# PIANO TRIENNALE 2017-2019

INAF

ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
NATIONAL INSTITUTE FOR ASTROPHYSICS

# INTRODUZIONE DEL PRESIDENTE

**Premessa**.

L'astrofisica moderna costituisce uno dei più potenti driver della conoscenza della Natura, ed allo stesso tempo un motore di sviluppo senza paragoni di quelle tecnologie innovative che creano sviluppo economico, cambiano i modelli sociali, e migliorano la qualità della vita. E' sufficiente ricordare il WI-FI, inventato e brevettato dagli astronomi australiani per risolvere problemi tecnici specifici connessi a particolari misure radioastronomiche; un dispositivo che ha creato poi un incredibile business e ha cambiato il nostro stile di vita. E poi ancora, va ricordata la quantità di brevetti prodotti dalle agenzie spaziali di tutto il mondo durante lo sviluppo delle missioni spaziali che rappresentano l'aspetto complementare delle osservazioni astronomiche da terra. L'Universo infatti "ci parla" anche a lunghezze d'onda che vengono assorbite dall'atmosfera (per esempio i raggi X e gamma) e quindi non sono osservabili neanche con i giganteschi impianti astronomici moderni ma richiedono l'utilizzo di rivelatori in orbita. E in altri casi, le misure "sul posto" sono insostituibili, come avviene nel caso dell'esplorazione del sistema solare attraverso sonde robotizzate.

**L'INAF**.

In questo ampio spettro di attività di respiro internazionale, che va dalle osservazioni da terra con telescopi e radiotelescopi di nuova generazione, alle osservazioni da satellite, all'esplorazione "ravvicinata" del sistema solare, l'Istituto Nazione di Astrofisica (INAF), circa mille dipendenti distribuiti in diciassette Strutture territoriali, costituisce uno dei fiori all'occhiello del Paese, sia per il tenore della produzione scientifica dei propri ricercatori, sia per le sue capacità di progettazione, realizzazione e conduzione di grandi Infrastrutture nazionali e internazionali.

**Il presente ed il futuro.**

L'INAF svolge un ruolo di primo piano nella ricerca astrofisica mondiale, ed è impegnato in modo sostanziale nelle due direttrici fondamentali, Astronomia da terra ed Astronomia spaziale. Questi due settori riflettono l'eccellenza raggiunta dalla comunità INAF nei settori dei telescopi ottici e radiotelescopi e per l'implementazione delle missioni spaziali che INAF realizza in collaborazione con ASI. La ricerca di frontiera, dal nostro Universo "vicino" a quello "lontano", vede impegnato ora l'INAF nella crescita di settori cruciali dell'astrofisica e in sinergia con la nascente astronomia in onde gravitazionali. Come discusso in questo documento, tali attività portano e porteranno l'INAF a svolgere un ruolo unico di "global player " della scienza mondiale. Lo testimonia il suo recente contributo alla scoperta della prima "luce" in associazione all'evento gravitazionale GW170817, la collisione di due stelle di neutroni, ottenuto grazie alla ricchezza delle diverse e molteplici competenze presenti in INAF, nei settori sia terra che spazio.

**Produzione scientifica**.

Sul fronte del tenore scientifico, va segnalato che in base al ranking dell'autorevole rivista *Nature*, la classifica del 2016 (indice *Nature Index* AC) dei migliori Istituti di ricerca e Università al mondo vede l'INAF al primo posto in Italia, al quarto posto in Europa e sesto al mondo. La stessa rivista *Nature*, nel 2017, nella classifica delle prime cento istituzioni al mondo per collaborazioni internazionali, pone l'INAF al secondo posto.

**Ritorno industriale.**

Sul fronte dello sviluppo di nuove tecnologie e della progettazione, realizzazione e conduzione di grandi Infrastrutture osservative, le capacità dell'INAF di generare ritorni economici per il Paese sono di primordine: si stima che negli ultimi quindici anni, durante la costruzione dei più avanzati impianti astronomici al mondo, si è concretizzato un indotto per il Paese di circa 800 Milioni di Euro in termini di commesse industriali ottenute dall'industria nazionale.

**Partecipazioni internazionali**.

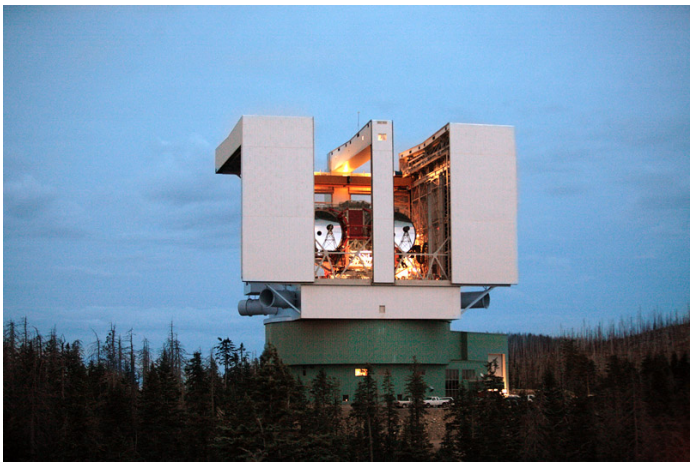
Detto questo, oggi l'INAF è proprietario e/o comproprietario di grandi impianti di respiro internazionale, ed è coinvolto nei circuiti internazionali che vedono la realizzazione delle principali Infrastrutture astronomiche del futuro indicate nella Roadmap dell'ESFRI e nel programma Cosmic Vision di ESA. In questo *Executive Summary* a cura del Presidente, vengono evidenziate le principali fonti di finanziamento delle grandi infrastrutture e dei grandi progetti. I costi di alcune Infrastrutture sono in carico all'ESO (European Southern Observatory), un'organizzazione intergovernativa alla quale l'Italia versa un contributo annuale sancito dalla Legge costitutiva della stessa organizzazione, e quindi non risentono della progressiva diminuzione registrata negli ultimi anni nei finanziamenti erogati dal MIUR. I costi di tutti i progetti spaziali in cui l'INAF è coinvolto sono in carico all'ASI o all'ESA, sia per la parte di sviluppo che per la parte di utilizzo scientifico attraverso contratti stipulati dalle agenzie in favore dell'Ente. L'INAF accede sistematicamente ad altre fonti di finanziamento mirate a progetti specifici, per esempio i finanziamenti UE, i finanziamenti regionali, i finanziamenti per sviluppi industriali, come meglio specificato nei capitoli successivi.

Tuttavia, tutti questi canali di finanziamento lasciano fuori alcune grandi infrastrutture di respiro internazionale di cui l'INAF è proprietario o comproprietario, e i cui costi fissi per ragioni storiche non sono stati mai coperti da Leggi specifiche, ma hanno sempre gravato sul FOE (assegnazione ordinaria + assegnazioni straordinarie). La progressiva diminuzione del FOE registrata negli ultimi anni configura oggi il rischio di dismissione di alcuni di questi prestigiosi impianti, o la fuoriuscita da fondazioni internazionali. Questo purtroppo è il tipico caso in cui una "*spending review* orizzontale" rischia di polverizzare un'eccellenza nazionale. Queste circostanze vedono il Paese in forte imbarazzo nei confronti nella comunità scientifica internazionale, soprattutto in un momento storico in si sta partecipando attivamente alla progettazione e costruzione delle più moderne Infrastrutture del futuro raccomandate dall'ESFRI, come E-ELT, SKA e CTA, e dal programma Cosmic Vision di ESA.

Le principali infrastrutture di respiro internazionale di cui l'INAF è proprietario e/o comproprietario, e i cui costi fissi trovano una crescente sofferenza nel bilancio dell'Ente sono elencate di seguito.

**Large Binocular Telescope (LBT), Ariziona (USA)**

LBT è un Telescopio Binoculare Ottico ed Infrarosso in funzione dal 2005 presso l'Osservatorio di Mt. Graham, Arizona, USA. LBT è al momento il telescopio adattivo a specchi monolitici più grande del mondo, e ha un valore in conto capitale di circa 220 Milioni di Euro. Il contributo italiano annuo ai *running cost* è di tre milioni di Euro, risultato della partecipazione italiana alla fondazione, pattuita nel 2005. Realizzato con un grosso contributo dell'industria nazionale, LBT è oggi uno dei telescopi più prestigiosi al mondo, ed è gestito da una Corporation di diritto americano, alla quale l'INAF aderisce per il 25% dei costi.



**Telescopio nazionale TNG alle Canarie.**



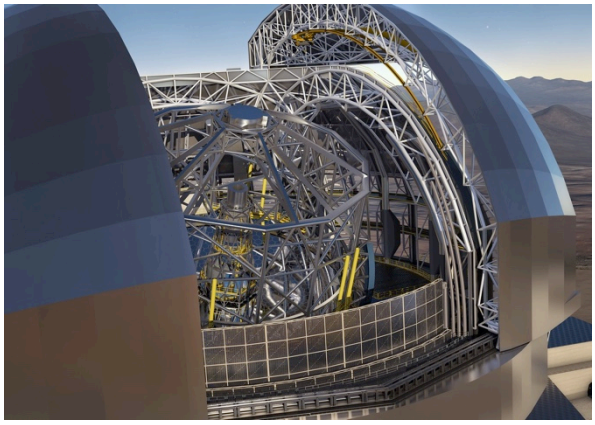
Il TNG è un telescopio ottico-infrarosso da 3.6 mt di diametro in funzione dal 1996 presso l'Osservatorio del Roque de los Muchacos a La Palma (Canarie, Spagna), che ha un valore in conto capitale di circa 40 Milioni di Euro. Il continuo upgrade della strumentazione lo rende oggi uno dei telescopi più efficaci nella ricerca di exo-pianeti, una tematica fra le più prevalenti in campo internazionale. Il costo per l'INAF, che in base ad un atto stipulato nel 2004 è il Patrono della Fondazione, è di due milioni e mezzo di Euro all'anno.

