



Stray-light suppression analysis of
the Space Optics Calibration Chamber
(SPOCC)

G. Crescenzo, S. Fineschi, G. Massone

Report nr. 139

date: 19/10/2010

**DOCUMENT CHANGE RECORD**

Sheet: 1 of 1

| DATE | DESCRIPTION OF CHANGE | BY | APPROVED BY |
|------------|---------------------------------|---------------|-------------|
| 29/06/2010 | 1 st draft Pag. 6-8 | G. CRESCENZIO | S.FINESCHI |
| 03/08/2010 | 2 nd draft Pag 9-14 | | |
| 04/09/2010 | 3 rd draft Pag 15-20 | | |
| 18/10/2010 | 4 th draft Pag 21-25 | | |



Indice

| | |
|---|-------|
| Adattamento del sistema ai vincoli meccanici e ottimizzazione finale..... | 21 |
| Baffle | 16 |
| Baffle beamline..... | 18 |
| Baffle prima sezione e trappola..... | 16 |
| Bibliografia..... | 24 |
| Definizione dei Baffle..... | 10 |
| Definizione della trappola | 9 |
| Detector | 7 |
| Dimensioni pipeline: | 5 |
| DOCUMENT CHANGE RECORD | 2 |
| Indice delle Figure | 4 |
| Introduzione Baffle e Disegno OPSys..... | 9 |
| Luce retro riflessa dall'occultatore | 14 |
| Metis..... | 16 |
| Misure finali..... | 23 |
| Modifiche ai baffle e diagramma di vignettamento | 19 |
| Modifiche finali..... | 19 |
| Ottimizzazione sistema..... | 14 |
| Prima fase: Luce che non colpisce lo specchio | 12 |
| Prossimi Passi | 8 |
| Risultati..... | 7 |
| Score..... | 16 |
| Seconda fase: Luce che colpisce lo specchio | 13 |
| Sensore e introduzione baffle di SCORE | 16 |
| Simulazioni | 6; 11 |
| Simulazioni del Coating | 6 |
| Simulazioni su M0..... | 21 |
| Sorgenti | 14 |
| Trappola di luce | 1; 5 |
| Vincoli progettuali | 5 |



Indice delle Figure

| | |
|---|----|
| Figura 1 A sx la prima versione della trappola profondità 20 cm 2 coni, a dx la seconda versione, profondità 20 cm 3 coni..... | 6 |
| Figura 2 La simulazione, i raggi vengono diffusi da ogni superficie. | 7 |
| Figura 3 Il Detector Viewer. La scala è logaritmica log-15, viene raffigurata l'immagine dei raggi che raggiungono il detector. | 8 |
| Figura 4 Disegno in trasparenza dei possibili cammini ottici dei raggi dalla sorgente allo strumento. | 10 |
| Figura 5 Dettaglio della trappola a 2 elementi e dei baffle. | 11 |
| Figura 6 Studio dei baffle. Il disegno non è in scala. | 11 |
| Figura 7 Dettaglio dei Baffle e della trappola, in rosso si nota la forma del baffle. | 12 |
| Figura 8 Possibile configurazione della facility e propagazione dei raggi all'interno della stessa. | 12 |
| Figura 9 Luce diffusa dalla trappola..... | 13 |
| Figura 10 Luce diffusa dalla trappola che raggiunge EO | 13 |
| Figura 11 Luce riflessa dallo specchio..... | 14 |
| Figura 12 Luce riflessa dallo specchio che raggiunge EO | 14 |
| Figura 13 La luce retro riflessa e Il dettaglio della parte finale. | 15 |
| Figura 14 Il fascio di luce diretta dalla sorgente alo strumento da testare..... | 16 |
| Figura 15 Il campo di vista dello strumento. | 16 |
| Figura 16 la luce retro riflessa dall'occultatore esterno di SCORE. | 17 |
| Figura 17 Un dettaglio dei baffle all'estremità della prima sezione di pipeline. Sono previsti dei buchi per fare passare la luce proveniente dalla sorgente. Queste aperture hanno anche il compito di schermare raggi che arrivano dalla sorgente con divergenza maggiore di quella desiderata..... | 18 |
| Figura 18 Un dettaglio della trappola e dei primi 2 baffle che, accoppiati alla trappola stessa ne aumentano l'efficienza..... | 18 |
| Figura 19 I primi 5 baffle dopo la trappola | 19 |
| Figura 20 I baffle lungo la pipeline che aumentano l'efficienza dl sistema. | 20 |
| Figura 21 Una veduta 3D del sistema SPOCC. | 21 |
| Figura 22 I raggi provenienti dalla sorgente con divergenza pari a quella del sole 1AU riflessi e collimati dallo specchio inclinato di 1° attorno l'asse x | 22 |
| Figura 23 A sinistra il digramma di vignetta mento del sistema, a destra la foot print dei fasci sull'ultimo baffle del sistema. Si vede che in questa configurazione i baffle non producono più vignetta mento del sistema..... | 23 |
| Figura 24 L'apertura di entrata di SCORE è illuminata uniformemente dal sistema con lo specchio inclinato di 1°. Questo risultato si ottiene traslando lo strumento sul piano dell'occultatore di 116.5 mm..... | 23 |
| Figura 25 Un immagine 3D della configurazione finale del sistema | 24 |



Prefazione

Questo report riassume tutte le considerazioni e le simulazioni fatte da luglio ad Ottobre 2010. In una prima fase era scritto in stile di “diario” che in questa versione è stato ristrutturato. Sono però ancora presenti in alcuni paragrafi considerazioni in contraddizione con considerazioni fatte in paragrafi precedenti ma questo fa parte del processo di evoluzione nello studio di un problema da 0 fino alla (speriamo) soluzione.

Introduzione

Questo rapporto tecnico tratta il problema del controllo della luce diffusa relativamente a SPOCC, una facility inserita nel progetto OPSys. Si tratta di una camera da vuoto di considerevoli dimensioni infatti solo la parte che contiene il fascio è lunga quasi 7 metri e alla fine di questa parte si trova la camera test che contiene il banco ottico sul quale verrà montato lo strumento da collaudare. La SPOCC sarà inizialmente destinata ad ospitare i 2 coronografi spaziali SCORE e METIS, questi strumenti sono destinati ad osservare la corona solare dallo spazio (o dalla alta atmosfera nel caso di SCORE). Nella misura della corona solare la luce diffusa o “*Stray light*” è un parametro critico a causa della debolezza della corona stessa nei confronti della luce diretta del sole che, se pur schermata produce frange di diffrazione di intensità paragonabile con l’oggetto della ricerca ossia la corona solare stessa. In SPOCC il sole sarà simulato da una sorgente studiata ad hoc che illuminerà lo strumento sotto esame con un fascio che riproduce la divergenza solare. Poiché l’obiettivo è quello di misurare il segnale della corona solare diffratto dall’ occultatore esterno del coronografo il livello di rumore nel sistema deve essere estremamente basso e in una proporzione dell’ordine di 10^{-9} rispetto al segnale proveniente dal sole. La maggior parte del rumore può arrivare dalla luce diffusa generata dalla sorgente di SPOCC e quindi il controllo della luce diffusa di SPOCC è un punto chiave della buona riuscita dei test. Il sistema di abbattimento della “*Stray light*” sarà strutturato in due fasi: la prima una trappola di luce da posizionare dietro lo specchio collimatore per “intrappolare” la luce presente al di là del bordo dello specchio ma dentro il campo di vista e quindi tra campo interno ed esterno strumento; un sistema di baffle per bloccare i residui raggi che fuoriescono dalla trappola o vengono diffusi dallo specchio o vengono diffusi dalle parti interne di SPOCC.



Trappola di luce

La trappola deve far in modo che il sensore “veda buio” guardando al fondo della pipeline ma senza interferire con la porzione di campo di vista interno che sottende lo specchio.

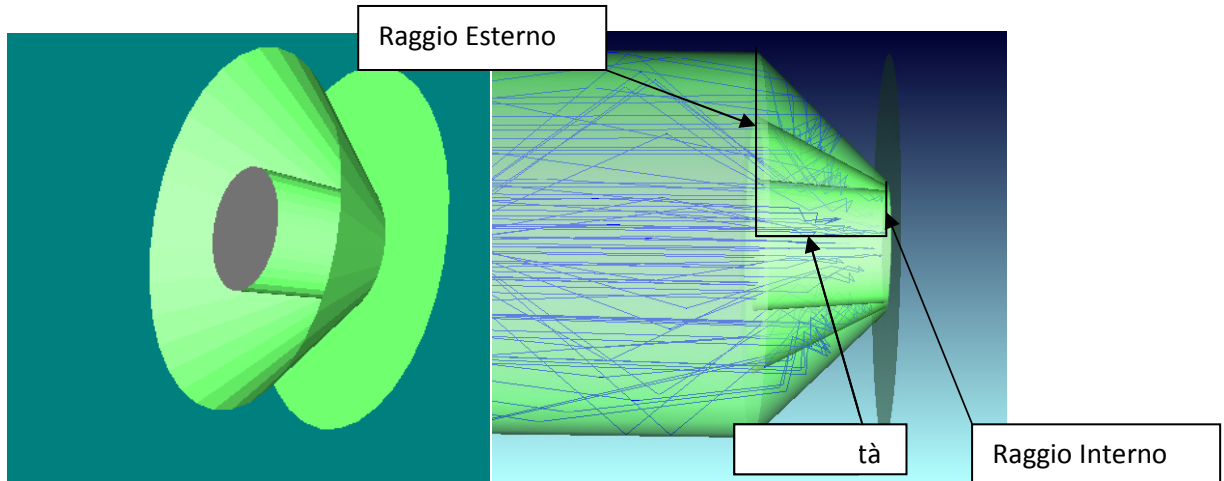


Figura 1 A sx la prima versione della trappola profondità 20 cm 2 coni, a dx la seconda versione, profondità 20 cm 3 coni

Un esempio potrebbe essere quello nella figura:

- il disco grigio al centro rappresenta lo specchio;
- il disco più grande rappresenta il fondo della pipeline;
- i 2/ 3 tronchi di cono concentrici rappresentano la trappola.

