

Effetti della radiazione solare sulle prestazioni del Sardinia Radio Telescope

Alessandro Attoli, in rappresentanza del gruppo di metrologia di INAF - Osservatorio Astronomico di Cagliari

e-mail: alessandro.attoli@inaf.it

Introduzione

Inaugurato nel 2013, il Sardinia Radio Telescope (Fig. 1) è appena entrato nella sua seconda fase di sviluppo volta ad estendere il suo attuale intervallo di frequenza operativa 0.3-26.5 GHz fino a 116 GHz. Ciò è stato possibile grazie ad un finanziamento del Programma Operativo Nazionale (PON) assegnato all'INAF dal Ministero dell'Università e della Ricerca.



Fig. 1 Sardinia Radio Telescope

L'incremento prestazionale sarà il risultato dell'attuazione di significativi interventi dedicati all'installazione di nuovi ricevitori e di attrezzature per lo sviluppo della tecnologia a microonde, all'acquisizione di sistemi di High Performance Computing (HPC) e alla realizzazione di un sistema metrologico composto da diverse tipologie di sensori (sensori termici, anemometri, accelerometri, inclinometri, estensimetri, collimatori laser).

Per ricevere in modo efficiente anche i segnali alla più piccola lunghezza d'onda (2.6 mm) nell'intervallo di frequenza osservativo più esteso di SRT, è necessario migliorare le prestazioni d'antenna attuali. Come richiesto da specifica di progetto, la precisione di puntamento dovrà migliorare di almeno un fattore 4 (da 4 a 1 arcsec), e l'accuratezza della superficie del riflettore principale dovrà essere mantenuta entro il 6% della lunghezza d'onda (entro 0.15 mm - 2.6 mm) e, possibilmente, in tutte le condizioni operative.

Per raggiungere questi obiettivi è fondamentale studiare e caratterizzare le deformazioni su piccola e grande scala che allontanano la forma dell'antenna da quella ideale e ne causano la perdita delle prestazioni elettromagnetiche.

In questo lavoro, particolare attenzione è stata rivolta all'analisi, mediante il metodo agli elementi finiti (FEM), delle deformazioni su larga scala causate da carichi termici derivanti dall'esposizione alla radiazione solare e gravitazionali agenti sull'alidada e sulla Back Up Structure (BUS) del riflettore principale. Questa analisi assume ancor più significato nel caso di SRT che, una volta dotato del nuovo sistema metrologico, potrà sfruttare al meglio la sua ottica attiva per correggere questo tipo di deformazioni e mantenere il puntamento e il guadagno d'antenna in specifica anche ad alta frequenza. Ad esempio, i dati acquisiti attraverso la rete dei sensori di temperatura installati sull'antenna permetteranno di modellarne il comportamento strutturale.

Queste informazioni potranno essere sfruttate per la mitigazione degli errori di puntamento implementando un sistema di controllo come quello rappresentato schematicamente in Fig. 2.

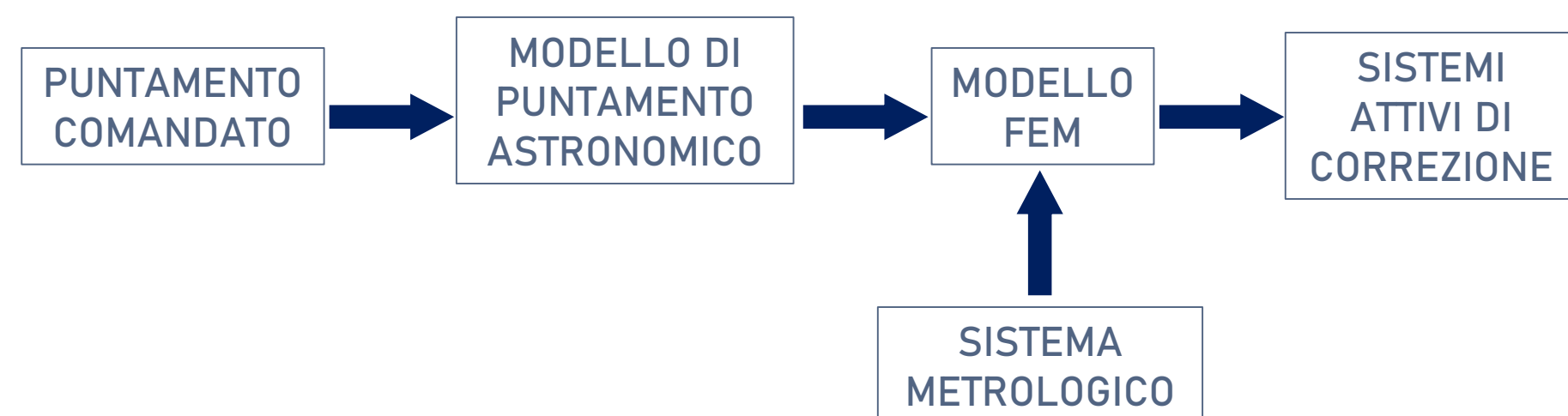


Fig. 2 Rappresentazione schematica dei sotto sistemi che interagiscono per implementare un controllo ad anello aperto del puntamento dell'antenna e delle deformazioni superficiali del riflettore principale. I sistemi attivi di correzione (ottica attiva) di SRT si basano su look-up tables (LUT).

