

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 "FIBBIO" DAL Km 9+958,67 AL Km 10+036,70

GENERALE

Pendini: Relazione tecnica

| GENERAL CONTRACTOR | | | | | DIRETTORE LAVORI | | | SCALA : | |
|---|--|---|--|--|------------------|--|--|---------|--|
| IL PROGETTISTA INTEGRATORE ing. Claudio DE GIUDICI iscritto all'ordine degli ingegneri di Udine n. 1875 Data: | | Consorzio Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data: | | | | | | | |

| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. | FOGLIO | |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|--------|----|
| IN17 | 12 | E | 12 | CL | V101D5 | 004 | A | | DI |

| VISTO CONSORZIO IRICAV DUE | |
|------------------------------|------|
| Firma | Data |
| ing. <i>Alberto LEVORATO</i> | |

Progettazione :

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | IL PROGETTISTA |
|------|-------------|-----------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--|
| A | EMISSIONE | A. Sganga | Marzo 2023 | M. Vaccarezza | Marzo 2023 | P. Maestrelli | Marzo 2023 | Paolo Maestrelli Data: Marzo 2023 |
| B | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | |

CIG: 8377957CD1

CUP: J41E9100000009

File: IN1712E12CLV101D5004A.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

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 1 of 50 |



Cliente: COSSI - WEBUILD
JOB: 220191

Linea Ferroviaria:
LINEA A.V./A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA
Tratta:
Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza II Lotto
WBS:
VI01 - Viadotto Fibbio & VI02 - Viadotto Illasi

RELAZIONE TECNICA

RFI DTC SI PS SP IFS 002 F

TSP – Sistema di pendinatura ponte ad arco

DISTRIBUZIONE:

Il presente documento è soggetto a distribuzione controllata.

Ai possessori di "copie controllate" verranno distribuite le eventuali e successive revisioni del presente documento.


Ai possessori di "copie non controllate" non verranno distribuite le successive edizioni.

Le copie controllate sono destinate ai "responsabili di processo" presso la sede e presso le unità produttive. Eventuali ulteriori "copie controllate" saranno definite e distribuite dal responsabile del coordinamento per la qualità. Copie aggiuntive, non distribuite dalla funzione qualità, devono essere considerate "non controllate".

Note:


Modifiche dalle versioni precedenti evidenziate con una barra laterale sul lato sinistro.

| ID | Data | Rev. | Descrizione | Redatto | Verificato | Approvato |
|--------|----------|------|-----------------|---------|------------|-----------|
| R 1485 | 16/02/23 | 0 | Prima emissione | GC | LM | LM |

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 2 of 50 |

SOMMARIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE DEI TERMINALI DEI PENDINI | 4 |
| 3 | RIFERIMENTI E NORMATIVE | 6 |
| 3.1 | Riferimenti | 6 |
| 3.2 | Normative considerate | 6 |
| 4 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E TRATTAMENTI ANTICORROSIVI | 8 |
| 4.1 | Forca inferiore e superiore | 8 |
| 4.2 | Barre di pendino, dadi di contrasto, distanziali e coperchi del perno | 9 |
| 4.3 | Perni | 10 |
| 4.4 | Bulloneria | 11 |
| 4.5 | Snodi sferici | 11 |
| 4.6 | Filettatura | 12 |
| 4.7 | Protezioni contro la corrosione delle parti metalliche | 13 |
| 5 | PRESTAZIONI..... | 14 |
| 6 | DESCRIZIONE MODELLI FE | 15 |
| 6.1 | Descrizione mesh modello terminale inferiore..... | 16 |
| 6.2 | Vincoli, carichi e contatti..... | 17 |
| 6.3 | Descrizione mesh modello terminale superiore..... | 18 |
| 6.4 | Vincoli, carichi e contatti..... | 19 |
| 6.5 | Descrizione mesh connessioni filettate | 20 |
| 7 | VERIFICHE TENSIONALI BARRA DI PENDINO..... | 21 |
| 7.1 | Barra – SLU fatica (850→1275kN)..... | 21 |
| 7.2 | Barra – SLU corrente (2131kN)..... | 21 |
| 7.3 | Barra – SLU eccezionale (4350kN)..... | 21 |
| 8 | VERIFICHE TENSIONALI FORCA INFERIORE | 22 |
| 8.1 | Forca Inferiore – SLU fatica (850→1275kN) | 22 |
| 8.2 | Forca Inferiore – SLU corrente (2131kN) | 23 |
| 8.3 | Forca Inferiore – SLU eccezionale (4350kN) | 24 |
| 9 | VERIFICHE TENSIONALI FORCA SUPERIORE | 25 |
| 9.1 | Forca superiore – SLU fatica (850→1275kN) | 25 |
| 9.2 | Forca Superiore – SLU corrente (2131kN)..... | 26 |
| 9.3 | Forca Superiore – SLU eccezionale (4350kN)..... | 27 |
| 10 | VERIFICHE TENSIONALI PERNO | 28 |
| 10.1 | Perno – SLU fatica (850→1275kN)..... | 28 |
| 10.2 | Perno – SLU corrente (2131kN)..... | 29 |
| 10.3 | Perno – SLU eccezionale (4350kN) | 30 |
| 10.4 | Perno – Comparazione letture da analisi FE con calcoli manuali..... | 31 |
| 11 | VERIFICHE TENSIONALI BOCCOLA DI RIDUZIONE | 32 |
| 11.1 | Boccola di riduzione – SLU fatica (850→1275kN) | 32 |
| 11.2 | Boccola di riduzione – SLU corrente (2131kN) | 33 |
| 11.3 | Boccola di riduzione – SLU eccezionale (4350kN)..... | 34 |
| 12 | VERIFICHE TENSIONALI GHIERE DI SPALLAMENTO | 35 |
| 12.1 | Ghiere di spallamento – SLU fatica (850→1275kN)..... | 35 |
| 12.2 | Viti fissaggio ghiera di spallamento – SLU fatica (850→1275kN) | 36 |
| 12.3 | Ghiere di spallamento – SLU corrente (2131kN)..... | 38 |
| 12.4 | Ghiere di spallamento – SLU eccezionale (4350kN)..... | 39 |
| 13 | CONSIDERAZIONI SULLA CONNESSIONE FILETTATA..... | 40 |
| 13.1 | Connessione filettata – SLU fatica (850→1275kN) | 40 |
| 13.2 | Connessione filettata – SLU corrente (2131kN) | 46 |
| 13.3 | Connessione filettata – SLU eccezionale (4350kN) | 48 |
| 14 | VERIFICA TACCHI DI CONTRASTO AL MARTINETTO DI SERRAGGIO | 49 |
| 15 | VERIFICHE TENSIONALI SNODO SFERICO..... | 50 |

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 3 of 50 |

1 INTRODUZIONE

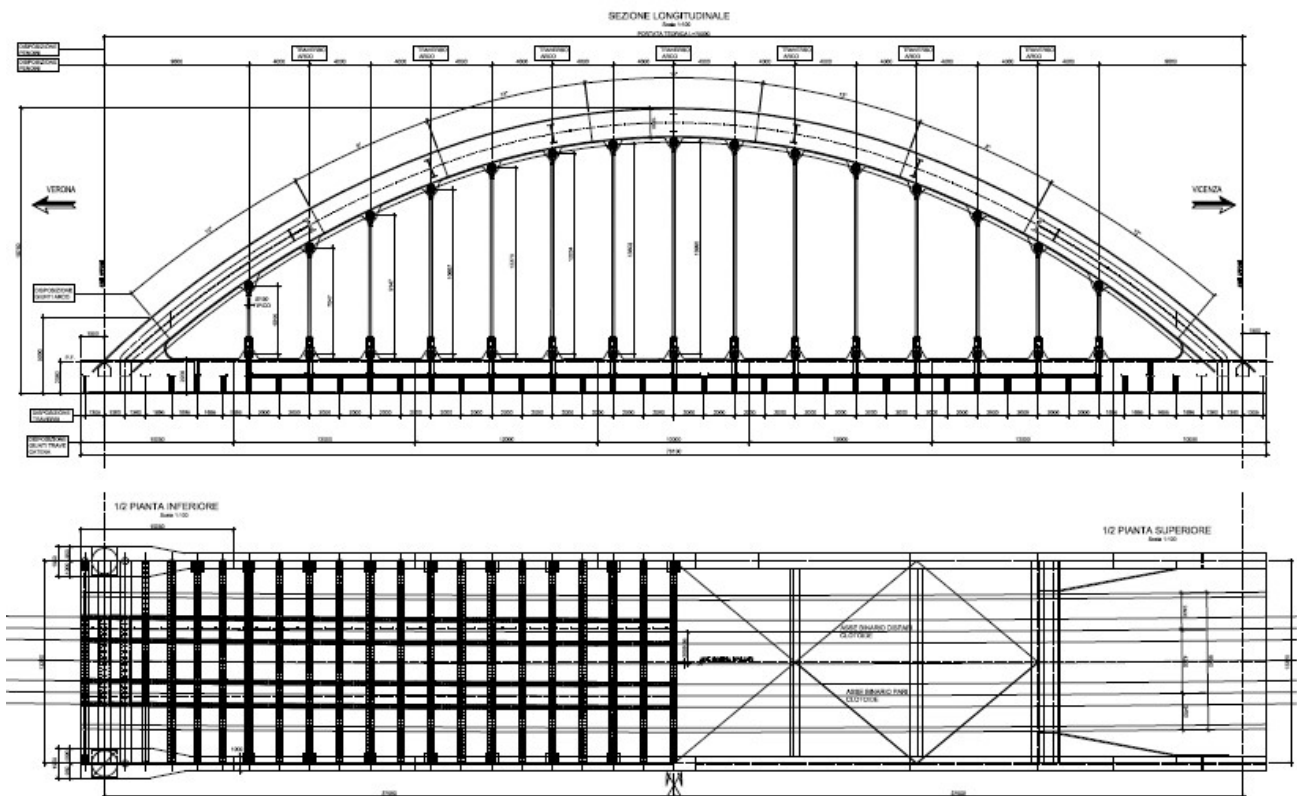
Tensacciai srl è risultata affidataria per conto di Cossi Costruzioni S.p.A. (Appaltatore) dei lavori di subappalto di fornitura e montaggio del sistema di pendinatura dei VIADOTTI VI01 "ILLASI" e VI02 "FIBBIO", nell'ambito della realizzazione della LINEA A.V. /A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA, Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza, per ITALFERR S.p.A. (Stazione Appaltante).

La tipologia strutturale adottata per il ponte è quella di una trave Langer (o arco a spinta eliminata) a passaggio inferiore e pareti controventate superiormente, con due binari ad interasse di 4,5m.


I ponti sono costituiti da 1 campata in semplice appoggio; la lunghezza della travata fra gli assi appoggi è di 78,1m, mentre l'interasse fra le pareti è pari a 13.32 m.

L'altezza in chiave dell'arco è di 16.70 m (distanza asse catena-asse arco) e su ciascuna parete l'arco è collegato alla trave principale attraverso 15 pendini $\phi 160$ con passo pari a 4.00 m. Ogni pendino è collegato all'arco mediante perni con capocorda fisso ed all'impalcato attraverso capocorda regolabile che permette di ottenere i corretti valori di tesatura.

Per maggiori dettagli si rimanda alle tavole di progetto IN1712E12BZVI01D5001A, riferimento [2], e IN1711E12BZVI02A5001A, riferimento [3].



Oggetto della presente relazione tecnica è quello di esplicitare le verifiche degli elementi principali dei due terminali (superiore ed inferiore) di attacco dei pendini al ponte.

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 4 of 50 |

2 DESCRIZIONE DEI TERMINALI DEI PENDINI

I terminali dei pendini hanno la funzione di collegare i pendini stessi ai festoni del ponte. Sono costituiti da un terminale superiore fisso ed uno inferiore predisposto per poter eseguire la tesatura dei pendini.

Ciascun terminale è costituito dai seguenti elementi:

- **Festone del ponte** (trasmette al ponte gli sforzi che provengono dal perno - non fa propriamente parte del sistema di pendinatura ma ai fini di completezza è comunque inserito nella descrizione degli elementi);
- **Terminale inferiore:**
 - Forca inferiore (trasmette al perno gli sforzi che provengono dalla barra);
 - Perno;
 - Snodo sferico (permette al sistema di poter seguire i movimenti rotazionali grazie al sistema di snodo con materiale antifrizione);
 - Boccola di riduzione (elemento che ospita lo snodo sferico ed è connesso al festone del ponte);
 - Flange di contenimento dello snodo (anche chiamate ghiera di spallamento nel seguito) e relativi bulloni di fissaggio;
 - Dado di contrasto (per la trasmissione delle forze dalla barra alla forca);
 - Anelli distanziali (atti a tenere la distanza tra snodo sferico e forca);
 - Coperchi del perno (per chiudere trasversalmente il perno alla forca).
- **Terminale superiore:**
 - Forca superiore (trasmette al perno gli sforzi che provengono dalla barra);
 - Perno;
 - Snodo sferico (permette al sistema di poter seguire i movimenti rotazionali grazie al sistema di snodo con materiale antifrizione);
 - Boccola di riduzione (elemento che ospita lo snodo sferico ed è connesso al festone del ponte);
 - Flange di contenimento dello snodo (anche chiamate ghiera di spallamento nel seguito) e relativi bulloni di fissaggio;
 - Anelli distanziali (atti a tenere la distanza tra snodo sferico e forca);
 - Coperchi del perno (per chiudere trasversalmente il perno alla forca).

Si riporta in Fig.1 una descrizione delle geometrie dei vari elementi; per i dettagli si rimanda al riferimento [4].

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 5 of 50 |

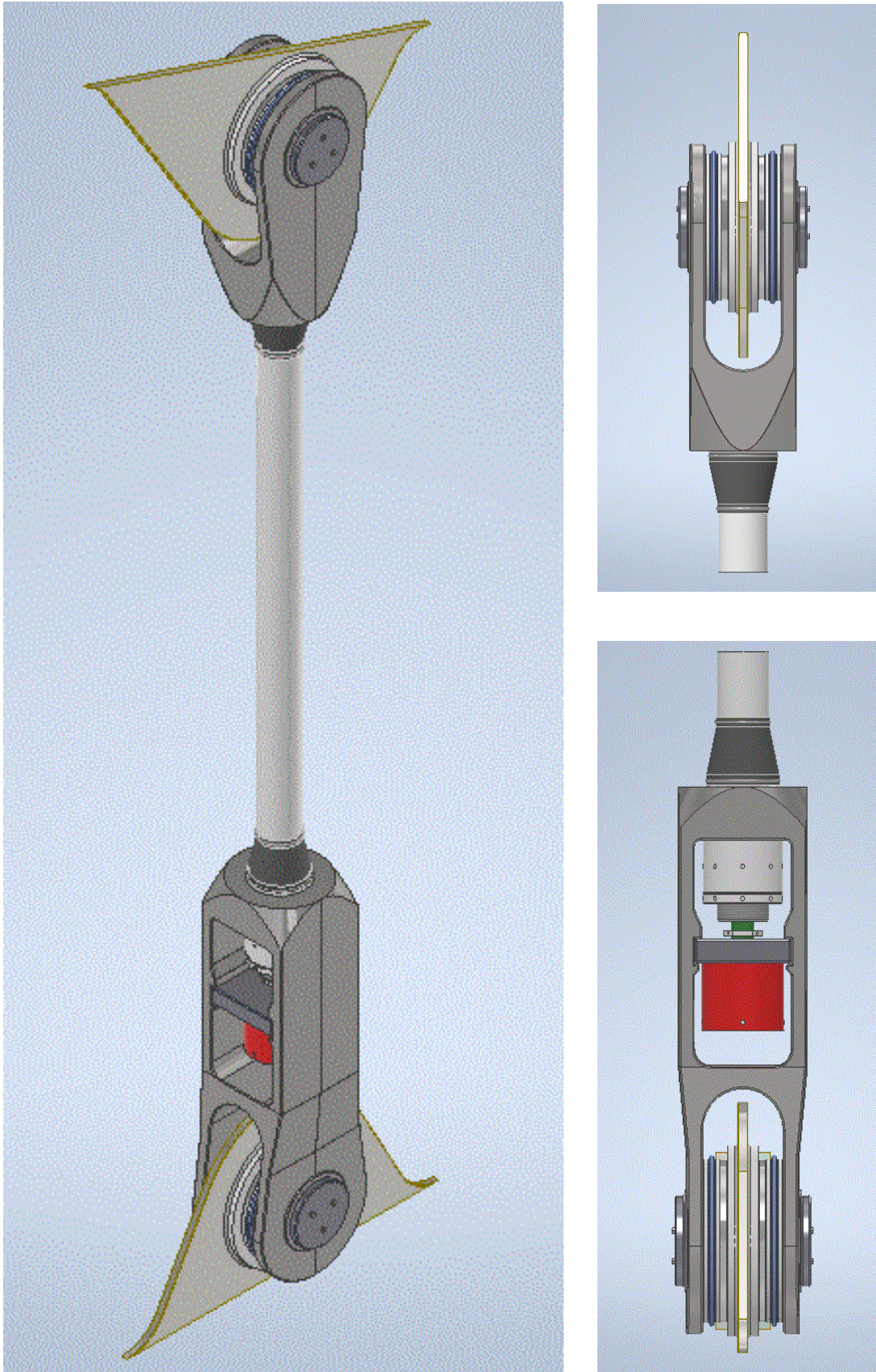



Fig. 1 - Asieme pendino e dettaglio forche

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 6 of 50 |

3 RIFERIMENTI E NORMATIVE

3.1 Riferimenti

Nella redazione di questa relazione tecnica sono stati presi a riferimento i seguenti documenti di progetto:

[1] IN1712EI2CLVI01D5001A: INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza PROGETTO ESECUTIVO VIADOTTI E PONTI - VIADOTTO “FIBBIO” DAL Km 9+958,67 AL Km 10+036,67 – IMPALCATI - Relazione di calcolo impalcato metallico

[2] IN1712EI2BZVI01D5001A: INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza PROGETTO ESECUTIVO VIADOTTI E PONTI - VIADOTTO “FIBBIO” DAL Km 9+958,67 AL Km 10+036,67 – IMPALCATI - Assieme carpenteria metallica

[3] IN1711EI2BZVI02A5001A: INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza PROGETTO ESECUTIVO VIADOTTI E PONTI - VIADOTTO “ILLASI” DAL Km11+495,65 AL Km 575,65 – IMPALCATI - Assieme carpenteria metallica

[4] 17075K01-03: Pendini Ø220 – Costruttivo componenti – Disegno costruttivo TENSA

I riferimenti di letteratura tecnica considerata sono i seguenti:

[5] A prediction method for load distribution in threaded connections - Dongmei Zhang - Journal of theoretical and applied mechanics 56, 1, pp. 157-168, Warsaw 2018

[6] Stress concentrations in screw threads – G. Peter O'Hara - US Army Armament Research and Development Command Benet Weapons Laboratory, LCWSL Watervliet Arsenal, Watervliet, NY 12189

[7] Mechanical Design of Machine Elements and Machines – Second edition – Jack A. Collins, John Wiley & Sons


3.2 Normative considerate

Nella redazione del progetto strutturale si è fatto riferimento al seguente quadro normativo:

- **D.M. 17 gennaio 2018** - “Norme tecniche per le costruzioni” con la relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019 n. 7 - “Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni”.
- **RFI DTC SI PS SP IFS 002 F:** “Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili” RFI
- **RFI DTC SI PS MA IFS 001 F:** “Manuale Di Progettazione Delle Opere Civili Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture” – RFI
- **UNI EN 1090-1:2012** – “Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”
- **UNI EN 1090-2:2018** – “Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio”
- **UNI 7670:1988** - “Meccanismi per apparecchi di sollevamento. Istruzioni per il calcolo” (*ritirata*)

Nei casi in cui le sopra menzionate normative si sono presentate carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si è fatto riferimento a normative di comprovata validità:


- **UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0** - “Criteri generali di progettazione strutturale” con il relativo NAD del 24.09.2010;

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 7 of 50 |

- **UNI EN 1993-1-1:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-1** - "Progettazione delle strutture di acciaio - Regole generali e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-8:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-8** - "Progettazione delle strutture di acciaio - Progettazione dei collegamenti" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-9:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-9** - "Progettazione delle strutture di acciaio - Fatica" con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1993-1-10:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-10** - "Progettazione delle strutture di acciaio - Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-2:2007 - EUROCODICE 3 Parte 2** - "Progettazione delle strutture in acciaio Ponti di acciaio" con il relativo NAD del 25.02.2011;

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale acciaio e dei sistemi di connessione, si considerano:

- **UNI EN 10025-1:2005** - "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura";
- **EN10340:2008** - "Getti di acciaio per impieghi strutturali"
- **UNI EN ISO 8062-3:2009** - "Specifiche geometriche dei prodotti (GPS) - Tolleranze dimensionali e geometriche dei pezzi ottenuti da fusione - Parte 3: Tolleranze dimensionali e geometriche generali e sovrametalli di lavorazione dei getti"
- **UNI EN 10088-1:2014** - "Acciai inossidabili - Parte 1: Lista degli acciai inossidabili"
- **UNI EN 10088-2:2005** - "Acciai inossidabili - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura delle lamiere, dei fogli e dei nastri di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali"
- **UNI EN 10088-3:2014** - "Acciai inossidabili - Parte 3: Condizioni tecniche di fornitura dei semilavorati, barre, vergella, filo, profilati e prodotti trasformati a freddo di acciaio resistente alla corrosione per impieghi generali"
- **UNI EN ISO 898-1:2013** - "Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine";
- **UNI EN ISO 898-2:2012** - "Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine";
- **DIN 405-1:1997-11** - "General purpose knuckle threads - Part 1: Profiles, nominal sizes"
- **DIN 405-2:1997-11** - "General purpose knuckle threads - Part 2: Deviations and tolerances"
- **DIN 405-3:1997-11** - "General purpose knuckle threads - Part 3: Gauges for external and internal thread; types of gauges, profiles, tolerances"

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 8 of 50 |

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E TRATTAMENTI ANTICORROSIVI

4.1 Forza inferiore e superiore

Le forche saranno realizzate per fusione in acciaio G18NiMoCr3-6 +QT2 in accordo ad EN10340:2008; si riportano di seguito estratti della normativa relativi alla composizione chimica e alle caratteristiche meccaniche.

Table 1 — Chemical composition (cast analysis), (% by mass)

| Designation | | C | | Si | Mn | | P | S | Cr | | Mo | | Ni | | V | | N | Cu |
|------------------|--------|------|-------|------|------|------|-------|--------------------|-------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|--------------|-------------------|
| Name | Number | min. | max. | max. | min. | max. | max. | max. | min. | max. | min. | max. | min. | max. | min. | max. | | max. |
| GS200 | 1.0449 | - | 0,18 | 0,60 | - | 1,20 | 0,030 | 0,025 | - | 0,30 ^a | - | 0,12 ^a | - | 0,40 ^a | - | 0,03 ^a | - | 0,30 ^a |
| GS240 | 1.0455 | - | 0,23 | 0,60 | - | 1,20 | 0,030 | 0,025 | - | 0,30 ^a | - | 0,12 ^a | - | 0,40 ^a | - | 0,03 ^a | - | 0,30 ^a |
| G17Mn5 | 1.1131 | 0,15 | 0,20 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 0,020 | 0,020 ^b | - | 0,30 ^a | - | 0,12 ^a | - | 0,40 ^a | - | 0,03 ^a | - | 0,30 ^a |
| G20Mn5 | 1.6220 | 0,17 | 0,23 | 0,60 | 1,00 | 1,60 | 0,020 | 0,020 ^b | - | 0,30 ^a | - | 0,12 ^a | - | 0,80 ^a | - | 0,03 ^a | - | 0,30 ^a |
| G24Mn6 | 1.1118 | 0,20 | 0,25 | 0,60 | 1,50 | 1,80 | 0,020 | 0,015 | - | 0,30 ^a | - | 0,12 ^a | - | 0,40 ^a | - | 0,03 ^a | - | 0,30 ^a |
| G10MnMoV6-3 | 1.5410 | - | 0,12 | 0,60 | 1,20 | 1,80 | 0,025 | 0,020 | - | 0,30 | 0,20 | 0,40 | - | 0,40 | 0,05 | 0,10 | - | 0,30 |
| G18NiMoCr3-6 | 1.6759 | 0,17 | 0,22 | 0,60 | 0,80 | 1,20 | 0,020 | 0,015 | 0,40 | 0,90 | 0,40 | 0,70 | 0,60 | 1,00 | - | 0,05 | - | 0,30 |
| GX4CrNi13-4 | 1.4317 | - | 0,06 | 1,00 | - | 1,00 | 0,035 | 0,015 | 12,00 | 13,50 | - | 0,70 | 3,50 | 5,00 | - | 0,08 | - | 0,30 |
| GX4CrNiMo16-5-1 | 1.4405 | - | 0,06 | 0,80 | - | 1,00 | 0,035 | 0,025 | 15,00 | 17,00 | 0,70 | 1,50 | 4,00 | 6,00 | - | 0,08 | - | 0,30 |
| GX2CrNi19-11 | 1.4309 | - | 0,030 | 1,50 | - | 2,00 | 0,035 | 0,025 | 18,00 | 20,00 | - | 0,50 | 9,00 | 12,00 | - | - | 0,20 max. | 0,50 |
| GX2CrNiMo19-11-2 | 1.4409 | - | 0,030 | 1,50 | - | 2,00 | 0,035 | 0,025 | 18,00 | 20,00 | 2,00 | 2,50 | 9,00 | 12,00 | - | - | 0,20 max. | 0,50 |
| GX2CrNiMoN25-6-3 | 1.4468 | | 0,030 | 1,00 | - | 2,00 | 0,035 | 0,025 | 24,50 | 26,50 | 2,50 | 3,50 | 5,50 | 7,00 | - | - | 0,12 to 0,25 | 0,50 |

^a Cr + Mo + Ni + V + Cu ≤ 1 %.

^b For castings of ruling thickness < 28 mm, S ≤ 0,030 % (by mass) shall be permitted.

Table 2 (continued)

| Designation | | Heat treatment ^a | | | Thickness | Tensile test at room temperature | | | Impact test ^b | |
|------------------|--------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------|---|------------------------------------|------------|--------------------------|-------------------|
| Name | Number | Symbol ^c | Normalizing or austenitizing °C | Tempering °C | t mm | R _{p0,2} MPa ^d min. | R _m MPa ^d | A %min. | KV J min. | Temperature °C |
| G18NiMoCr3-6 | 1.6759 | +QT1 | 900 to 980 ^g | 580 to 620 | t ≤ 80 | 700 | 830 to 980 | 12 | 27 | -40 |
| | | +QT2 | 900 to 980 ^g | 590 to 630 | t ≤ 150 | 630 | 780 to 930 | 12 | 27 | -40 |
| GX4CrNi13-4 | 1.4317 | +QT | 1 000 to 1 050 | 590 to 620 | t ≤ 300 | 570 | 760 to 960 | 15 | 50 | RT ^f |
| GXCrNiMo16-5-1 | 1.4405 | +QT | 1 020 to 1 070 | 580 to 630 | t ≤ 300 | 540 | 760 to 960 | 15 | 60 | RT ^f |
| GX2CrNi19-11 | 1.4309 | +AT ^h | 1 050 to 1 150 | - | t ≤ 150 | 185 | 440 to 640 | 30 | 80 | RT ^f |
| GX2CrNiMo19-11-2 | 1.4409 | +AT ^h | 1 080 to 1 150 | - | t ≤ 150 | 195 | 440 to 640 | 30 | 80 | RT ^f |
| GX2CrNiMoN25-6-3 | 1.4468 | +AT ^h | 1 120 to 1 150 | - | t ≤ 150 | 480 | 650 to 850 | 22 | 50 | RT ^f |

^a Temperature and cooling medium (for information only).

^b If two impact values are given, see 7.2.2.3.

^c + N means: Normalizing, + QT or + QT1 or + QT2 or + QT3 means: Quenching + Tempering; + AT means: Solution Annealing.


^d 1 MPa = 1N/mm².

^e Cooling in air (for information only).

^f RT means Room Temperature.

^g Cooling in liquid (for information only).

^h Solution annealing with quenching in water.

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 9 of 50 |

4.2 Barre di pendino, dadi di contrasto, distanziali e coperchi del perno

Barre di pendino, dadi di contrasto, distanziali e coperchi del perno saranno ottenuti da lamiera laminata a caldo in S355J2 in accordo ad EN 10025; si riportano di seguito estratti della normativa relativi alla composizione chimica e alle caratteristiche meccaniche.