In questa seconda versione della trappola ho aggiunto un terzo cono.

Trade-off tra profondità della trappola e numero di riflessioni

Esiste un trade-off tra profondità della trappola e numero di riflessioni all’interno della trappola. Una trappola più profonda permette un numero di riflessioni maggiore e quindi un migliore assorbimento. D’altro canto c’è l’esigenza di avvicinare il più possibile la montatura dello specchio al fondo della pipeline per ragioni di stabilità meccanica del braccio che sorregge lo specchio stesso. Nella prima versione della trappola la profondità era stata ridotta a 20 cm dai 30 iniziali, e l’inclinazione della superficie laterale era circa 43. In questa configurazione erano presenti parecchi raggi in uscita dalla trappola con una inclinazione piccola rispetto la linea di vista. Per ovviare a questo difetto sarebbe stato necessario inclinare di più la superficie del cono interno. Qui interviene un ulteriore vincolo meccanico in quanto il braccio che sorreggerà lo specchio avrà un diametro dell’ordine di quello dello specchio quindi il raggio interno ed esterno del cono interno devono essere simili. A questo punto è stato necessario introdurre un terzo cono intermedio tra i due con inclinazione di circa 27°. Il risultato è quello di ottenere più riflessioni ed angoli di uscita dei raggi più grandi rispetto la linea di vista. Riassumo di seguito le dimensioni dei coni:

| | Raggio Esterno (mm) | Raggio Interno (mm) | Profondità (mm) | Angolo (gradi) |
|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| Cono Esterno | 292.5 | 100 | 200 | 43,9053° |
| Cono Intermedio | 196 | 92.5 | 200 | 27.3616° |
| Cono Interno | 100 | 85 | 200 | 4,2891° |

Dimensioni pipeline:

- Lunghezza pipeline (sensore-fondo): 9291,4 mm;
- FoV: 3.06062°;

Simulazioni Trappola

Sono state eseguite delle simulazione Zemax della trappola. I dati generali della simulazione sono quelli descritti in precedenza. Il concetto è quello di generare un fascio che parte da un punto posto a 9291,4 mm dalla trappola, fare rimbalzare il fascio nella trappola e vede il flusso residuo che ritorna alla sorgente. L'obiettivo è quello di dare l'irradianza del fascio (filtrato dalla trappola) su un sensore posto sulla sorgente. Verranno inseriti nella simulazione 6 elementi:

1. la sorgente;
2. il rivelatore;
3. la pipeline come un "cilindro" che assorbe parte della luce ne diffonde il resto;
4. lo specchio che nella simulazione serve solo a coprire parte della trappola quindi sarà un materiale completamente assorbente;
5. la trappola con i suoi 3 elementi opportunamente rivestiti;
6. il fondo della pipeline rappresentato come uno specchio.

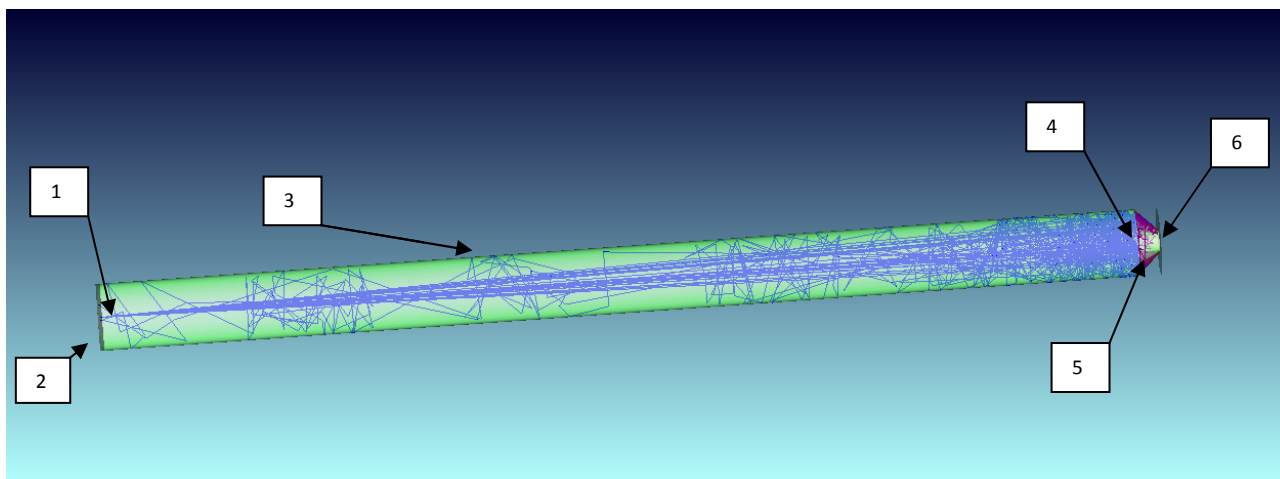


Figura 2 La simulazione, i raggi vengono diffusi da ogni superficie.

Simulazioni del Coating

Il coating che verrà usato nella trappola sarà il Vel-Black. Si tratta di un rivestimento con un lato adesivo e l'altro composto di nano tubi di carbonio che assorbono la maggior parte del flusso incidente. La riflettività media di questo materiale per lunghezza d'onda di 532 nm è lo 0.5% del flusso incidente, il rimanente flusso viene assorbito. I raggi che non vengono assorbiti vengono diffusi in maniera lambertiana. In realtà questa è una valutazione che non tiene conto dell'angolo di incidenza del fascio sulla superficie, infatti per angoli di incidenza tre 30° e 50° viene data una BRDF dell'ordine di 10^{-4} [4],[5]

Per la superficie interna della pipeline si è scelto (non avendo per il momento indicazioni precise) un rivestimento ideale che diffonde lambertianamente il 10% della radiazione incidente, assorbe il 90% e trasmette lo 0%.

E' stato impostato arbitrariamente il parametro di scattering "number of rays" a 10. Questo parametro definisce il numero di raggi in cui viene ridistribuita l'energia di un singolo raggio incidente dopo ogni diffusione.

Il parametro "Scatter Fraction" è stato impostato a 1 questo significa che i raggi vengono completamente diffusi dalle superfici, non vi è riflessione ma solo diffusione.

Nella simulazione sono stati usati 5000 raggi, ogni raggio si suddivide in 10 raggi a ogni contatto con una superficie. La potenza in entrata è 1W con lunghezza d'onda di 550 nm.

Detector

Il Detector usato è una superficie quadrata di dimensioni 292.5X292.5 mm, un quadrato che contiene la base della pipeline, suddivisa in 2000X2000 pixel.

Risultati

Nella simulazione il 39.5% dei raggi subisce 7 riflessioni all'interno della trappola, il rimanente 60.5% subisce 6 riflessioni all'interno della trappola questo nel caso riflessione 100% diffusione 0%. Tuttavia poiché il parametro "Scatter Fraction" è stato impostato ad 1 questo dato ha un significato relativamente importante.

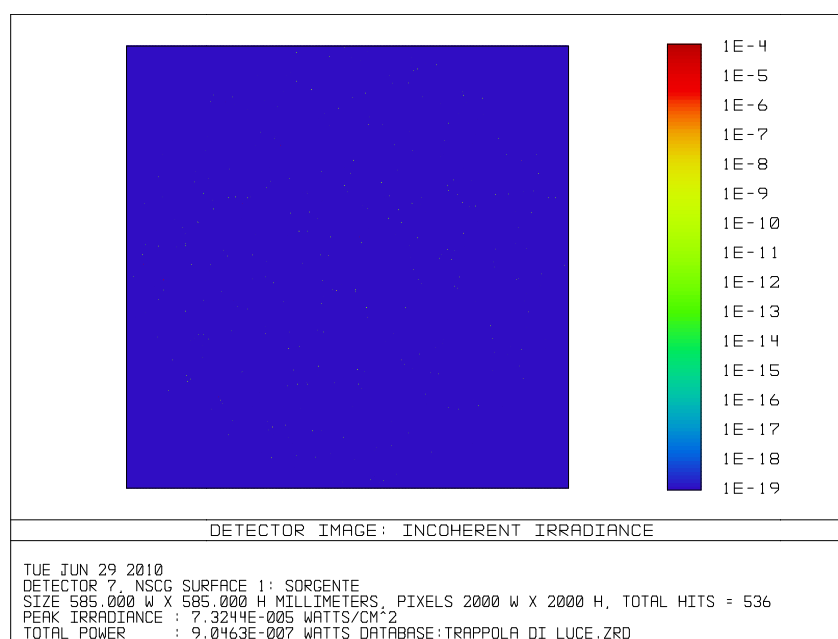


Figura 3 Il Detector Viewer. La scala è logaritmica log-15, viene raffigurata l'immagine dei raggi che raggiungono il detector.