Nelle sezioni a seguire saranno descritti diversi scenari termici e gravitazionali simulati con il FEM in cui SRT può essere coinvolto volti a calcolare i risultanti offset di puntamento e deformazioni della superficie del riflettore principale.

Effetti sul puntamento

Questa sezione è dedicata agli effetti che il surriscaldamento provocato dall'irraggiamento solare (tenendo conto di fenomeni di ombreggiamento delle parti strutturali) produce sul puntamento dell'antenna; la dilatazione termica degli elementi strutturali può generare delle distorsioni tali da ridurre l'accuratezza di puntamento del radiotelescopio.

Una analisi di sensitività condotta preliminarmente ha permesso di evidenziare che l'Alidada è il componente strutturale in grado di influenzare maggiormente il puntamento se sollecitato con un carico termico (Fig. 3). Per queste ragioni, in questa sede si è scelto di presentare i soli risultati ottenuti studiando l'Alidada.

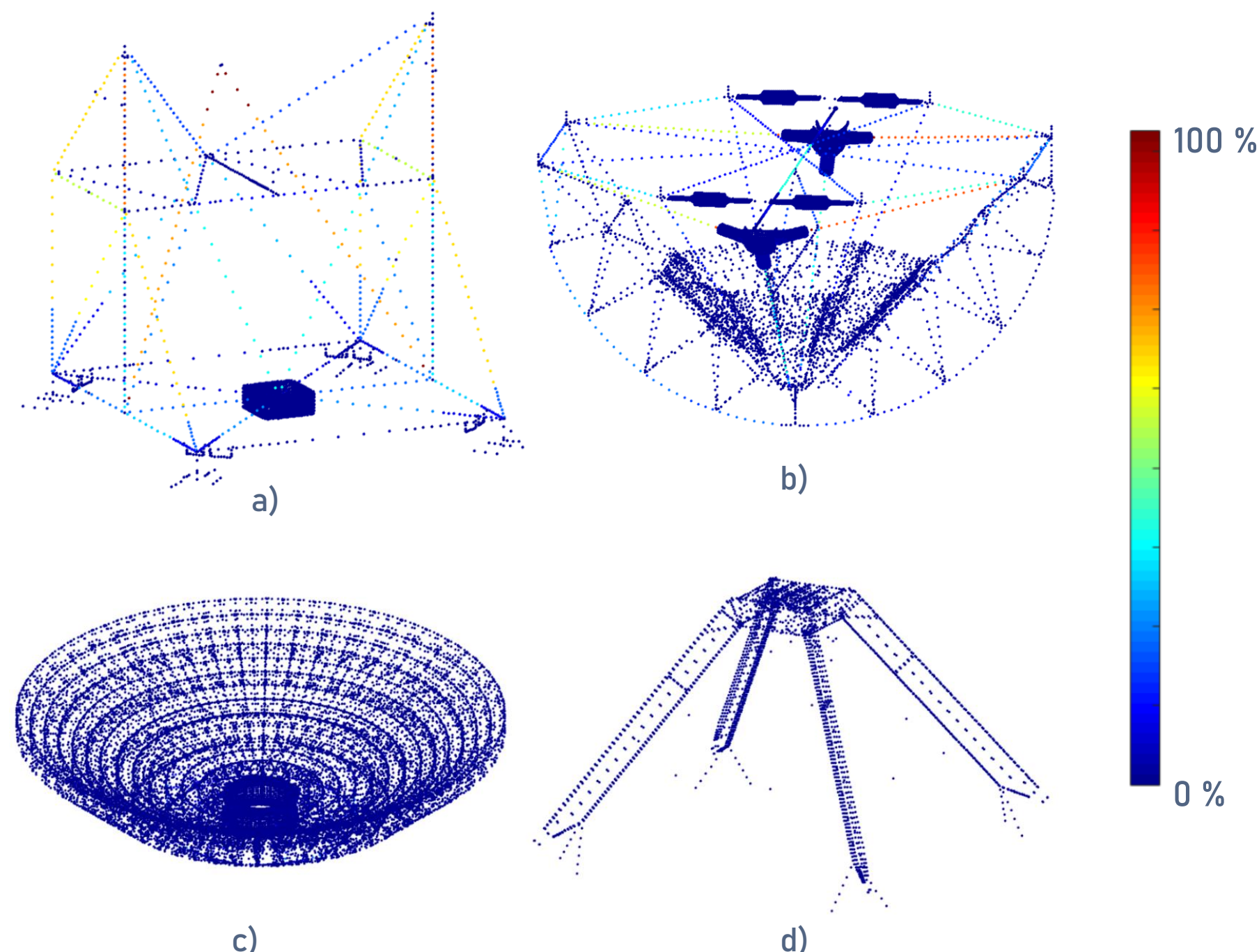


Fig. 3 Il Modello agli Elementi Finiti utilizzato per lo studio condotto, scomposto in quattro macro-componenti: a) Alidada b) Sistema Culla-Ombrello c) Struttura reticolare che supporta del riflettore principale (Back Up Structure - BUS) d) Quadrupode. Ciascun punto della figura indica un elemento finito del modello e la sua gradazione di colore esprime, in percentuale rispetto all'elemento finito che produce maggiori effetti, la sua influenza sul puntamento se sollecitato termicamente.

