

## **Rafforzamento di infrastrutture di laboratorio per ricerca spaziale in INAF<sup>1</sup>**

M. Tavani (Presidente INAF)

### **Contesto di riferimento e stato attuale delle facility presso INAF**

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) occupa una posizione di eccellenza nel campo della ricerca scientifica spaziale, conquistata nel tempo per mezzo di numerosi successi riconosciuti a livello internazionale.

Lo studio dell'Universo alle varie lunghezze d'onda e l'esplorazione del Sistema Solare sono punti di forza della ricerca italiana in astrofisica spaziale. L'INAF sviluppa queste tematiche in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) ed in sinergia con gli altri Istituti di Ricerca ed Università.

L'elemento chiave che permette all'INAF di essere competitivo a livello internazionale nell'ambito della ricerca spaziale è l'innovazione tecnologica. Difatti, la capacità di sviluppare strumentazione scientifica all'avanguardia costituisce un elemento fondamentale per la realizzazione di programmi spaziali nazionali così come per stabilire collaborazioni bilaterali con altri paesi oppure partecipare a missioni in ambito ESA, NASA o di altre agenzie.

L'INAF possiede una competenza riconosciuta a livello internazionale nella progettazione e costruzione di strumentazione spaziale di frontiera. La realizzazione di tale strumentazione richiede necessariamente la disponibilità di facility specifiche, progettate per essere conformi ai livelli di qualità imposti dagli standard spaziali, che permettano, ad ampio spettro, di condurre in modo completo ed efficiente le attività di R&D e di progettazione, integrazione, test, qualifica e calibrazione di strumenti spaziali.

### **Proposta di rafforzamento dei laboratori per attività spaziali presso INAF**

Si propone un potenziamento delle attrezzature e dei laboratori INAF di Astrofisica spaziale che portino ad un notevole incremento della capacità realizzative dell'Ente. Il rafforzamento delle infrastrutture di laboratorio interessa i settori indicati in Tabella 1 con il relativo budget proposto per l'anno 2022. Le Appendici 1 e 2 forniscono i dettagli della proposta. Il quadro degli interventi proposti è suscettibile di ulteriori approfondimenti.

**Tabella 1: Settori di interesse e budget 2022**

Settore	Budget (€)
Astrofisica delle Alte Energie	2.475.000,00
Fisica Solare	150.000,00
Astrobiologia	440.000,00
Planetologia	2.350.000,00
Esopianeti	500.000,00
Ingegneria spaziale	4.085.000,00
<b>Budget totale (€)</b>	<b>10.000.000,00</b>

Qualora il finanziamento dovesse essere confermato anche per gli anni successivi al 2022, si richiede un ulteriore stanziamento di 5 M€ nel 2023 e di 5 M€ nel 2024.

---

<sup>1</sup> Proposta frutto di una ricognizione della Direzione Scientifica INAF (coordinata da A. Argan e F. Esposito).

## **Appendice 1: Potenziamento laboratori INAF**

Proponiamo gli interventi specificati qui di seguito i quali sono stati inizialmente identificati a partire dal censimento delle facility INAF la cui relazione finale è disponibile in rete ([http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/direzione-scientifica/ufficio-spazio/documenti\\_uo2/Schede\\_Facilities%20INAF\\_2021\\_02\\_12.pdf/view](http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/direzione-scientifica/ufficio-spazio/documenti_uo2/Schede_Facilities%20INAF_2021_02_12.pdf/view)).

La proposta degli interventi che seguono è suscettibile di ulteriori approfondimenti.

### **1) Astrofisica delle Alte Energie:**

#### **Osservatorio Astronomico di Brera (OAB)**

Macchina CNC 5 assi con movimentazione Mandrino con assistenza a ultrasuoni.

