

STAR – Solare Termodinamico ad Alto Rendimento

CNR - INOA

Rapporto semestrale sulle attività svolte 01/01-30/06/2009

Sommario

Considerazioni generali sulle attività	1
Simulazione degli specchi per i test INAF.....	1
Scelta della focale.....	2
Progetto delle rotaie	3
Carrello e telaio per gli specchi.....	6
Definizione del secondario.....	7
Progettazione della torre.....	9
Simulazione della focalizzazione.....	11
Test ottici sugli specchi.....	13
Appendice.....	14

Considerazioni generali sulle attività

L'entrata di Ronda High Tech nella partnership ha comportato una serie di variazioni nelle attività di progetto. Prima di questo evento, era stato deciso che gli specchi fossero composti da tessere piane, da orientare fino a dare loro un involuppo di forma voluta. La definizione della forma, ancorchè basata su calcoli teorici, poteva essere modificata in corso d'opera senza particolari difficoltà. Al contrario, l'utilizzo di specchi curvi, rigidi, richiede che il profilo degli specchi sia simulato in dettaglio, in quanto non più modificabile.

Gli specchi proposti per la realizzazione del dimostratore non sono specchi comuni, in quanto sottili (0.86 mm di spessore nominale), e temprati chimicamente (sostituzione del sodio superficiale con potassio, per migliorare le caratteristiche meccaniche). L'accordo per l'ingresso di Ronda High Tech nella partnership prevede una verifica delle caratteristiche ottiche degli specchi, utile sia ai partner precedenti, per affinare le previsioni teoriche, sia alla stessa Ronda High Tech per ottimizzare i processi produttivi.

Simulazione degli specchi per i test INAF

Nel corso del semestre, ci è stato chiesto dal partenr INAF di effettuare delle simulazioni, al fine di interpretare correttamente i risultati ottenuti nelle prove di deformazione degli specchi adattivi. Il report inviato ad INAF è riportato in Appendice.

Scelta della focale

Come detto nel rapporto amministrativo, le dimensioni del dimostratore sono state influenzate dalla collocazione del sistema. Le dimensioni ottimali di un dispositivo pratico prevedono un raggio di curvatura del binario di 35÷40 m. Le dimensioni della terrazza consentono un raggio massimo del sostegno del modulo di 12 m. Per mantenere la distanza focale vicina a quella di un dispositivo pratico, abbiamo fatto ricorso al secondario, montato a sei metri di altezza. Così il fuoco del sistema risulta 17 m.

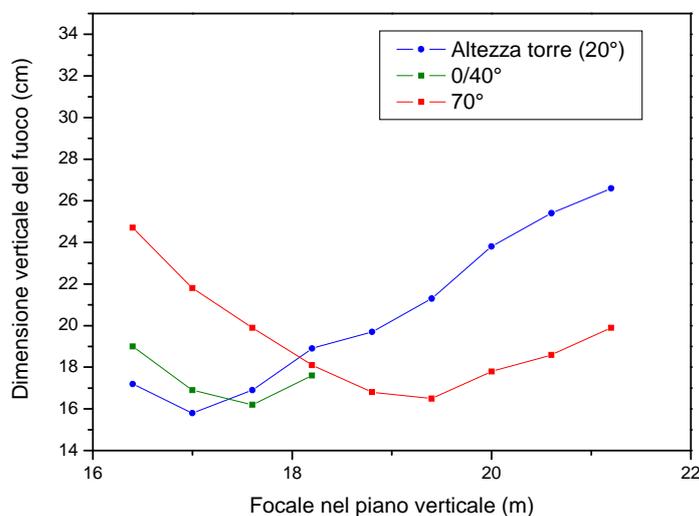
Nel caso degli specchi primari intrinsecamente adattivi, ovvero che deformano la propria superficie secondo le necessità, il problema di selezionare in anticipo una curvatura delle superfici non esiste, in quanto tutti gli specchi hanno la possibilità di variare i raggi di curvatura in un intervallo sufficientemente ampio.

Nel caso di specchi primari rigidi, l'adattività viene raggiunta dalla modifica dell'involuppo delle superfici dei vari specchi. In pratica, le normali agli specchi vengono orientate come se quelle normali appartenessero ad una superficie curva di raggio prefissato. In realtà, le porzioni di specchio che vengono orientate hanno una loro curvatura che non cambia. Perché il sistema sia efficace occorrono due fattori: a) le dimensioni delle singole superfici siano piccole, rispetto a quelle dello specchio complessivo; b) i raggi di curvatura siano un buon compromesso a tutte le altezze del sole. Nel seguito verranno fatti alcuni esempi chiarificatori, e verrà descritta la procedura per selezionare i raggi di curvatura.

Il maggiore effetto della variazione della distanza focale si ha nel piano verticale. Una componente dell'effetto si ha anche nel piano orizzontale, ed è tanto più grande, quanto più il modulo è lontano dall'asse di simmetria del concentratore.

Per dirimere il problema, spieghiamo prima di tutto come vengono simulate le condizioni di focalizzazione. Rispetto alle analisi riportate nel rapporto precedente, il concentratore si compone, nella direzione verticale, di quattro specchi alti 60 cm, invece che di cinque.

La focale effettiva da mantenere è 17 metri, ed è previsto un secondario, montato su una torre all'altezza di 6 m. Questo fatto è molto importante, perché l'effetto della variazione di focale dipende dall'angolo di deviazione. Se il bersaglio da colpire è all'altezza di circa 20° dall'orizzonte, l'angolo massimo di deviazione, che si ottiene alle 12:00 (solari!) del 21 giugno, a Firenze è di 50°. All'alba e al tramonto il sole è a 0° (quindi l'angolo di deviazione è 20°), mentre in due momenti della giornata è all'altezza della torre (angolo di deviazione 0°).

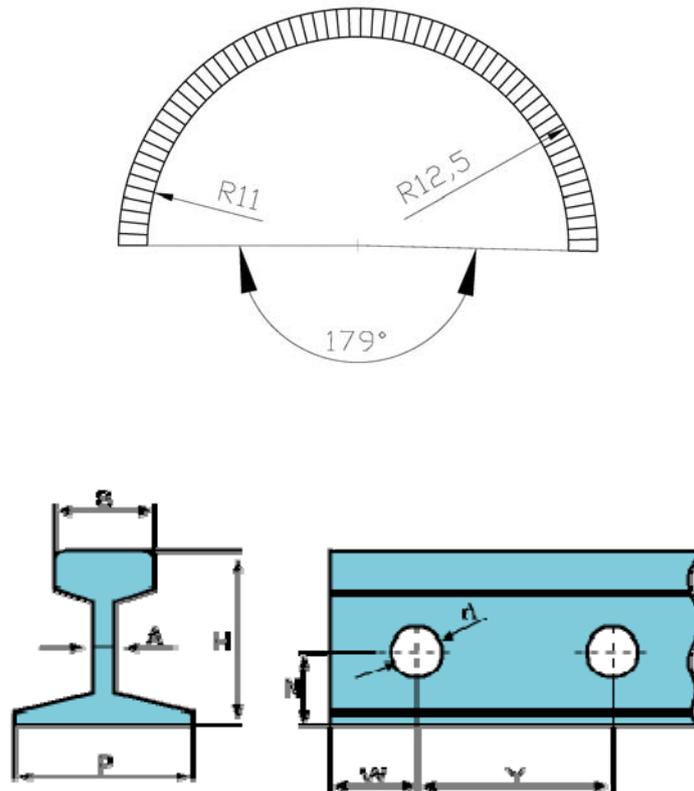


Un'altra considerazione importante è la distribuzione della radiazione solare in funzione del tempo in cui il sole si trova in un certo intervallo di altezza.

Le statistiche in materia dicono che il picco nella distribuzione della potenza ricevuta, alla nostra latitudine, si ha a 40° di altezza del sole. A questa altezza, l'angolo di deviazione corrisponde a 20° . Sono stati fatti dei test per stimare la dimensione verticale del fuoco, al variare della focale imposta allo specchio, alle varie altezze del sole. La figura precedente riporta il risultato delle simulazioni. La curva blu riporta la dimensione lineare del fuoco del sistema di specchi, al variare della focale, quando il sole è a 20° di altezza. La curva verde si riferisce a 40° , quella rossa a 70° . Dalle considerazioni fatte in precedenza, abbiamo stimato come compromesso migliore una focale di 17.6 m (raggio di curvatura 35.2 m). Finché il sole è entro i 40° di altezza, la dimensione del fuoco si mantiene entro i 17 cm. Con il sole al solstizio, la dimensione del fuoco sale a 20 cm. Tenendo conto che la superficie del primario è di 7.68 m^2 , il fattore di concentrazione è circa 260 fino a 40° , poi scende fino a 190. Questo con un solo modulo. Per simulare un concentratore reale occorre moltiplicare la superficie del primario per circa 70, e quella del fuoco per circa un fattore 4 (a causa dell'effetto della divergenza dei raggi solari su una distanza focale doppia). Teoricamente, potremmo raggiungere un fattore di concentrazione di circa 4500. In pratica, intervengono altri effetti di distorsione dell'immagine del primario, più tutti i contributi legati alle tolleranze sulla realizzazione del sistema e sulla movimentazione degli specchi. Uno degli scopi dell'attività del Progetto è proprio quello di verificare quanto la pratica si discosti dalla teoria.

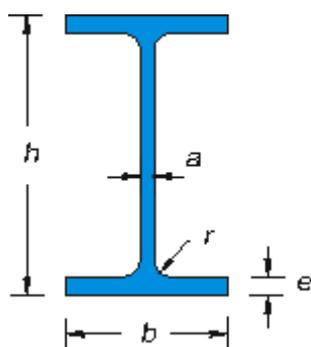
Progetto delle rotaie

INOA ha preso in carico la realizzazione del binario su cui si deve muovere il carrello che regge gli specchi primari. Il binario deve avere lo schema della figura.

