0.85
S420 e S460	0.62	0.75

Tab.4 – Valori dei coefficienti β_1 e β_2

Figura 8

Figura 7

Le due tensioni limite sono:

$$1) \beta_1 * f_{yk} = 0.7 * \left(\frac{355}{1.4}\right) = 177.5 \text{ MPa}$$

$$2) \beta_2 * f_{yk} = 0.85 * \left(\frac{355}{1.4}\right) = 215.7 \text{ MPa}$$

Le saldature circolari tra albero e manovella sono a cordone d'angolo continuo di dimensione Z14, previste su entrambi i lati delle due lamiera.

Ribaltando la sezione di gola si ottiene una sezione resistente pari ad una corona circolare, avente diametro interno 70 mm ed esterno 89.9 mm.

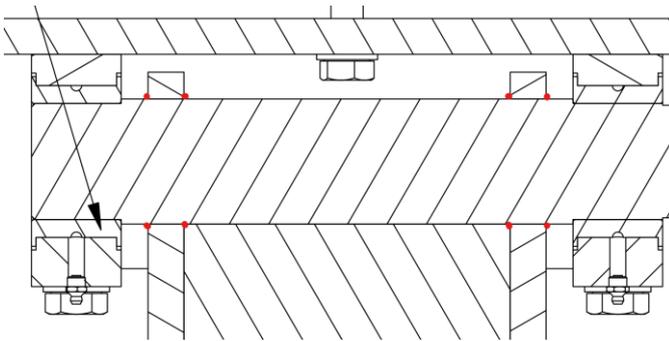


Figura 9: localizzazione delle saldature a cordone d'angolo

La tensione agente sul singolo cordone si calcola dunque come:

$$\tau_{\parallel} = 4 * \frac{T}{\pi * (D_e^3 - D_i^3)} = 7 \text{ MPa}$$

Dove:

$$T = 2106 \text{ Nm}$$

$$D_e = 89.9 \text{ mm}$$

$$D_i = 70 \text{ mm}$$

Le saldature sono verificate.

7.2 VERIFICA DELLE BRONZINE ALBERO

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

Descrizione	Valore	Unità di misura
Diametro interno	65	mm
Lunghezza bronzina	50	mm
Numero di bronzine per ruota	2	
Forza massima	98.9	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:

$$\sigma_s = \frac{F}{2 * d * l} = 15.2 \text{ MPa}$$

Le bronzine sono verificate.

7.3 VERIFICA STATICA DELL'ALBERO

L'albero motore dell'appoggio è costruito in acciaio C45 e S355.

Lo schema statico dell'albero si riconduce ad una trave su due appoggi, con il motoriduttore che esercita il vincolo rispetto la rotazione.

I massimi carichi agenti sono:

Descrizione	Valore	Unità di misura
Coppia massima	2107	Nm
Forza massima	49,5	kN

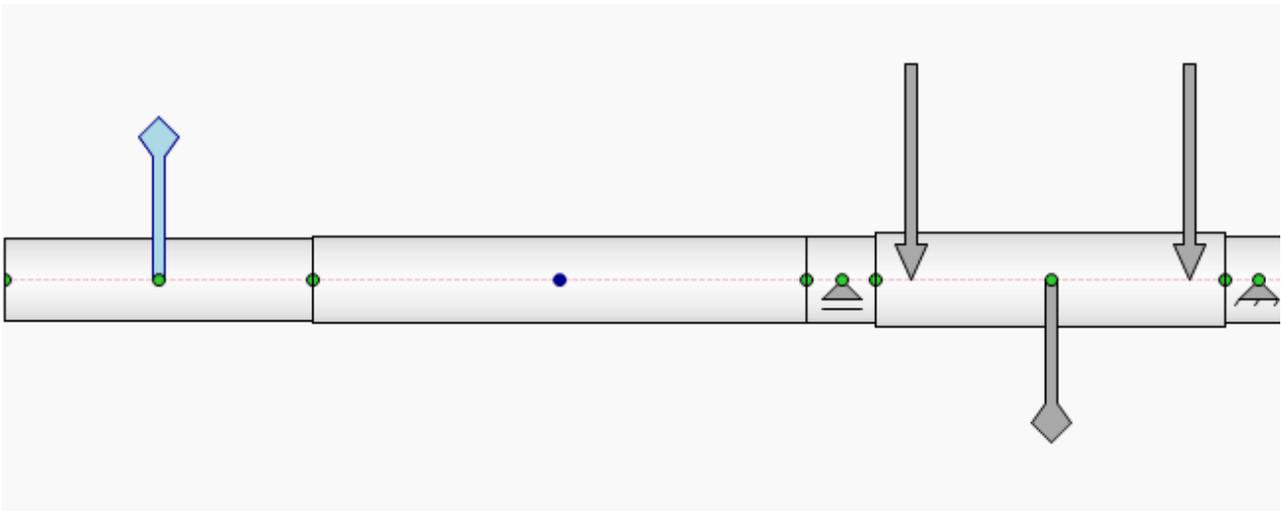


Figura 10: schema dei vincoli e dei carichi dell'albero

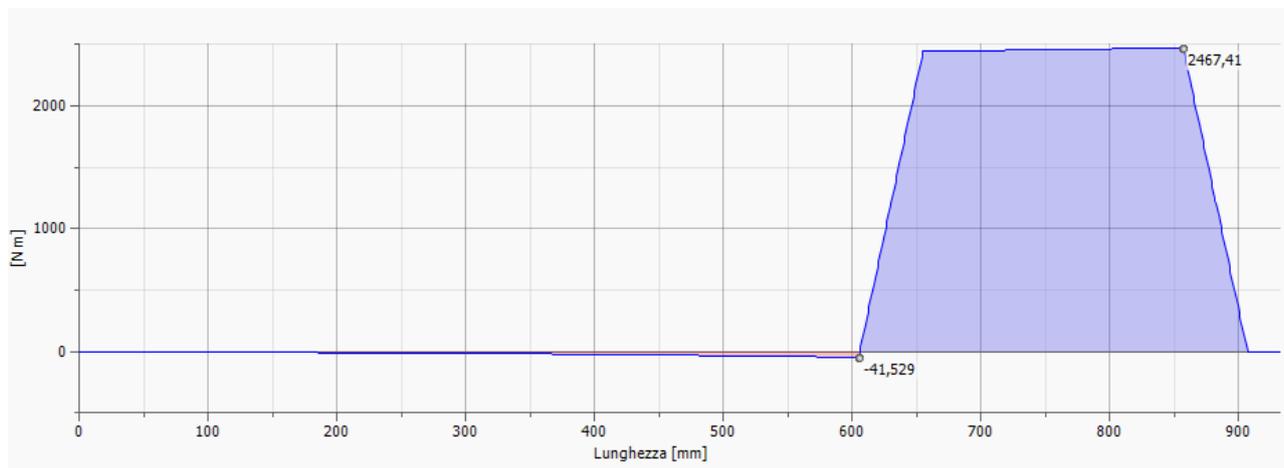


Figura 11: grafico del momento flettente

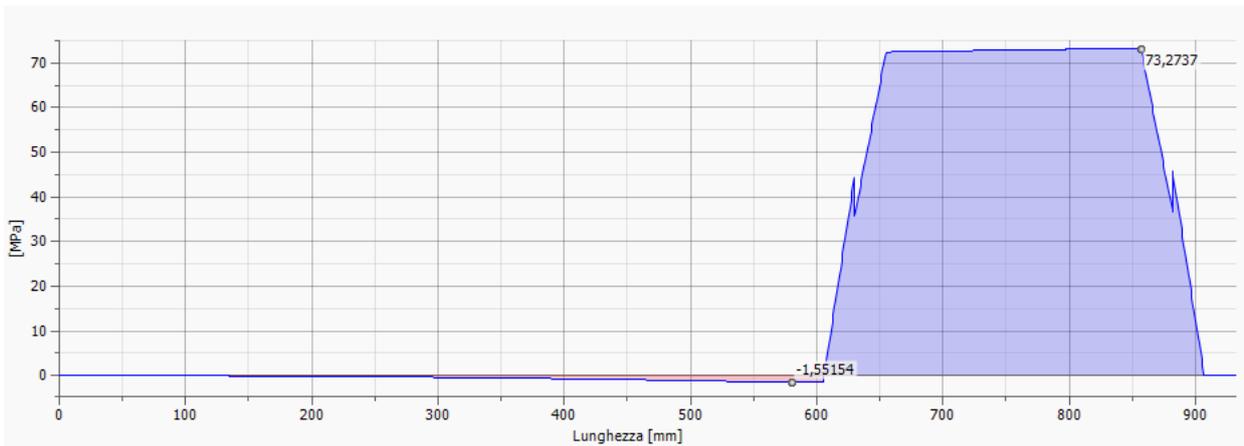


Figura 12: grafico dello sforzo di flessione sulla lunghezza dell'albero



Figura 13: grafico dello sforzo di torsione sulla lunghezza dell'albero

Il momento flettente e torcente, possono essere combinati per valutare la tensione massima dell'albero³:

$$M_{tot} = \sqrt{(M_f^2 + 0.75 * T^2)} = 3069 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = 32 * \frac{M_{tot}}{\pi * d^3} = 91.1 \text{ MPa}$$

Dove

M_f = momento flettente massimo = 2467.41 Nm

T = coppia massima = 2107 Nm

d = diametro dell'albero nel punto più sollecitato = 70 mm

L'albero 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.

7.4 VERIFICA DEL PERNO DEL RULLO

Il perno del rullo di appoggio è costruito in acciaio 39NiCrMo3.