**Sardinia Radio Telescope (SRT) e rete VLBI**

SRT, uno dei più moderni radiotelescopi europei, è situato nel territorio del comune di San Basilio, in provincia di Cagliari. SRT, insieme ai radiotelescopi di Medicina (BO) e di Noto (SR), costituisce l'array italiano per interferometria VLBI, una rete internazionale di prestigio, il cui costo annuo complessivo per le tre antenne per l'INAF configura un fabbisogno di circa 4.5 Milioni di Euro. SRT ha un valore in conto capitale di circa 60 Milioni di Euro, e costituisce una *facility* internazionale di altissimo profilo. Di recente, in collaborazione con l'ASI e attraverso un protocollo d'intesa che l'ASI ha stipulato con la NASA, in SRT è stata implementata una configurazione che ne consente l'utilizzo nel Deep Space Network



**Progetto E-ELT**



E-ELT è un telescopio Ottico-Infrarosso adattivo da 39-mt di diametro, il più grande al mondo, in costruzione a Cerro Armazones (Cile) a cura dell'ESO, ma con finanziamenti aggiuntivi alla quota fissa di ogni stato membro, per un costo totale di circa un miliardo di Euro. L'impianto sarà completato nel 2024-2025, e costituirà il più grande telescopio al mondo. L'INAF partecipa al progetto con una quota annuale che oscilla fra 4 Milioni e 6 Milioni di Euro. E' utile segnalare che il ritorno industriale per il Paese, in termini di commesse affidate a ditte italiane si attesta oggi già su più di 400 Milioni di Euro. A fine maggio 2017 è stata celebrata la posa della prima pietra del cantiere di costruzione della gigantesca struttura, in carico ad un Consorzio di ditte italiane.

**La "spending review".**

Tutte le iniziative illustrate nel paragrafo precedente erano state avviate a suo tempo attraverso finanziamenti straordinari, e sulla base di un FOE che ne garantiva la sostenibilità nel tempo. Il costo annuo cumulativo di queste iniziative è di circa 15 milioni di Euro, che gradualmente, a seguito della "*spending review*" ha avuto una copertura sempre decrescente, fin a configurare nel 2015 il rischio di dismissione.

Per l'anno 2017, il MIUR dovrà provvedere ad una sostanziosa iniezione di contributi straordinari, in aggiunta all'assegnazione ordinaria di 78 milioni di Euro. Allo stesso tempo, risulta chiaro che se si vuole evitare che successive "*spending review* orizzontali" possano nuovamente mettere in crisi queste prestigiose Infrastrutture, generando una situazione di forte imbarazzo in campo internazionale per il Paese, è bene che si preveda una norma "stabile" che ne assicuri il mantenimento. L'alternativa della dismissione e/o della fuoriuscita dalle relative Fondazioni è alquanto prematura, in quanto in base alle recenti *review* scientifiche le Infrastrutture in questione sono ancora di grande impatto e il loro valore in conto capitale non ne consente la dismissione prima che se ne sia capitalizzato tutto il ritorno scientifico atteso.

**Partecipazioni internazionali del futuro: SKA e CTA.**

Riguardo al futuro, e in particolare al triennio di riferimento, una volta "messe in sicurezza" le partecipazioni internazionali in essere, si prospettano grandi opportunità per l'INAF. Come sarà meglio nei capitoli successivi, a parte le missioni spaziali, alle quali l'INAF partecipa, con grande successo, attraverso bandi competitivi emessi dall'ASI e dall'ESA, si aprono due grandi prospettive per il Paese: i) la progettazione e realizzazione dello Square Kilometer Array (SKA), un array di migliaia di antenne da localizzare in Sud Africa e in Australia, al quale partecipano circa venti Paesi di tutto il mondo e per il quale sono in fase di chiusura i negoziati per la costituzione di una nuove Organizzazione Intergovernativa (IGO), dei quali l'Italia detiene la Presidenza dei negoziati, e della quale l'Italia è candidata a insediare in provincia di Bologna uno dei centri di integrazione e test dei prototipi e il Liason Office; ii) la progettazione e realizzazione del Cherenkov Telescope Array (CTA), un array di centinaia di telescopi sensibili ai raggi gamma di altissima energia rivelabili attraverso l'emissione di "luce per effetto Cherenkov" generata negli strati alti dell'atmosfera, da localizzare in Cile e alle Canarie, e il cui Quartier Generale sorgerà a Bologna, presso una delle Strutture di Ricerca dell'INAF. Questi due progetti sono fra le principali Infrastrutture del futuro indicate nella Roadmap dell'ESFRI. L'INAF è in prima linea nello sviluppo dei prototipi e della scienza di riferimento, attraverso un finanziamento allocato dalla Legge di Stabilità

2015-16-17, e sono in corso di valutazione con il MIUR i contributi annuali che l'Italia metterà a disposizione delle due organizzazioni internazionali per la costruzione e la gestione delle due grandi Infrastrutture. Per quanto riguarda CTA, con lettera della Ministra Fedeli del marzo 2017, l'INAF ha firmato un accordo ancora non vincolante, che prevede un contributo dell'ordine di 50 milioni di euro in dieci anni. Per quanto riguarda SKA, durante i negoziati, la Delegazione italiana, su indicazione del MIUR ha individuato un budget potenziale dell'ordine di 10 MEuro all'anno, che dovrà essere oggetto di una norma dello Stato.

**Scadenziario connesso alla partecipazione a SKA e CTA.**

Lo scadenziario degli atti di indirizzo politico e delle azioni di consolidamento di budget che il MIUR dovrà formulare in relazione alla partecipazione alle due iniziative in oggetto, si configura sinteticamente come segue:

### Organizzazione da Trattato per il Progetto SKA

| | |
|---|---|
| ottobre 2017 | Parafatura della Convenzione da parte dei Governi che hanno partecipato ai negoziati |
| febbraio 2018 | Firma del Trattato Internazionale e avvio dell'iter parlamentare di ratifica |
| 2019 | Insediamento dell'Organizzazione e **formalizzazione del contributo economico** |

### ERIC per il Progetto CTA

| | |
|---|---|
| settembre 2017 | Distribuzione ai partner della bozza di Statuto elaborata dal MIUR e dal Ministero tedesco |
| 2018 | Costituzione del ERIC e **formalizzazione del contributo economico** |

Per il periodo 2017-2018 e in parte per il 2019, la partecipazione alle attuali Organizzazioni (la SKAO Ltd, società no profit di diritto britannico, e la CTA Gmbh, società no profit di diritto tedesco) è garantita dal finanziamento straordinario ottenuto dall'INAF in base alla Legge di Stabilità 2015, mentre il budget per l'adesione alle nuove organizzazioni dovrà essere garantito da una norma.

**Il ruolo cruciale dell'INAF nella grande rivoluzione dell'astrofisica moderna: le onde gravitazionali**

L'INAF è l'unico Ente al mondo che possiede al suo interno tutti gli strumenti e le competenze, a tutte le lunghezze d'onda, da terra e dallo spazio, per affrontare sistematicamente, e sicuramente con successo, la questione dell'identificazione delle controparti delle sorgenti di onde gravitazionali, la cui rivelazione si sussegue da parte dei rivelatori LIGO e VIRGO, coi quali l'INAF ha stipulato accordi specifici. Il sostegno di queste attività costituisce pertanto uno dei capisaldi dello sviluppo delle attività dell'INAF.

**Razionalizzazione e irrobustimento dell'organizzazione dell'INAF**.

L'attuale partecipazione dell'INAF alle grandi iniziative internazionali, sia quelle in essere che quelle che si prospettano in futuro, va armonizzata con il carattere territoriale e in buona parte multidisciplinare che caratterizza le Strutture di Ricerca in cui è articolato l'Istituto su tutto il territorio nazionale. L'expertise scientifica e tecnologica di ognuna delle grandi Infrastrutture descritte è spalmata in varie Strutture territoriali dell'INAF. Questa peculiarità ha dei vantaggi e delle criticità.

I vantaggi risiedono nella varietà di servizi e di cultura che ogni Struttura offre al territorio: in termini di Alta Formazione, per esempio attraverso i programmi di Borse di Dottorato e la collaborazione alla docenza universitaria; in termini di formazione

secondaria per esempio nei contratti “scuola lavoro” e in generale in tutte le attività didattiche e divulgative rivolte alle scolaresche, anche delle scuole primarie e dell’infanzia; in termini di Ricerca e Sviluppo, per esempio attraverso percorsi di trasferimento tecnologico verso le PMI del territorio, etc... Questa è una peculiarità dell’Istituto che si intende preservare e potenziare. Le criticità risiedono nel fatto che la dispersione di expertise specifiche in diversi Centri di Responsabilità (le Strutture) impone la necessità di un coordinamento forte di quei segmenti delle Strutture che insieme concorrono ad un grande progetto o alla realizzazione e l’utilizzo di una grande infrastruttura.

Per ottimizzare questo processo, l’INAF ha dato l’avvio alla costituzione di articolazioni nazionali a carattere tematico- gestionale in capo alla Direzione Scientifica dell’Ente che, pur mantenendo il carattere statutario delle Strutture territoriali, ne coordinano le attività su base appunto tematico-gestionale. Questa organizzazione ha una notevole valenza nel rafforzare l’Istituto nelle sue collaborazioni internazionali rapporti internazionali, in cui più che presentare un “aggregato” di Strutture, l’INAF presenta una massa critica scientificamente omogenea, rappresentata da una sua Unità nazionale, la cui articolazione territoriale rappresenta a questo punto solo una questione interna all’Ente .

Nell’ottica di migliorare la coerenza dell’organizzazione dell’INAF con le direttive del Governo, che sanciscono la necessità di separare le funzioni di indirizzo dalle funzioni gestionali, sono state trasferite alla Presidenza alcune funzioni connesse alle politiche e alle relazioni istituzionali dell’Ente, che in precedenza erano in capo alla Direzione Scientifica, per esempio le politiche industriali, le politiche internazionali, le politiche con gli Atenei e gli Enti Territoriali, etc... Rimangono in capo alla Presidenza, come nella precedente organizzazione, gli uffici preposti alla Comunicazione e alla Divulgazione.

Sul fronte della razionalizzazione dell’assetto territoriale, sono in agenda alcuni accorpamenti in quelle città in cui esistono differenti Strutture. Nel 2017 è stato dato l’avvio all’accorpamento dell’Osservatorio Astronomico di Bologna con lo IASF di Bologna, avvantaggiandosi del fatto che le due Strutture adesso sono limitrofe. Allo stesso tempo, nel 2017 è stata trasferita all’Osservatorio di Teramo la giurisdizione della Stazione Osservativa di Campo Imperatore, anch’essa in Abruzzo, denominando la Struttura “Osservatorio d’Abruzzo”.

L'INAF ha in programma un consolidamento della governance scientifica dell'Ente che porti ad una discussione e valutazione dei progetti su scala nazionale e integrata con il Piano Triennale. A tale scopo, il periodo 2017-2019 vedra' aumentare la partecipazione scientifica e programmatica dei ricercatori dell'INAF al processo di governance scientifica, con il fine di una selezione e implementazione organica dei progetti scientifici dell'Ente, anche attraverso l’introduzione nel nuovo Statuto dei Comitati Scientifici Nazionali. Cio' rafforzera' ulteriormente la proposizione e il ruolo dei progetti scientifici sia in ambito nazionale che internazionale. Inoltre, il rapporto con l'industria nazionale ed europea potra' rafforzarsi secondo le linee di sviluppo delineate dalla governance scientifica rafforzata.