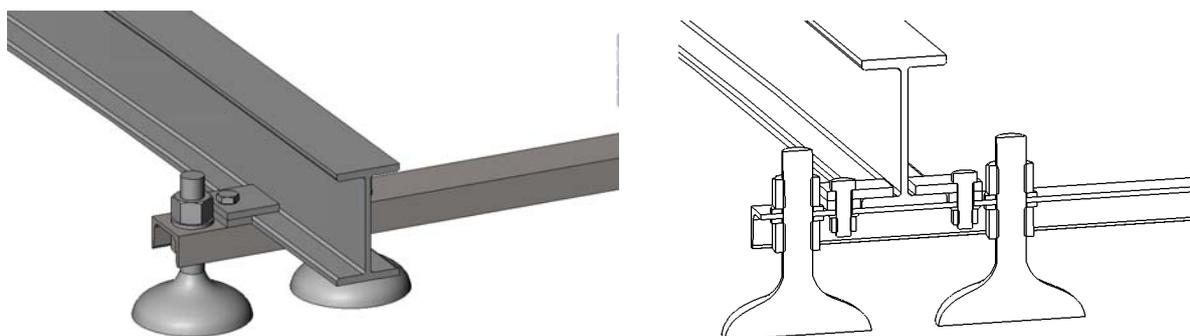


All'inizio è stata verificata la possibilità di realizzare il binario con componenti di tipo ferroviario, ovvero con rotaie di tipo "Decauville", che hanno la forma mostrata nella figura precedente.

In realtà, la ricerca di mercato ci ha indicato che c'è una sola Ditta in Italia (Valente S.p.A.) che commercializza queste rotaie, e gli altri fornitori italiani sono di fatto rivenditori. Per queste rotaie sono disponibili vari componenti per il fissaggio dei vari segmenti tra loro, e con le traversine. Il problema più grosso è stato la calandratura, ovvero la piegatura delle rotaie al giusto raggio di curvatura. La Valente si è offerta di farlo, ma a quel punto tutto il binario avrebbe raggiunto un costo proibitivo (circa 6.000 €, più il trasporto, più IVA per le sole rotaie, senza traversine). Abbiamo ripiegato su travi IPE80 (vedi figura).



Dopo una lunga ricerca, abbiamo trovato una Ditta, la Tecnocurve di Verona, che ha procurato le travi e le ha calandrate. La fornitura delle travi e degli elementi di fissaggio ha avuto un costo di circa 2.200 € più IVA. Le traversine sono state realizzate da una ditta toscana (Cialdi & Rodani di Tavarnelle V.P.). Per la regolazione dell'altezza, in modo da compensare la pendenza della terrazza, sono stati utilizzati dei piedi calanti, secondo lo schema della figura.



Per ogni traversina ci sono due coppie di piedi, a cavallo della rotaia. Ciò è stato scelto per due motivi: a) ridurre la sezione della traversina, visto che con due piedi immediatamente vicini alla rotaia la deformazione della traversina è minima; b) ridurre il picco di carico sul pavimento. Questo secondo aspetto è cruciale, visto che il montaggio non viene fatto sul terreno, ma su un tetto. Per distribuire ancora meglio il carico, avevamo pensato a delle mattonelle di compensato fenolico, normalmente usato in edilizia. In realtà, anche questo materiale non offre caratteristiche sufficienti, visto che è comunque sensibile all'umidità, e ci abbiamo rinunciato.

Il binario deve essere protetto dalla corrosione, e occorre limitare al minimo la dilatazione termica. Per questo motivo rotaie e traversine sono stati verniciati con antiruggine bianco.

Questo trattamento, sia per motivi di tempo, sia per l'indisponibilità dei fornitori a farlo, è stato fatto direttamente dalle persone coinvolte nel progetto (vedi rapporto sul management).

Il montaggio ha richiesto cinque mattinate. Non è stato possibile lavorare tutto il giorno sulla terrazza, causa soleggiamento e temperatura. Per prima cosa è stato individuato il centro di rotazione. Tutto il binario è stato montato facendo riferimento a questo punto. Si tratta di uno spezzone verticale di tubo, fissato alla ringhiera (vedi figura).



Nel lavoro sono stati impiegati un distanziometro laser (precisione a $2\sigma \pm 3$ mm), per verificare la distanza delle traversine dal centro ed il raggio di curvatura dei binari, ed una



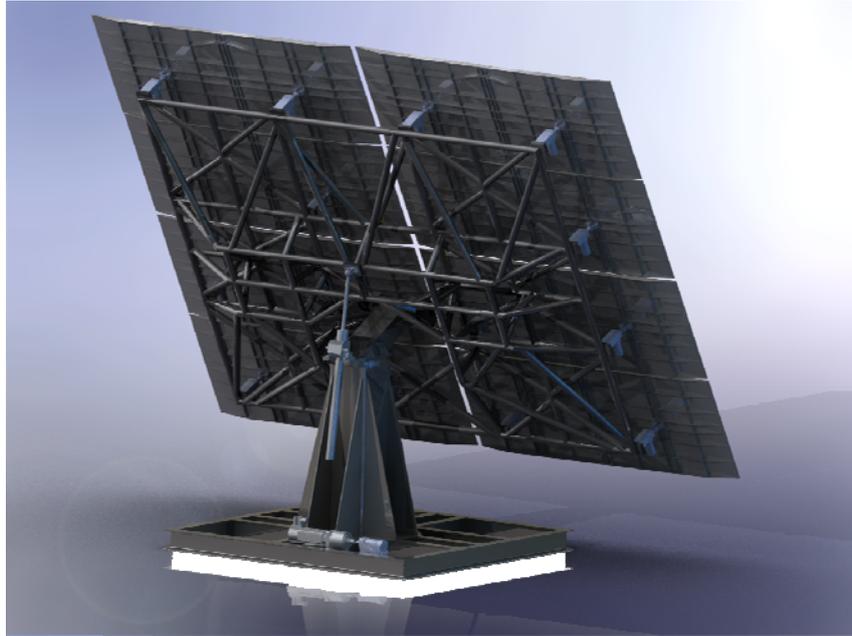
livella ad acqua, per assicurare la planarità del binario. Mentre è intuitivo pensare ad un dispositivo come il distanziometro laser, l'uso di una livella ad acqua è meno ovvio. La livella è stata costruita con del tubo di plastica e due siringhe (figura precedente). Una siringa è stata fissata alla ringhiera, con un riferimento per l'altezza, mentre l'altra è stata posizionata su ciascuna traversina. Con i bulloni di regolazione dei piedi la traversina è stata regolata in altezza. In questo modo l'errore sulla planarità si mantiene ad un millimetro su tutta la rotaia, mentre con una livella a bolla (o una livella laser, basata su una bolla), la propagazione degli errori porta almeno ad un centimetro di indeterminazione.



La sequenza delle quattro immagini precedenti mostra le fasi del montaggio della rotaia.

Carrello e telaio per gli specchi

INOA ha curato, con la collaborazione del Dip. di Meccanica, la realizzazione del carrello e del telaio per reggere gli specchi. L'insieme di questi due oggetti è visibile nella figura seguente, che riporta il rendering del disegno cad.



Date le caratteristiche tecniche più complesse, è stato preso in esame prima il telaio. Deve essere realizzato in alluminio, per essere il più leggero possibile e deve essere sufficientemente rigido. Inoltre, lo spessore dei tubi di alluminio non deve superare i 3 mm, altrimenti non è possibile il taglio laser, necessario ad eseguire le intestazioni dei segmenti. Questi fattori hanno richiesto indagini di mercato ed assistenza alle Ditte coinvolte. Il telaio è in fase avanzata di realizzazione, come mostrato nelle foto seguenti.

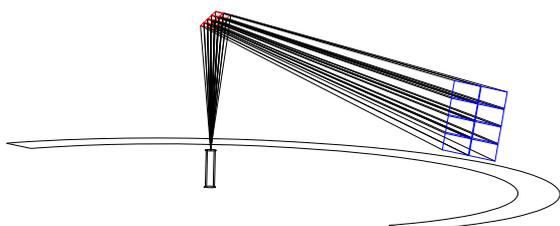


Il carrello, completamente progettato, è in fase di ordine.

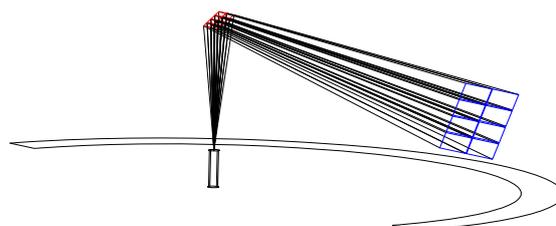
Definizione del secondario

Dato che il dimostratore comprende un solo modulo di specchi, anche il secondario avrà delle dimensioni ridotte. In teoria, c'è un effetto da considerare: se il modulo è centrato rispetto al concentratore, ovvero se il suo centro geometrico è nel piano verticale che comprende il sole ed il fuoco, allora il secondario rimanderà semplicemente i raggi in basso. Se il primario è fuori dal piano di simmetria, ovvero stiamo simulando uno degli altri moduli, il secondario (che al momento consideriamo costituito da uno specchio piano), devia il fascio verso il basso, ma non in direzione verticale. Di fatto per provare, con un solo

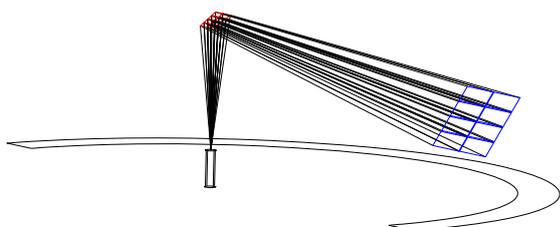
secondario piano, varie posizioni del primario nella gradinata del concentratore, occorrerebbe un secondario di dimensioni ragguardevoli (es. $3 \times 1 \text{ m}^2$). Per ovviare a ciò, data la natura dell'attività (ricerca e sperimentazione sul campo, invece che progetto industriale), abbiamo deciso che il secondario sarà orientato sempre verso il primario, quale che sia la posizione del primario, e quindi rimanderà sempre il fascio verso il basso, in direzione verticale. Abbiamo simulato la geometria del concentratore, per stabilire le dimensioni e l'orientazione del secondario. Le quattro figure seguenti si riferiscono allo schema del concentratore, con altezze del sole di 0° , 30° , 50° , 70° .