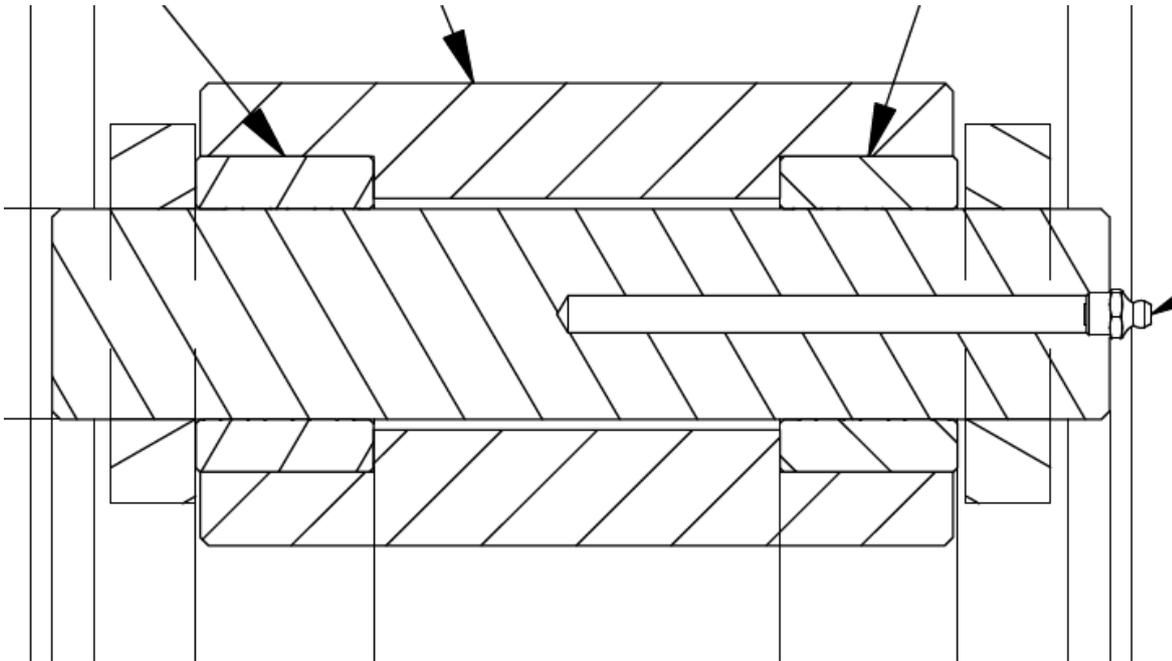


Figura 14: schema di montaggio del perno del rullo

Lo schema statico del perno si riconduce ad una trave su due appoggi, con le bronzine che esercitano due carichi distribuiti.

Il carico distribuito agente in corrispondenza di ogni bronzina vale 1178.6 N/mm .

