

## RAPPORTO TECNICO - TECHNICAL REPORT

### OPSys

relazione sullo stato di attuazione del progetto per  
la rendicontazione intermedia del 30 giugno 2007

Silvano Fineschi

Rapporto nr. 102

31/01/2008

## Esperimento di Meteorologia Spaziale con un Razzo Sonda NASA: Calibrazioni e Collaudo (E66)

Responsabile: Prof. Ester Antonucci

Co-responsabile: Dott. Silvano Fineschi

Istituto Nazionale di Astrofisica – Osservatorio Astronomico di Torino

### Relazione sullo stato di attuazione del progetto per la Rendicontazione Intermedia del 30 giugno 2007



<i>Preparato da:</i>	<i>Signature</i>
<i>Nome: Silvano Fineschi</i> <i>Date : 27 luglio 2007</i>	
<i>Approvato da:</i>	<i>Signature</i>
<i>Nome: Ester Antonucci</i> <i>Date : 27 luglio 2007</i>	



## Indice

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ATTIVITÀ SVOLTA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Formazione di giovani ricercatori.....	4
2.2 Test di luce diffusa su ottiche rivestite con nano-strutture multistrato.....	4
2.3 Test sul polarimetro SCORE .....	6
2.4 Adeguamento a camera bianca ISO 7 del laboratorio presso ALTEC .....	6
2.5 Progetto preliminare di sistema a vuoto per simulazione di ambiente spaziale .....	8
2.6 Software altamente flessibile per il controllo di strumentazione ottica spaziale.....	8
<b>3. ALLEGATI .....</b>	<b>8</b>



## 1. INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca consiste nelle calibrazioni e nel collaudo del coronografo spaziale di nuova generazione, sviluppato nel quadro dell'esperimento 'Sounding-rocket CORonographic Experiment' (SCORE), e dedicato a studi di meteorologia spaziale e fisica solare. SCORE fa parte del programma HERSCHEL che è stato selezionato nel 2003 dalla NASA, nel quadro del programma NASA di voli suborbitali con razzo sonda, ed è inserito nell'iniziativa di meteorologia spaziale della NASA 'Living With a Star' (LWS): convivere con una stella.

SCORE è incluso nel programma dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e nel piano triennale 2007-2010 dell'Istituto Nazionale di Astrofisica. Il progetto integrato (dicembre 2005-dicembre 2008) coinvolge tre gruppi di ricerca appartenenti a: Osservatorio Astronomico di Torino dell'Istituto Nazionale d'Astrofisica (INAF-OATo), Politecnico e Dipartimento di Fisica Generale dell'Università di Torino. L'ALTEC di Torino è anche coinvolta come un partner co-finanziatore. Gli obiettivi primari del progetto sono:

- i) convalida del telescopio spaziale di nuova concezione per lo studio dell'atmosfera esterna del sole, la corona, a fini scientifici ed applicativi (meteorologia spaziale);
- ii) sviluppo di un sistema integrato per collaudo di strumentazione e 'software' per esperimenti scientifici spaziali.

L'INAF-OATo coordina il consorzio che sviluppa il coronografo di SCORE. Lo strumento consiste in un telescopio innovativo per l'acquisizione simultanea di immagini della corona i) nel visibile e ii) in due righe spettrali ultraviolette (UV) emesse dall'idrogeno (HI 121.6 nm) e dall'elio (HeII 30.4 nm), elementi questi più abbondanti dell'atmosfera solare. Il telescopio è posizionato nell'ombra di un occultatore, distante 3 m, che blocca l'intensa luce del disco solare e crea così un'eclisse artificiale per l'osservazione della corona (un milione di volte più tenue del disco solare). Questo tipo di telescopio, detto appunto coronografo, è uno dei 2 strumenti della missione HERSCHEL della NASA. L'altro strumento è sviluppato dal Naval Research Laboratory (NRL), USA.

Un primo lancio di HERSCHEL è programmato entro il 2007

## 2. ATTIVITÀ SVOLTA

Nel periodo dicembre 2005- giugno 2007, l'attività svolta nell'ambito dei due obiettivi primari di cui sopra è consistita in:

- i) convalida di un telescopio di nuova concezione per coronografo spaziale:
  1. Formazione di giovani ricercatori tramite l'attivazione di due assegni di ricerca.
  2. Test di luce diffusa su campioni di ottiche per SCORE rivestiti con nanostrutture multistrato.
  3. Test sul polarimetro SCORE per l'osservazione della corona solare in luce visibile.
- ii) sviluppo di un sistema integrato per collaudo di strumentazione e 'software' spaziale
  4. Adeguamento a camera bianca ISO 7 del laboratorio presso ALTEC.
  5. Progetto preliminare di sistema a vuoto per simulazione di ambiente spaziale.
  6. Sviluppo di software altamente flessibile per il controllo di strumentazione ottica spaziale.