Table 2 - Chemical composition of the ladle analysis for flat and long products of steel grades and qualities with values for the impact strength^a

| Designation | | Method of deoxidation ^b | C in % max. for nominal product thickness in mm | | | Si % max. | Mn % max. | P % max. ^d | S % max. ^{d, e} | N % max. ^f | Cu % max. ^g | Other % max. ^h |
|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|---|-------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| According EN 10027-1 and CR 10260 | According EN 10027-2 | | ≤ 16 | > 16 ≤ 40 | > 40 ^c | | | | | | | |
| S235JR | 1.0038 | FN | 0,17 | 0,17 | 0,20 | - | 1,40 | 0,035 | 0,035 | 0,012 | 0,55 | - |
| S235J0 | 1.0114 | FN | 0,17 | 0,17 | 0,17 | - | 1,40 | 0,030 | 0,030 | 0,012 | 0,55 | - |
| S235J2 | 1.0117 | FF | 0,17 | 0,17 | 0,17 | - | 1,40 | 0,025 | 0,025 | - | 0,55 | - |
| S275JR | 1.0044 | FN | 0,21 | 0,21 | 0,22 | - | 1,50 | 0,035 | 0,035 | 0,012 | 0,55 | - |
| S275J0 | 1.0143 | FN | 0,18 | 0,18 | 0,18 ⁱ | - | 1,50 | 0,030 | 0,030 | 0,012 | 0,55 | - |
| S275J2 | 1.0145 | FF | 0,18 | 0,18 | 0,18 ⁱ | - | 1,50 | 0,025 | 0,025 | - | 0,55 | - |
| S355JR | 1.0045 | FN | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,55 | 1,60 | 0,035 | 0,035 | 0,012 | 0,55 | - |
| S355J0 | 1.0553 | FN | 0,20 ^j | 0,20 ^k | 0,22 | 0,55 | 1,60 | 0,030 | 0,030 | 0,012 | 0,55 | - |
| S355J2 | 1.0577 | FF | 0,20 ^j | 0,20 ^k | 0,22 | 0,55 | 1,60 | 0,025 | 0,025 | - | 0,55 | - |
| S355K2 | 1.0596 | FF | 0,20 ^j | 0,20 ^k | 0,22 | 0,55 | 1,60 | 0,025 | 0,025 | - | 0,55 | - |
| S450J0 ^l | 1.0590 | FF | 0,20 | 0,20 ^k | 0,22 | 0,55 | 1,70 | 0,030 | 0,030 | 0,025 | 0,55 | ^m |

Table 7 - Mechanical properties at ambient temperature for flat and long products of steel grades and qualities with values for the impact strength

| Designation | | Minimum yield strength R _{eH} ^a MPa ^b | | | | | | | | | Tensile strength R _m ^a MPa ^b | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------|---|------------|-------------|-------------|--------------------------|
| According EN 10027-1 and CR 10260 | According EN 10027-2 | Nominal thickness mm | | | | | | | | | Nominal thickness mm | | | | |
| | | ≤ 16 | > 16 ≤ 40 | > 40 ≤ 63 | > 63 ≤ 80 | > 80 ≤ 100 | > 100 ≤ 150 | > 150 ≤ 200 | > 200 ≤ 250 | > 250 ≤ 400 ^f | < 3 | ≥ 3 ≤ 100 | > 100 ≤ 150 | > 150 ≤ 250 | > 250 ≤ 400 ^f |
| S235JR | 1.0038 | 235 | 225 | 215 | 215 | 215 | 195 | 185 | 175 | - | 360 to 510 | 360 to 510 | 350 to 500 | 340 to 490 | - |
| S235J0 | 1.0114 | 235 | 225 | 215 | 215 | 215 | 195 | 185 | 175 | - | 360 to 510 | 360 to 510 | 350 to 500 | 340 to 490 | - |
| S235J2 | 1.0117 | 235 | 225 | 215 | 215 | 215 | 195 | 185 | 175 | 165 | 360 to 510 | 360 to 510 | 350 to 500 | 340 to 490 | 330 to 480 |
| S275JR | 1.0044 | 275 | 265 | 255 | 245 | 235 | 225 | 215 | 205 | - | 430 to 580 | 410 to 560 | 400 to 540 | 380 to 540 | - |
| S275J0 | 1.0143 | 275 | 265 | 255 | 245 | 235 | 225 | 215 | 205 | - | 430 to 580 | 410 to 560 | 400 to 540 | 380 to 540 | - |
| S275J2 | 1.0145 | 275 | 265 | 255 | 245 | 235 | 225 | 215 | 205 | 195 | 430 to 580 | 410 to 560 | 400 to 540 | 380 to 540 | 380 to 540 |
| S355JR | 1.0045 | 355 | 345 | 335 | 325 | 315 | 295 | 285 | 275 | - | 510 to 680 | 470 to 630 | 450 to 600 | 450 to 600 | - |
| S355J0 | 1.0553 | 355 | 345 | 335 | 325 | 315 | 295 | 285 | 275 | - | 510 to 680 | 470 to 630 | 450 to 600 | 450 to 600 | - |
| S355J2 | 1.0577 | 355 | 345 | 335 | 325 | 315 | 295 | 285 | 275 | 265 | 510 to 680 | 470 to 630 | 450 to 600 | 450 to 600 | 430 to 600 |
| S355K2 | 1.0596 | 355 | 345 | 335 | 325 | 315 | 295 | 285 | 275 | 265 | 510 to 680 | 470 to 630 | 450 to 600 | 450 to 600 | 450 to 600 |
| S450J0 ^l | 1.0590 | 450 | 430 | 410 | 390 | 380 | 380 | - | - | - | - | 550 to 720 | 530 to 700 | - | - |

^a For plate, strip and wide flats with widths ≥ 600 mm the direction transverse (t) to the rolling direction applies. For all other products the values apply for the direction parallel (l) to the rolling direction.
^b 1 MPa = 1 N/mm².
^c The values apply to flat products.
^d Applicable for long products only.

Nota: Si chiarisce che in questa relazione tecnica, a vantaggio di sicurezza, si è trascurato l'incremento della tensione limite di snervamento per effetto della formatura a freddo continua con rulli sulla resistenza dell'acciaio della barra e del dado in zona filettata - Circolare applicativa delle NTC2018 (paragrafo C4.2.12.1.1).

4.3 Perni


I perni saranno realizzati in 1.4507 o 1.4418 in accordo ad EN 10088; si riportano di seguito estratti della normativa relativi alla composizione chimica e alle caratteristiche meccaniche.

| Designazione dell'acciaio | | Forma di prodotto ¹⁾ | Spessore | Stato di trattamento termico ²⁾ | Durezza ³⁾ | | Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2% | Resistenza a trazione | Allungamento dopo rottura | | Resilienza (ISO-V) | | Durezza | | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------|--|-----------------------|---------|---|----------------------------|---|---|----------------------------------|---|------------|--------------|--------------|
| Designazione alfanumerica | Designazione numerica | | mm max. | | HRB | HB o HV | $R_{p0.2}$ N/mm ² min. | R_m N/mm ² | A_{max}^4 spessore < 3 mm % min. (longitudinale e trasversale) | A^4 spessore ≥ 3 mm % min. (longitudinale e trasversale) | KV spessore > 10 mm J min. | | HRC | HV | |
| Qualità tipo | | | | | | | | | | | | | | | |
| X12Cr13 | 1.4006 | C | 6 | A | 90 | 200 | - | max. 600 | - | 20 | - | - | - | - | |
| | | H | 12 | QT550 | - | - | 400 | da 550 a 750 | 15 | - | - | - | - | | |
| X20Cr13 | 1.4021 | P ⁵⁾ | 75 | QT650 | - | - | 450 | da 850 a 850 | 12 | - | secondo accordo | - | - | - | |
| | | C | 3 | QT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | H | 12 | A | 95 | 225 | - | max. 700 | - | 15 | - | - | da 44 a 50 | da 440 a 530 | |
| | | P ⁵⁾ | 75 | QT650 | - | - | 450 | da 850 a 850 | 12 | - | - | - | - | - | |
| X30Cr13 | 1.4028 | C | 3 | QT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | H | 12 | A | 97 | 235 | - | max. 740 | - | 15 | - | - | da 45 a 51 | da 450 a 550 | |
| | | P ⁵⁾ | 75 | QT800 | - | - | 600 | da 800 a 1 000 | 10 | - | - | - | - | - | |
| | | C | 3 | QT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| X39Cr13 | 1.4031 | H | 12 | A | 98 | 240 | - | max. 760 | - | 12 | - | - | da 47 a 53 | da 460 a 560 | |
| | | C | 6 | QT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| X46Cr13 | 1.4034 | C | 6 | A | 99 | 245 | - | max. 780 | - | 12 | - | - | - | - | |
| | | H | 12 | A | 100 | 280 | - | max. 850 | - | 12 | - | - | - | - | |
| X50CrMoV15 | 1.4116 | C | 3 | QT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | H | 12 | A | 100 | 280 | - | max. 850 | - | 12 | - | - | - | - | |
| X39CrMo17-1 | 1.4122 | C | 6 | A | 100 | 280 | - | max. 900 | - | 12 | - | - | - | da 47 a 53 | da 480 a 580 |
| | | H | 12 | A | 100 | 280 | - | max. 900 | - | 12 | - | - | - | - | |
| X3CrNiMo13-4 | 1.4313 | P | 75 | QT780 | - | - | 850 | da 780 a 980 | 14 | - | 70 | - | - | - | |
| | | P | 75 | QT900 | - | - | 900 | da 900 a 1 100 | 11 | - | - | - | - | - | |
| X4CrNiMo16-5-1 | 1.4418 | P | 75 | QT840 | - | - | 880 | da 840 a 980 | 14 | - | 55 | - | - | - | |

1) C = nastro laminato a freddo; H = nastro laminato a caldo; P = lamiera a caldo.
2) A = ricotto; QT = bonificato.
3) Per le forme di prodotto C ed H nello stato di trattamento termico A viene di norma determinata la durezza Brinell o Vickers o Rockwell. In casi di contestazione deve essere eseguita la prova di trazione.
4) I valori si applicano per provette con una lunghezza tra i riferimenti di 80 mm ed una larghezza di 20 mm; possono anche essere utilizzate provette con una lunghezza tra i riferimenti di 50 mm ed una larghezza di 12,5 mm.
5) I valori si applicano per provette con una lunghezza tra i riferimenti di 5,65 $\sqrt{S_0}$.
6) Le lamiere possono anche essere fornite allo stato ricotto; in tali casi le caratteristiche meccaniche devono essere concordate all'atto della richiesta d'offerta e dell'ordine.

| Designazione dell'acciaio | | Forma di prodotto ¹⁾ | Spessore | Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità 0,2% | Resistenza a trazione | Allungamento dopo la rottura | | Resilienza (ISO-V) | | Resistenza alla corrosione | |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------|---|----------------------------|---|---|----------------------------------|----|----------------------------|---|
| Designazione alfanumerica | Designazione numerica | | mm max. | $R_{p0.2}$ N/mm ² min. (trasversale) ²⁾ | R_m N/mm ² | A_{max}^4 spessore < 3 mm % min. (longitudinale e trasversale) | A^4 spessore ≥ 3 mm % min. (longitudinale e trasversale) | KV spessore > 10 mm J min. | | Allo stato di fornitura | Allo stato sensibilizzato ³⁾ |
| Qualità tipo | | | | | | | | | | | |
| X2CrNi23-4 | 1.4362 | C | 6 | 420 | da 600 a 850 | 20 | 20 | - | - | si | si |
| | | H | 12 | 400 | da 630 a 800 | 25 | 25 | 90 | 60 | - | - |
| X2CrNiMo22-5-3 | 1.4462 | C | 6 | 460 | da 680 a 850 | 20 | 20 | - | - | si | si |
| | | H | 12 | 460 | da 640 a 840 | 25 | 25 | 90 | 60 | - | - |
| Qualità speciali | | | | | | | | | | | |
| X2CrNiMoCu25-6-3 | 1.4507 | C | 8 | 510 | da 690 a 940 | 17 | 17 | - | - | - | - |
| | | H | 12 | 490 | da 690 a 890 | 25 | 25 | 90 | 60 | si | si |
| | | P | 75 | 490 | da 690 a 890 | 25 | 25 | 90 | 60 | si | si |
| X2CrNiMo25-7-4 | 1.4410 | C | 6 | 530 | da 750 a 1 000 | 15 | 15 | - | - | - | - |
| | | H | 12 | 530 | da 730 a 930 | 20 | 20 | 90 | 60 | si | si |
| X2CrNiMoCu25-7-4 | 1.4501 | P | 75 | 530 | da 730 a 930 | 20 | 20 | 90 | 60 | si | si |
| | | P | 75 | 530 | da 730 a 930 | 25 | 25 | 90 | 60 | si | si |

1) C = nastro laminato a freddo; H = nastro laminato a caldo; P = lamiera laminata a caldo.
2) Qualora, nel caso dei nastri con larghezza di laminazione < 300 mm, vengano prelevate provette longitudinali, i valori minimi del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità si riducono di 15 N/mm².
3) Per i prodotti laminati a caldo in continuo possono essere concordati, all'atto della richiesta d'offerta e dell'ordine, dei valori minimi di 20 N/mm² più elevati per $R_{p0.2}$ e valori di 12,5 mm.
4) I valori si applicano per provette con una lunghezza tra i riferimenti di 80 mm ed una larghezza di 20 mm; possono anche essere utilizzate provette con una lunghezza tra i riferimenti di 50 mm ed una larghezza di 12,5 mm.
5) I valori si applicano per provette con una lunghezza tra i riferimenti di 5,65 $\sqrt{S_0}$.
6) Con controllo secondo EURONORM 114.
7) Vedere la nota 2 di 8.4.

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 11 of 50 |

4.4 Bulloneria

La bulloneria sarà in acciaio inossidabile del tipo A4-70 (AISI 316) in accordo a EN ISO 3506-1:1998.

| Group | Grade | Chemical composition, % (m/m) ^a | | | | | | | | | Notes |
|-------------|-------|---|----|-----|-------|--------------|------------|----------------|------------|--------------|-------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Cu | |
| Austenitic | A1 | 0,12 | 1 | 6,5 | 0,2 | 0,15 to 0,35 | 16 to 19 | 0,7 | 5 to 10 | 1,75 to 2,25 | bed |
| | A2 | 0,1 | 1 | 2 | 0,05 | 0,03 | 15 to 20 | — ^e | 8 to 19 | 4 | gh |
| | A3 | 0,08 | 1 | 2 | 0,045 | 0,03 | 17 to 19 | — ^e | 9 to 12 | 1 | i |
| | A4 | 0,08 | 1 | 2 | 0,045 | 0,03 | 16 to 18,5 | 2 to 3 | 10 to 15 | 1 | bj |
| | A5 | 0,08 | 1 | 2 | 0,045 | 0,03 | 16 to 18,5 | 2 to 3 | 10,5 to 14 | 1 | bj |
| Martensitic | C1 | 0,09 to 0,15 | 1 | 1 | 0,05 | 0,03 | 11,5 to 14 | — | 1 | — | j |
| | C3 | 0,17 to 0,25 | 1 | 1 | 0,04 | 0,03 | 16 to 18 | — | 1,5 to 2,5 | — | — |
| | C4 | 0,08 to 0,15 | 1 | 1,5 | 0,06 | 0,15 to 0,35 | 12 to 14 | 0,6 | 1 | — | bj |
| Ferritic | F1 | 0,12 | 1 | 1 | 0,04 | 0,03 | 15 to 18 | — ^f | 1 | — | kl |

NOTE 1 A description of the groups and grades of stainless steels also entering into their specific properties and application is given in Annex B.
NOTE 2 Examples for stainless steels which are standardized in ISO 683-13 and in ISO 4954 are given in Annex C and Annex D respectively.
NOTE 3 Certain materials for specific application are given in Annex E.


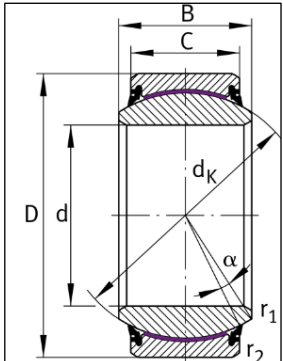
^a Values are maximum unless otherwise indicated.
^b Sulfur may be replaced by selenium.
^c If the nickel content is below 8 %, the minimum manganese content must be 5 %.
^d There is no minimum limit to the copper content provided that the nickel content is greater than 8 %.
^e Molybdenum may be present at the discretion of the manufacturer. However, if for some applications limiting of the molybdenum content is essential, this must be stated at the time of ordering by the purchaser.
^f Molybdenum may be present at the discretion of the manufacturer.
^g If the chromium content is below 17 %, the minimum nickel content should be 12 %.
^h For austenitic stainless steels having a maximum carbon content of 0,03 %, nitrogen may be present to a maximum of 0,22 %.
ⁱ Must contain titanium $\geq 5 \times C$ up to 0,8 % maximum for stabilization and be marked appropriately in accordance with this table, or must contain niobium (columbium) and/or tantalum $\geq 10 \times C$ up to 1,0 % maximum for stabilization and be marked appropriately in accordance with this table.
^j At the discretion of the manufacturer the carbon content may be higher where required to obtain the specified mechanical properties at larger diameters, but shall not exceed 0,12 % for austenitic steels.
^k May contain titanium $\geq 5 \times C$ up to 0,8 % maximum.
^l May contain niobium (columbium) and/or tantalum $\geq 10 \times C$ up to 1 % maximum.

| Group | Grade | Property class | Thread diameter range | Tensile strength R_m^a min. N/mm ² | Stress at 0,2 % permanent strain $R_{p0.2}^a$ min. N/mm ² | Elongation after fracture A^b min. mm |
|------------|---------|----------------|-----------------------|--|---|--|
| Austenitic | A1, A2, | 50 | ≅ M39 | 500 | 210 | 0,6 d |
| | A3, A4, | 70 | ≅ M24 ^c | 700 | 450 | 0,4 d |
| | A5 | 80 | ≅ M24 ^c | 800 | 600 | 0,3 d |


^a The tensile stress is calculated on the stress area (see Annex A).
^b To be determined according to 6.2.4 on the actual screw length and not on a prepared test piece; d is the nominal thread diameter.
^c For fasteners with nominal thread diameters $d > 24$ mm the mechanical properties shall be agreed upon between user and manufacturer and marked with grade and property class according to this table.

4.5 Snodi sferici

Gli snodi sferici sono del tipo GE220-UK-2RS - ditta Schaeffler.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--------|---------------------------------|---|--------|----------------------------------|---|--------|-------------------------------|---|--------|--------------------------|----------------|-------------|--|-----------------|--------------|---|----|-------|------|
|  |  | <p>Dimensioni principali & prestazioni</p> <table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>320 mm</td> <td>Diametro esterno del cuscinetto</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>220 mm</td> <td>Diametro del foro del cuscinetto</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>135 mm</td> <td>Larghezza dell'anello interno</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>100 mm</td> <td>Larghezza anello esterno</td> </tr> <tr> <td>C_r</td> <td>6.600.000 N</td> <td>coefficiente di carico dinamico, radiale</td> </tr> <tr> <td>C_{0r}</td> <td>11.000.000 N</td> <td>coefficiente di carico statico, radiale</td> </tr> <tr> <td>≈m</td> <td>32 kg</td> <td>Peso</td> </tr> </table> | D | 320 mm | Diametro esterno del cuscinetto | d | 220 mm | Diametro del foro del cuscinetto | B | 135 mm | Larghezza dell'anello interno | C | 100 mm | Larghezza anello esterno | C _r | 6.600.000 N | coefficiente di carico dinamico, radiale | C _{0r} | 11.000.000 N | coefficiente di carico statico, radiale | ≈m | 32 kg | Peso |
| D | 320 mm | Diametro esterno del cuscinetto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d | 220 mm | Diametro del foro del cuscinetto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 135 mm | Larghezza dell'anello interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 100 mm | Larghezza anello esterno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C _r | 6.600.000 N | coefficiente di carico dinamico, radiale | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C _{0r} | 11.000.000 N | coefficiente di carico statico, radiale | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ≈m | 32 kg | Peso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Per ulteriori dettagli si rimanda all'Annex A di questa relazione.

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 12 of 50 |

4.6 Filettatura

Le filettature per le giunzioni delle barre di pendino al terminale a forca superiore ed al dado del terminale inferiore saranno realizzate per rullatura in accordo alla norma DIN 405 parti 1, 2 e 3. Le caratteristiche geometriche sono riportate in tabella 1.

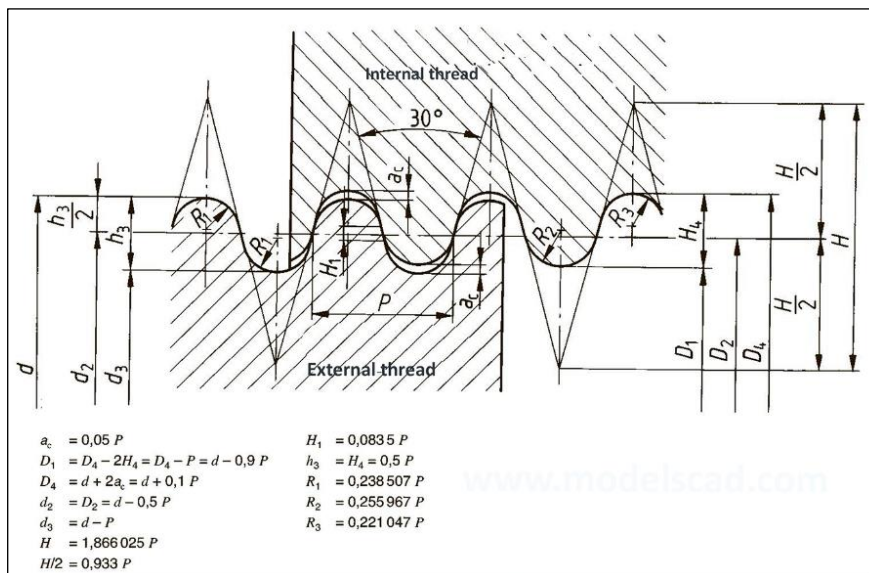



Fig. 2 - Filettatura DIN405

| Descrizione | Simbolo | valore | u.m. |
|----------------------------|-------------|------------|------|
| Diametro nominale | d | 160 | mm |
| Passo | P | 6,350 | mm |
| - | a_c | 0,318 | mm |
| Diametro cresta madre vite | D_1 | 154,285 | mm |
| Diametro fondo madre vite | D_4 | 160,635 | mm |
| Diametro medio | $d_2 = D_2$ | 156,825 | mm |
| Diametro fondo vite | d_3 | 153,650 | mm |
| - | H | 11,849259 | mm |
| - | H/2 | 5,9246294 | mm |
| - | H_1 | 0,530225 | mm |
| - | $h_3 = H_4$ | 3,175 | mm |
| Raggio cresta e fondo vite | R_1 | 1,51451945 | mm |
| Raggio cresta madre vite | R_2 | 1,62539045 | mm |
| Raggio fondo madre vite | R_3 | 1,40364845 | mm |

Tabella 1 - Filettatura DIN405 Rd160mm x 1/4"


| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 13 of 50 |

4.7 Protezioni contro la corrosione delle parti metalliche

Tutte le parti non realizzate in inox saranno oggetto di trattamento superficiale con ciclo ZETAGI omologato RFI n.129/V, classe C5 High in accordo alla EN12944.

Si riporta di seguito il dettaglio del certificato di omologazione con evidenza degli strati, dello spessore DFT e dei prodotti che saranno utilizzati.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla tavola di progetto espressamente dedicata al trattamento di tutti i componenti del sistema pendino.



RFI
RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Vice Direzione Generale Sviluppo e Standard
Direzione Tecnica
Standard Infrastruttura
Il Responsabile

CERTIFICATO DI OMOLOGAZIONE
CICLO DI VERNICIATURA
N° 129/V

Visto l'esito delle prove effettuate, si dichiara **OMOLOGATO**, in ambito RFI per un periodo di tre anni a partire dalla data di rilascio del presente certificato di omologazione, il ciclo di verniciatura di seguito descritto, prodotto dalla "Zetagi S.r.l.". Il presente certificato di omologazione è relativo alla composizione e alle caratteristiche della pittura, al metodo di applicazione ed alla preparazione delle superfici, come riportato nelle schede tecniche allegate. Il Produttore è responsabile della conformità del prodotto alle suddette schede.

| | |
|----------------------------------|--|
| Ditta produttrice | Zetagi S.r.l., Via Pasubio 41, CAP 36051, Olmo di Creazzo (VI). |
| Descrizione | Ciclo di verniciatura per appoggi strutturali nuovi per ambienti con classe di corrosività atmosferica C5 High. |
| Specifiche di riferimento | Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II, Sezione 6 (RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – del 31.12.2020). |

| Composizione del ciclo di verniciatura | | | | |
|--|-----------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| Ciclo | N° Strato | Tipologia Prodotto | Nome Prodotto | Spessore |
| 129/V | 1 | Primer epossidico bicomponente | Eponex ST HR ALU 7082066 | 270 µm |
| | 2 | Finitura poliuretanicica acrilica | Titania PU RFI 733300 | 50 µm |


| | |
|----------------------------------|------------------|
| Preparazione superficiale | Sabbatura Sa 2½. |
|----------------------------------|------------------|

Allegati:

1. Schede tecniche;
2. Certificato di omologazione 78/V del 20/12/2017;
3. Verbale di ispezione congiunta.


Per le prove di laboratorio del presente ciclo valgono quelle già eseguite sul ciclo 75/V precedentemente omologato, in quanto i prodotti che lo compongono ed i relativi spessori di applicazione sono i medesimi di quelli utilizzati nella presente omologazione.


Incaricato del procedimento
Ing. A. Vecchi




Andrea Vecchi
RFI
14.12.2022 11:55:52
GMT+00:00

1





Franco
usabile
RFI
15.12.2021
15:19:41
GMT+01:00


| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 14 of 50 |

5 PRESTAZIONI

Le prestazioni per il dimensionamento del sistema sono state prese dal riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e sono riportate nella tabella 2 successiva.

| RIF. RELAZIONE DI CALCOLO SETECO: IN1712EI2CLVI01D5001A | | | | |
|--|----------------|------------|---------------------------|--|
| COND. 1 - SOLLECITAZIONI SLU PER VERIFICHE A FATICA | | | | |
| <i>Ipotesi di snodo grippato a seguito di mal funzionamento.</i> | | | | pag.432 rif. [1] |
| FATICA | 1LM71 | | su singolo passaggio LM71 | |
| Diam | D | 155 | mm | |
| Area | A _s | 18860 | mm ² | |
| Modulo resistente | W | 365580 | mm ³ | |
| <i>1LM71 - MINIMI</i> | | | | |
| N _{es,min} | 258,4 | kN | → | $\sigma_{1,min} = N_{es,min} / A_s$ 13,7 MPa |
| Mlong _{es,min} | -2,714 | kNm | → | $\sigma_{2,min} = Mlong_{es,min} / W$ 7,4 MPa |
| Mtrasv _{es,min} | -0,572 | kNm | → | $\sigma_{3,min} = Mtrasv_{es,min} / W$ 1,6 MPa |
| <i>1LM71 - MASSIMI</i> | | | | |
| N _{es,max} | -18 | kN | → | $\sigma_{1,max} = N_{es,max} / A_s$ -1,0 MPa |
| Mlong _{es,max} | 0,135 | kNm | → | $\sigma_{2,max} = Mlong_{es,max} / W$ 0,4 MPa |
| Mtrasv _{es,max} | 0,138 | kNm | → | $\sigma_{3,max} = Mtrasv_{es,max} / W$ 0,4 MPa |
| $\Delta\sigma_N$ | | | → | $\Delta\sigma_N = \sigma_{1,min} - \sigma_{1,max}$ 14,7 MPa |
| $\Delta\sigma_{Mlong}$ | | | → | $\Delta\sigma_{Mlong} = \sigma_{2,min} - \sigma_{2,max}$ 7,1 MPa |
| $\Delta\sigma_{Mtrasv}$ | | | → | $\Delta\sigma_{Mtrasv} = \sigma_{2,min} - \sigma_{2,max}$ 1,2 MPa |
| ΔN | | | → | $\Delta N = \Delta\sigma_N \times A_s$ 276,4 kN |
| $\Delta Mlong$ | | nominali | → | $\Delta Mlong = \Delta\sigma_{Mlong} \times W$ 2,579 kNm |
| $\Delta Mtrasv$ | | | → | $\Delta Mtrasv = \Delta\sigma_{Mtrasv} \times W$ 0,434 kNm |
| λ_1 - lunghezza di influenza | | | | 1,04 |
| λ_2 - volume del traffico | | | | 1 |
| λ_3 - vita di progetto | | | | 1 |
| λ_4 - contemporaneità 2 binari | | | | 0,83 |
| λ | | | | 0,86 |
| ϕ_2 | | | | 1,2 |
| γ_{ff} | | | | 1,0 |
| ΔN_{Ed} | | | → | $\Delta N_{Ed} = \Delta N \lambda \phi_2 \gamma_{ff}$ 285,2 kN |
| $\Delta Mlong_{Ed}$ | | | → | $\Delta Mlong_{Ed} = \Delta Mlong \lambda \phi_2 \gamma_{ff}$ 2,66 kNm |
| $\Delta Mtrasv_{Ed}$ | | | → | $\Delta Mtrasv_{Ed} = \Delta Mtrasv \lambda \phi_2 \gamma_{ff}$ 0,45 kNm |
| ΔN_{Eq} | | | → | $\Delta N_{Eq} = \Delta N_{Ed} +$ $[\Delta Mlong_{Ed} / W A_s + \Delta Mtrasv_{Ed} / W]$ 425 kN |
| COND.2 - SOLLECITAZIONI SLU DI ESERCIZIO | | | | |
| <i>Ipotesi di snodo funzionante.</i> | | | | |
| N _{esercizio} | 2131 | kN | pag. 304 | |
| COND.3 - SOLLECITAZIONI SLU ECCEZIONALI (ROTTURA 3 PENDINI) | | | | |
| <i>Ipotesi di snodo funzionante.</i> | | | | |
| N _{eccezionale} | 4346 | kN | pag.566 | deragliamenti con rottura 3 pendini in posizione centrale |
| N _{eccezionale} | 3636 | kN | pag.755 | deragliamenti con rottura 3 pendini in posizione di estremità |

Tabella 2 - Prestazioni di progetto

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 15 of 50 |

6 DESCRIZIONE MODELLI FE

Per l'analisi dello stato tensionale e le conseguenti verifiche in accordo alle normative vigenti, sono stati realizzati modelli tridimensionali per analisi agli elementi finiti.

Tutti i modelli sono non lineari per geometria e presenza di interfacce di contatto unilatero tra i diversi componenti.

Si presenta in tabella 3 successiva la storia di carico applicate. Giacché le analisi condotte sono di tipo statiche (nessun effetto nel dominio del tempo) si chiarisce che l'associare un tempo a ciascuno incremento nello step da 0s a 1s serve solo ad applicare linearmente il carico nello step (da 0% → tempo 0s dello step a 100% → tempo 1s dello step).

| STEP | CARICO ASSIALE (kN) | CONDIZIONE DI CARICO |
|--------|---------------------|----------------------|
| Step 1 | 850 | SLU Fatica min |
| Step 2 | 1275 | SLU Fatica max |
| Step 3 | 2131 | SLU Esercizio |
| Step 4 | 4350 | SLU Eccezionale |

Tabella 3 – Descrizione storia di carico

Si chiarisce che per i carichi a fatica il riferimento [1] presentava solo ΔN , ΔM_{long} e ΔM_{trav} da applicare; è stato considerato quindi come valore minimo di tiro nel pendino, condizione di partenza per applicazione del carico di fatica equivalente, la condizione di carico permanente (massimo tra tutti i pendini pari a 850kN).

Si chiarisce inoltre che, sempre per la fatica, seguendo il medesimo approccio della verifica condotta nel riferimento [1] è stato applicato un ΔN equivalente (1275-850=425kN – si veda tabella 2) che comprende gli effetti dovuti ai momenti flettenti su barra (condizione snodo grippato) e può essere ritenuto ampiamente conservativo in quanto i $\Delta\sigma$ dovuti ai momenti sarebbero solo locali (all'estremità della sezione di barra più centrifugata) mentre vengono applicati uniformemente su tutta la sezione.

