



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	122
Publication Year	2022
Acceptance in OA@INAF	2022-01-25T10:15:39Z
Title	Studio preliminare sulla resistenza strutturale del Gregorian Feed Rotator di SRT
Authors	ATTOLI, ALESSANDRO, MARONGIU, Pasqualino
Affiliation of first author	O.A. Cagliari
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/31350 , https://doi.org/10.20371/INAF/TechRep/122

Studio preliminare sulla resistenza
strutturale del
Gregorian Feed Rotator di SRT

Alessandro Attoli, Pasqualino Marongiu
INAF - Osservatorio Astronomico di Cagliari

Sommario

Sommario	2
Indice delle abbreviazioni	2
Introduzione	4
Calcolo della resistenza delle aste costituenti il traliccio	10
Calcolo delle sollecitazioni: Modello agli Elementi Finiti	12
Carichi	12
Vincoli	12
Modello FEM	13
Descrizione delle azioni interne	15
Configurazione deformata e azioni interne – Elevazione 90°	16
Riepilogo Elevazione 90° - Valori massimi e minimi	21
Reazioni vincolari Elevazione 90°	23
Configurazione deformata e azioni interne – Elevazione 0°	24
Riepilogo Elevazione 0° - Valori massimi e minimi	28
Reazioni vincolari Elevazione 0°	30
Discussione dei risultati dell'analisi FEA	31
Verifica cuscinetto	33
Carico assiale/radiale	35
Momento di ribaltamento	35
Riscontro della verifica del cuscinetto	36
Conclusioni	36

Indice delle abbreviazioni

SRT	Sardinia Radio Telescope
GFR	Gregorian Feed Rotator
PON	Programma Operativo Nazionale
OR	Obbiettivo realizzativo
FEA	Finite Element Analysis
M1	Riflettore Principale
M2	Riflettore secondario (subriflettore)
M3	Riflettore Terziario utilizzato nella configurazione BWG
MD	Modello delle deformazioni

Introduzione

Il Sardinia Radio Telescope è uno dei più importanti radiotelescopi in Italia e in Europa. Sito in località Pranu Sanguni nel comune di San Basilio (CA), è gestito dall'Osservatorio di Cagliari dell'INAF sito in "via della Scienza 5, comune di Selargius (CA).

Il Ministero dell'Università e Ricerca (MIUR) ha assegnato all'istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) un finanziamento PON

“Ricerca e Innovazione 2014-2020” Avviso D.D. n° 424 del 28/02/2018/ per la concessione di finanziamenti finalizzati al potenziamento di infrastrutture di ricerca, in attuazione dell’Azione II.1- Proposta Progettuale PIR01_00010 “Potenziamento del Sardinia Radio Telescope per lo studio dell’Universo alle alte frequenze radio”

SRT è un radiotelescopio progettato con caratteristiche innovative che consentono applicazioni radioastronomiche e spaziali fino a frequenze sopra i 100 GHz.

Il Progetto PIR01_00010 - **Potenziamento del Sardinia Radio Telescope per lo studio dell’Universo alle alte frequenze radio**, è stato approvato per un importo complessivo pari a € 18.683.000,00. Il Progetto è articolato in nove Obiettivi Realizzativi finalizzati allo sviluppo di nuovi ricevitori, all’attività di system integration e metrologia, all’acquisizione di backends e sistemi di high performance computing (HPC) e alla fornitura di apparecchiature per lo sviluppo di tecnologie a microonde. L’infrastruttura potenziata permetterà alla comunità scientifica di utilizzare SRT per lo studio dell’Universo ad alte frequenze radio, utilizzando lo strumento sia in modalità single dish che in modalità interferometrica. Una volta che tutta la strumentazione sarà installata, SRT sarà infatti in grado di operare con grande versatilità ed efficienza, offrendo una copertura di frequenza da 305 MHz a 116 GHz.

Il Progetto, della durata di 32 mesi, è articolato su nove Obiettivi Realizzativi (O.R.) finalizzati all’acquisizione di prestazioni, classificate come “appalti pubblici di forniture”, che includono la fornitura di nuovi ricevitori e backends, attività di system integration e metrologia, l’acquisizione di sistemi di High Performance Computing (HPC) e la fornitura di apparecchiature per lo sviluppo di tecnologie a microonde.

Il Progetto coinvolge quattro Unità Operative:

Osservatorio Astronomico di Cagliari (Stazione appaltante)

Istituto di Radioastronomia di Bologna

Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Osservatorio Astrofisico di Catania

Al fine di perseguire gli obiettivi del PON, INAF si doterà una serie di ricevitori a microonde allo stato dell'arte che permetteranno osservazioni nelle bande radio fino ad una frequenza di 116 GHz, quasi senza intervalli. SRT sarà, inoltre, dotato di tutta una serie di sistemi (backends, piattaforme di calcolo e dispositivi metrologici) che permetteranno di sfruttare a pieno i nuovi ricevitori ad alta frequenza.

Vengono riassunti nella seguente tabella i 9 Obiettivi Realizzativi corredati dei relativi importi e gli enti/aziende aggiudicatarie.

Obiettivo realizzativo	Descrizione	Budget (euro)	Aggiudicatario
O.R.1 Ricevitore criogenico multi-beam in Banda W	Fornitura di un ricevitore eterodina criogenico operante nella banda di frequenza 75-116 GHz, composto da 16 feed.	2.850.000	xxxxxxxxxxx
O.R. 2 Ricevitore criogenico multi-beam in Banda Q	Sviluppo di un ricevitore a microonde criogenico operante nella banda di frequenza 33-50 GHz, composto da 19 feed.	1.035.000	INAF
O.R. 3 Camera millimetrica	Fornitura di una camera millimetrica operante nella banda di frequenza 80-116 GHz, composta da un array di circa 300 rivelatori indipendenti.	2.700.000	Università di Roma "La Sapienza"
O.R.4 Sistema ricevente a microonde compatto e simultaneo a tre-bande per i tre radio telescopi Italiani	Fornitura di tre ricevitori a microonde criogenici e compatti (per SRT, Medicina e Noto), composti da tre distinte catene riceventi funzionanti simultaneamente alle frequenze 18-26 GHz, 35-50 GHz e 86-116 GHz.	3.000.000	KASI
O.R.5 Sistema metrologico per SRT	Fornitura di un sistema metrologico per l'ottimizzazione del puntamento e del guadagno d'antenna di SRT a tutte le elevazioni fino a 116 GHz.	2.300.000	Vitrociset (Gruppo Leonardo)
O.R.6 Backends	Acquisizione di un sistema di backends con un'architettura digitale riconfigurabile in grado di processare il segnale per osservazioni spettropolarimetriche su una larga banda di frequenza ed in modalità multi-beam.	1.550.000	Vari
O.R.7 Fornitura delle interfacce elettroniche e meccaniche per l'integrazione dei nuovi sistemi	Fornitura delle interfacce elettroniche e meccaniche per l'integrazione dei nuovi ricevitori, backends e sistema di metrologia che andranno a potenziare SRT. Tale fornitura dovrà essere integrata in un sistema che permetterà al radiotelescopio nel suo insieme di operare alle alte frequenze, ottimizzando la frequency agility.	2.498.000	Vitrociset (Gruppo Leonardo)
O.R.8 HPC e sistemi di archiviazione per la raccolta ed uso dati SRT	Forniture, installazione e avvio delle risorse High Performance Computing, in particolare lo storage e il calcolo massivo, necessarie per l'archiviazione e l'analisi dei dati ottenuti con SRT.	1.400.000	Vari

O.R.9 Potenziamento dei laboratori per lo sviluppo di tecnologie a microonde	Fornitura di strumentazione e apparecchiature per lo sviluppo di tecnologie a microonde che dovranno integrare le capacità dei laboratori e delle officine a servizio di SRT	1.350.000	Vari
--	---	-----------	------

© INAF – Osservatorio Astronomico di Cagliari

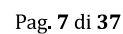


Fig.1 Sardinia Radio Telescope - SRT

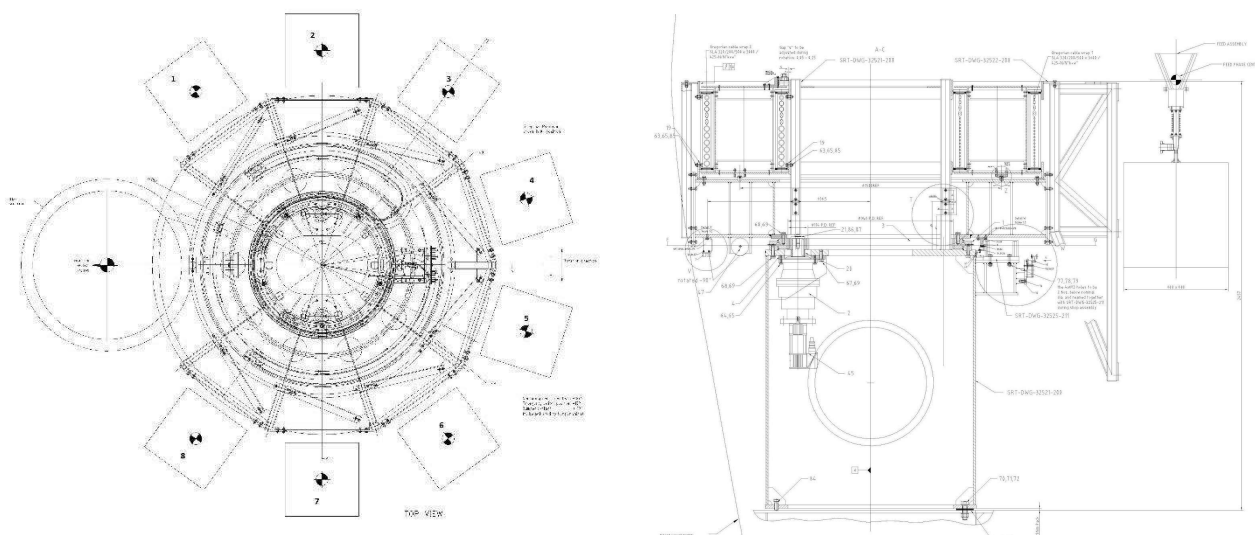


Fig. 2 Gregorian Feed Rotator - GFR

Tra i componenti meccanici coinvolti nell'intervento è compreso anche il Gregorian Feed Rotator (GFR), ovvero il sistema automatico di posizionamento dei ricevitori nel fuoco gregoriano di SRT (fig.1). La sua forma geometrica è un decagono dove 2 lati adiacenti sono stati lasciati liberi alla struttura reticolare per permettere al segnale RF di essere utilizzato nella BWG sottostante, tramite la riflessione dello specchio M3 su M4, M5 etc.

La sua capienza è data da ogni singolo slot ricavato nella struttura reticolare (8 postazioni) di cui uno slot viene dedicato ad ospitare un rack per la strumentazione di conversione del segnale RF, alimentazione dei ricevitori e il servizio di rete.

Tale sistema è stato progettato per ospitare ricevitori a singolo feed senza derotatore con peso massimo di 250 Kg.

Il seguente studio preliminare è finalizzato allo studio delle capacità del Gregorian Feed Rotator dove verranno ospitati i nuovi ricevitori con e senza derotatore elencati di seguito:

- Posizione 1 Ricevitore “Mistral” camera millimetrica (OR3)
- Posizione 2 Ricevitore “Clow” Banda C 4,2-5,6 GHz (INAF)
- Posizione 3 Slot dedicato al Rack per apparati RF/rete/ alimentazione elettrica
- Posizione 4 Ricevitore “Faraday” banda K 18-26,5 GHz multi-feed 7 pixel con derotatore (INAF)
- Posizione 5 Ricevitore “Q-band” banda Q 33-50 GHz multifeed 19 pixel con derotatore (INAF) OR 2
- Posizione 7 Ricevitore “Caruso” banda W 75-116 GHz multifeed 16 pixel con derotatore (UKRI) OR1
- Posizione 8 Ricevitore “Tri Band” banda K-Q-W 18-26 GHz, 35-50 GHz e 86-116 GHz (Kasi) OR 4

Purtroppo la documentazione fornita dal costruttore di SRT non è sufficiente nel garantire un aumento del peso nel tamburo gregoriano dove i fornitori dei ricevitori dichiarano di non

poter tenere la specifica dei 250 kg, ad esempio il ricevitore “Caruso” avrà un peso non inferiore ai 450 Kg, mentre per altri ricevitori al momento abbiamo il loro peso indicativo.

