

NODES – Nord Ovest Digitale e Sostenibile

Facility per simulazione della luce solare

ARIES

SPOKE N. 1 – Aerospazio e Mobilità Sostenibile

DELIVERABLE D 3.1

Cronologia Versioni

No.	Date	Details	Author(s)
1.0	13.11.2024	Prima release	Chioma Abiakam (HIPPARCOS S.r.l.) Enrico Tortasso (HIPPARCOS S.r.l.) Damiano Stochino (HIPPARCOS S.r.l.) Davide Folli (EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.) G. Caporaletti (EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.) M. Pisani – INRIM (OdR)
2.0	13.06.2025	Release finale	Chioma Abiakam (HIPPARCOS S.r.l.) Enrico Tortasso (HIPPARCOS S.r.l.) Damiano Stochino (HIPPARCOS S.r.l.) Davide Folli (EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.) Gabriella Caporaletti (EICAS AUTOMAZIONE S.p.A.) M. Pisani – INRIM (OdR)

ARIES" ArchitectuRe of Products, dligital mEthodologies and procedures for Validation of Innovative Star Trackers for Smallsats (Codice CUP: C19J24000510003), a valere sui fondi PNRR MUR assegnati a finanziamento al Programma NODES - Nord Ovest Digitale E Sostenibile (ECS00000036) – Bandi a Cascata - finanziato sui fondi PNRR MUR – M4C2, "Dalla ricerca all'impresa" – Investimento 1.5. "Creazione e rafforzamento di "Ecosistemi dell'innovazione" costruzione di "leader Territoriali di R&S" - Avviso 3277 del 30.12.2021 "Ecosistemi dell'Innovazione" con Codice Unico di Progetto E13B22000020001 - SPOKE 1 Linea A – Seconda Cut-off - finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU sui fondi PNRR MUR.

Attività svolte nel periodo contrattuale 13.05.2024 – 15.09.2025.

This document is part of the project NODES which has received funding from the MUR – Missione 4, Componente 2, Investimento 1.5 – Creazione e rafforzamento di "Ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "leader territoriali di R&S" – del PNRR with grant agreement no. ECS00000036



SOMMARIO

CRONOLOGIA VERSIONI	1
A) SCOPO DEL DOCUMENTO	3
B) OBIETTIVI.....	3
C) DESCRIZIONE DELLA FACILITY	7
SCELTA DEI LOCALI	8
SORGENTE LUMINOSA.....	9
TRAPPOLE DI LUCE	12
MATERIALE PER ATTENUAZIONE STRAYLIGHT	16
CULLA PER MOVIMENTAZIONE CAMERA	19
D) COLLAUDO	21

A) SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento presenta una dettagliata descrizione della facility concepita da INRIM per la simulazione della luce solare, nell'ambito del WP3 in collaborazione con HIPPARCOS.

B) OBIETTIVI

Una delle principali problematiche operative degli *star tracker* che operano in orbita bassa (LEO) è la straylight, ovvero la luce parassita di Sole (diretta) e Terra (riflessa) che disturba le immagini del cielo. La strategia di mitigazione è l'adozione di **deflettori** o **baffle** (Figura 1) che proteggano l'obiettivo dalla luce incidente.

1.

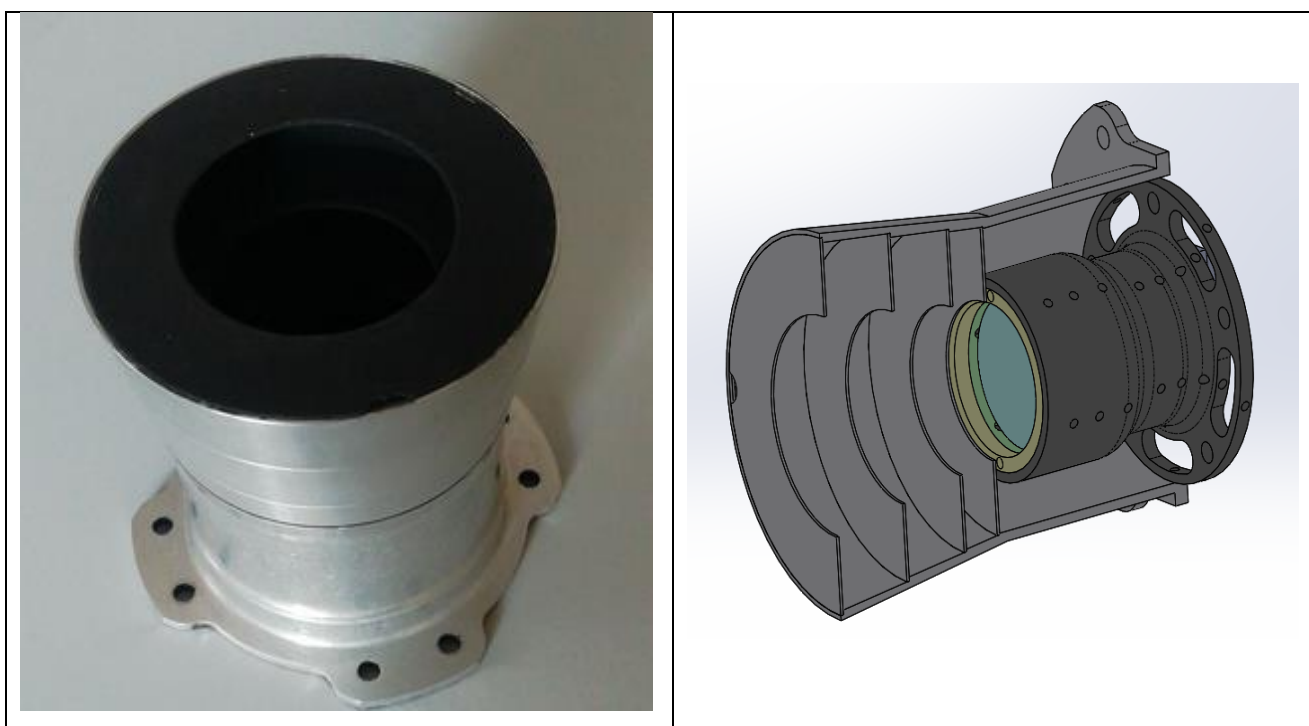


Figura 1 Esempio di deflettore

L'importanza del deflettore genera l'esigenza da parte del produttore su richiesta del cliente di **caratterizzare compiutamente detti deflettori** e saperne modellare e **simulare il comportamento tramite modelli matematici**.

Tipicamente si utilizzano software avanzati come [Zemax™](#) per modellizzare il comportamento dei deflettori, tuttavia si riscontra nella sperimentazione di laboratorio come il singolo modello teorico non sia pienamente in grado di ben rappresentare l'effettiva performance del componente.

È necessaria una campagna sperimentale per caratterizzare i deflettori e modellizzarli in maniera compiuta nelle loro varie componenti (la forma della lamelle interne, la vernice nera).