*Un aspetto chiave dell'efficienza del sistema opto-meccanico in applicazioni spaziali, con particolare riferimento ai sistemi ottici per astronomia in raggi X (basati su ottiche radenti) e ottiche a incidenza normale per Astronomia e Earth Observation dallo spazio è la tolleranza di fabbricazione che può essere raggiunta, insieme alla capacità di lavorare diversi tipi di materiali sia metallici che vetro-ceramici. Un'opto-meccanica più precisa già nella fase di fresatura ridurrà poi i tempi di figuring e polishing di precisione di tipo deterministico. Accoppiando quindi una macchina di produzione precisa come quella ad ultrasuoni alle tecnologie di prototipazione rapida si chiuderà il ciclo della capacità di creare forme libere e opto-meccaniche precise.*

Costo stimato (IVA inclusa): 1.100.000,00 €.

#### **Osservatorio Astronomico di Trieste (OATs)**

Electron Beam Ion Trap (EBIT).

*L'Electron Beam Ion Trap (EBIT) è uno strumento per produrre ioni di carica elevata (HCI) per mezzo di un fascio di elettroni focalizzati e confinarli per essere studiati per mezzo di ulteriori collisioni con bersagli diversi. Gli HCI sono relativamente abbondanti in una varietà di ambienti astrofisici gassosi. Proponiamo quindi di acquisire una configurazione EBIT per lo studio di HCI di interesse astrofisico. L'EBIT può sfruttare il fascio di luce di sincrotrone attualmente disponibile presso l'Elettra-Sincrotrone e può consentire misurazioni critiche per ioni N, C, O, Ne, S, Si a bassa ed alta ionizzazione.*

Costo stimato (IVA inclusa): 237.000,00 €

#### **Osservatorio Astronomico di Palermo (OAPA)**

Potenziamento facility XACT.

*La facility di calibrazione XACT per strumenti di Alte Energie consiste in una linea a vuoto da 35 m dotata di una sorgente X soft multianodo, un monocromatore, un'ampia camera sperimentale e una camera con accesso da cleanroom.*

*Il potenziamento proposto è funzionale a estendere la facility per la calibrazione di strumenti di volo sensibili anche ai raggi X duri. In particolare, si prevede di effettuare i seguenti interventi di potenziamento: sostituzione delle pompe da vuoto obsolete, acquisto di rivelatori X a immagine con risoluzione energetica, acquisto di rivelatori con efficienza quantica calibrata, acquisto di una sorgente hard-X, acquisizione di un refrigeratore per effettuare calibrazioni a temperature controllate, installazione di una cappa pulita mobile all'ingresso della camera di test. E' prevista inoltre l'implementazione di un sistema di automazione capace di gestire tutte le operazioni della linea, necessario per campagne di calibrazione continuative di lunga durata.*

Costo stimato (IVA inclusa): 1.000.000,00 €

## **Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio (OAS)**

### Potenziamento laboratorio rivelatori X/Gamma.

*Il gruppo di astrofisica X-gamma si occupa del disegno, realizzazione e test di rivelatori di alte energie per impiego spaziale. I progetti in corso sono relativi alla realizzazione di cube/nanosat (e.g. HERMES) e di rivelatori modulari di grande area e banda larga (e.g. strumento XGIS proposto per la missione THESEUS e per altre proposte di missione anche in collaborazione con NASA).*

*E' auspicabile il potenziamento dei 3 laboratori disponibili ad INAF OAS che consiste nell'acquisizione di:*

- *attrezzatura per test dell'elettronica di lettura dei rivelatori (picoamperometro, oscilloscopio di larga banda multicanale);*
- *strumentazione per test e verifica dei requisiti termomeccanici, per la valutazione dell'idoneità all'impiego spaziale e per assicurare la conformità con i requisiti imposti dall'ESA.*

Costo stimato (IVA inclusa): 245.000,00 €

## **2) Fisica Solare**

### **Osservatorio Astrofisico di Torino (OATo)**

#### Potenziamento della Optical Payload System (OPSys) facility.

*OPSys è un laboratorio spaziale per l'integrazione, test e calibrazione di strumentazione ottica spaziale dell'OATo, ospitato presso l'ALTEC di Torino.*

*La OPSys facility consiste di camera bianche (100 mq) che ospitano una camera a vuoto (4.5 m<sup>3</sup>) con sistemi ottici e sorgenti luminose che consentono di simulare le condizioni ambientali, operative e di illuminazione in cui si troveranno a operare strumenti ottici spaziali. Il laboratorio stato utilizzato per l'integrazione e calibrazioni di telescopi solari per missioni ESA e NASA (Solar Orbiter, PROBA-3).*

