



Fig. 1 Alcuni membri del gruppo SCF\_Lab, all'interno del Laboratorio, un ambiente con temperatura, umidità e livello di polvere controllato.

## SCF\_Lab

SCF\_Lab è un Laboratorio di qualifica spaziale sito in una Camera Pulita di circa 85 m<sup>2</sup> di classe di pulizia ISO 7, all'interno dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN. Unico al mondo nel suo genere, è dedicato alla progettazione, caratterizzazione e modellazione del segmento spaziale di telemetria laser, ossia la rilevazione, tramite impulsi laser, della distanza a cui si trova un certo tipo di dispositivi (i retro-riflettori laser a spigolo di cubo, in Inglese Cube Corner laser Retroreflectors, CCRs) posizionati su satelliti artificiali orbitanti intorno alla Terra ma anche poggiati sul suolo della Luna e, in un prossimo futuro, anche su quello di altri pianeti. Nell'SCF\_Lab, per mezzo di un innovativo test eseguito in vuoto (SCF-Test), si caratterizza e si modella matematicamente il comportamento termico e le prestazioni ottiche dei CCR. Le procedure del Laboratorio sono approvate dall'organismo internazionale che coordina tutte le attività di telemetria laser, l'International Laser Ranging Service (ILRS); la qualità di realizzazione del CCR viene valutata per mezzo di un interferometro in grado di definire la forma del riflettore fino alla scala del milionesimo di millimetro. Tramite un opportuno circuito ottico, invece, si misura la performance del CCR consentendo in questo modo di comprendere se, una volta inviato nello spazio, assolverà opportunamente alla sua funzione. L'utilizzo di una termo-camera ad infrarossi (IR) consente misure di termometria senza che ci sia un contatto diretto con l'oggetto. Il Laboratorio è dotato di due simulatori in grado di riprodurre lo spettro della radiazione solare al di fuori dell'atmosfera terrestre offrendo in questo modo la possibilità di testare anche altri dispositivi spaziali oltre che i CCR. In virtù di queste capacità metrologiche e della rilevanza scientifica di questa attività sperimentale, SCF\_Lab è stato affiliato al NASA-SSERVI (Solar System Exploration Research Virtual Institute), uno degli Istituti afferenti alla famosa agenzia spaziale Statunitense NASA (National Aeronautics and Space Administration).

## CCR e SCF-Test

I CCR sono prismi di quarzo realizzati dallo spigolo di un cubo di Silicio fuso, la cui principale caratteristica è di riflettere la luce nella stessa direzione di incidenza. Ciò è possibile grazie alla triplice riflessione, sulle tre facce posteriori, di un raggio incidente sulla faccia anteriore. All'interno di un ambiente che simula lo spazio al di fuori dell'atmosfera, i CCR vengono illuminati dalla luce proveniente da un simulatore solare e se ne studia il comportamento termico ed ottico sia durante la fase di riscaldamento che durante la fase di raffreddamento, ovvero quando il simulatore solare viene spento.

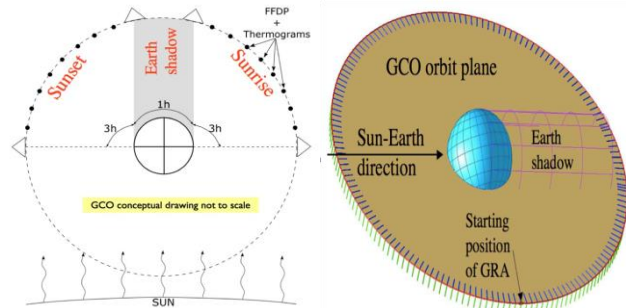


Fig. 2 Schema concettuale del Test GNSS Critical Orbit (GCO) (sinistra) e rappresentazione della GCO nello spazio (destra). Nel riquadro in basso, la stazione laser di Matera

Le capacità diagnostiche sono state di recente potenziate introducendo un tipo di test (GCO, in Inglese GNSS Critical Orbit) che simula un'orbita critica per il funzionamento dei CCR stessi: i raggi del sole inizialmente lambiscono da un lato la faccia anteriore del CCR, l'inclinazione dei raggi viene progressivamente mutata fino a quando essi "tramontano" sul lato opposto del CCR. Il piano dell'orbita simulata contiene la linea congiungente il Sole con la Terra; viene simulata solo la metà dell'orbita in cui i CCR sono esposti alla luce solare, perché è la parte più critica, considerando ovviamente anche il lasso di tempo in cui i CCR sono nel cono d'ombra della Terra.



## Telemetria laser

La telemetria laser (in Inglese, Laser ranging) è una delle più accurate tecniche di misura disponibili al momento per determinare la posizione dei satelliti che orbitano intorno alla Terra (l'unica tecnica di geodesia spaziale di misura diretta di una distanza) e che fornisce misure accurate al centimetro.

Essa è basata su una rete globale di stazioni a terra (afferenti all'ILRS) che misurano il tempo di andata e ritorno di un impulso laser inviato da Terra e retro-riflesso dai satelliti dotati di CCR fornendo in questo modo una posizione assoluta nello spazio rispetto al centro di massa della Terra (geocentro), metrologicamente definito dall'ILRS proprio per mezzo di questa tecnica: attorno alla Terra orbitano dei satelliti di forma sferica interamente costellati di CCR, tra cui i LAGEOS I e II (Laser GEODYNAMICS Satellites), le cui orbite definiscono il geocentro. I CCR sono presenti anche sul suolo lunare, già dal primo allunaggio umano nel 1969 con la missione Apollo 11.