Con riferimento alle caratteristiche dei materiali presentate al paragrafo 4, si riportano in tabella 3 successiva le proprietà assegnate a ciascun materiale utilizzato nella simulazione.

| MATERIALE | E (MPa) | ν (-) | f_y (MPa) | f_u (MPa) | A (%) |
|------------------------|---------------------|--------------------|-------------|-------------|-------|
| Forcella | 210000 | 0,3 | 630 | 780 | 0,12 |
| Barra | 210000 | 0,3 | 285 | 450 | 0,17 |
| Dado | 210000 | 0,3 | 285 | 450 | 0,17 |
| Ghiere | 210000 | 0,3 | 345 | 470 | 0,22 |
| Boccola | 210000 | 0,3 | 315 | 450 | 0,2 |
| Perno | 210000 | 0,3 | 490 | 690 | 0,25 |
| Toroidale snodo | 210000 | 0,3 | 345 | 470 | 0,22 |
| Pistone snodo | 210000 | 0,3 | 345 | 470 | 0,22 |
| Bulloni e Dadi | 210000 | 0,3 | 900 | 1000 | 0,1 |
| Materiale Antifrizione | 2000 ^[2] | 0,4 ^[2] | - | - | - |

Nota 1: Per i modelli lineari applicati solo le caratteristiche elastiche.

Nota 2: Valore assunto sulla base di considerazioni per materiali similari. L'esatta determinazione del valore per quanto estremamente complessa (dipendenza confinamento, usura, pressione etc...) risulta inessenziale per la determinazione della distribuzione degli stress nell'intero sistema.

Tabella 4 – Descrizione caratteristiche meccaniche materiali utilizzate nelle simulazioni

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 16 of 50 |

6.1 Descrizione mesh modello terminale inferiore

Si riporta nel seguito una breve descrizione della mesh del modello del terminale inferiore.

Per il modello sono stati utilizzati elementi finiti di ordine geometrico lineare: la mesh è composta da 962.229 esaedri lineari a 8 nodi, 2.582 prismi a 6 nodi, 9.280 tetraedri a 4 nodi, 19.288 piramidi a 5 nodi. Si riportano di seguito alcune immagini.

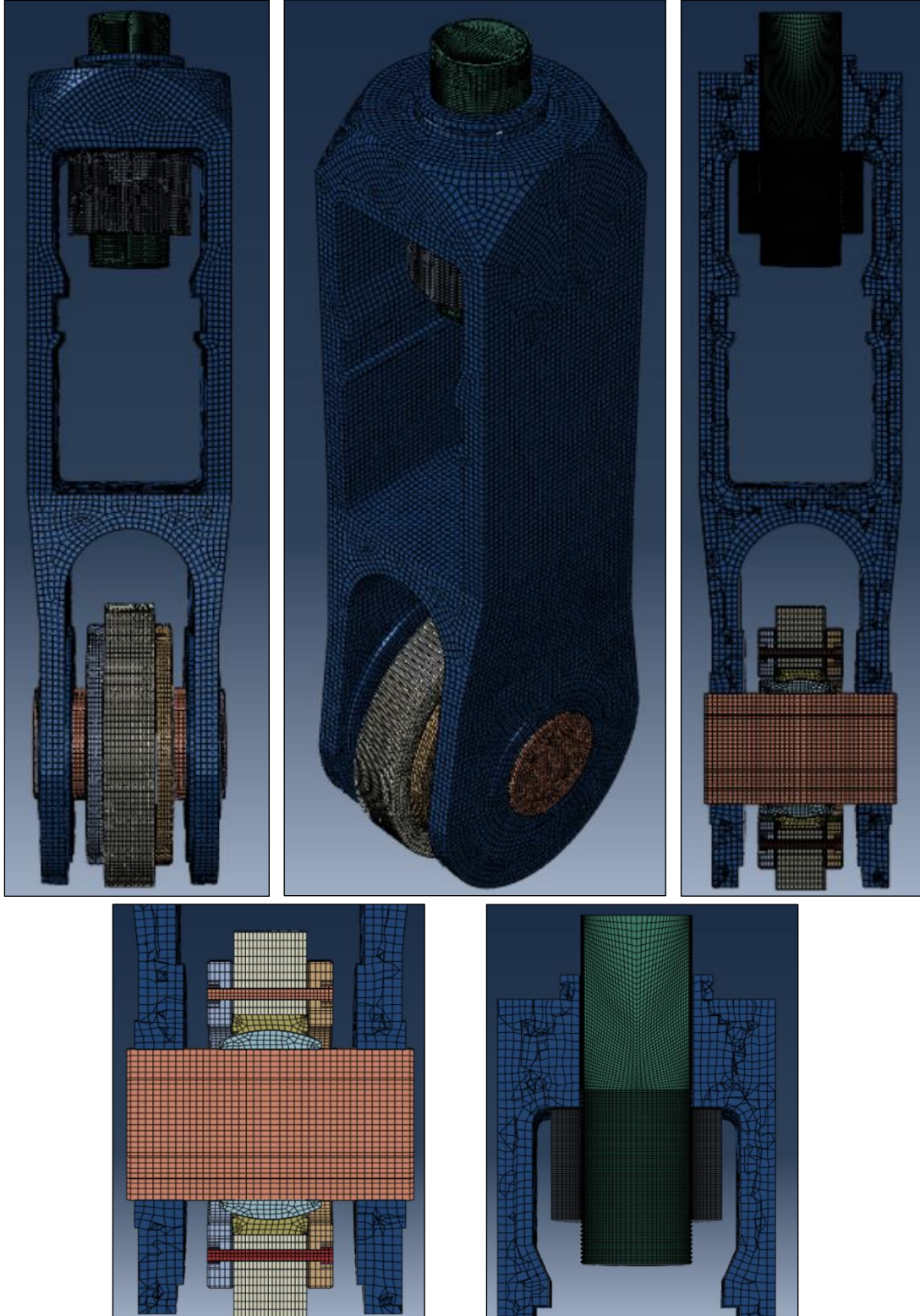


Fig.3 - Mesh terminale inferiore

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 17 of 50 |

6.2 Vincoli, carichi e contatti

Il vincolo a terra è stato imposto su un nodo collocato al centro della boccola di riduzione e ad essa connesso tramite vincolo relativo master-slave. Anche per il carico è stato creato un nodo master per l'applicazione dello stesso, solidale ai nodi della superficie superiore dello spezzone di barra modellata. Tutte le interfacce di contatto tra i diversi corpi sono state modellate con elementi di contatto non reagenti a trazione con attrito pari a $\mu=0,2$ ad eccezione dell'interfaccia tra calotta e pistone dello snodo sferico (materiale antifrizione) per la quale si è adottato attrito pari a $\mu=0,01$.

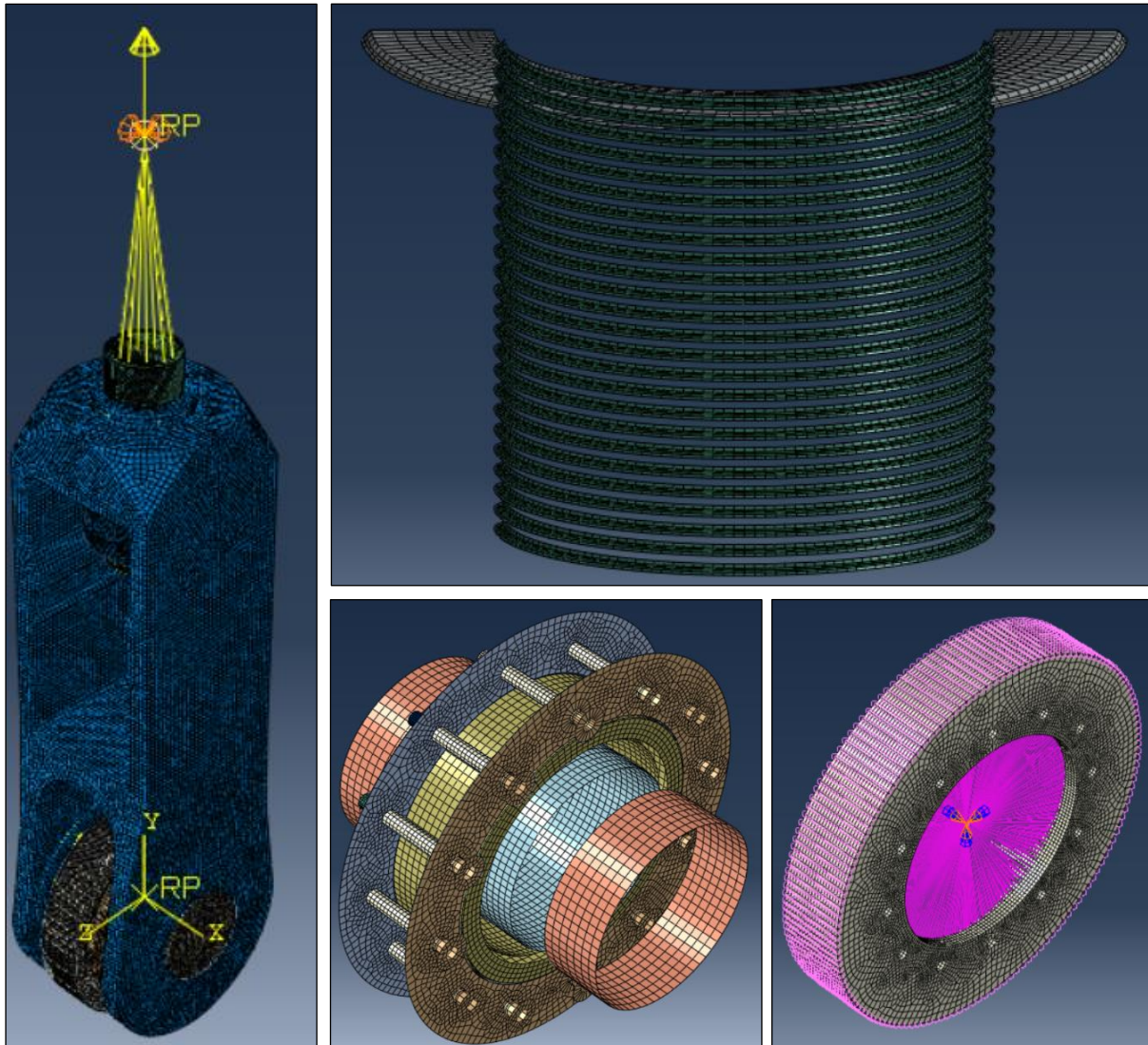


Fig.4 - Vincoli interni e relativi, applicazione carico e contatti terminale inferiore

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 18 of 50 |

6.3 Descrizione mesh modello terminale superiore

Si riporta nel seguito una breve descrizione della mesh del modello del terminale superiore.

Per il modello sono stati utilizzati elementi finiti di ordine geometrico lineare e non: la mesh è composta da 969.884 esaedri lineari a 8 nodi, 12.868 tetraedri a 10 nodi. Si riportano di seguito alcune immagini.

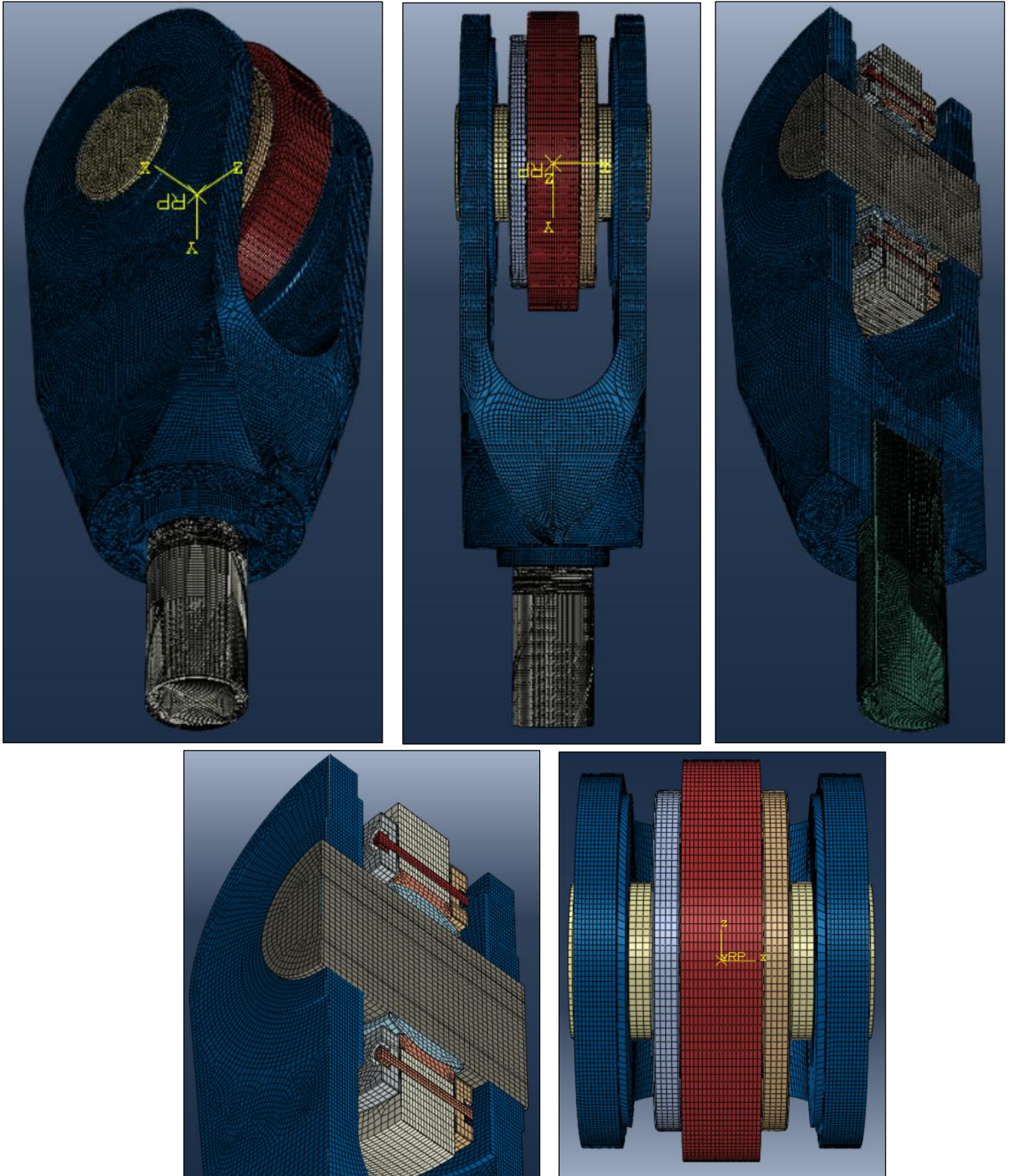


Fig.5 - Mesh terminale superiore

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 19 of 50 |

6.4 Vincoli, carichi e contatti

Il vincolo a terra è stato imposto su un nodo collocato al centro della boccola di riduzione e ad essa connesso tramite vincolo relativo master-slave. Anche per il carico è stato creato un nodo master per l'applicazione dello stesso, solidale ai nodi della superficie superiore dello spezzone di barra modellata. Tutte le interfacce di contatto tra i diversi corpi sono state modellate con elementi di contatto non reagenti a trazione con attrito pari a $\mu=0,2$ ad eccezione dell'interfaccia tra calotta e pistone dello snodo sferico (materiale antifrizione) per la quale si è adottato attrito pari a $\mu=0,01$.

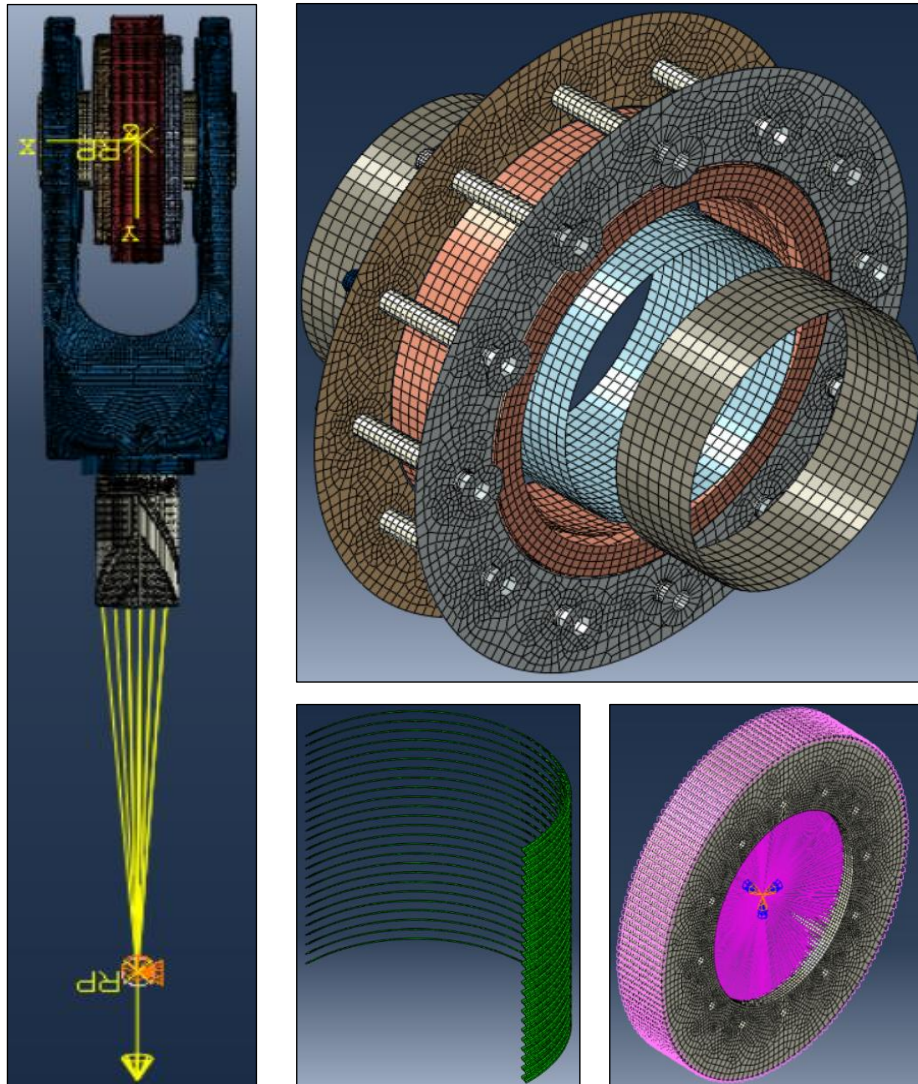



Fig.6 – Vincoli interni e relativi, applicazione carico e superfici di contatto - terminale superiore

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 20 of 50 |

6.5 Descrizione mesh connessioni filettate

Si riportano di seguito alcune immagini di dettaglio della mesh in corrispondenza delle zone delle connessioni filettate.

La geometria del filetto è stata modellata in accordo ai parametri riportati in tabella 1.

Sono state realizzate 25 interfacce di contatto indipendenti per la lettura delle forze di contatto di ciascun filetto. La mesh del dado e della barra è stata specializzata tramite infittimento di tipo 'bias' con un maggior numero di elementi sulle zone del filetto, e più rada allontanandosi dalla zona di stress.

Il tipo di contatto utilizzato è un 'Hard' con enforcement method di tipo Augmented Lagrange.

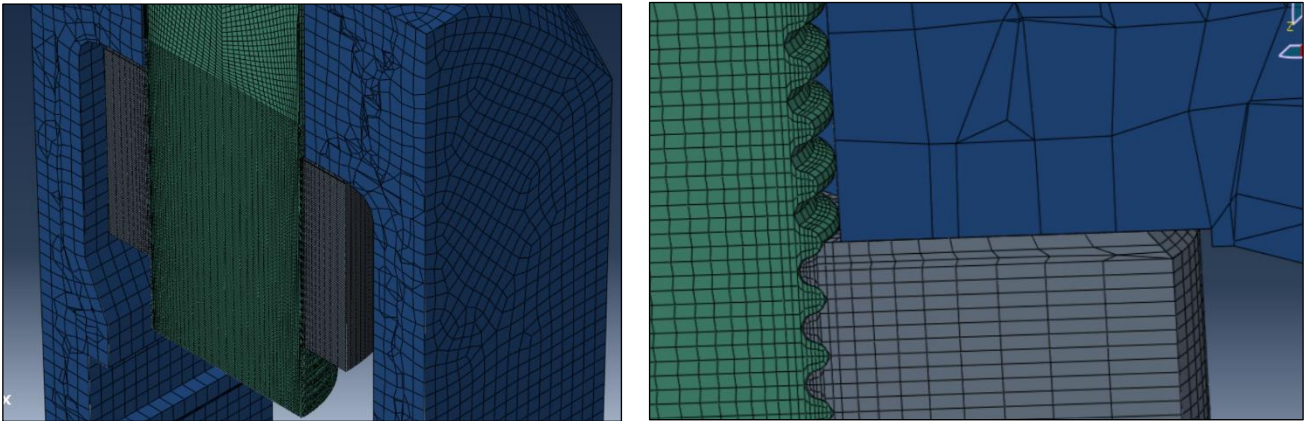


Fig.7 - Mesh in zona filettatura - terminale inferiore

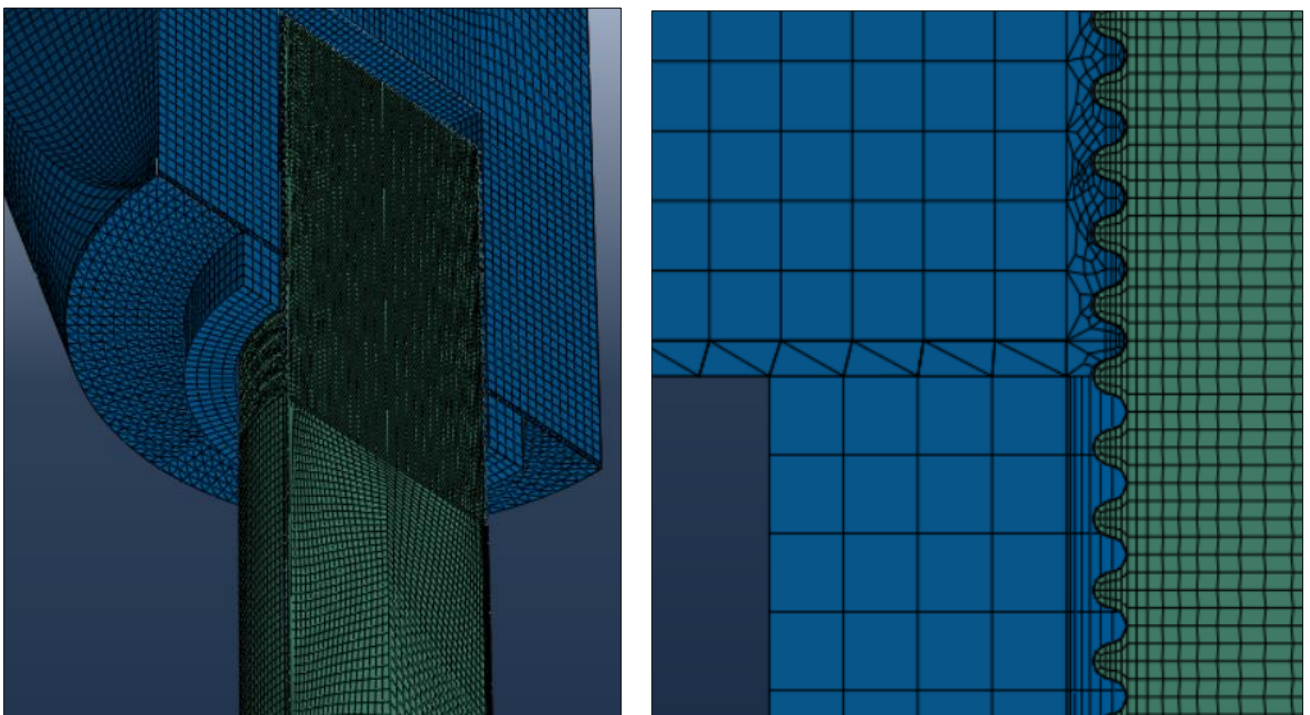



Fig.8 - Mesh in zona filettatura - terminale superiore

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 21 of 50 |

7 VERIFICHE TENSIONALI BARRA DI PENDINO

In questo paragrafo si presentano le verifiche tensionali della barra di pendino. Ovviamente la sezione di barra in lunghezza libera è sovraesistente rispetto alla zona filettata; pertanto, le verifiche verranno presentate solo per la zona di giunzione.

7.1 Barra – SLU fatica (850→1275kN)

La verifica della connessione filettata in accordo alla normativa vigente EN1993-1-9 è presente a pagina 432 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e riportata nuovamente nella seguente tabella.

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|--|--|-----------------|-----------------|--|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico Massimo di fatica | N_{max} | 1275 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Carico Minimo di fatica | N_{min} | 850 | kN | permanente massimo su pendini |
| Escursione di carico | ΔN_{FAT} | 425,0 | kN | |
| Area ridotta per la filettatura | A_s | 18869,2 | mm ² | |
| Escursione di tensione di verifica | $\Delta \sigma_{Ed}$ | 22,5 | MPa | Calcolata su sezione nominale |
| Escursione di tensione limite | $\Delta \sigma_c$ | 50,0 | MPa | Considerato particolare non filettato (K_f viene dalla FEM) |
| Coefficiente di riduzione tensione resistente | K_s | 0,66 | - | Effetto scala |
| Escursione di tensione limite di verifica | $\Delta \sigma_{c,red}$ | 32,90 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Escursione di tensione limite di verifica con γ_M | $\Delta \sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$ | 24,4 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\Delta \sigma_{Ed} < \Delta \sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta \sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}) / \Delta \sigma_E$ | 1,08 | | |

Tabella 5 – Verifica barra allo SLU di fatica

7.2 Barra – SLU corrente (2131kN)

La verifica della connessione filettata è presente a pagina 304 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e viene riportata nella seguente tabella.

| VERIFICA TENSIONALE | | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 2131 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Area ridotta per la filettatura | A_s | 18869,2 | mm ² | |
| Tensione max | σ_{max} | 112,9 | MPa | |
| Tensione ammissibile | f_{yk} | 285,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica | $\sigma_{max} < f_{yk} / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_{yk} / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 2,40 | | |


Tabella 6 – Verifica barra allo SLU esercizio corrente

7.3 Barra – SLU eccezionale (4350kN)

La verifica della connessione filettata è presente a pagina 566 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e viene riportata nella seguente tabella.

| VERIFICA TENSIONALE | | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 4350 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Area ridotta per la filettatura | A_s | 18869,2 | mm ² | |
| Tensione max | σ_{max} | 230,5 | MPa | |
| Tensione ammissibile | f_{yk} | 285,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica | $\sigma_{max} < f_{yk} / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_{yk} / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 1,18 | | |

Tabella 7 – Verifica barra allo SLU eccezionale

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 22 of 50 |

8 VERIFICHE TENSIONALI FORCA INFERIORE

8.1 Forza Inferiore – SLU fatica (850→1275kN)

Si riportano di seguito le mappature delle tensioni dal modello e le verifiche condotte in accordo alla EN1993-1-9 e alla UNI7670.