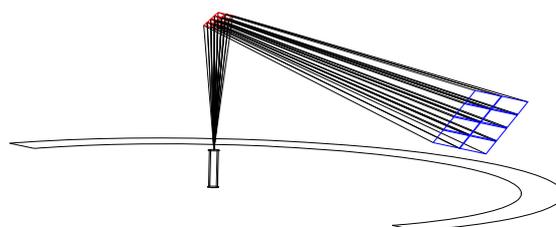
Altezza del sole 0°



Altezza del sole 30°

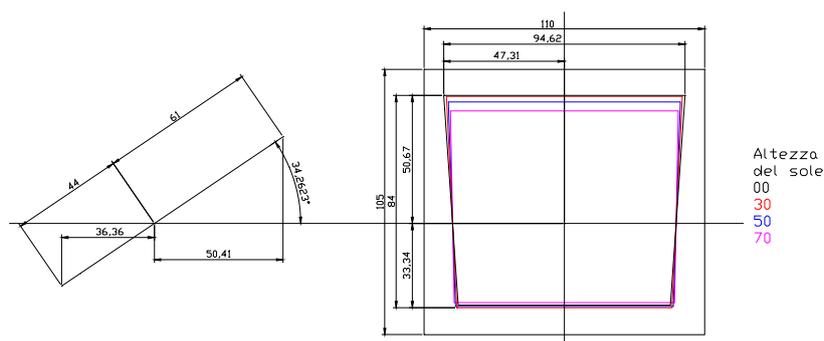


Altezza del sole 50°



Altezza del sole 70°

È evidente l'effetto dell'altezza del sole sull'inclinazione del primario.



La figura precedente mostra invece come cambia l'immagine del sole sul secondario, quando si consideri il sole come una sorgente puntiforme. La divergenza del sole comporta che l'immagine sia ingrandita di 5.5 cm in ogni direzione. Per assicurare che l'immagine del sole colpisca sempre il secondario, le misure di quest'ultimo sono state fissate in 110 (Larghezza) x 105 (Altezza) cm^2 . L'inclinazione del secondario rispetto al piano orizzontale è di 34.26° .

Lo specchio verrà fissato alla struttura della torre con un montaggio che consente la

possibilità di orientare l'asse verticale di rotazione. L'orientazione dello specchio, rispetto all'asse di rotazione, è fissa, ed è demandata alla meccanica di sostegno. In caso si rendesse necessaria una riorientazione, verranno utilizzati degli spessori, inseriti sotto le viti di fissaggio.

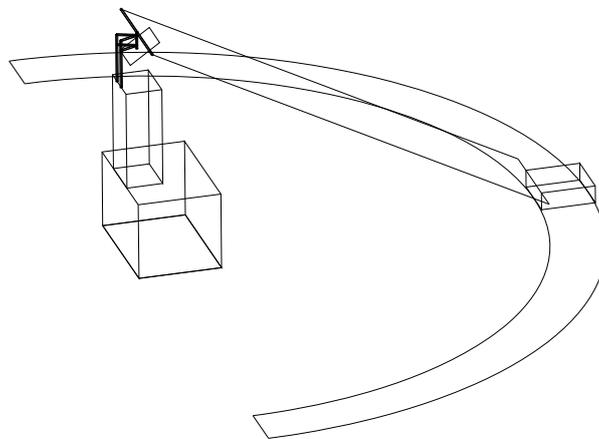
La forma e l'ingombro del secondario avranno effetto sulla geometria della torre. Infatti, il secondario deve poter ruotare di 180° nel corso della giornata, guardando prima a Ovest, poi a Nord ed infine ad Est. I vertici inferiori non devono interferire con la struttura, così come gli spigoli obliqui non devono arrivare a toccare i sostegni dell'asse di rotazione.

Progettazione della torre

Sebbene la torre verrà realizzata dall'INAF, INOA ha preso parte attivamente alla progettazione della torre ed alla definizione della movimentazione del secondario.

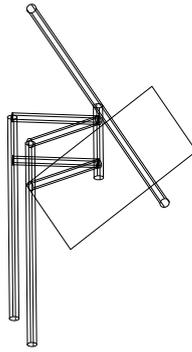
Lo schema di torre proposto da INOA è mostrato nella figura successiva. La torre è formata da una base, a forma di parallelepipedo, chiusa, con una porta e due finestre sulle pareti verticali, ed uno sportello sul tetto. Questo sportello consente di sollevare lo specchio secondario al suo posto e di far arrivare la radiazione sul sistema di misura. Chiudendolo, la strumentazione all'interno rimane protetta. Ovviamente, la strumentazione è dotata di una protezione supplementare, in quanto lo sportello è normalmente aperto durante il funzionamento, anche impresenziato.

Al di sopra della base c'è la torre vera e propria, fatta di tubi Innocenti da impalcature, che reca in cima il sostegno del secondario. Tale sostegno deve rispettare alcune caratteristiche:

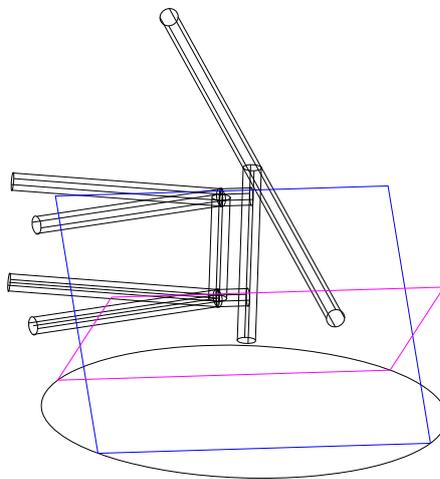


- deve essere rigido
- deve comprendere una carrucola per facilitare il montaggio del secondario
- non deve interferire né con il movimento del secondario né con la radiazione incidente
- non deve interferire con il sistema di movimentazione del secondario

Il sistema di aggancio del secondario è mostrato nella figura successiva, dove viene ingrandito un dettaglio di quella precedente.



I vincoli sulla torre, legati al movimento, sono visibili nella figura successiva.



L'apertura dei sostegni non può essere superiore a 37° , partendo da 15 cm al di sopra del centro di rotazione, altrimenti il secondario può urtare la struttura. Inoltre la zona all'interno del cerchio nero deve essere sgombra, altrimenti gli spigoli dello specchio urtano la struttura di sostegno.

Per la movimentazione del secondario il sistema più intuitivo è quello di utilizzare un motore, con un riduttore di giri ed un encoder per la posizione. Tale sistema, che è poi quello che aziona il carrello, richiede i componenti elettromeccanici, dei supporti, l'alimentazione elettrica ed un cavo di segnale in cima alla torre e del software di gestione.

Un sistema alternativo è quello di utilizzare dei tiranti vincolati al carrello. In pratica, il carrello, con il suo movimento lungo il binario, guida il secondario. Tornando alla figura iniziale del paragrafo, sono visibili i tiranti tra il carrello e la parte superiore del secondario. In realtà, dalla parte del secondario è stata fissata una traversa orizzontale, solidale all'asse di rotazione, lunga 3 m, realizzata in profilato quadro di alluminio. Sul carrello, che di per sé è lungo 1.5 m, vengono aggiunte due prolunghe di 75 cm da ciascuna parte. Occorre tenere presente che l'ingombro effettivo del carrello è comunque 3.3 m, a causa degli specchi (vedi disegno con la simulazione cad del carrello). Tra le estremità della traversa, da una parte, e delle prolunghe, dall'altra, vengono tesi due tiranti. Al muoversi del carrello, il tirante nella direzione del movimento si allenta, mentre l'altro si tende. Ciò esercita un momento sull'asse di rotazione del secondario. Per quantificare le grandezze in gioco, è

stato calcolato che, per uno spostamento angolare del carrello di 1° , la lunghezza di ciascun tirante cambia, in positivo o in negativo, di 2.3 cm. A questo si aggiunge il fatto che il braccio che esercita il momento sul secondario è di 1.5 m, che il secondario è montato su due cuscinetti a sfera, e che il peso del secondario è ≤ 20 kg.