Il metodo per la simulazione degli scenari termici si basa sull'utilizzo di un modello sviluppato per la stima della temperatura raggiunta da una superficie per effetto della radiazione solare a cui è sottoposta. L'entità della radiazione solare agente su ciascuna asta che compone l'Alidada è stata calcolata per mezzo del software Autodesk Revit.

Il modello analitico è stato successivamente calibrato utilizzando dati sperimentali derivanti da rilievi termografici eseguiti con una termo-camera alloggiata su un drone. Le campagne di indagine sono state condotte in diversi mesi dell'anno e in diverse ore nell'arco della giornata (diurne e notturne).

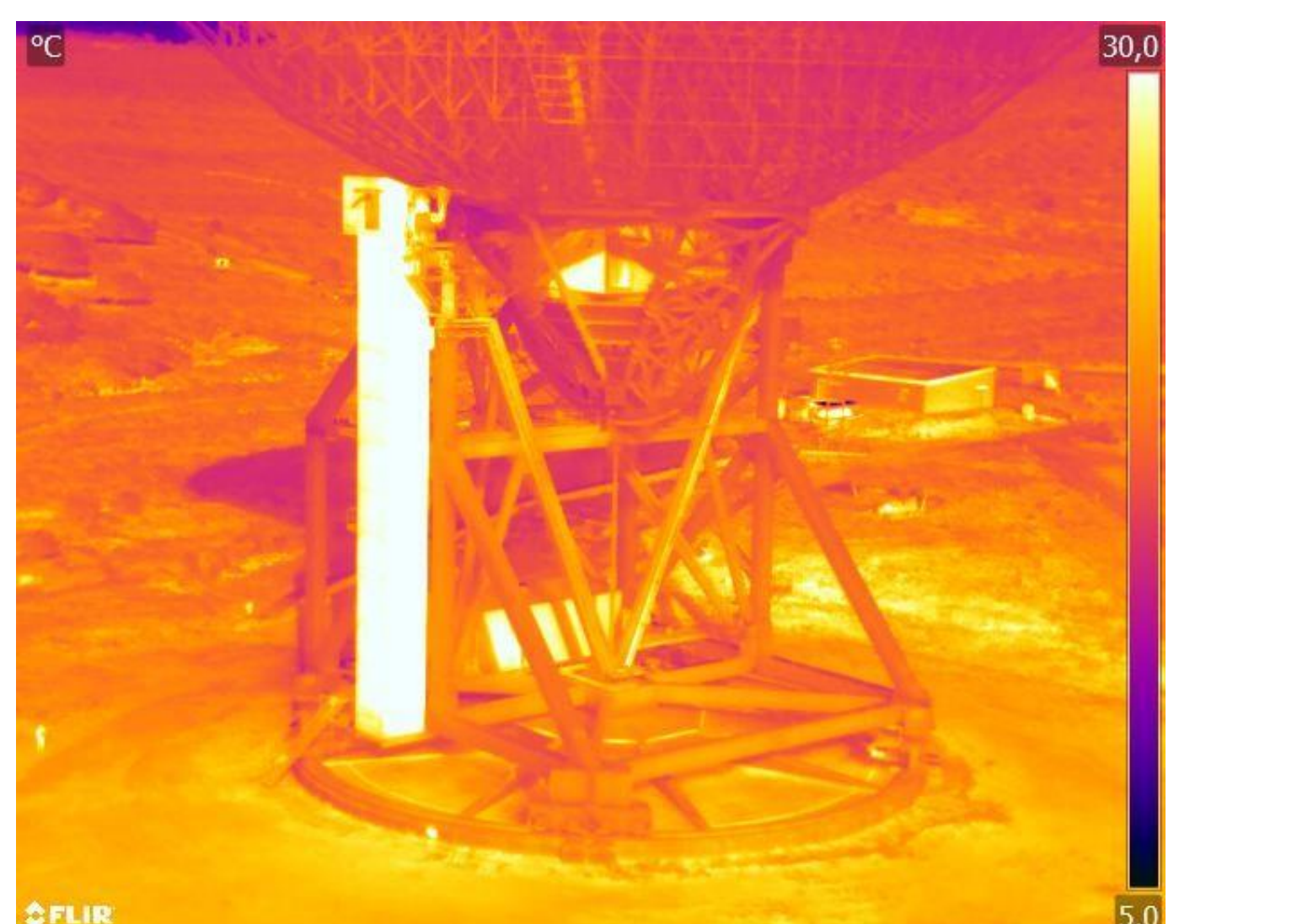


Fig. 4 Foto del Sardinia Radio Telescope catturata con una termo-camera alloggiata in un drone.

In questo modo è stato possibile generare diversi scenari termici, al fine di studiare il comportamento del radiotelescopio e il suo errore di puntamento in molteplici condizioni di esposizione in termini di angolo di elevazione, lato dell'antenna esposto al sole e del periodo dell'anno. Qui vengono presentati tre casi di elevazione, (30°, 60° e 80°) con tre diversi orientamenti dell'antenna (sud, est e nord) allo stesso orario di riferimento corrispondente alle 12:00 ora locale.