Si prendano ad esempio le Figura 2 e Figura 3: la prima mostra il risultato ottenuto con [Zemax™](#) circa la capacità di un deflettore di attenuare la luce solare. Il risultato mostrava un'illuminazione diffusa e uniforme su tutto il campo di vista. La seconda Figura 3 mostra invece i risultati sperimentali ottenuti con un modello reale del medesimo baffle. La difformità tra i risultati previsti e quelli effettivi è notevole e mostra con chiarezza la natura del problema.

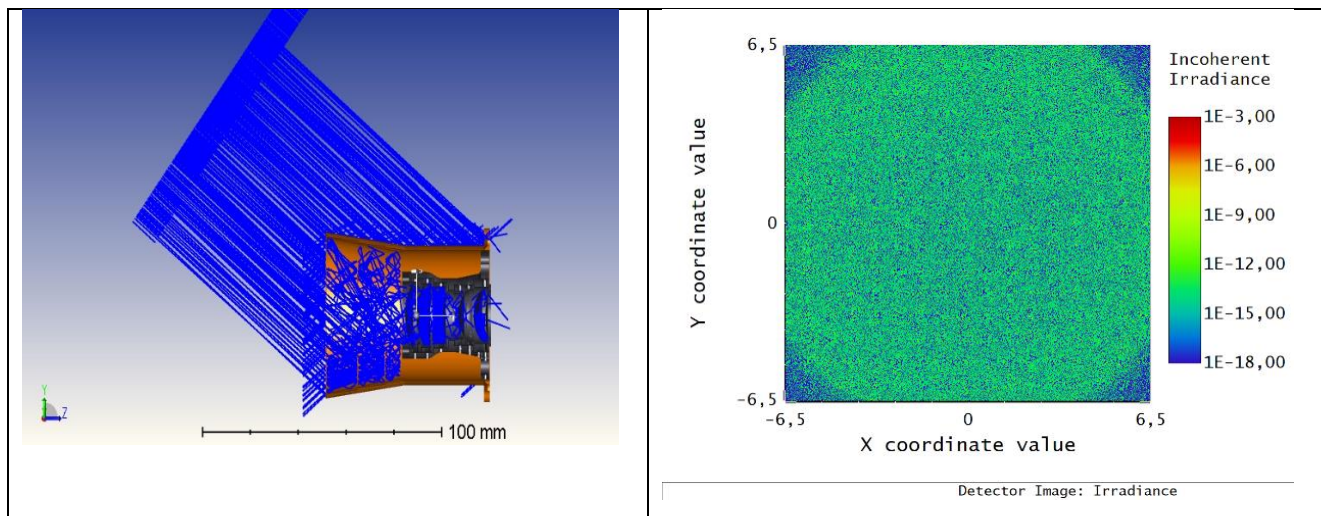


Figura 2 Modellizzazione deflettori con Zemax

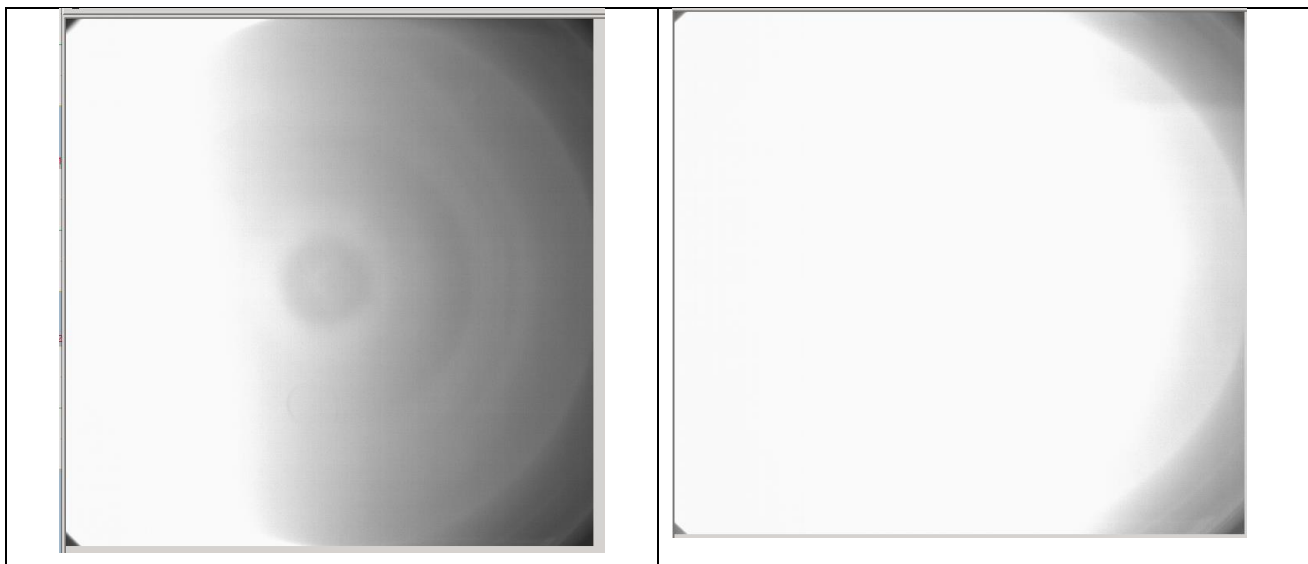


Figura 3 Risultati sperimentali con deflettori caratterizzati da errori progettuali

L'intervento di INRIM nel progetto ARIES, in collaborazione con il partner HIPPARCOS, prevede la progettazione di un'attrezzatura avanzata per la misura degli angoli di esclusione di deflettori (baffle), e dunque della capacità di assorbimento (absorption rate) dei trattamenti annerenti applicati, problema non banale, di cui esiste ampia trattazione in letteratura (si veda a titolo di esempio [1]).

La realizzazione di simili strutture è un tema complesso che ha visto numerose pubblicazioni al riguardo in letteratura (si vedano a titolo d'esempio i lavori da [1] a [7]).

Il progetto richiede avanzate competenze metrologiche al fine di individuare una corretta procedura per la misura di queste grandezze e soprattutto l'eliminazione fisica oppure attraverso tecnologie avanzate di trattamento digitale dell'immagine di ogni sorgente possibile di disturbo.