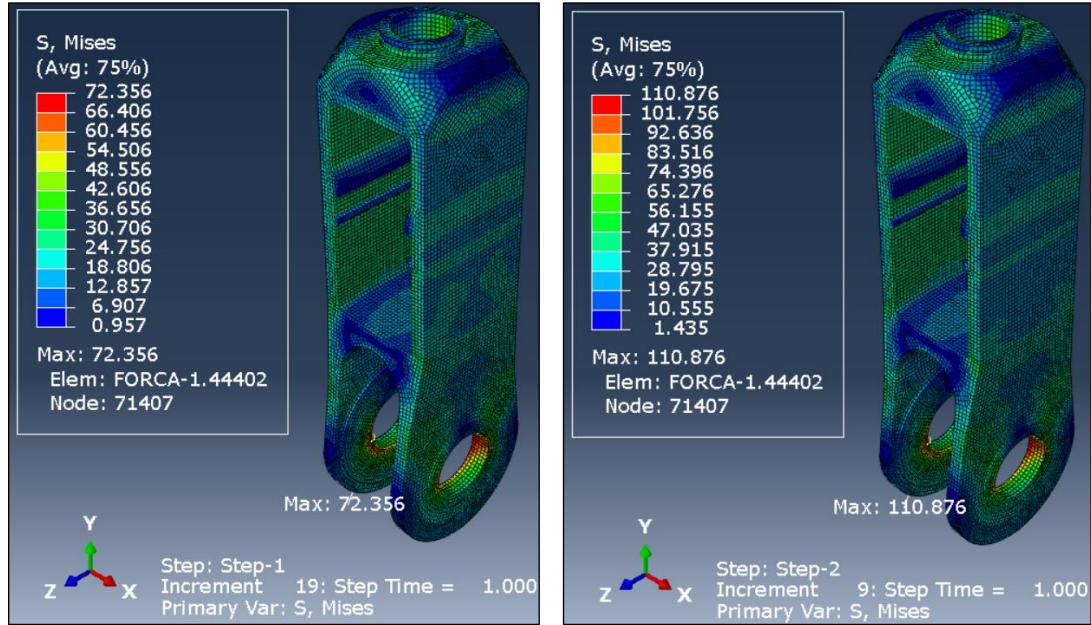



Fig.9 – Tensioni di fatica forza inferiore (850kN e 1275kN)

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|------------------------------------|---|------------------|------|------------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA INF | | |
| Tensione max | σ_{max} | 110,9 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 72,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione | $\Delta\sigma_E$ | 38,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione limite | $\Delta\sigma_c$ | 160,0 | MPa | Categoria di particolare 160 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Verifica a fatica | $\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) / \Delta\sigma_E$ | 3,1 | | |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|------------------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA INF | | |
| Tensione di rottura | R | 780 | MPa | G18NiMoCr3-6 in accordo ad EN10340:2008 |
| Limite di fatica a flessione alternata | σ_{D-1} | 390 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 110,9 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 72,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,65 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da fusione- come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_l | 1,8 | - | Da fusione- come da punto A.4 (Diagramma IX) della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 2,57 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 0,8 | - | Trazione/Compressione [cautelativo] come da punto 5.3.5 della norma |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 216,67 | MPa | |
| Limite di fatica (tensioni) | σ_d | 556,0 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 444,8 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,07 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 16,31 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 414,1 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 3,7 | | |

Tabella 8 – Verifica forza inferiore allo SLU di fatica

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 23 of 50 |

8.2 Forca Inferiore – SLU corrente (2131kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

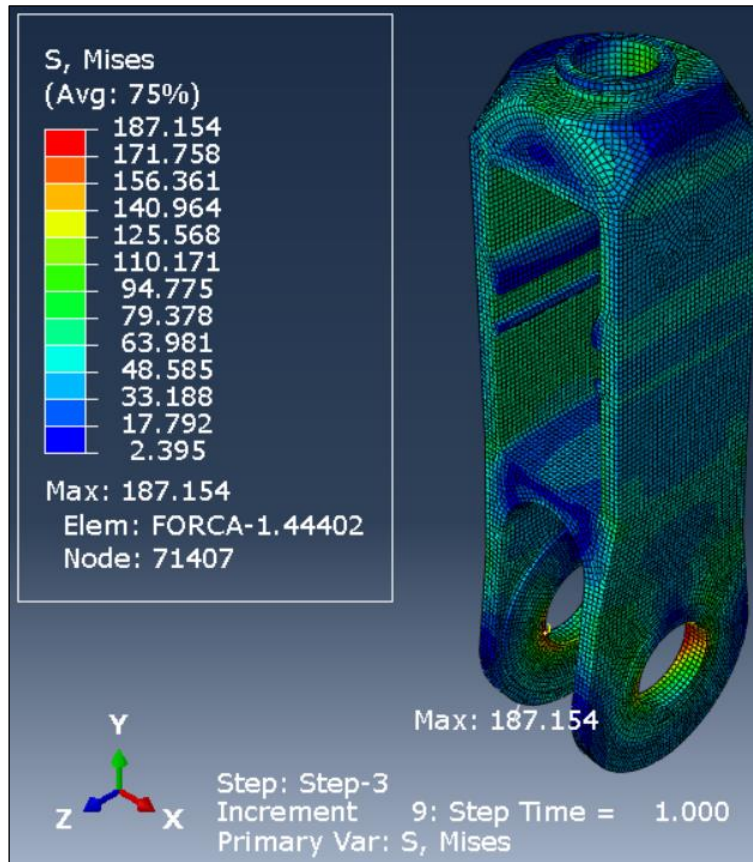



Fig.10 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente della forca inferiore

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA INF | | |
| Tensione max | σ_{max} | 187,2 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 630,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_y / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 3,2 | | |

Tabella 9 – Verifica forca inferiore allo SLU corrente

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 24 of 50 |

8.3 Forca Inferiore – SLU eccezionale (4350kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

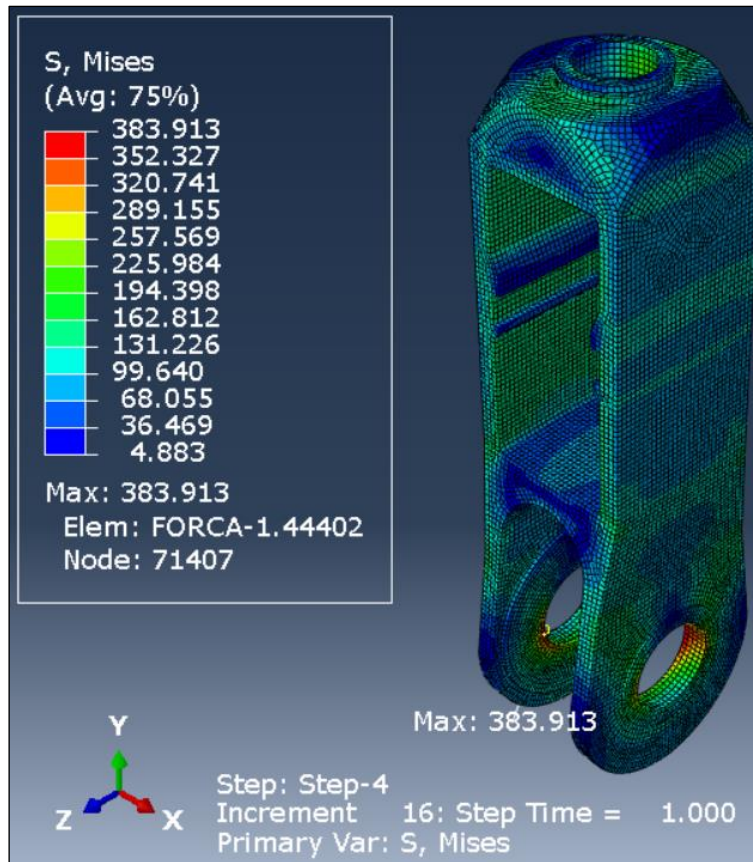



Fig.11 – Tensione allo stato limite ultimo eccezionale della forca inferiore

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA INF | | |
| Tensione max | σ_{max} | 383,9 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 630,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_y / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 1,56 | | |

Tabella 10 – Verifica forca inferiore allo SLU eccezionale

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 25 of 50 |

9 VERIFICHE TENSIONALI FORCA SUPERIORE

9.1 Forza superiore – SLU fatica (850→1275kN)

Si riportano di seguito le mappature delle tensioni dal modello e le verifiche condotte in accordo alla EN1993-1-9 e alla UNI7670.

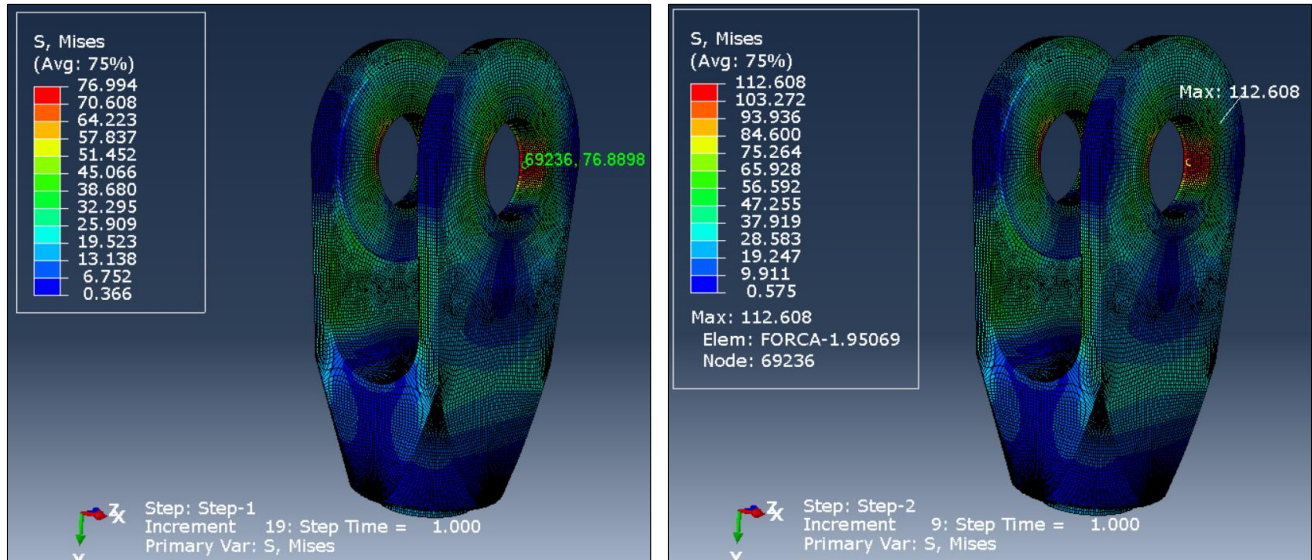



Fig.12 – Tensioni di fatica forza superiore (gli elementi in prossimità del filetto sono stati esclusi dalla visualizzazione)

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|------------------------------------|---|-----------|------|------------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA SUP | | |
| Tensione max | σ_{max} | 112,6 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 77,0 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione | $\Delta\sigma_E$ | 35,6 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione limite | $\Delta\sigma_c$ | 160,0 | MPa | Categoria di particolare 160 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Verifica a fatica | $\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) / \Delta\sigma_E$ | 3,3 | | |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|-----------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA SUP | | |
| Tensione di rottura | R | 780 | MPa | G18NiMoCr3-6 in accordo ad EN10340:2008 |
| Limite di fatica a flessione alternata | σ_{D-1} | 390 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 112,6 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 77,0 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,68 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da fusione- come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_s | 1,5 | - | Da fusione- come da punto A.4 (Diagramma IX) della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 2,39 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 0,8 | - | Trazione/Compressione [cautelativo] come da punto 5.3.5 della norma |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 260,00 | MPa | |
| Limite di fatica (tensioni) | σ_d | 622,5 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 498,0 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,05 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 24,48 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 474,9 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 4,2 | | |

Tabella 11 – Verifica forza superiore allo SLU di fatica

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 26 of 50 |

9.2 Forza Superiore – SLU corrente (2131kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

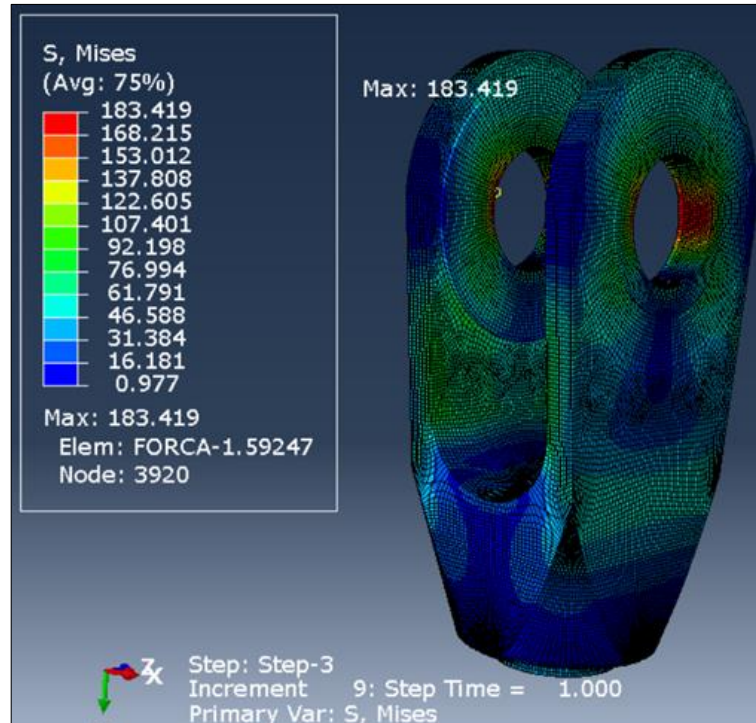



Fig.13 – Tensione allo SLU corrente della forza superiore (gli elementi in prossimità del filetto sono stati esclusi dalla visualizzazione)

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA SUP | | |
| Tensione max | σ_{max} | 183,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 630,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_y / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 3,3 | | |

Tabella 12 – Verifica forza superiore allo SLU corrente

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 27 of 50 |

9.3 Forza Superiore – SLU eccezionale (4350kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

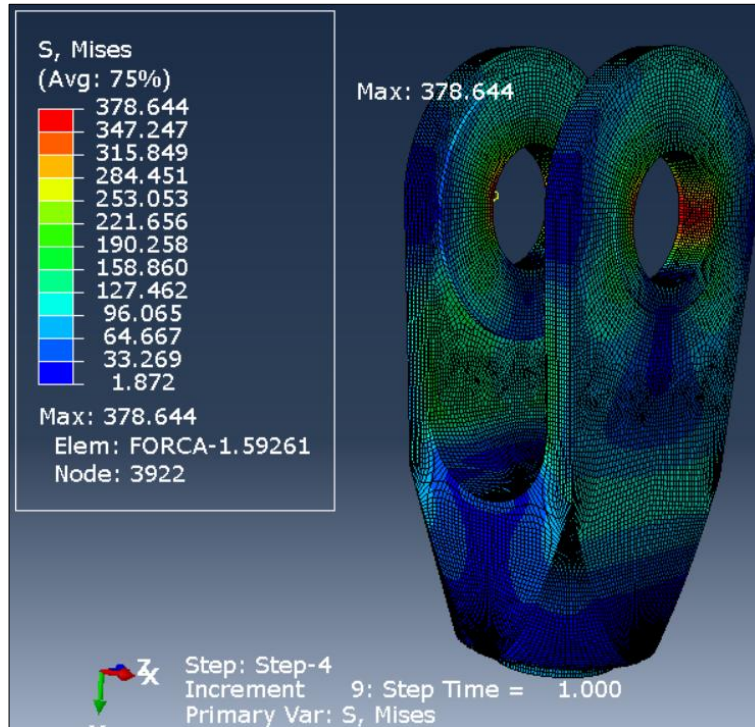



Fig.14 – Tensione allo SLU eccezionale della forza superiore (gli elementi in prossimità del filetto sono stati esclusi dalla visualizzazione)

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | FORCA SUP | | |
| Tensione max | σ_{max} | 378,6 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 630,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(f_y / \gamma_{Mf}) / \sigma_{max}$ | 1,58 | | |

Tabella 13 – Verifica forza superiore allo SLU eccezionale

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 28 of 50 |

10 VERIFICHE TENSIONALI PERNO

10.1 Perno – SLU fatica (850→1275kN)

Si riportano di seguito le mappature delle tensioni dal modello e le verifiche condotte in accordo alla EN1993-1-9 e alla UNI7670.

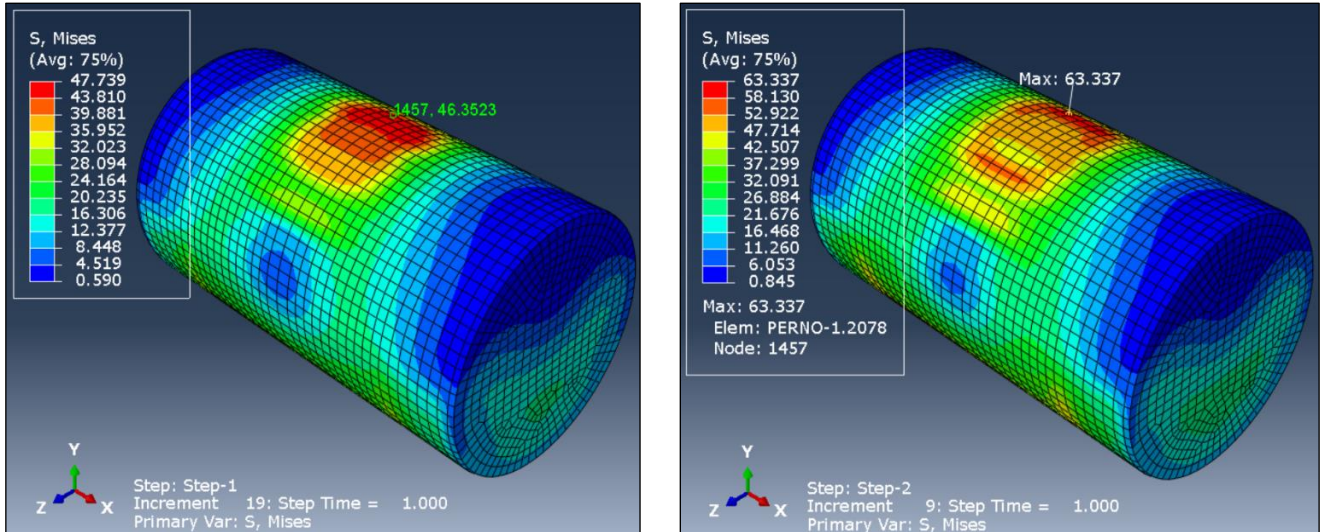



Fig.15 – Tensioni di fatica perno

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|------------------------------------|---|--------------|------|------------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | PERNO | | |
| Tensione max | σ_{max} | 63,3 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 46,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione | $\Delta\sigma_E$ | 17,0 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione limite | $\Delta\sigma_c$ | 160,0 | MPa | Categoria di particolare 160 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Verifica a fatica | $\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) / \Delta\sigma_E$ | 7,0 | | |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|--------------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | PERNO | | |
| Tensione di rottura | R | 690 | MPa | 1.4507 o 1.4418 in accordo ad EN 10088 |
| Limite di fatica a flessione alternata | σ_{D-1} | 345 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 63,3 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 46,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,73 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da laminato/forgiato - come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_j | 1,2 | - | Sgrossato fine con rugosità Rz=10µm - come da punto A.4 della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 2,15 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 0,8 | - | Trazione/Compressione (cautelativo) come da punto 5.3.5 della norma |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 287,50 | MPa | |
| Limite di fatica (tensione) | σ_d | 617,2 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 493,7 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,02 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 49,50 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 482,3 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 7,6 | | |

Tabella 14 – Verifica perno allo SLU di fatica

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 29 of 50 |

10.2 Perno – SLU corrente (2131kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

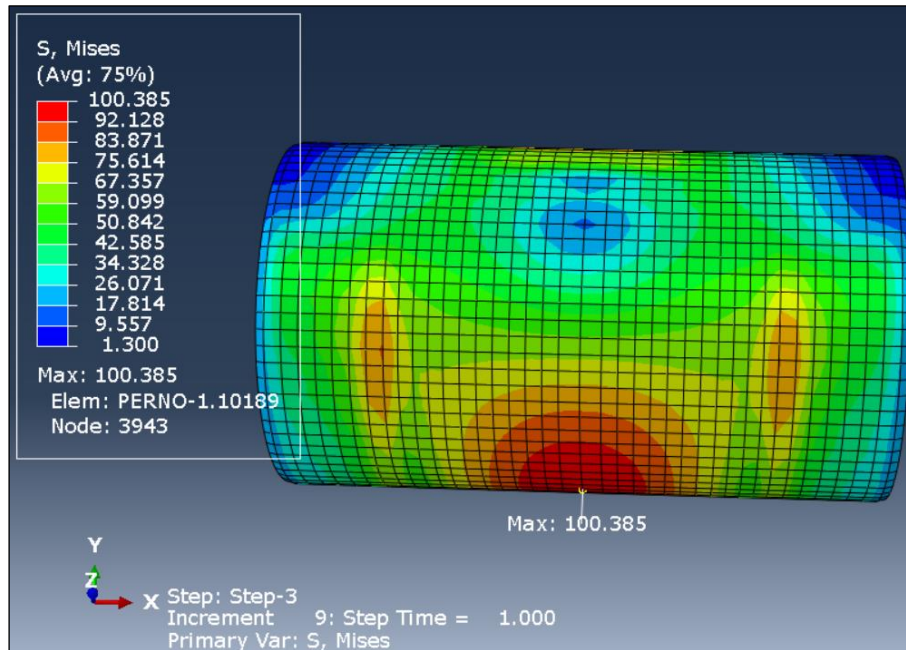



Fig.16 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente del perno

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|--------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | PERNO | | |
| Tensione max | σ_{max} | 100,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 490,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{M1} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{M1}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{M1} \} / \sigma_{max}$ | 4,6 | | |

Tabella 15 – Verifica perno allo SLU corrente

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 30 of 50 |

10.3 Perno – SLU eccezionale (4350kN)

La mappatura delle tensioni è presentata nell'immagine successiva.

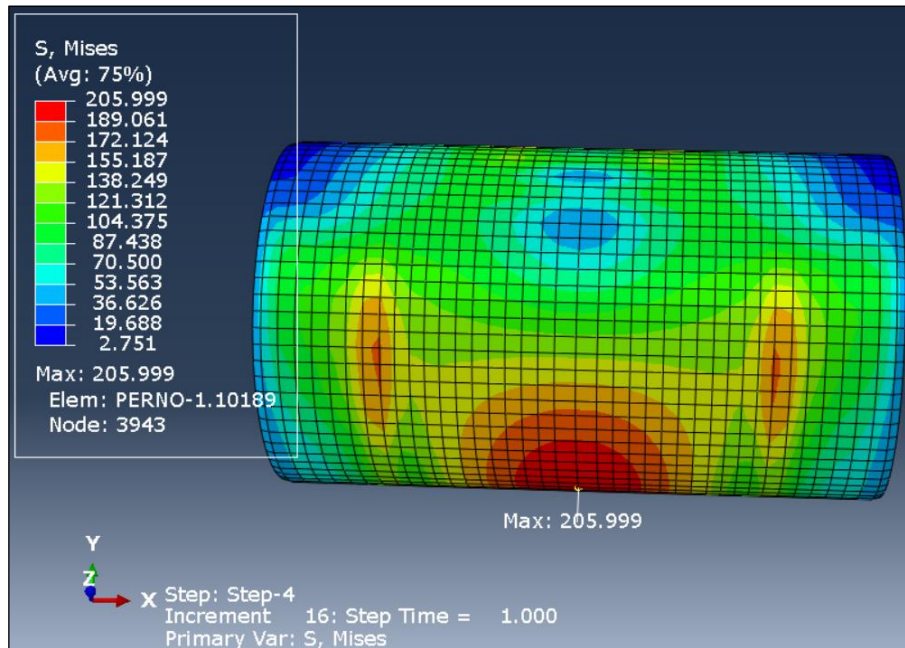


Fig.17 – Tensione allo stato limite ultimo eccezionale del perno

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|--------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | PERNO | | |
| Tensione max | σ_{max} | 206,0 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 490,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{Mf} \} / \sigma_{max}$ | 2,27 | | |

Tabella 16 – Verifica perno allo SLU eccezionale

10.4 Perno – Comparazione letture da analisi FE con calcoli manuali

Un primo metodo molto semplice per verificare che l'analisi agli elementi finiti colga bene la distribuzione degli stress nei componenti, può essere quello di verificare le tensioni assiali nel perno che sono facilmente ricavabili manualmente su schema di trave appoggiata. Utilizzando ad esempio la nomenclatura di figura 18, ripresa da EN1993-1-8, si riportano in tabella i valori delle tensioni assiali attese e nelle immagini successive le letture dai modelli elementi finiti; è ovvio che le lievi discrepanze sono dovute al fatto che la luce di calcolo proposta dalla normativa è più grande di quella reale (la forza verticale non viene trasferita in modo uniforme su tutta la larghezza a che quindi andrebbe ridotta)

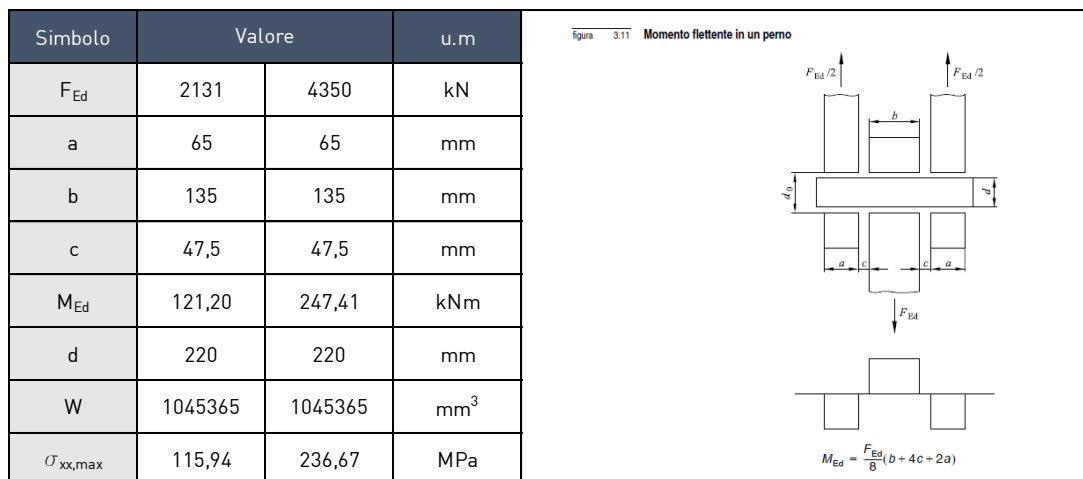


Fig.18 – Tensione assiale massima nel perno (per flessione)

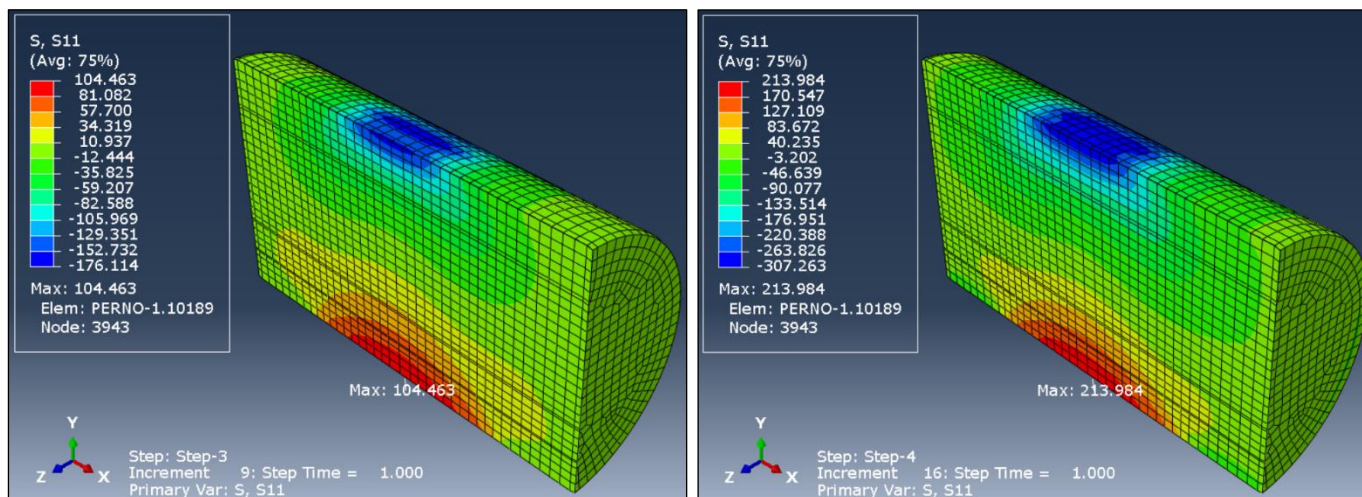



Fig.19 – Tensione assiale massima nel perno (per flessione)

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 32 of 50 |

11 VERIFICHE TENSIONALI BOCCOLA DI RIDUZIONE

11.1 Boccola di riduzione – SLU fatica (850→1275kN)

Si riportano di seguito le mappature delle tensioni dal modello e le verifiche condotte in accordo alla EN1993-1-9 e alla UNI7670.

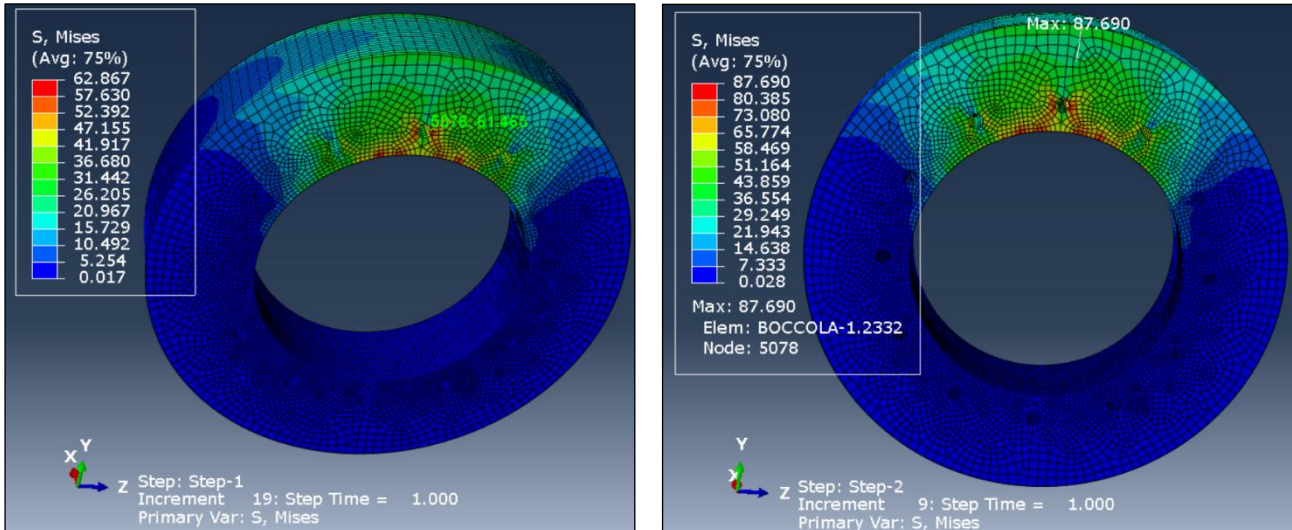



Fig.20 – Tensioni di fatica boccola di riduzione

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|------------------------------------|---|----------------|------|------------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | BOCCOLA | | |
| Tensione max | σ_{max} | 87,7 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 61,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione | $\Delta\sigma_E$ | 26,2 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione limite | $\Delta\sigma_c$ | 160,0 | MPa | Categoria di particolare 160 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Verifica a fatica | $\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) / \Delta\sigma_E$ | 4,5 | | |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|----------------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | BOCCOLA | | |
| Tensione di rottura | R | 450 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Limite di fatica a flessione alternata | σ_{D-1} | 225 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 87,7 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 61,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,70 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da laminato/forgiato - come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_s | 1,3 | - | Sgrossato - come da punto A.4 della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 2,23 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 0,8 | - | Trazione/Compressione (cautelativo) come da punto 5.3.5 della norma |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 173,08 | MPa | |
| Limite di fatica (tensioni) | σ_d | 385,4 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 308,4 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,03 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 35,66 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 298,5 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 3,4 | | |

Tabella 17 – Verifica boccola di riduzione allo SLU di fatica

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 33 of 50 |

11.2 Boccola di riduzione – SLU corrente (2131kN)

La mappatura delle tensioni dal modello è presentata nell'immagine successiva.

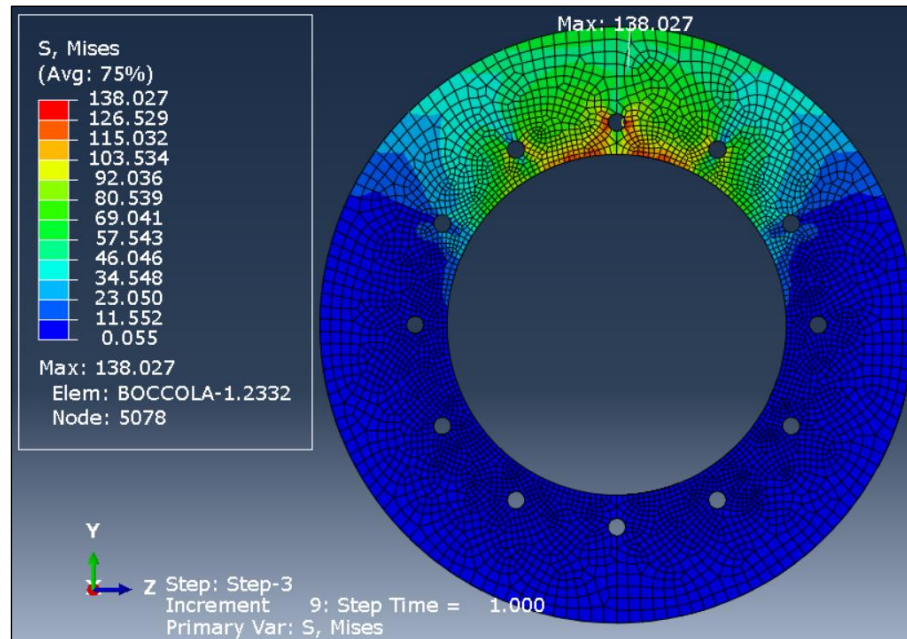



Fig.21 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente della boccola di riduzione

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|----------------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | BOCCOLA | | |
| Tensione max | σ_{max} | 138,0 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 315,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{Mf} \} / \sigma_{max}$ | 2,2 | | |

Tabella 18 – Verifica boccola di riduzione allo SLU corrente

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 34 of 50 |

11.3 Boccola di riduzione – SLU eccezionale (4350kN)

La mappatura delle tensioni dal modello è presentata nell'immagine successiva.