Al fine di ricercare un trend stagionale nel comportamento dell'antenna dovuto all'esposizione all'irraggiamento, sono stati generati gli scenari in quattro giorni dell'anno rappresentativi di ciascuna stagione. I set di temperature degli elementi strutturali così generati sono stati applicati al modello FEM per determinare l'errore di puntamento.

In Fig. 5 vengono presentati due istogrammi, considerati esemplificativi.

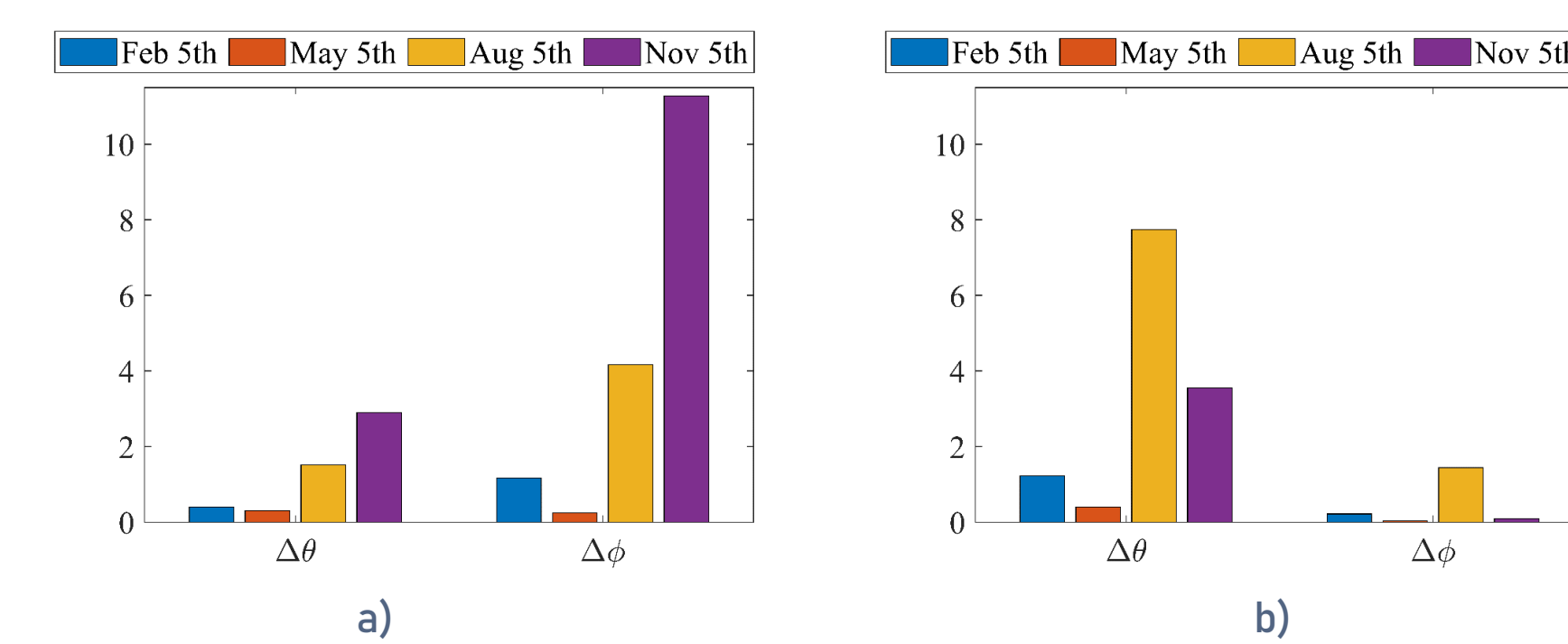


Fig. 5 Andamento stagionale dell'errore di puntamento in arcsec, espresso come variazione dell'angolo di elevazione $\Delta\theta$ e dell'angolo azimutale $\Delta\phi$ rispetto ai valori attesi; i risultati presentati corrispondono a scenari con elevazione 80° e orientamento est (Fig. 5a), e con elevazione 30° e orientamento sud (Fig. 5b). I colori corrispondono ai quattro giorni dell'anno studiati.

Emerge che il comportamento strutturale di SRT risente della presenza dei carichi termici. È anche evidente che l'aumentare della temperatura ambientale durante l'anno non produce inevitabilmente una riduzione dell'accuratezza nel puntamento. Infatti si può vedere nell'istogramma in Fig. 5a che, nello specifico scenario simulato, la variazione dell'angolo azimutale a novembre è superiore rispetto a quello riscontrato ad agosto, mese in cui le temperature ambientali sono decisamente più alte. Quindi non è stato riscontrato un trend stagionale nei risultati ottenuti, ma piuttosto, risulta dominante l'influenza della distribuzione delle temperature nei 49 elementi strutturali che compongono l'Alidada. Questo aspetto è strettamente legato al differente irraggiamento a cui ciascuno di questi è soggetto. In particolare, l'errore di puntamento in azimut $\Delta\phi$ risulta essere legata alla differenza di temperatura tra le aste che si trovano in posizione simmetrica rispetto al piano di simmetria dell'Alidada. L'errore di puntamento in elevazione $\Delta\theta$ dipende invece dalla differenza di temperatura tra le aste che, dilatandosi a causa del carico termico, influenzano in modo considerevole le rotazioni attorno all'asse di elevazione.