## ***2.1 Formazione di giovani ricercatori***

Due giovani ricercatori, Dott. Gerardo Capobianco e Dott. Lino Mastrodomenico, sono stati coinvolti nel progetto tramite l'attivazione di due assegni di ricerca.

Il 1 novembre 2006, il Dott. Capobianco ha ottenuto un assegno di ricerca INAF-OATo annuale. Egli è stato coinvolto negli aspetti sperimentali riguardanti la strumentazione ottica a bordo di SCORE – con particolare riguardo al polarimetro. Inoltre, egli ha seguito le fasi di adeguamento del laboratorio presso ALTEC che ospiterà la Optical Payload Systems (OPSYS) Facility. Il progetto ha finanziato la sua partecipazione ai seguenti corsi di formazione:

1. LabVIEW Data Acquisition and Signal Conditioning 9,20,21 giugno 2006 National Instruments, Milano
2. Corso base di vuoto + ricerca fughe 15/18 maggio 2007 Varian, Leinì (TO)

Il Dott. Mastrodomenico ha ottenuto un primo assegno di ricerca annuale presso il Politecnico di Torino, il 1 gennaio 2006, poi rinnovato il 1 gennaio 2007. L'obiettivo della sua partecipazione al progetto è stato la progettazione e lo sviluppo di un software flessibile che permetta il controllo di hardware astronomico durante le fasi di calibrazione e collaudo di sonde spaziali o telescopi terrestri.

## ***2.2 Test di luce diffusa su ottiche rivestite con nano-strutture multistrato***

L'elemento più critico in un coronografo è la soppressione della luce diffusa dalle ottiche e dalle strutture dello strumento stesso. Coronografi nel visibile, con requisiti di soppressione di luce diffusa più stringenti, utilizzano lenti di elevata purezza. Nei coronografi per l'UV, invece, si possono usare solo specchi con speciali rivestimenti multistrato. I multistrati sono nanostrutture che depositate su uno specchio ne aumentano la riflettività nell'UV, ma al contempo ne possono aumentare la rugosità superficiale, diventando così una potenziale fonte di luce diffusa. Nel caso di SCORE, gli stessi specchi, rivestiti con multistrati, dovranno operare non solo nell'UV ma anche nel visibile, per ottenere la duplice funzionalità del canale ottico. I due diversi regimi ottici (visibile e UV) sono di solito coperti da due diversi strumenti. E' ovvio il vantaggio per missioni spaziali di una configurazione che, se convalidata, permetterebbe di combinare due strumenti in uno.

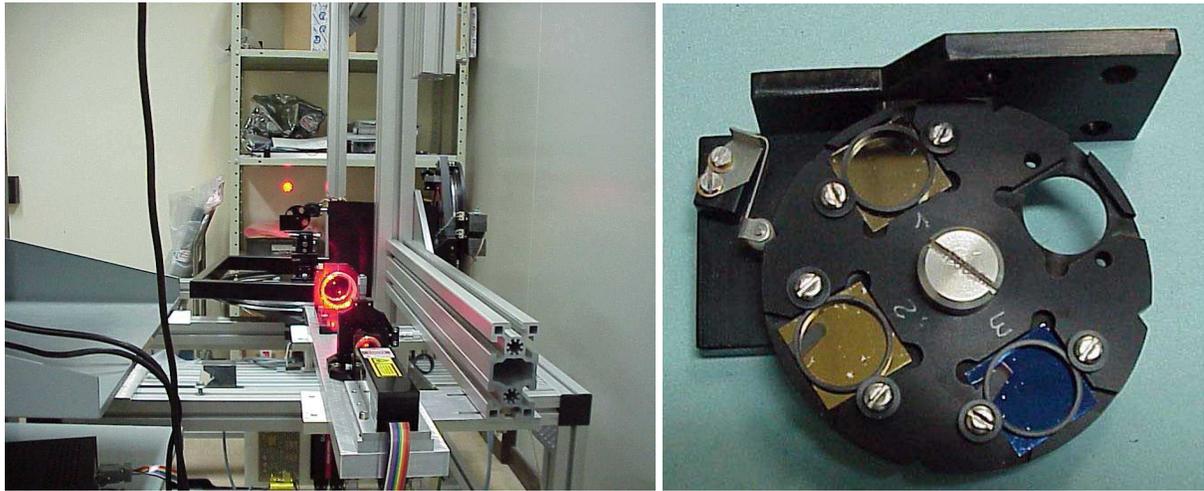
Uno degli obiettivi del programma proposto è quindi la convalida del coronografo tramite la simulazione in laboratorio del forte contrasto di luminosità, nel visibile, tra disco e corona solare (più di un milione), con piccola separazione angolare (mezzo grado)