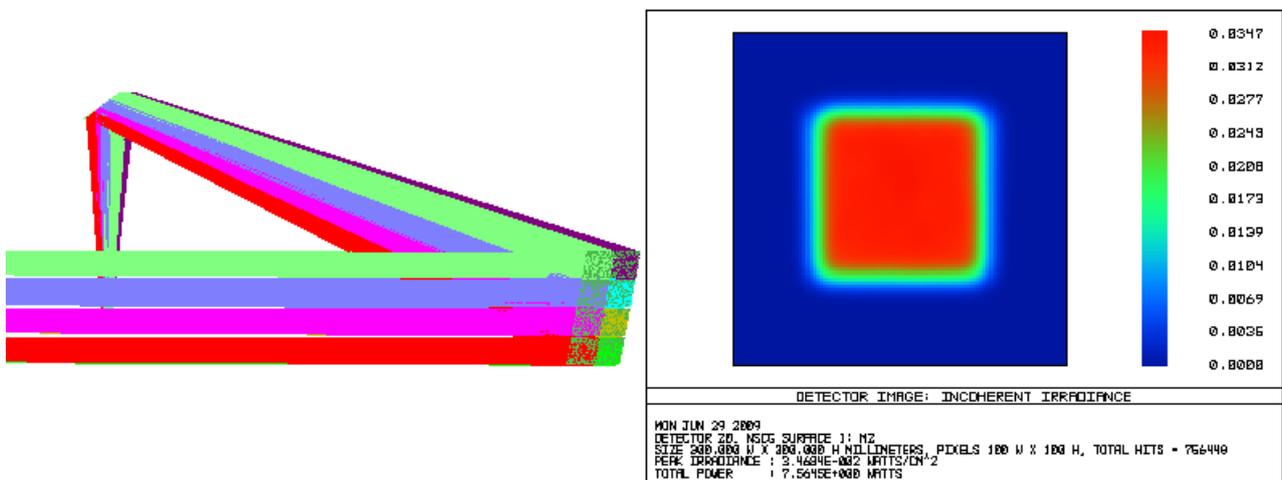
Sarebbe opportuno che i tiranti fossero ben tesi, ovvero che la catenarie da loro descritte approssimasse una retta. Per questo i tiranti devono essere molto leggeri, oltre a sostenere carichi notevoli. Il materiale candidato al primo posto è il filo da pesca. Per fornire dei numeri, il carico di rottura di un filo da 1 mm di diametro è circa 42 kg, al peso di circa 1 g/m. Il cavo di acciaio ritorto da 1 mm di diametro pesa circa 5 g/m, con un carico di rottura di circa 90 kg.

Riteniamo che questa soluzione sia compatibile con le esigenze del dimostratore. Qualora dovessimo riscontrare che il movimento del secondario non fosse sufficientemente regolare (es. movimento a scatti, oscillazioni,...), provvederemmo ad adottare una motorizzazione convenzionale. Ovviamente, nel caso di un sistema definitivo, in cui il secondario ha una superficie, piana o sfaccettata, di alcune decine di m^2 , l'unica possibilità ammessa è il motore.

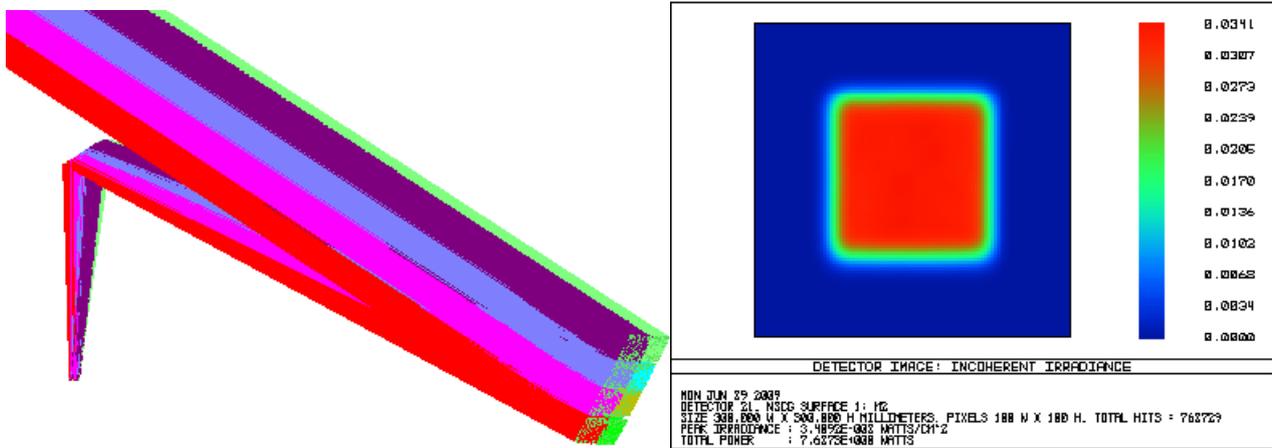
Simulazione della focalizzazione

Partendo dai disegni CAD del paragrafo "Definizione del secondario" abbiamo simulato il comportamento del modulo da $3.2 \times 2.4 m^2$ oggetto del dimostratore. Ricordiamo che il modulo è costituito da 8 strisce di specchi toroidali (con due raggi di curvatura diversi ortogonali tra loro: $R_x = 34$ m e $R_y = 35.2$ m) di dimensioni 1.6 m x 0.6 m. Sono state simulate le situazioni relative ad un modulo centrato sul piano verticale di simmetria del concentratore, che vede il sole a 0° , 30° , 50° e 70° . Per ogni altezza del sole ci sono due figure, una che riporta lo schema ottico, l'altra l'immagine nel fuoco. Per efficienza si intende il rapporto tra i raggi incidenti su un rivelatore di $30 \times 30 cm^2$, e quelli incidenti sullo specchio primario, trascurando la perdita dovuta alla riflettività degli specchi.

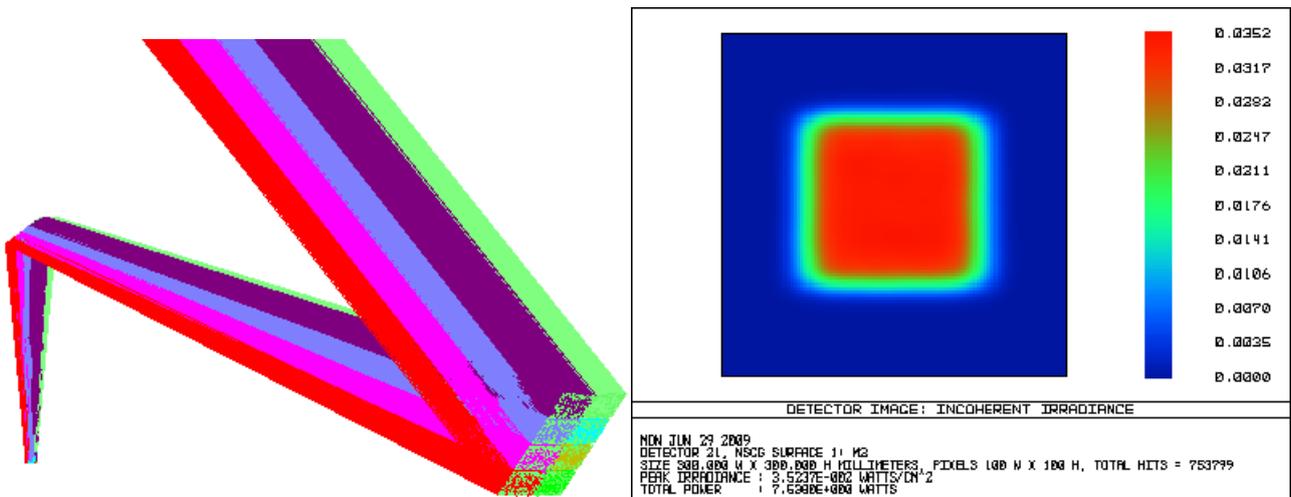
La figura seguente simula l'immagine, nel piano focale, con altezza del sole sull'orizzonte 0° . L'efficienza sul rivelatore è del 94%.



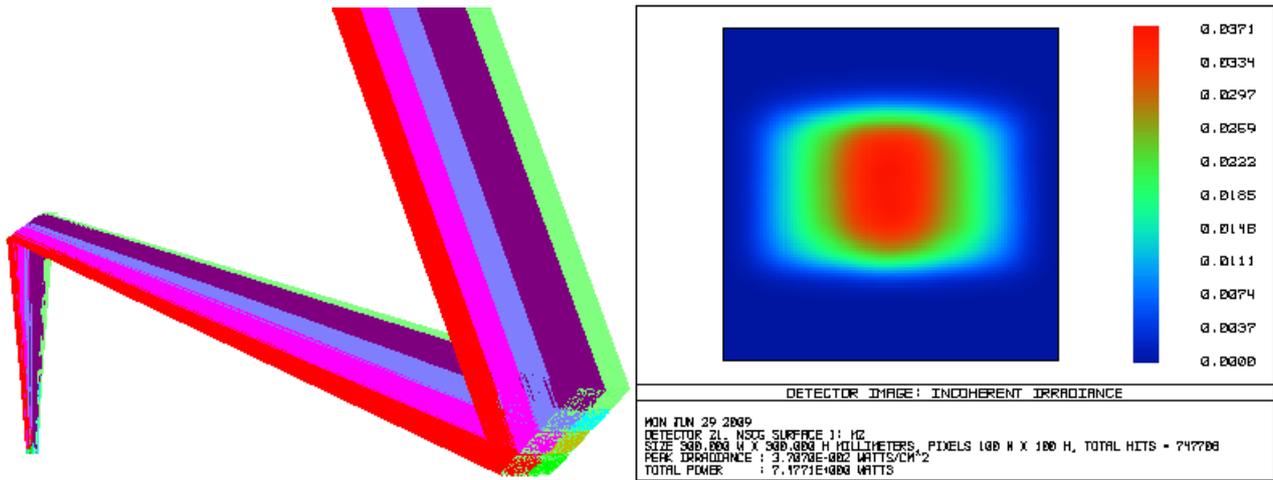
La figura seguente simula l'immagine, nel piano focale, con altezza del sole sull'orizzonte 30°. L'efficienza sul rivelatore è del 95%.



La figura seguente simula l'immagine, nel piano focale, con altezza del sole sull'orizzonte 50°. L'efficienza sul rivelatore è del 94%.



La figura seguente simula l'immagine, nel piano focale, con altezza del sole sull'orizzonte 70° (per Firenze, le ore 12:00 solari del 21 giugno). L'efficienza sul rivelatore è del 93%.



Test ottici sugli specchi

Al momento i test ottici sugli specchi di Ronda High Tech sono sospesi. Infatti, gli specchi inviati all'INAF per i test di curvatura hanno evidenziato problemi sia meccanici che ottici, attualmente sotto indagine. Si ritiene che si tratti di una partita difettosa, e che il problema sia risolvibile.