Non tutte le stazioni laser dell'ILRS hanno una strumentazione adeguata ad effettuare la telemetria laser dei CCR lunari: tra queste stazioni di eccellenza c'è quella dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), situata a Matera e che lavora in stretta collaborazione con l'SCF\_Lab. Avendo la telemetria laser un'accuratezza dell'ordine del centimetro, essa viene utilizzata per definire le orbite dei satelliti artificiali e della Luna in maniera accuratissima, dando in questo modo un contributo importante agli studi di fisica fondamentale concernenti le proprietà dell'interazione gravitazionale. Inoltre, la telemetria laser è essenziale per misurare la variazione temporale della gravità terrestre, per studiare la Terra nel suo complesso, i sistemi atmosferici e oceanici (mappando i cambiamenti volumetrici delle masse continentali ghiacciate), per valutare i cambiamenti climatici a lungo termine.



Fig. 3 LAGEOS, NASA (a sinistra, gentile concessione della NASA), logo NASA-SSERVI (a destra)

### SCF, SCF-G e il programma Galileo

Nell'SCF\_Lab ci sono due criostati, ovvero dei gusci metallici, dotati di una serie di finestre di ispezione, all'interno dei quali è possibile ricreare l'ambiente spaziale in termini di pressione e temperatura. Il primo criostato realizzato in ordine di tempo è l'SCF il cui obiettivo principale è quello di fornire degli strumenti di diagnostica, ottimizzazione e verifica per tutti i programmi spaziali che prevedano l'uso dei CCR.

La grande rivoluzione sociale ed economica che si è accompagnata all'uso dei navigatori satellitari (in Inglese, Global Navigation Satellite System, GNSS) ha suggerito lo sviluppo di un secondo criostato, l'SCF-G, ottimizzato proprio per offrire il massimo supporto a questo tipo di programmi spaziali.

Il navigatore satellitare è un oggetto di uso comune e di grande supporto. Quello che non tutti sanno, però, è che, oltre a indicarci i percorsi stradali migliori da eseguire in auto, i dati provenienti da questo sistema di satelliti fissano il momento esatto in cui avviene ciascuna transazione finanziaria elettronica. Attualmente i dati utilizzati sono quelli provenienti dalla costellazione GNSS degli Stati Uniti: la ben nota costellazione GPS (Global Positioning System). La grande importanza strategica di questo tipo di tecnologia ha spinto l'Unione Europea a finanziare la costruzione di una costellazione propria che prenderà il nome di Galileo.

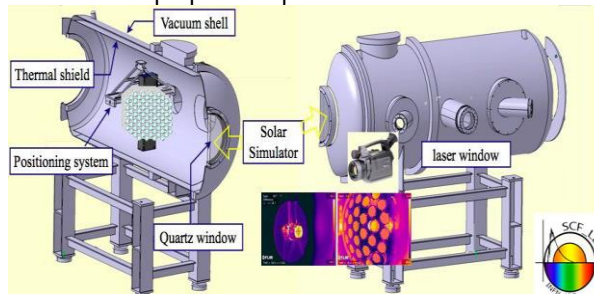


Fig. 4 Vista schematica del criostato SCF con: foto IR di un settore di LAGEOS e di un CCR di Galileo sotto test, videocamera IR e logo dell'SCF\_Lab.

### Risultati

In accordo con le direttive emessa dall'ILRS, è importante eseguire l'SCF-Test a differenti CCR di tutte le costellazioni GNSS in modo da assicurare la più alta efficienza possibile: quando le costellazioni GNSS in programma saranno complete ed operative, l'ILRS avrà più di 100 satelliti da tracciare, rispetto ai circa 30 di adesso. Oltre che con ILRS e con la NASA ed ASI, SCF\_Lab collabora intensamente con l'Agenzia Spaziale Europea (ESA): è stato progettato un array di eccellenti prestazioni, il GRA (GNSS Retroreflector Array) da proporre per i satelliti di Galileo; l'agenzia Spaziale Indiana (ISRO) ha inoltre affidato ad SCF\_Lab il test dei CCR per la propria costellazione di navigazione satellitare. È stato inoltre già realizzato un nuovo CCR per le prossime missioni lunari, molto più grande ed efficiente di quelli attualmente in uso, ed è in corso lo sviluppo di array di CCR per l'osservazione della Terra nell'ambito di missioni di interesse sia nazionale che internazionale.

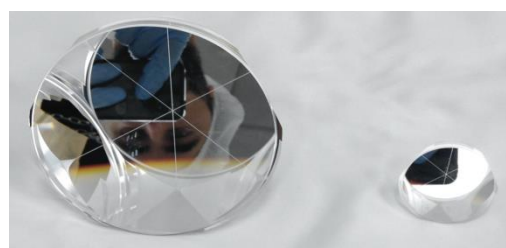
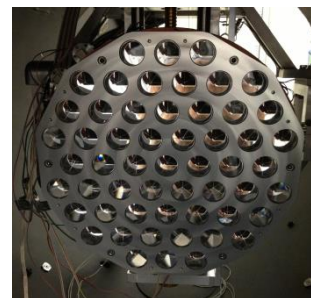


Fig. 5 Il nuovo grande CCR lunare e quello vecchio di Apollo (in basso), GRA (in alto a destra)