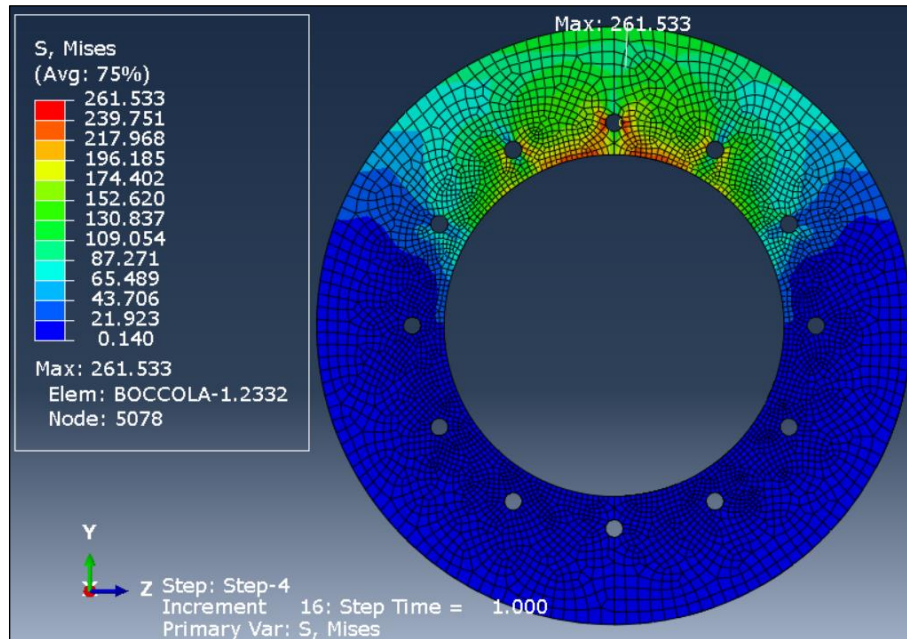


Fig.22 – Tensione allo stato limite ultimo eccezionale della boccola di riduzione

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|---------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | BOCCOLA | | |
| Tensione max | σ_{max} | 261,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 315,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{Mf} \} / \sigma_{max}$ | 1,15 | | |

Tabella 19 – Verifica boccola di riduzione allo SLU eccezionale

12 VERIFICHE TENSIONALI GHIERE DI SPALLAMENTO

12.1 Ghiere di spallamento – SLU fatica (850→1275kN)

Si riportano di seguito le mappature delle tensioni dal modello e le verifiche condotte in accordo alla EN1993-1-9 e alla UNI7670.

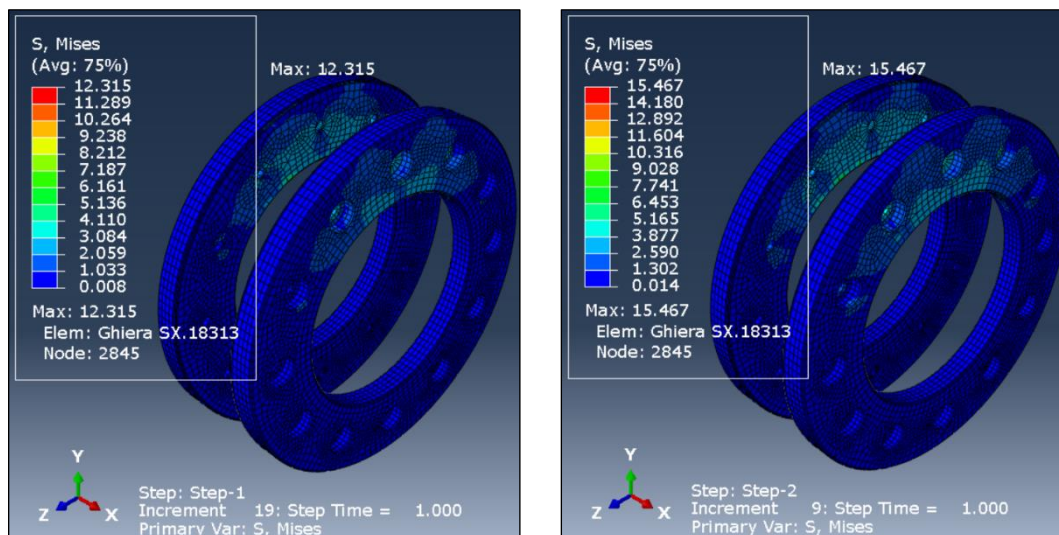


Fig.23 – Tensioni di fatica ghiera di spallamento

| VERIFICA A FATICA EN1993-1-9 | | | | |
|------------------------------------|---|---------------|------|------------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | GHIERE | | |
| Tensione max | σ_{max} | 15,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 12,3 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione | $\Delta\sigma_E$ | 3,2 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Escursione di tensione limite | $\Delta\sigma_c$ | 160,0 | MPa | Categoria di particolare 160 |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,35 | MPa | Metodo della vita sicura |
| Verifica a fatica | $\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $(\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}) / \Delta\sigma_E$ | 37,6 | | |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|---------------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | GHIERE | | |
| Tensione di rottura | R | 470 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Limite di fatica a flessione alternata | $\sigma_{0.1}$ | 235 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 15,5 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 12,3 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,80 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da laminato/forgiato - come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_s | 1,3 | - | Sgrossato - come da punto A.4 della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 2,33 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 0,8 | - | Trazione/Compressione [cautelativo] come da punto 5.3.5 della norma |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 180,77 | MPa | |
| Limite di fatica (tensioni) | σ_d | 421,8 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 337,5 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,02 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 51,06 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 329,9 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 21,3 | | |

Tabella 20 – Verifica ghiera di spallamento allo SLU di fatica

12.2 Viti fissaggio ghiera di spallamento – SLU fatica (850→1275kN)

Risulta importante chiarire che la configurazione adottata nell'analisi agli elementi finiti, relativamente alla sola verifica locale dei bulloni, non è rappresentativa dei momenti flettenti (snodo grippato) dal pendino in quanto gli stessi vengono applicati come un carico assiale equivalente.

Pertanto, si presentano nel seguito calcoli semplificati per valutare lo stato di sforzo. Il momento trasversale di fatica per snodo grippato (attorno ad un asse parallelo all'asse longitudinale del ponte - denominato anche nel gergo degli snodi sferici momento di ribaltamento), pari a 0,45kNm, può essere applicato come momento flettente su una corona circolare con sezione pari all'area di battuta della ghiera sulla boccola di riduzione. Il momento longitudinale di snodo grippato pari a 2,66kNm (attorno all'asse del perno del pendino), con una forte semplificazione molto conservativa, può essere considerato come un momento torcente sulla serie circolare di bulloni.

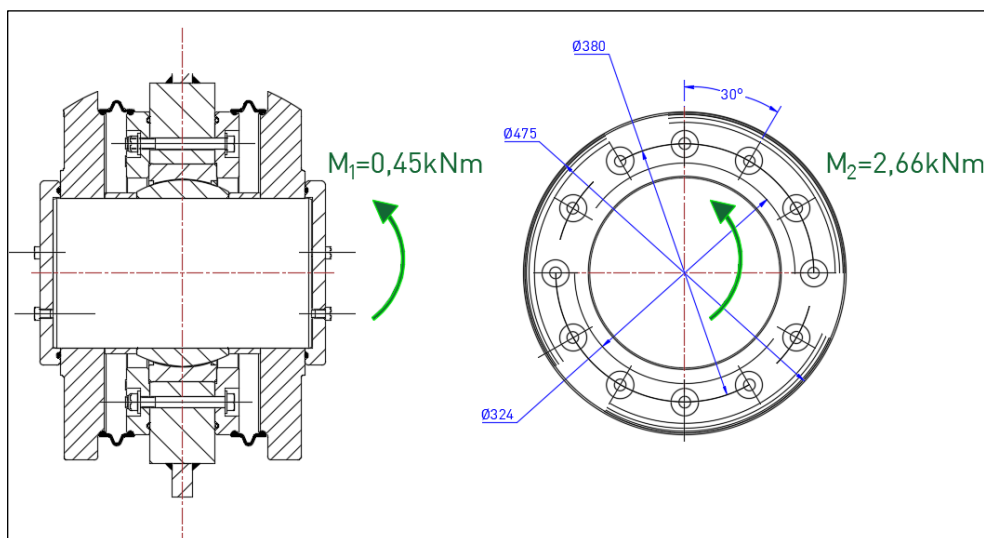



Fig.24 - Tensioni di fatica bulloni - schema di calcolo semplificato


Fig.25 - Tensioni di fatica bulloni - componenti assiale

Il calcolo in accordo alla norma EN1993-1-9 è esplicitato nella successiva tabella.

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 37 of 50 |

| Verifica a fatica EN1993-1-9 bullonatura M16 in acciaio inossidabile | | | |
|---|---|-----------|-----------------|
| Δ Momento flettente | = | 0,45 | kNm |
| $\Delta\sigma_{,Ed}$ assiale bullone | = | 0,4789 | MPa |
| Δ Momento torcente | = | 2,66 | kNm |
| Diametro bullonatura | = | 380 | mm |
| Δ Taglio per ciascun bullone | = | 1,167 | kN |
| Diametro singolo bullone | = | M16 | - |
| Ar singolo bullone | = | 156,59 | mm ² |
| $\Delta\tau_{,Ed}$ bullone | = | 7,45 | MPa |
| $\Delta\sigma_c$ | = | 50 | MPa |
| $\Delta\tau_c$ | = | 100 | MPa |
| γ_{Mf} | = | 1,35 | - |
| γ_{Ff} | = | 1 | - |
| $[\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{Ed} \gamma_{Mf} / \Delta\sigma_c]^3 + [\gamma_{Ff} \Delta\tau_{Ed} \gamma_{Mf} / \Delta\tau_c]^5$ | = | 1,246E-05 | <1 |
| Verifica | | OK | |

Tabella 21 – Verifica viti di fissaggio delle ghiera di spallamento allo SLU di fatica

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 38 of 50 |

12.3 Ghiere di spallamento – SLU corrente (2131kN)

La mappatura delle tensioni dal modello è presentata nell'immagine successiva.

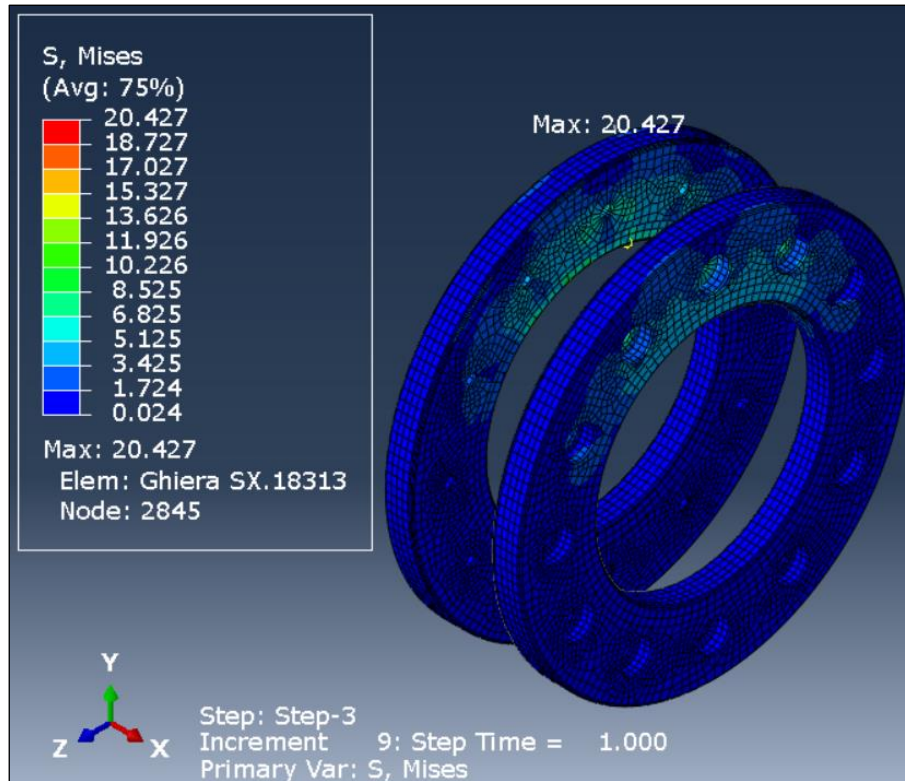



Fig.26 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente delle ghiera di spallamento

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|---------------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | GHIERE | | |
| Tensione max | σ_{max} | 20,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 345,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{M1} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{M1}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{M1} \} / \sigma_{max}$ | 16,1 | | |

Tabella 22 – Verifica ghiera di spallamento allo SLU corrente

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 39 of 50 |

12.4 Ghiere di spallamento – SLU eccezionale (4350kN)

La mappatura delle tensioni dal modello è presentata nell'immagine successiva.

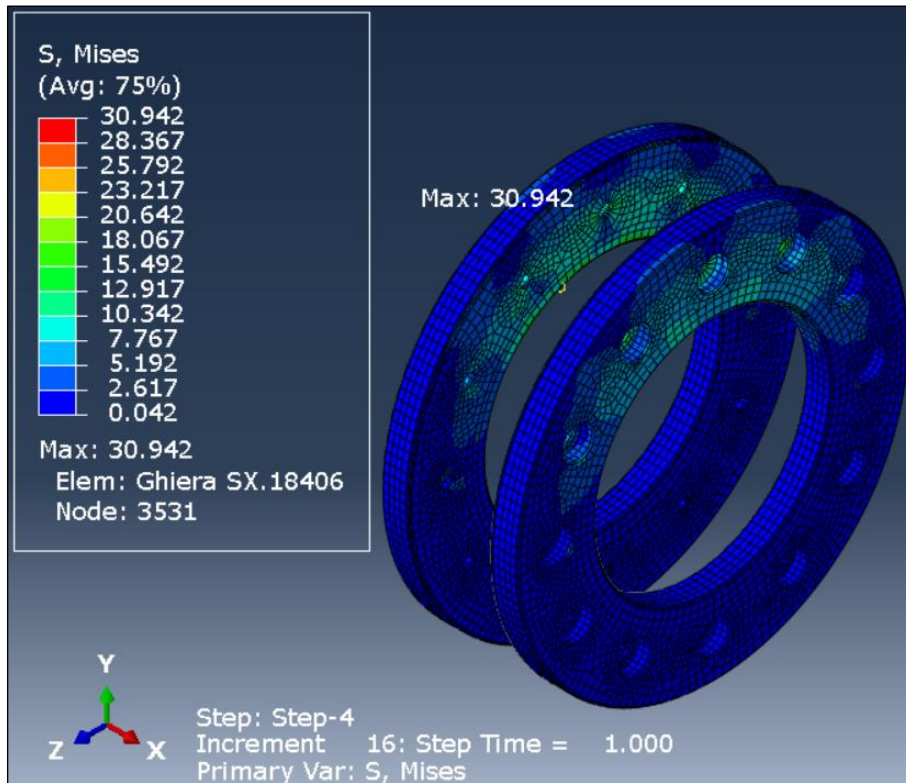



Fig.27 – Tensione allo stato limite ultimo eccezionale delle ghiera di spallamento

| VERIFICA A SNERVAMENTO | | | | |
|------------------------------------|--|---------------|------|----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | GHIERE | | |
| Tensione max | σ_{max} | 30,9 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione di snervamento | f_y | 345,0 | MPa | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{M1} | 1,05 | MPa | |
| Verifica a snervamento | $\sigma_{max} < f_y / \gamma_{M1}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\{ f_y / \gamma_{M1} \} / \sigma_{max}$ | 10,62 | | |

Tabella 23 – Verifica ghiera di spallamento allo SLU eccezionale

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 40 of 50 |

13 CONSIDERAZIONI SULLA CONNESSIONE FILETTATA

13.1 Connessione filettata – SLU fatica (850→1275kN)

La verifica della connessione filettata in accordo alla normativa vigente EN1993-1-9 è presente a pagina 432 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e riportata nuovamente al paragrafo 7.1 della presente relazione.

In questo paragrafo TENSA riporta ulteriori valutazioni e correlazioni sullo stato tensionale della zona in esame; si presenta dapprima un breve cenno all'analisi della letteratura tecnica condotta per validare le modellazioni FE. Si è scelto di analizzare la connessione barra-dado; lo schema barra tesa/ dado compresso risulta più assimilabile ad una connessione bullone-dado su cui vi è ampia trattazione in letteratura tecnica.

Il primo aspetto valutato è la distribuzione della forza applicata nei diversi filetti; come noto infatti la distribuzione è lontana dall'essere uniforme. Diversi sono stati gli studi sulla tematica negli ultimi 100anni, e tuttora gli approcci più consolidati sono quelli di Sopwith, 1948 (The Distribution of Load in Screw Threads, D. G. Sopwith, D. Sc., Wh. Sc., M. I. Mech. E, Volume 159, Issue 1) e Yamamoto (Yamamoto A., 1980, The Theory and Computation of Threads Connection, Yokendo, Tokyo).

TENSA per ricostruire un'approssimazione della distribuzione di forze nei vari filetti, ha seguito l'approccio proposto nel riferimento [5], basato sulla teoria di Yamamoto. Si rimanda al riferimento [5] per ogni chiarimento ed aspetto di dettaglio mentre nel seguito si presentano soltanto le formulazioni adottate per specializzare l'analisi alla geometria della filettatura oggetto di verifica.

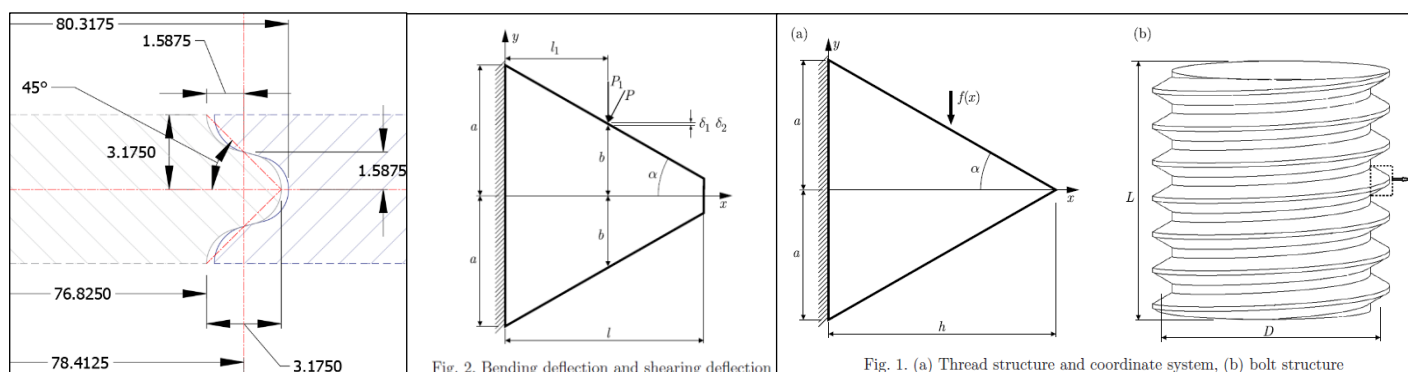


Fig.28 – Schemi di calcolo delle rigidità dei filetti

Di seguito si riportano i parametri considerati relativi alla filettatura per rullatura RD160:

| Parametro | Valore | u.m |
|--------------------|----------|-----|
| p= | 6,35 | Mm |
| E= | 210000 | MPa |
| a= | 3,175 | Mm |
| l ₁ = | 1,5875 | |
| l= | 3,175 | |
| α= | 45 | ° |
| k=tan(α)= | 1 | |
| D= | 156,825 | Mm |
| h= | 3,175 | Mm |
| n= | 0,3 | |
| b= | 1,5875 | Mm |
| D _{ext} = | 245 | Mm |
| β= | 0,012888 | Rad |
| l = p x n= | 158,75 | Mm |

Tabella 24 – Parametro di calcolo delle rigidità dei filetti

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 41 of 50 |

La freccia elastica del filetto per forza unitaria viene determinata come segue:

$$\delta_{1b} = \delta_{1n} = \frac{-3(1-\nu^2)}{2\pi DEk^3} \left[\ln \frac{l-l_1}{l} + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{l} - \frac{l-l_1}{2l^2} \right) l_1 - \frac{l-l_1}{2l} \right]; \quad \delta_{2b} = \delta_{2n} = \frac{1+\nu}{kE\pi D} \ln \frac{a}{b}$$

$$\delta_n = \delta_b = \delta_{1b} + \delta_{2b} = \delta_{1n} + \delta_{2n}$$

La rigidezza per lunghezza di sviluppo unitario viene determinata come:

$$k_{by} = k_{ny} = \frac{1}{\delta_b} \sin \beta = \frac{1}{\delta_n} \sin \beta$$

Le aree di sezione trasversale di dado e barra vengono determinate come:

$$S_b = \frac{\pi}{4} D^2; \quad S_n = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D^2)$$

Si determina quindi la costante λ , come segue:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\frac{1}{S_b E_b} + \frac{1}{S_n E_n}}{\frac{1}{k_{ny}} + \frac{1}{k_{by}}}}$$

E si adopera l'equazione che fornisce la distribuzione della forza lungo lo sviluppo della filettatura:

$$f(y) = f_b \left(-\frac{\cosh \lambda l}{\sinh \lambda l} \sinh \lambda y + \cosh \lambda y \right)$$

dove con f_b si indica la forza sul primo filetto.

Applicando l'ultima equazione presentata al caso in esame, per gli step di carico 850kN e 1275kN, sono state ottenute le distribuzioni di forze sui filetti riportate nel diagramma 1 e confrontate con le estrazioni delle forze di contatto di ciascun filetto (pressione+attrito) dal modello FE del terminale inferiore.

Nonostante le semplificazioni introdotte (su tutte, adattare la forma triangolare del filetto dell'articolo originario al caso in esame di filetto arrotondato) il livello di correlazione ottenuto viene ritenuto sufficiente per validare l'analisi FE.

Determinata la forza totale scambiata da ciascun filetto, si è quindi proceduto a stimare la tensione massima sullo stesso. Si è utilizzato l'approccio presentato nel riferimento [6] - G. Peter O'Hara - a cui si rimanda integralmente per ogni spiegazione e chiarimento.

Con gli unici input necessari, geometria del filetto e angolo di attrito ($\mu=0,2$), si è determinato il parametro $\bar{\sigma}_R$, ed è stato ricavato dal grafico in figura 3 del riferimento [6], nella curva per filetti rullati con angolo del fianco di 30°, il fattore di concentrazioni degli sforzi $\bar{\sigma}_F$.

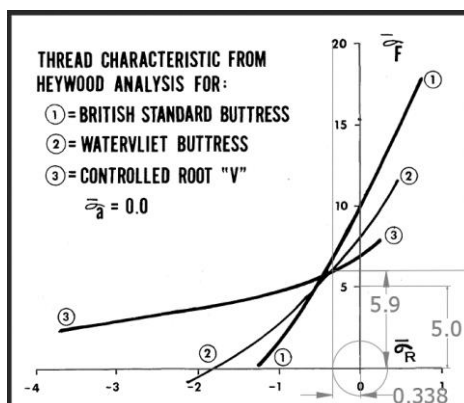


Fig.29 - Determinazione fattore di concentrazione dello sforzo da riferimento [6]

Giacché $\bar{\sigma}_F$ è normalizzato rispetto al taglio medio traferito dal fondo di ciascun filetto, nota la distribuzione elastica determinata utilizzando l'approccio precedentemente descritto si è potuto determinare la distribuzione di tensione sulla barra e compararla con i risultati ottenuti dall'analisi FEA. I risultati sono presentati di seguito.

| n. Filetto | h mm | y mm | Forza totale = 850kN | | | | | Forza totale = 1275kN | | | | |
|------------|---------|---------|-----------------------------------|----------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| | | | F_{filetto} Zhang2018 | τ_r | σ_{max} O'Hara | F_{filetto} FEA | σ_{VM} FEA | F_{filetto} Zhang2018 | τ_r | σ_{max} O'Hara | F_{filetto} FEA | σ_{VM} FEA |
| | | | (kN) | (MPa) | MPa | (kN) | MPa | (kN) | (MPa) | MPa | (kN) | MPa |
| 25 | 158,75 | 0 | 97,9 | 31,3 | 184,6 | 89,7 | 194,0 | 146,8 | 46,9 | 276,9 | 134,6 | 289,1 |
| 24 | 152,40 | 6,35 | 87,9 | 28,1 | 165,8 | 79,0 | 173,0 | 131,9 | 42,2 | 248,7 | 118,4 | 256,4 |
| 23 | 146,05 | 12,7 | 78,9 | 25,2 | 148,9 | 68,5 | 151,5 | 118,4 | 37,8 | 223,3 | 102,7 | 225,7 |
| 22 | 139,70 | 19,05 | 70,9 | 22,6 | 133,6 | 60,2 | 134,1 | 106,3 | 34,0 | 200,4 | 90,5 | 202,1 |
| 21 | 133,35 | 25,4 | 63,6 | 20,3 | 119,9 | 53,5 | 119,8 | 95,3 | 30,5 | 179,8 | 80,6 | 182,4 |
| 20 | 127,00 | 31,75 | 57,0 | 18,2 | 107,5 | 48,3 | 108,3 | 85,5 | 27,3 | 161,2 | 72,7 | 164,4 |
| 19 | 120,65 | 38,1 | 51,1 | 16,3 | 96,3 | 43,8 | 98,3 | 76,6 | 24,5 | 144,5 | 66,0 | 148,9 |
| 18 | 114,30 | 44,45 | 45,7 | 14,6 | 86,2 | 40,0 | 89,8 | 68,6 | 21,9 | 129,4 | 60,4 | 135,7 |
| 17 | 107,95 | 50,8 | 40,9 | 13,1 | 77,1 | 37,0 | 83,0 | 61,4 | 19,6 | 115,7 | 55,8 | 124,9 |
| 16 | 101,60 | 57,15 | 36,5 | 11,7 | 68,9 | 34,1 | 76,5 | 54,8 | 17,5 | 103,4 | 51,4 | 114,9 |
| 15 | 95,25 | 63,5 | 32,6 | 10,4 | 61,5 | 31,7 | 71,0 | 48,9 | 15,6 | 92,2 | 47,7 | 106,3 |
| 14 | 88,90 | 69,85 | 29,0 | 9,3 | 54,7 | 29,2 | 65,6 | 43,5 | 13,9 | 82,0 | 44,0 | 98,1 |
| 13 | 82,55 | 76,2 | 25,7 | 8,2 | 48,6 | 26,9 | 60,5 | 38,6 | 12,3 | 72,8 | 40,5 | 90,4 |
| 12 | 76,20 | 82,55 | 22,8 | 7,3 | 43,0 | 25,0 | 56,3 | 34,2 | 10,9 | 64,4 | 37,5 | 83,7 |
| 11 | 69,85 | 88,9 | 20,1 | 6,4 | 37,9 | 22,9 | 51,8 | 30,1 | 9,6 | 56,8 | 34,4 | 76,9 |
| 10 | 63,50 | 95,25 | 17,6 | 5,6 | 33,2 | 21,0 | 47,7 | 26,4 | 8,4 | 49,8 | 31,6 | 70,6 |
| 9 | 57,15 | 101,6 | 15,3 | 4,9 | 28,9 | 19,3 | 43,9 | 23,0 | 7,3 | 43,3 | 28,9 | 64,7 |
| 8 | 50,80 | 107,95 | 13,2 | 4,2 | 24,9 | 17,7 | 40,6 | 19,8 | 6,3 | 37,3 | 26,5 | 59,6 |
| 7 | 44,45 | 114,3 | 11,2 | 3,6 | 21,2 | 16,3 | 37,6 | 16,9 | 5,4 | 31,8 | 24,3 | 55,0 |
| 6 | 38,10 | 120,65 | 9,4 | 3,0 | 17,7 | 14,9 | 34,9 | 14,1 | 4,5 | 26,6 | 22,3 | 51,0 |
| 5 | 31,75 | 127 | 7,7 | 2,5 | 14,5 | 14,0 | 33,0 | 11,5 | 3,7 | 21,7 | 20,9 | 48,0 |
| 4 | 25,40 | 133,35 | 6,0 | 1,9 | 11,4 | 13,4 | 31,8 | 9,1 | 2,9 | 17,1 | 19,8 | 46,0 |
| 3 | 19,05 | 139,7 | 4,5 | 1,4 | 8,4 | 13,2 | 31,6 | 6,7 | 2,1 | 12,7 | 19,6 | 45,6 |
| 2 | 12,70 | 146,05 | 3,0 | 0,9 | 5,6 | 13,9 | 33,3 | 4,4 | 1,4 | 8,4 | 20,5 | 47,9 |
| 1 | 6,35 | 152,4 | 1,5 | 0,5 | 2,8 | 16,5 | 39,3 | 2,2 | 0,7 | 4,2 | 24,2 | 56,6 |

Tabella 25 – Tensioni su barra in zona filettata – comparazione approccio analitico e modello FEA