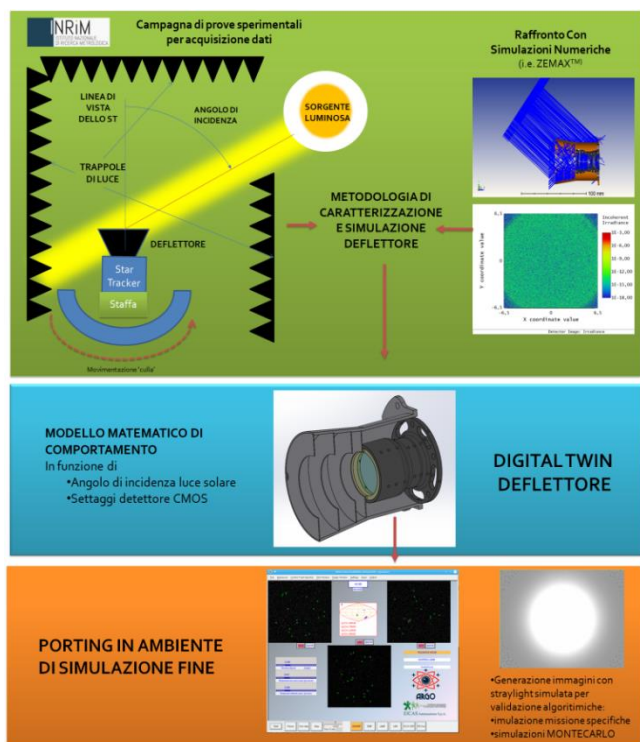


Figura 4 – Sviluppo metodologia di caratterizzazione deflettore (WP3): Flusso concettuale

Il lavoro presenta numerose sfide rilevanti dal punto di vista tecnico-scientifico-metrologico in quanto occorre considerare e neutralizzare ogni possibile fonte di luce parassita, causata ad esempio dal riverbero e dalle riflessioni della sorgente utilizzata per una corretta emulazione del sole. Da tale lavoro si punta a ricavare gli input necessari al fine di *modellizzare analiticamente* il comportamento di un *baffle* dotato di una data geometria e trattamento annerente così da poterlo simulare digitalmente nel simulatore multi-camera proprietario di EICAS/HIPPARCOS (Figura 4).

Tabella 1 riassume i risultati attesi e i principali KPI ad essi associati.

OR	Risultati Attesi	KPI di progetto (requisiti progettuali)
OR#3	- Realizzazione di una facility per la simulazione di un sole e la caratterizzazione di un deflettore <i>baffle</i> al variare dell'angolo di incidenza della radiazione solare. - Derivazione, attraverso il post-processamento delle immagini digitali acquisite operando con la facility, di un modello digitale in grado di predire il comportamento del baffle in base alla forma e al materiale dello stesso. L'uso del modello permetterà un più veloce progetto e sviluppo di nuove soluzioni a seconda delle esigenze del cliente. <i>Porting</i> della suddetta metodologia in ambiente di simulazione (digital twin) del <i>baffle</i> e impiego della medesima in simulazione di missione con metodo MonteCarlo.	- Contenimento della luce parassita (<i>straylight</i>) nella facility in presenza della sorgente luminosa: massimo valore della energia luminosa parassita rispetto alla condizione ideale (ambiente spaziale) inferiore all'1% - Accordo tra dati sperimentali e modello simulatore, come funzione dell'angolo di incidenza del sole, espresso in elettroni/pixel/s (elettroni per pixel per secondo) migliore del 10% in termini numerici. - Implementazione di tale funzione nel simulatore fine proprietario EICAS/HIPPARCOS per star tracker multicamera.

Tabella 1 ARIES - Risultati attesi e KPI di Progetto per attività

L'innovatività nasce dalla **combinazione intelligente di soluzioni tecnologiche diverse** da declinare congiuntamente e sinergicamente:

- lampade per l'emulazione della luce solare;
 - sistemi ottici per la collimazione, con le seguenti proprietà:
 - apertura angolare simile a quella del sole ($0,5^\circ$)
 - eliminazione straylight parassita per diffusione spuria dall'ottica di collimazione
 - dimensione del fascio luminoso superiore alla dimensione del *baffle*
 - scelta di vernici e/o pannelli assorbenti per l'assorbimento della radiazione luminosa parassita
- progettazione opto-meccanica della stazione al fine di ridurre al minimo le riflessioni parassite.

Letteratura scientifica di riferimento

- [1] Marciniak M. and Enright J., "Validating Microsatellite Star Tracker Baffle Tests". 2014
- [2] Schenkel, F. W., "An Automatic self deployable high attenuation light shade for spaceborn sensors," Journal of the British Interplanetary Society, Vol. 26, 1973, pp. 589
- [3] Kemp, J. C. And Wyatt, c. L. "A specular Chamber for Off- Axis Response Evalutaion of High Rejection Optical Baffling System," Tech. Rep., DTIC Document, 1976
- [4] Bock at al, "Cooled baffle system for spaceborne infrared telescopes," Applied optics, Vol. 24, No. 13, 1995, pp. 2268-2277
- [5] Kemp, J. C et al, "Terrestrial 'Black Hole' for measuring high-rejection off-axis response," Proc. SPIE 3122, 45-56 (1997).
- [6] Kawano et al., "Suppression of sun interference in the star sensor baffling stray light by total interla reflection, Sept 2005, pp. 59621R-59621R
- [7] Fleming at al, "New stray light test facility and initial results", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, August 2008

C) DESCRIZIONE DELLA FACILITY

La facility per la simulazione della luce solare è stata progettata come riportato nello schema semplificato di Figura 5.