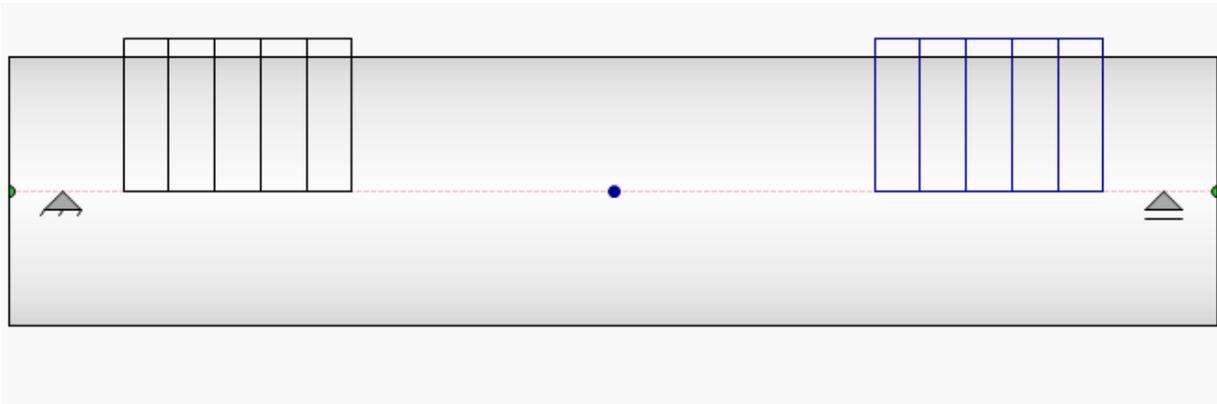


Figura 15: schema dei vincoli e dei carichi del perno

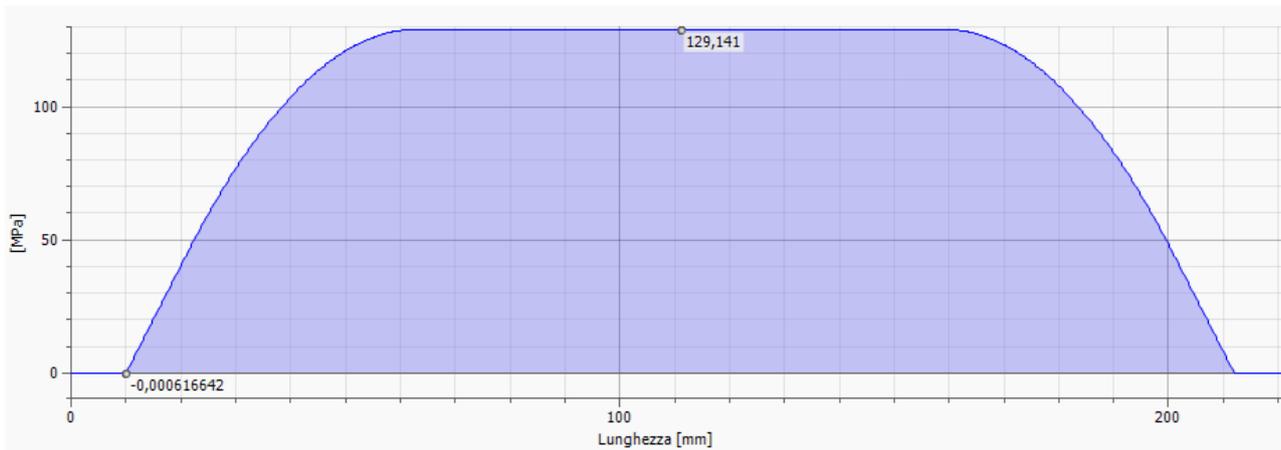


Figura 16: grafico dello sforzo dovuto alla flessione rispetto la lunghezza

Si riscontra una tensione massima di circa 130 MPa sul perno.

Il perno è verificato.

7.5 VERIFICA DELLE BRONZINE PERNO

Le bronzine sono costruite in bronzo G-CuSn12-C, vengono montate in interferenza sulla loro sede 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	98.9	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:

$$\sigma_s = \frac{F}{2 * d * l} = 23.5 \text{ MPa}$$

Le bronzine sono verificate.

7.6 ANALISI DELL'ASSIEME

Come verifica aggiuntiva è stato studiato l'assieme con il metodo agli elementi finiti.

La modellazione numerica è stata realizzata per mezzo del codice di calcolo agli elementi finiti Autodesk Nastran 2024 (Versione 18.2.0.35, lic. n° 572-62308325).

La discretizzazione del modello è costituita da elementi solidi di tipo tetraedrico, e consta di 281012 elementi e 454810 nodi.