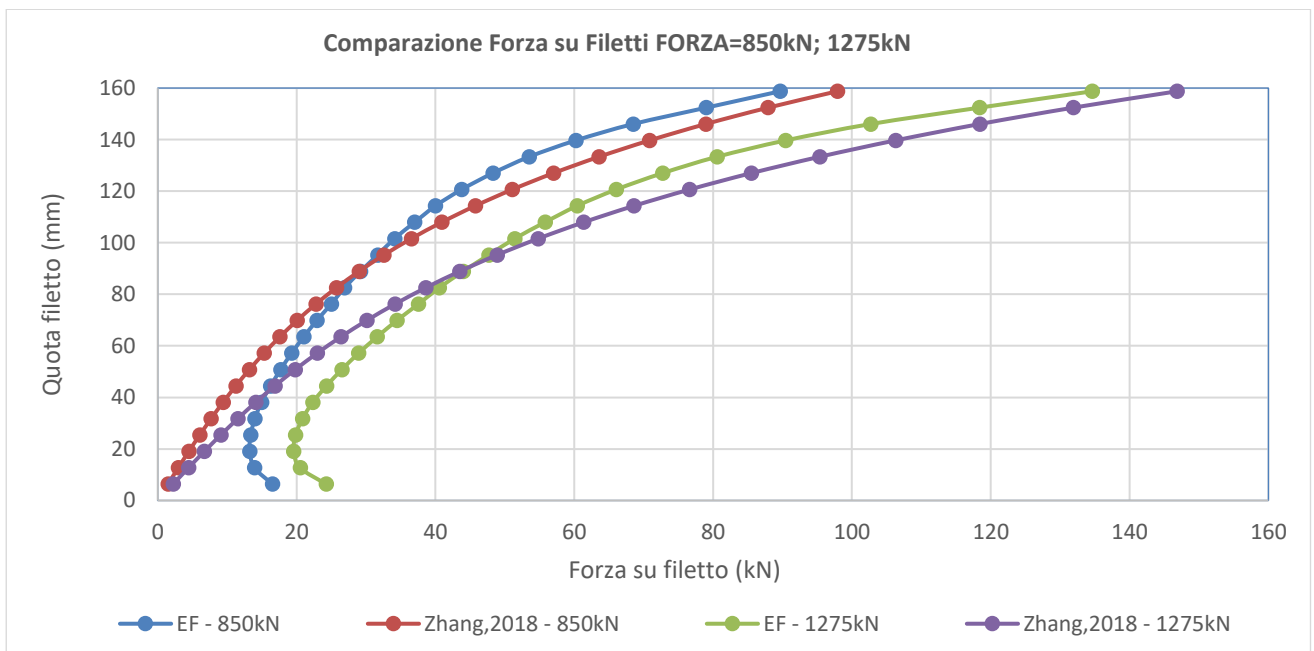


Diagramma 1 – Distribuzioni elastica forze su filetti. Comparazione approccio analitico (Zhang) - letture da modello EF

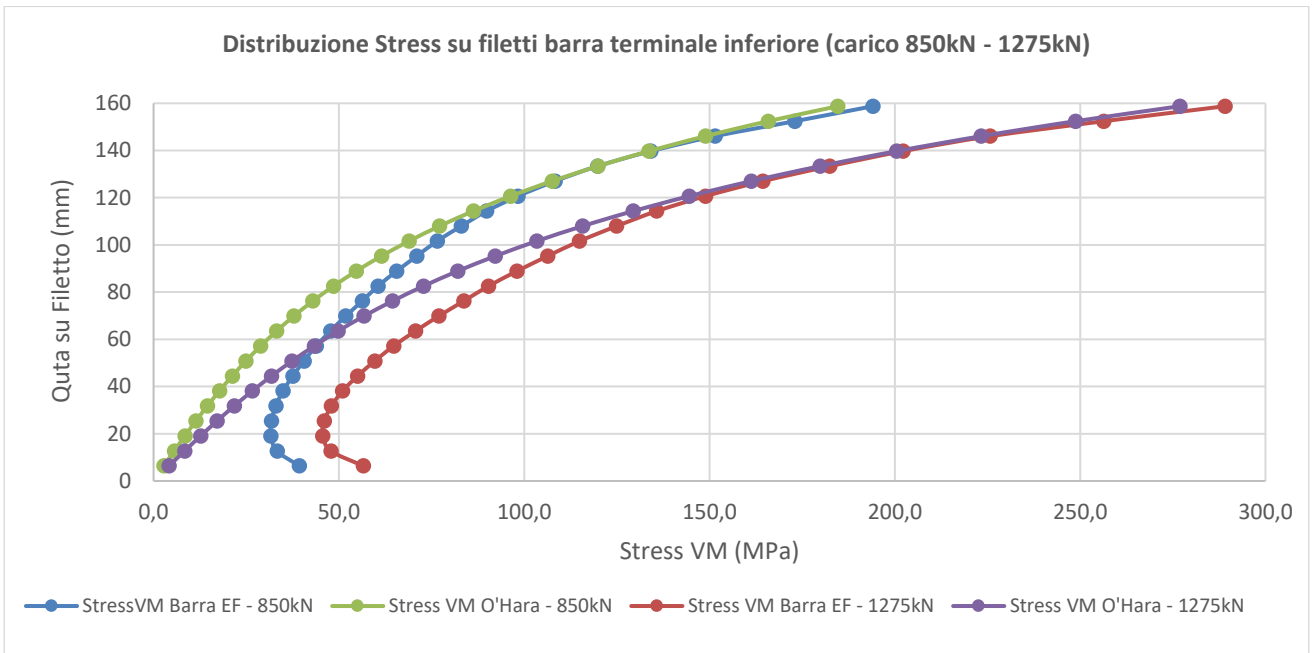


Diagramma 2 - Distribuzioni elastica stress su filetti. Comparazione approccio analitico - letture da EF

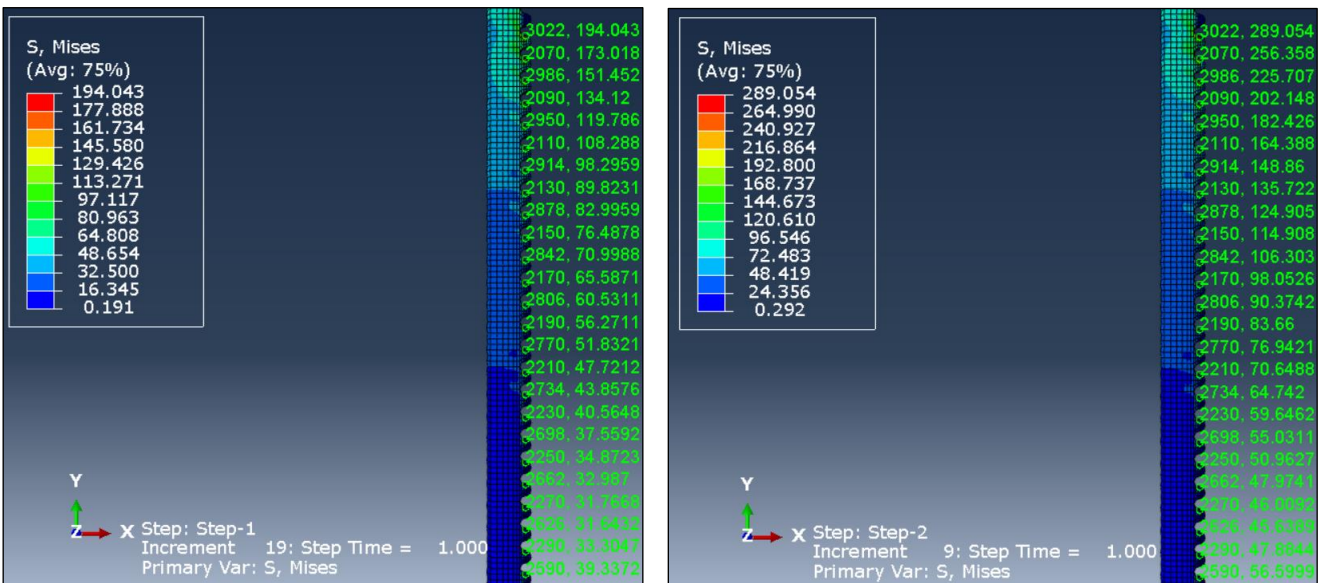



Fig.30 - Tensioni di Von Mises filetti barra da EF - carico= 850kN - carico=1275kN

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 44 of 50 |

Constato l'accettabile livello di correlazione per gli stress della barra tra calcolo con elementi finiti e calcolo analitico, si presentano nel seguito gli stati tensionali ottenuti dai modelli all'interfaccia barra-dado e barra-forca superiore.

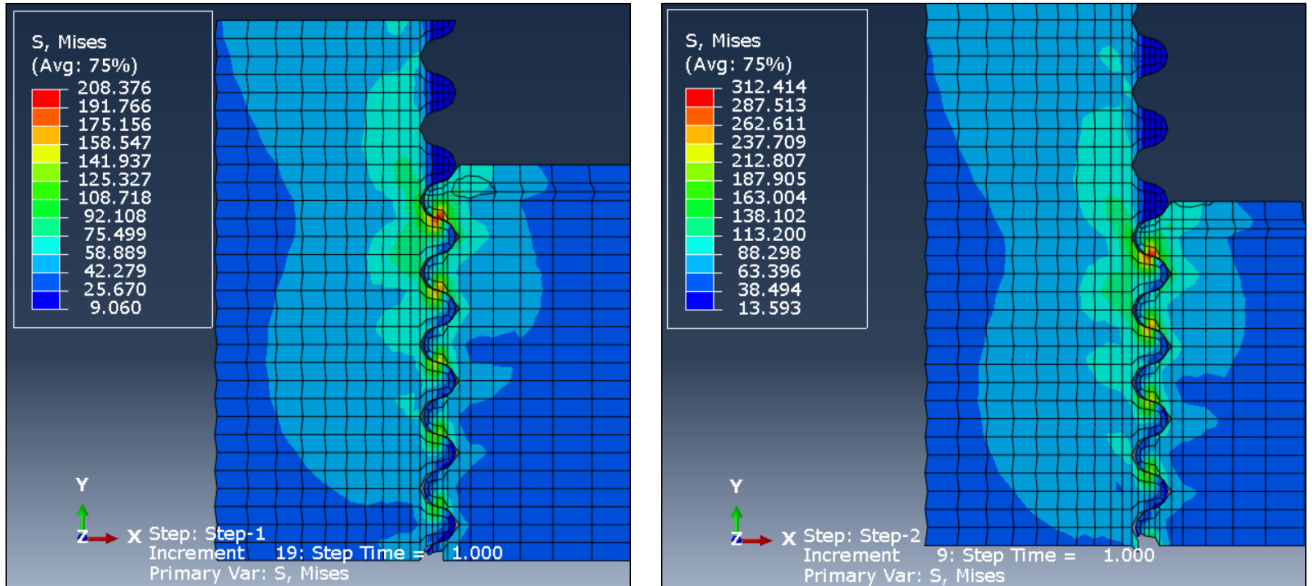


Fig.31 – Assieme barra-dado, distribuzione di tensione nei primi filetti - carico= 850kN - carico=1275kN

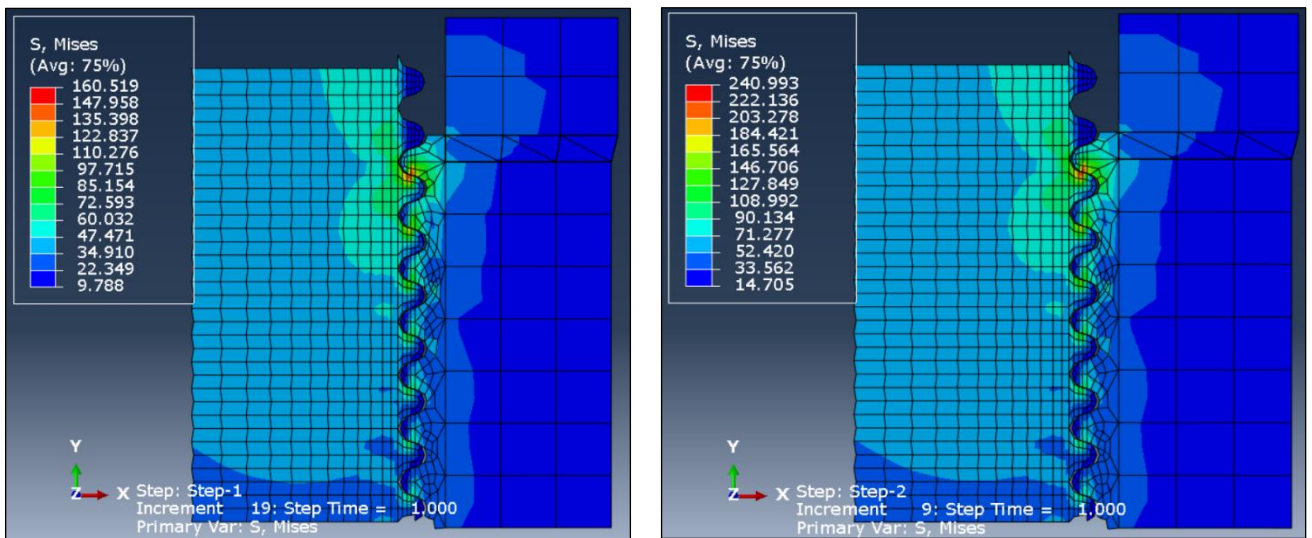



Fig.32 – Assieme barra-forca superiore, distribuzione di tensione nei primi filetti - carico= 850kN - carico=1275kN

Analizzando le mappature presentate si constata che lo stato tensionale dell'interfaccia barra-dado risulta leggermente superiore rispetto a quello rilevato all'interfaccia barra-forca superiore. Quanto riscontrato risulta in linea con le attese in quanto la connessione barra-dado risente di una superficie di contatto/contrasto in corrispondenza della sommità del dado stesso che rappresenta un vincolo di compressione tale da caricare maggiormente i filetti superiori. Nel caso della connessione barra-forca superiore, entrambi gli elementi sono tesi, con una conseguente redistribuzione più uniforme delle forze e con minore concentrazione sui primi filetti.

Di seguito si riportano le verifiche a fatica relativa alla connessione maggiormente sollecitata (barra-dado).

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 45 of 50 |

| VERIFICA A FATICA UNI 7670 | | | | |
|---|------------------------------|-------------------|------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | MADREVIT E (DADO) | | |
| Tensione di rottura | R | 450 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Limite di fatica a flessione alternata | σ_{D-1} | 225 | MPa | Assunto pari a 0,5 fu |
| Tensione max | σ_{max} | 312,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Tensione min | σ_{min} | 208,4 | MPa | Da analisi Elementi Finiti |
| Rapporto tensione minima/massima | k | 0,67 | - | |
| Coefficiente di forma | K_f | 1 | - | Da analisi Elementi Finiti |
| Coefficiente di dimensione | K_d | 1 | - | Da laminato/forgiato - come da punto A.3 della norma |
| Coefficiente di stato superficiale | K_j | 1,10 | - | Piallato con rugosità $Ra=3,2\mu m$ - come da punto A.4 della norma |
| Coefficiente di corrosione | K_c | 1 | - | Come da punto A.5 della norma |
| Coefficiente del rapporto k | K_k | 1,99 | - | |
| Coefficiente del numero di cicli | K_n | 1 | - | Come da punto 5.3.4 della norma per 2.000.000 di cicli |
| Coefficiente di tensione | K_t | 1 | - | Elemento prevalentemente a flessione |
| Limite di fatica (forma, dimensione, superficie e corrosione) | σ_f | 204,55 | MPa | |
| Limite di fatica (tensioni) | σ_d | 406,7 | MPa | |
| Limite di fatica (numero cicli, coefficiente di tensione) | σ_k | 406,7 | MPa | |
| Fattore di sicurezza | γ_k | 1,02 | - | |
| Pendenza della curva di Wöhler | c | 54,54 | - | |
| Tensione ammissibile di fatica | σ_{af} | 398,1 | MPa | |
| Verifica a fatica | $\sigma_{max} < \sigma_{af}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | $\sigma_{af} / \sigma_{max}$ | 1,33 | | |

Tabella 26 – Verifica madrevite dado allo SLU di fatica

Nota 1: Si chiarisce che nelle simulazioni agli elementi finiti realizzate non è stato modellato il foro filettato al centro barra in estremità che serve per la connessione del martinetto di tesatura alla barra filettata. Si presentano di seguito una immagini della barra in sezione nella condizione di carico corrispondente al limite di fatica superiore rappresentativa dello stato tensionale della barra nella parte di estremità. Risulta immediato constatare che i valori degli stress a centro barra sono molto bassi e praticamente trascurabili nella zona al di sotto il livello del dado dove sarà localizzato in foro per il martinetto (profondità foro martinetto 75mm, distanza dado estremità barra 85mm).

Pertanto, si ritiene che il non avere introdotto il foro filettato per il martinetto non abbia influenza sull'analisi condotta volta ad analizzare lo stato di tensione in condizioni di esercizio del sistema e non nella fase transitoria di tesatura che si verifica una sola volta nella vita utile del pendino e non ha quindi influenza sulla vita a fatica.

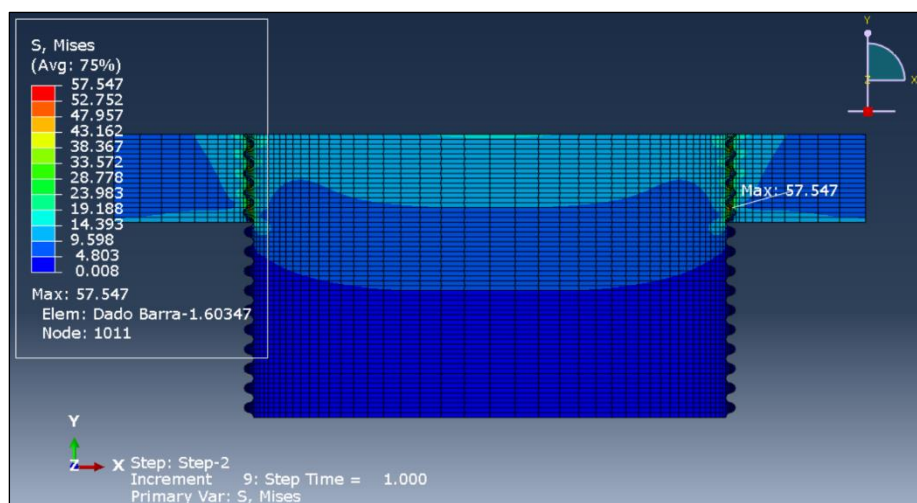



Fig.33 – Sezione barra, stato tensionale generale ed ingrandimento – carico=1275kN

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 46 of 50 |

13.2 Connessione filettata – SLU corrente (2131kN)

La verifica della connessione filettata è presente a pagina 304 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e riportata nuovamente al paragrafo 7.2 della presente relazione.

Viene presentata di seguito la verifica della connessione bullonata considerando l'approccio di EN1993-1-8 per bulloni e la verifica della lunghezza di filettatura adoperando una formulazione di consolidata applicazione nella pratica progettuale.

| VERIFICA FILETTATURA COME BULLONE IN ACCORDO AD EN1993-1-8 | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 2131 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Diametro ridotto per la presenza della filettatura | D | 155 | mm | |
| Tensione resistente ultima | f_u | 450,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Area a taglio sezione ridotta per la presenza della filettatura | A_s | 18869,2 | mm ² | |
| Capacità filettatura nominale | $N_{res,k}$ | 7642,0 | kN | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,25 | MPa | |
| Capacità filettatura di verifica | N_{res} | 6113,6 | kN | |
| Verifica | $N_{max} < N_{res}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | N_{res} / N_{max} | 2,87 | | |

Tabella 26 – Verifica barra come bullone allo SLU corrente

| VERIFICA TENSIONALE FILETTATURA | | | | |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 2131 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Diametro ridotto per la presenza della filettatura | D | 155 | mm | |
| Lunghezza filettatura | L | 160 | mm | |
| Tensione di snervamento | f_{yk} | 285,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Tensione ammissibile a taglio | $f_{yk} / [3]^{0,5}$ | 164,5 | MPa | |
| Area a taglio sul fondo filetto | A_s | 77911,5 | mm ² | $\pi \times D \times L$ |
| Coefficiente riduttivo della lunghezza considerata | - | 75% | - | |
| Capacità filettatura nominale | $N_{res,k}$ | 9615,0 | kN | $0,75 \times A_s \times f_{yk} / [3]^{0,5}$ |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,25 | MPa | |
| Capacità filettatura di verifica | N_{res} | 7692,0 | kN | $N_{res,k} / \gamma_{Mf}$ |
| Verifica | $N_{max} < N_{res}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | N_{res} / N_{max} | 3,61 | | |

Tabella 27 – Verifica madrevite dado allo SLU corrente

TENSA presenta inoltre ulteriori valutazioni e correlazioni sullo stato tensionale della zona in esame attraverso le modellazioni FE condotte; di seguito lo stato tensionale riscontrato.

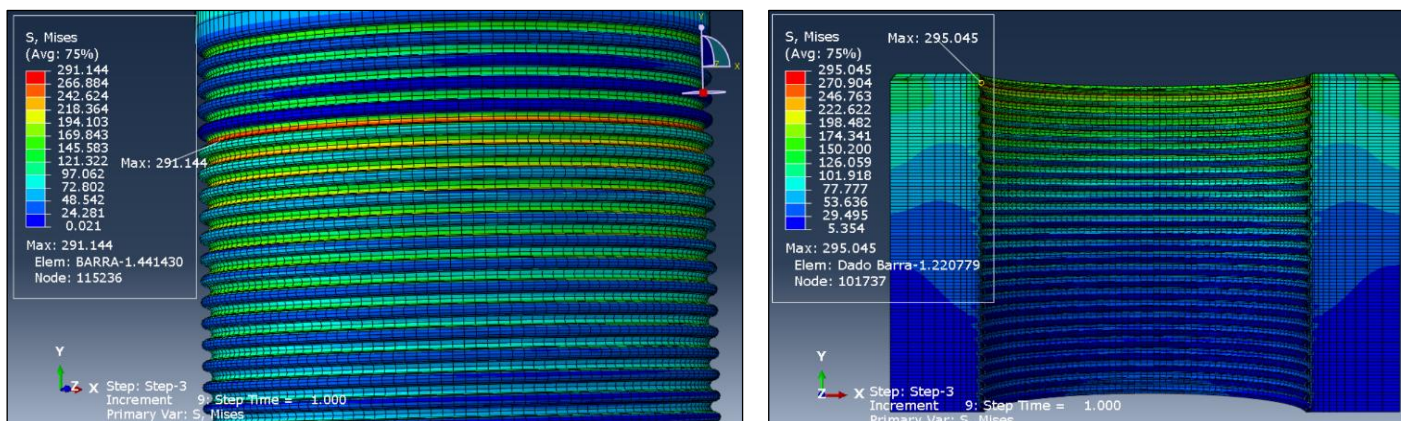


Fig.34 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente della connessione filettata dado barra

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA | TENSA GRUPPO DE ECCHER |
|--------|------|----------|--------------------------------|---------------------------|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 47 of 50 |

Le mappature dello stato di deformazione plastica equivalente sono presentate nell'immagine successiva.

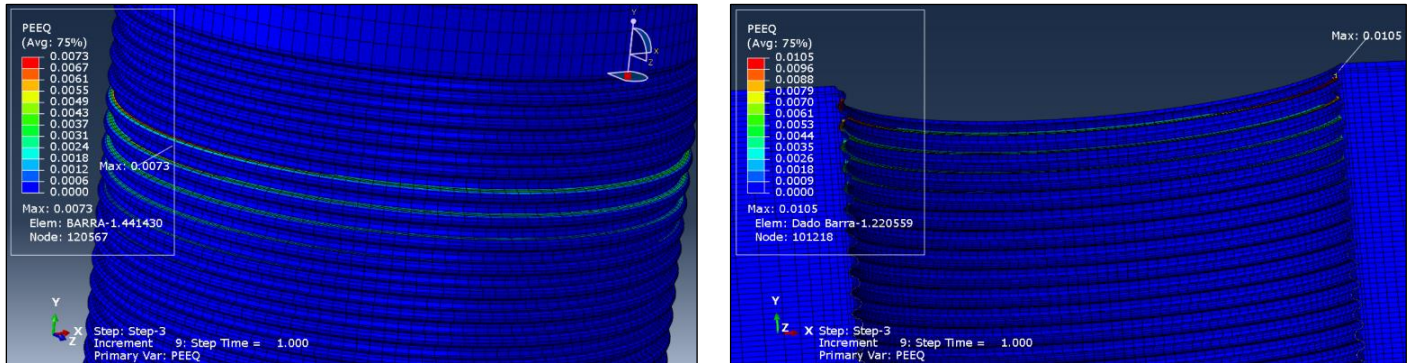


Fig.35 – Deformazioni plastiche equivalenti allo stato limite ultimo per esercizio corrente della connessione filettata dado barra

La mappatura delle tensioni di Von Mises presenta concentrazioni appena superiori alla tensione di snervamento (285MPa) solo in zone ristrette in corrispondenza dei primi filetti.

Il superamento della tensione di snervamento in queste zone è tollerabile in quanto le deformazioni plastiche PEEQ pari allo 1,05% risultano inferiori al limite del 2% (inteso come 1/10 dell'estensione del ramo plastico) e comportano una redistribuzione del carico sugli altri filetti meno sollecitati rispetto ai primi. Inoltre il contatto tra i due corpi filettati è sicuramente inquadrabile come un contatto di tipo lineare per il quale le tensioni di riferimento non sono quelle del materiale, ma le stesse incrementate di coefficienti almeno pari a 4.

Si riporta di seguito per completezza di analisi la mappatura delle tensioni in corrispondenza del filetto sulla forca del terminale superiore che risulta ampiamente entro i limiti di snervamento del materiale della forca.

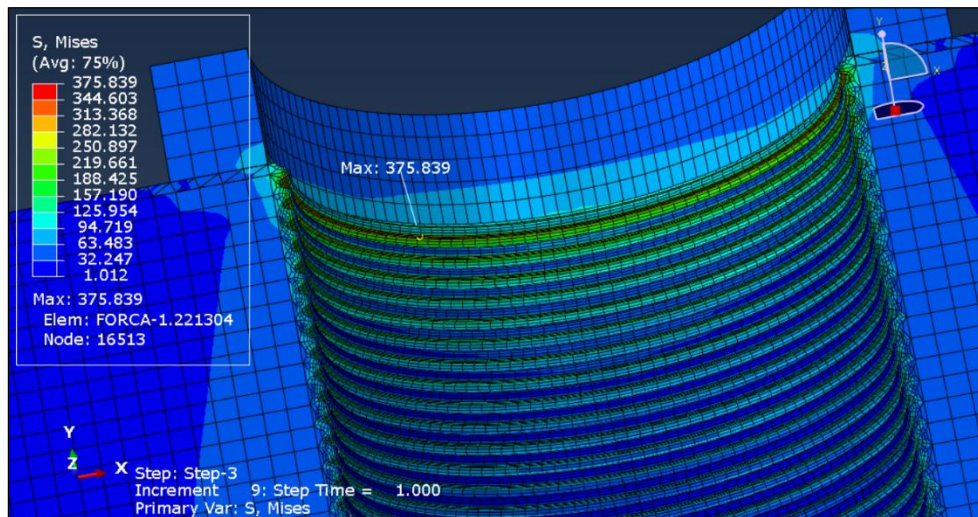



Fig.36 – Tensione allo stato limite ultimo per esercizio corrente della connessione filettata della forca superiore

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 48 of 50 |

13.3 Connessione filettata – SLU eccezionale (4350kN)

La verifica della connessione filettata è presente a pagina 566 del riferimento [1] (Relazione Tecnica Impalcato, Seteco) e riportata nuovamente al paragrafo 7.3 della presente relazione.


Viene presentata di seguito la verifica della connessione bullonata considerando l'approccio di EN1993-1-8 per bulloni e la verifica della lunghezza di filettatura adoperando una formulazione di consolidata applicazione nella pratica progettuale.

| VERIFICA FILETTATURA COME BULLONE IN ACCORDO AD EN1993-1-8 | | | | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 4350 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Diametro ridotto per la presenza della filettatura | D | 155 | mm | |
| Tensione resistente ultima | f_u | 450,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Area a taglio sezione ridotta per la presenza della filettatura | A_s | 18869,2 | mm ² | |
| Capacità filettatura nominale | $N_{res,k}$ | 7642,0 | kN | |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,25 | MPa | |
| Capacità filettatura di verifica | N_{res} | 6113,6 | kN | |
| Verifica | $N_{max} < N_{res}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | N_{res} / N_{max} | 1,41 | | |

Tabella 28 – Verifica barra come bullone allo SLU eccezionale

| VERIFICA TENSIONALE FILETTATURA | | | | |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|---|
| Descrizione | Simbolo | Valore | u.m. | Note |
| Elemento | | VITE (BARRA) | | |
| Carico di verifica | N_{max} | 4350 | kN | Si veda paragrafo 5 |
| Diametro ridotto per la presenza della filettatura | D | 155 | mm | |
| Lunghezza filettatura | L | 160 | mm | |
| Tensione di snervamento | f_{yk} | 285,0 | MPa | S355J2 in accordo a EN10025 |
| Tensione ammissibile a taglio | $f_{yk} / [3]^{0,5}$ | 164,5 | MPa | |
| Area a taglio sul fondo filetto | A_s | 77911,5 | mm ² | $\pi \times D \times L$ |
| Coefficiente riduttivo della lunghezza considerata | - | 75% | - | |
| Capacità filettatura nominale | $N_{res,k}$ | 9615,0 | kN | $0,75 \times A_s \times f_{yk} / [3]^{0,5}$ |
| Coefficiente parziale di sicurezza | γ_{Mf} | 1,25 | MPa | |
| Capacità filettatura di verifica | N_{res} | 7692,0 | kN | $N_{res,k} / \gamma_{Mf}$ |
| Verifica | $N_{max} < N_{res}$ | OK | | |
| Fattore di sicurezza | N_{res} / N_{max} | 1,77 | | |

Tabella 29 – Verifica madrevite dado allo SLU eccezionale

| | | | | |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 49 of 50 |

14 VERIFICA TACCHI DI CONTRASTO AL MARTINETTO DI SERRAGGIO

In questo paragrafo si presenta la verifica locale dei tacchi di contrasto, protrusioni ricavate nelle pareti laterali della forcella inferiore per offrire una superficie di battuta e creare un vincolo per applicare il carico del martinetto.

È stato realizzato un modello agli elementi finiti semplificato comprendente solo la forca inferiore ed il piatto forato di contrasto al martinetto per l'applicazione della forza di tesatura considerata pari a 1000kN.

Si riportano di seguito alcune immagini relative allo schema statico considerato, all'applicazione del carico su piatto di spinta (area circolare pari al diametro del martinetto - 255mm) ed ai risultati in termini di stress e deformazione.

Risulta immediato riscontrare che le tensioni sulla forca e sul piatto di battuta sono rispettivamente pari a 125MPa e 231MPa e quindi ampiamente in linea con i limiti di snervamento dei materiali. Anche le deformazioni verticali registrate (max 0.33mm) risultano accettabili ed in linea con le operazioni di tesatura delle barre di pendino.

Pertanto il sistema non presenta criticità.