Lo studio verterà sui seguenti punti:

- Condizione di peso limite sul tamburo gregoriano con ogni slot impegnata da un ricevitore del peso di 450 Kg e da un rack del peso 450 kg.
- Studio dai documenti di progetto del materiale utilizzato per la realizzazione della carpenteria
- Analisi FEM sulla struttura reticolare
- Verifica del carico sulla ralla dovuto all’aumento di peso oltre a quello dovuto dalla carpenteria, catene portacavi, tubi elio e cavi RF/dati/ etc

Calcolo della resistenza delle aste costituenti il traliccio

La struttura reticolare del GFR è composta da profili tubolari con sezione quadrata e profili angolari con sezione a L, uniti con collegamenti bullonati mediante elementi piatti indicati in Fig.3.

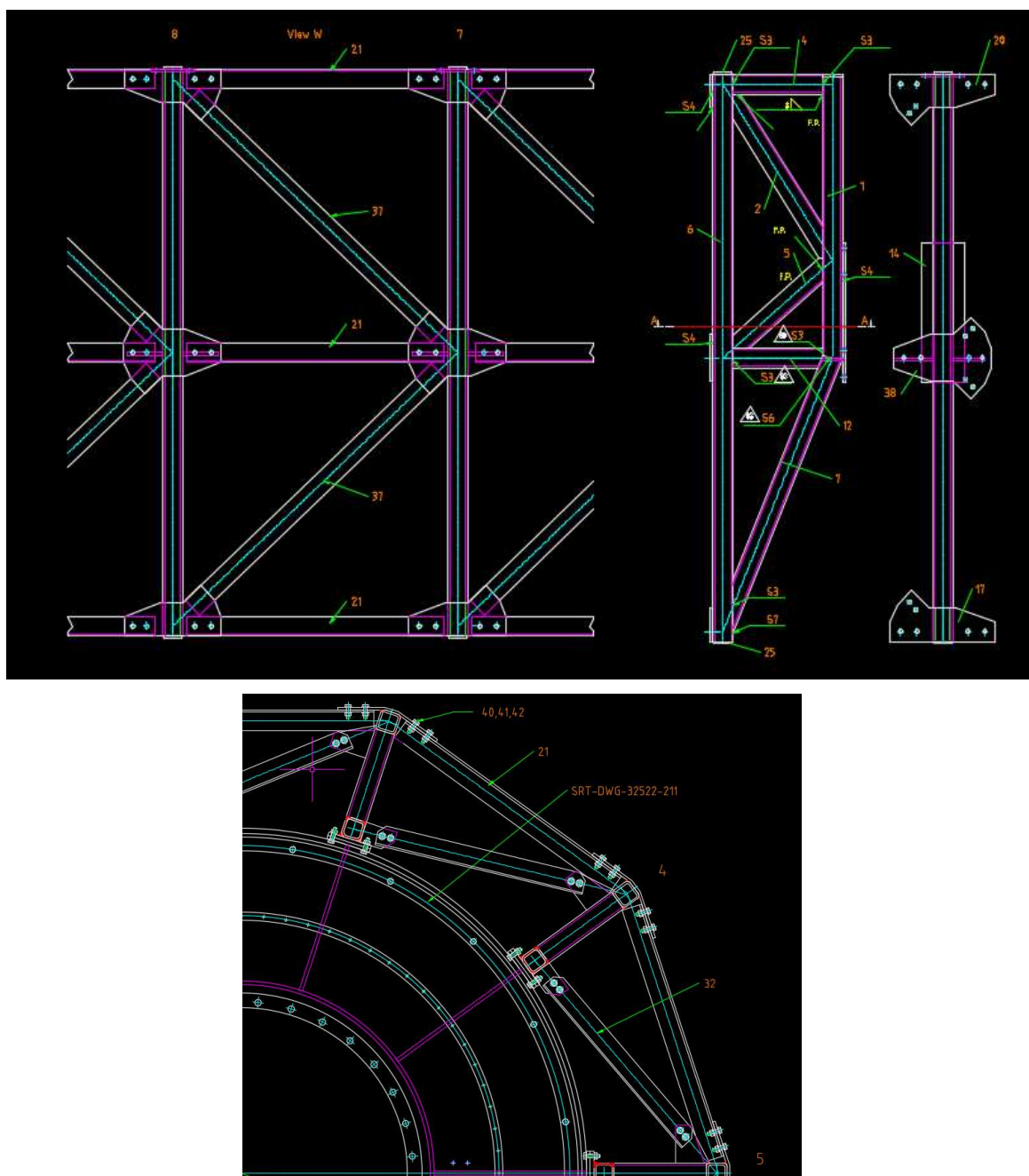


Fig. 3 Indicazione numerica delle aste

In Tabella 1 vengono riportate le resistenze di progetto delle aste del traliccio con indicazione del riferimento numerico alla Fig. 3 e alla lista disponibile in Allegato 7, nella quale è

possibile consultare tutte le informazioni geometriche, dimensionali e meccaniche dei profili. In particolare vengono fornite le resistenze a compressione, a trazione, a taglio, a flessione, a torsione e la resistenza ad instabilità per carico di punta calcolate secondo le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Asta n°	f_{yk} [N/mm ²]	Classe sezione	Resistenza a compressione $N_{c,Rd}$ [N]	Resistenza per instabilità a compressione $N_{b,Rd}$ [N]	Resistenza a trazione $N_{t,Rd}$ [N]	Resistenza a taglio $V_{c,Rd}$ [N]	Resistenza a flessione $M_{pl,Rd}$ [N mm]	Resistenza a torsione $M_{t,Rd}$ [N mm]
1	355	1	472829	388826	457443	140544	9257048	8854244
2	355	3	196771	181030	193331	58560	1504524	204959
4	355	1	472829	472829	457443	140544	9257048	8854244
5	355	3	196771	190868	193331	58560	1504524	204959
6	355	1	472829	247019	457443	140544	9257048	8854244
7	355	1	472829	401905	457443	140544	9257048	8854244
12	355	1	472829	472829	457443	140544	9257048	8854244
21	355	2	233624	186899	229500	70272	1788524	295141
32	355	3	196771	186932	193331	58560	1504524	204959
37	355	3	196771	157417	193331	58560	1504524	204959

Tab. 1 Resistenze delle aste presenti nel traliccio

Resistenza del collegamento	
Bullone	M10 x 35
Resistenza taglio bullone F_v,Rd [N]	30144
Resistenza rifollamento piatto [N]	47812.5
Resistenza rifollamento anima asta [N]	76500

Tab. 2 Resistenze di un collegamento

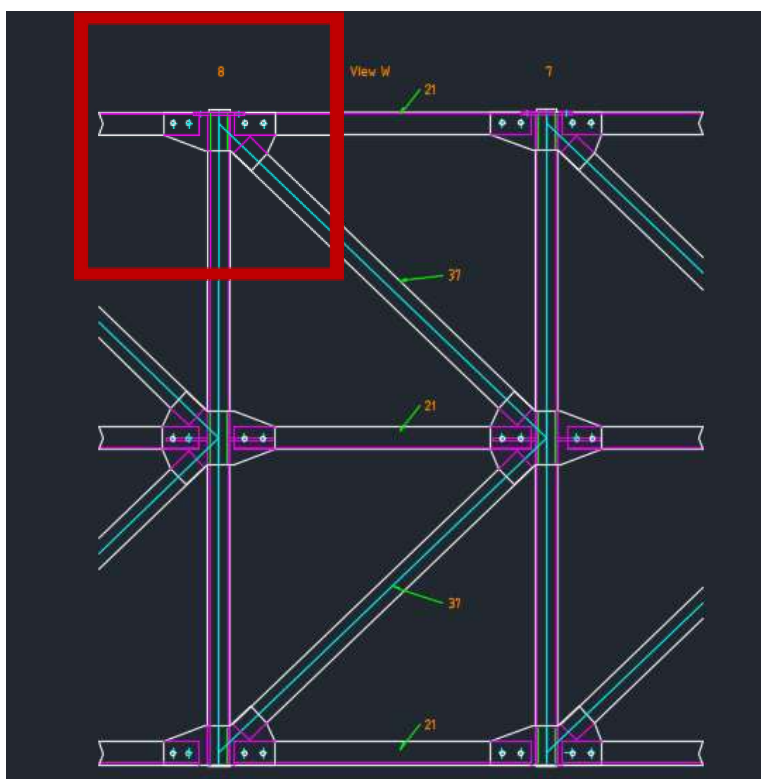


Fig. 4 Indicazione del collegamento

In Tabella 2 vengono indicate le resistenze di calcolo per una delle unioni bullonate (indicata in Figura 4), determinate secondo le NTC 2018. Il collegamento considerato per il calcolo delle resistenze è rappresentativo di tutti.

Calcolo delle sollecitazioni: Modello agli Elementi Finiti

Carichi

Nel Modello agli Elementi Finiti realizzato in questa fase di analisi, i carichi sono stati modellati come masse di entità pari a 450 Kg, atte a rappresentare i ricevitori che andranno a gravare sul GFR. Ciascun ricevitore è collegato al traliccio mediante unione bullonata su quattro punti situati in prossimità dei nodi indicati in Fig. 5. Più dettagliatamente, è stato individuato che ciascuna delle quattro unioni si trova a circa 8 cm da ciascun nodo evidenziato nella stessa Fig. 5. I ricevitori sono inoltre traslati esternamente rispetto all'asse del traliccio di una quantità pari a circa 40 cm, aspetto che deve essere tenuto in considerazione al fine di valutare i fenomeni torsionali generati.

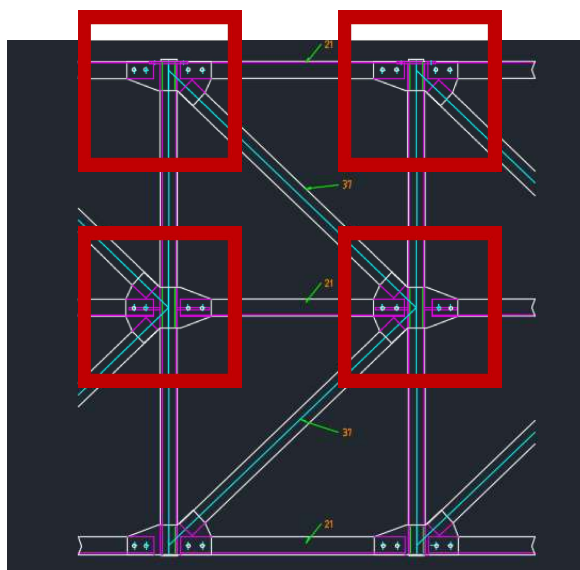


Fig. 5 Indicazione della posizione delle masse

Vincoli

I vincoli imposti laddove sono posizionati i collegamenti bullonati che rendono solido il traliccio al resto del componente (così come indicato in Figura 6) sono di incastro perfetto, mentre in tutti gli altri nodi è stato assegnato un vincolo di continuità.

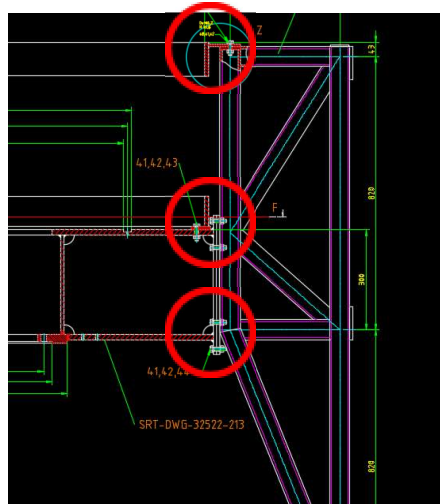


Fig. 6 Indicazione della posizione dei vincoli di incastro perfetto

Modello FEM

Per il calcolo delle azioni interne è stato realizzato un modello agli elementi finiti, illustrato nelle Figure 7, 8, e 9. Le aste sono state modellate con elementi BEAM188 a cui sono state assegnate le sezioni di progetto. I carichi invece sono stati modellati con elementi massa MASS21 di entità, come già detto, pari a 450 Kg ciascuno. Ciascun elemento massa, situato nella posizione rappresentativa del baricentro del rispettivo ricevitore, è collegato ai quattro punti di unione descritti in precedenza (8 cm dal nodo) attraverso altrettanti link rigidi modellati mediante l'elemento finito MPC184 (vedi Fig. 7). Il materiale utilizzato nel modello è un acciaio con comportamento lineare isotropo; il modulo elastico imposto è pari a $E = 2.1 \cdot 10^{11} \left[\frac{N}{m^2} \right]$, mentre il coefficiente di Poisson è pari a $\nu = 0.3$. La densità del materiale è pari a $7860 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$.