La metodologia adottata per la verifica della luce diffusa da superfici ottiche con rivestimenti multistrato è consistita nello sviluppo di un esperimento di laboratorio dove diversi campioni di rivestimenti multistrato sono stati illuminati con un fascio laser e la luce diffusa dalle loro superfici è stata misurata a distanze angolari vicine alla direzione di riflessione speculare (Figura 1).

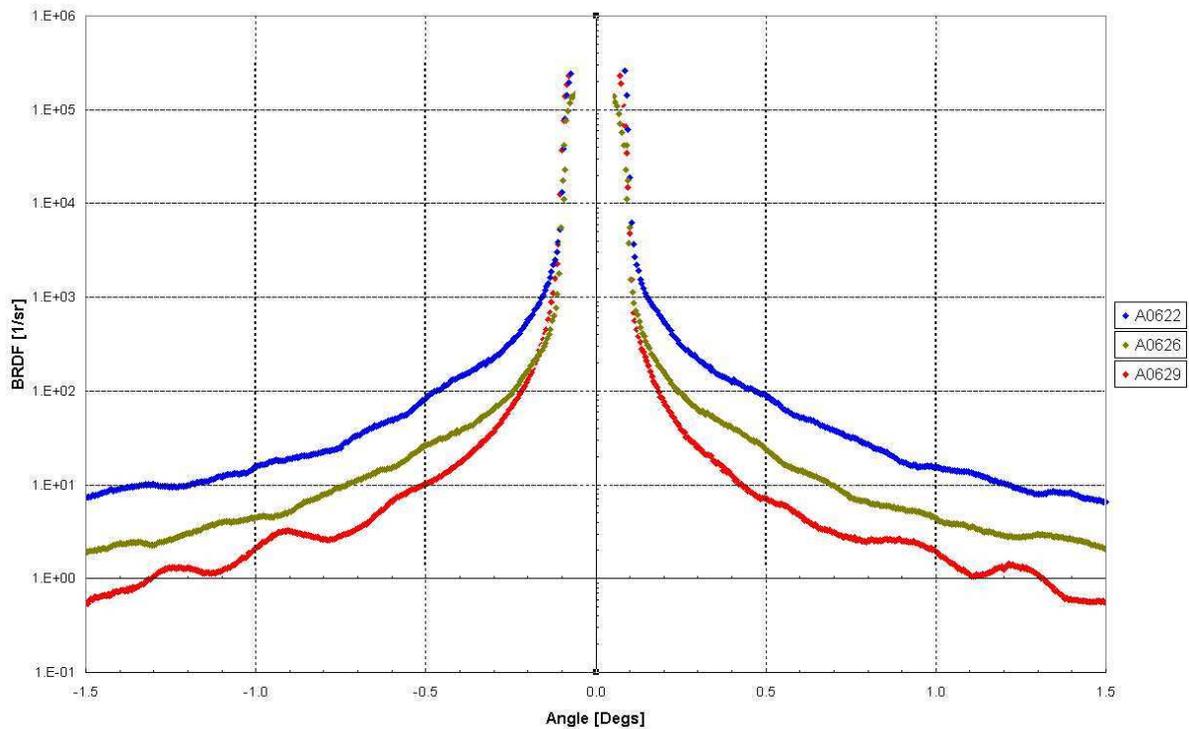
I risultati della misura hanno mostrato che la luce diffusa da superfici con rivestimenti multistrato a piccole distanze angolari ( $<1^\circ$ ) dal raggio specularmente riflesso è quasi 1 milione di volte più debole di quest'ultimo (Figura 2).