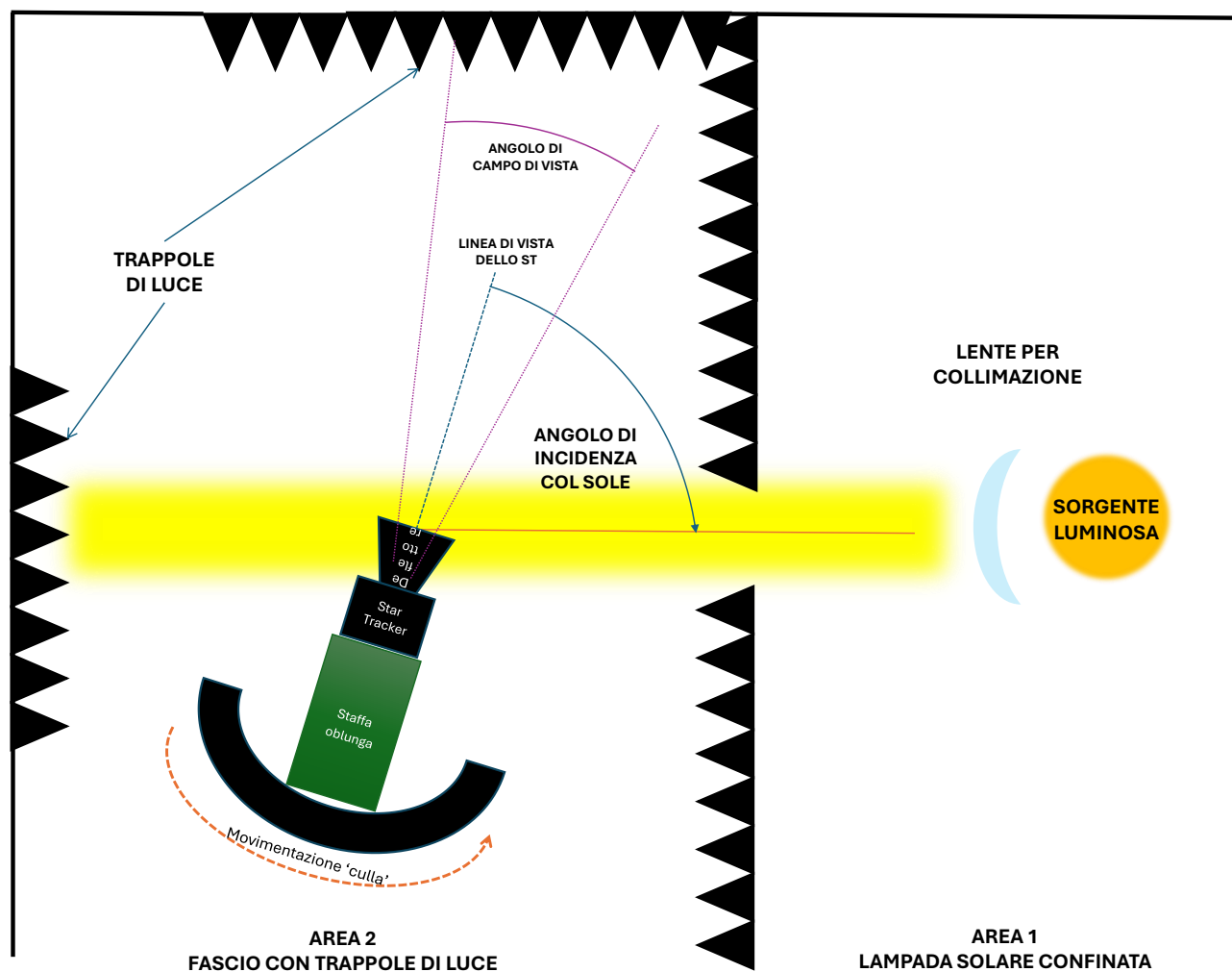


Figura 5 Schema di massima della facility

Il locale preposto all'installazione è stato partizionato in due aree distinte, AREA 1 e AREA 2, isolate ermeticamente dal punto di vista della luce tramite pareti divisorie opache:

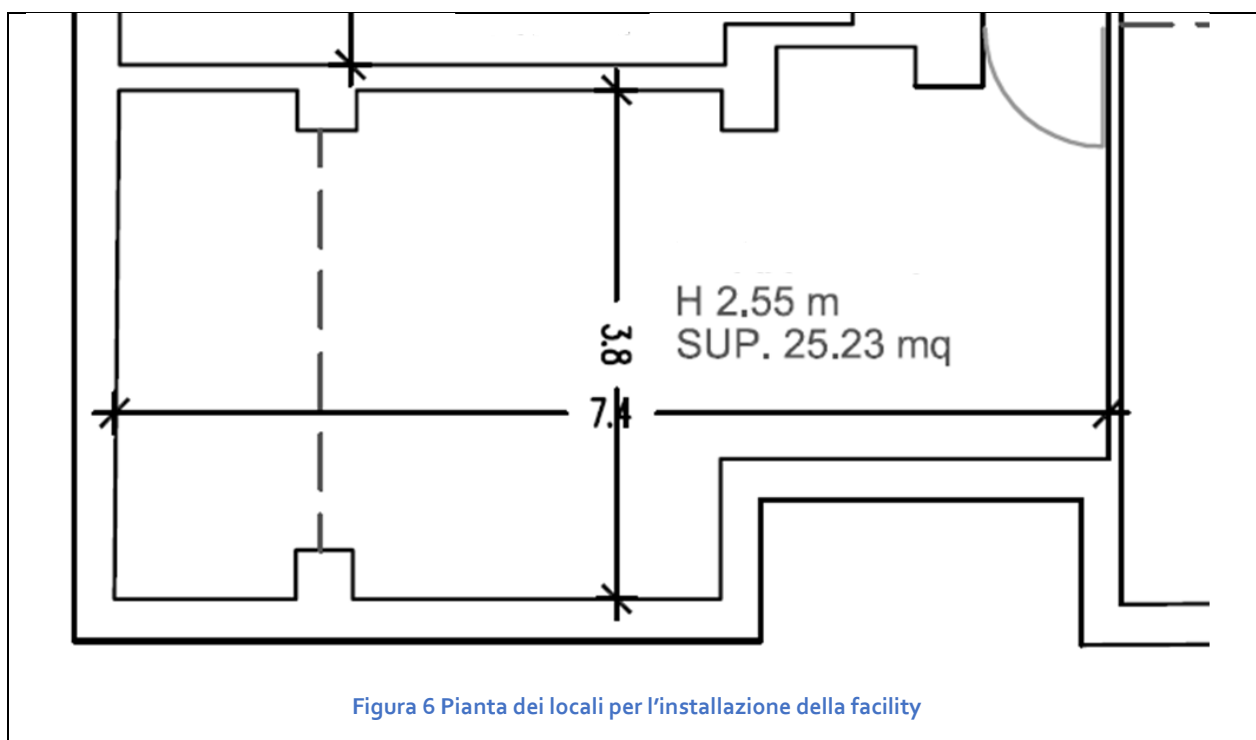
1. in AREA 1 viene posizionato il simulatore solare i cui elementi principali sono una lampada a scarica tipo "short arc" e uno specchio parabolico per collimare il fascio di luce. La sorgente viene fissata al pavimento e non sono previsti gradi di libertà per la sua movimentazione. In corrispondenza dell'uscita del simulatore solare, è presente un'apertura di dimensioni variabili che consente al fascio collimato di entrare nel secondo locale. L'isolamento della sorgente nel locale 1 consente di confinare tutta la luce parassita emessa dalla stessa, che andrebbe altrimenti a diffondersi nel locale 2.
2. In AREA 2, viene posizionata una tavola rotante motorizzata su cui viene fissato lo star tracker con il deflettore. La staffa di fissaggio consente di protendere la telecamera in avanti, in modo che risulti sospesa sopra il pavimento del locale, senza altre superfici sotto

di essa che possano generare riverberi indesiderati nel campo di vista, quando investite dal fascio luminoso.

3. Le superfici esterne del deflettore e della camera sono annerite anch'esse, o tramite rivestimento o mediante apposita vernice. La lucentezza metallica genererebbe infatti una luce parassita difficile da controllare in quanto varia con l'orientazione della camera.
4. Tramite motori elettrici, si regola in maniera opportuna l'angolo tra il fascio collimato e la linea di vista dello star tracker. La bocca del deflettore deve essere completamente investita dal fascio luminoso, e tale condizione si deve verificare in tutte le posizioni reciproche tra lo star tracker e il fascio, da 90° a 10° .
5. Il campo di vista della telecamera è rivestito di trappole di luce necessarie ad assorbire la luce parassita.
6. La prosecuzione del fascio luminoso converge anch'essa in un sistema di trappole di luce che ne impedisca il riverbero sulle pareti e in particolare sul campo di vista della telecamera.
7. Tutte le pareti, le superfici e i pavimenti sono anneriti con vernici, tende o altri materiali ad elevato coefficiente di assorbimento.