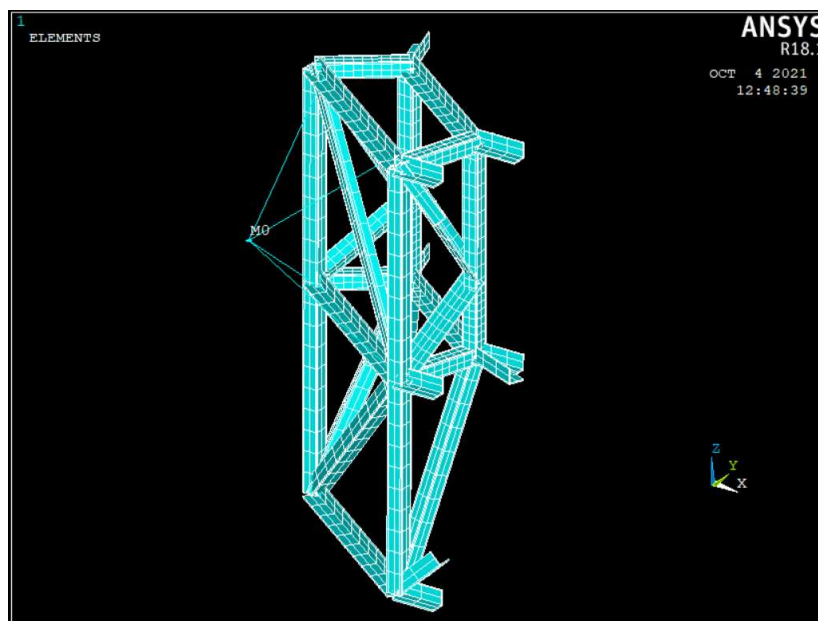


Fig. 7 Indicazione della posizione dell'elemento massa e dei link rigidi di collegamento al traliccio

Nelle Figure 8-9 sono mostrate le rappresentazioni grafiche del modello complessivo in due differenti viste.

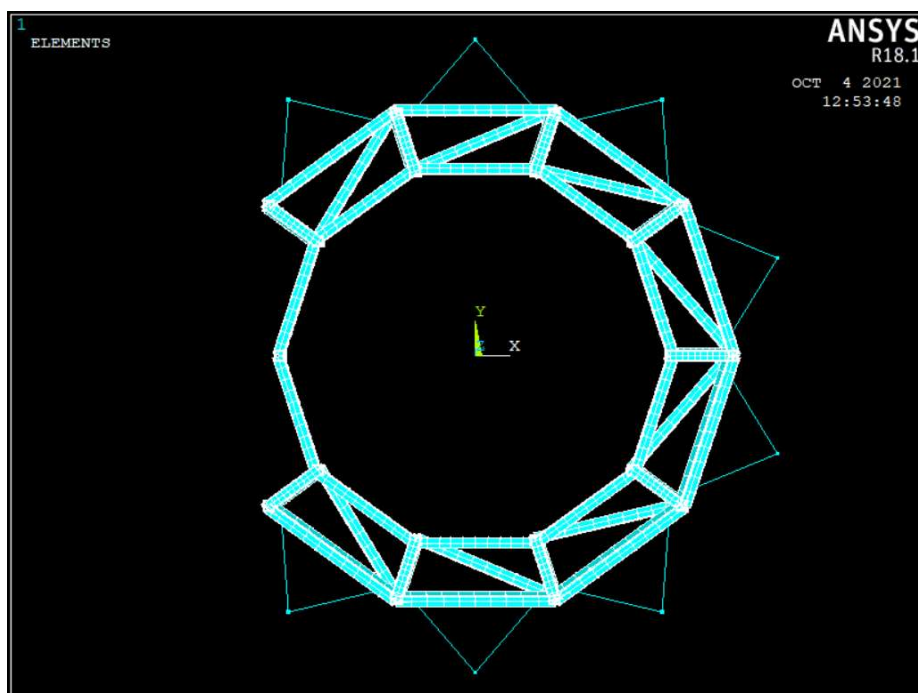


Fig. 8 Pianta del traliccio

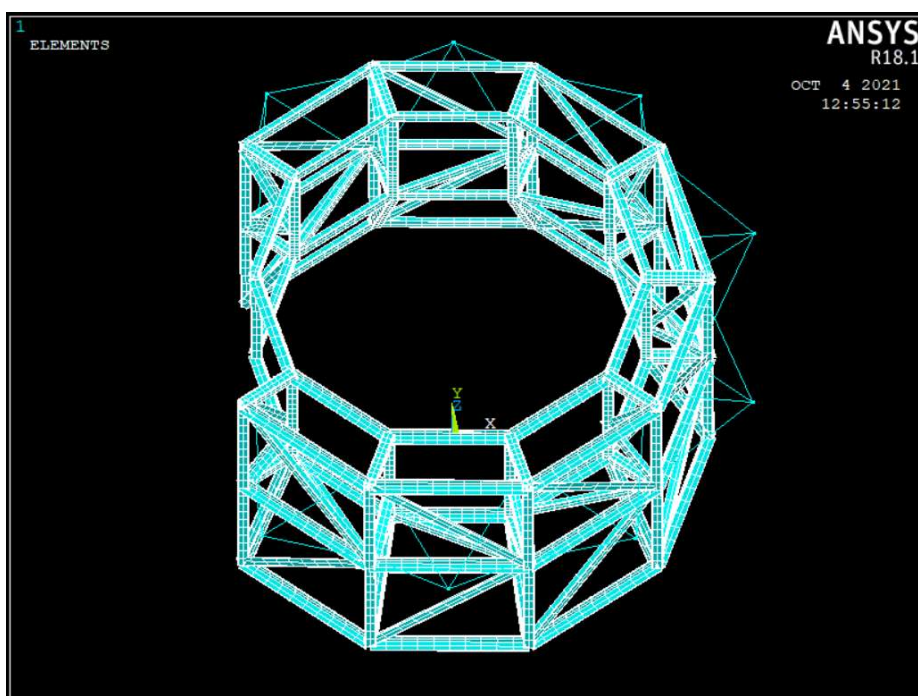


Fig. 9 Struttura reticolare

L'analisi agli elementi finiti è stata condotta per le due condizioni limite di elevazione, ovvero 90° e 0° .

Descrizione delle azioni interne

In questa sezione si vogliono descrivere quali sono le azioni interne che si sviluppano in un elemento strutturale quando è soggetto a delle sollecitazioni.

Nel caso in cui ad un'asta vengono applicati dei carichi (ad es. dei carichi concentrati come in Fig. 10), questa, oltre a deformarsi, è indotta in uno stato di sforzo tale da produrre delle sollecitazioni interne:

- Azione Normale, generata dalle forze parallele all'asta;
- Taglio, generato dalle forze ortogonali all'elemento;
- Flessione, generata dalle forze ortogonali all'elemento e/o momenti flettenti applicati;
- Torsione, generata da una coppia di momenti discordi agenti attorno all'asse o forze applicate con eccentricità non nulla rispetto all'asse.

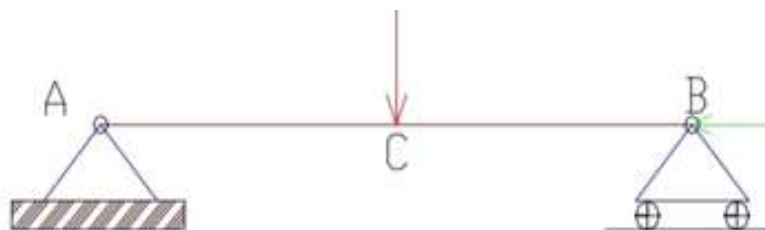


Fig. 10 Asta sollecitata con carichi concentrati.

Si consideri ora una sezione della trave.

La convenzione stabilisce che siano considerate positive le azioni normali di trazione, mentre quelle di compressione siano considerate negative (Fig. 11).



Fig. 11 Convenzione positiva per l'azione normale.

Per l'azione tagliante (Fig. 12), la convenzione impone la positività per le forze ortogonali dirette verso l'alto se posizionate alla sinistra della sezione, e per le forze dirette verso il basso se posizionate alla destra della sezione.



Fig. 12 Convenzione positiva per il taglio.

La flessione è considerata positiva se, a causa dei carichi applicati ortogonalmente, risultino tese le fibre inferiori dell'elemento (Fig.13).



Fig. 13 Convenzione positiva per la flessione.

La torsione è considerata positiva se segue la convenzione destrorsa (Fig. 14).

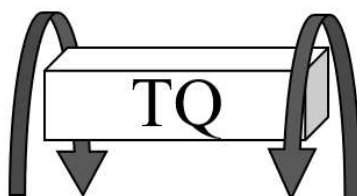


Fig. 14 Convenzione positiva per la torsione.

E' possibile descrivere l'andamento delle sollecitazioni in tutta la lunghezza dell'elemento attraverso dei grafici chiamati diagrammi di azione interna.

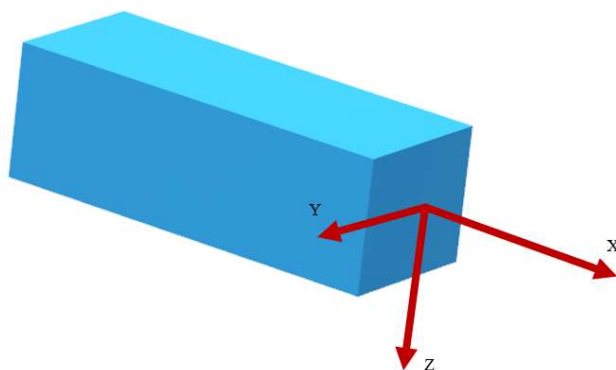


Fig. 15 Identificazione degli assi di riferimento per la caratterizzazione delle componenti di azione interna relative agli elementi tridimensionali

Come mostrato in Fig. 15 è possibile distinguere due componenti per l'azione tagliante e due componenti per l'azione flessionale, poiché due sono gli assi ortogonali alla direzione assiale.

Configurazione deformata e azioni interne – Elevazione 90°

Di seguito vengono riportate le figure che mostrano la configurazione strutturale deformata (Fig. 16) e gli andamenti dei diagrammi delle azioni interne alle aste relativi al caso con elevazione 90°: azione NORMALE (Fig. 17), azione di TAGLIO (Fig. 18, 19), MOMENTO FLETTENTE (Fig. 20, 21) e TORSIONE (Fig. 22). Tali sollecitazioni devono necessariamente essere inferiori alle resistenze di progetto degli elementi strutturali.