La simulazione rivela $9.0463E-07$ W al detector. Si tratta di flusso totale su un detector grande come tutta la superficie della base della pipeline. Ha più senso dare l'irradianza che è $1.0573E-11$ W/mm². Con un picco massimo di $7.3244E-05$ W/mm².





Introduzione Baffle e Disegno OPSys

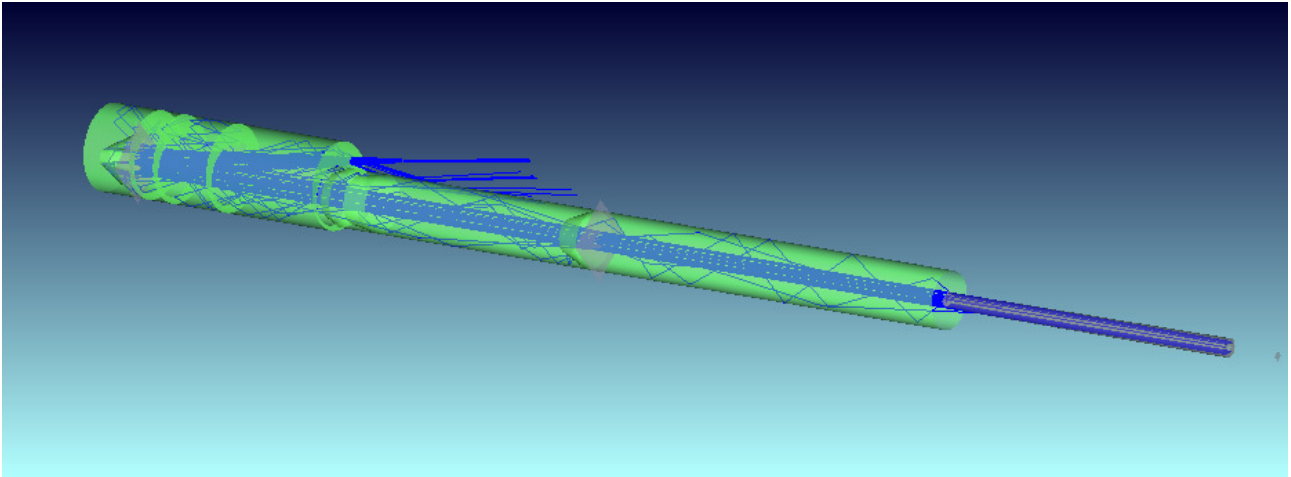


Figura 4 Disegno in trasparenza dei possibili cammini ottici dei raggi dalla sorgente allo strumento.

Lo scopo di questo studio è creare una sorgente attorno la quale si veda buio. Il sistema è composto da una sorgente dimensionata sulla divergenza del sole ($\Omega_0 = 33' \rightarrow 0.55^\circ$). La sorgente viene collimata da uno specchio parabolico off-axis [8] e il fascio finale incide sull'apertura frontale di SCORE, l'External Occulter (EO). L'obiettivo iniziale è ottenere su EO un segnale proveniente dal fondo della facility in cui la parte proveniente dallo specchio si di almeno 10 ordini di grandezza maggiore della parte proveniente da raggi diffusi. In un secondo momento il detector verrà spostato dietro il secondo occultatore M0, verrà aumentato il numero dei raggi di almeno 3 ordini e verrà considerato il rapporto luce incidente/rivelata come parametro decisivo.

Dati OPSys per Score

| | |
|---------------------------|----------------|
| Diametro sorgente: | 19.2 mm |
| diametro collimatore: | 165 mm |
| diametro EO : | 100.32 mm |
| distanza collimatore –EO: | 6774 mm |

Definizione della trappola

Facendo riferimento al capitolo precedente ho selezionato la prima trappola come soluzione finale. Questa trappola è composta di 2 elementi cilindrici anziché 3. Questa decisione è dovuta al fatto che bisogna tenere il bordo dei coni fuori dal campo di vista del sensore perché in incidenza 0° il Vel Black è praticamente riflettente. In questa maniera si perde un po' di efficienza che poi però può essere recuperata aggiungendo baffle nella prima parte della facility.

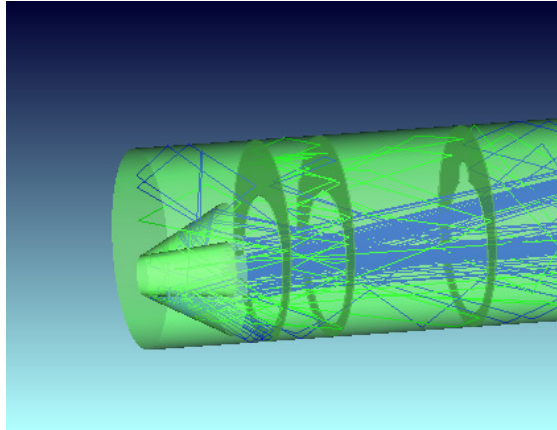


Figura 5 Dettaglio della trappola a 2 elementi e dei baffles.

Dati per la trappola

Posizione fondo Facility: $(y,z)=(-350, -2266.650)$ mm rispetto la sorgente considerata $(0,0)$. r_1 è il raggio sul fondo, r_2 è il raggio di uscita, l è la lunghezza della trappola.

Cono Interno $r_1 = 60$ mm, $r_2=82.5$ mm, $l = 266.650$ mm

Cono Esterno $r_1 = 60$ mm, $r_2=200$ mm, $l = 266.650$ mm

Per ottimizzare l'efficienza è stato ignorato il trade off descritto nel paragrafo precedente anche se si è cercato di ridurre la lunghezza dai 30 cm iniziali.

Definizione dei Baffle

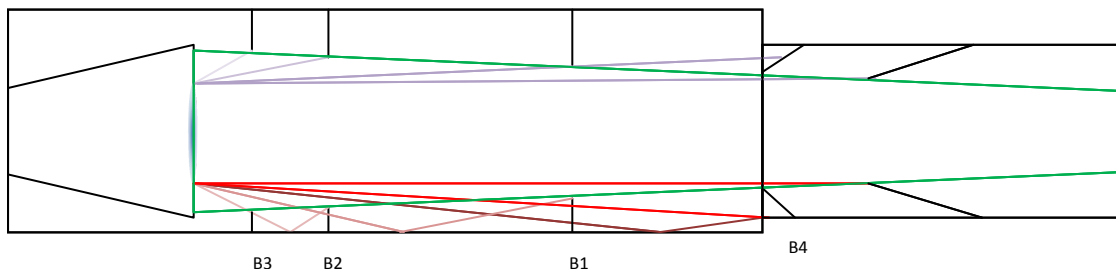


Figura 6 Studio dei baffles. Il disegno non è in scala.

Nella figura si vede la procedura con cui sono stati decise forma e posizione dei baffles. La regola fondamentale è che i baffles devono bloccare i raggi diffusi da tutto ciò che sta tra lo specchio e il bordo della trappola senza però essere visibili dal campo di vista dello strumento (raggi verdi). Si parte dal bordo inferiore dello specchio (raggi rossi) per ragioni di asimmetria del sistema infatti, se si riesce a bloccare i raggi che partono dal bordo inferiore, gli stessi baffles bloccheranno anche quelli che partono da bordo superiore dello specchio in quanto i baffles superiori sono più profondi (raggi viola). Partendo dal raggio rosso scuro si trova il raggio che dopo la riflessione sulla superficie del tubo va oltre l'interfaccia tra le due parti del tubo. Si posiziona il baffle B1 in modo da bloccare questo raggio. Con la stessa tecnica riferendosi a B1 si posiziona B2 e infine B3. Un baffle tra lo specchio e B3 sarebbe inutile e dannoso in quanto, essendo troppo vicino B3 lo "illuminerebbe". Ultima operazione è quella di bloccare i raggi che superano l'interfaccia tra i tubi. B4 B5 bloccano i raggi fino quasi la linea di collimazione dello specchio.

Un ulteriore baffle B6 posizionato ad hoc all'interno del secondo tubo ha il compito di bloccare i raggi che compiendo riflessioni multiple escono con angoli imprevedibili. Si tratta comunque di raggi pesantemente indeboliti Nella figura successiva si vede il disegno Zemax.

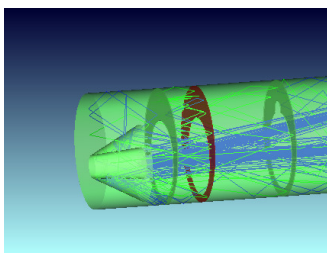


Figura 7 Dettaglio dei Baffle e della trappola, in rosso si nota la forma del baffle.

I baffle hanno due forme diverse. B1,B2,B3 sono delle sezioni piane di cono sghembo in quanto a causa dell'asimmetria del sistema risulta difficile disegnarli a cono. B4,B5,B6 sono tronchi di cono.