L'ipotesi che viene fatta circa i problemi ottici è che l'estrazione delle lastre di vetro dal letto dove prendono la forma sia stata fatta con velocità non costante. Il risultato è una irregolarità sullo spessore.

Le misure di diffusione di tali lastre sono quindi inficiate in partenza. Infatti parte della luce (in misura non quantificabile) viene riflessa fuori dalla normale alla superficie per le variazioni macroscopiche di profilo, e per gli strumenti viene considerata diffusione, al pari di quella deviata dalla granulosità della superficie.

Appendice

Simulazione per INAF

Per verificare i profili di curvatura degli specchi sotto test da parte di INAF è stata impostata una simulazione di ray tracing. Si è simulata una superficie ottica riflettente delle dimensioni di una delle strisce che comporrrebbe il singolo modulo del concentratore e valuta la variazione della forma del fuoco al variare del profilo di curvatura con una sorgente che simula l'irraggiamento solare (quindi con divergenza totale 0.5°) e collimata, inclinata rispetto all'asse dello specchio di 35°. Tab. 1 contiene i dati del sistema simulato.

Tab 1: Dati striscia

Dimensioni Striscia	1.6 m x 1.2 m
Angolo di incidenza	35°
Sorgente 1	collimata
Sorgente 2 divergente (sole)	0.5°
Rivelatore 1	2m x 2m
Rivelatore 2	300mm x 300 mm

La simulazione è stata effettuata variando il profilo di superficie dello specchio. Le impostazioni di curvatura alla striscia sono definite nel programma di tracciamento di raggi dai parametri riportati in Tab. 2 e mostrate in Fig. 1 e Fig. 2:

Toroidal Surface

A toroidal surface consists of a rectangular surface with a possibly aspheric toroidal shape. A toroidal surface is defined by a curve in the YZ plane which is then rotated about an axis parallel to the Y axis but displaced by a distance R; the radius of rotation. The curve in the YZ plane is defined by:

$$z = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2y^2}} + \alpha_1y^2 + \alpha_2y^4 + \alpha_3y^6 + \alpha_4y^8 + \alpha_5y^{10} + \alpha_6y^{12},$$

where c is the reciprocal of the radius of curvature in YZ plane. The toroidal lens is defined by 23 parameters:

- 1: The X Half-Width in lens units.
- 2: The Y Half-Width in lens units.
- 3-4: Unused.
- 5, 6, 7: The radius of rotation, radius of curvature, and conic for the surface.
- 8-13: The coefficients on the powers of y for the surface.

To make either the radius of rotation or radius of curvature flat; use a value of zero. Note a cylindrical surface results if the radius of rotation is set to zero. The reference coordinate is the center of the front face. Face Numbers: All faces Face 0.

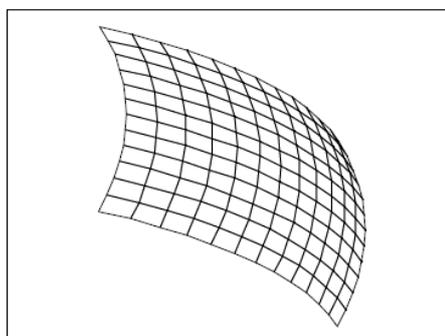


Figure -1 Struttura in Zemax per la definizione di una superficie toroidale

Tab 2: Costanti per simulazione

$K < -1$	Iperbole
$K = -1$	Parabola
$0 < K < -1$	Ellisse
$K = 0$	Sfera
$K > 0$	Ellisse oblata
$K = -\varepsilon^2$	$\varepsilon^2 = -\left[\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right]$

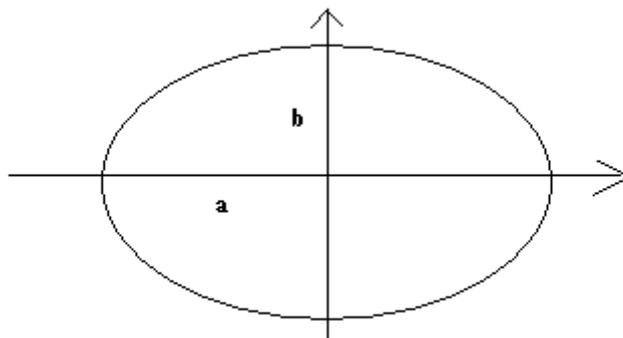


Figure -0-2 Ellisse, semiasse maggiore a, semiasse minore b, eccentricità ε .

1. Striscia piana

Una prima simulazione mostra come illuminando con una sorgente che ha la divergenza solare lo specchio delle dimensioni della striscia e di **profilo piano** il fuoco risulta di dimensioni superiori alle dimensioni dello specchio stesso. La Fig. 3 mostra il tracciamento della radiazione che da 35° di inclinazione rispetto all'orizzonte incide sullo specchio. La radiazione viene riflessa dallo specchio su un rivelatore che risulta illuminato (vedi area rossa su sfondo blu), posizionato al posto della torre in cui verrà posto il rivelatore effettivo (in realtà la radiazione verrà riflessa sul rivelatore posto sul piano orizzontale mediante uno specchio secondario piano).

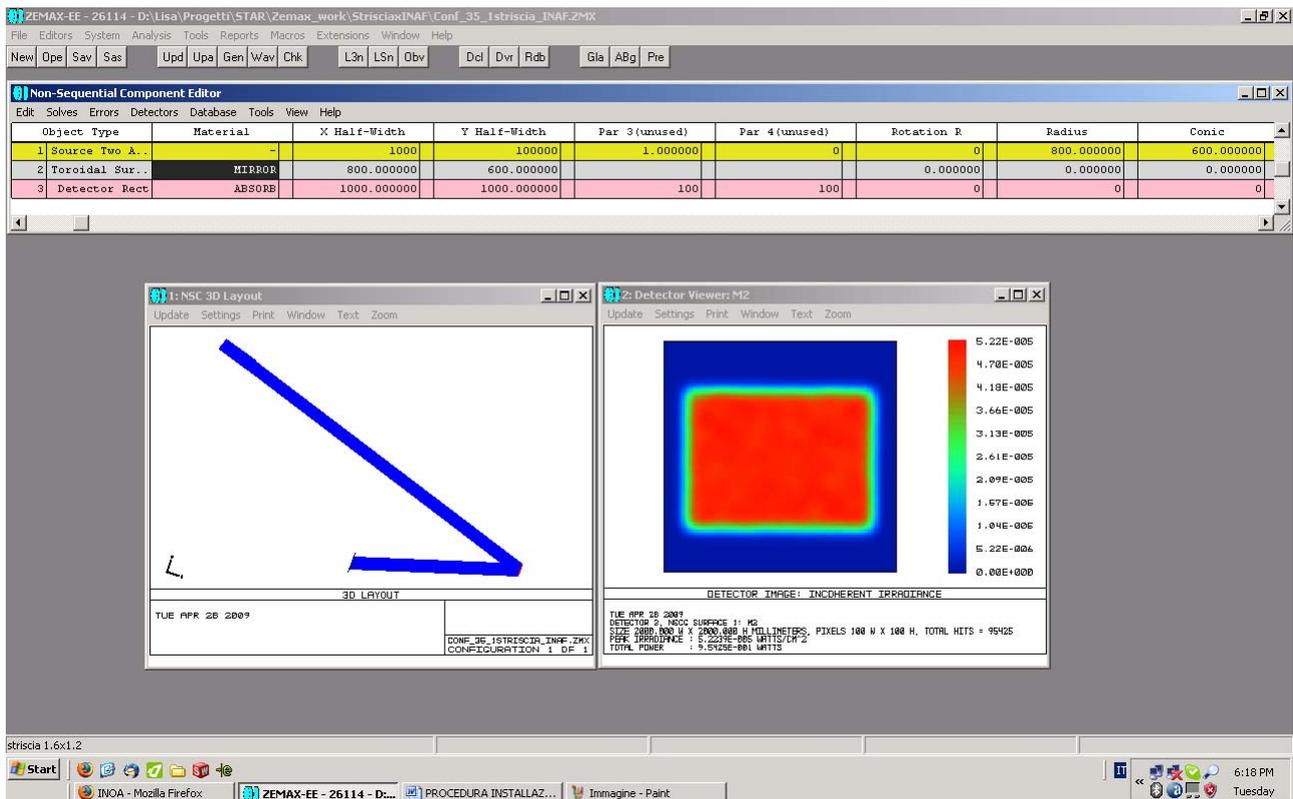


Figura 3 Striscia piana 1.6m x 1.2m. Sorgente divergente 0.5°, rivelatore 2m x 2m

Sono stati simulati gli effetti sulla forma del fuoco conservando la stessa geometria del sistema ma modificando la curvatura dello specchio prima sul piano verticale poi su quello orizzontale, portandolo al raggio di curvatura nominale di 34 metri, corrispondenti ad una focale nominale di 17 metri, corrispondenti ad un profilo sferico.