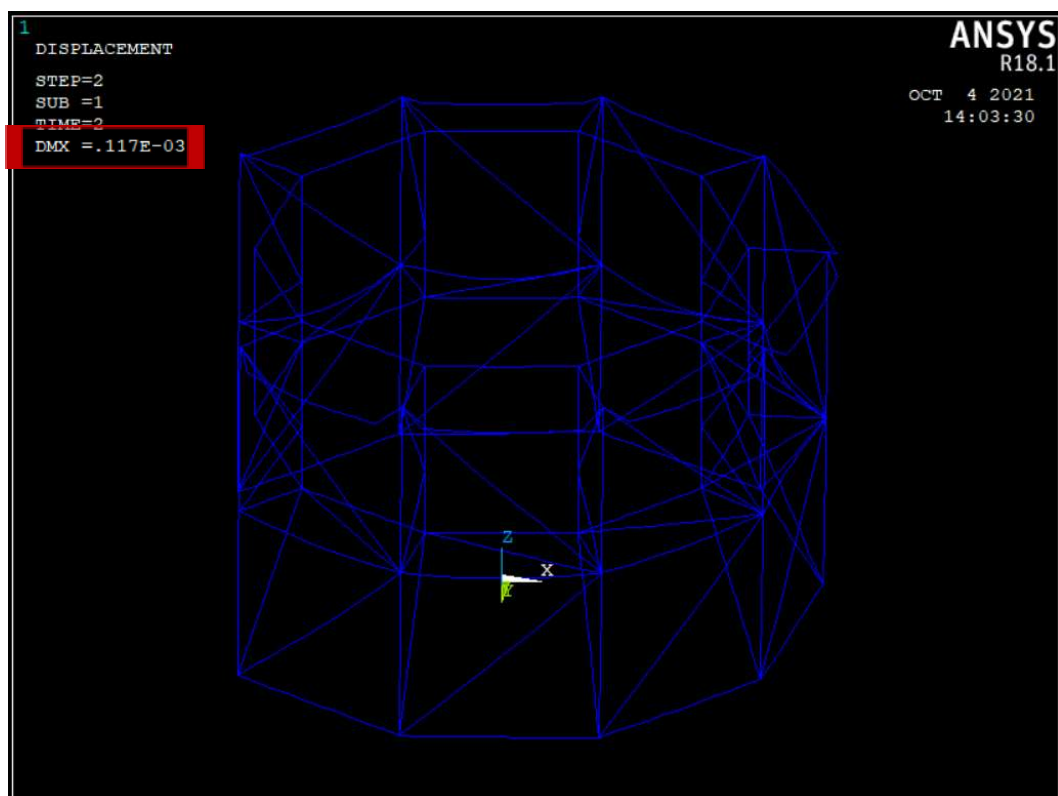


Fig. 16 Configurazione deformata del traliccio ad elevazione 90°

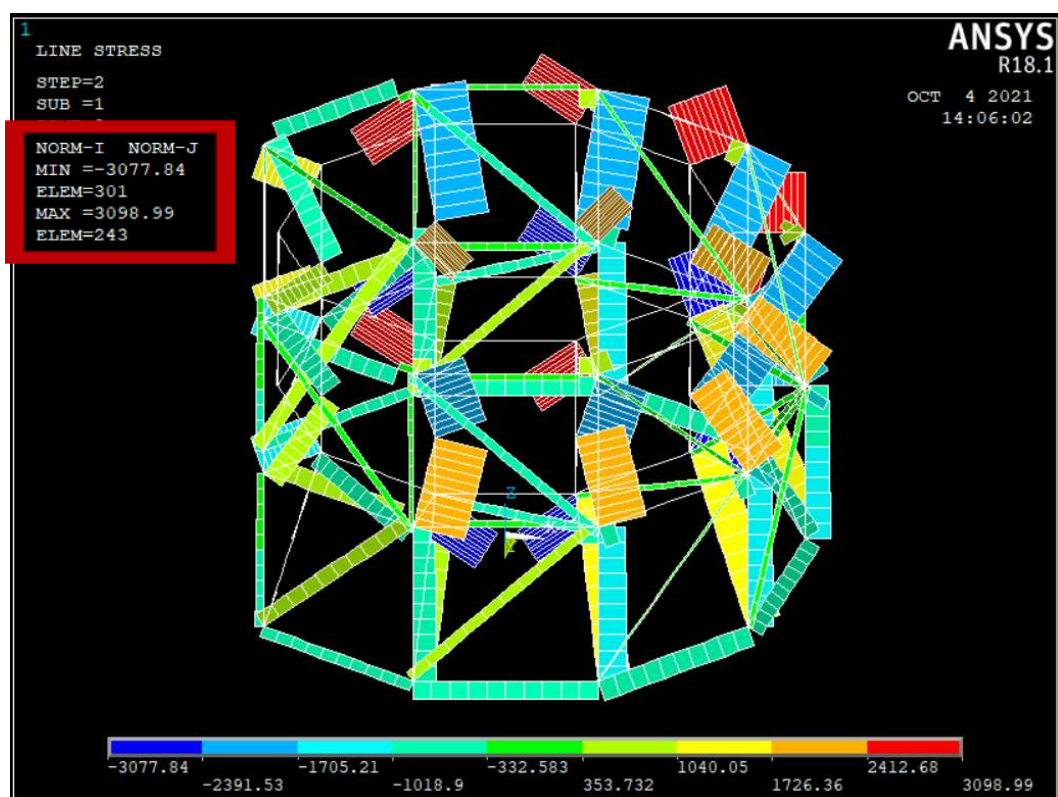


Fig. 17 Diagramma dell'azione normale ad elevazione 90°

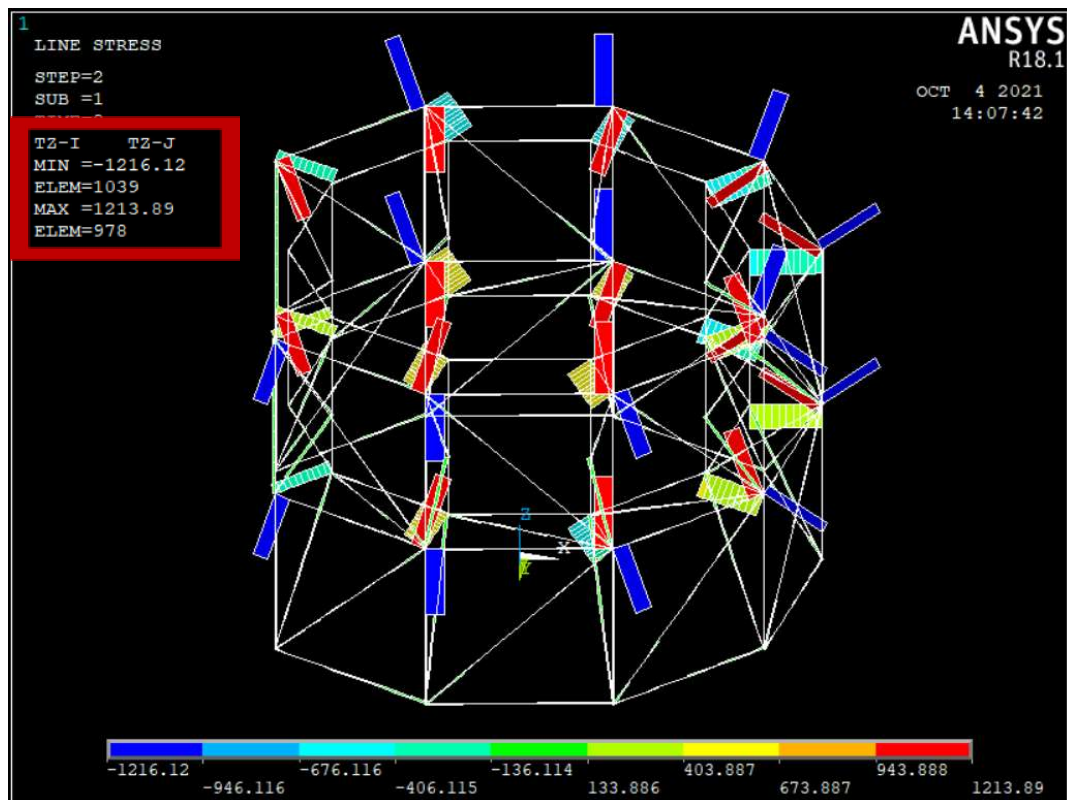


Fig. 18 Diagramma del taglio in direzione Z ad elevazione 90°

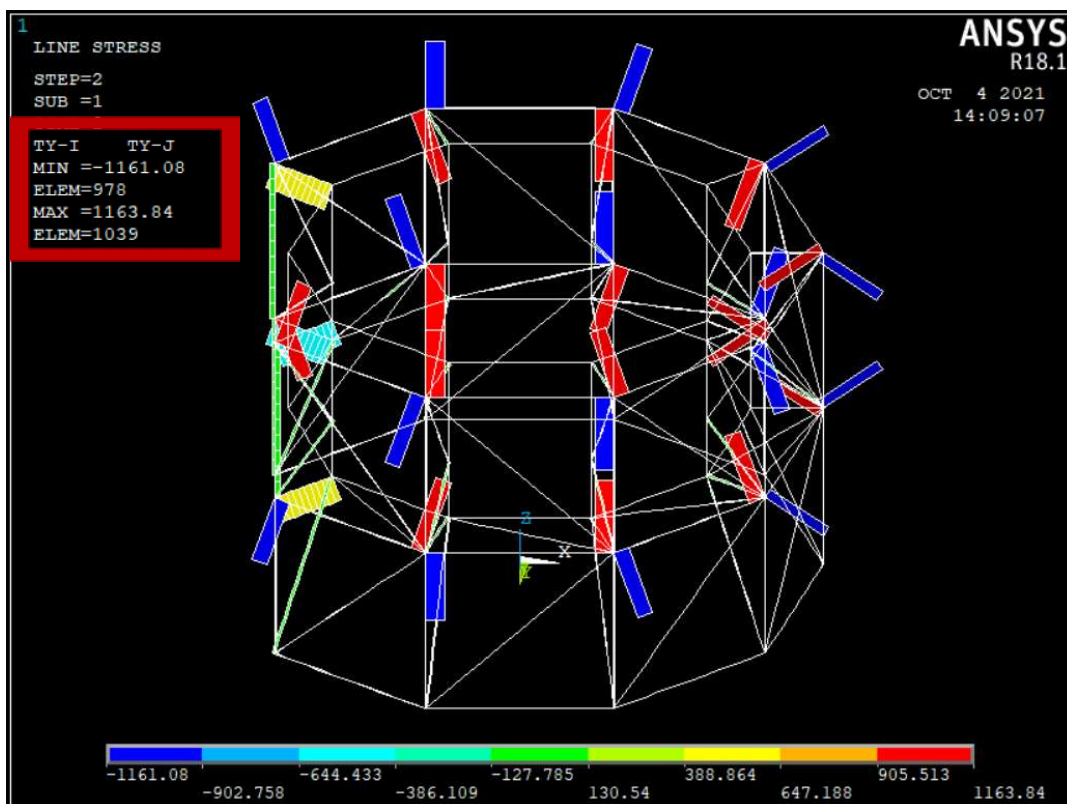


Fig. 19 Diagramma del taglio in direzione Y ad elevazione 90°

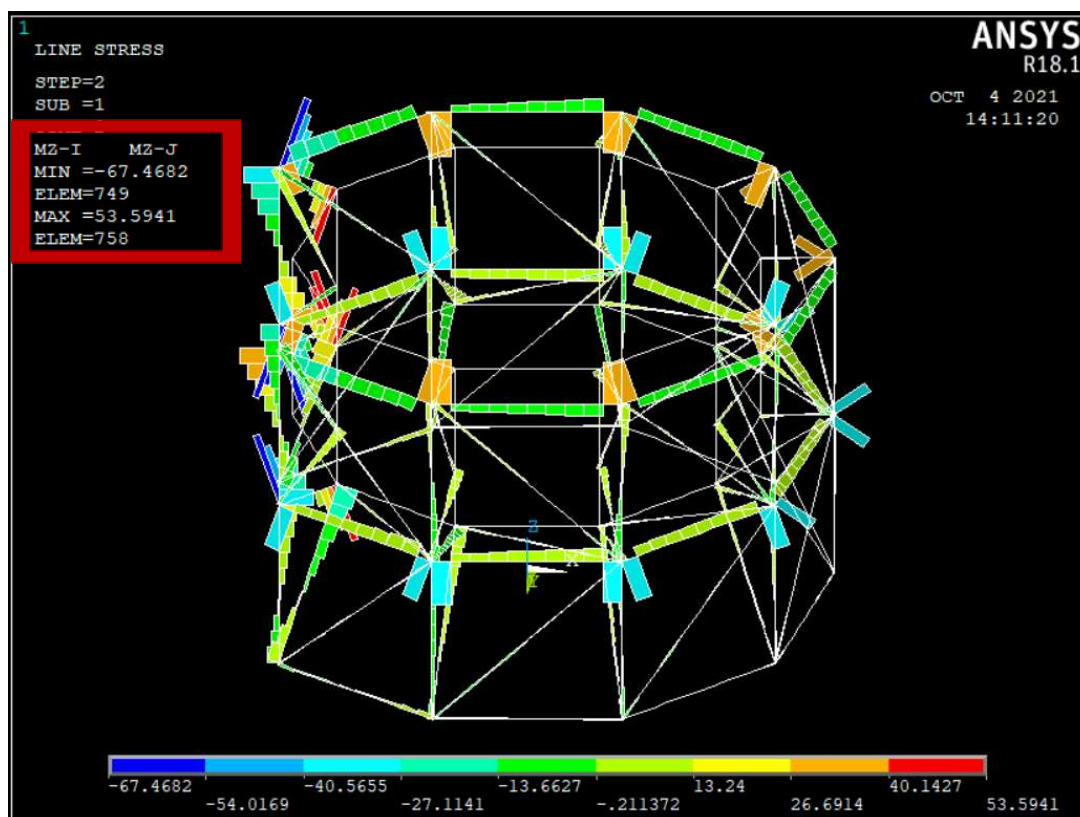


Fig. 20 Diagramma del momento flettente in direzione Z ad elevazione 90°

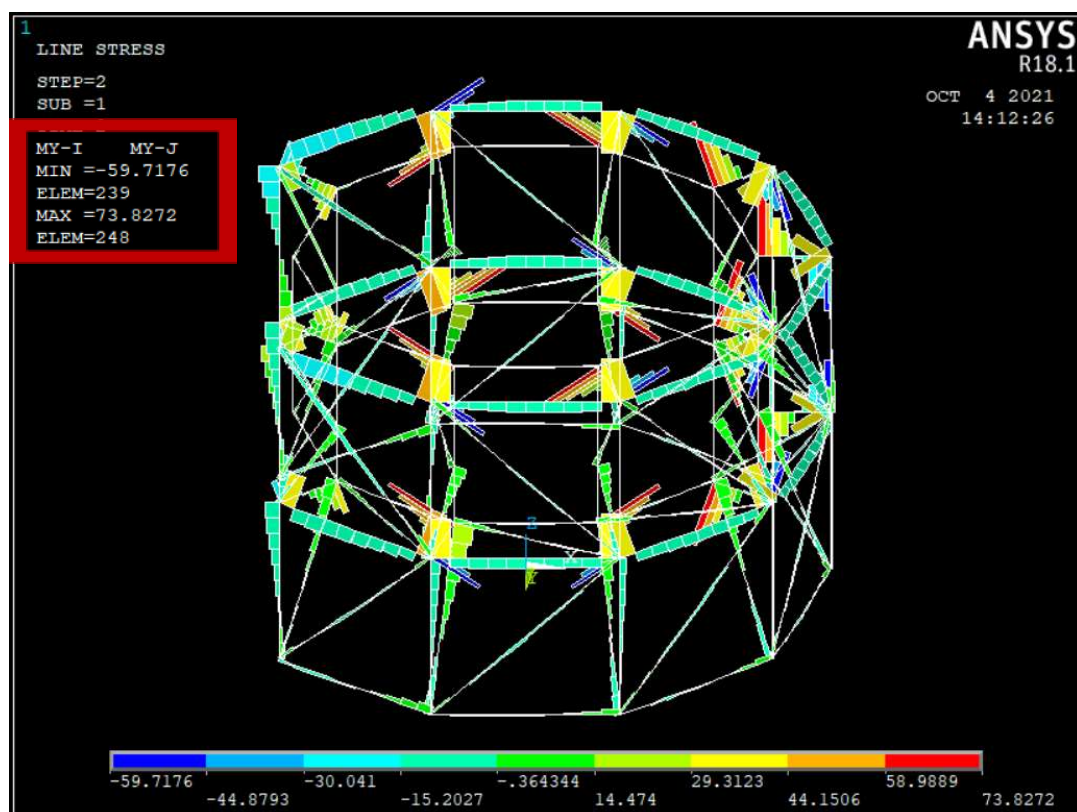


Fig. 21 Diagramma del momento flettente in direzione Y ad elevazione 90°

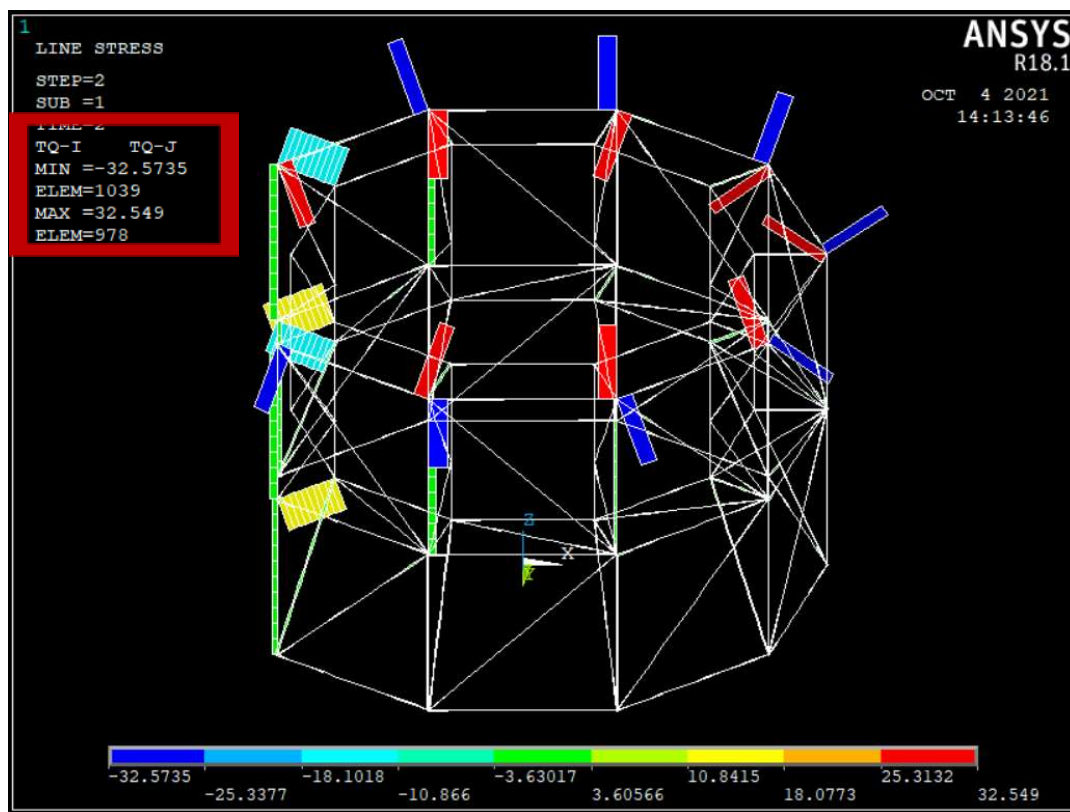


Fig. 22 Diagramma del momento torcente ad elevazione 90°

In Fig. 16 è mostrata il traliccio nella sua configurazione deformata a causa delle sollecitazioni imposte, per il caso di elevazione 90° . Nel riquadro rosso è indicato il valore massimo raggiunto dallo spostamento nodale del modello.

Nelle Fig. 17-22 vengono plottate le azioni interne per ciascuna asta del traliccio modellato. Attraverso la scala cromatica riportata sul lato inferiore di ogni immagine è possibile individuare l'entità delle stesse azioni, ed è possibile riconoscere quali elementi vengono maggiormente stressati nella configurazione analizzata in questa sezione.

Inoltre, nel riquadro rosso in alto a sinistra nelle sei Figure è indicato il valore massimo e minimo riscontrato per l'azione interna descritta dal grafico.

Riepilogo Elevazione 90° - Valori massimi e minimi

In Tabella 3a,b sono stati riepilogati i valori massimi e minimi delle azioni interne relativi a elevazione 90°, con il riferimento numerico dell'elemento soggetto alla sollecitazione.

L'azione normale e di taglio sono espresse in [N], il momento flettente e il momento torcente in [N m].

La Tab 3c mostra invece un riepilogo degli spostamenti interni massimi raggiunti ad elevazione 90°, espressi in [m].

MINIMUM		VALUES									
		NORMALE		TAGLIO Y		TAGLIO Z		MOMENTO Y		MOMENTO Z	
ELEM		301	301	978	978	1039	1039	239	239	749	749
VALUE		-3077.8	-3077.8	-1161.1	-1161.1	-1216.1	-1216.1	-59.7	-59.7	-67.5	-67.5
MAXIMUM		VALUES									
		NORMALE		TAGLIO Y		TAGLIO Z		MOMENTO Y		MOMENTO Z	
ELEM		243	243	1039	1039	978	978	248	248	758	758
VALUE		3099.0	3099.0	1163.8	1163.8	1213.9	1213.9	73.8	73.8	53.6	53.6

Tab. 3a Valori massimi e minimi di azione normale, taglio e momento flettente
Elevazione 90°

MINIMUM		VALUES	
TORSIONE			
ELEM	1039	1039	
VALUE	-32.6	-32.6	
MAXIMUM		VALUES	
TORSIONE			
ELEM	978	978	
VALUE	32.6	32.6	

Tab. 3b Valori massimi e minimi dell'azione torcente
Elevazione 90°

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES				
	UX	UY	UZ	USUM
NODE	864	847	900	899