Nichi D’Amico – Presidente INAF

## SOMMARIO

**INAF E LA SUA MISSIONE ..... 11**
**Organizzazione e Governance dell'Ente ..... 11**
La Direzione Generale ..... 13
La Direzione Scientifica ..... 14
**Le Risorse Finanziarie ..... 17**
**Evoluzione Storica del Bilancio INAF ..... 17**
**Il Profilo Triennale Delle Risorse Disponibili e della spesa 2017-2019 ..... 18**
Entrate Previste ..... 18
Spese Previste ..... 19
**Le Risorse Umane ..... 22**
**Organico ..... 22**
**Fabbisogno di personale per il triennio 2017-2019 ..... 25**
**Assunzioni obbligatorie ai sensi della Legge 12 marzo 1999, numero 68 ..... 29**
**Progressioni di carriera e Progressioni economiche ..... 29**
**Fabbisogno di personale a tempo determinato ..... 33**
**Partecipazione a Consorzi, Società e Fondazioni ..... 34**
**Partecipazioni societarie ..... 34**
LBT Corporation ..... 34
SKA Organization LTD ..... 34
CTA GmbH ..... 34
LSST Corporation ..... 35
**Fondazioni ..... 35**
Fundacion Galileo Galilei ..... 35
**Organizzazioni la cui adesione è in via di valutazione o Formalizzazione ..... 35**
Jive ERIC ..... 35
LOFAR ..... 35
IBIS ..... 36
**Adesione a Cluster Tecnologici Nazionali ed altre associazioni ..... 36**
**L'Attività di Ricerca Scientifica e Tecnologica ..... 38**
**Primo Pilastro – La Ricerca Scientifica ..... 38**
Cosmologia: una frontiera per comprendere l'Universo primordiale, la fisica fondamentale e la formazione ed evoluzione delle galassie. ..... 38

La formazione, l'evoluzione e la fine delle stelle. Le popolazioni stellari come traccianti della storia dell'Universo. ..... 51
Il Sole e il Sistema Solare ..... 64
Astrofisica Relativistica e Particellare ..... 77
Ricerca di Base nel campo delle Tecnologie Astronomiche ..... 83
**Secondo Pilastro – La Ricerca Istituzionale ..... 99**
**Le Infrastrutture di Ricerca ..... 100**
Le Grandi Infrastrutture da Terra ..... 100
Le Grandi Infrastrutture da Spazio ..... 108
Infrastrutture Informatiche ..... 110
SST ed SSA ..... 114
Parco Astronomico delle Madonie ..... 114
**Collaborazioni Nazionali ed Internazionali ..... 115**
**La presenza nelle strutture europee, internazionali e nazionali ..... 115**
I contributi europei ..... 115
**Rapporti e Convenzioni con le Università ..... 117**
**Relazioni con l'industria nazionale ed Internazionale ..... 117**
**Terzo Pilastro: Terza Missione ..... 119**
**Innovazione Tecnologica e Competitività Industriale ..... 119**
Policy ..... 120
Attività di studio e realizzazione in partenariato con l'Industria ..... 120
Stimolo diretto ed indiretto a grandi commesse industriali ..... 121
**Biblioteche Archivi Storici e Musei ..... 121**
**Le Collezioni e Musei Scientifici ..... 122**
Pianificazione ..... 125
**Attività di Alta Formazione ..... 126**
Pianificazione ..... 127
**Attività di Public Engagement e Pianificazione ..... 127**
**Attività di outreach e Pianificazione ..... 128**
Festival della scienza e attività sul territorio ..... 128
Mostre sul territorio ..... 129
La Settimana della Luce - iniziativa nazionale ..... 129
Famelab ..... 129
Pint of science ..... 129
Notte europea dei ricercatori ..... 129
Mostre e altre attività istituzionali ..... 130
Attività per bambini ..... 130
Turismo culturale ..... 130

Progetti di didattica ..... 130
Olimpiadi di Astronomia ..... 131
Astrofisica su Mediterranea ..... 131
**INAF e Servizio Civile ..... 132**

**Valutazione dell' INAF ..... 133**
**Valutazione Interna ..... 133**
**Valutazione Esterna: VQR 2004-2010 e VQR 2011-2014 ..... 133**
**Confronto Internazionale ..... 134**

# INAF E LA SUA MISSIONE

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) è l'Ente tematico di ricerca, vigilato dal MIUR, che si occupa di ricerca di base ed applicata nei settori di astrofisica, astronomia ed esplorazione scientifica del sistema solare. S svolgono in INAF ricerche nei campi più svariati afferenti a questi settori, dalla cosmologia, alla ricerca ed alla caratterizzazione dei pianeti extrasolari, la fisica degli oggetti compatti con particolare riguardo alle sorgenti delle onde gravitazionali recentemente rivelate. L'INAF conduce anche ricerca tecnologica ed applicata, talvolta in partenariato con il mondo industriale, per la realizzazione della strumentazione per osservazioni dell'Universo sia da terra che da spazio.

L'INAF svolge questa missione tramite le proprie Strutture distribuite sul territorio e attraverso le grandi infrastrutture osservative da terra e dallo spazio. L'Ente è inserito nei più grandi progetti e collaborazioni internazionali e concorre a determinare le strategie programmatiche degli organismi europei attivi nel settore della ricerca astronomica, quali l'ESO e l'ESA.

I risultati dell'attività dell'INAF sono testimoniati dai contributi alla realizzazione di progetti internazionali e di missioni spaziali e sono esposti nelle pubblicazioni scientifiche sulle più prestigiose riviste internazionali. La valutazione comparativa dei risultati raggiunti è oggetto di continua analisi da parte di agenzie indipendenti e dimostra l'eccellenza dell'astrofisica italiana, che si posiziona sempre nella parte apicale di diverse graduatorie di merito mondiali.

Per il prossimo triennio, l'INAF ha selezionato le tematiche scientifiche più incisive, considerando il Documento di Visione Strategica (DVS) dell'Ente. Nel fare ciò ha tenuto conto della roadmap scientifica definita nel piano europeo ASTRONET, che include le priorità del programma scientifico dell'ESA "Cosmic Vision 2015-2025", a cui gli stessi astronomi dell' INAF hanno contribuito. Naturalmente, tale programma è orientato anche al settennio 2014-2020 che ha visto il passaggio da FP7 a Horizon 2020. Queste scelte squisitamente europee si basano anche sulle capacità dell'INAF di guidare l'innovazione tecnologica, stimolando le industrie più sensibili a investimenti mirati in settori altamente innovativi.

Per rispondere alle questioni scientifiche fondamentali, l'INAF partecipa, nel contesto europeo sopra menzionato, alla costruzione di grandi infrastrutture e alla realizzazione di missioni spaziali in collaborazione con i corrispondenti Enti nazionali e internazionali. La complessità e i costi di ogni singola infrastruttura o missione spaziale non sono infatti tali da consentire una programmazione autonoma. Questo è il motivo per cui tutte le iniziative sono discusse e approvate dai *board* dei programmi quadro della Commissione Europea per la ricerca, dall'Osservatorio Europeo Australe (ESO), e/o dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).

## Organizzazione e Governance dell'Ente

L'INAF è l'Ente Pubblico di Ricerca tematico, vigilato dal MIUR, per la ricerca nel campo dell'Astronomia e dell'Astrofisica ed in quanto tale comprende le strutture di ricerca che operano in questo campo ed associa i gruppi universitari che con esse collaborano.

L'INAF ha una Sede Centrale, legale ed organizzativa, si articola in 17 strutture territoriali distribuite nel paese ad amministra, totalmente o pro-quota, grandi infrastrutture di ricerca internazionali.

In ragione del nuovo statuto in fase di approvazione sono organi dell' INAF:

a) Il Presidente
b) Il Consiglio di Amministrazione
c) Il Consiglio Scientifico
d) Il Collegio dei Revisori dei Conti

Sono invece Organismi dell'INAF:

e) I Comitati Scientifici Nazionali
f) Il Collegio dei Direttori delle Strutture di Ricerca
g) Il Comitato Unico di Garanzia (CUG)
h) L'Organismo indipendente di Valutazione (OIV)
i) L'Organismo Indipendente di valutazione della Ricerca (OIVR)

**Il Presidente** è responsabile delle attività dell'Ente e ne ha la rappresentanza legale, cura le relazioni istituzionali e formula gli indirizzi per la gestione dell'Ente.

**Il Consiglio di Amministrazione** ha compiti di indirizzo strategico e programmazione generale dell'attività dell'Ente e formula atti di indirizzo per il Direttore Scientifico ed il Direttore Generale.

**Il Consiglio Scientifico** è organo consultivo del Presidente e del Consiglio di Amministrazione. Ha facoltà propositive per quanto riguarda l'attività di ricerca complessiva dell'ente e la selezione dei progetti di rilevanza nazionali, per i quali individua in modo esclusivo le priorità scientifiche.

**Il Collegio dei Revisori dei Conti** è l'organo di controllo della regolarità amministrativa e contabile dell'ente.

**I Comitati Scientifici Nazionali** sono rappresentanza dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali. Questi ultimi costituiscono l'ambito scientifico che offre ai Ricercatori l'opportunità di presentare, discutere e condividere le attività di ricerca, i progetti e le istanze di interesse per l'Ente e le proposte di utilizzo scientifico/tecnologico delle grandi infrastrutture.

**Il Collegio dei Direttori** delle Strutture di Ricerca è composto da tutti i Direttori delle Strutture di Ricerca ed ha funzioni propositive nei confronti del Direttore Generale e del Direttore Scientifico per quanto riguarda rispettivamente gli aspetti amministrativi e gli aspetti scientifici ed ha funzioni consultive nei confronti del Consiglio di Amministrazione.

**Il Comitato Unico di Garanzia** valuta la adeguatezza delle azioni positive, dei progetti e delle "buone pratiche" finalizzate a garantire il migliore utilizzo delle risorse umane e riferisce, a cadenza annuale, sull'esito di tale valutazione al Presidente, al Direttore Generale e al Direttore Scientifico.

Con riferimento alle attività amministrative, la valutazione delle performance, sia individuali che organizzative, viene effettuata dall'**Organismo Indipendente di Valutazione, (OIV) .**

L'Istituto si avvale di un apposito **Organismo Indipendente di Valutazione della Ricerca (OIVR)** per la valutazione complessiva dei risultati scientifici e tecnologici conseguiti e dei piani di sviluppo futuri. L'OIVR è composto da un massimo di cinque scienziati Italiani o stranieri ed è nominato dal Consiglio di Amministrazione su proposta del Presidente, sentito il Consiglio Scientifico. L'OIVR riferisce annualmente al Consiglio di Amministrazione sulle valutazioni effettuate.