*Il potenziamento di questa facility, unica in Italia, e tra le poche esistenti in Europa, include l'upgrade delle sorgenti luminose e dei sistemi ottici, il potenziamento del sistema di termo-vuoto e l'aggiunta di una nuova camera da vuoto per test di sottosistemi.*

Costo stimato (IVA inclusa): 150.000,00 €

## **3) Astrobiologia**

### **Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Firenze (OAA)**

#### Sviluppo facility per identificazione della materia organica su Marte.

*Nell'ambito dell'esplorazione marziana, in qualità di Participating Scientist della missione NASA Perseverance e di Interdisciplinary Scientists della missione ESA ExoMars la richiesta mira a dotare la facility spazio dell'OAA della strumentazione necessaria per l'identificazione della materia organica su Marte fornendo set di dati di riferimento necessari per interpretare le osservazioni spettroscopiche e cromatografiche in situ effettuate dagli strumenti SuperCam e SHERLOC, microOMEGA e MOMA.*

Costo stimato (IVA inclusa): 440.000,00 €

#### 4) Planetologia

##### **Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli (OACN)**

###### Potenziamento facility per esplorazione spaziale di Marte e Luna.

*Nell'ambito dei progetti relativi all'esplorazione spaziale di Marte (in particolare con la missione ExoMars) e della Luna, si rende necessario l'upgrade delle facilities a disposizione presso l'OACN per i test e la calibrazione della strumentazione spaziale in sviluppo, e per l'analisi e interpretazione scientifica dei risultati ottenuti attraverso osservazioni remote e in situ.*

*In particolare sono necessari:*

- un granulometro per la caratterizzazione della polvere utilizzata durante i test di caratterizzazione dei sensori di polvere spaziali;*
- potenziamento della camera di simulazione marziana dell'OACN per test in presenza di vento e polvere della strumentazione in via di sviluppo/caratterizzazione;*
- realizzazione di una camera di simulazione lunare per test di strumentazione lunare in via di sviluppo;*
- sistema integrato per spettroscopia nell'intervallo UV-VIS-NIR, Raman e imaging in catodoluminescenza e fotoluminescenza (Horiba serie CLUE), per supporto interpretazione dei dati dal rover ExoMars;*
- upgrade SEM, microscopio elettronico e XRD per analisi polvere;*
- camera termica per simulazione atmosfere planetarie.*

Costo stimato (IVA inclusa): 1.100.000,00 €

##### **Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS)**

###### Potenziamento laboratorio Analoghi.

*Il laboratorio di spettroscopia di analoghi planetari è attivo nel campo della spettroscopia Visibile, Infrarossa e Raman su campioni solidi, minerali, rocce, meteoriti. Le attività del laboratorio rappresentano un essenziale supporto scientifico per l'interpretazione dei dati di remote sensing dalle varie missioni spaziali ad oggetti del Sistema Solare.*

*Il potenziamento del laboratorio prevede l'acquisto di strumentazione per l'irraggiamento di campioni allo scopo di simulare gli effetti dello space weather; l'acquisto di componentistica ottica per estensione del range spettrale all'IR; l'acquisto di componenti per potenziamento del sistema da vuoto; l'acquisto di un sistema di controllo della temperatura per compressore ad He liquido; spettrometro di massa per studio di composti volatili.*

Costo stimato (IVA inclusa): 300.000,00 €

##### **Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS)**

###### Potenziamento facility di Calibrazione di strumentazione elettro-ottica.

*Il personale IAPS coinvolto nelle missioni di esplorazione dei corpi del Sistema Solare ha sviluppato nel corso degli ultimi due decenni un notevole expertise nella caratterizzazione e calibrazione a Terra ed in volo di spettrometri ad immagine dal visibile all'infrarosso termico. L'obiettivo è potenziare i laboratori IAPS con strumentazione dedicata alla calibrazione di strumenti ad immagine dal visibile all'IR (5um). A tale scopo si prevede l'acquisto di un Hexapod da vuoto controllato su 6 assi, una sfera integratrice 0.5m diametro, sorgenti Vis ed IR; autocollimatori e teodolite digitale; collimatori VIS/IR; micro posizionatori e tavole motorizzate; monocromatore VIS/IR; microscopio ottico; interferometro laser per metrologia; componentistica ottica.*

Costo stimato (IVA inclusa): 500.000,00 €

### **Osservatorio Astronomico di Padova (OAPD)**

Upgrade del laboratorio di ottica presso OAPD per la calibrazione ottica e fotogrammetrica di camere e lenti spaziali.