VALUE	6.74E-05	7.07E-05	-8.95E-05	1.17E-04

Tab. 3c Valori massimi degli spostamenti
Elevazione 90°

Dalle Tabelle 3a-b si evince che l'azione assiale assume il valore maggiore tra le altre azioni descritte. Poiché i carichi non sono agenti sui nodi si riscontra un effetto importante di taglio e flessione. L'eccentricità delle masse rispetto all'asse del traliccio hanno prodotto lo sviluppo dell'azione torsionale.

La Tabella 3c mostra che gli spostamenti massimi subiti dal traliccio sono dell'ordine del decimo di millimetro.

Reazioni vincolari Elevazione 90°

In Tabella 4 sono riportati i valori delle reazioni vincolari agenti nei nodi in cui sono stati imposti i vincoli di incastro perfetto, in riferimento al caso con elevazione 90°.

L'azione normale e di taglio sono espresse in [N], il momento in [N m]. È possibile constatare che le reazioni in termini di forze si presentano con uno o due ordini di grandezza in più rispetto ai momenti reagenti.

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
58	956.0	-1192.8	236.0	33.3	15.6	59.8
68	134.2	-39.8	1500.0	12.7	7.7	-8.2
78	-668.0	1915.7	323.0	59.7	14.0	-66.3
127	911.0	-2962.5	517.3	76.9	24.1	15.3
137	164.9	-392.2	3466.4	19.9	0.8	-6.9
147	-484.6	2802.2	1361.7	102.4	16.1	-15.5
196	-887.3	-2650.2	498.4	73.5	-24.3	6.5
206	-78.1	-336.7	3321.1	16.0	-8.7	-5.6
216	934.9	2236.3	1824.7	86.1	-38.3	-1.6
264	-2105.3	-1538.4	480.8	43.2	-59.1	2.5
285	1842.5	1093.7	1895.3	44.9	-73.1	3.2
295	-210.7	-190.3	3084.8	7.9	-14.8	-5.0
333	-2498.1	5.9	463.3	0.2	-70.3	1.0
354	1728.9	15.0	1637.1	-0.1	-80.3	1.7
364	-266.5	-26.9	2954.3	-2.4	-16.2	-5.0
402	-2096.8	1545.5	480.8	-43.0	-59.3	-0.6
423	1867.3	-1041.3	1897.9	-44.4	-73.7	-4.0
433	-243.8	145.2	3083.1	-12.4	-12.0	-5.5
471	-875.4	2649.4	497.4	-73.3	-24.5	-4.5
492	988.2	-2210.1	1824.4	-86.1	-39.3	0.5
502	-134.5	320.5	3320.2	-18.0	-3.3	-5.8
540	921.8	2951.7	515.3	-76.6	24.1	-13.0
561	-427.2	-2816.2	1366.9	-103.3	14.4	14.1
571	107.1	415.7	3460.2	-17.5	6.1	-5.3
609	953.9	1200.0	271.5	-34.8	18.5	-59.3
630	-661.1	-1965.9	330.9	-61.6	13.8	63.3
640	126.7	66.3	1467.9	-4.7	1.0	3.1
678	0.0	0.0	69.9	0.0	-1.0	0.0
679	0.0	0.0	69.9	0.0	-1.0	0.0
TOTAL	VALUES					
VALUE	0.0	0.0	42220.0	-1.9	-443.2	-41.1

Tab. 4 Riepilogo reazioni vincolari – Elevazione 90°

Configurazione deformata e azioni interne – Elevazione 0°

Di seguito vengono riportate le figure che mostrano la configurazione strutturale deformata (Fig. 23) e gli andamenti dei diagrammi delle azioni interne alle aste relativi al caso con elevazione 0°: azione NORMALE (Fig. 24), azione di TAGLIO (Fig. 25, 26), MOMENTO FLETTENTE (Fig. 27, 28) e TORSIONE (Fig. 29). Tali sollecitazioni devono necessariamente essere inferiori alle resistenze di progetto degli elementi strutturali.