## La Direzione Generale

In occasione della seduta del 19 ottobre 2016, il Consiglio di Amministrazione, con propria deliberazione numero 1061, ha approvato le "Linee di indirizzo per la definizione del nuovo assetto organizzativo della Direzione Generale". Con il provvedimento in questione, l'Organo di indirizzo strategico e di programmazione generale dell'Istituto ha fissato i principi generali, ai quali il Direttore Generale si è attenuto nella successiva definizione del nuovo assetto organizzativo della Direzione Generale, al fine di:

a) adeguare l'organizzazione complessiva dell'ente, comprensiva della architettura generale della struttura e degli uffici, le specifiche funzioni e le conseguenti responsabilità del personale, i flussi documentali e decisionali, i procedimenti e i processi interni al contesto normativo di riferimento;

b) assicurare, all'interno delle diverse articolazioni organizzative dell'Istituto, una più attenta, corretta e adeguata definizione di ruoli, funzioni, compiti, responsabilità e flussi decisionali;

c) qualificare, semplificare e rendere più celere l'intera azione amministrativa, nel rispetto dei principi di legalità, imparzialità, ragionevolezza, buon andamento, trasparenza e pubblicità, che ne caratterizzano contenuti e finalità;

d) assicurare lo svolgimento delle attività amministrative e gestionali applicando le regole proprie dei procedimenti amministrativi e dei processi, utilizzando, nella maniera più estesa possibile, gli strumenti della "delega della firma" e della "delega delle funzioni" e creando presupposti e condizioni per realizzare la massima integrazione possibile tra le diverse componenti dell'amministrazione, sia centrali che territoriali, nel presupposto che l'Ente, nel rispetto delle sue articolazioni interne e dell'autonomia che ne caratterizza l'azione, è "unico" e persegue, nella sua dimensione unitaria, le medesime "finalità";

e) assicurare che la gestione dell'intero edificio che ha sede a Roma, in Viale Mellini, e dell'annesso Parco, adibiti a sede legale dell'Istituto, nonché la gestione dei servizi di supporto logistico agli uffici presenti nella medesima sede ed al personale che vi presta servizio, siano organizzati in maniera tale da garantire un esercizio flessibile, celere ed efficace delle prerogative istituzionali dei diversi Organi, sia monocratici che collegiali (Presidenza, Consiglio di Amministrazione, Collegio dei Revisori dei Conti, Organismo Indipendente di Valutazione), che sono allocati nella predetta struttura per espressa previsione statutaria, e di quelle specifiche della Direzione Scientifica;

f) potenziare il sistema di contabilità al fine di consentire una analisi più analitica dei costi diretti e indiretti delle attività svolte da una qualsiasi delle articolazioni organizzative dell'Istituto, al fine di quantificare il suo cofinanziamento indiretto, laddove le attività stesse vengano svolte con il concorso di finanziamenti esterni, e di verificare la possibilità di imputare su questi ultimi i relativi costi;

g) definire, ai fini della promozione di iniziative concrete dirette ad attuare una efficace politica di diffusione del "brand" dell'Istituto nel Paese e nel Mondo, procedimenti amministrativi e/o processi snelli in materia di:

- commercializzazione di prodotti nei "Visitor Center";

[1] *Il provvedimento è disponibile al seguente link al sito web istituzionale www.inaf.it: http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/consiglio-di-amministrazione/delibere/archivio_delibere/delibere-2016/delibera-106-16*

- produzione e commercializzazione di materiale didattico e divulgativo;
- commercializzazione di prodotti derivanti dall'utilizzo di propri brevetti;

h) predisporre, aggiornare e/o adeguare i regolamenti e i disciplinari previsti dalle vigenti disposizioni legislative e statutarie e da altre fonti normative interne, nel rispetto dell'ordinamento giuridico di riferimento, sia generale che specifico, e delle esigenze dell'Istituto e tenendo conto dei lavori già svolti dal "tavolo tecnico" appositamente costituito dal Presidente.

Il nuovo assetto organizzativo della Direzione Generale è stato quindi approvato dal Consiglio di Amministrazione con delibera del 18 novembre 2016, numero 1182, a seguito della prescritta consultazione delle organizzazioni sindacali di comparto maggiormente rappresentative. Con il medesimo provvedimento, il CdA ha conferito al Direttore Generale l'incarico di predisporre, a distanza di un anno dalla sua approvazione, una breve relazione sullo stato di attuazione del nuovo assetto organizzativo della Direzione Generale, anche al fine di verificare l'opportunità di adeguarlo maggiormente alle esigenze organizzative e/o di ottimizzare l'utilizzo delle risorse umane disponibili ovvero di soddisfare nuove e sopravvenute esigenze funzionali.

Successivamente, con Determinazione del Direttore Generale del 1° marzo 2017, numero 263, è stato approvato il nuovo organigramma del personale tecnico ed amministrativo in servizio presso l'Amministrazione Centrale dell'Istituto, che prevede l'assegnazione delle singole unità di personale agli Uffici e ai Servizi di Staff alla Direzione Generale ed alle loro articolazioni organizzative interne, la definizione delle relative mansioni e/o funzioni e l'adozione di tutti i provvedimenti connessi e conseguenti, anche di tipo logistico. Il provvedimento citato è stato assunto al fine di dare piena attuazione alla Delibera del Consiglio di Amministrazione del 18 novembre 2016, numero 118, come innanzi richiamata, e, conseguentemente, al nuovo assetto organizzativo della Direzione Generale.

### La Direzione Scientifica

Nel corso del 2016 il Cda INAF ha apportato una modifica al DOF introducendo la possibilità di costituire Unità Scientifiche Centrali (già previste dallo statuto) a carattere "tematico gestionale", al fine di ottenere maggiore efficienza nella azione di coordinazione e controllo attraverso raggruppamenti di tematiche affini.

Nella Primavera 2016 il Direttore Scientifico si è dotato di una propria articolazione funzionale in conformità con lo statuto ed il Disciplinare di Organizzazione e Funzionamento (DOF) dell'Ente includendo 2 Unità Tematico Gestionali a titolo sperimentale. Nel corso del 2017 l'articolazione si è evoluta a valle delle sperimentazioni in quella correntemente in essere. E' previsto anche per questa configurazione un verifica a 12 mesi dalla implementazione. In caso di esito positivo della verifica questa configurazione rimarrà consolidata.

La nuova struttura organizzativa della Direzione Scientifica è articolata come di seguito descritto ovvero come rappresentato graficamente nell'organigramma in allegato:

[2] *Il provvedimento è disponibile al seguente link del sito web www.inaf.it: http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/consiglio-di-amministrazione/delibere/archivio_delibere/delibere-2016/delibera-118-16*

[3] *Il provvedimento è disponibile al seguente link al sito web www.inaf.it: http://www.inaf.it/it/amministrazione-trasparente/disposizioni-generali/atti-generali/determinazioni-direttore-generale/Det_26.pdf*

**STRUTTURA TECNICA DELLA DIREZIONE SCIENTIFICA**

Segreteria

- Segreteria particolare del Direttore Scientifico e delle unità scientifiche centrali e tematico gestionali, relazione con le segreterie della Presidenza de Direzione Generale.

Supporto Amministrativo

- Attività di carattere amministrativo proprie della Direzione Scientifica, relazioni con l'Ufficio Bilancio.

Project Management ed ingegneria di sistema per progetti da Terra

- Coordinamento a livello nazionale delle attività di Project Management e System Engineering per progetti da terra.

Project Management ed ingegneria di sistema per progetti Spaziali

- Coordinamento a livello nazionale delle attività di Project Management e System Engineering per progetti spaziali.

ICT e Science data Management

- Coordinamento a livello nazionale delle attività di ICT, reti, archivi e licenze software. Coordinamento delle attività di HPC ed HTC.

Servizi per Biblioteche, Musei e Terza Missione

- Coordinamento e gestione a livello nazionale delle attività delle Biblioteche, dei Musei e della terza missione.

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE A CARATTERE TEMATICO GESTIONALE I: "Divisione Nazionale Abilitante dell'Astronomia Ottica, IR":** Unità preposta alla gestione dello sviluppo integrato delle attività di ricerca scientifica e tecnologica dell'Ente nel campo della Astronomia ottica ed IR

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE A CARATTERE TEMATICO GESTIONALE II: "Divisione Nazionale Abilitante della Radioastronomia":** Unità preposta alla gestione dello sviluppo integrato delle attività di ricerca scientifica e tecnologica dell'Ente nel campo della Radioastronomia.

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE A CARATTERE TEMATICO GESTIONALE III: "Divisione Nazionale Abilitante della Astrofisica delle Alte Energie":** Unità preposta alla gestione dello sviluppo integrato delle attività di ricerca scientifica e tecnologica dell'Ente nel campo della Astrofisica delle Alte Energie.

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE A CARATTERE TEMATICO GESTIONALE IV: "Divisione Nazionale Abilitante della Planetologia ed Esplorazione del Sistema Solare":** Unità preposta alla gestione dello sviluppo integrato delle attività di ricerca scientifica e tecnologica dell'Ente nel campo della Planetologia ed Esplorazione del Sistema Solare.

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE V: "Astronomia dallo Spazio":** Unità preposta alla gestione dei progetti spaziali che vedono coinvolto personale INAF ed interfaccia gestionale unica verso le Agenzie Spaziali nazionale ed internazionali.

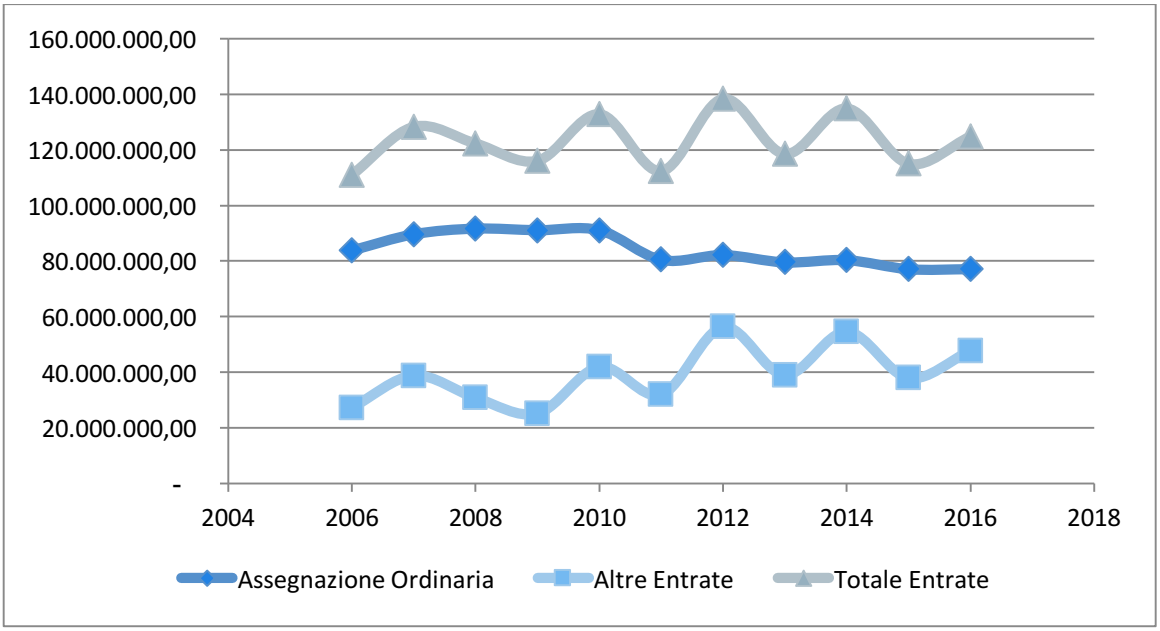
**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE VI: "Valorizzazione della Ricerca":** Unità preposta alla valorizzazione economica dei prodotti della ricerca: proprietà intellettuale, licensing, spin-off.