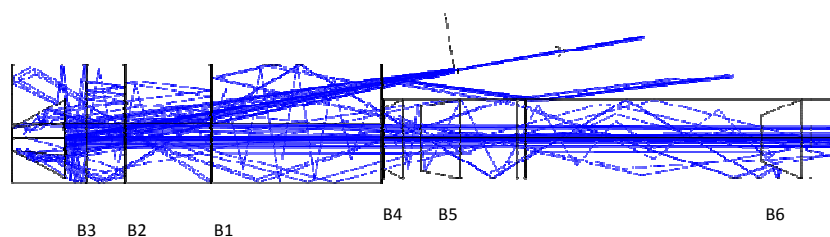


Figura 8 Possibile configurazione della facility e propagazione dei raggi all'interno della stessa.

Simulazioni

dati simulazione

- Potenza incidente 1W
- Numero raggi simulazione: 5000
- Diffusione lambertiana ad ogni superficie
- numero di raggi in cui il raggio incidente si divide dopo la riflessione: 10
- fattore di diffusione lambertiana ad ogni superficie: 1
- fattore di diffusione lambertiana dello specchio 10^{-9}
- coating superficie interna del tubo: riflessione 10%, assorbimento 90%, trasmissione 0%
- coating baffle e pareti normali all'asse ottico: (Vel Black) riflessione 0.5%, assorbimento 99.5%, trasmissione 0%

Prima fase: Luce che non colpisce lo specchio

Lo specchio viene illuminato con un fascio di divergenza maggiore dello specchio e si calcola come la trappola assorba questa luce diretta. Il sensore posizionato subito dopo la trappola raccoglie la luce che non colpisce direttamente lo specchio ma che entra nella trappola e ne esce

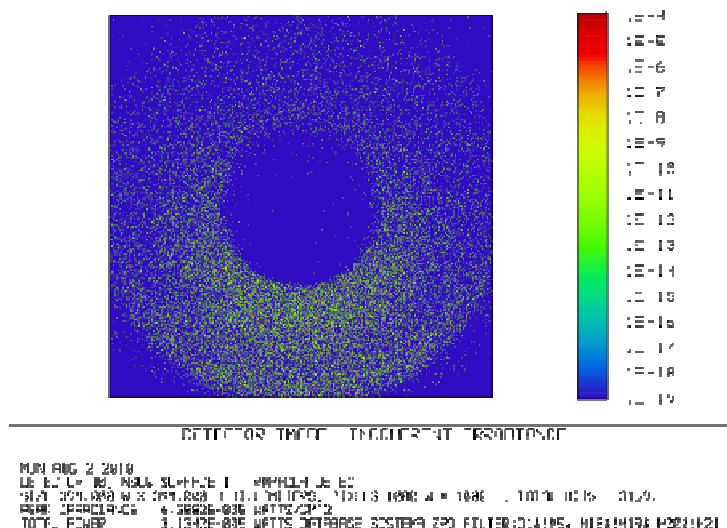


Figura 9 Luce diffusa dalla trappola.

Quindi dalla trappola esce una potenza di $3.13E-05$ W distribuita non uniformemente. Ora questa luce attraversa i baffles e incide su un secondo sensore delle dimensioni dell' EO, posizionato di fronte a EO stesso.

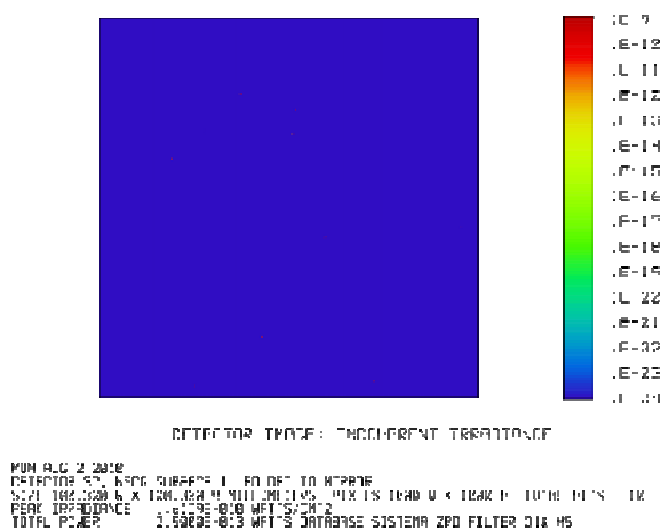


Figura 10 Luce diffusa dalla trappola che raggiunge EO

La situazione è migliorata in quanto ora la luce rilevata è $2.5E-13$ W quindi i baffles e le riflessioni multiple sulla superficie interna del tubo migliorano la situazione di 8 ordini di grandezza!

Seconda fase: Luce che colpisce lo specchio

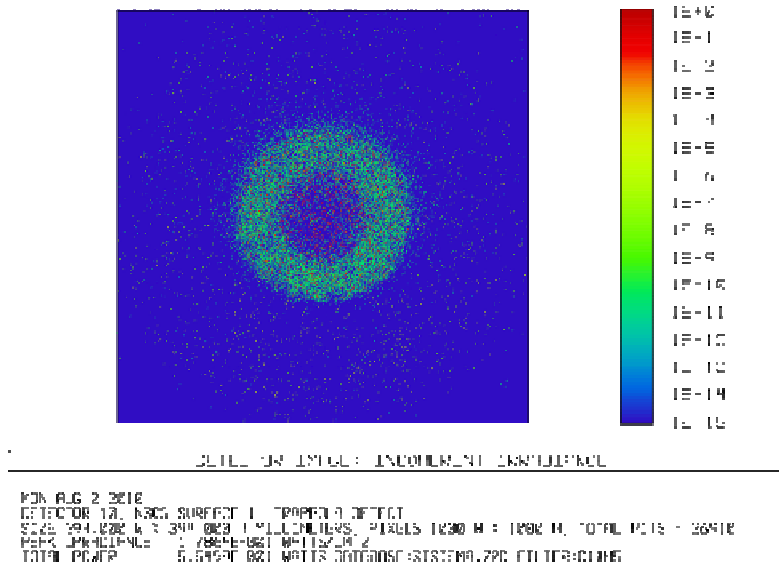


Figura 11 Luce riflessa dallo specchio

Il sensore posizionato subito dopo lo specchio rivolto verso lo specchio rivela un segnale di $5.5499E-01W$ che contiene però anche raggi diffusi dai baffle vicini e riflessi a loro volta dallo specchio. Si tratta però di raggi che incidono sullo specchio con angoli enormi rispetto la linea di vista e quindi non entrano nel campo di vista del sensore. Ciò che interessa è bloccare la maggior parte di questi raggi con i baffle. Nella figura sotto si vede la luce incidente su EO.

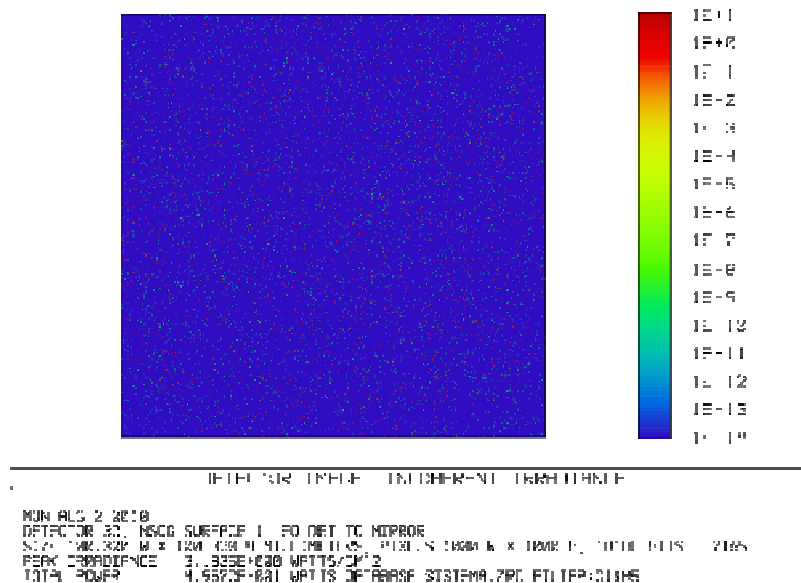


Figura 12 Luce riflessa dallo specchio che raggiunge EO

I baffle riducono il segnale proveniente dallo specchio del 10% circa. Ho quindi un segnale proveniente dallo specchio $5E-1^1$ e un segnale proveniente dal fondo $2.5E-13$ il che significa che il rapporto tra segnale e fondo è $2E12$.

¹ La potenza misurata sullo specchio è circa la metà di quella iniziale questo perché il fascio, come già detto è simulato con una divergenza maggiore del necessario. In effetti la sorgente anche se ben direzionata manderà sicuramente luce fuori dallo specchio sia per diffusione della superficie dello specchio sia per diffusione dal bordo dello specchio. Tale



Luce retro riflessa dall'occultatore

Su EO arriva luce diretta dalla sorgente collimata, questa luce porta la potenza iniziale in quanto non ha subito assorbimenti da parte di nessuna superficie, solo la rugosità dello specchio ne diffonde una piccola percentuale che si può stimare in un fattore 10^{-9} rispetto al flusso incidente. EO quindi anche se rivestita esternamente di Vel Black diventa una sorgente che diffonde luce indietro nella facility.