Effetti sul riflettore principale

Sebbene dall'analisi di sensitività sia emerso che la Back Up Structure non influenzi particolarmente il puntamento quando è soggetta a dei carichi termici, è stato interessante studiare quali effetti si sviluppano sulla superficie del riflettore principale di SRT: l'insorgenza di deformazioni su larga scala potrebbero provocare una riduzione dell'efficienza d'apertura. Analizzando le immagini termiche è stato riscontrato che, nei rilievi effettuati, la differenza di temperatura tra elementi della BUS esposti all'irraggiamento e quelli ombreggiati può raggiungere il valore di 5°C (Fig. 6).

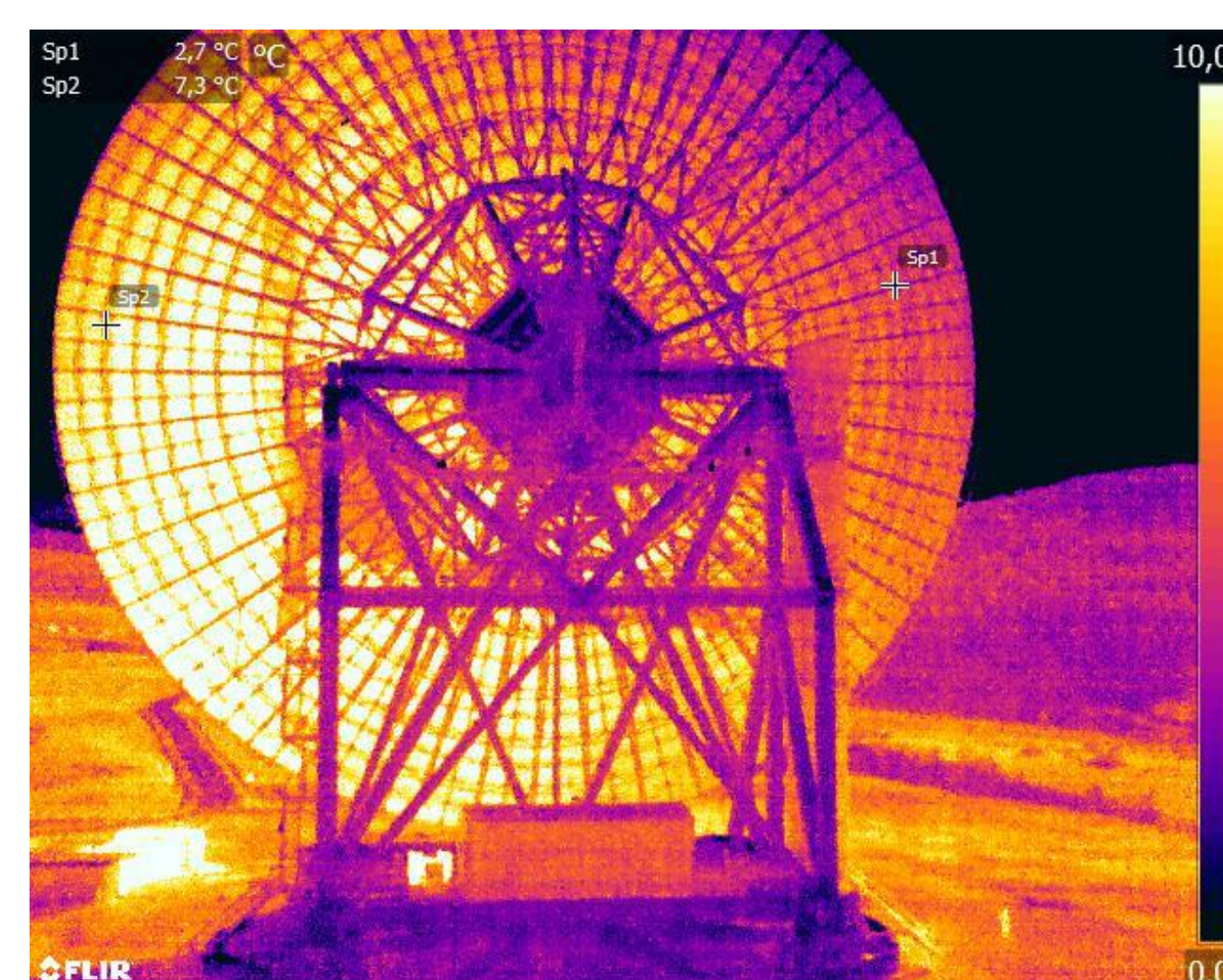


Fig. 6 Termo-immagine che evidenzia la differenza di temperatura tra lato della BUS esposta al sole e lato ombreggiato.

Inoltre, vengono presentati scenari ad elevazioni diverse (30°, 60° e 80°) e per ciascuno sono state ipotizzate due condizioni di carico: è stato applicato un carico termico di 5°C secondo le due distribuzioni spaziali indicate in Fig. 7. Attraverso queste distribuzioni di temperatura si vogliono idealizzare, seppur in maniera semplificata, condizioni di carico che possono realmente verificarsi.