**UNITA' SCIENTIFICA CENTRALE VII: "Gestione Bandi Competitivi":** Unità preposta alla gestione tecnica e promozione dei bandi competitivi (H2020, PRIN, FIRB, etc.).

# Le Risorse Finanziarie

## Evoluzione Storica del Bilancio INAF

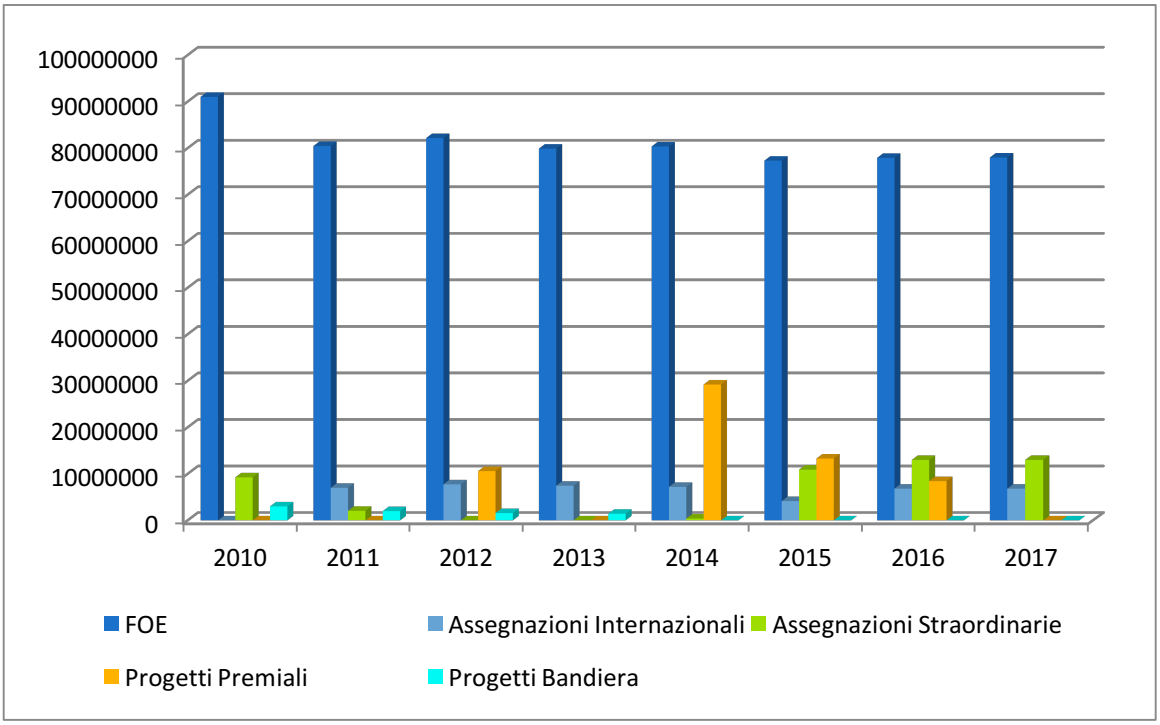
La Figura sottostante illustra la serie storica decennale di dati tratti dai bilanci consuntivi dell'Istituto sino all'ultimo esercizio concluso (2006-2016) suddivisa in colori tra l' Assegnazione Ordinaria, altre entrate e ed entrate totali.




Le entrate totali nel decennio presentano un trend in aumento al netto di oscillazioni anno per anno per effetto della compensazione operata dalle entrate diverse sulla progressiva riduzione della assegnazione ordinaria. La media delle entrate correnti nell'ultimo triennio è pari a € **124.931.012,49.**

Si deve notare che il 75% della assegnazione ordinaria è a copertura delle spese di personale e che pertanto le disponibilità finanziarie senza vincolo di assegnazione sono estremamente limitate ed interamente utilizzate per il funzionamento ordinario dell'Ente e delle Strutture di ricerca. Le spese per la ricerca, la partecipazione alla gestione di infrastrutture nazionali ed internazionali sono interamente coperte da altre entrate.

Nella figura sottostante vengono raffigurate le diverse tipologie di entrate che concorrono alla formazione del bilancio dell'ente (serie storica dal 2010).




Si può notare nella figura come il progressivo calo della assegnazione ordinaria sia stato compensato dal progressivo aumento delle altre entrare ottenute su base competitiva o per assegnazioni straordinarie non consolidate da parte del ministero vigilante.

Nella figura non è indicata la premialità indivisa del 2017 (pari a M€ 7.3 circa) in quanto presunta e non ancora ufficialmente assegnata.

## Il Profilo Triennale Delle Risorse Disponibili e della spesa 2017-2019

### Entrate Previste

Con D.M. 8 agosto 2016, n. 631 il MIUR ha definito il piano di riparto del Fondo Ordinario per gli Enti di Ricerca (FOE) anno 2016 prevedendo un'assegnazione in favore di questo Istituto di Euro 77.148.000,00 a titolo di assegnazione ordinaria, Euro 6.820.000,00 per Attività di ricerca a valenza internazionale ed Euro 3.000.000,00 per Progettualità di carattere straordinario, per un totale di Euro 86.968.000,00.

Il Bilancio di Previsione 2017 è stato elaborato considerando il 100% dell'ammontare delle predette assegnazione; lo stesso criterio sarà utilizzato per la costruzione del Bilancio di Previsione 2018. Alla data di redazione della presente edizione del piano triennale si assumono conservativamente entrate simili per l'anno 2019.

Successivamente il 4 aprile 2017 è stato trasmesso al Parlamento dalla Ministra dell'istruzione, dell'università e della ricerca, ai sensi dell' articolo 7, comma 2, del decreto legislativo 5 giugno 1998, n. 204, lo Schema di decreto ministeriale per il riparto del Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca per l'anno 2017 (N. 408) .

Anche sulla base di tale Schema di D.M. le entrate previste, escluse le partite di giro, sono state rideterminate in circa **€ 122.307.534,00** di cui:

1. trasferimenti correnti dallo Stato senza vincolo di destinazione: € **77.987.534,00**, così composte: - € **77.148.000,00** assegnazione ordinaria; **- 839.534,00,** assegnazione per l'anno 2017 per effetto dell'art.1, comma 247, della Legge n. 208 del 28 dicembre 2015 (legge di stabilità 2016) e destinata per l'assunzione di giovani ricercatori;
2. trasferimenti correnti dallo stato con vincolo di destinazione: € **19.820.000,00** così composte: - **€ 10.000.000,00**, assegnazione avvenuta con legge n. 190 del 23 dicembre 2014 (legge di stabilità 2015, art. 1, comma 177) per sostenere le ricerche e lo sviluppo di partenariati con imprese di alta tecnologia sui progetti internazionali per lo sviluppo e la realizzazione di strumenti altamente innovativi nel campo della radioastronomia (SKA -- Square Kilometer Array) e dell'astronomia a raggi gamma (CTA -- Cherenkov Telescope Array) per gli anni 2015 – 2016 e 2017, - **€ 6.820.000,00** per Attvità di ricerca a valenza internazionale, - **€ 3.000.000,00** per progettualità a carattere straordinario.
3. Quota indivisa della Premialità pari a **€ 7.500.000,00**
4. Ulteriori entrate stimate sulla base della serie storica delle entrate dell'ultimo triennio e tenuto conto delle informazioni in possesso al momento della redazione del bilancio pari a circa Euro **17.000.000,00** provenienti da finanziamenti programmi UE e finanziamenti ASI per progetti spaziali.

### Spese Previste

Le spese previste per l'anno 2017 sono state valutate sulla base storica degli ultimi anni per quanto riguarda il funzionamento delle strutture ed i fondi gestiti dalla Sede Centrale. Per quanto riguarda le attività di ricerca ci si è basati sullo stato dei progetti pluriennali in corso e sull'impatto dei nuovi progetti approvati. La spesa totale prevista per queste voci nel 2017 rimane sostanzialmente stabile rispetto all'anno passato. La spesa per la ricerca istituzionale risulta pari a circa **8 M€**, mentre quella su progetti vincolati (MIUR, ASI, Unione Europea, Finanziamenti Locali) si aggira attorno ai **36 M€**, confermando l'andamento in crescita degli ultimi anni, già discusso in precedenza.

### *Spese per Infrastrutture Internazionali*

Una importante voce di spesa per la ricerca consiste nei contributi alle grandi infrastrutture internazionali attraverso le quali i ricercatori dell'INAF acquisiscono le osservazioni essenziali per la loro produzione scientifica. Quattro sono le infrastrutture che maggiormente incidono sul bilancio dell'Ente: E-ELT, LBT TNG e SRT-VLBI. Queste infrastrutture ed il loro utilizzo scientifico sono descritte nei capitoli seguenti di questo PTA.