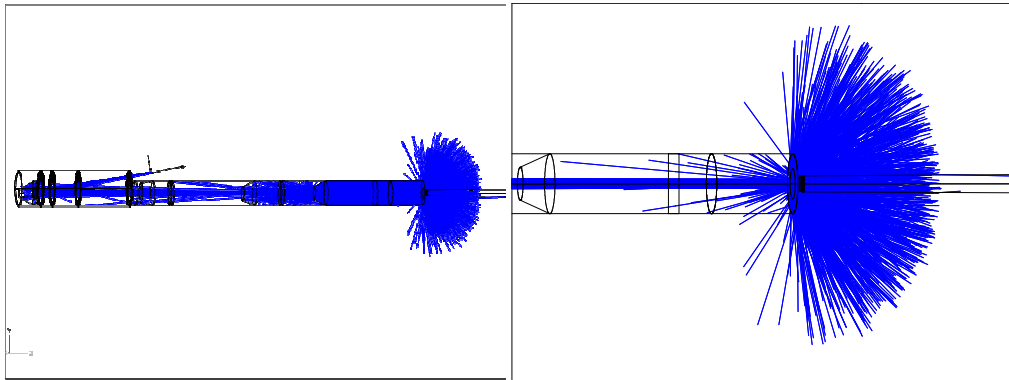


Figura 13 La luce retro riflessa e il dettaglio della parte finale.

Una prima precauzione per evitare che questa luce, una volta reintrodotta nella pipeline illumini i baffle facendo crollare l'efficienza di tutto il sistema è quella di posizionare l'ultimo baffle lontano dalla apertura dello strumento. In alternativa sarà necessario studiare un sistema di intrappolamento di questi raggi.

luce si diffonderà nella facility provocando una perdita di potenza sullo specchio. Aumentando la divergenza inoltre parte del fascio non entra dal foro di entrata della facility e quindi si ha una seconda perdita.

Ottimizzazione sistema

Nel seguito la forma dei baffle sarà cambiata da tronco di cono a disco piatto questo essenzialmente per ragioni pratiche/economiche: i baffle cilindrici sono più costosi rispetto agli altri e sono mono posizionabili ossia se usati in posizioni differenti di quelle previste potrebbero provocare danni più che benefici. I baffle piatti sono “universali” ossia possono essere posizionati diversamente rispetto a quanto progettato inizialmente, questo potrebbe essere un beneficio in termini di tempo/denaro nel caso di utilizzi di SPOCC con altri strumenti.

Nel seguito verranno individuati i parametri su cui agire per l’ottimizzazione del sistema sia per i test SCORE sia per quelli METIS ma l’ottimizzazione, per il momento verrà eseguita solo per il sistema SCORE.

Sorgenti

Per valutare l’efficienza nel controllo della luce diffusa del sistema OPSys si usano 3 diversi tipi di sorgente:

- Sorgente diretta ossia la sorgente che realmente illuminerà il sistema, si tratta di una sorgente estesa, la cui dimensione vengono calcolata in base alle esigenze del sistema, i.e. simulare le dimensioni angolari del sole ad 1 A.U. o 0.3 A.U.

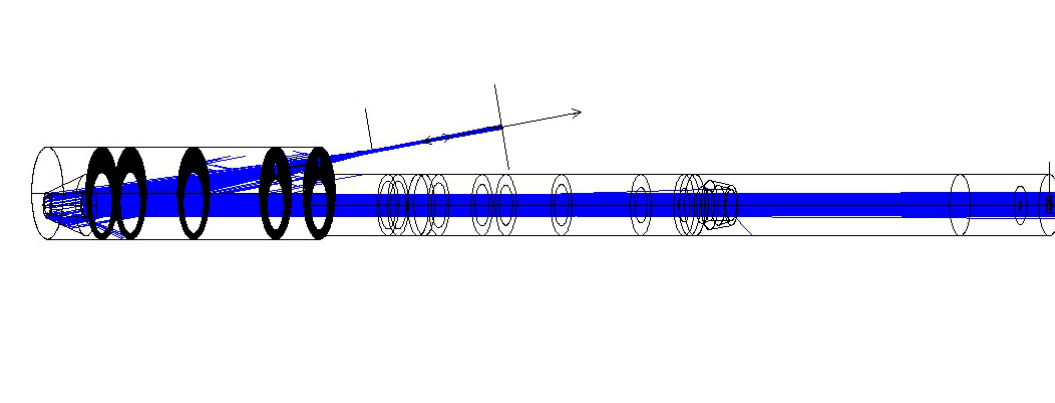


Figura 14 Il fascio di luce diretta dalla sorgente allo strumento da testare.

- Sorgente inversa, definisce il campo di vista massimo e minimo del sistema, è una sorgente puntiforme fittizia posta alla fine della beamline e con una divergenza tale da simulare il campo di vista dello strumento attraverso lo stop di apertura. Se i raggi di questa sorgente vengono intrappolati dal sistema trappola/baffle, allora lo strumento vedrà buio attorno allo specchio.

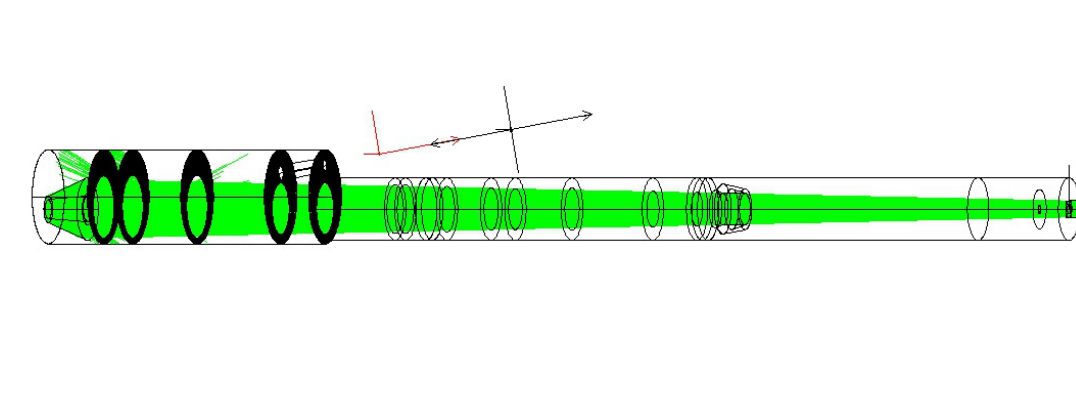


Figura 15 Il campo di vista dello strumento.



- La sorgente retroriflettente serve a valutare la frazione di luce proveniente dalla sorgente diretta, che viene retro riflessa dal primo stop del sistema i.e. EO. Questa luce, tornerà nel sistema e verrà a sua volta riflessa dai baffle verso il sensore, provocando quindi segnale non voluto. Si tratta di una sorgente estesa.

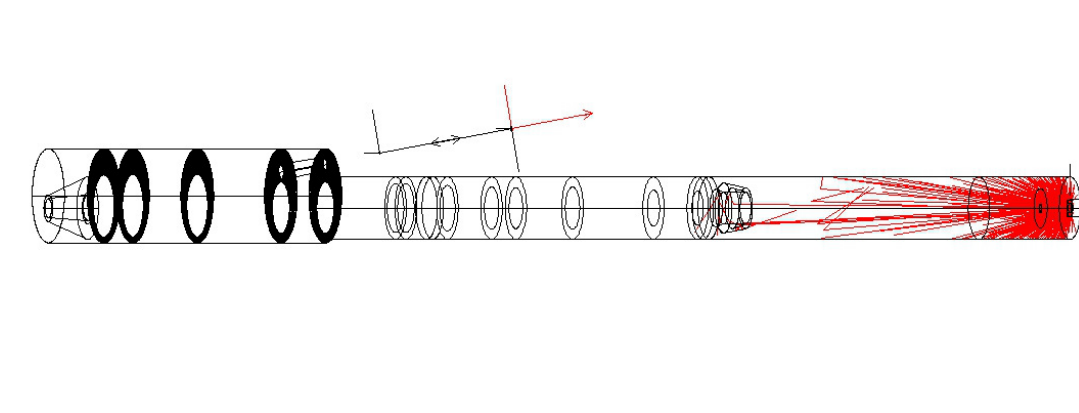


Figura 16 la luce retro riflessa dall'occultatore esterno di SCORE.

Score

Sorgente inversa: campo interno $\pm 0.45^\circ$; esterno $\pm 0.798^\circ$ alla trappola il fascio raggiunge i 198 mm di diametro.

Sorgente diretta: si tratta di un disco di raggio 9.6 mm posta a 2000 mm dallo specchio collimatore di OPSys. Questa sorgente provoca un fascio collimato con la divergenza del sole che va da 82.5 mm a circa 110 mm di raggio.

Sorgente Retroriflettente: questa sorgente ha le dimensioni dello stop di E.O. 31 mm e irradia in maniera lambertiana. La sua potenza è quella del fascio incidente ridotta del fattore di assorbimento di 95%.

Metis

Sorgente puntiforme: questa sorgente serve solo in fase iniziale per ritrovare il fuoco del sistema OPSys/Metis, Si tratta di una sorgente puntiforme posta sul punto oggetto del sistema.

Sorgente inversa: campo interno $\pm 1.4^\circ$; $\pm 3^\circ$.

Sorgente Diretta: in questo caso la sorgente diretta è un anello di diametro tale da essere focalizzato sul bordo dell' E.O. di metis. Le dimensioni sono: raggio interno: 9.3 mm, raggio esterno: 11 mm

Sensore e introduzione baffle di SCORE

Il sensore usato per le simulazioni è posto sulla apertura frontale del sistema e ha le dimensioni della stessa, in un secondo momento verrà posto un sensore dietro la seconda apertura del sistema per valutare la quantità di raggi che effettivamente entrano nel sistema.