*L'upgrade prevede l'acquisto di strumentazione specifica per la visione 3D e di camere monocromatiche da utilizzare e per la riproduzione della visione stereo (heritage: SIMBIO-SYS BepiColombo; CaSSIS ExoMars TGO; HYPPOS; PANCAM); collimatore classe 400-500mm per test telescopi ottici.*

Costo stimato (IVA inclusa): 130.000,00 €

### **Osservatorio Astrofisico di Catania (OACT)**

Potenziamento Laboratorio Astrofisica Sperimentale

*Il Laboratorio di Astrofisica Sperimentale ha esperienza trentennale nello studio di analoghi planetari sottoposti ad irraggiamento con ioni veloci e fotoni UV e nell'analisi in situ (cioè in condizioni di vuoto e bassa temperatura) dei campioni. L'analisi in situ ha il vantaggio di poter analizzare il campione senza estrarlo dalla camera di analisi e quindi evitando che il campione sia contaminato dall'ambiente. Inoltre l'analisi viene condotta in condizioni simili a quelle di uno strumento a bordo di una sonda spaziale sulla superficie di un pianeta o asteroide. Il potenziamento del laboratorio prevede l'acquisto di un sistema Raman dotato di un'ottica confocale per l'analisi in situ di analoghi di laboratorio sottoposti a condizioni di vuoto, bassa temperatura e processamento con ioni veloci e fotoni UV e di un microscopio per l'analisi di campioni extraterrestri (particelle di polvere interplanetaria, micrometeoriti, campioni riportati a Terra da missioni spaziali). Il sistema Raman verrà interfacciato alla strumentazione esistente ed in particolare alla camera di analisi collegata all'impiantatore ionico.*

Costo stimato (IVA inclusa): 320.000,00 €

## **5) Esopianeti**

### **Osservatorio Astrofisico di Catania (OACT)**

Aggiornamento telescopio fotoelettrico automatico.

*I telescopi a terra sono fondamentali per supportare le missioni spaziali quando sono necessarie informazioni complementari o dati di follow-up per studiare e comprendere i fenomeni osservati. Proponiamo di aggiornare il telescopio fotoelettrico automatico APT80 della stazione osservativa Serra La Nave (INAF-Osservatorio Astrofisico di Catania) con un nuovo telescopio veloce e automatizzato di classe 1m. L'APT80 è stato utilizzato principalmente per seguire gli alerts del satellite Gaia e per monitorare le stelle che ospitano (eso) pianeti. Un telescopio veloce e automatizzato di classe 1m, dotato di una fotocamera adeguata, di una suite di filtri e di grism, consentirà: i) il follow-up di alerts provenienti da missioni spaziali; ii) il follow-up di alerts dalle reti dedicate alla Space Situational Awareness; iii) il follow-up dei sistemi esoplanetari scoperti da Gaia con l'astrometria; iv) il follow-up dei pianeti TESS, anche per cercarne di nuovi nei sistemi scoperti, e il supporto alle curve di fase monocromatiche Cheops con dati multibanda utili a derivare l'albedo dei pianeti investigati; v) la revisione delle efemeridi esoplanetarie necessarie per lo studio delle atmosfere con JWST e Ariel.*