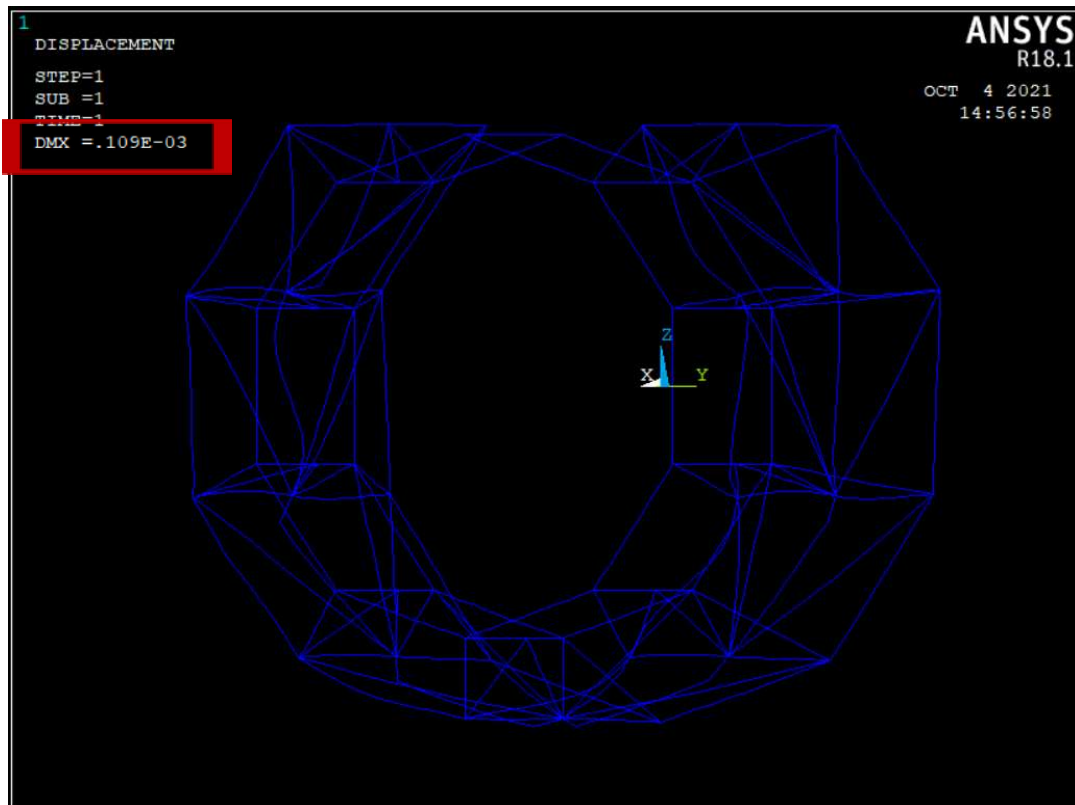


Fig. 23 Configurazione deformata del traliccio ad elevazione 0°

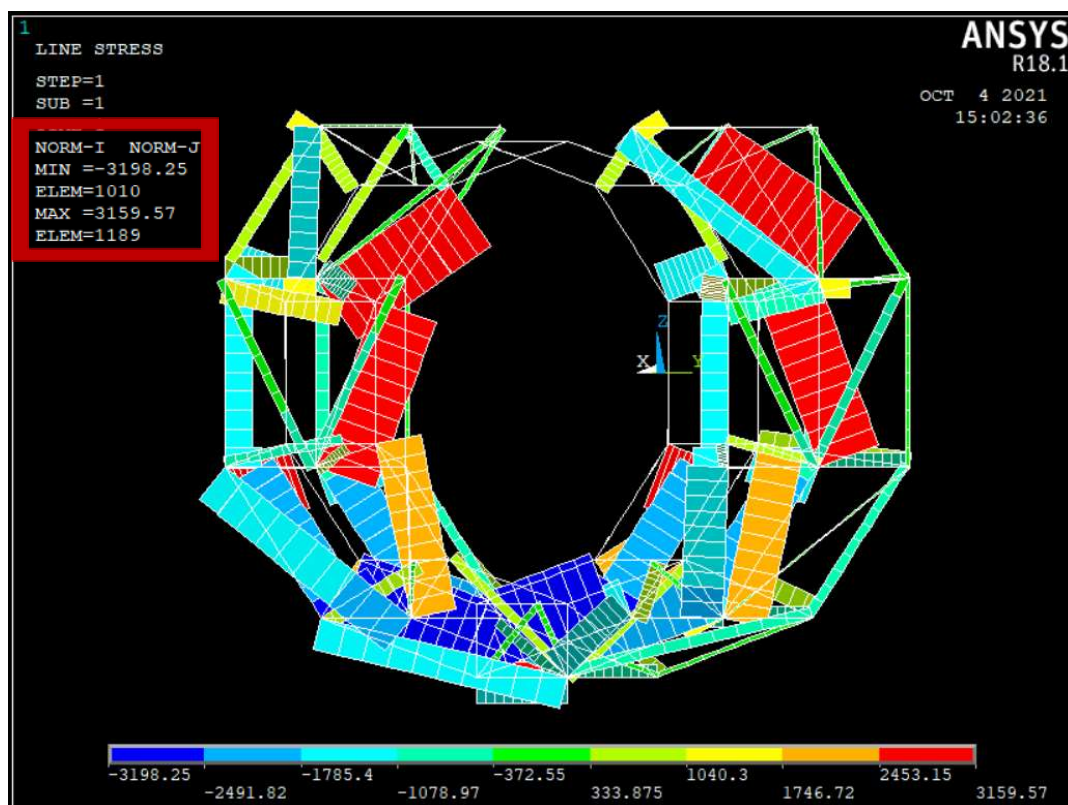


Fig. 24 Diagramma dell'azione normale ad elevazione 0°

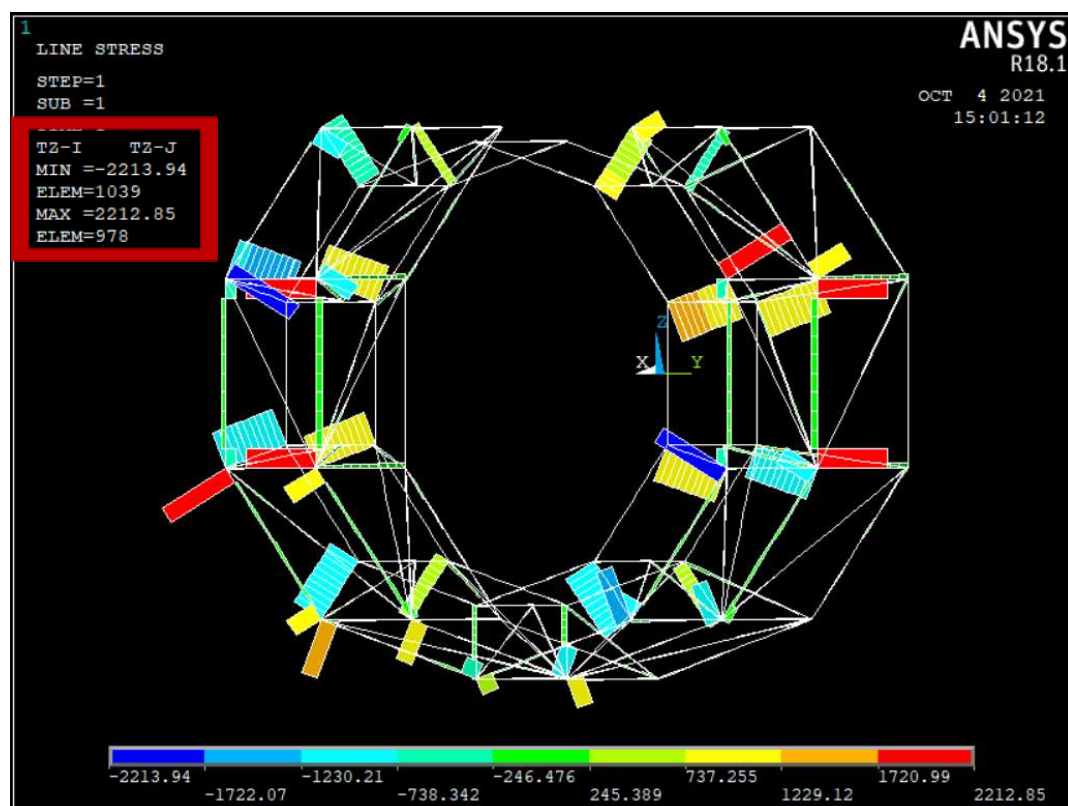


Fig. 25 Diagramma del taglio in direzione Z ad elevazione 0°

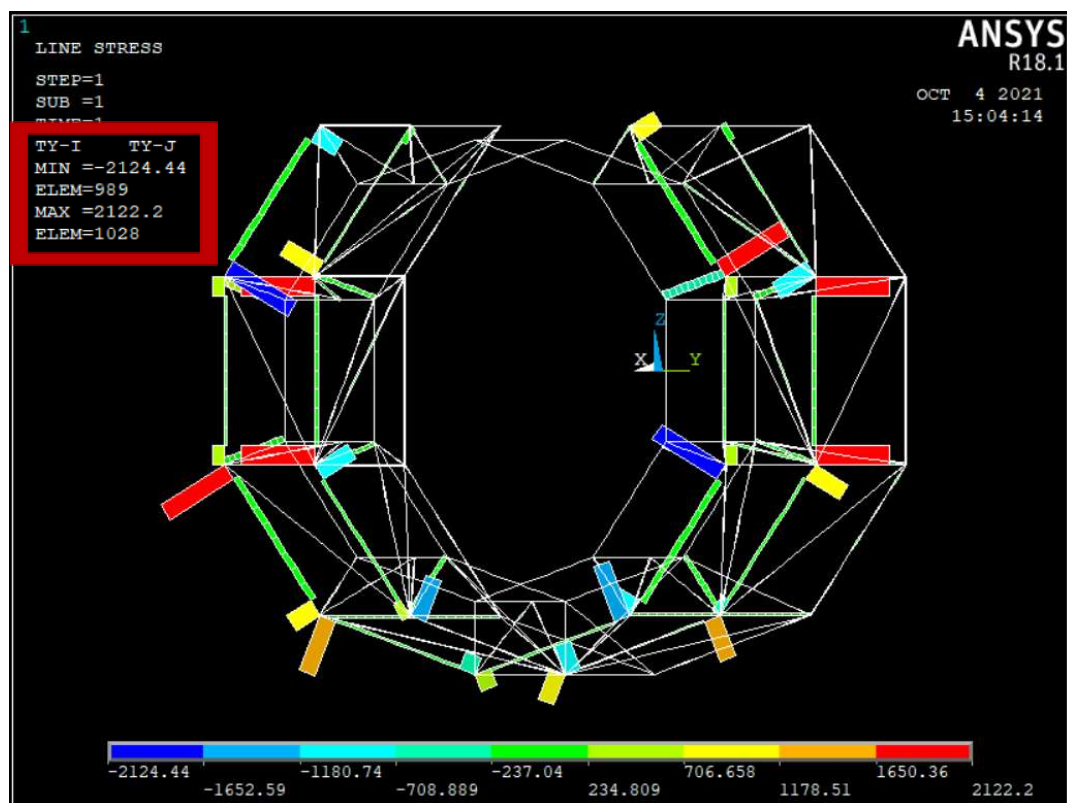


Fig. 26 Diagramma del taglio in direzione Y ad elevazione 0°

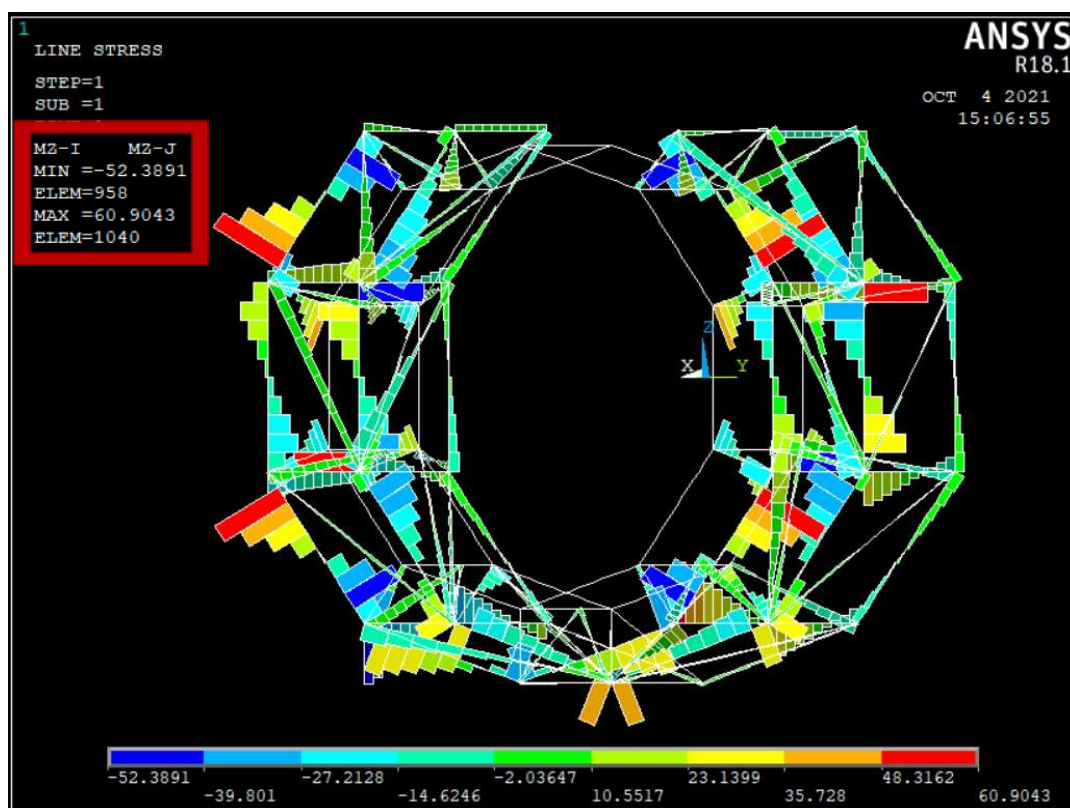


Fig. 27 Diagramma del momento flettente in direzione Z ad elevazione 0°

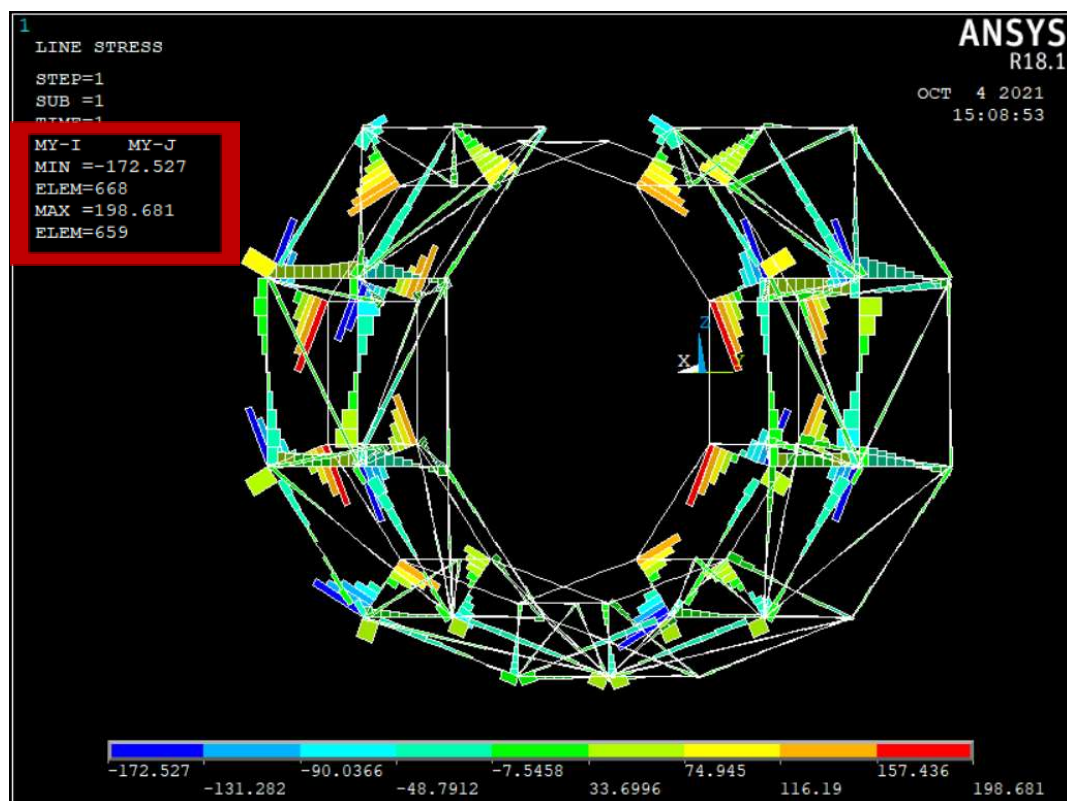


Fig. 28 Diagramma del momento flettente in direzione Y ad elevazione 0°

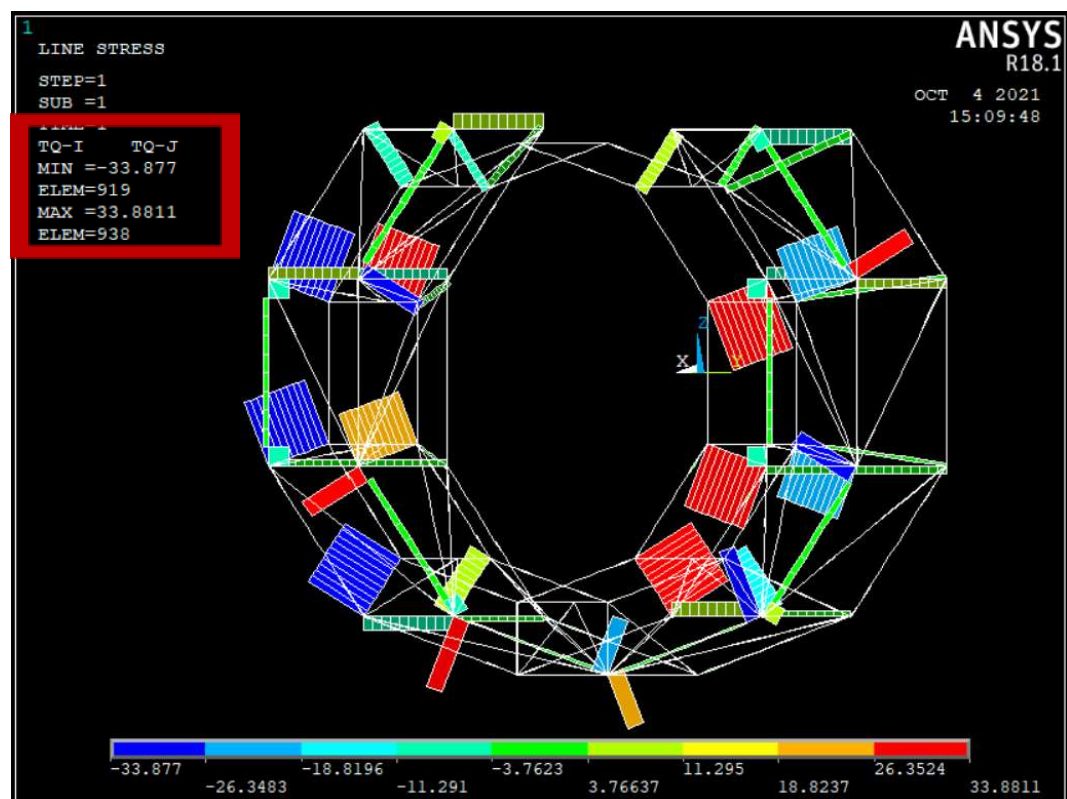


Fig. 29 Diagramma del momento torcente ad elevazione 0°

In Fig. 23 è mostrata il traliccio nella sua configurazione deformata a causa delle sollecitazioni imposte, per il caso di elevazione 0° . Nel riquadro rosso è indicato il valore massimo raggiunto dallo spostamento nodale del modello.

Come per la configurazione a 90° , anche nelle Fig. 24-29 relative al caso con elevazione 0° , vengono plottate le azioni interne per ciascuna asta del traliccio. Ancora una volta, attraverso la scala cromatica riportata sul lato inferiore di ogni immagine è possibile individuare l'entità delle stesse azioni, ed è possibile riconoscere quali elementi vengono maggiormente stressati nella configurazione analizzata in questa sezione.

Il riquadro rosso in alto a sinistra nelle sei Figure fornisce anche in questo caso il valore massimo e quello minimo riscontrato per l'azione interna descritta dal grafico.

Riepilogo Elevazione 0° - Valori massimi e minimi

In Tabella 5a,b sono stati riportati i valori massimi e minimi delle azioni interne relativi al caso con elevazione 0° , con il riferimento numerico dell'elemento soggetto alla sollecitazione. L'azione normale e di taglio sono espresse in [N], il momento flettente e il momento torcente in [N m].

La Tab 5c mostra invece un riepilogo degli spostamenti interni massimi raggiunti ad elevazione 0° , espressi in [m].

MINIMUM		VALUES								
		NORMALE		TAGLIO Y		TAGLIO Z		MOMENTO Y		MOMENTO Z
ELEM		1010	1010	989	989	1039	1039	668	668	958
VALUE		-3198.2	-3198.2	-2124.4	-2124.4	-2213.9	-2213.9	-172.5	-172.5	-52.4
MAXIMUM		VALUES								
		NORMALE		TAGLIO Y		TAGLIO Z		MOMENTO Y		MOMENTO Z
ELEM		1189	1189	1028	1028	978	978	659	659	1040
VALUE		3159.6	3159.6	2122.2	2122.2	2212.9	2212.9	198.7	198.7	60.9

Tab. 5a Valori massimi e minimi di azione normale, taglio e momento flettente
Elevazione 0°

MINIMUM VALUES		
TORSIONE		
ELEM	919	919
VALUE	-33.9	-33.9
MAXIMUM VALUES		
TORSIONE		
ELEM	938	938
VALUE	33.9	33.9

Tab. 5b Valori massimi e minimi dell' azione torcente
Elevazione 0°

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES				
	UX	UY	UZ	USUM
NODE	790	824	803	803
VALUE	7.85E-05	4.20E-05	-7.49E-05	1.09E-04

Tab. 5c Valori massimi degli spostamenti
Elevazione 0°

Dalle Tabelle 5a-b si evince che ancora una volta è quella assiale l'azione interna che assume valori maggiori; La Tabella 5c mostra che anche per il caso di studio con elevazione 0° gli spostamenti massimi subiti dal traliccio sono dell'ordine del decimo di millimetro.

Reazioni vincolari Elevazione 0°