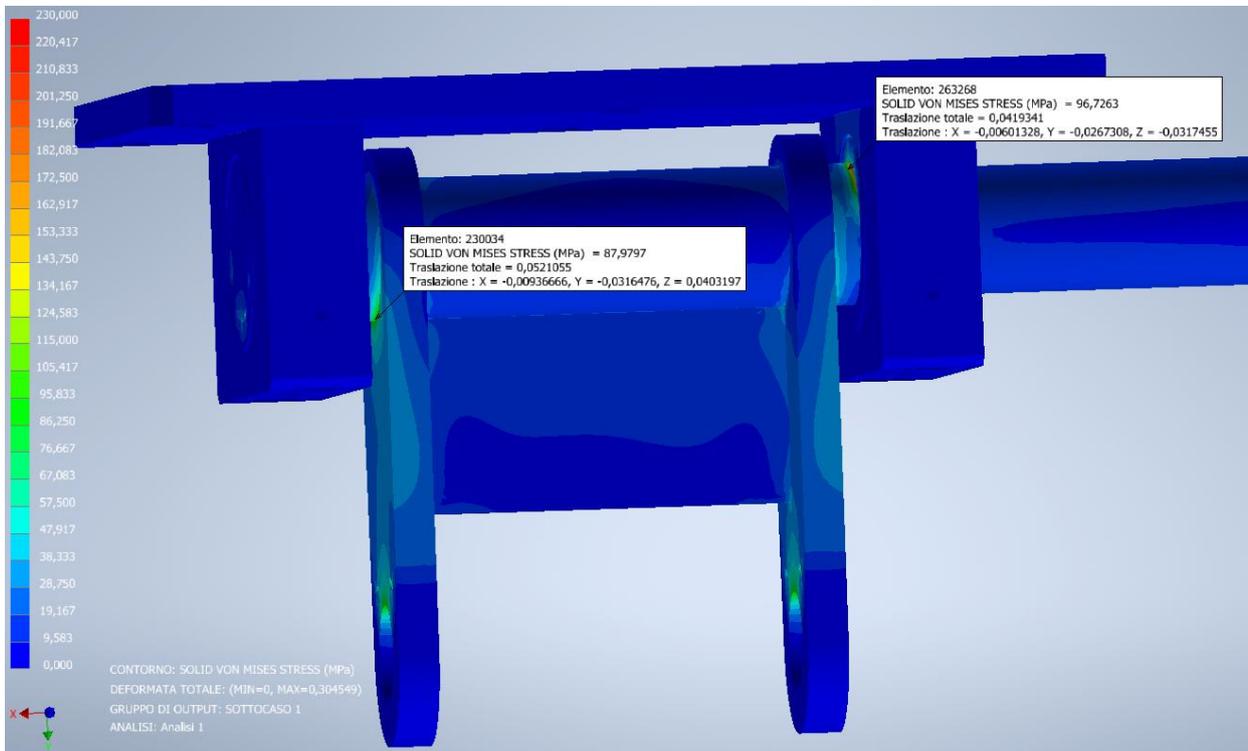


Figura 17: sforzo secondo VonMises, vista d'assieme

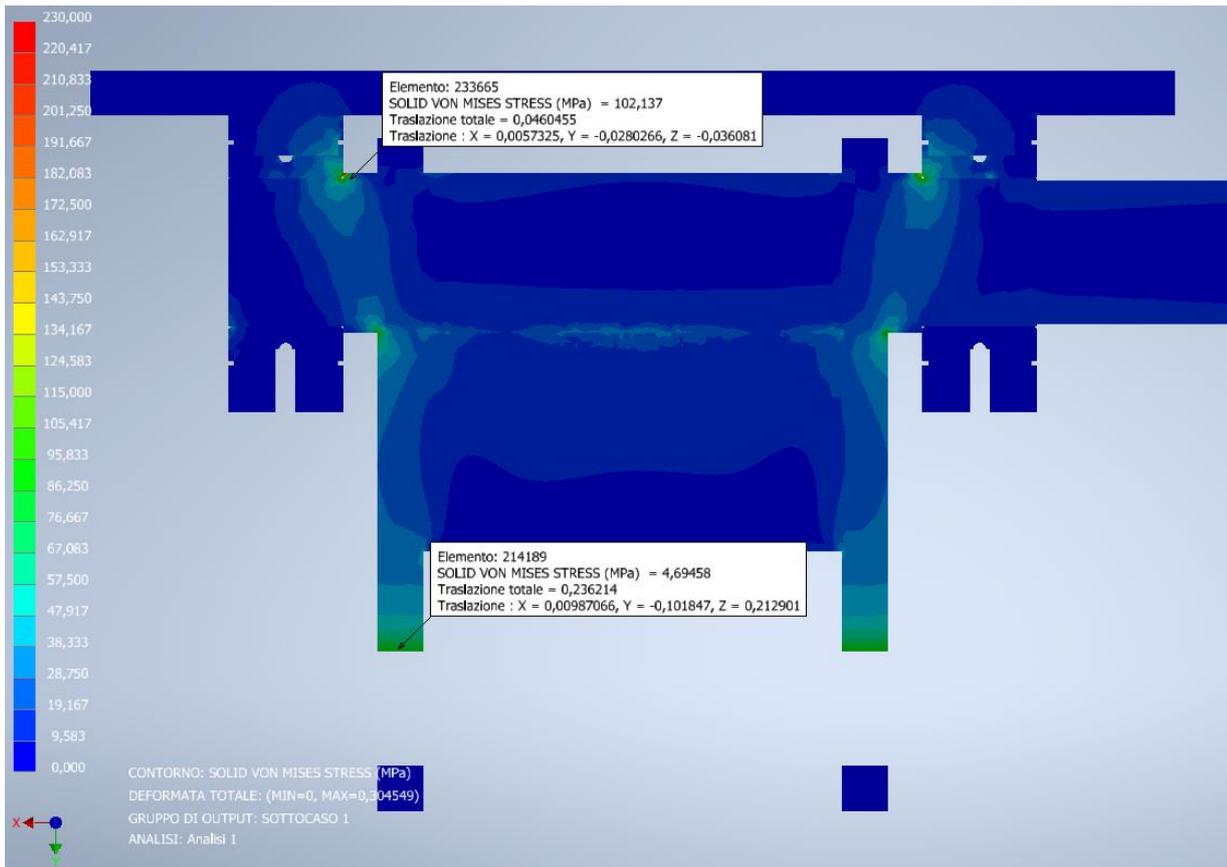


Figura 18: sollecitazione secondo VonMises sulla sezione dell'albero motore