Costo stimato (IVA inclusa): 500.000,00 €

## 6) Ingegneria spaziale

### **Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali (IAPS)**

#### Sviluppo di una Integration and Test Facility.

*La presente proposta riguarda la realizzazione di una Integration and Test Facility, costituita da una Camera Bianca (Clean Room) di ampia metratura, da realizzarsi in locali esistenti dell'istituto, destinata ad attività di integrazione, test e qualifica di strumentazione spaziale in ambiente controllato (pulizia, umidità, temperatura), dotata di apparecchiature e strumentazione di test. La Clean Room avrebbe una superficie totale di 230 mq, suddivisa in 3 aree di crescente standard di pulizia (150 mq in ISO-8, 50 mq in ISO-7 e 30 mq in ISO-6), per consentire l'integrazione ed il test di strumentazione a diversi livelli di suscettibilità all'ambiente. La dimensione della facility permetterà l'integrazione/test di strumentazione complessa e/o l'integrazione/test simultanea di più esperimenti e rappresenterà una infrastruttura di riferimento per l'intero INAF, nonché per la vicina Agenzia Spaziale Italiana. All'interno della facility verrà ospitato il portello di apertura di una camera a termovuoto, per consentire test di qualifica ambientale. Questa verrà ricavata dall'upgrade della camera a termovuoto HVT-1600 già disponibile presso l'istituto, portandone il range di temperatura dagli attuali -60/+100°C a -200/+120°C ed il volume dagli attuali 1600 l a 2000 l, per consentire il test di apparecchiature per missioni Deep Space e/o di ampio volume. Nella stessa Clean Room verranno poi ospitate altre apparecchiature di test, alcune già disponibili in istituto ed altre da acquisire nell'ambito di questo progetto, quali una Coordinate Measurement Machine per la metrologia tridimensionale di precisione (<10 micron su un volume di 1 mc), uno spettrometro UV/VIS/IR Bruker Vertex 80V con microscopio IR Hyperion, operante nel range 200 nm – 28 micron, per l'analisi di materiale (e.g., campioni di origine extraterrestre di ritorno da missioni planetarie) e una probe station ed una wire bonding per integrazione di sistemi ad alta densità.*

Costo stimato (IVA inclusa): 2.100.000,00 €

### **Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio (OAS)**

#### Potenziamento laboratorio per test di qualifica di schede elettroniche di front-end, di rivelatori e di applicativi software.

*Presso l'OAS è allestito un laboratorio che fornisce un ambiente per analisi funzionale utilizzando una interfaccia EGSE per il commanding and control di ASW che gestiscono unità elettroniche e componenti elettronici per missioni spaziali. Per caratterizzare il segnale di rivelatori si vorrebbe potenziare il laboratorio con sistemi di analisi dei segnali digitali e creando una infrastruttura criogenica. A questo scopo serve ripristinare la catena di freddo e regolazione della temperatura di sistemi già presenti a Bologna (cryo-dewar e una camera di termovuoto). Con questi sistemi si potranno fare ulteriori analisi termiche e funzionali di diversi componenti elettronici.*

Costo stimato (IVA inclusa): 105.000,00 €

### **Osservatorio Astronomico di Roma (OAR)**

#### Potenziamento laboratorio Laser Guide Star Adaptive Optics.

*In OAR risiede oltre 15 anni di esperienza acquisita nell'utilizzo e sviluppo di tecnologie Laser Guide Stars per l'ottica adattiva (LGS-AO) in sinergia con le realtà impegnate nelle comunicazioni spaziali relative agli Optical Feeder Links con lasers. Le attività legate ai sistemi adattivi con LGS-AO, che coinvolgono l'industria italiana, sono strategiche sia per lo spazio, con l'Agenzia Spaziale Italiana, sia per la difesa (calcolo delle orbite dei satelliti), sia per le ricerche sperimentali di fisica fondamentale. Ciò che ci proponiamo è di supportare il laboratorio Laser Guide Star Adaptive Optics di INAF-OAR, unico in Italia, realizzando una cupola con telescopio per sistemi laser di*

comunicazione 'free-space', da usare per la prototipazione e la verifica sperimentale di Optical Ground Stations assieme all'industria italiana ed in collaborazione con ASI. Quindi, allo scopo di rendere il LGS-AO lab una facility in grado di porsi come supporto all'attività di Integrazione, calibrazione e test per un ampio ventaglio di strumentazione nell'ambito della ricerca e dell'industria per le telecomunicazioni satellitari, ci proponiamo di realizzare presso l'INAF-OAR una infrastruttura equivalente ad una stazione ottica terrestre (Optical Ground Station), dedicata ai test e alle dimostrazioni di free-space laser optical communication, per prototipi OGS di sistemi di comunicazione terra-satellite con laser di alta potenza.