Queste misure hanno quindi dimostrato che rivestimenti multistrato UV per ottiche coronografiche possono essere usati anche nella banda della luce visibile in quanto la luce diffusa non specularmente dalle superfici ottiche non disturba la debole immagine coronale specularmente riflessa sul rivelatore.

La descrizione dettagliata della metodologia di misura e dei risultati è riportata in allegato 1.



**Figura 1** - Esperimento di laboratorio (sinistra) per la misura della luce diffusa dalla superficie di campioni ottici con rivestimento multistrato (destra)



**Figura 2** Luce diffusa da superfici con rivestimenti multistrato a piccole distanze angolari ( $<1^\circ$ ) dal raggio specularmente riflesso. Queste misure dimostrano che rivestimenti multistrato UV per ottiche coronografiche possono essere usati anche nella banda della luce visibile in quanto la luce diffusa non specularmente dalle superfici ottiche non disturba la debole immagine coronale specularmente riflessa sul rivelatore



### 2.3 Test sul polarimetro SCORE

Nell'ambito del programma di convalida del telescopio spaziale di nuova concezione per lo studio dell'atmosfera esterna del sole, la corona, un componente critico è il polarimetro per l'osservazione dell'emissione continua coronale nella banda del visibile (K-corona). Il K-corona polarimeter (KPol) è basato su cristalli liquidi che possono modulare elettro-otticamente l'immagine coronale polarizzata. Classicamente questa modulazione è ottenuta ruotando meccanicamente le ottiche polarimetriche. L'uso di cristalli liquidi evita la necessità di avere parti meccaniche in movimento. Questo è un grande vantaggio per le applicazioni spaziali.

Presso l'Osservatorio di Torino sono stati condotti dei test per la definizione delle prestazioni di questo nuovo tipo di strumentazione ottica per applicazioni spaziali. KPol verrà integrato nel coronografo SCORE e collaudato in volo col razzo-sonda NASA.

I dettagli dei test e dei risultati ottenuti sono riportati nell'allegato 2.



Figura 3 (Sinistra) K-corona polarimeter (KPol) utilizzato per i tests. (destra) Il KPol è basato su cristalli liquidi che possono modulare elettro-otticamente l'immagine coronale polarizzata

### 2.4 Adeguamento a camera bianca ISO 7 del laboratorio presso ALTEC

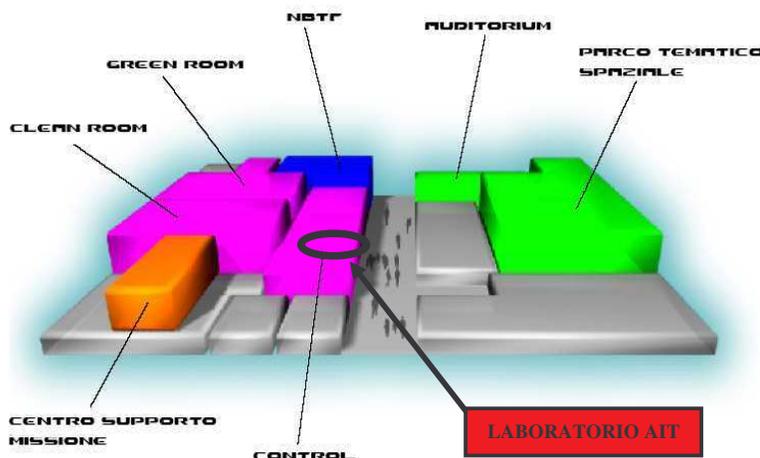


Figura 4 Laboratorio "Alignment, Integration and Verification" (AIV) per collaudo di strumentazione ottica spaziale, presso ALTEC di Torino.

Presso ALTEC, Torino, sono stati eseguiti i lavori di adeguamento a camera bianca classe ISO 7 del laboratorio di "Alignment, Integration and Verification" (AIV) dove verrà installato il sistema a vuoto per la simulazione di ambiente spaziale per collaudi di strumentazione ottica spaziale (Figura 4).