In Fig. 4 e 5 si possono osservare come cambiano le geometrie del fuoco. Se introduciamo quella orizzontale il fuoco da una forma rettangolare diviene una striscia verticale, mentre se introduciamo una curvatura sul piano verticale allora il fuoco diviene una striscia orizzontale

- Striscia con raggio di curvatura orizzontale di 34 m (focale nominale 17 m, effettiva 15 m) e piano in verticale

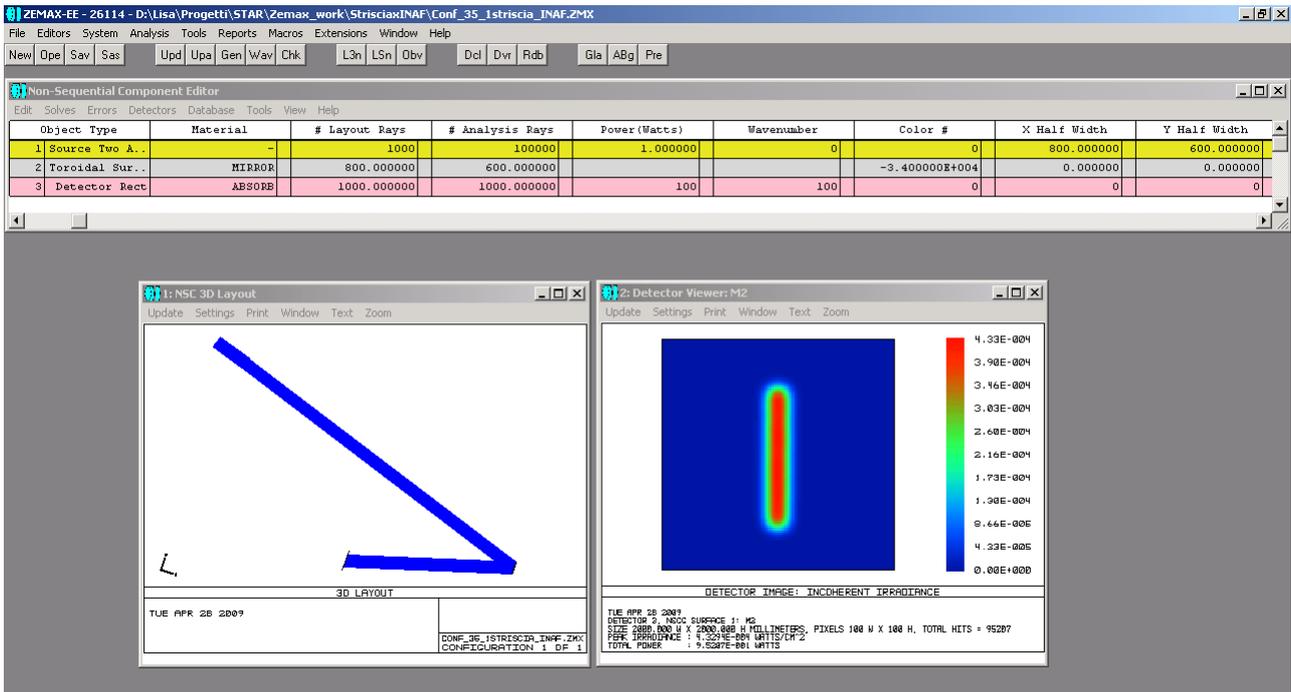


Figura 4 Striscia 1.6m x 1.2m piana lato verticale, sferica in orizzontale. Sorgente divergente 0.5°, rivelatore 2m x 2m

- Striscia con raggio di curvatura nullo in orizzontale e di 34 m in verticale (focale nominale 17 m, effettiva 15 m)

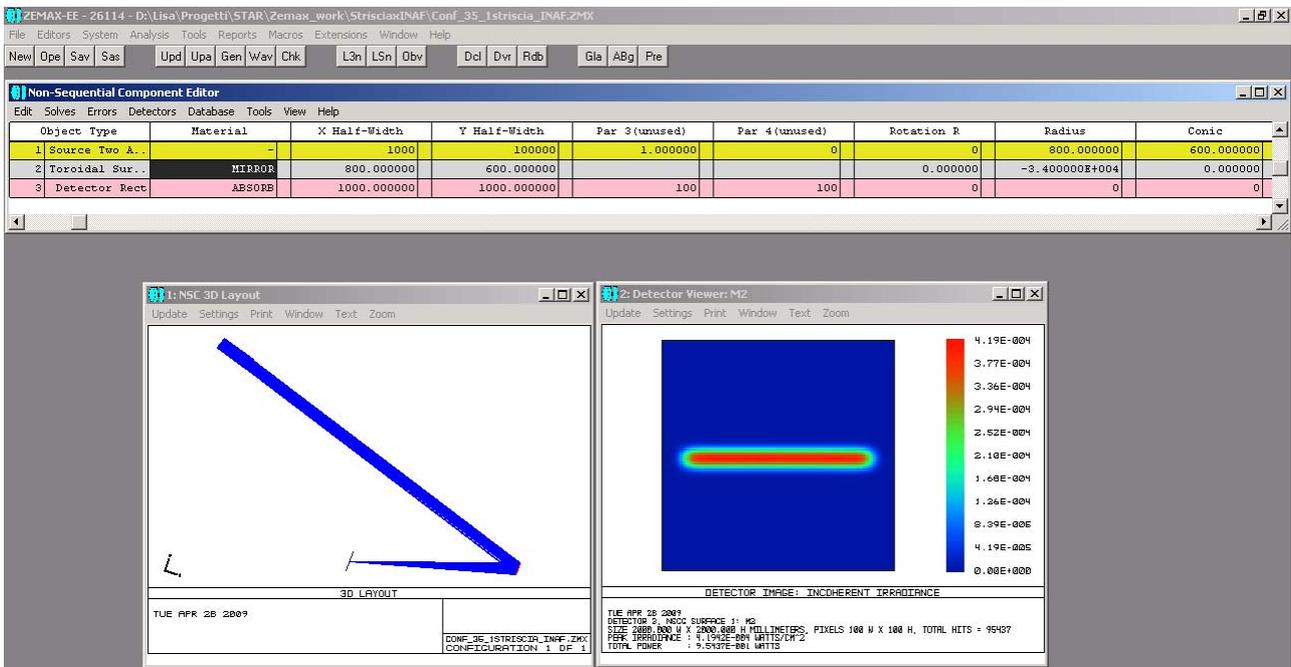


Figura 5 Striscia 1.6m x 1.2m piana lato orizzontale, sferica in verticale. Sorgente divergente 0.5°, rivelatore 2m x 2m

In Fig. 6 invece si osserva come il fuoco divenga una striscia più accorciata e meno dritta se introduciamo la curvatura nominale sui due assi verticale e orizzontale e occupi una dimensione di 30cmx30cm e in Fig. 7 come si espande se si introduce la divergenza solare

4. Striscia con raggio di curvatura verticale e orizzontale di 34 m (focale nominale 17 m, effettiva 15 m) e sorgente collimata e rivelatore (300 mmx300mm)

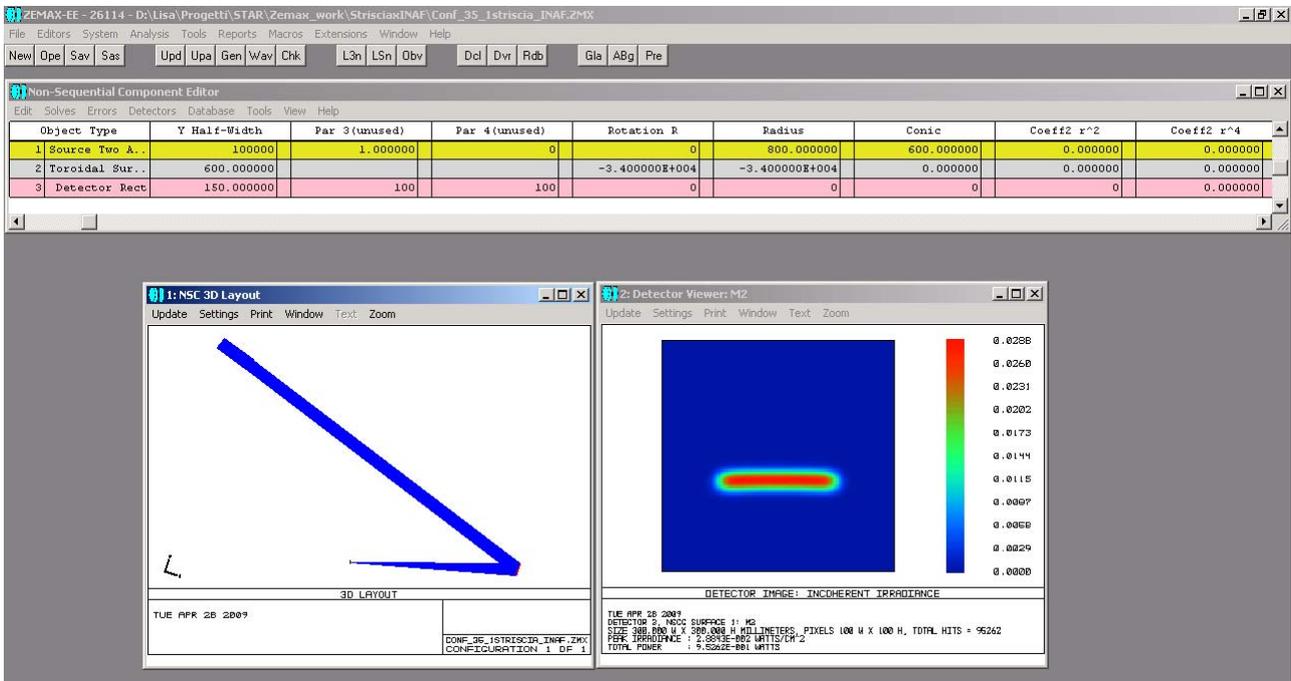


Figura 6 Striscia 1.6m x 1.2m sferica sul lato orizzontale, sferica in verticale. Sorgente collimata, rivelatore 30cm x 30cm.