Baffle

Baffle prima sezione e trappola

Baffle sorgente (score+metis)

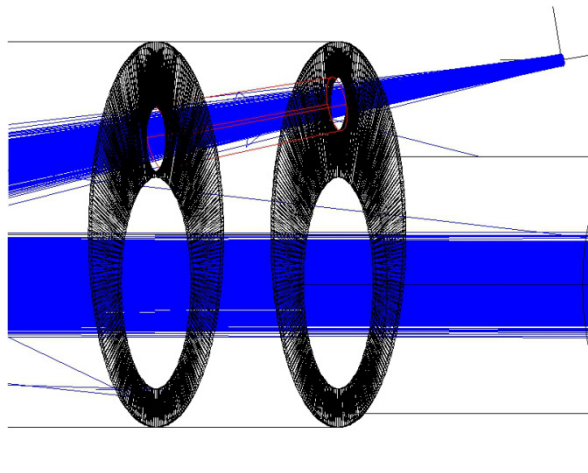


Figura 17 Un dettaglio dei baffles all'estremità della prima sezione di pipeline. Sono previsti dei buchi per fare passare la luce proveniente dalla sorgente. Queste aperture hanno anche il compito di schermare raggi che arrivano dalla sorgente con divergenza maggiore di quella desiderata.

Il loro scopo è quello di limitare la divergenza del fascio entrante, dando così più libertà nella progettazione della sorgente. Sono inoltre necessari in quanto sono dimensionati sul fascio con divergenza maggiore ossia quello di METIS, in quanto la loro sostituzione potrebbe essere difficile da effettuarsi. Si tratta di due fori e di un tubo che li unisce. I diametri e le posizioni dei fori sono calcolati in base al raggio del fascio e all'angolo che lo stesso fa con l'asse della sezione di specchio, 10° .

Trappola: la trappola è stata adattata in modo che il cilindro interno possa essere sfilato dal cilindro esterno smontando il fondo della camera.

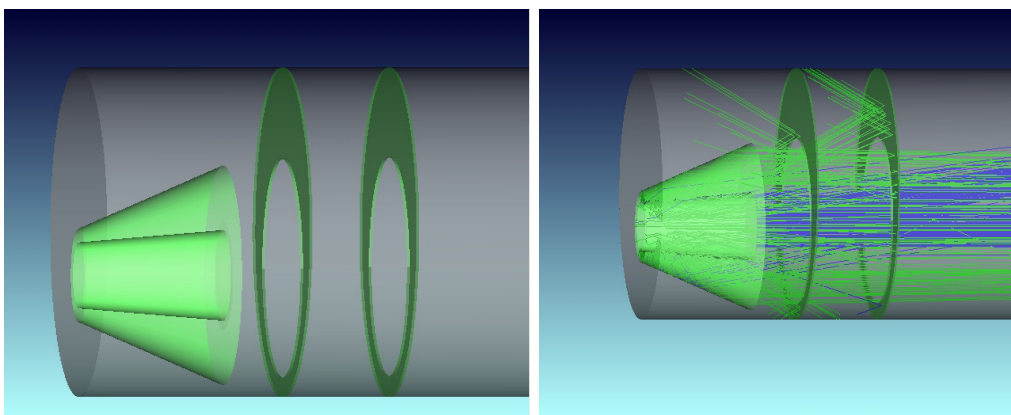


Figura 18 Un dettaglio della trappola e dei primi 2 baffles che, accoppiati alla trappola stessa ne aumentano l'efficienza

I primi 2 baffles sono accoppiati alla trappola e ne aumentano l'efficienza. Le misure della trappola sono:

| | Raggio Esterno (mm) | Raggio Interno (mm) | Profondità (mm) |
|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Cono Esterno | 200 | 85 | 266.65 |
| Cono Interno | 82.5 | 60 | 266.65 |
| <i>Cono Esterno</i> | <i>200</i> | <i>60</i> | <i>266.65</i> |
| <i>Cono Interno</i> | <i>82.5</i> | <i>60</i> | <i>266.65</i> |

Risultati

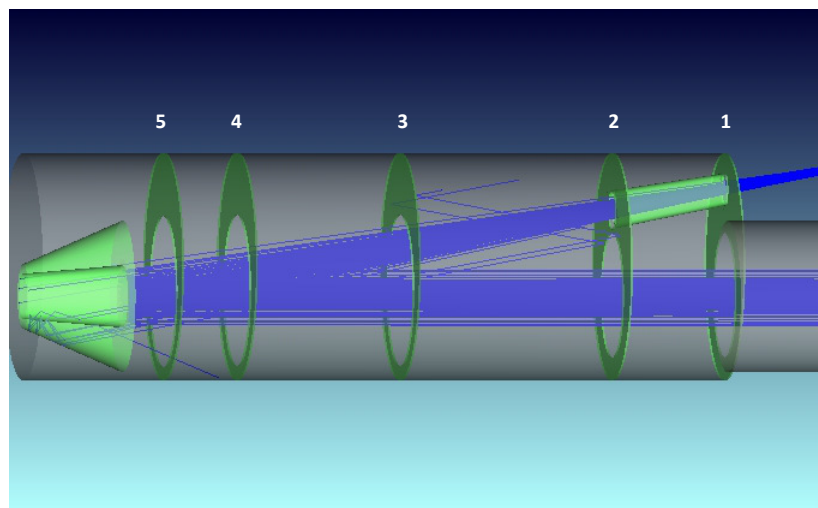


Figura 19 I primi 5 baffles dopo la trappola

| | Raggio Interno (mm) | Raggio esterno (mm) | 2° Raggio Fascio (mm) | Distanza dallo specchio (mm) |
|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| Trap 1 | 165 | 300 | 42 | 1728 |
| Trap 2 | 165 | 300 | 51 | 1311 |
| Trap 3 | 200 | 300 | - | 742 |
| Trap 4 | 200 | 300 | - | 305 |
| Trap 5 | 200 | 300 | - | 108 |

Sono state lanciate simulazioni con i seguenti parametri:

- Potenza irradiata 1W;
- Numero raggi simulazione: 5000;
- Diffusione lambertiana ad ogni superficie ;
- numero di raggi in cui il raggio incidente si divide dopo la riflessione: 10;
- fattore di diffusione lambertiana ad ogni superficie: 1 ;
- fattore di diffusione lambertiana dello specchio 10^{-6} ;
- coating superficie interna del tubo: riflessione 10%, assorbimento 90%, trasmissione 0%;
- coating baffle, trappola e pareti normali all'asse ottico: (Vel Black) riflessione 0.5%, assorbimento 99.5%, trasmissione 0%.

Considerando solo la trappola e i baffles della prima sezione, della sorgente inversa per Score il sensore rileva una potenza di $2 \cdot 10^{-7}$ W. Il risultato ci spinge a inserire altri baffles all'interno della beamline per ottenere un flusso incidente sul sensore inferiore a 10^{-10} .

Baffle beamline

I baffle nella parte seguente della beamline sono posizionati per minimizzare il flusso uscente dalla prima sezione di OPSys. Chiaramente non devono essere visibili dal sensore e non devono vignettare il fascio diretto ma devono bloccare i raggi diffusi dalla trappola. La loro forma è quella di anelli di cui do diametro e posizione nella beamline.

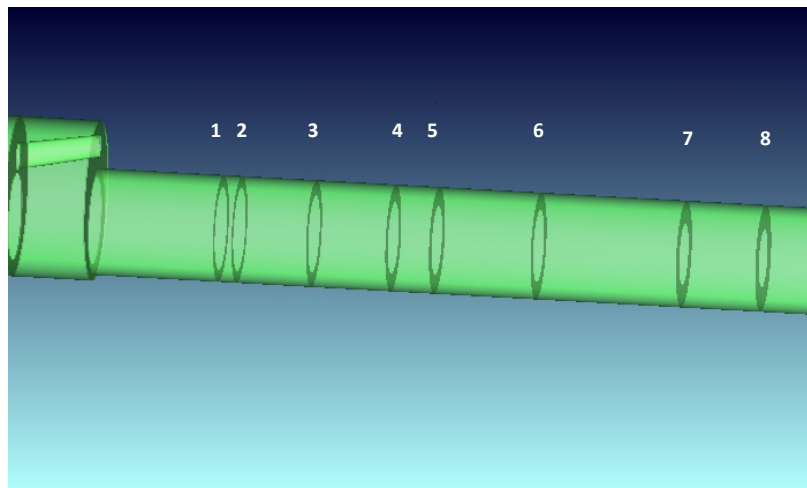


Figura 20 I baffle lungo la pipeline che aumentano l'efficienza dl sistema.

| | Raggio Interno (mm) | Raggio esterno (mm) | Distanza dallo specchio (mm) |
|----------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| Baffle 1 | 155 | 200 | 2092 |
| Baffle 2 | 155 | 200 | 2162 |
| Baffle 3 | 145 | 200 | 2445 |
| Baffle 4 | 135 | 200 | 2745 |
| Baffle 5 | 130 | 200 | 2910 |
| Baffle 6 | 130 | 200 | 3195 |
| Baffle 7 | 115 | 200 | 3845 |
| Baffle 8 | 108 | 200 | 4145 |

Lanciando ora la stessa simulazione lanciata in precedenza si ottiene un flusso misurato su tutto il sensore e proveniente dalla sorgente inversa pari a: $2 \cdot 10^{-13}$ W che può essere soddisfacente

L'aggiunta di altri baffle sarebbe dannosa in quanto, essendo troppo vicini a E.O. diffonderebbero la luce retro riflessa dallo stesso E.O. causando un aumento di luce diffusa.