In Tabella 6 sono riepilogati i valori delle reazioni vincolari in riferimento al caso con elevazione 0°. L'azione normale e di taglio sono espresse in [N], il momento in [N m]. Anche in questo caso è evidente che le reazioni in termini di forze si presentano con uno o due ordini di grandezza in più rispetto ai momenti reagenti.

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
58	23.4	-988.9	-29.0	164.7	1.9	-7.3
68	107.3	-70.2	78.0	17.6	-7.0	-13.1
78	-73.4	-2645.3	2353.4	116.8	15.6	-0.9
127	-239.8	1179.6	1750.0	217.7	-42.2	29.4
137	-1608.5	177.0	174.3	18.7	-0.6	-8.2
147	100.6	-1029.7	3809.9	199.4	30.1	43.6
196	177.1	-2390.9	1992.3	185.5	-35.1	-17.2
206	629.6	-46.3	167.7	23.6	-1.1	-22.1
216	637.1	2144.9	2529.4	169.8	40.8	-33.4
264	25.9	-471.6	2363.5	142.4	-13.3	26.2
285	670.7	-616.5	2305.6	78.4	48.7	-1.1
295	-659.9	-112.0	266.0	11.8	-0.9	-9.0
333	105.9	1.0	2671.5	-0.1	-8.9	-0.5
354	378.1	8.1	3470.4	0.4	35.7	0.1
364	-65.8	9.0	420.7	1.6	0.1	-3.2
402	23.6	488.8	2355.2	-141.1	-12.9	-25.8
423	698.2	557.6	2306.3	-82.1	46.2	-0.3
433	-688.2	130.6	241.3	-5.5	3.8	-3.6
471	178.4	2407.7	2018.6	-187.6	-35.8	17.6
492	688.8	-2209.4	2533.6	-168.4	40.8	37.5
502	615.7	85.5	138.6	-15.3	4.8	-6.3
540	-245.1	-1158.3	1750.8	-218.6	-42.0	-29.4
561	105.3	986.9	3829.2	-191.8	42.7	-41.5
571	-1605.7	-113.9	223.3	-27.6	6.0	-27.3
609	13.7	985.9	-45.7	-164.2	0.7	7.7
630	-98.9	2608.2	2329.7	-107.7	20.5	-4.8
640	105.8	81.8	75.9	-21.3	5.0	-10.1
678	0.0	0.0	69.9	0.0	5.5	0.0
679	0.0	0.0	69.9	0.0	-5.5	0.0
TOTAL	VALUES					
VALUE	-4.6E-11	-2.0E-10	4.2E+04	1.7E+01	1.4E+02	-1.0E+02

Tab. 6 Riepilogo reazioni vincolari – Elevazione 0°

Discussione dei risultati dell'analisi FEA

Lo studio delle azioni interne è stato condotto ad elevazione 90° e ad elevazione 0° al fine di rappresentare le condizioni limite del range di lavoro del radiotelescopio.

In entrambe le condizioni studiate, gli spostamenti subiti dalla struttura nelle singole direzioni x, y e z sono dell'ordine del centesimo di millimetro, raggiungendo uno spostamento totale (dato dalla risultante delle variazioni lungo le tre direzioni) dell'ordine del decimo di millimetro. Sebbene in ambito ingegneristico possano essere considerati poco significativi, è opportuno valutare gli effetti che tale deformata può produrre sulla ricezione del segnale da parte dei ricevitori.

Attraverso i dati delle azioni interne nelle aste del traliccio riepilogati in Tab. 3a,b per elevazione 90° e in Tab. 5a,b per elevazione 0° , ed effettuando un confronto con i dati sulle resistenze in Tab. 1, è stata realizzata una ulteriore analisi finalizzata a mostrare quale configurazione in elevazione risulta più gravosa per ogni azione interna considerata nello studio (Tab.7).

Per ciascuna azione è stato calcolato il rapporto tra il massimo valore agente riscontrato e la minima resistenza tra gli elementi; il valore è stato quindi espresso in percentuale.

	COMPRESSIONE	TRAZIONE	TAGLIO Y	TAGLIO Z	FLEX Y	FLEX Z	TORSIONE
	[%]						
EL. 90°	1.96	1.60	1.99	2.08	4.91	4.48	15.89
EL. 0°	2.03	1.63	3.63	3.78	13.21	4.05	16.53

Tab. 7 Riepilogo delle condizioni critiche per le azioni interne

In questo modo è stato possibile fare le seguenti considerazioni.