Scelta dei locali

La facility sarà installata in un locale di superficie 25 mq, preposto ad uso archivio, caratterizzato da assenza di superfici vetrate che possano immettere luce diurna che vada a creare ulteriore disturbo. La facility sarà controllata da remoto, in modo da non richiedere presenza di persone se non per le fasi di montaggio della camera e del deflettore sulla staffa di fissaggio.



Sorgente luminosa

Il simulatore solare è composto dai seguenti elementi principali:

- 1) lampada a scarica di xeno tipo "short arc" da 150 W modello Osram XBO 150 W/CR OFR che materializza una sorgente puntiforme con spettro simile a quello solare.
- 2) uno specchio parabolico mod Standa 14OAP-4-101.6-45-AL per collimare il fascio di luce.



Figura 7 Lampada e specchio prima del montaggio

La progettazione e l'integrazione del sistema lampada e specchio è stata curata da INRIM e documentata nella relazione tecnica annessa al presente documento come ANNESSO 1.

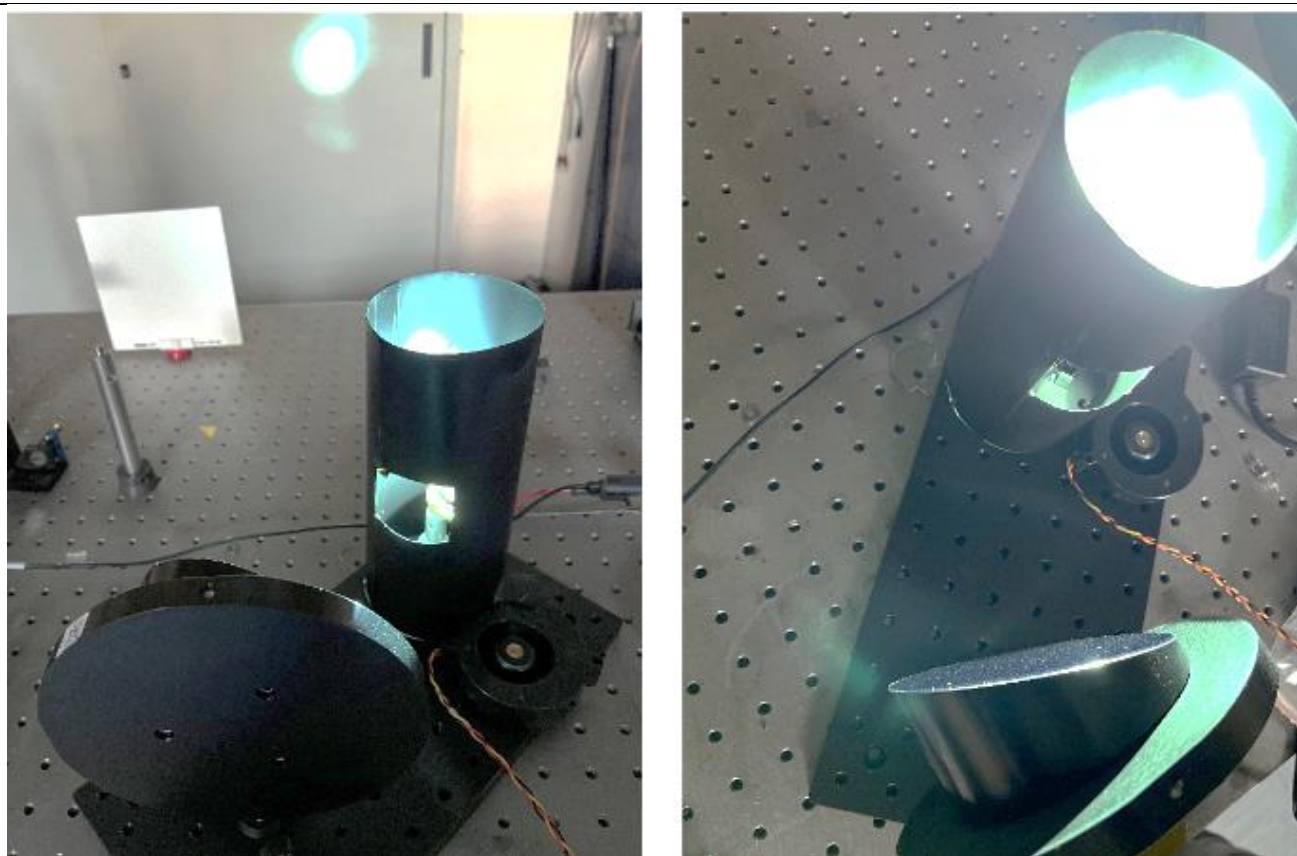


Figura 8 Simulatore solare realizzato da INRIM



Figura 9 Lampada solare posizionata nella dark room



Figura 10 Lampada solare posizionata nella dark room

Infine, la lampada è stata isolata dentro una barriera di contenimento forata appositamente per il passaggio del solo fascio luminoso (Figura 11).



Figura 11 Barriera di contenimento lampada solare

Trappole di luce

Le trappole di luce sono un elemento fondamentale al fine di contenere la straylight parassita. Come descritto nel precedente paragrafo, le trappole di luce sono essenziali in due posizioni:

- Nel campo di vista della camera;
- Come punto di confluenza del fascio luminoso

La caratteristica forma piramidale risulta particolarmente efficace nell'abbattimento della luce parassita che non riesce a 'rimbalzare' fuori dalla trappola.

Per il campo di vista della camera (che è meno critico in quanto non riceve il flusso luminoso della lampada) sono stati acquistati dei pannelli fonoassorbenti in gommapiuma, tipicamente utilizzati per l'insonorizzazione delle stanze.

Un esempio dei pannelli acquistati è visibile in Figura 12.



Figura 12 Pannelli fonoassorbenti dalla caratteristica forma piramidale

I pannelli sono stati disposti in modo da formare una parete curva così da coprire l'intero campo di vista della camera durante la sua rotazione.