Simulazione sorgente diretta

| Oggetti inseriti | Potenza rivelata attorno lo specchio (W) | N° di raggi | Forma trappola |
|---------------------|--|-------------|----------------|
| Nessuno | 3.5e-4 | 5e+4 | Estraibile |
| Solo trappola | 1.75e-6 | 5e+4 | Estraibile |
| Trap+2 baf sorgente | 8.8e-9 | 5e+4 | Estraibile |
| Trap+5 baf | 4.4e-11 | 5e+4 | Estraibile |
| Trap+7 baf | 0 | 5e+4 | Estraibile |
| Trap+7 baf | 1.74e-4 | 10e+4 | Estraibile |
| Trap+7 baf | 2e-5 | 10e+4 | Non estraibile |
| Trap+13 baf | 0 | 10e+4 | Non estraibile |
| Trap+13 baf | 8e-5 | 20e+4 | Non estraibile |

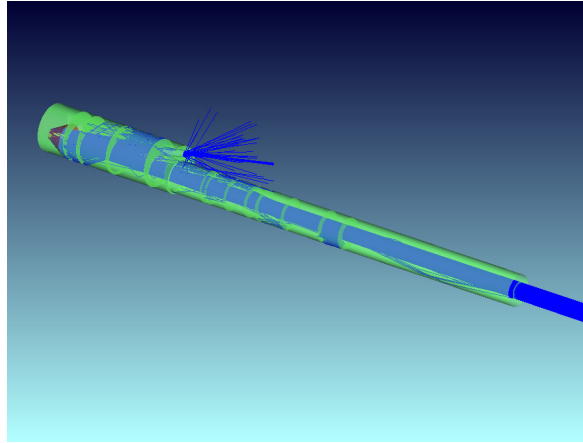


Figura 21 Una veduta 3D del sistema SPOCC.

Conclusioni

Risulta evidente dalle simulazioni che la trappola migliore è quella non estraibile. Questo perché l'inclinazione del cono interno della trappola è tale da intrappolare con più efficacia i raggi. I baffle piatti sembrano avere una efficienza minore rispetto a quelli conici ma daremo una stima effettiva della loro efficienza solo dopo i test eseguiti con il detector dietro l'occultatore M0.



Modifiche finali

In questa nuova evoluzione del sistema è stata presa in considerazione una nuova caratteristica: il campo di vista massimo senza vignettamento. Infatti lo specchio collimatore è stato progettato per poter essere inclinato di $\pm 2^\circ$ rispetto l'asse del sistema. Si è resa necessaria una modifica ai baffle per fare in modo che gli stessi baffle non vignettino il fascio collimato.

In fine la casa costruttrice della camera da vuoto ha fatto presente che l'inserimento di baffle nel prima sezione della camera era impossibile infatti la camera ha un diametro di 500 mm contro i 600 mm dei baffle. Si è resa necessaria a questo punto una modifica dei baffle. Un discorso analogo è stato fatto per i baffle nella pipeline, in questo caso, poiché 200 mm è il diametro del tubo bisognerà ridurre il diametro dei baffle di qualche millimetro per permettere ai meccanici di poterli infilare e fissare.

Ultima modifica è stata la lunghezza della prima parte della camera, infatti dai disegni finali della camera è emerso che tale parte è più profonda di circa 85 mm: dai 266 mm considerati si arriva a 351 mm.

Modifiche ai baffle e diagramma di vignettamento

Il sistema che può dare più problemi dal punto di vista del vignettamento è senza ombra di dubbio quello di SCORE in cui il fascio è collimato e quindi di diametro maggiore. Per quanto riguarda le misure con METIS non dovremmo avere problemi di questo tipo perché il fascio verrà focalizzato sull'apertura frontale del coronografo e quindi il diametro del fascio diminuirà allontanandosi dallo specchio evitando di incontrare sul suo cammino i baffle.

E' stata considerata quindi una sorgente estesa delle dimensioni corrette per simulare la divergenza solare ad 1 A.U. ossia un disco di raggio 9.6 mm. Per semplicità si è preso il campo in centro del disco e un punto sul bordo del disco stesso. Ora, inclinando lo specchio collimatore di 1° otteniamo la situazione in figura 24

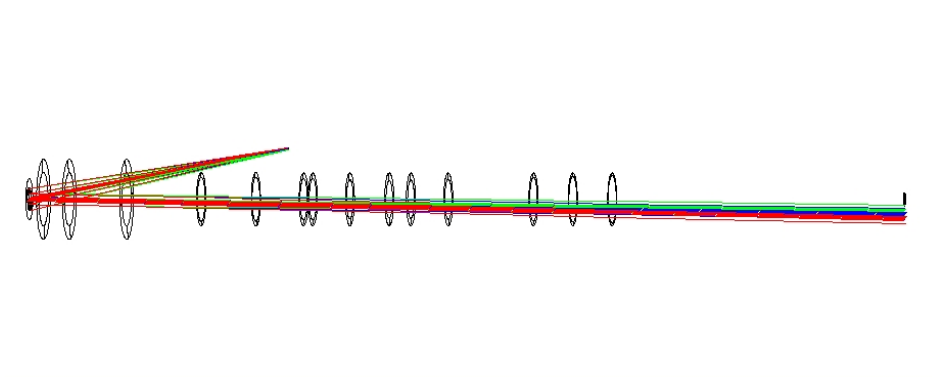


Figura 22 I raggi provenienti dalla sorgente con divergenza pari a quella del sole 1AU riflessi e collimati dallo specchio inclinato di 1° attorno l'asse x

I baffle sono già stati modificati nel senso di permettere al fascio di non essere vignettato.

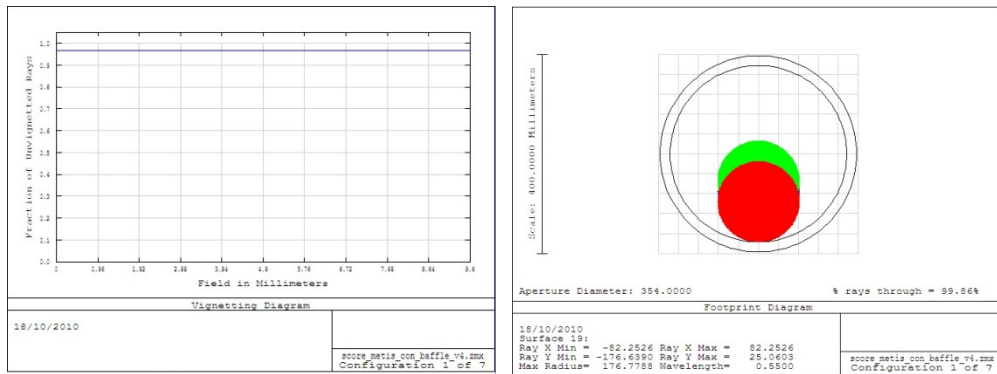


Figura 23 A sinistra il digramma di vignetta mento del sistema, a destra la foot print dei fasci sull’ultimo baffle del sistema. Si vede che in questa configurazione i baffle non producono più vignetta mento del sistema

Da figura 23 si vede come il diagramma di vignettamento sia costante su tutto il campo e come il fascio sull’ultimo baffle (quello più lontano dallo specchio) non incontra il baffle. L’ultimo baffle è indicativo in quanto a questo punto del suo cammino il fascio ha già percorso più di 2 m all’interno del tank e attraversato 12 baffle la circolarità della *foot print* a questo punto dimostra come il fascio non sia vignettato dai baffle più interni altrimenti sarebbe ovalizzato.

Un problema che potrebbe sorgere a questo punto è quello della posizione dello strumento come si vede da figura 22 infatti ora il fascio, non essendo più in asse manca l’apertura dello strumento. È necessario quindi traslare lo strumento sul piano xy (perpendicolare alla linea di vista) lungo y di $y=6674\tan 1^\circ=116.5$ mm. In questa maniera, come si vede da figura 24 l’occultatore esterno di SCORE è ancora illuminato uniformemente e il *rays through* è pari a 99.82%.

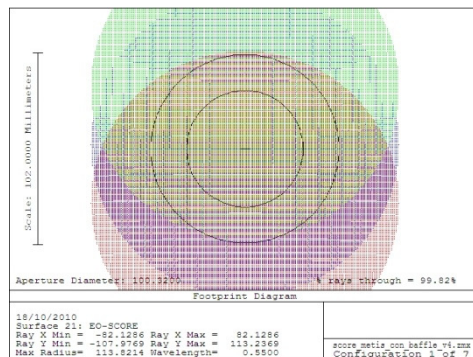


Figura 24 L’apertura di entrata di SCORE è illuminata uniformemente dal sistema con lo specchio inclinato di 1°. Questo risultato si ottiene traslando lo strumento sul piano dell’occultatore di 116.5 mm.