5. Striscia con raggio di curvatura verticale e orizzontale di 34 m (focale nominale 17 m, effettiva 15 m) e sorgente con divergenza solare e rivelatore (300 mmx300mm)

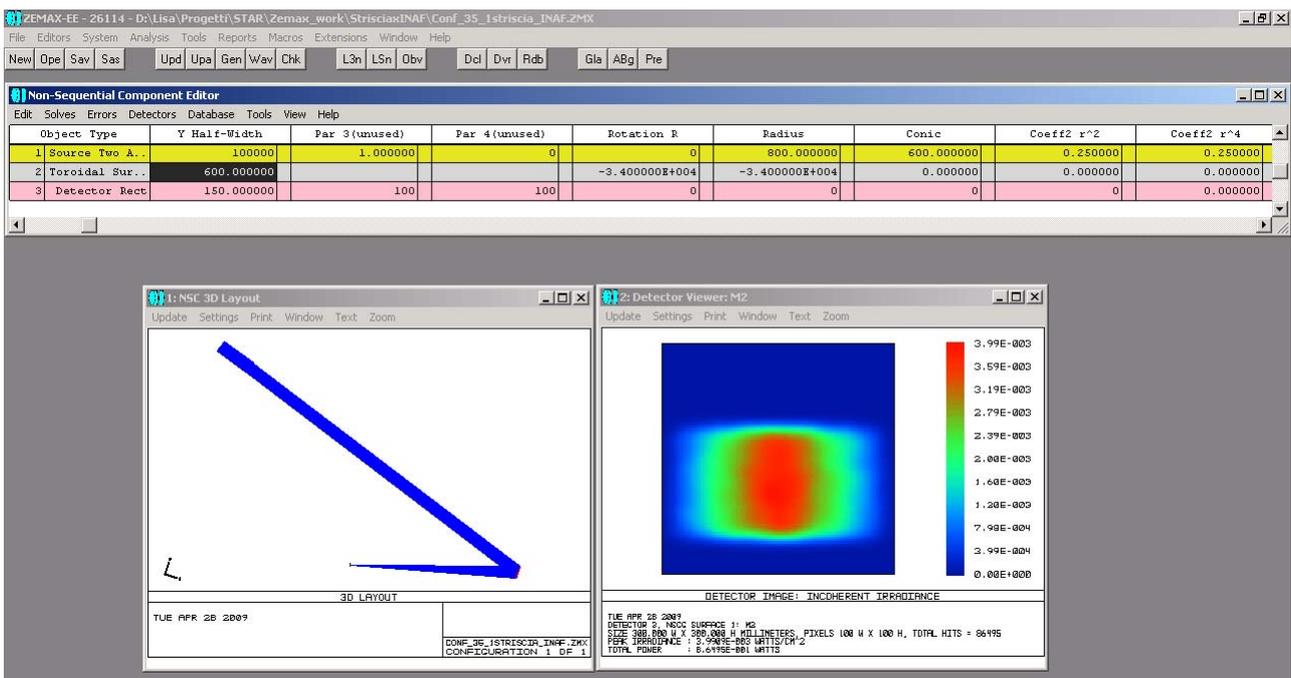


Figura 7 Striscia 1.6m x 1.2m sferica sul lato orizzontale, sferica in verticale. Sorgente divergente 0.5° rivelatore 30cm x 30cm.

6. Aggiungo il coefficiente del 2° ordine. ($\alpha_1 = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2}$) alla striscia parabolica.

Si è introdotto un diverso profilo di curvatura, passando dal un profilo sferico ad un profilo parabolico e variato i coefficienti di ordine superiore della curva (per valutare gli effetti che le deformazioni introducono sulla forma del fuoco). La Fig. 8 mostra da sinistra in alto: sorgente collimata, superficie striscia parabolica con $R=34000 \text{ mm}$ sui due assi nei casi in cui il primo termine di asfericità superficiale è non nullo. Questo termine contribuisce a variare il raggio di curvatura ($\alpha_1 = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2}$, confrontabile con il termine $1/(2R)$ che compare nell'equazione della superficie toroidale nel caso in cui $K=-1$. Nel caso 3 a dx in alto il termine di asfericità è nullo e corrisponde alla figura 6). In basso da sx stessi casi con sorgente divergente (0.5°).

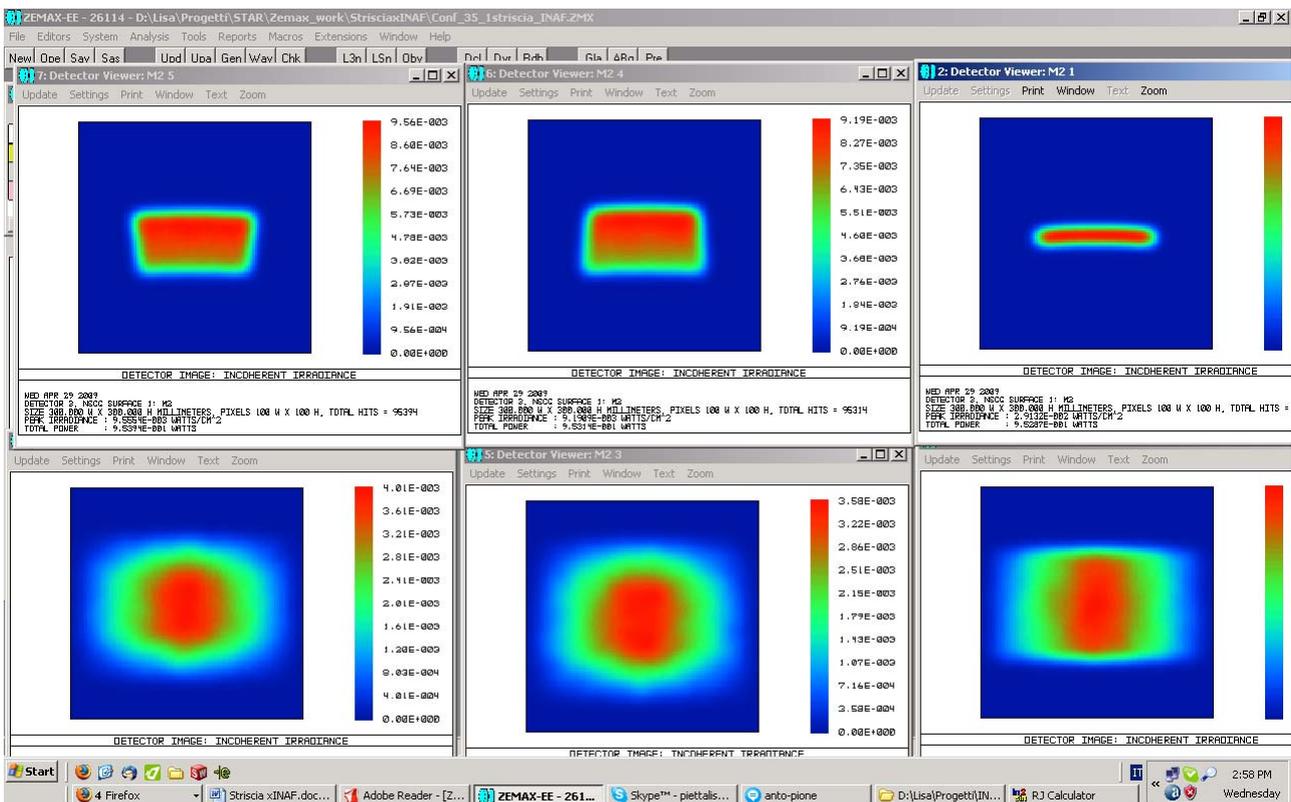


Figura 8 da sinistra in alto: sorgente collimata, superficie striscia parabolica con $R = 34000 \text{ mm}$ sui due assi nei casi in cui il primo termine di asfericità superficiale è non nullo. Questo termine contribuisce a variare il raggio di curvatura ($\alpha_1 = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2}$, confrontabile con il termine $1/(2R)$ che compare nell'equazione della superficie toroidale nel caso in cui $K=-1$. Nel caso 3 a dx in alto il termine di asfericità è nullo e corrisponde alla figura 6). In basso da sx stessi casi con sorgente divergente (0.5°).

7. Aggiungo il coefficiente del 4° ordine. ($\alpha_2 = \pm 1 \cdot 10^{-13} \text{ mm}^{-4}$) alla striscia parabolica.

Fig. 9 mostra da sinistra in alto il fuoco ottenuto con: sorgente collimata, superficie striscia parabolica con $R=34000$ mm nei casi in cui il secondo termine di asfericit  superficiale   non nullo. ($\alpha_1=0$ nel caso in cui $K=-1$ e $\alpha_2=\pm 1 \cdot 10^{-13}$ mm⁻⁴). Il caso 3 a dx in alto il termine di asfericit    nullo e corrispondente alla figura 4). In basso da sx stessi casi con sorgente divergente (0.5 ).