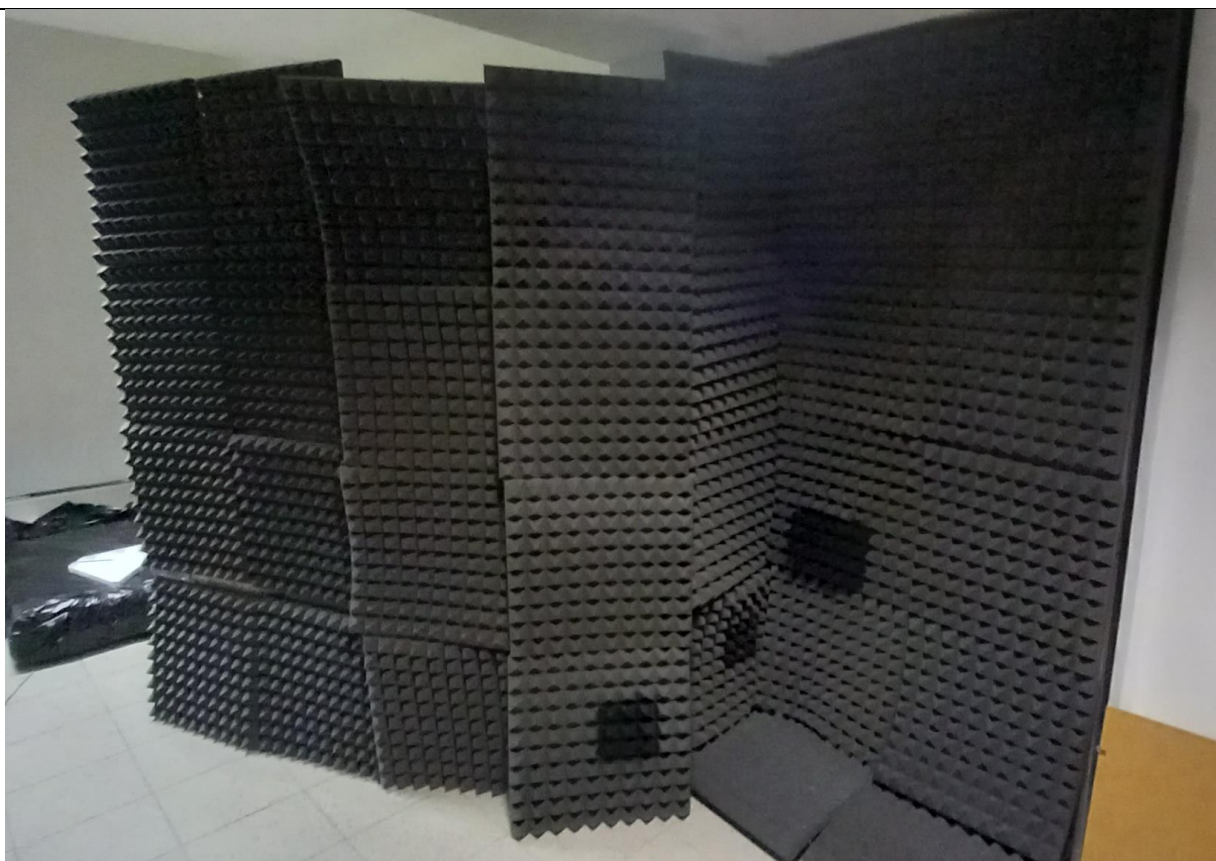
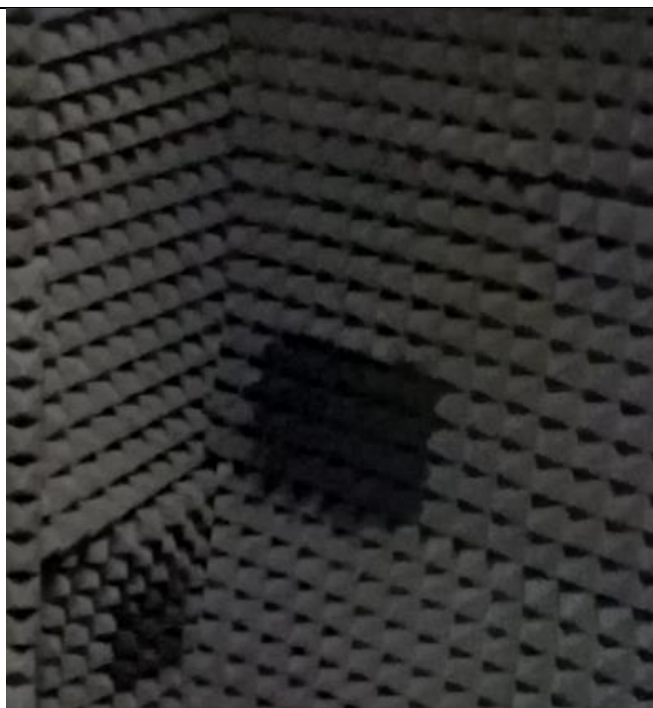


Figura 13 Trappola di luce nel campo di vista



I pannelli sono acquistati in colore grigio scuro. Si è valutata l'ipotesi di annerirli ulteriormente tramite vernici spray. Al fine di valutare l'impatto della vernice, sono state spruzzate solo alcune porzioni della parete 'trappola di luce'.

Le prove sperimentali hanno tuttavia mostrato come questa ulteriore precauzione non risulta necessaria al fine di ottenere un risultato migliore.

Flusso luminoso lampada

Per quanto attiene il flusso luminoso, esso viene fatto convergere in una trappola potenziata rispetto a quella utilizzata nel campo di vista.



Figura 14 Trappola di luce per fascio luminoso

Infatti, come mostrato in Figura 14, le piramidi sono più alte in modo da evitare il minimo possibile le riflessioni del fascio luminoso della lampada solare. In questo caso, la trappola è annerita con un'apposita vernice nera.



Figura 15 Trappola di luce per fascio luminoso in posizione

Materiale per attenuazione straylight

Pareti e superfici che non sono nel campo di vista dello star tracker sono stati anneriti con i materiali opportuni.

Materiali adatti a questo scopo possono essere acquistati da rivenditori terzi, ad esempio Thorlabs: [Blackout and Laser Safety Materials](#).

Secondo l'esperienza pregressa di INRIM e HIPPARCOS, i fogli adesivi neri di Thorlabs (Figura 16) hanno dimostrato un'adeguata capacità di assorbimento.

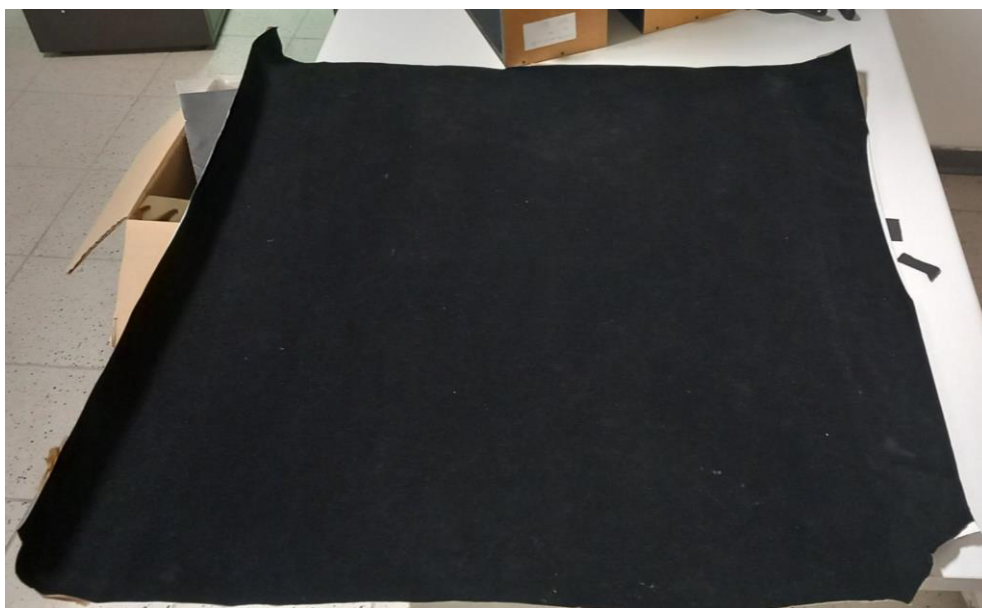


Figura 16 Foglio nero adesivo Thorlabs

Drappi e altri tendaggi neri sono stati utilizzati a copertura delle altre pareti.