L'azione flessionale in direzione Z risulta essere maggiormente critica ad elevazione 90° . Le altre sollecitazioni analizzate, cioè compressione, trazione, taglio in direzione Y e Z, flessione in direzione Y e torsione sono da considerarsi più gravose sul traliccio del GFR quando l'antenna si trova ad elevazione 0° .

La Tab. 8 riporta una valutazione delle azioni agenti su un collegamento nel caso limite in cui si abbiano i valori massimi di tutte le azioni interne, per le due elevazioni oggetto di studio.

I valori numerici rappresentano il rapporto percentuale tra la massima combinazione di azioni e resistenza minima del collegamento (resistenza a taglio del bullone.)

Elevazione	VALUTAZIONE DELLE AZIONI SUL COLLEGAMENTO
	[%]
90°	8.56
0°	17.55

Tab. 8 Rapporto percentuale tra massima combinazione di azioni e resistenza minima del collegamento, alle due elevazioni (90° e 0°)

I dati in Tab. 8 mostrano che, tra i due casi analizzati, la condizione critica è quella in cui SRT si trova ad elevazione 0° .

Questa analisi dei dati ottenuti dal post-processing dell'analisi agli Elementi Finiti permette inoltre di inquadrare il grado di sicurezza della struttura dopo l'incremento dei carichi rispetto al raggiungimento della resistenza ultima degli elementi e dei collegamenti.

Dal riepilogo delle reazioni vincolari riportato in Tab. 4 per elevazione 90° e in Tab. 6 per elevazione 0° , si evince che i due casi studio producono effetti nettamente differenti sulla struttura centrale che sostiene il traliccio; Confrontando le reazioni vincolari che si generano in ciascun nodo è possibile individuare la condizione critica in termini di elevazione per ciascuno di essi.

Verifica cuscinetto

Questa sezione è dedicata all'analisi per verificare l'adeguatezza del cuscinetto del GFR anche a seguito dell'upgrade prestazionale in corso di realizzazione, che come già detto comporta un considerevole incremento di carico dovuto all'installazione dei nuovi ricevitori. In base al documento SRT-SPE-32525-002-01 "Techn. Specification for Gregorian Pos. Bearing" risulta che il cuscinetto è stato verificato con le seguenti sollecitazioni:

Carico assiale (F_a) 50.000 N

Carico radiale (F_r) 50.000 N

Momento di ribaltamento (M_t) 25.000 Nm

Velocità massima 3,5 °/sec

Ciclo stimato 360° a 3,5 °/sec per 4 volte al giorno

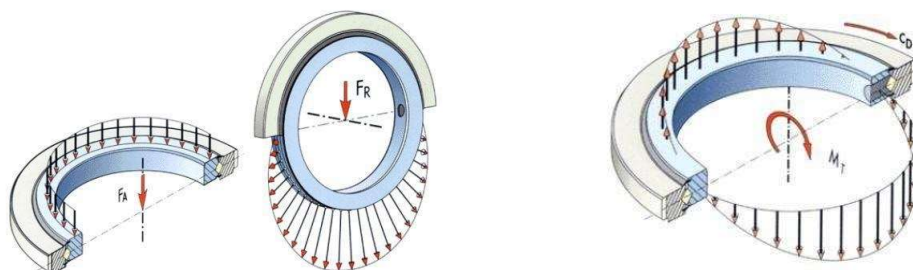


Fig. 23 Azioni agenti sulla sezione del cuscinetto (dal disegno CAD SRT-DWG-32525-301-01)

Il cuscinetto installato nel GFR è prodotto dalla Rothe Erde del gruppo Thyssenkrupp mod. Drwg.no: 062.22.1060.000.41.1123 mat.no.: 84837400.

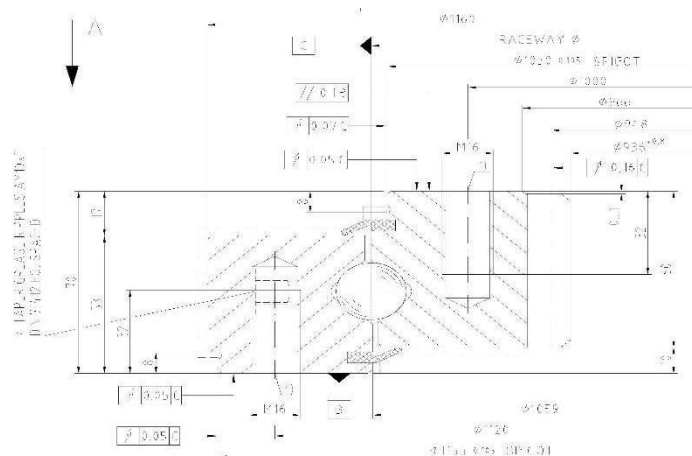


Fig. 24 Caratterizzazione dimensionale del cuscinetto.

Il cuscinetto di base (comunemente definito con il nome di ralla) si rende necessario quando, all'interno di un macchinario o di un impianto, una parte strutturale deve ruotare rispetto ad un'altra secondo un asse univoco, assicurando il vincolo tra le parti.

Il cuscinetto di base, con la massima rigidità possibile offerta dal suo disegno, deve sopportare e trasmettere i carichi operativi della struttura a cui è collegato e deve inoltre garantire il grado di precisione richiesto dall'applicazione, il rispetto dei parametri di funzionamento e il ciclo di vita richiesto. È evidente come il cuscinetto sia un componente fondamentale e la sua scelta deve rispondere ad attenti studi tecnici.

Le applicazioni più comuni sono:

- escavatori
- pompe per calcestruzzo
- betoniere
- veicoli sollevatori
- autogru
- gru edili e portuali
- compattatori
- turbine eoliche
- radar
- manipolatori, posizionatori
- caroselli di imbottigliamento e trasporto
- tavole girevoli

Il cuscinetto di base è costituito normalmente da due anelli di acciaio ad alta resistenza il cui movimento rotatorio relativo viene permesso tramite la creazione di piste di rotolamento ospitanti gli elementi volventi, che possono essere sfere o rulli cilindrici. Le piste di rotolamento sono il cuore della struttura del cuscinetto e su di esse si rivolge la maggiore attenzione durante il ciclo di produzione. Esse dovranno essere trattate termicamente per aumentare la loro durezza, non solo in superficie, ma anche in profondità e permettere al cuscinetto di sopportare i gravosi carichi a cui è normalmente soggetto conferendogli integrità nel tempo.

Al momento non si ha nessuna documentazione in merito a questo cuscinetto di grande diametro e nei cataloghi del produttore non è presente, questo fa presupporre che il cuscinetto sia stato realizzato opportunamente per questo tipo di applicazione; normalmente le ralle a una corona di sfere sono dimensionate principalmente per i carichi radiali ma nel nostro caso vista la rotazione dell'antenna in elevazione da 90° a 5° il carico assiale si trasforma in radiale.

E' stata contattata la sede italiana del produttore per richiedere le specifiche tecniche del cuscinetto da loro prodotto. La sede italiana della Rothe Erde purtroppo si occupa della parte commerciale mentre il servizio tecnico si trova in Germania.

Per richiedere assistenza si è dovuto compilare il modulo K-100 da loro fornito dove vengono richiesti tutti i parametri per il dimensionamento ed eventualmente la sostituzione con un modello con maggiori carichi ammissibili.

È stato necessario fare alcune importanti considerazioni, presentate di seguito, al fine di individuare i carichi da utilizzare nel calcolo per la verifica di funzionalità e resistenza.

In particolare sono stati valutati il carico assiale/radiale e il momento di ribaltamento.

Carico assiale/radiale

Il valore del carico è stato considerato ipotizzando la condizione più critica dove:

- tutti i ricevitori pesano ciascuno 450 kg x 7 = 3150 kg
- armadio RF 450 kg
- catena portacavi mod. SLA320/200/500x3600/425-N/N quantità n° 2 (10kg/m) = circa 80 Kg
- cavi RF + cavi dati + Fibre ottiche + cavi potenza + 4 linee elio = circa 500 Kg
- carpenteria 1650 Kg

Per un totale di 5750 Kg

Viene dato un margine del 20% per un carico massimo di **70 000 N**

Momento di ribaltamento

Per il carico del momento di ribaltamento si è considerata la seguente formula:

$$M = (F_1 \times r) + (F_2 \times r) + (F_3 \times r) \dots$$

Dove

$$F_1..F_8 = \text{carico } 450 \text{ Kg} = 4500 \text{ N}$$

$$r = 1,75 \text{ m distanza carico dal centro del cuscinetto}$$

Consideriamo la condizione più critica dove vengono installati solo i ricevitori con derotatore e sono adiacenti all'armadio RF avendo così un carico sul cuscinetto solo da un lato.

Il momento di ribaltamento viene definito dalla seguente formula:

$$M = (R_{Xq} \times r) + (R_{Xk} \times r) + (R_{Xw} \times r) + (R_F \times r)$$

$$M = 4500 \times 1,75 + 4500 \times 1,75 + 4500 \times 1,75 + 4500 \times 1,75 = \mathbf{31500 \text{ Nm} + 20 \%}$$

Il modulo K100 ha richiesto diverse informazioni, le principali si possono riassumere in:

Carico assiale 70.000 N

Carico radiale 70.000 N

Momento 50.000 Nm

Velocità massima 3,5 °/sec

Ciclo stimato 360° a 3,5 °/sec per 4 volte al giorno

La verifica prevede anche la verifica della corona dentata interna e dei bulloni di fissaggio.

Riscontro della verifica del cuscinetto

La Rothe Erde ha comunicato via email che il cuscinetto ha soddisfatto la verifica di resistenza nonostante l'incremento di carico ed è dunque in grado di rispondere adeguatamente ai requisiti richiesti con l'installazione dei nuovi ricevitori.

Conclusioni

Il raggiungimento del nuovo livello prestazionale previsto per Sardinia Radio Telescope ha richiesto l'adeguamento di numerosi suoi componenti, compreso il Gregorian Feed Rotator. Quest'ultimo sarà equipaggiato con nuovi ricevitori dal peso notevolmente superiore rispetto a quelli attualmente ospitati. Per questo motivo si è reso necessario eseguire uno studio preliminare per valutare l'adeguatezza della struttura attuale rispetto al sostegno dei nuovi carichi previsti.

Attraverso la realizzazione di un modello semplificato agli Elementi Finiti è stato possibile analizzare le azioni interne che si sviluppano nel traliccio tridimensionale del GFR per effetto dei nuovi ricevitori, a due elevazioni limite: 0° e 90°.

I risultati ottenuti nella preliminare analisi FEM descritta, mostrano come le sollecitazioni generate dai nuovi ricevitori siano inferiori ai limiti imposti dalle resistenze delle aste e dei collegamenti, per entrambi i casi analizzati; si possono considerare valide le considerazioni anche per tutte le elevazioni comprese tra le due studiate (che rappresentano gli estremi del range in cui SRT opera). Le Tabelle 7 e 8 mostrano inoltre la consistenza del margine di sicurezza rispetto al raggiungimento delle resistenze ultime.

Le stesse Tabelle 7 e 8 evidenziano a quale elevazione, tra le due studiate, si presentano maggiori criticità nella struttura reticolare, ovvero a quale elevazione il rapporto percentuale tra azione agente e azione resistente è maggiore. Osservando i valori numerici presentati, maggiori criticità si riscontrano quando SRT si trova ad una elevazione pari 0°, ribadendo però ancora una volta che la struttura si trova ben lontano dal raggiungimento delle resistenze limite.

Le Tabelle 3c e 5c hanno mostrato che lo spostamento massimo subito dai nodi del traliccio del GFR è dell'ordine del decimo di millimetro; seppur di entità così minima, occorre valutare come questi si possano ripercuotere sul funzionamento dei ricevitori.

In questa sede è stata prestata un'adeguata attenzione anche verso il cuscinetto di base del componente rotante, evidentemente coinvolto dall'incremento dello stress strutturale prodotto dall'installazione della strumentazione più performante.

Dopo aver calcolato i valori dei carichi agenti sul cuscinetto aggiornati alla condizione prevista, questi sono stati comunicati alla Rothe Erde, l'azienda che ha realizzato il componente meccanico in questione.

La stessa ha confermato che il cuscinetto è in grado di soddisfare le prestazioni richieste in termini di resistenza, precisione, funzionamento e cicli di vita, nonostante la variazione delle condizioni di carico in aumento per effetto della nuova strumentazione.

Quanto affermato fino ad ora suggerisce perciò che sia la struttura reticolare che il cuscinetto di base siano idonei ad accogliere i nuovi ricevitori che permetteranno il raggiungimento delle performance previste.

In conclusione è bene però fare delle precisazioni. Si ritiene infatti necessario condurre indagini più dettagliate e approfondite per validare l'attendibilità dello studio realizzato, in particolare in merito allo stato di conservazione dei collegamenti e delle aste o alle possibili differenze tra la struttura reale e i disegni esecutivi a disposizione.