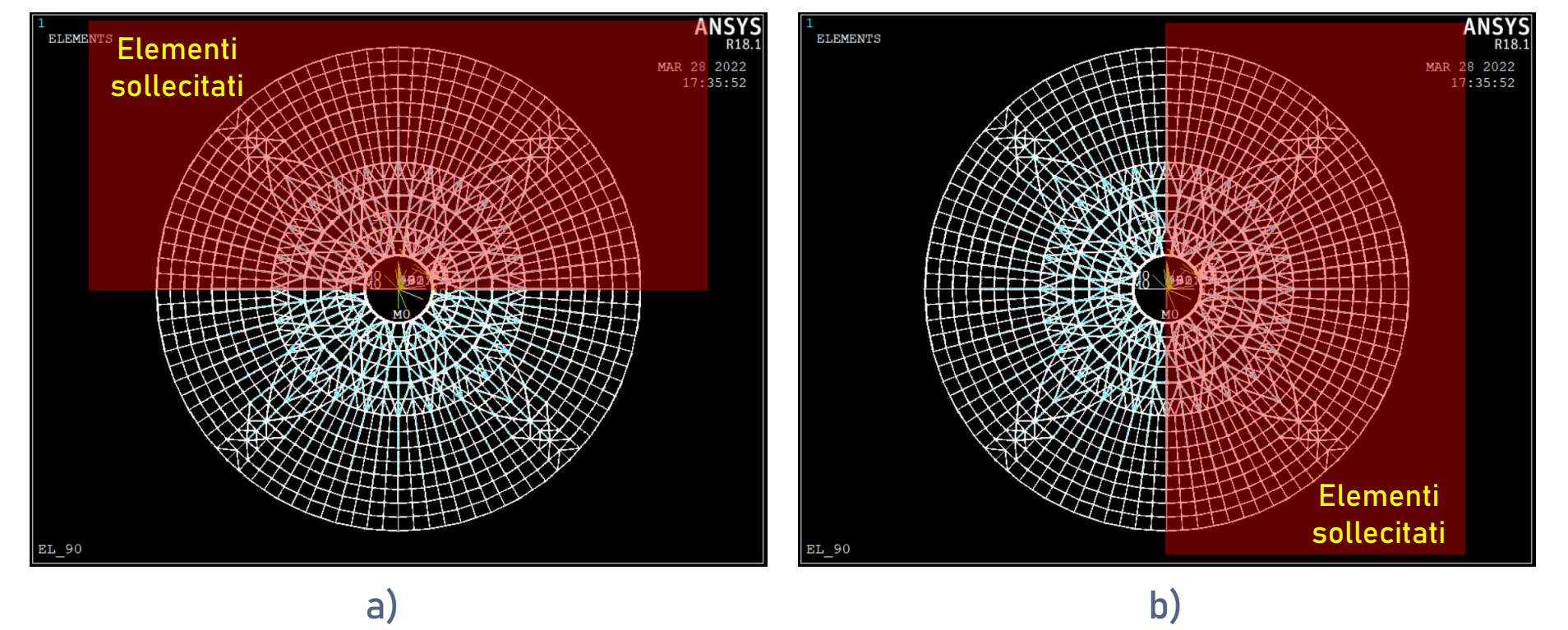


Fig. 7 Rappresentazione delle due configurazioni scelte per l'applicazione dei carichi termici al Modello agli Elementi Finiti.

Una volta applicati i carichi termici al modello FEM, sono stati calcolati gli spostamenti in direzione ortogonale alla superficie dello specchio principale (inflexioni della superficie), la cui entità è mostrata nelle mappe in Fig. 8. Gli assi delle mappe sono espressi in metri. La gradazione di colore rappresenta l'entità in millimetri delle inflessioni sulla superficie.