Costo stimato (IVA inclusa): 900.000,00 €

#### **Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica di Palermo (IASF-Palermo)**

##### Potenziamento della sezione spaziale del laboratorio di elettronica.

Il laboratorio di elettronica dello IASF di Palermo è rinomato per la progettazione e lo sviluppo di elettronica per strumentazione Astrofisica per osservazioni da terra e da spazio. Per potenziare la sezione spaziale del laboratorio, s'intende realizzare una clean room completamente arredata e corredata di strumentazione per misure elettroniche all'avanguardia per almeno tre postazioni. La principale strumentazione di ogni postazione sarà costituita da Power Analyzer, Oscilloscopio, Logic Analyzer, Device Current Waveform Analyzer, Spectrum Analyzer, Low Noise Power Supply. Inoltre, al fine di coprire tutte le fasi di testing occorre disporre di una camera termovuoto con controllo remoto e di termocamere ad alta velocità per l'acquisizione di transienti termici.

Costo stimato (IVA inclusa): 850.000,00 €

#### **Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica di Milano (IASF-Milano)**

##### Potenziamento del laboratorio di elettronica spaziale.

Presso i laboratori dello IASF-Milano si sviluppano e testano rivelatori ed elettronica per applicazioni spaziali (Solar Orbiter/Metis, Hermes, eXTP, Athena-calibrazioni, Theseus, PLUS, vari programmi di R&D basati su SDD). In questo contesto è fondamentale poter condurre test ambientali simulando le condizioni di utilizzo. Una camera termovuoto TVAC, con un volume di lavoro inferiore al m<sup>3</sup>, che permetta di fare test estensivi variando in modo controllato temperatura e pressione sarebbe un significativo upgrade del laboratorio.

Costo stimato (IVA inclusa): 230.000,00 €

## Appendice 2: Schema riassuntivo e budget

**Tabella 2: schema di massima del budget per singolo intervento**

<b>Tipologia di Laboratorio</b>	<b>Strutture INAF</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Costo (IVA inclusa)</b>
<b>Astrofisica delle Alte Energie</b>	OAB	Macchina CNC 5 assi	1.000.000,00 €
	OATS	Electron Beam Ion Trap (EBIT)	230.000,00 €
	OAPA	Potenziamento facility XACT	1.000.000,00 €
	OAS	Potenziamento laboratorio rivelatori X/Gamma	245.000,00 €
<b>Fisica Solare</b>	OATO	Potenziamento OPSys	150.000,00 €
<b>Astrobiologia</b>	OAA	Sviluppo facility materia organica su Marte	440.000,00 €
<b>Planetologia</b>	OACN	Potenziamento facility per esplorazione Marte e Luna	1.100.000,00 €
	IAPS	Potenziamento laboratorio Analoghi	300.000,00 €
	IAPS	Potenziamento facility di Calibrazione elettro-ottica	500.000,00 €
	OAPD	Potenziamento laboratorio di ottica	130.000,00 €
	OACT	Potenziamento Laboratorio Astrofisica Sperimentale	320.000,00 €
<b>Esopianeti</b>	OACT	Aggiornamento telescopio automatico	500.000,00 €
<b>Ingegneria spaziale</b>	IAPS	Sviluppo di una Integration and Test Facility	2.000.000,00 €
	OAS	Potenziamento laboratorio per test di qualifica di elettronica/software	105.000,00 €
	OAR	Potenziamento laboratorio Laser Guide Star Adaptive Optics	900.000,00 €
	IASF-Palermo	Potenziamento laboratorio di elettronica spaziale	850.000,00 €
	IASF-Milano	Potenziamento laboratorio di elettronica spaziale	230.000,00 €
<b>COSTO TOTALE (IVA inclusa)</b>			<b>10.000.000,00 €</b>