Nella seguente tabella riportiamo lo storico delle spese per queste infrastrutture nel triennio precedente al corrente piano triennale

| *Costo sostenuti per le infrastrutture di ricerca internazionale nel triennio precedente a questo piano triennale* | | | |
|---|---|---|---|
| | **2014** | **2015** | **2016** |
| **E-ELT** | 3.899.000,00 | 4.270.000,00 | 3.254.000,00* |
| **LBT**** | 2.565.761,86 | 3.046.391,58 | 3.090.457,34 |
| **TNG** | 2.000.000,00 | 2.450.000,00 | 2.500.000,00 |
| **SRT** | 2.557.468,00*** | 1.557.468,00*** | 2.500.000,00*** |

**quota aggiuntiva di € 1.700.000,00 sostenuta in via eccezionale dal MAECI.*

***impegno assunto in dollari americani (USD 3.200.000,00), importo in euro variabile con il cambio*

**** Insufficienti a coprire il funzionamento delle Infrastrutture. Si è ricorso a progetti esterni e fondi delle Ricerca per coprire le necessità rimanenti*

Sulla base dello storico le previsioni di spese per queste infrastrutture per il triennio oggetto di questo piano triennale sono elencate nella tabella seguente. Si noterà nella tabella un aumento progressivo della voce di E-ELT, dovuta all'impegno ad un incremento pari al 2% per anno della quota ordinaria di contribuzione ed una riduzione a partire dal 2019 della quota per TNG per il quale l'Ente ha avviato un piano di ristrutturazione.

| *Costo previsti per il sostegno alle infrastrutture di ricerca internazionale nel periodo oggetto di questo piano triennale.* | | | |
|---|---|---|---|
| | **2017** | **2018** | **2019** |
| **E-ELT** | 5.000.000,00* | 5.700.000,00 | 6.400.000,00 |
| **LBT** | 3.000.000,00* | 3.000.000,00 | 3.000.000,00 |
| **TNG** | 2.500.000,00 | 2.500.000,00 | 2.000.000,00 |
| **SRT e VLBI** | 4.500.000,00* | 3.800.000,00 | 3.100.000,00 |
| **Totale** | 15.000.000,00 | 15.000.000,00 | 15.000.000,00 |

** Nel caso dell'anno 2017, gli import indicati sono quelli riconosciuti dal MIUR come "Fabbisogno" indicato nel Decreto di Riaprto del FOE, ma non tutti effettivamente erogati.*

INAF correntemente dispone di trasferimenti per FOE con e senza destinazione d'uso per un ammontare di M€ 77. Più volte INAF ha fatto presente al ministero vigilante, il quale ne ha dato riscontro scritto agli organi di Governo, che tale importo non consente di sostenere adeguatamente i costi delle infrastrutture e dei programmi internazionali nei quali INAF è coinvolto con prestigio per il Paese. Negli esercizi passati si è dovuto ricorrere a quote di premialità per supplire alle carenze strutturali diminuendi quandi la possibilità per l'Ente di fare ricerca di base, punto principale della propria missione e punto dirimente nelle valutazioni ANVUR. Si riporta della tabella seguente una visione riassuntiva per il triennio sulle reali necessità di FOE per INAF, fatti esclusi interventi straordinari a favore del reclutamento di personale che qui non sono conteggiati.

| *Reali Necessità di FOE per il triennio* | | | |
|---|---|---|---|
| | **2017** | **2018** | **2019** |
| **Infrastrutture** | 15.000.000,00 | 15.000.000,00 | 15.000.000,00 |
| **Personale** | 61.600.000,00 | 62.000.000,00 | 62.000.000,00 |
| **Funzionamento** | 11.000.000,00 | 11.000.000,00 | 11.000.000,00 |
| **Ricerca istituzionale** | 8.000.000,00 | 8.000.000,00 | 8.000.000,00 |
| **TOTALE** | 95.600.000,00 | 96.000.000,00 | 96.000.000,00 |

# Le Risorse Umane

## Organico

La vigente Dotazione Organica dell'Istituto **alla data del 31 dicembre 2016 è pari a 1.214 unità**.

La predetta dotazione organica è tuttora caratterizzata dalla presenza di posti relativi al personale appartenente alle qualifiche del personale del Comparto Università, ovvero personale inquadrato nella Categoria delle Elevate Professionalità (EP), ruolo ad esaurimento, nonché di personale di ricerca inquadrato nella qualifica di Astronomo, in regime di diritto pubblico, che continua ad essere inquadrato nella predetta qualifica di Astronomo, in quanto non ha esercitato il diritto di opzione per l'equiparazione nei profili professionali del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione.

Con riferimento al personale inquadrato nella qualifica di Astronomo, si fa presente che il vigente Regolamento del personale, approvato con Delibera del Consiglio di Amministrazione dell'11 maggio 2015, numero 23, e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale – Serie Generale del 30 ottobre 2015, numero 253, all'art. 2, comma 5, prevede che: "*…in caso di cessazione dal servizio del personale con la qualifica di astronomo, i relativi posti andranno ad incrementare l'organico dei rispettivi livelli di ricercatore e/o tecnologo, secondo le disposizioni della vigente contrattazione integrativa…*".

Al riguardo, si evidenzia che la tabella di equiparazione tra le qualifiche del ruolo degli Astronomi ed i profili professionali del personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione, come definita dal Contratto Collettivo Nazionale Integrativo del 18 gennaio 2008, prevede le seguenti corrispondenze:

| | |
|---|---|
| ➢ Astronomo Ordinario/Straordinario | Dirigente di Ricerca |
| ➢ Astronomo Associato | Primo Ricercatore |
| ➢ Ricercatore Astronomo | Ricercatore |

Il **personale a tempo indeterminato, in servizio al 31/12/2016**, risulta essere pari a **numero 993 unità**, così ripartite:

- **Ricercatori: 462 unità** (delle quali numero 275 unità sono inquadrate nel profilo di Ricercatore del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione e numero 187 unità sono inquadrate nella qualifica di Astronomo)
- **Tecnologi: 130 unità**
- **Tecnici: 257 unità**
- **Amministrativi: 142 unità** (delle quali numero 5 unità sono inquadrate nella Categoria delle Elevate Professionalità (EP), ruolo ad esaurimento)

Il **personale con contratto di lavoro subordinato a tempo determinato, in servizio alla data del 31 dicembre 2016**, è pari a **numero 121 unità**, così ripartite:

- numero **3 unità di personale** sono **a carico del Fondo Ordinario (FOE)**
- numero **119 unità** sono **a carico di Finanziamenti Esterni**

La seguente **Tabella 1** mostra in dettaglio la ripartizione delle predette unità di personale per ciascun profilo e livello:

| **Tabella 1** | **Organico** |
|---|---|

| Profilo | Livello | Personale in servizio a tempo indeterminato al 31-12-2016 | Personale in servizio a tempo determinato al 31-12-2016 |
|---|---|---|---|
| Dirigente I fascia | | 0 | |
| Dirigente II fascia | | 2 | |
| Dirigente di ricerca | I | 24 | |
| Primo ricercatore | II | 68 | 3 |
| Ricercatore | III | 183 | 49 |
| Dirigente tecnologo | I | 1 | |
| Primo tecnologo | II | 20 | 1 |
| Tecnologo | III | 109 | 46 |
| Astronomo Ordinario | | 17 | |
| Astronomo Associato | | 47 | |
| Ricercatore Astronomo | | 123 | |
| Collaboratore tecnico E.R. | IV | 110 | |
| Collaboratore tecnico E.R. | V | 56 | |
| Collaboratore tecnico E.R. | VI | 32 | 13 |
| Operatore tecnico | VI | 41 | |
| Operatore tecnico | VII | 12 | |
| Operatore tecnico | VIII | 6 | 7 |
| Funzionario di amministrazione | IV | 23 | |
| Funzionario di amministrazione | V | 18 | 1 |
| Collaboratore di amministrazione | V | 54 | |
| Collaboratore di amministrazione | VI | 13 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Collaboratore di amministrazione | VII | 13 | 1 |
| Operatore di amministrazione | VII | 12 | |
| Operatore di amministrazione | VIII | 4 | |
| R.E. ex ctg EP | | 5 | |
| **Totale** | | **993** | **121** |

Per lo svolgimento delle attività di ricerca, l'Istituto si avvale anche di altro personale, costituito prevalentemente da assegnisti di ricerca, borsisti e dottorandi, nonché, in minima parte, da personale con contratti di collaborazione coordinata e continuativa e da personale in posizione di comando da altre Pubbliche Amministrazioni.

Ai sensi dell'articolo 27, comma 2, del vigente Statuto, l'Istituto Nazionale di Astrofisica "*…promuove forme di associazione del personale di ricerca con università, enti e organismi di ricerca pubblici e privati secondo modalità definite dal disciplinare di associatura all'INAF…".* Pertanto, come previsto dall'articolo 17, commi 1, 2 e 4 del Regolamento del Personale "*…per il raggiungimento dei propri fini istituzionali, l'INAF…si avvale anche di personale delle Università o di altri Enti Pubblici e privati, nazionali ed internazionali, nonché proveniente dal mondo dell'impresa, associato alle proprie attività…*" e "*…possono essere associati alle attività dell'INAF dipendenti in quiescenza provenienti da Università o altri Enti Pubblici, purché in possesso di elevata e comprovata qualificazione professionale, nonché laureandi, dottorandi, borsisti e assegnisti di ricerca…".* Ai sensi delle vigenti norme regolamentari l'associatura può, quindi, essere attribuita anche a personale che abbia svolto, o svolga, attività di ricerca o tecnico-scientifica di rilevante interesse per i fini istituzionali dell'INAF ed è a titolo gratuito.

La seguente **Tabella 2** mostra le predette categorie di personale in servizio alla data del 31 dicembre 2016:

| **Tabella 2** | **Altro personale** |
|---|---|

| **Altro Personale** | **Personale in servizio al 31-12-2016 impiegato in ricerca** | **Personale in servizio al 31-12-2016 NON impiegato in ricerca** |
|---|---|---|
| Personale associato | **374** | |
| Assegnisti | **208** | |
| Borsisti | **65** | |
| Co.Co.Co | **8** | |
| Comandi in Entrata | **0** | **3** |
| Dottorandi | **77** | |
| Personale associato proveniente dalle Università | **176** | |

## Fabbisogno di personale per il triennio 2017-2019

Il regime assunzionale degli Enti Pubblici di Ricerca è stato recentemente ridefinito dall'articolo 9 del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218, entrato in vigore il 10 dicembre 2016, che contiene disposizioni in materia di "***Semplificazione delle attività degli enti pubblici di ricerca ai sensi dell'articolo 13 della legge 7 agosto 2015, n. 124***", il quale prevede, al comma 1, che "*…gli Enti, nell'ambito della rispettiva autonomia, tenuto conto dell'effettivo fabbisogno di personale, al fine del migliore funzionamento delle attività e dei servizi e compatibilmente con l'esigenza di assicurare la sostenibilità della spesa di personale e gli equilibri di bilancio, nel rispetto dei limiti massimi di tale tipologia di spesa, definiscono la programmazione per il reclutamento del personale nei Piani Triennali di Attività*..."**.**

In particolare:

- l'articolo 20, comma 3, del citato Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218, ha disposto l'abrogazione delle disposizioni contenute nell'articolo 3, comma 2, del Decreto Legge 24 giugno 2014, numero 90, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 agosto 2014, numero 114, e nell'articolo 66, comma 14 , del Decreto Legge 25 giugno 2008 n. 112, convertito, con modificazioni dalla Legge 6 agosto 2008, numero 133, le quali prevedevano che gli Enti di Ricerca potessero assumere personale con rapporto di lavoro a tempo indeterminato nel rispetto del limite finanziario costituito dai risparmi relativi alle cessazioni intervenute nell'anno precedente a quello di riferimento;
- i commi 2 e 6, dell'articolo 9, del medesimo Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218, hanno determinato i nuovi vincoli finanziari ai quali sono soggetti gli Enti di Ricerca che intendono procedere al reclutamento di personale, prevedendo:
  - al comma 2 che: "…***l'indicatore del limite massimo alle spese di personale è calcolato rapportando le spese complessive per il personale di competenza dell'anno di riferimento alla media delle entrate complessive dell'Ente come risultante dai bilanci consuntivi dell'ultimo triennio… negli Enti tale rapporto non può superare l'80 per cento***…";
  - al comma 6 che: "… ***a) gli Enti che, alla data del 31 dicembre dell'anno precedente a quello di riferimento riportano un rapporto delle spese di personale pari o superiore all'80 per cento, non possono procedere all'assunzione di personale****;*
  - ***b) gli Enti che, alla data del 31 dicembre dell'anno precedente a quello di riferimento riportano un rapporto delle spese di personale inferiore all'80 per cento possono procedere all'assunzione di personale con oneri a carico del proprio bilancio per una spesa media annua pari a non più del margine a disposizione rispetto al limite dell'80 per cento…****"*;
  - ***c) ai fini di cui alle lettere a) e b)…per ciascuna qualifica di personale assunto dagli Enti è definito dal Ministro vigilante un costo medio annuo prendendo come riferimento il costo medio della qualifica del dirigente di ricerca***…".
  -

In merito alle modalità di calcolo dell'indicatore del limite massimo delle spese di personale, il comma 4, dell'articolo 9, del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218, prevede che "*…il calcolo delle spese complessive del personale è dato dalla somma algebrica delle spese di competenza dell'anno di riferimento, comprensive degli oneri a carico dell'amministrazione, al netto di quelle sostenute per personale con contratto a tempo determinato la cui copertura sia stata assicurata da finanziamenti esterni di soggetti pubblici o privati…*".

Il Ministero dell'Economia e delle Finanze – Dipartimento della Ragioneria Generale dello Stato, con la Circolare del 13 aprile 2017, numero 18, ha fornito le disposizioni operative per il calcolo del predetto indicatore delle spese di personale e la conseguente individuazione delle facoltà assunzionali per l'anno 2017, specificando, al riguardo, che "*…per la definizione dell'indicatore per l'anno 2017 si dovrà…fare riferimento alla media delle entrate complessive risultante dai bilanci consuntivi del triennio 2014-2016 e, per quanto attiene alla spesa di personale di competenza dell'anno di riferimento, alla spesa risultante dal consuntivo 2016…*".

Infine, l'articolo 12 del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218:

- al comma 1 ha previsto l'abrogazione delle disposizioni contenute nel comma 4, dell'articolo 35, del Decreto Legislativo 3 marzo 2001, numero 165 e successive modifiche ed integrazioni, le quali prevedevano che gli Enti di Ricerca potessero procedere ad avviare procedure concorsuali previa apposita autorizzazione concessa in sede di approvazione dei Piani Triennali di Attività e del Piano di Fabbisogno di personale, nonché della consistenza dell'organico;
- al comma 4 ha previsto espressamente che "…***la facoltà degli Enti di reclutare il personale corrispondente al proprio fabbisogno, nei limiti stabiliti dall'articolo 9…non è sottoposta ad ulteriori vincoli…***".

Pertanto, tenuto conto che, per effetto delle disposizioni legislative sopra citate, è venuto meno il vincolo finanziario del *turn-over* e della dotazione organica per procedere a nuove assunzioni, nonché l'obbligo di attendere la preventiva autorizzazione all'avvio delle procedure concorsuali ed alle relative assunzioni da parte della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Funzione Pubblica e del Ministero dell'Economia e delle Finanze – Dipartimento della Ragioneria Generale dello Stato, si rappresenta che l'INAF, nel triennio 2017-2019, intende procedere al reclutamento ed alla relativa assunzione delle seguenti unità di personale ricercatore e tecnologo:

| **Tabella 3** | **Possibili posizioni per il reclutamento di personale ricercatore e tecnologo per gli anni 2017-2019 costruito su un turn-over al 100%.** |
|---|---|

| **POSIZIONI** | **2017** | **Costo annuo lordo** | **2018** | **Costo annuo lordo** | **2019** | **Costo annuo lordo** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **I LIVELLO** - DIRIGENTE RICERCA/ DIRIGENTE TECNOLOGO | 3 | 230.402 | 1 | 76.801 | 0 | 0 |
| **II LIVELLO** - PRIMO RICERCATORE/PRIMO TECNOLOGO. | 5 | 300.035 | 1 | 60.007 | 0 | 0 |
| **III LIVELLO** RICERCATORE/TECNOLOGO | 45 | 2.138.753 | 20 | 950.557 | 6 | 285.167 |
| **Totale** | **53** | **2.669.190** | **22** | **1.087.365** | **6** | **285.167** |

La **Tabella 3**, come sopra riportata, include, per l'anno 2017, anche le seguenti posizioni già autorizzate con l'approvazione del precedente Piano Triennale di Attività per il triennio 2016-2018 a valere sul budget assunzionale costituito dal *turn – over* del personale ricercatore e tecnologo degli anni 2016 e 2017:

- **numero 14** unità di III livello Ricercatore/Tecnologo
- **numero 3** unità di II livello Primo Ricercatore/Primo Tecnologo
- **numero 1** unità di I livello Dirigente di Ricerca/Dirigente Tecnologo

Nelle more della determinazione da parte del Ministero vigilante del costo medio annuo per ciascun profilo professionale, ai fini della determinazione della spesa di personale ricercatore e tecnologo, relativa alle assunzioni previste nel triennio 2017-2019, si è tenuto conto del costo effettivo annuo lordo, compresi gli oneri riflessi, di ciascun profilo.

In relazione al numero esiguo di posizioni da turn-over per l'anno 2019 è doveroso notare che la stima della disponibilità si basa sul collocamento in quiescenza del personale prevedibile alla data della redazione del presente PTA. Questa è quindi

necessariamente una sottostima dal momento che non tiene conto di dimissioni volontarie o per forza maggiore, trasferimenti all'estero, etc. A fronte di una eventuale conferma del numero basso di posizioni, negli aggiornamenti futuri del piano triennale verranno descritti gli eventuali correttivi neccessari.

| **Tabella 4** | Spesa per il personale |
|---|---|

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spesa complessiva per il personale TI | 58.535.063,95 | 58.893.813,20 | 58.516.940,30 | *61.608.365,3** | *62.000.000,00** | *62.000.000,00** |
| Spesa per il personale a TD su FFO | 207.343,10 | 440.538,91 | 422.235,07 | *n.d* | *n.d* | *n.d* |
| Spesa per il personale a TD su Progetti | 3.945.186,77 | 4.373.618,25 | 4.375.738,66 | *4.400.000,00* | *3.500.000,00* | *3.500.000,00* |
| Altre spese relative al personale | 10.778.254,30 | 11.529.193,36 | 10.409.147,72 | *12.500.000,00* | *12.500.000,00* | *12.500.000,00* |
| Totale | 73.465.848,12 | 75.237.163,72 | 73.724.061,75 | *78.508.365,30* | *78.000.000,00* | *78.000.000,00* |

*Comprensivo della component TD su FFO non predeterminabile

Il Piano di reclutamento e di assunzioni di personale ricercatore e tecnologo, come sopra illustrato, rientra nei limiti finanziari previsti dall'articolo 9, comma 6, lettera b), del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218, in relazione all'indicatore di cui al comma 2, calcolato secondo i criteri stabiliti dal comma 4 del medesimo articolo 9 ovvero calcolato facendo riferimento alla media delle entrate complessive del triennio 2014-2016, come risultanti dai bilanci consuntivi degli anni di riferimento, ed alla spesa di personale dell'anno 2016, come risultante dal bilancio consuntivo 2016, determinata considerando la somma algebrica delle spese di competenza del predetto anno, al lordo degli oneri riflessi ed al netto della spesa per il personale a tempo determinato la cui copertura sia garantita da finanziamenti esterni di soggetti pubblici o privati.

Il predetto indicatore è riportato nella seguente **Tabella 4 bis**:

| **Tabella 4 bis** | Indicatore di cui all'articolo 9, comma 2 e comma 6, lettera b) del D.lgs n. 218/2016 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| Spesa complessiva per il personale al 31/12/2016 | € 58.939.175,37 |
| Media delle entrate complessive del triennio 2014-2016 | € 124.931.012,49 |
| Rapporto spesa di personale e media delle entrate del triennio 2014-2016 | 47% |
| Rapporto spesa di personale e FOE senza destinazione d'uso | 80% |
| Altre spese relative al personale (stima) | € 12.500.000,00 |
| Spesa per le assunzioni di personale ricercatore e tecnologo previste nell'anno 2017 | **€ 2.669.190** |

Con riferimento al Piano di Fabbisogno del personale tecnico ed amministrativo dei livelli dal Quarto all'Ottavo, si evidenzia che il Consiglio di Amministrazione, nella seduta del 25 luglio 2017, ha approvato, su proposta del Presidente, un "***Atto di indirizzo***" per la definizione del Piano di reclutamento e delle Progressioni di carriera del personale tecnico ed amministrativo, nel quale, ai fini

della determinazione del predetto Fabbisogno, è stato previsto, tra l'altro, di dare mandato al Direttore Scientifico ed al Direttore Generale, di effettuare, con la collaborazione dei Direttori di Struttura, degli Uffici Amministrativi della Sede Centrale, dei Responsabili Amministrativi delle Strutture, delle Unità della Direzione Scientifica e dei Responsabili dei principali grandi progetti, un *excursus* di tutte le attività scientifiche, tecnologiche ed amministrative dell'Istituto, connesse agli obblighi di Legge, che si ritiene che abbiano sofferto negli ultimi anni di disfunzioni e/o rallentamenti dovuti alla carenza di personale di supporto tecnico-amministrativo. Al fine di dare attuazione al predetto "***Atto di indirizzo***", il Direttore Generale ed il Direttore Scientifico, con nota dell'8 agosto 2017, protocollo numero 3856, hanno dato avvio ad una ricognizione delle esigenze delle Strutture di Ricerca in relazione al reclutamento di personale tecnico ed amministrativo nel corso del triennio 2017-2019, che non si è ancora conclusa.

Stante quanto sopra, si provvederà alla definizione del Piano di reclutamento e di assunzioni del personale tecnico ed amministrativo al termine della predetta ricognizione, nell'ambito dell'aggiornamento del presente Piano di Attività.