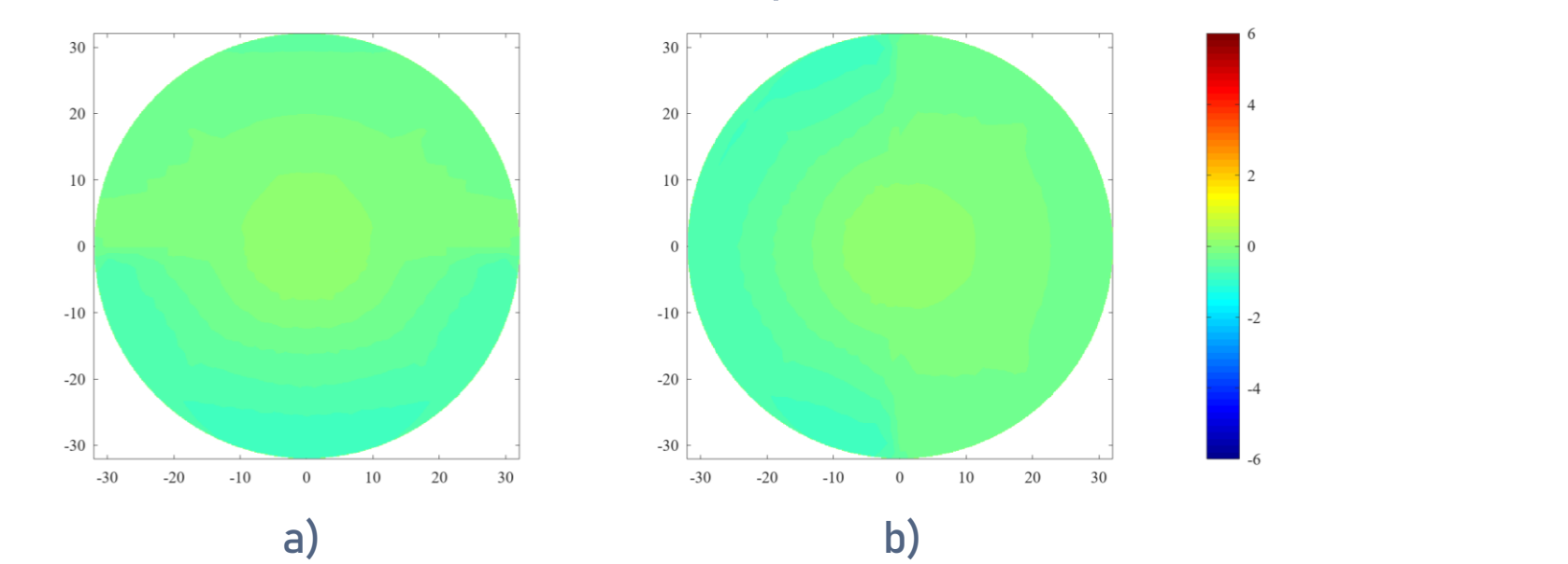


Fig. 8 Mappe delle inflessioni [mm] riscontrate sulla superficie del riflettore principale [m] in seguito all'applicazione solo dei carichi termici al modello FEM (nel modello è stata disattivata l'azione della gravità). Le deformazioni nelle mappe a) e b) sono prodotte dalle rispettive configurazioni di carico presentate in Fig. 7.

È interessante confrontare questi effetti con quelli prodotti dalla azione gravitazionale (Fig. 9 e 10). Ancora una volta gli assi delle mappe sono espresse in metri mentre il colore rappresenta l'entità in millimetri delle inflessioni sulla superficie. Dai risultati emerge che l'angolo di elevazione influenza in maniera considerevole l'entità degli effetti gravitazionali.

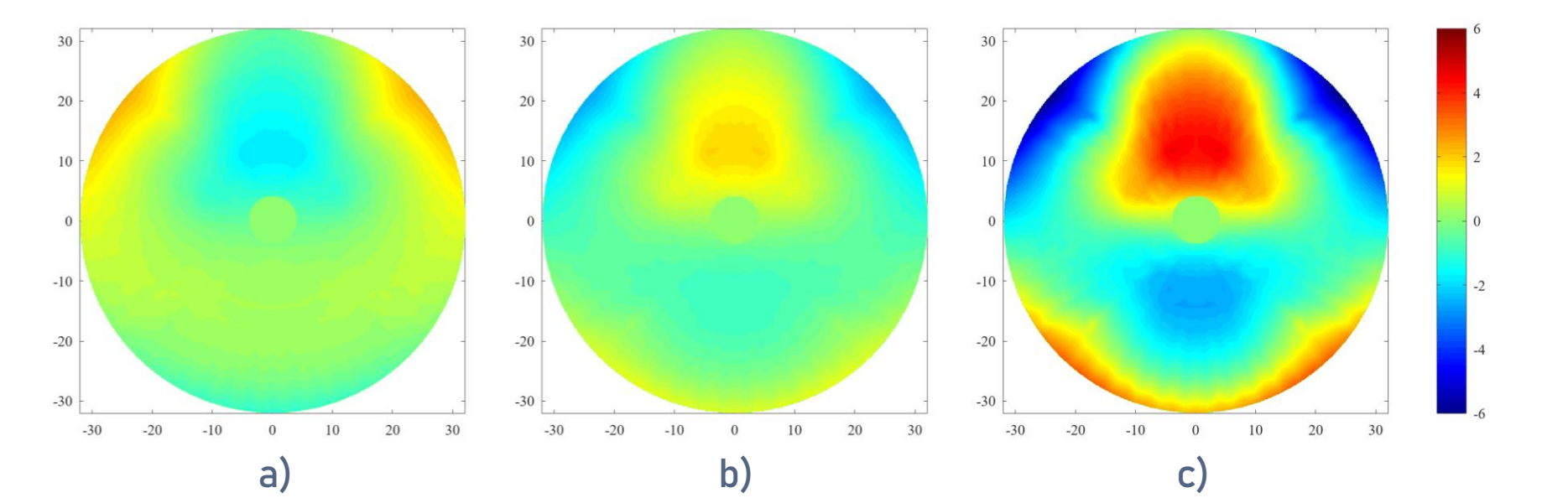


Fig. 9 Mappe delle inflessioni [mm] riscontrate sulla superficie del riflettore principale [m] per effetto della sola azione gravitazionale simulata con il modello FEM nei tre casi di elevazione considerati: a) 30° - b) 60° - c) 80°.