Specificatamente, i lavori eseguiti sono consistiti in:



#### A. IMPIANTO DI PRODUZIONE ACQUA REFRIGERATA/CALDA

1. Dichiarazione di conformità gruppo frigo a pompa di calore Blue Box modello EPSILON 25 CF/ST/HP;
2. AS-BUILT “Distribuzioni Tubazioni” - Tavole Nr. EIFX01 – Nr. EIFX02– Nr. EIFX06;
3. Documentazione componenti ed accessori idraulici;
4. Progetto impianti elettrici per nuova alimentazione elettrica – Relazione Tecnica e tavola n° EIEX01,
5. Certificazione 46/90 rilasciata dalla Ditta esecutrice F & PN Automazione relativa all’impianto elettrico;

#### B. INTERVENTI SU IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO ARIA

1. Tavola planimetrica Nr. IMP/SS/07L565 relativa al nuovo posizionamento degli anemostati;
2. Comunicazione di fine lavori da parte della Ditta esecutrice F & PN Automazione;
3. Certificato di Regolare Esecuzione Lavori;
4. Collaudo di qualità e velocità dell’aria in ambiente - Laboratorio AIV;

#### C. INTERVENTI PER SUDDIVISIONE LOCALE

1. AS - BUILT – Tavola n° 3070 SIM ;
2. Dichiarazione di corretta posa in opera rilasciata dalla Ditta esecutrice PARTECO;
3. Dichiarazioni reazione al fuoco e certificazioni dei materiali moduli parete divisoria ;
4. Scheda tecnica componenti della parete;

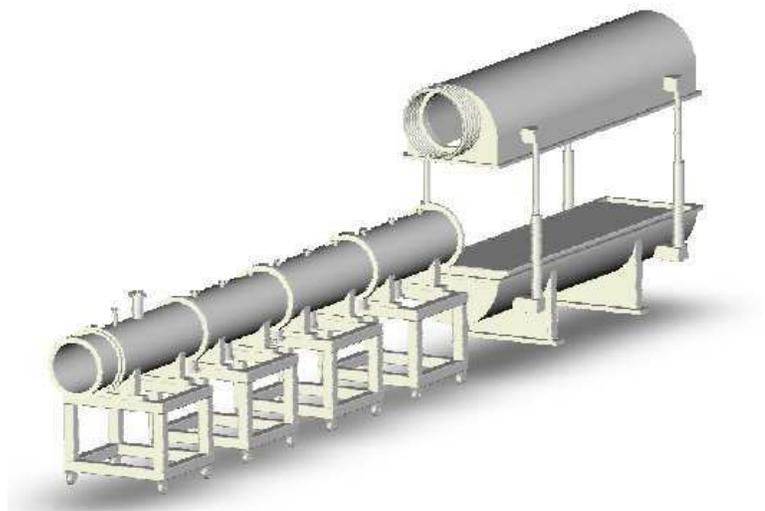
Figura 5 mostra il laboratorio AIV prima dei lavoro d’adeguamento (sinistra) e dopo l’intervento di suddivisione del locale (destra) adibito a camera bianca classe ISO 7. I dettagli sulla certificazione sono riportati nell’allegato 3.



**Figura 5** Laboratorio AIV prima dei lavoro d’adeguamento (sinistra) e dopo l’intervento di suddivisione del locale (destra) adibito a camera bianca classe ISO 7.

## 2.5 Progetto preliminare di sistema a vuoto per simulazione di ambiente spaziale

Uno degli obiettivi del programma proposto è la convalida del coronografo tramite la simulazione in laboratorio del forte contrasto di luminosità, nel visibile, tra disco e corona solare (più di un milione), con piccola separazione angolare (mezzo grado). La metodologia adottata consiste nello sviluppo di un laboratorio con apparecchiature capaci di simulare i) il contrasto luminoso tra disco e corona solare, e ii) la loro piccola separazione angolare. In questo 'simulatore solare', inoltre, qualsiasi fonte



**Figura 6** Schema progettuale della camera a vuoto per il simulatore spaziale da installare nel laboratorio AIV, presso ALTEC

ambientale di luce diffusa (polveri e/o aerosol in sospensione nell'aria) sarà minimizzata

collocando sorgente e strumento in un serbatoio evacuabile fino a una pressione di un milionesimo di atmosfera, specifica di vuoto questa non particolarmente stringente. La camera a vuoto deve essere però i) abbastanza grande da poter accomodare il coronografo, lungo 3 metri, e ii) posta in ambiente controllato, 'camera bianca', per non contaminare la strumentazione spaziale.

Figura 6, mostra lo schema del progetto preliminare per la camera vuoto che è stato definito nel periodo in oggetto. La progettazione definitiva e la realizzazione della camera a vuoto rappresenterà l'attività principale del secondo semestre 2007.