Questa modifica, necessaria ai fini di utilizzo pratico dello specchio collimatore è però costata in termini di controllo della luce diffusa in quanto ora i baffle sono tutti più larghi e inoltre è impossibile inserire altri baffle più lontani di così dallo specchio perché il loro anello dovrebbe essere così sottile da risultare inutile al fine di bloccare la luce.

Simulazioni su M0

Fino ad ora le simulazioni erano basate sulla minimizzazione della luce rivelata da raggi non provenienti dallo specchio collimatore sulla apertura frontale dello strumento. Da questo punto in poi le simulazioni riguarderanno la luce rivelata dietro l’elemento M0 di SCORE. Per fare sì di rivelare segnale in tale posizione che si trova dietro l’occultatore esterno del coronografo è necessario aumentare il numero dei raggio a 10^6 - 10^7 raggi. E’ stato inoltre implementato il sistema di baffle di SCORE come descritto in [6]. Le simulazioni



vengo valutate con un parametro adimensionale che rappresenta il rapporto tra la luce rivelata all'uscita e quella rivelata subito prima dell'occultatore esterno su un' area pari a quello dell'occultatore esterno stesso. Ora la sorgente ha una intensità totale di 250W e sull'occultatore esterno di SCORE incidono 120 W che fa sì che la sua emittenza radiante sia 1.54 W/cm^2 .

| | | |
|-----------------|----------|-----------------|
| area sensore EO | 79,04328 | cm ² |
| area sensore M0 | 12,56637 | cm ² |

| | Pow EO | Pow M0 | Flux EO (W/cm ²) | Flux M0 (W/cm ²) | Rapporto dei flussi |
|------------|----------|----------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Vign 0.25° | 1,22E+02 | 1,00E-09 | 1,54 | 1,80E-13 | 1,17E-13 |
| Vign 0.5° | 1,22E+02 | 3,00E-08 | 1,54 | 2,38E-09 | 1,55E-09 |
| Vign 1° | 1,22E+02 | 3,00E-08 | 1,54 | 2,38E-09 | 1,55E-09 |
| No Baffle | 1,22E+02 | 1,20E-06 | 1,54 | 9,55E-08 | 6,19E-08 |

Dalla tabella notiamo innanzi tutto come l'efficienza sia decisamente maggiore considerando i baffle descritti nel capitolo precedente che però non tengono conto del campo allargato dall'inclinazione dello specchio di $\pm 1^\circ$ ma consentono un bradeggio dello specchio di $\pm 0.25^\circ$ (prima riga), questo risultato è ragionevole in quanto se i baffle sono più stretti passa meno luce! Non vi è una grossa differenza tra il caso 0.5° e 1° . Nell'ultima riga si è calcolato il caso in cui sia presente la sola trappola e non i baffle in questo caso come prevedibile l'efficienza diminuisce.

Conclusioni

Il segnale rivelato su M0 è di $3 \times 10^{-8} \text{ W}$ che fa sì che l'irradianza sia pari a $2.4 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2$. Il loro rapporto filtrato in modo da considerare solo i raggi che attraversano M0 con un angolo di $\pm 1^\circ$ e quindi nel campo di vista di SCORE è 5×10^{-12} e questo può essere

Adattamento del sistema ai vincoli meccanici e ottimizzazione finale

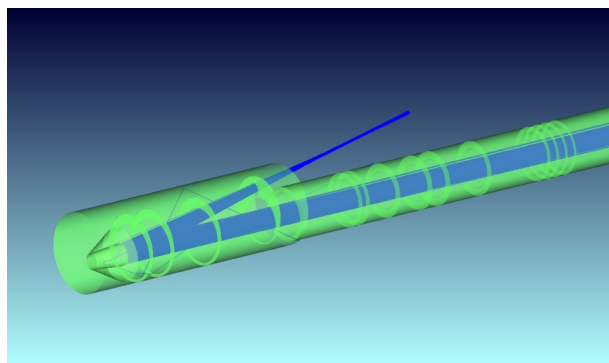


Figura 25 Un immagine 3D della configurazione finale del sistema

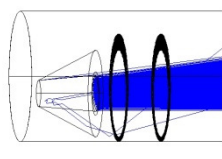
In ultima analisi sono state applicate delle modifiche ai baffle dovute a vincoli meccanici e strutturali della SPOCC. In particolare i baffle della prima sezione sono risultati di diametro troppo grande per essere inseriti nella camera. Il loro diametro è stato quindi ridotto a 496 mm contro i 600 ideali. Inoltre è stato retrocesso



l'ultimo baffle dalla terza alla seconda sezione, questo per evitare possibili interferenze con il sistema di pompaggio da vuoto e con l'entrata per una eventuale sorgente secondaria. Il risultato è raffigurato in figura 27. Il fondo della prima sezione è stato allontanato dalla trappola di 85 mm per adeguarsi alle dimensioni finali del progetto. È stato infine aggiunto alle parti interni il giusto rivestimento, solo la trappola è rivestita di Vel-Black, tutte le altre parti interne sono rivestite di vernice Aeroglaze® Z306 Flat Black Absorptive Polyurethane che ha una riflettività dichiarata dalla ditta [7] $\leq 5\%$. Nuove simulazioni non hanno riscontrato peggioramenti nella rivelazione di luce diffusa su M0 che rimane dell'ordine di 10^{-12} .

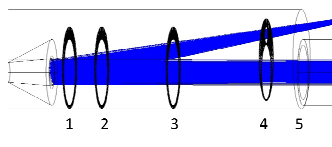
Misure finali

Misure della Trappola



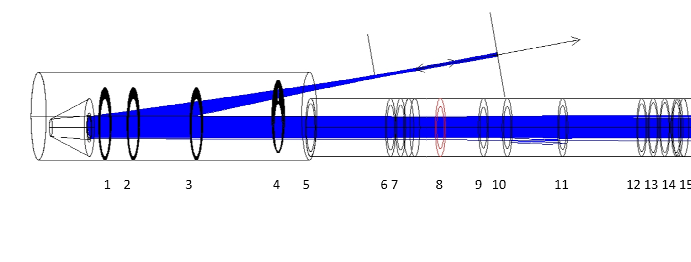
| | Raggio Esterno (mm) | Raggio Interno (mm) | Profondità (mm) |
|--------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Cono Esterno | 200 | 60 | 266.65 |
| Cono Interno | 82.5 | 60 | 266.65 |

Misure baffle della prima sezione



| | Raggio Interno (mm) | Raggio esterno (mm) | 2° Raggio Fascio (mm) | Distanza dallo specchio (mm) |
|----------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| Baffle 1 | 200 | 248 | - | 108 |
| Baffle 2 | 200 | 248 | - | 305 |
| Baffle 3 | 200 | 248 | - | 742 |
| Baffle 4 | 165 | 248 | 52 | 1311 |
| Baffle 5 | 165 | 197 | - | 1538 |

Misure baffle della seconda sezione



| | Raggio Interno (mm) | Raggio esterno (mm) | Distanza dallo specchio (mm) |
|-----------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| Baffle 6 | 155 | 197 | 2092 |
| Baffle 7 | 155 | 197 | 2162 |
| Baffle 8 | 145 | 197 | 2445 |
| Baffle 9 | 141 | 197 | 2745 |
| Baffle 10 | 144 | 197 | 2910 |
| Baffle 11 | 150 | 197 | 3295 |
| Baffle 12 | 164 | 197 | 3845 |
| Baffle 13 | 171 | 197 | 3925 |
| Baffle 14 | 171 | 197 | 4005 |
| Baffle 15 | 171 | 197 | 4085 |



Bibliografia

- [1] *Inverted-COR: Inverted –Occultation Coronagraph for Solar Orbiter*, OATo Technical Report Nr 119 Date 19-05-2009, Silvano Fineschi;
- [2] *Stray light Analysis of Reflecting of a UV Coronagraph/Polarimeter with Multilayer Optics*; S. Fineschi, M. Romoli, R.B. Hoover, P.C. Baker, M. Zukic, J. Kim, A.B.C. Walker Jr; SPIE Vol. 2010 X-Ray and Ultraviolet Polarimetry (1993);
- [3] *Experimental study of external occulters for the Large Angle and Spectrometric Coronagraph 2:LASCO-C2*; M. Bout, P. Lamy, A. Maucherat, C. Colin, A. Llebaria, 1 Aug. 2000, Vol.39 No. 22, *Applied Optics*.
- [4] *MRDF and BRDF measurements of low-scatter materials*; Thomas. J. Papetti et al. Proc of SPIE Vol. 6550 65500H-1;
- [5] *Optical Characterization of Black Apliques*; K.A. Snel, J. Costantino, D.P. Brown, W.C. Shemano, C.W. Schmidt, W.F. Lynn; Energy Science Laboratory, Inc. 6888 Nancy Ridge Drive San Diego, CA 92121-3323;
- [6] *Stray light analysis for the SCORE coronagraph of the Herschel mission*; Federico Landini, PhD Thesis in Astronomy, Università degli Studi di Firenze;
- [7] *Aeroglaze® Z306 Data Sheet*, Lord Techmark, Inc Lord Corporation, Printed in USA DS3017 (rev.3 4/04), <http://www.lord.com/Products-and-Solutions/Coatings/Product.xml/611> ;
- [8] *Collimating system for the Space Optics Calibration Chamber (SPOCC) of the Optical Payload Systems (OPSys)facility*; Crescenzo, Fineschi, Massone; OATo T.R. 140; 19/10/2010