Figura 17 Tendaggi a copertura delle pareti



Figura 18 Tendaggi a copertura delle pareti

Culla per movimentazione camera

Una struttura movimentata tramite un motore stepper è la soluzione impiegata per la movimentazione della telecamera in modo da posizionare con adeguata precisione ($\pm 1^\circ$) la linea di vista dello star tracker all'angolo desiderato.



Figura 19 Struttura motorizzata per movimentazione camera

Il progetto iniziale è stato rivisto e ottimizzato al fine di ridurre al minimo essenziale la superficie della struttura esposta alla luce della lampada.
Per tale ragione si è optato per una soluzione su piedistallo, opportunamente annerito.

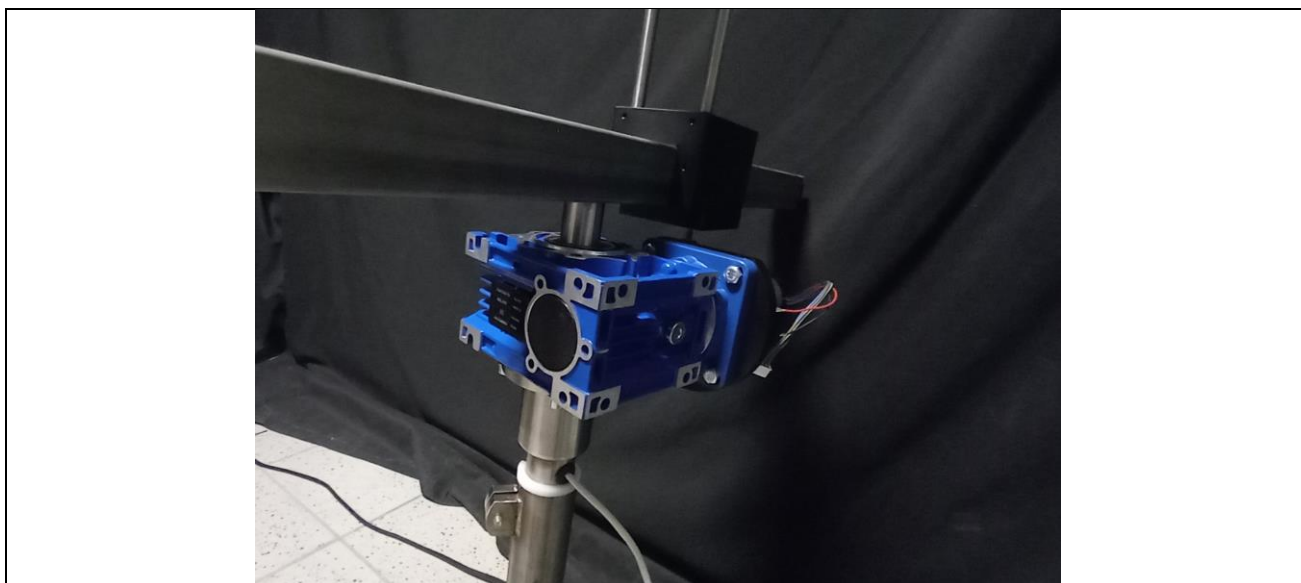


Figura 20 Motore per movimentazione

È stata realizzata una staffa meccanica che può scorrere in altezza e in lunghezza lungo due binari nel primo caso e una trave sottile nel secondo.

La regolazione dell'altezza è utile al fine di allontanare quanto possibile la telecamera dalla superficie del pavimento della stanza e di adattarsi facilmente al fascio luminoso.

La regolazione in lunghezza è stata pensata per consentire di testare deflettori di dimensioni diverse. È infatti fondamentale posizionare la 'bocca' del deflettore sull'asse di rotazione del motore stepper.

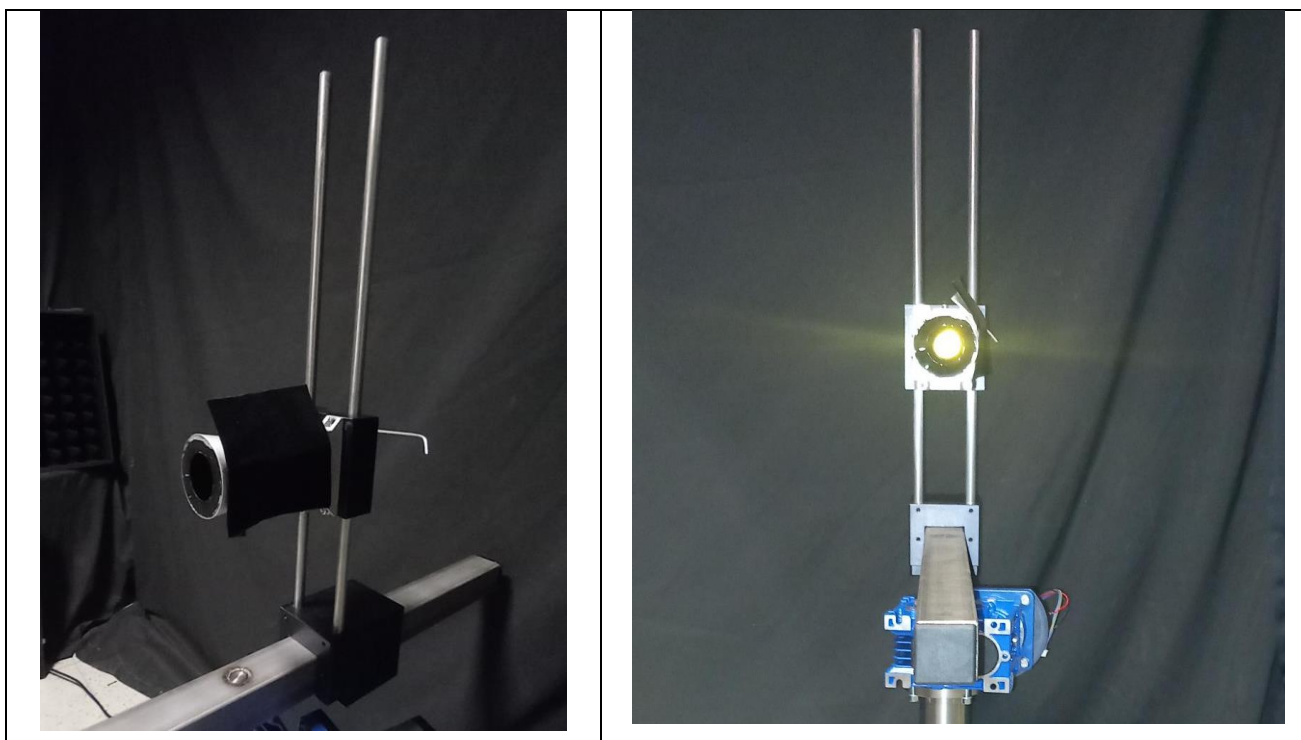


Figura 21 Staffa di sostegno della camera

D) COLLAUDO

Nelle foto presentate di seguito, la camera non è stata annerita appositamente per consentire al lettore di distinguere le componenti della facility.