## 2.6 Software altamente flessibile per il controllo di strumentazione ottica spaziale

Nel periodo in oggetto, l'unità operativa del Politecnico di Torino ha svolto le seguenti attività:

- 1) Definizione di un'architettura software altamente flessibile per il controllo di strumentazione ottica spaziale nelle fasi di collaudo e calibrazione pre- e post- volo.
- 2) Cattura dei requisiti, progettazione e parziale sviluppo di un prototipo software basato sull'architettura precedentemente definita, da utilizzare per gli esperimenti del progetto SCORE
- 3) Studio di un prototipo del software di bordo, sviluppato dall'NRL, che verrà usato per il controllo degli esperimenti su razzo sonda NASA nel progetto SCORE, e individuazione di una possibile metodologia per il collaudo del software.

Per quanto riguarda il punto 1), la flessibilità richiesta riguarda la possibilità di controllare una grande varietà di hardware, in vari stati di integrazione (da un singolo sensore isolato ad un'intera sonda completamente integrata). Il raggiungimento di un adeguato livello di flessibilità ha richiesto un attento studio preliminare delle caratteristiche dei sistemi da collaudare e calibrare e l'ideazione di una soluzione architettonica adeguata e innovativa. Normalmente infatti il software di collaudo e calibrazione viene prodotto per una specifica strumentazione. L'idea architettonica di fondo che è stata sviluppata per raggiungere l'obiettivo consiste nell'organizzare il software su due livelli:



- un livello fornisce un framework generico per il controllo di strumenti ottici spaziali, completamente slegato da specifici modelli hardware e dalle caratteristiche dei singoli strumenti, nonché dal sistema operativo su cui viene eseguito;
- un secondo livello incorpora esclusivamente le modalità specifiche di accesso all'hardware e le altre caratteristiche dipendenti dagli strumenti, e si configura come un insieme di plugin, specifici per i vari strumenti da utilizzare.

Con quest'architettura, il software può essere esteso semplicemente per operare con diversi hardware e sistemi operativi. Per incorporare l'interfacciamento con nuovi strumenti è infatti sufficiente scrivere semplici moduli software di adattamento, da collegare con l'interfaccia software prevista dal framework.

Per quanto riguarda il punto 2), è stato realizzato un prototipo del livello alto (il framework generale), denominato ASCI (Adaptable Space Control Interface). Come ambiente di sviluppo è stato selezionato il linguaggio di programmazione *Python*, che fornisce una notevole indipendenza dalla piattaforma e nello stesso tempo una notevole semplicità di programmazione, consentendo la possibilità di integrare driver scritti in altri linguaggi (come per esempio C o C++) o per l'ambiente LabVIEW. Lo sviluppo del prototipo di ASCI è stato svolto collaborando, per l'analisi dei requisiti, con il personale dell'Osservatorio Astronomico, che ha fornito il punto di vista e le esigenze degli utilizzatori. Il processo di sviluppo è stato incrementale, partendo da un prototipo con un insieme minimo di funzionalità che è stato quindi arricchito principalmente a livello di interfaccia grafica, protocolli di comunicazione ed elaborazione preliminare delle immagini acquisite. Il collaudo del software ASCI è stato effettuato utilizzando, per il secondo livello, dei plugin che si basano su driver dummy (che simulano alcuni dei dispositivi che saranno utilizzati per il progetto SCORE). Questi plugin costituiscono il prototipo iniziale del software denominato STOCC (SCORE Test and Operation Command and Control), che consentirà di utilizzare concretamente il framework per il progetto SCORE, nel momento in cui saranno disponibili le specifiche e i prototipi dei dispositivi del progetto SCORE. Ulteriori dettagli di queste attività e le motivazioni per le scelte effettuate sono documentati nel report "A Framework for Astronomy Control Applications" (allegato 4).

Per quanto riguarda il punto 3), il software prodotto dall'NRL è stato studiato, ed è stata valutata la possibilità di collaudarlo interfacciandolo al sistema STOCC. È stata anche valutata la possibilità di sperimentare su di esso l'applicazione di metodologie di collaudo basate su estrazione di modelli dal codice sorgente, che consentirebbero di simularne e analizzarne il comportamento in condizioni particolari, non facilmente riproducibili con il collaudo classico.

### 3. ALLEGATI

1. UVCI BRDF test procedure on plane reflective samples and results
2. KPol transmissivity test
3. Collaudo di qualità e velocità dell'aria in ambiente – Lab. AIV: Clean Room e Grey Room
4. A Framework for Astronomy Control Applications