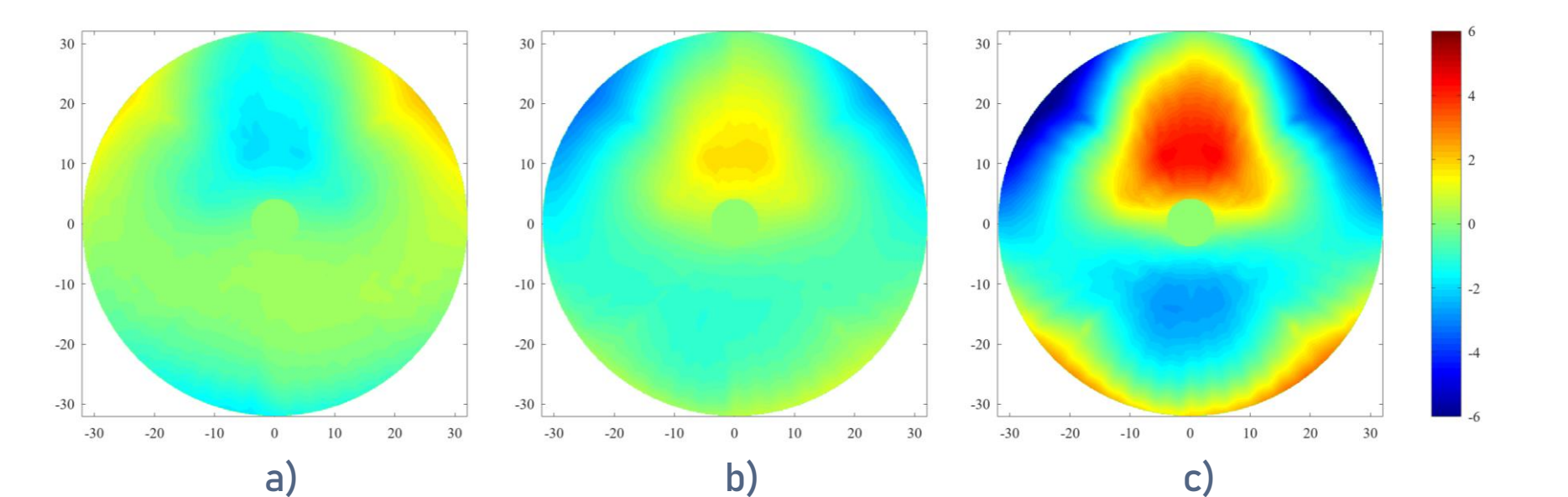


Fig. 10 Mappe delle inflessioni [mm] riscontrate sulla superficie del riflettore principale [m] per effetto della sola azione gravitazionale simulata con il modello FEM nei tre casi di elevazione considerati: a) 30° - b) 60° - c) 80°.

Sebbene sia evidente che le inflessioni prodotte dalla gravità siano predominanti rispetto agli effetti indotti dal carico termico, dal confronto tra le mappe in Fig. 9 con quelle in Fig. 10 si evince che il contributo termico è minore ma non tale da poter essere trascurato. Infatti, nel caso di studio in cui l'elevazione dell'antenna è pari a 60°, la variazione del rms superficiale è pari a circa il 10% (distribuzione di carico b in Fig. 7, vedi Tab. 1) rispetto al caso in cui si considera la sola azione gravitazionale. È importante puntualizzare che gli effetti gravitazionali sono ripetibili nel tempo e quindi, una volta determinati, possono essere compensati attraverso strumenti attivi di correzione. Al momento nel caso di SRT gli errori gravitazionali su larga scala sono corretti con gli attuatori della superficie attiva, la cui posizione è determinata mediante la look-up table (LUT) del sub-riflettore. Gli effetti termici invece sono caratterizzati da una forte aleatorietà. Dunque identificare l'entità delle inflessioni attribuite alla condizione termica permetterà di attuare correzioni più accurate della superficie dello specchio, aspetto che assume particolare importanza quando si osserverà alle alte frequenze.

Elevazione [deg]	Distribuzione a		Distribuzione b	
	0	-5	10	3
30°	0	-5	10	3
60°	5	10	10	3
80°	1	3	10	3

Tab. 1 Variazione di rms in [%] prodotto dalle due distribuzioni di carico simulate. Tali valori si riferiscono alla condizione in cui la superficie attiva non sia operativa. Per il valore del carico termico adottato, si registra un effetto mitigante ad elevazioni inferiori a 45° (elevazione in cui è stato realizzato il best fit della superficie); ciò dipende dalla opposta direzione delle inflessioni rispetto a quelle prodotte dal carico gravitazionale. Effetto opposto si registra per elevazioni superiori a 45°. L'influenza dell'azione termica è maggiormente evidente ad elevazioni prossime a 45° in quanto le deformazioni gravitazionali sono ridotte.

Ringraziamenti

Immagini termografiche rese disponibili da Leonardo S.p.A. nell'ambito del contratto per la fornitura del bene "SMS", Progetto PON PIR00_00010, realizzato con il cofinanziamento dell'Unione Europea - PON "Ricerca e Innovazione 2014 - 2020".

The Enhancement of the Sardinia Radio Telescope (SRT) for the study of the Universe at high radio frequencies is financially supported by the National Operative Program (Programma Operativo Nazionale - PON) of the Italian Ministry of University and Research "Research and Innovation 2014-2020", Notice D.D. 424 of 28/02/2018 for the granting of funding aimed at strengthening research infrastructures, in implementation of the Action II.1 - Project Proposals PIR01_00010 and CIR01_00010.