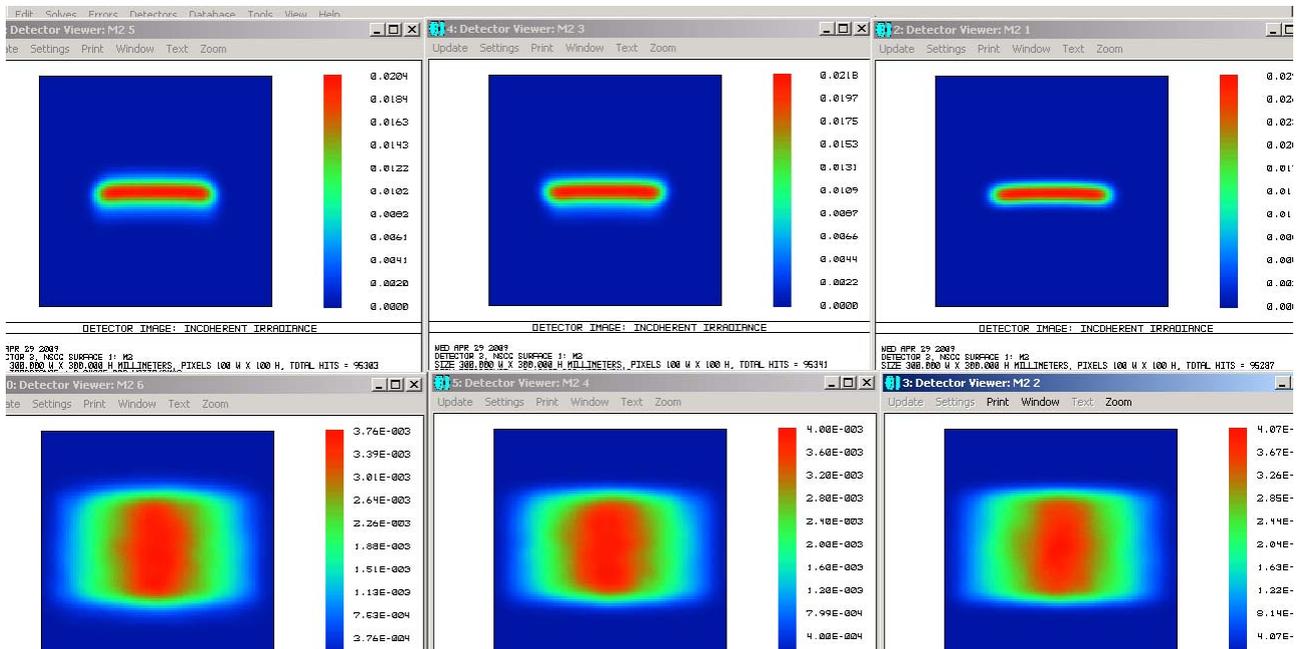


Figura 9 da sinistra in alto: sorgente collimata, superficie striscia parabolica con $R = 34000$ mm nei casi in cui il secondo termine di asfericit  superficiale   non nullo. ($\alpha_1=0$ nel caso in cui $K=-1$ e $\alpha_2=\pm 1 \cdot 10^{-13}$ mm⁻⁴). Il caso 3 a dx in alto il termine di asfericit    nullo e corrispondente alla figura 4). In basso da sx stessi casi con sorgente divergente (0.5 ).

8. Striscia con raggio di curvatura verticale 34 m e orizzontale di 30 m (focale nominale 17 m, effettiva 15 m). Sorgente collimata e con divergenza solare. Rivelatore (300 mmx300mm)

La Fig. 10 mostra invece la simulazione della Striscia 1.6mx1.2m sferica sul lato orizzontale con raggio 30 metri, sferica in verticale con raggio 34 metri. Sorgente collimata e sorgente di vergente a dx, rivelatore 30cmx30cm

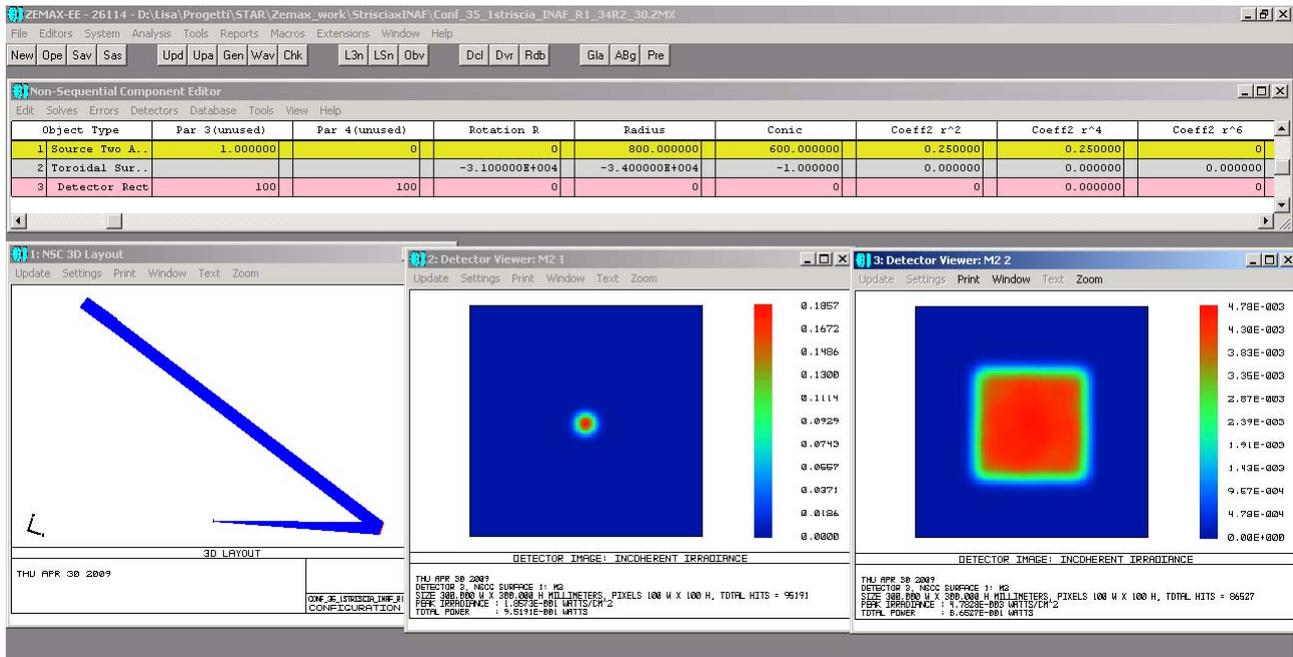


Figura 10 Striscia 1.6m x 1.2m sferica sul lato orizzontale con raggio 30 metri, sferica in verticale con raggio 34 metri. Sorgente collimata e sorgente di vergente a dx, rivelatore 30cm x 30cm

- Striscia con raggio di curvatura verticale 34 m e orizzontale di 30 m (focale nominale 17 m, effettiva 15 m). Sorgente collimata (immagini centrali) e con divergenza solare. Rivelatore (300 mmx300mm).

Le immagini riportate in Fig. 11 al centro e a dx rappresentano i casi con divergenza nulla e divergenza solare, e in basso in cui il primo termine di asfericità superficiale è non nullo. ($\alpha_1 = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2}$, confrontabile con il termine $1/(2R)$ che compare nell'equazione della superficie toroidale nel caso in cui $K=-1$)

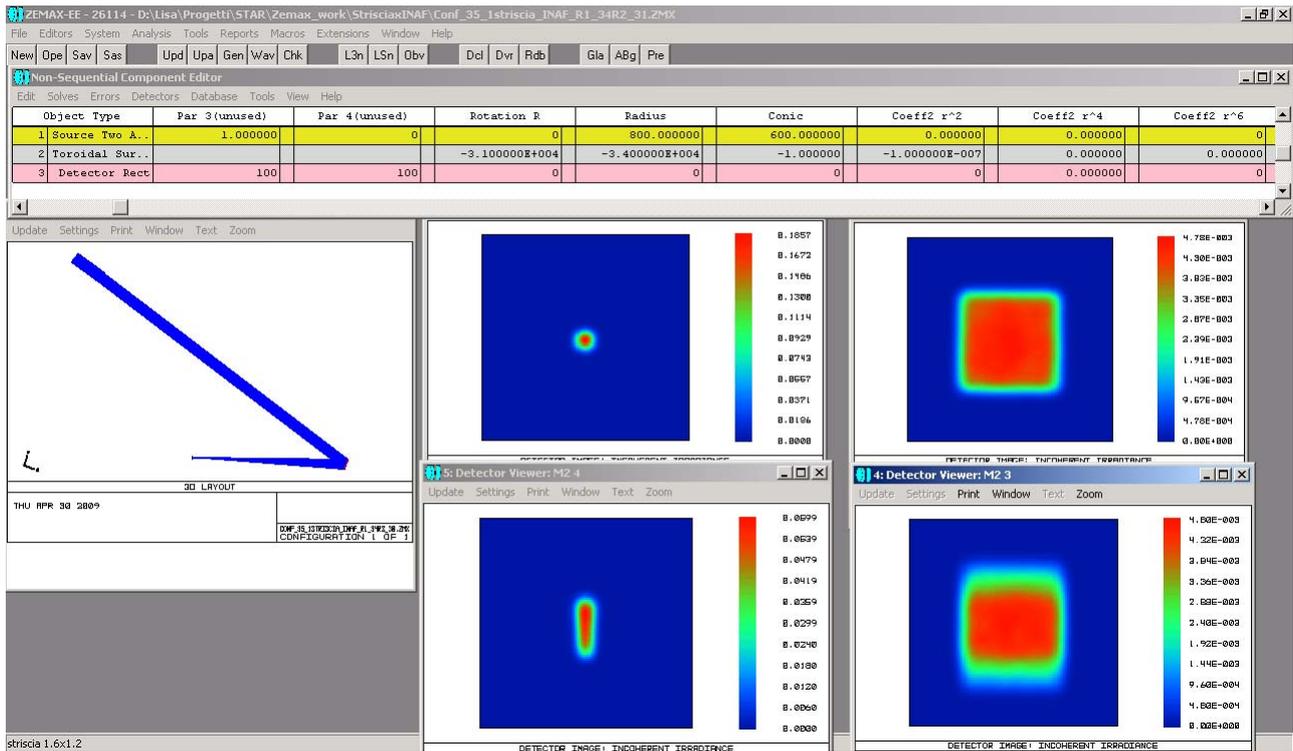


Figura 11 Le immagini in basso rappresentano i casi con divergenza nulla e divergenza solare, in cui il primo termine di asfericit  superficiale   non nullo. ($\alpha_1 = \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^{-2}$, confrontabile con il termine $1/(2R)$ che compare nell'equazione della superficie toroidale nel caso in cui $K=-1$)

Conclusioni

Gli effetti sul cambiamento di geometria dello spot si osservano modificando i raggi di curvatura sui due assi della striscia (vedi anche report INOA di dicembre) e non cambiandone la conicit  (passando da parabola, sfera e ellisse).

Queste simulazioni non sono sufficienti a simulare gli effetti provocati da effetti di distorsioni dovute ad incollaggio e di curvatura non omogenea sulla striscia, ma danno una stima di cosa avviene alla geometria del fuoco cambiando i raggi di curvatura dello specchio. Per fare una simulazione che tenga conto di questi effetti sarebbe necessario usare curve ottenute dalla sovrapposizione di superfici con raggi di curvatura diversi, che per essere simulate richiedono una progettazione diversa, usando sistemi CAD o modelli ad elementi finiti.