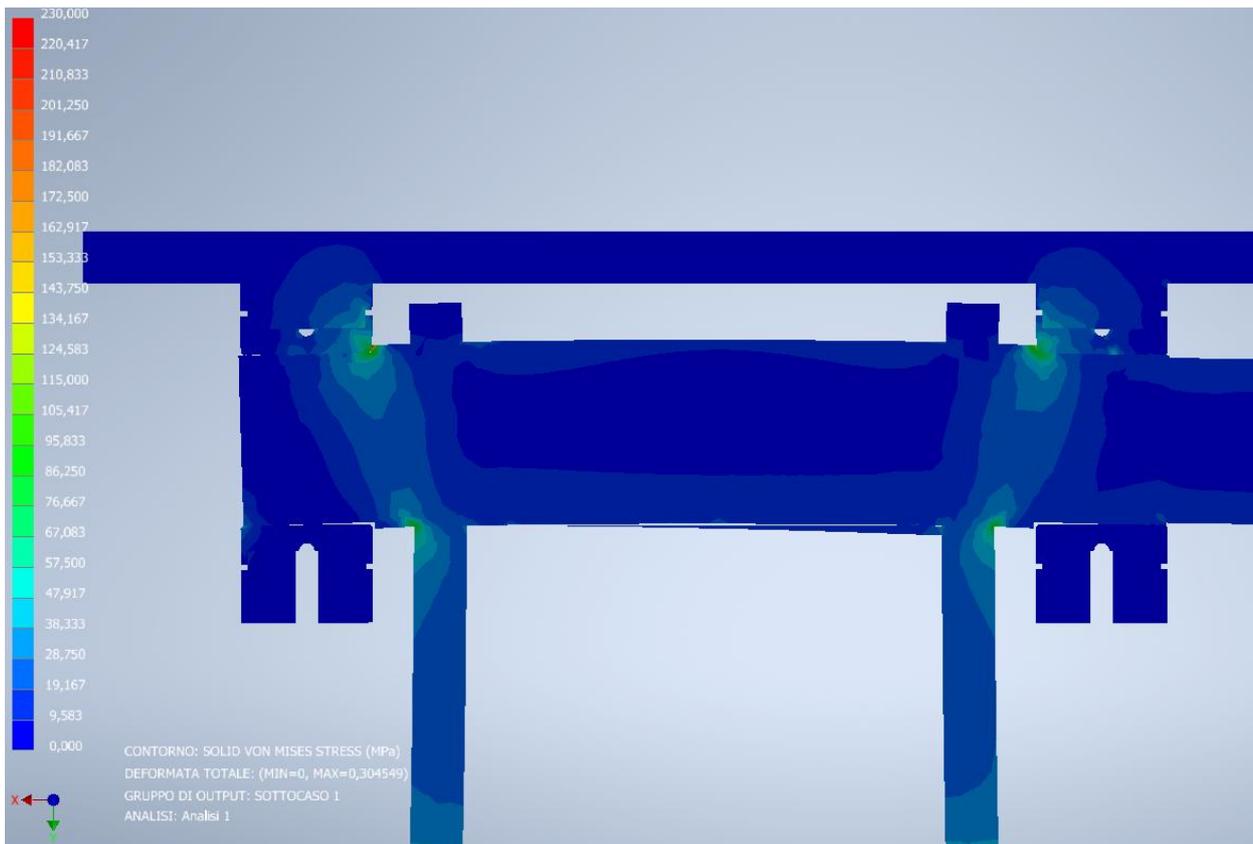


Figura 19: sollecitazione secondo VonMises sulla sezione, con deformazione aumentata di 100 volte

Nel complesso lo stato tensionale, a meno degli effetti locali, conferma i valori calcolati analiticamente.