Per la validazione piena della facility, si rimanda al D3.2.



Figura 22 Lampada solare accesa: camera illuminata e fascio luminoso nella trappola di luce

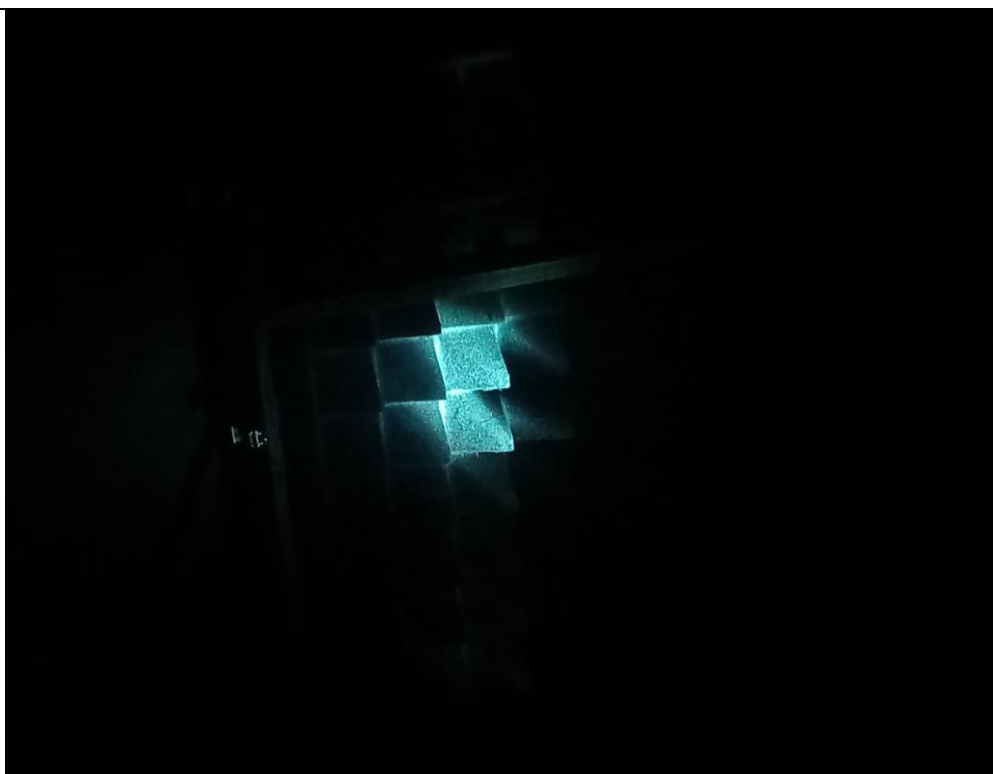


Figura 23 Trappola di luce fascio luminoso

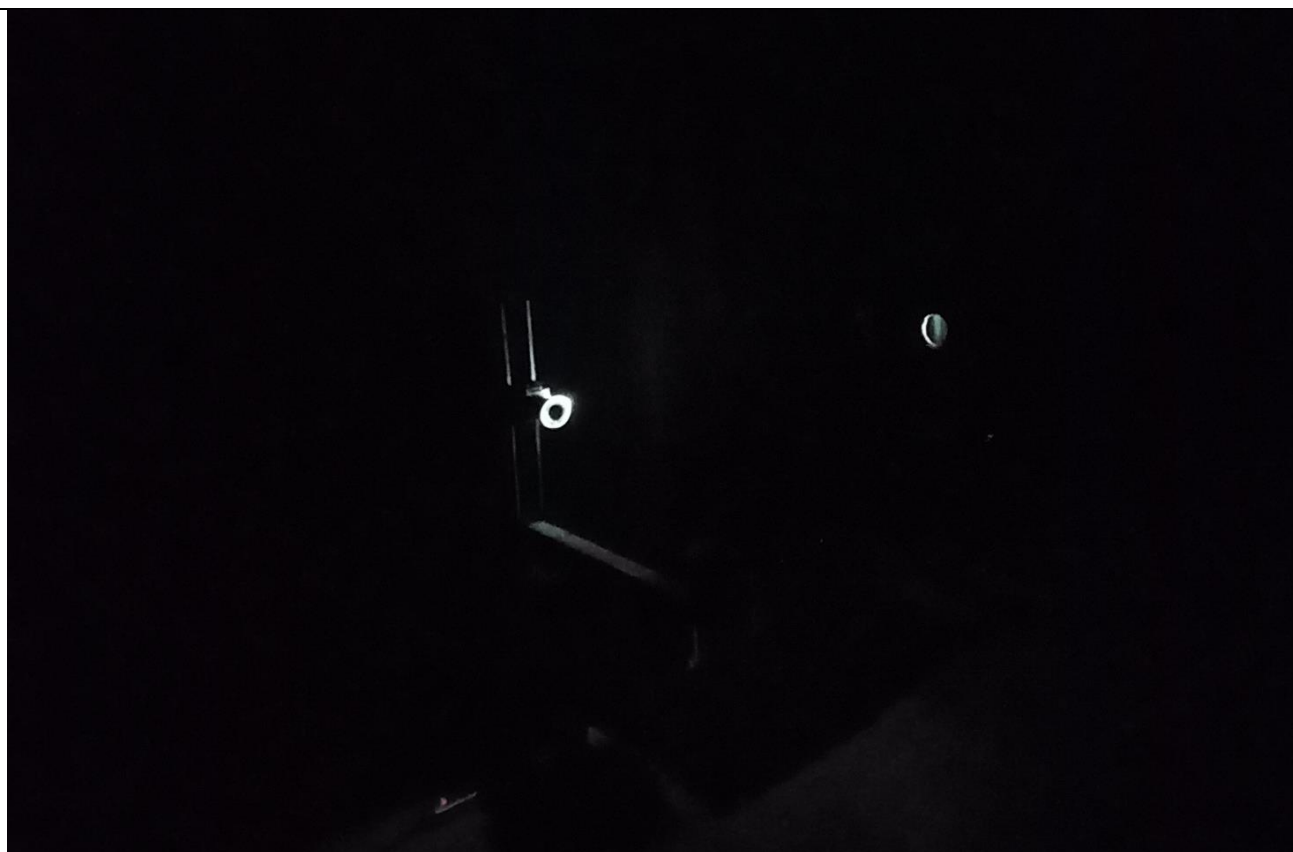


Figura 24 Simulatore solare acceso e lampada installata