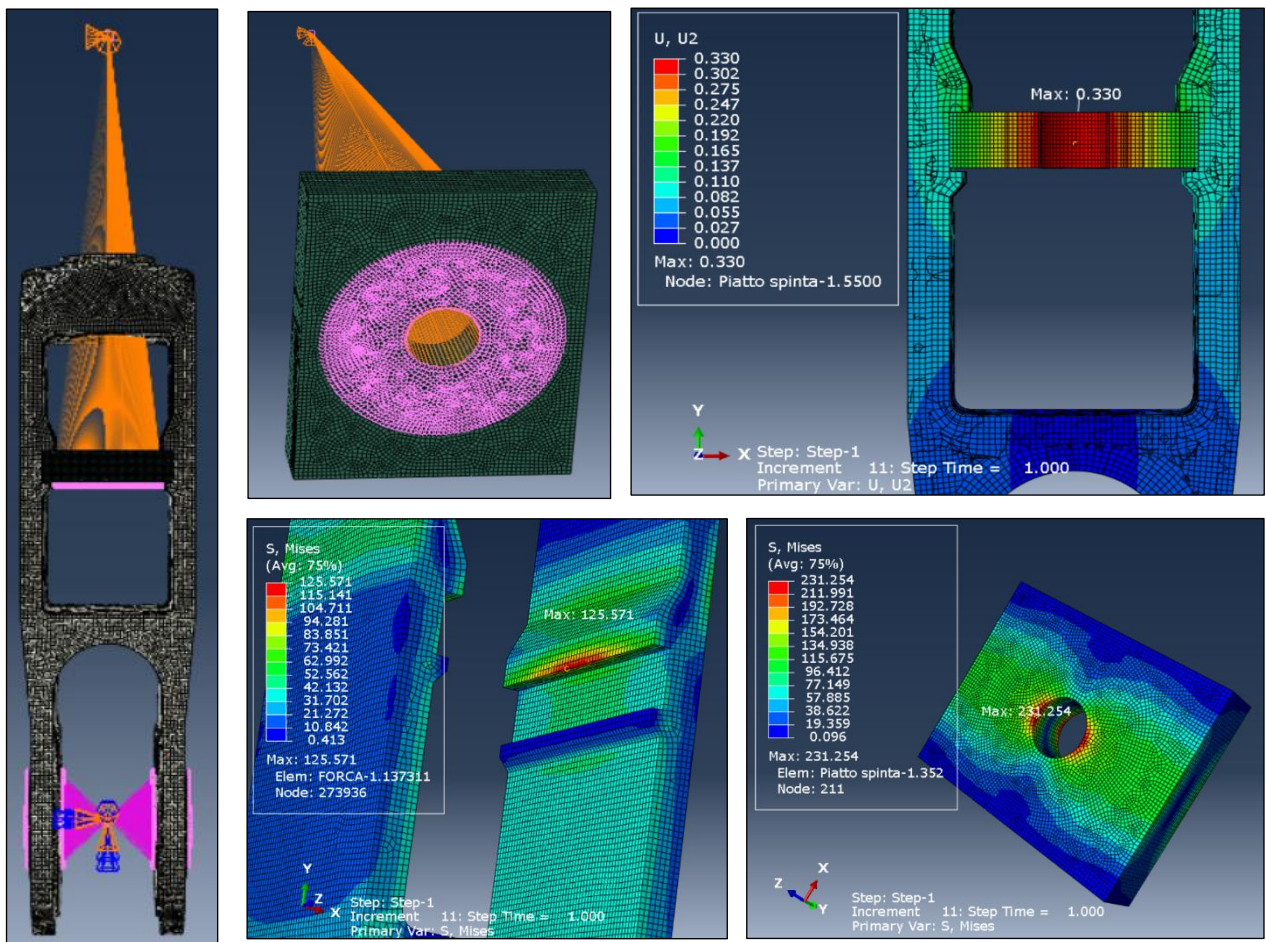



Fig.37 – Analisi stato transitorio durante tesatura

| ID | Rev. | Data | RELAZIONE TECNICA |  |
|--------|------|----------|--------------------------------|---|
| R 1485 | 0 | 16/02/23 | TSP - TENS SISTEMA PENDINATURA | Pagina 50 of 50 |

15 VERIFICHE TENSIONALI SNODO SFERICO

La verifica dello snodo sferico è presentata all'appendice A di questa relazione di calcolo.



Snodi Sferici esenti da manutenzione Elgoglide®

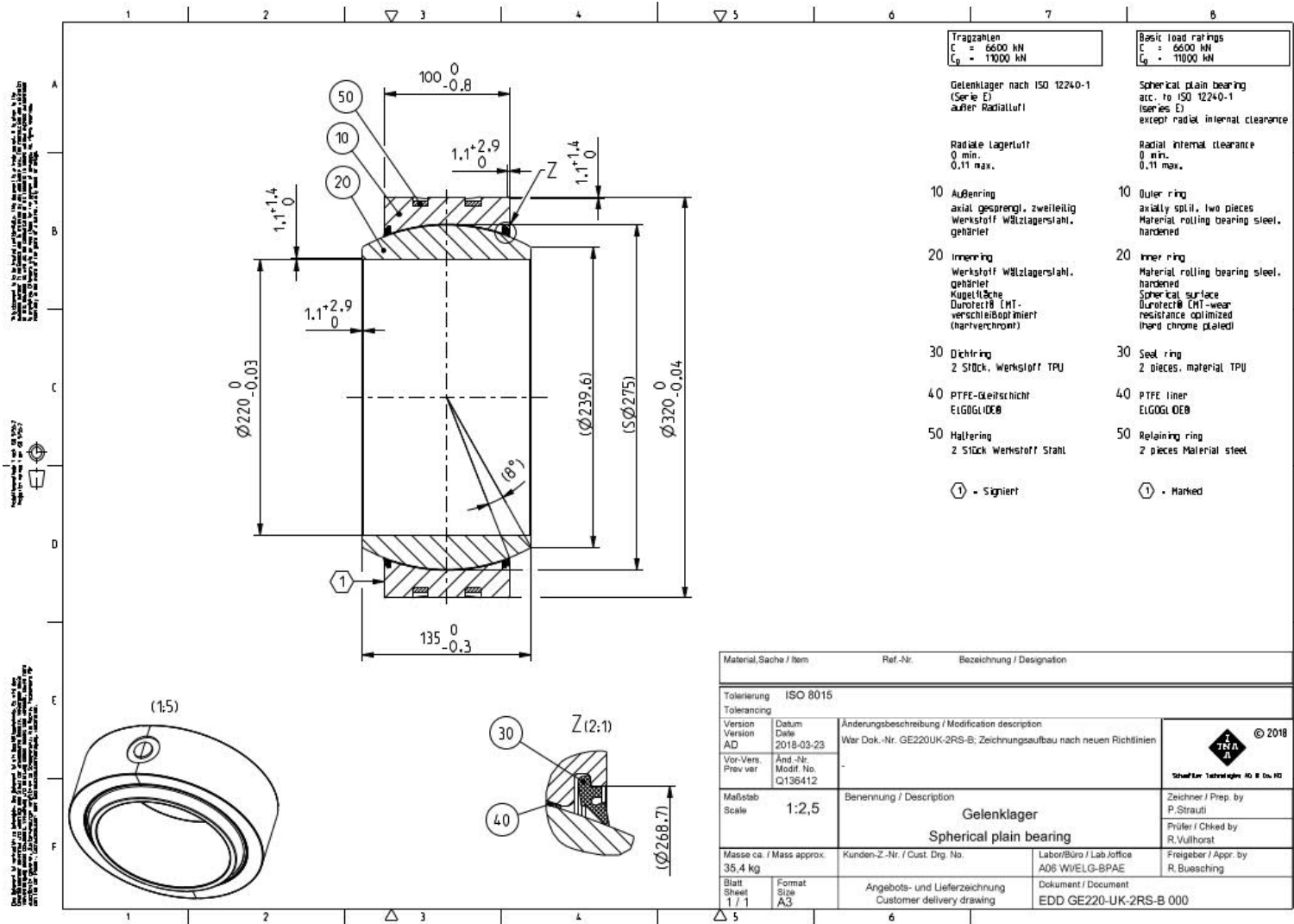
Principi costruttivi e di funzionamento

Carlo Battaglia
Technical Development Manager Raw Materials and Power Transmissions, STC
Schaeffler Italia S.r.l.

Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

Disegno snodo sferico GE220UK-2RS

SCHAEFFLER



Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

SCHAEFFLER

Informazioni generali

Snodo radiale esente da manutenzione con materiale di strisciamento Elgoglide®

Scheda prodotto: cfr. link al catalogo interattivo Schaeffler Medias

[GE220-UK-2RS Snodo sferico: Informati online & acquista su Schaeffler medias](#)

Catalogo Schaeffler di riferimento: pubblicazione HG1, Spherical Plain Bearings

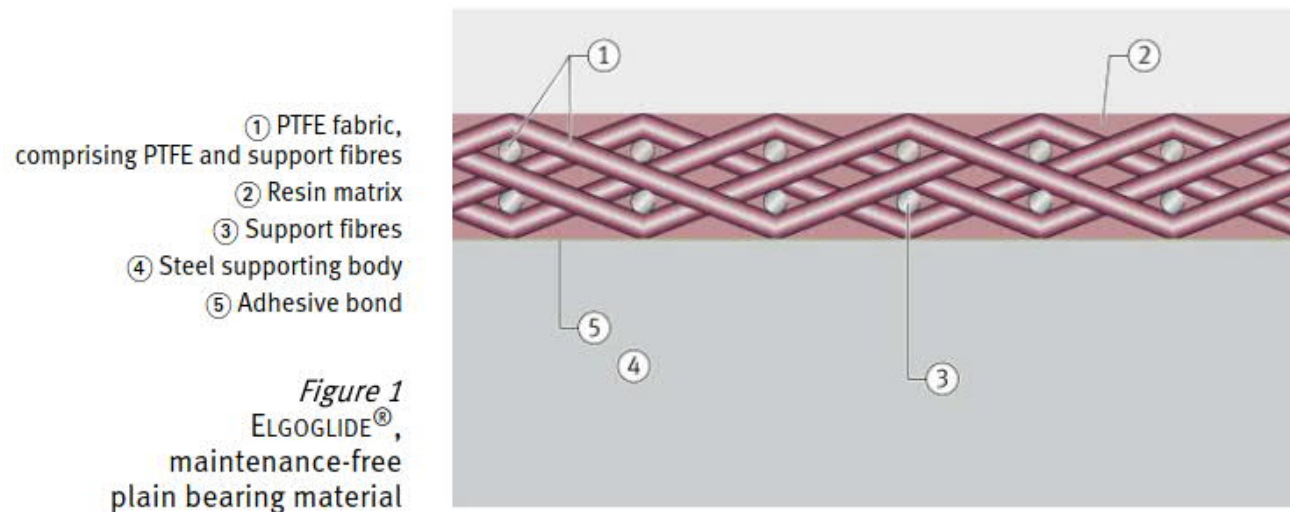
[Press media | Schaeffler Germany](#)

Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

SCHAEFFLER

Caratteristiche Materiale Elgoglide®

Materiale di strisciamento totalmente esente da manutenzione applicato all'anello esterno dello snodo:



Rappresenta il materiale di strisciamento con le prestazioni più elevate

Specific load parameter

| Sliding layer, sliding contact surface | Specific dynamic load parameter K N/mm ² |
|--|---|
| ELGOGLIDE® | 300 |

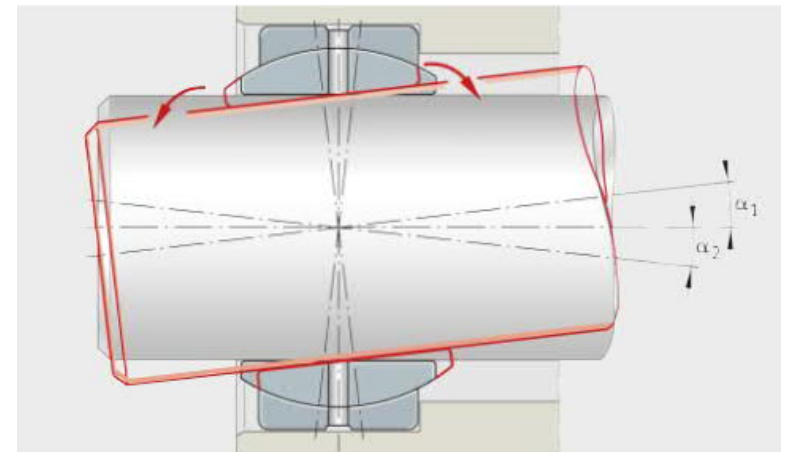
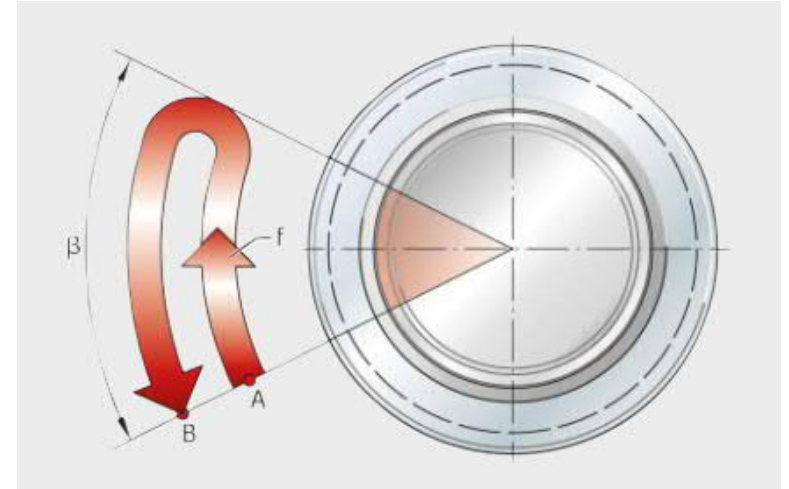
Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

Angoli di movimento

Angolo di oscillazione β (*oscillation angle* nei rapporti di calcolo)

Angolo di ribaltamento α (*tilting angle* α_1 ed α_2 nei rapporti di calcolo)

SCHAEFFLER

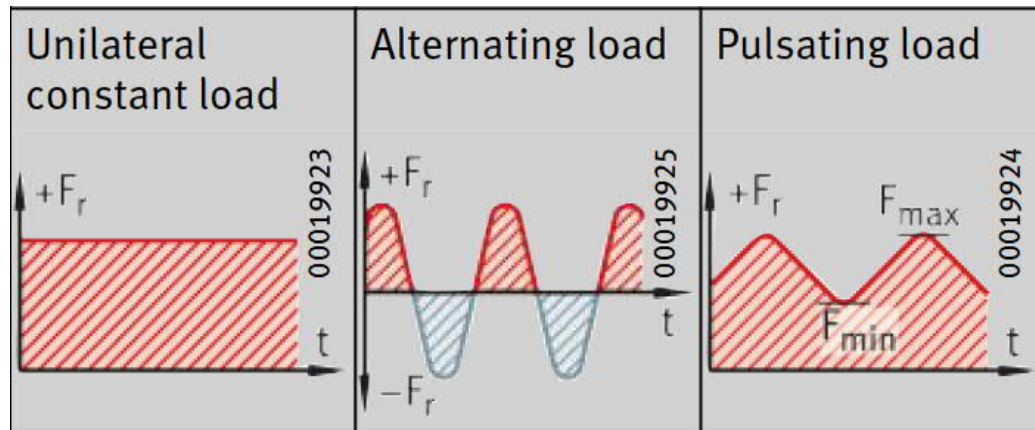


Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

Carichi sullo snodo

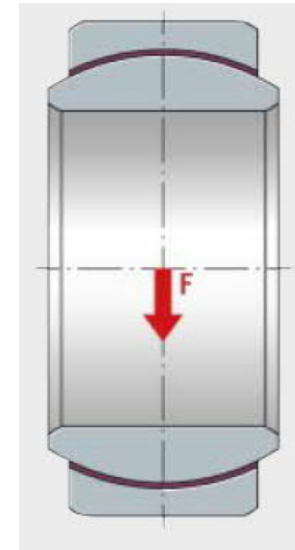
Carichi agenti sullo snodo GE220UK-2RS: in direzione puramente radiale

Tipi di Carico



costante

pulsante



SCHAEFFLER

Calcolo di durata

La durata teorica di uno snodo descrive il numero di movimenti oscillatori o di ore di esercizio, che la maggioranza di un numero sufficientemente grande di snodi raggiunge in presenza delle stesse condizioni di carico e di oscillazione/ribaltamento, prima che si manifestino particolari criteri di danneggiamento

Il criterio di danneggiamento si basa sull'usura. Lo snodo sferico raggiunge il termine della vita utile quando si registra un incremento nel gioco radiale iniziale pari almeno a:

- 0,5 mm per carico agente costante in direzione e verso
- 1,0 mm per carico agente costante in direzione ma con verso alternato

Per la presente applicazione si considera come valore limite un incremento di gioco radiale di 0,5 mm, pari allo spessore del materiale di strisciamento Elgoglide interposto tra i due anelli interno ed esterno dello snodo

Circa il procedimento di calcolo della durata si rimanda al metodo descritto nel catalogo Schaeffler di riferimento: HG1 Spherical Plain Bearings

Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

SCHAEFFLER

Condizioni di Carico

Condizione SLU

Carico radiale 2.131 kN costante

Assenza di movimenti relativi tra anello interno ed anello esterno dello snodo

Pressione di contatto calcolata $p = N/mm^2$ a fronte del limite statico $500 N/mm^2$ del materiale Elgoglide®

Cfr. allegato «20230206 Tensa Check GE220UK2RS condition SLU rev1.pdf»

Condizione SLU eccezionale

Carico radiale 4.350 kN costante

Assenza di movimenti relativi tra anello interno ed anello esterno dello snodo

Pressione di contatto calcolata $p = 340 N/mm^2$ a fronte del limite statico $k = 500 N/mm^2$ del materiale Elgoglide®

Cfr. allegato «20230206 Tensa Check GE220UK2RS condition SLU max rev1»

Fatica sul pendino

Carico radiale pulsante tra 850 kN e 1.276 kN (input F_{min_rel} = rapporto % tra carico pulsante max e min) alla frequenza di 5 Hz

Angolo di oscillazione β assunto pari a zero, angoli di ribaltamento $\alpha_1=0,1^\circ$ ed $\alpha_2=-0,1^\circ$ con frequenza di oscillazione 300 1/min

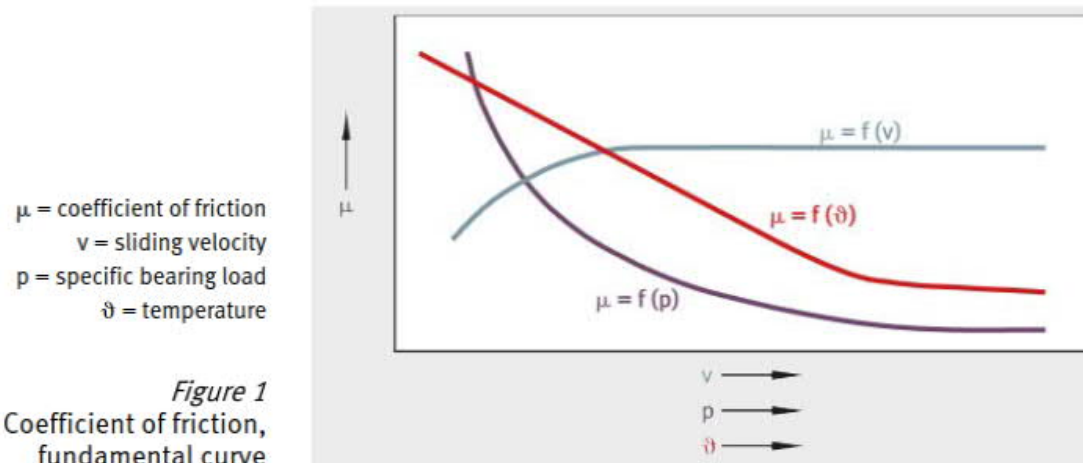
Pressione di contatto calcolata variabile tra $p = 58 N/mm^2$ e $p = 100 N/mm^2$ a fronte del limite dinamico $300 N/mm^2$ del materiale Elgoglide®

In queste condizioni di carico lo snodo presenta una durata teorica ad usura di 245 h in funzionamento continuativo (pari a 4.410.000 cicli)

Cfr. allegato «20230217 Tensa Check GE220UK2RS Lifetime to wear rev2»

Coefficiente di attrito

Il coefficiente di attrito μ varia in funzione della velocità di strisciamento, della pressione di contatto e della temperatura di esercizio, come rappresentato qualitativamente dal seguente diagramma:



La variabilità del coefficiente di attrito μ indicata a catalogo è piuttosto ampia, in quanto esso dipende dalla usura raggiunta dallo snodo in esercizio

Comparison
of coefficients of friction

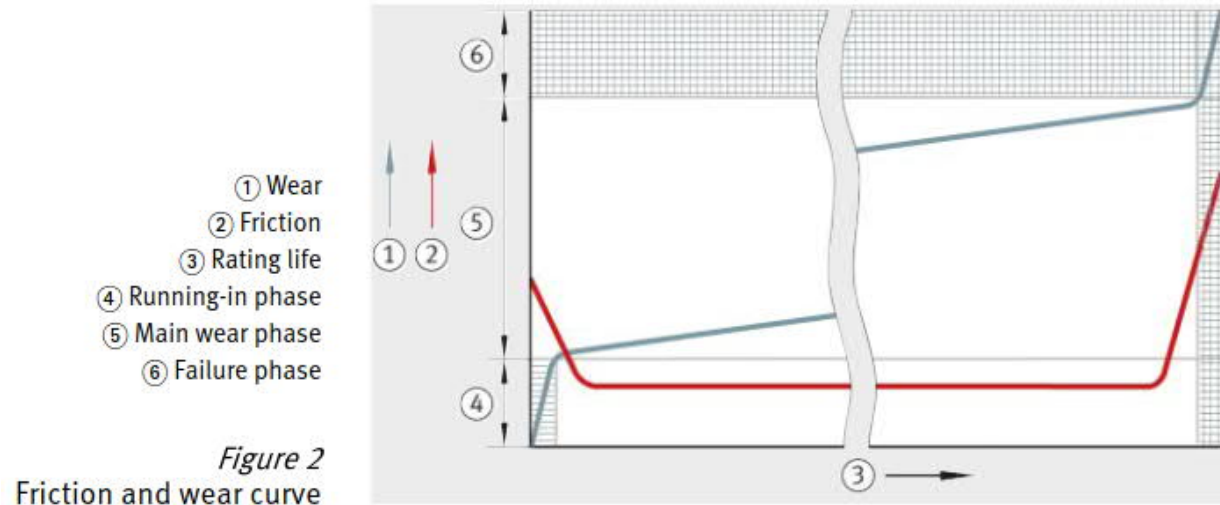
| Sliding layer, sliding contact surface | Mating surface | Coefficient of friction μ | |
|---|-----------------------|----------------------------------|------|
| | | min. | max. |
| E40 ¹⁾ | Steel | 0,03 | 0,25 |
| E50 | Steel | 0,02 | 0,2 |
| ELGOGLIDE® | Hard chromium coating | 0,02 | 0,2 |

Coefficiente di attrito

In generale si verifica infatti che nelle fasi iniziali e finali di vita dello snodo l'attrito è più elevato che durante la fase centrale di funzionamento di uno snodo ben rodato

Se il valore dell'attrito è superiore al valore massimo ammissibile, usura e temperatura crescono ed il loro effetto influisce sulla funzionalità dello snodo

Non esiste ad oggi una formulazione matematica rappresentativa dei parametri che influiscono sull'attrito, che pertanto può essere stimato solo in base a prove sperimentali



Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

SCHAEFFLER

Esito di un test di durata su uno snodo GE30UK-2RS con carico costante elevato: $p=270 \text{ N/mm}^2$

Condizioni di test

$P = 146,7 \text{ kN}$

$\beta = 30^\circ$

$f = 15,2 \text{ oscillazioni/min}$

$p = 270 \text{ N/mm}^2$

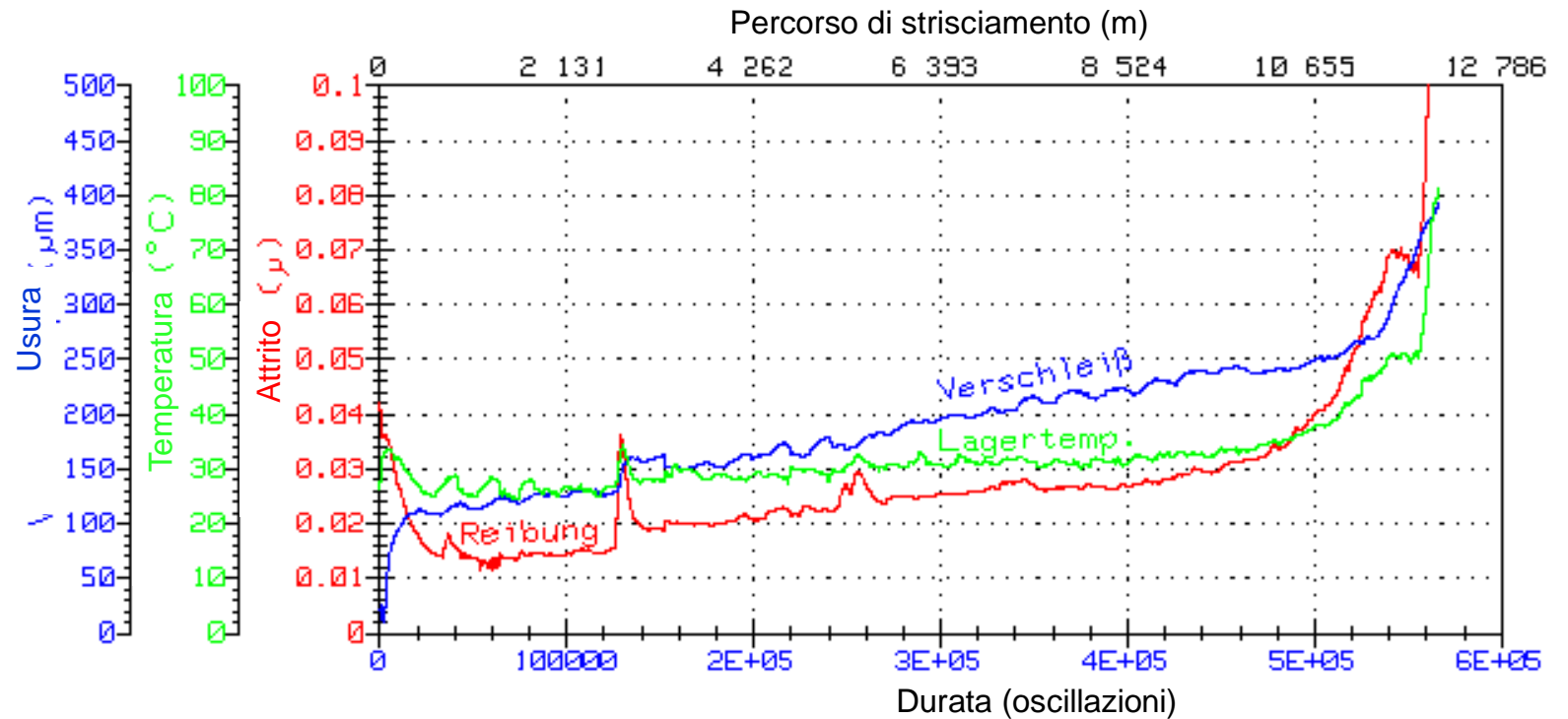
$v = 5,4 \text{ mm/s}$

$p \times v = 1.350 \text{ N/mm}^2 \times \text{mm/s}$

$L_h = 621,4 \text{ h}$

$L = 566.218 \text{ oscillazioni}$

$L_s = 12.066 \text{ m (percorso di strisciamento)}$



Snodi Sferici Esenti da Manutenzione Elgoglide®

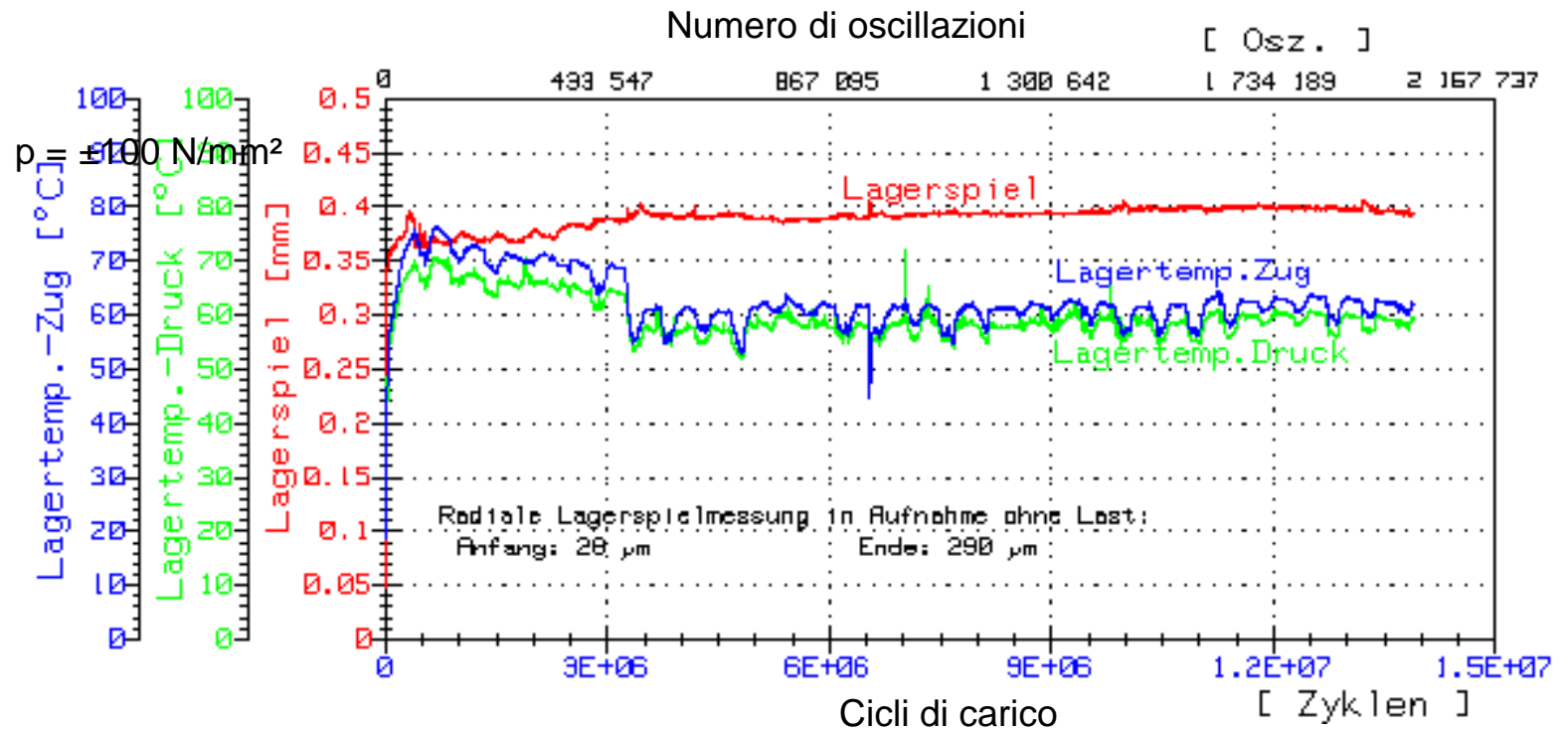
SCHAEFFLER

Esito di un test di durata su uno snodo GE40UK-2RS con carico alterno $p = \pm 100 \text{ N/mm}^2$

Condizioni di test

$p = \pm 100 \text{ N/mm}^2$ a $f(P) = 5,5 \text{ Hz}$ $\beta = 30^\circ$ a $f = 47,6 \text{ sc./min}$
 $P = \pm 93,3 \text{ kN}$ $v = 22 \text{ mm/s}$
 $L = 2\,006\,400$ oscillazioni $L_h = 702,8 \text{ h}$

$p \times v = 2.200 \text{ N/mm}^2 \times \text{mm/s (max)}$
 $L_s = 55.680 \text{ m (percorso di strisciamento)}$



Prova interrotta con snodo
ancora funzionante



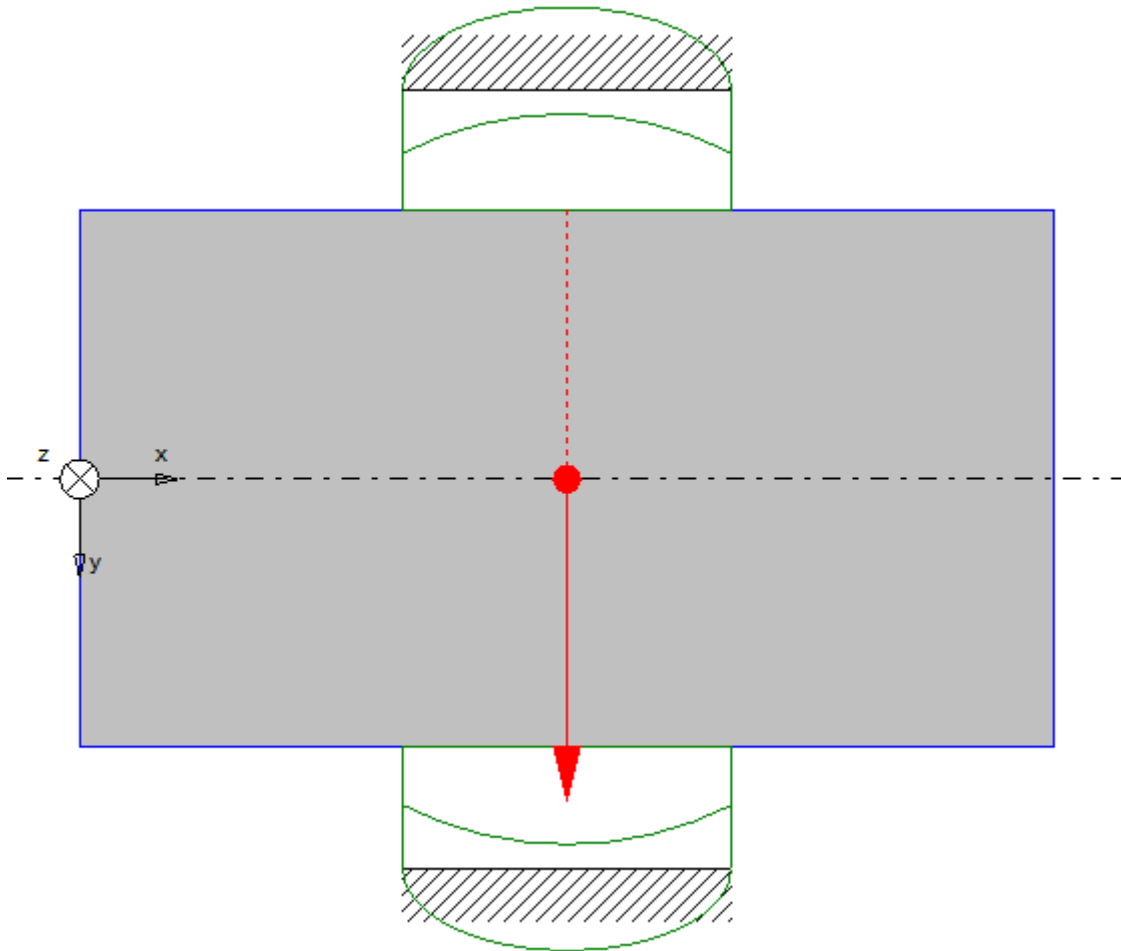
Disclaimer

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

Bearinx
Calculation of shaft systems

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

GE220-UK-2RS Lifetime to wear



Calculation / Installation proposal

Comment: Reference Catalogue HG1
Input data according to your mail of 10.02.2023

Date: 2023-02-17 18:41:34

Assumptions made by us: According to the mentioned data in the input page

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx

Calculation of shaft systems

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

1. Summary

1.1. Minimum rating life, static load safety factor and maximum equivalent stress

| | | |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Bearing with minimum rating life [h] | - | |
| Minimum rating life (plain bearings) | Lh_min | 245.0 h |
| Plain bearing with minimum rating life | GE220-UK-2RS | |
| Minimum static load safety factor (plain bearings) | S0_min | 8.621 |
| Plain bearing with minimum static load safety factor | GE220-UK-2RS | |
| Shaft with maximum equivalent stress | Shaft 1 (Load case 1) | |
| Maximum equivalent stress | SigVmax | 0.0 N/mm ² |

2. Input

2.1. Shaft system data

2.1.1. Operating conditions

2.1.1.1. Calculation selection

| | | |
|---------------------------------|------------------|-----|
| Rating Life | | yes |
| Frictional torque | do not calculate | |
| Calculate necessary load rating | | no |

2.1.1.2. Basic rating life

| | | |
|----------------------------------|------------------|----|
| Rolling element rating life | do not calculate | |
| Comparison to target rating life | | no |

2.1.1.3. Calculation options

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Dependency of position | not dependent on position |
| Deformation model | consider shear and bending |
| Mass forces of rolling elements | do not take into consideration |

2.1.1.4. Load case data

| Load case | q % | eG |
|-------------|---------|---------------------|
| Load case 1 | 100.000 | without dead weight |

2.2. Shaft data

2.2.1. Operating conditions of shafts

| Shaft | Load case | n_i 1/min | T_e °C | T °C |
|---------|-------------|-----------|--------|------|
| Shaft 1 | Load case 1 | 0.00 | 20.0 | 20.0 |

2.2.2. Material data

| Shaft | material | E N/mm ² | Nue | rho kg/m ³ | Alp 1/K | Rm N/mm ² |
|---------|----------|---------------------|-------|-----------------------|-----------|----------------------|
| Shaft 1 | steel | 210000 | 0.300 | 7810.000 | 0.0000115 | 330 |

2.2.3. Shaft design

| Shaft | x mm | Segment | ls mm | x1 mm | x2 mm | d mm | D mm |
|---------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Shaft 1 | 0.000 | Segment 1 | 400.0 | 0.0 | 400.0 | 0.000 | 220.000 |

Bearinx

Calculation of shaft systems

2.2.4. External Loads

2.2.4.1. Location of loads

| Shaft | Load case overlapping load | Load case | x mm |
|---------|----------------------------|-----------|---------|
| Shaft 1 | Point load 1 | all | 200.000 |

2.2.4.2. Point loads

| Shaft | Point load | Load case | Fx N | Fy N | Fz N | Mx N m | My N m | Mz N m |
|---------|--------------|-------------|---------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Shaft 1 | Point load 1 | Load case 1 | 0.00 | 1276000.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3. Support data

2.3.1. Supports

| Bearing | x mm | Side 1 | Side 2 |
|--------------|---------|---------|-------------------|
| GE220-UK-2RS | 200.000 | Shaft 1 | rigid environment |

2.3.2. Sliding Bearing

2.3.2.1. Sliding Bearing

| Bearing | Material | Bearing data |
|--------------|-----------|---------------|
| GE220-UK-2RS | ELGOGLIDE | from database |

2.3.2.2. Sliding Bearing (Bearing data)

| Bearing | C N | C_0 N | alpha_per ° |
|--------------|---------|----------|----------------|
| GE220-UK-2RS | 6600000 | 11000000 | 8.0 |

2.3.2.3. Sliding Bearing (Operating clearance)

| Bearing | s_r_op µm |
|--------------|--------------|
| GE220-UK-2RS | 0.0 |

2.3.2.4. Sliding Bearing (Geometry)

| Bearing | d mm | D mm | B mm | C mm | d_K mm | B_eff mm | cyl |
|--------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-------------|---------|
| GE220-UK-2RS | 220.000 | 320.000 | 135.000 | 100.000 | 275.000 | 80.000 | without |

2.3.2.5. Sliding Bearing (Temperatures)

| Bearing | Load case | T °C |
|--------------|-----------|---------|
| GE220-UK-2RS | all | 20.0 |

2.3.2.6. Sliding Bearing (Loading data)

| Bearing | Load case | Type of load | P_Hz 1/s | F_min_rel % |
|--------------|-------------|--------------|-------------|----------------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | pulsating | 5.000 | 66.60 |

2.3.2.7. Sliding Bearing (Motion data)

| Bearing | Load case | Type of rotary motion | f 1/min | beta ° | alpha_1 ° | alpha_2 ° |
|--------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|--------------|--------------|
| GE220-UK-2RS | all | oscillating | 300.000 | 0.000 | 0.100 | 0.100 |

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of wilful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx

Calculation of shaft systems

3. Results

3.1. Results for supports

3.1.1. Loading of supports

| Supports | Load case | Fx N | Fy N | Fz N |
|--------------|-------------|---------|------------|---------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.00 | 1276000.00 | 0.00 |

3.1.2. Support displacements

| Supports | Load case | DelVx mm | DelVy mm | DelVz mm |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.0000 | 0.0816 | 0.0000 |

3.1.3. Sliding Bearing

3.1.3.1. Overall plain bearing behavior

| Bearing | Lh h | S0_min | p_max N/mm ² | p_prj_max N/mm ² |
|--------------|---------|--------|----------------------------|--------------------------------|
| GE220-UK-2RS | 245.0 | 8.621 | 99.3 | 58.0 |

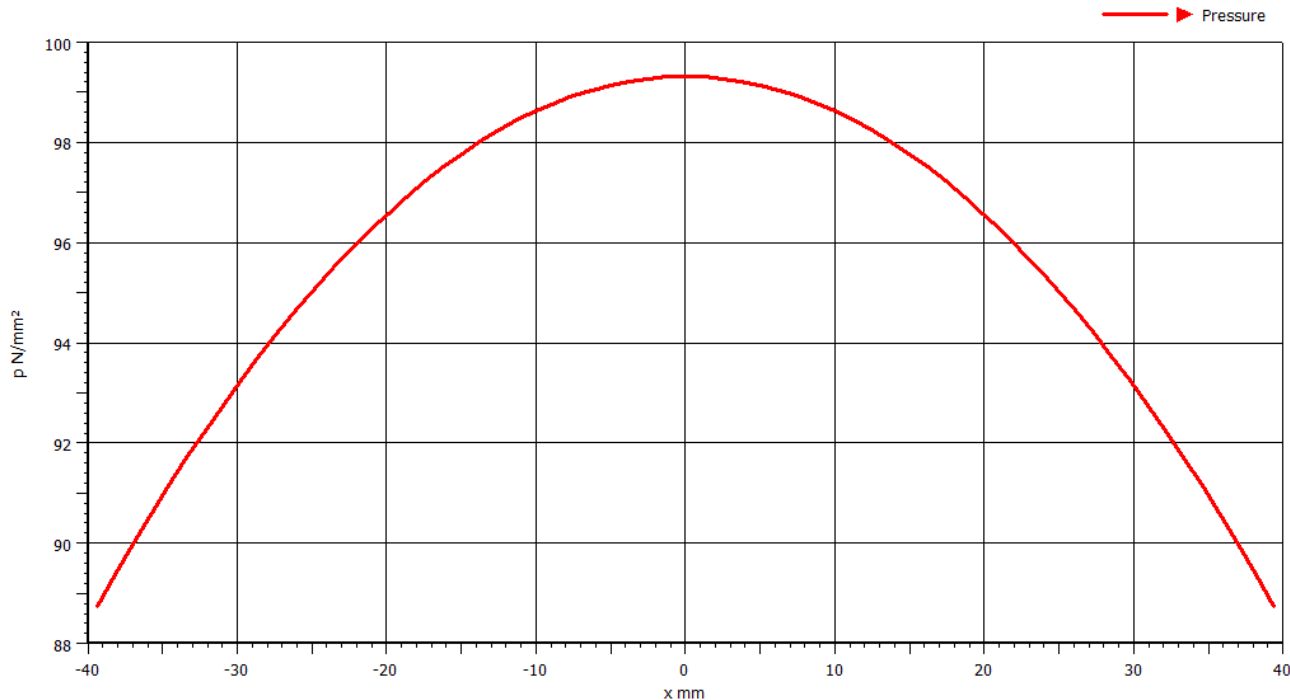
3.1.3.2. Plain bearing behavior per load case

| Bearing | Load case | Lh_i h | S0 | p_i N/mm ² | p_prj N/mm ² | v mm/s | pv N/mm ² x mm/s | F_a/F_r |
|--------------|-------------|-----------|-------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------------|---------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 245.0 | 8.621 | 99.3 | 58.0 | 4.800 | 278.380 | 0.000 |

3.1.3.3. Factors for life calculation

| Bearing | Load case | f_p | f_pv* | f_theta | f_A | f_alpha | f_beta | f_Hz |
|--------------|-------------|-------|-------|---------|-------|---------|--------|-------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.988 | 0.902 | 1.000 | 1.000 | 0.990 | 1.000 | 0.003 |

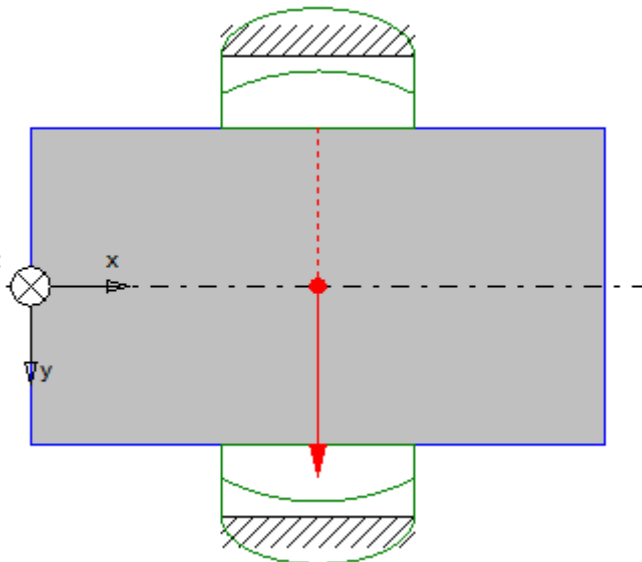
3.1.3.4. Pressure diagram along the spherical plain bearing section



The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

GE220-UK-2RS Check of SLU Condition



Calculation / Installation proposal

Comment: Reference Catalogue HG1
Input data according to your mail of 27.01.2023

Date: 2023-02-06 17:19:19

Assumptions made by us: According to the mentioned data in the input page

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

1. Summary

1.1. Minimum rating life, static load safety factor and maximum equivalent stress

| | | |
|--|--------------|-------|
| Plain bearing with minimum rating life | GE220-UK-2RS | |
| Minimum static load safety factor (plain bearings) | S0_min | 5.162 |

2. Input

2.1. Shaft system data

2.1.1. Operating conditions

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx

Calculation of shaft systems

2.1.1.1. Load case data

| Load case | q % | eG |
|-------------|---------|---------------------|
| Load case 1 | 100.000 | without dead weight |

2.2. Shaft data

2.2.1. Operating conditions of shafts

| Shaft | Load case | n _i 1/min | T _e °C | T °C |
|---------|-------------|-------------------------|----------------------|---------|
| Shaft 1 | Load case 1 | 0.00 | 20.0 | 20.0 |

2.2.2. Shaft design

| Shaft | x mm | Segment | ls mm | x1 mm | x2 mm | d mm | D mm |
|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Shaft 1 | 0.000 | Segment 1 | 400.0 | 0.0 | 400.0 | 0.000 | 220.000 |

2.2.3. External Loads

2.2.3.1. Location of loads

| Shaft | Load case overlapping load | Load case | x mm |
|---------|----------------------------|-----------|---------|
| Shaft 1 | Point load 1 | all | 200.000 |

2.2.3.2. Point loads

| Shaft | Point load | Load case | F _x N | F _y N | F _z N | M _x N m | M _y N m | M _z N m |
|---------|--------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Shaft 1 | Point load 1 | Load case 1 | 0.00 | 2131000.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3. Support data

2.3.1. Supports

| Bearing | x mm | Side 1 | Side 2 |
|--------------|---------|---------|-------------------|
| GE220-UK-2RS | 200.000 | Shaft 1 | rigid environment |

2.3.2. Sliding Bearing

2.3.2.1. Sliding Bearing

| Bearing | Material | Bearing data |
|--------------|-----------|---------------|
| GE220-UK-2RS | ELGOGLIDE | from database |

2.3.2.2. Sliding Bearing (Bearing data)

| Bearing | C N | C ₀ N | alpha_per ° |
|--------------|---------|---------------------|----------------|
| GE220-UK-2RS | 6600000 | 11000000 | 8.0 |

2.3.2.3. Sliding Bearing (Geometry)

| Bearing | d mm | D mm | B mm | C mm | d _K mm | B _{eff} mm | cyl |
|--------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|------------------------|---------|
| GE220-UK-2RS | 220.000 | 320.000 | 135.000 | 100.000 | 275.000 | 80.000 | without |

2.3.2.4. Sliding Bearing (Temperatures)

| Bearing | Load case | T °C |
|--------------|-----------|---------|
| GE220-UK-2RS | all | 20.0 |

C:\A - COPIE Temporanea\20230206 Tensa Check GE220UK2RS condition SLU rev1.vg2 (2023-02-06 17:19:19, 12.0,2022.2 Build 9481)

Schaeffler Italia S.r.l.

Bearinx

Calculation of shaft systems

2.3.2.5. Sliding Bearing (Loading data)

| Bearing | Load case | Type of load |
|--------------|-----------|--------------|
| GE220-UK-2RS | all | constant |

2.3.2.6. Sliding Bearing (Motion data)

| Bearing | Load case | Type of rotary motion | f 1/min | beta ° | alpha_1 ° | alpha_2 ° |
|--------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|--------------|--------------|
| GE220-UK-2RS | all | oscillating | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

3. Results

3.1. Results for supports

3.1.1. Loading of supports

| Supports | Load case | Fx N | Fy N | Fz N |
|--------------|-------------|---------|------------|---------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.00 | 2131000.00 | 0.00 |

3.1.2. Support displacements

| Supports | Load case | DelVx mm | DelVy mm | DelVz mm |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.0000 | 0.0992 | 0.0000 |

3.1.3. Sliding Bearing

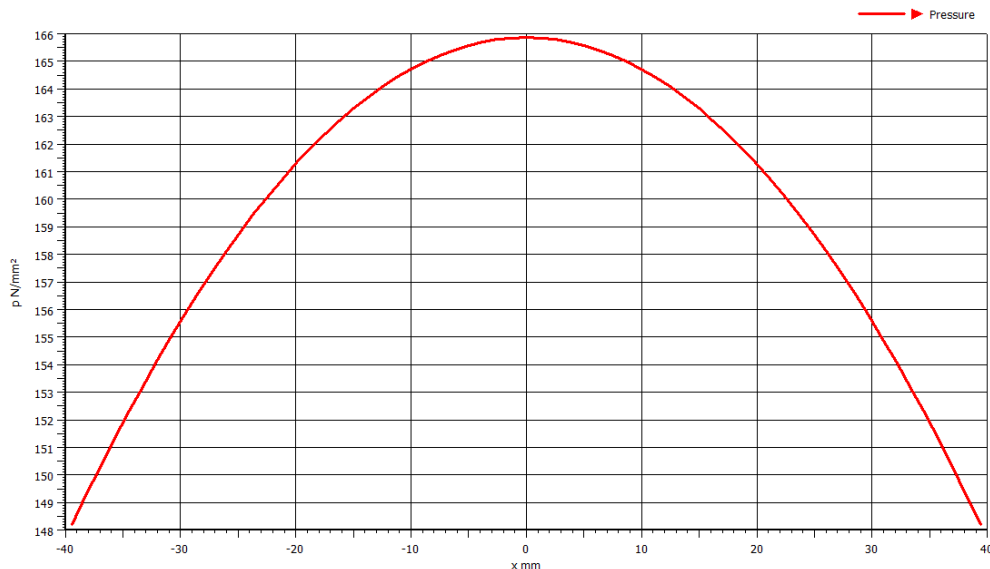
3.1.3.1. Overall plain bearing behavior

| Bearing | S0_min | p_max N/mm ² | p_prj_max N/mm ² |
|--------------|--------|----------------------------|--------------------------------|
| GE220-UK-2RS | 5.162 | 165.9 | 96.9 |

3.1.3.2. Plain bearing behavior per load case

| Bearing | Load case | S0 | p_i N/mm ² | p_prj N/mm ² | v mm/s |
|--------------|-------------|-------|--------------------------|----------------------------|-----------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 5.162 | 165.9 | 96.9 | 0.000 |

3.1.3.3. Pressure diagram along the spherical plain bearing section

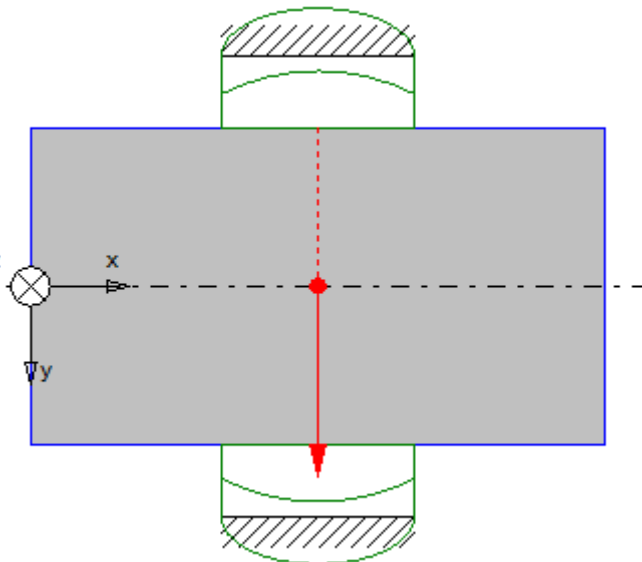


The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx
Calculation of shaft systems

GE220-UK-2RS Check of SLU Condition Extraordinary



Calculation / Installation proposal

Comment: Reference Catalogue HG1
Input data according to your mail of 27.01.2023

Date: 2023-02-06 17:39:44

Assumptions made by us: According to the mentioned data in the input page

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us. The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

1. Summary

1.1. Minimum rating life, static load safety factor and maximum equivalent stress

| | | |
|--|--------------|-------|
| Plain bearing with minimum rating life | GE220-UK-2RS | |
| Minimum static load safety factor (plain bearings) | S0_min | 2.529 |

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied guaranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx

Calculation of shaft systems

2. Input

2.1. Shaft system data

2.1.1. Operating conditions

2.1.1.1. Load case data

| Load case | q % | eG |
|-------------|---------|---------------------|
| Load case 1 | 100.000 | without dead weight |

2.2. Shaft data

2.2.1. Operating conditions of shafts

| Shaft | Load case | n _i 1/min | T _e °C | T °C |
|---------|-------------|-------------------------|----------------------|---------|
| Shaft 1 | Load case 1 | 0.00 | 20.0 | 20.0 |

2.2.2. Shaft design

| Shaft | x mm | Segment | ls mm | x1 mm | x2 mm | d mm | D mm |
|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Shaft 1 | 0.000 | Segment 1 | 400.0 | 0.0 | 400.0 | 0.000 | 220.000 |

2.2.3. External Loads

2.2.3.1. Location of loads

| Shaft | Load case | overlapping load | Load case | x mm |
|---------|--------------|------------------|-----------|---------|
| Shaft 1 | Point load 1 | | all | 200.000 |

2.2.3.2. Point loads

| Shaft | Point load | Load case | F _x N | F _y N | F _z N | M _x N m | M _y N m | M _z N m |
|---------|--------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Shaft 1 | Point load 1 | Load case 1 | 0.00 | 4350000.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3. Support data

2.3.1. Supports

| Bearing | x mm | Side 1 | Side 2 |
|--------------|---------|---------|-------------------|
| GE220-UK-2RS | 200.000 | Shaft 1 | rigid environment |

2.3.2. Sliding Bearing

2.3.2.1. Sliding Bearing

| Bearing | Material | Bearing data |
|--------------|-----------|---------------|
| GE220-UK-2RS | ELGOGLIDE | from database |

2.3.2.2. Sliding Bearing (Bearing data)

| Bearing | C N | C ₀ N | alpha _{per} ° |
|--------------|---------|---------------------|---------------------------|
| GE220-UK-2RS | 6600000 | 11000000 | 8.0 |

2.3.2.3. Sliding Bearing (Geometry)

| Bearing | d mm | D mm | B mm | C mm | d _K mm | B _{eff} mm | cyl |
|--------------|---------|---------|---------|---------|----------------------|------------------------|---------|
| GE220-UK-2RS | 220.000 | 320.000 | 135.000 | 100.000 | 275.000 | 80.000 | without |

C:\A - COPIE Temporanea\20230206 Tensa Check GE220UK2RS condition SLU max rev1.vg2 (2023-02-06 17:39:44, 12.0,2022.2 Build 9481)

Schaeffler Italia S.r.l.

The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.

Bearinx

Calculation of shaft systems

2.3.2.4. Sliding Bearing (Temperatures)

| Bearing | Load case | T °C |
|--------------|-----------|---------|
| GE220-UK-2RS | all | 20.0 |

2.3.2.5. Sliding Bearing (Loading data)

| Bearing | Load case | Type of load |
|--------------|-----------|--------------|
| GE220-UK-2RS | all | constant |

2.3.2.6. Sliding Bearing (Motion data)

| Bearing | Load case | Type of rotary motion | f 1/min | beta ° | alpha_1 ° | alpha_2 ° |
|--------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|--------------|--------------|
| GE220-UK-2RS | all | oscillating | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

3. Results

3.1. Results for supports

3.1.1. Loading of supports

| Supports | Load case | Fx N | Fy N | Fz N |
|--------------|-------------|---------|------------|---------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.00 | 4350000.00 | 0.00 |

3.1.2. Support displacements

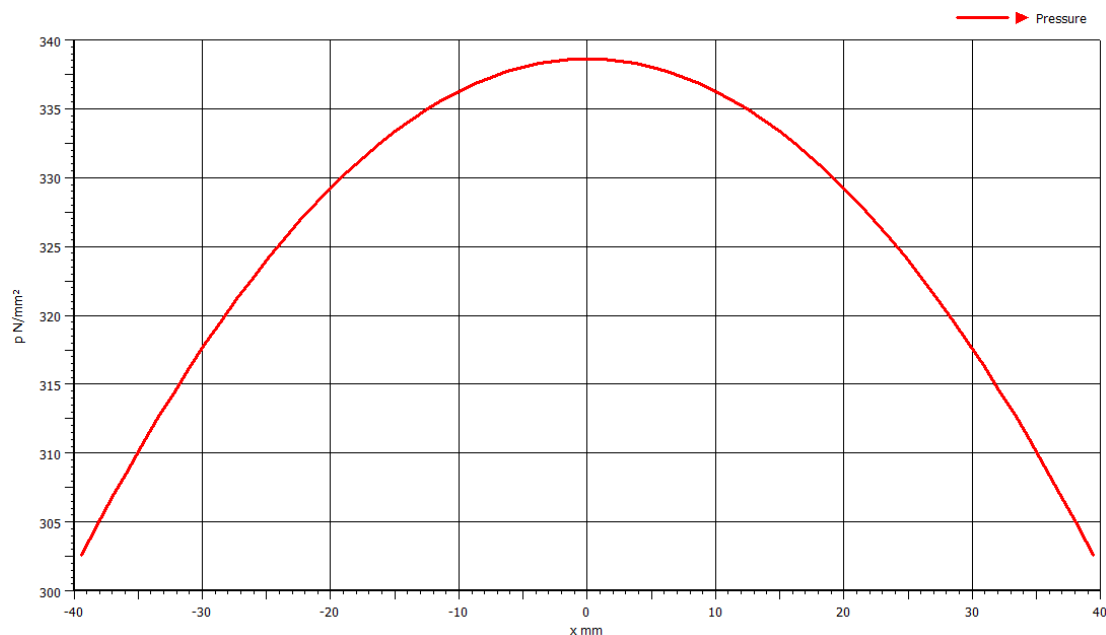
| Supports | Load case | DelVx mm | DelVy mm | DelVz mm |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| GE220-UK-2RS | Load case 1 | 0.0000 | 0.1302 | 0.0000 |

3.1.3. Sliding Bearing

3.1.3.1. Overall plain bearing behavior

| Bearing | S0_min | p_max N/mm ² | p_prj_max N/mm ² |
|--------------|--------|----------------------------|--------------------------------|
| GE220-UK-2RS | 2.529 | 338.6 | 197.7 |

3.1.3.2. Pressure diagram along the spherical plain bearing section



The document has been prepared solely in connection with the purchase of our products. The results shown in the document have been worked out carefully and in accordance with the state of the art, but do not constitute an express or implied warranty as to quality or durability in the legal sense. You are not dispensed thereby from checking the suitability of the products. We shall be liable for the details provided in the document only in the event of willful intent or negligence. If the document is part of a supply agreement, the liability provisions agreed there shall apply.

All rights are reserved with regard to this document, even in the event that a patent should be granted or a utility model registered. The document must be treated confidentially. Without our written consent, neither the document itself, nor copies thereof or any other renderings of the complete contents or of extracts therefrom may be made available to third parties or put to improper use by the recipient in any other way. The document has been prepared on the basis of your requirements as set forth above and our own assumptions. Our details take into account those risks which were apparent to us on the basis of your requirements as made available to us.