Nelle more della definizione del predetto Piano, si fa presente che l'Istituto procederà al reclutamento delle seguenti unità di personale tecnico, già autorizzate con l'approvazione del Piano Triennale di Attività 2016-2018 a valere sul *turn –over* degli anni 2014-2015:

- **numero 2** unità di VIII livello – Profilo di Operatore Tecnico
- **numero 6** unità di VI livello – Profilo di Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca

Al riguardo, il citato "***Atto di indirizzo***" del Presidente, come approvato dal Consiglio di Amministrazione nella seduta del 25 luglio 2017, ha previsto che il personale tecnico ed amministrativo in possesso dei requisiti previsti dall'articolo 20, comma 1, lettere a), b) e c) del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, numero 75, possa essere assunto tramite procedure di stabilizzazione atteso che "*…il personale di supporto, in numero decrescente a causa del limitato turn-over, ha comunque garantito un accettabile livello di supporto solo grazie al personale precario, nonostante l'incremento del personale di ricerca che, tenuto conto delle figure a tempo determinato o con altre forme di contratto flessibile, è stato in costante crescita…"*e che "*…pertanto, il personale tecnico amministrativo precario può essere considerato parte integrante della struttura tecnico-amministrativa e quindi essere oggetto di stabilizzazione per consolidare l'attuale livello di risorse a supporto alle attività dell'Ente…*", individuando quale copertura finanziaria, per le predette stabilizzazioni, i risparmi derivanti dal *turn-over* del personale dei livelli dal Quarto all'Ottavo.

Stante quanto sopra, l'INAF provvederà, nell'anno 2018, ad assumere a tempo indeterminato **numero 16 unità** di personale con profilo tecnico ed amministrativo in possesso dei requisiti previsti dall'articolo 20, comma 1, lettere a), b) e c) del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, numero 75 ovvero personale che:

- risulti in servizio, successivamente alla data di entrata in vigore della Legge numero 124 del 2015 con contratti a tempo determinato presso l'INAF;
- sia stato reclutato a tempo determinato, in relazione alle medesime attività svolte, con procedure concorsuali espletate anche presso Amministrazioni Pubbliche diverse dall'INAF;
- abbia maturato, al 31 dicembre 2017, alle dipendenze dell'INAF, almeno tre anni di servizio, anche non continuativi, negli ultimi otto anni;
-

così ripartito:

- **numero 6** unità di VIII livello – Profilo di Operatore Tecnico
- **numero 8** unità di VI livello – Profilo di Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca
- **numero 2** unità di VII livello – Profilo di Collaboratore di Amministrazione

per una spesa complessiva annua lorda pari ad **euro 630.206** che troverà copertura con i risparmi derivanti dalle cessazioni di personale tecnico ed amministrativo dei livelli dal Quarto all'Ottavo negli anni 2016 e 2017, che ammontano complessivamente ad **euro 701.537.**

## Assunzioni obbligatorie ai sensi della Legge 12 marzo 1999, numero 68

In ottemperanza a quanto disposto dalla Legge 12 marzo 1999, numero 68 e successive modifiche ed integrazioni, al fine della verifica del rispetto dei prescritti oneri assunzionali è stata effettuata la ricognizione annuale del personale disabile ed appartenente alle categorie protette, di cui all'articolo 18 della medesima Legge numero 68/99, in servizio a tempo indeterminato al 31 dicembre 2016, tramite la compilazione del prospetto informativo, previsto dall'articolo 9, comma 6, della citata Legge numero 68/99, sull'apposito portale telematico del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali.

Dal Riepilogo Nazionale generato dal suddetto portale, a seguito del predetto monitoraggio, sono risultate, alla data del 31 dicembre 2016, numero 34 scoperture relative al personale disabile e numero 5 scoperture relative alle categorie protette ex articolo 18 della Legge numero 68/99.

Al riguardo, si fa presente che, a seguito della stipula di una apposita Convenzione, in data 13 maggio 2015, con il Dipartimento III della Città Metropolitana di Roma Capitale, ai sensi dell'articolo 11 della Legge 12 marzo 1999, numero 68, l'Ente si è impegnato a realizzare un programma assunzionale di numero **6** soggetti disabili, ai fini della copertura della quota d'obbligo, come risultante alla data del 31 dicembre 2014, per l'ambito di competenza della ex Provincia di Roma ovvero della città Metropolitana di Roma Capitale.

In ossequio a quanto previsto dalla predetta Convenzione, l'INAF ha proceduto:

- a bandire una procedura concorsuale riservata ai soggetti disabili per il reclutamento di numero **5 unità** di personale con profilo di Collaboratore di Amministrazione di Settimo livello, che è ancora in corso di espletamento;
- a dare avvio alla procedura di reclutamento di numero **1 unità** di personale con profilo di Operatore di Amministrazione di Ottavo livello, tramite avviamento a selezione, che si concluderà con l'assunzione della predetta unità di personale nel mese di ottobre 2017.

Premesso che, come chiarito dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri- Dipartimento della Funzione Pubblica nelle Note Circolari contenenti direttive in merito al reclutamento di personale, le predette assunzioni, nel solo limite della copertura della quota d'obbligo, non rientrano nelle limitazioni delle assunzioni, per le restanti unità da reclutarsi l'Ente procederà a stipulare apposite convenzioni con i Centri per l'Impiego territorialmente competenti, ai sensi dell'articolo 11 della Legge numero 68/99, al fine di definire una programmazione delle assunzioni dei soggetti disabili, da effettuarsi negli anni, che tenga conto delle rilevate esigenze di personale e degli effettivi fabbisogni delle Strutture di Ricerca.

Per quanto riguarda le categorie protette di cui all'articolo 18 della Legge numero 68/99, con riferimento, in particolare, alle categorie per le quali l'articolo 35, comma 2, del Decreto Legislativo 30 marzo 2001, numero 165 e successive modifiche ed integrazioni prevede l'assunzione tramite chiamata diretta nominativa, l'Ente procederà al reclutamento tramite un'apposita procedura di assunzione riservata alle categorie protette ed indetta mediante avviso pubblico.

## Progressioni di carriera e Progressioni economiche

In merito alle progressioni di carriera ed alle progressioni economiche del personale tecnico ed amministrativo, l'Istituto, tenuto conto che:

- nel Verbale del 15 dicembre 2016, numero 27, il "***Collegio dei Revisori dei Conti***" dello "***Istituto Nazionale di Astrofisica***", in merito alle Ipotesi degli "***Accordi Integrativi***" sottoscritti il 30 dicembre 2013, che riguardano sia le "***progressioni economiche***" che le "***progressioni di livello nei profili di inquadramento***" del personale tecnico e amministrativo, ai sensi, rispettivamente, degli articoli 53 e 54 del "***Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed il Biennio Economico 1998-1999***", sottoscritto il 21 febbraio 2002, ha ritenuto "...*utile ribadire*...", con "...*particolare riferimento alle risorse del Fondo per il trattamento economico accessorio destinate, per gli anni 2013 e 2014, alle "**progressioni di livello nei profili di inquadramento**" ex articolo 54 del Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed alle "**progressioni economiche**" ex articolo 53 del medesimo Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro, come previste dalle Ipotesi dei Contratti Collettivi Integrativi del 30 dicembre 2013, che prevedono la loro decorrenza dal **1° gennaio 2013***...", quanto "....*già rilevato in merito con il Verbale del 13 settembre 2016, numero 20, e con il Verbale del 13 ottobre 2016, numero 22, ovvero che, alla luce di quanto chiarito dal Ministero della Economia e delle Finanze e dalla Agenzia per la Rappresentanza Negoziale delle Pubbliche Amministrazioni, non è possibile retrodatare le suddette progressioni anteriormente al primo gennaio dell'anno in cui risulta approvata la graduatoria delle stesse…*";
- con il "***Verbale di intesa***", sottoscritto nella seduta di Contrattazione Collettiva Integrativa del 29 dicembre 2016, le Parti, in "…*considerazione del rilievo avanzato dal "**Collegio dei Revisori dei Conti**" dello "**Istituto Nazionale di Astrofisica**" relativamente all'impossibilità di procedere alla attuazione delle Ipotesi degli Accordi Integrativi sottoscritti il 30 dicembre 2013, con le quali era stato previsto l'espletamento delle procedure relative alle "**progressioni di livello nei profili di inquadramento**" ex articolo 54 del Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed alle "**progressioni economiche**" ex articolo 53 del medesimo Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro con decorrenza dal **1° gennaio 2013** e preso atto del conseguente blocco delle opportunità di sviluppo professionale per il personale inquadrato nei livelli compresi tra il quarto e l'ottavo*...", hanno ritenuto "...*di dover prevedere dei meccanismi di recupero delle predette opportunità tramite l'indizione di procedure straordinarie ex articoli 53 e 54 del Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro più volte citato, oltre a quelle ordinarie previste contrattualmente, con decorrenza dal **1° gennaio 2017***…";

e nelle more:

- della sottoscrizione delle Ipotesi dei Contratti Collettivi Integrativi che quantificano i fondi per il trattamento economico accessorio del personale inquadrato nei livelli compresi tra il quarto e l'ottavo per gli anni 2015, 2016 e 2017 e definiscono le relative modalità di utilizzo;
- della certificazione delle predette Ipotesi da parte del "*Collegio dei Revisori dei Conti*" dello "*Istituto Nazionale di Astrofisica*";
- del perfezionamento del procedimento di controllo, con esito positivo, previsto dall'articolo 40-bis, commi 1 e 2, del Decreto Legislativo 30 marzo 2001, numero 165, e successive modifiche ed integrazioni, con conseguente rilascio del nulla osta alla sottoscrizione dei predetti Contratti da parte sia del Ministero della Economia e delle Finanze, Ragioneria Generale dello Stato, che della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Funzione Pubblica;
- della autorizzazione alla definitiva sottoscrizione dei Contratti Collettivi Integrativi innanzi specificati, rilasciata dal Consiglio di Amministrazione unitamente alla autorizzazione della relativa spesa;
- della definitiva sottoscrizione dei Contratti Collettivi Integrativi relativi agli anni 2015, 2016 e 2017;

al fine di non penalizzare ulteriormente il personale tecnico ed amministrativo, ha proceduto ad avviare due apposite procedure di selezione, delle quali una per le "***progressioni di livello nei profili di inquadramento"*** del personale tecnico e amministrativo, ai sensi dell'articolo 54 del "***Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed il Biennio Economico 1998-1999***" sottoscritto il 21

febbraio 2002 ed un'altra per l'attribuzione delle "***progressioni economiche***" del personale tecnico e amministrativo inquadrato nei livelli apicali dei profili, ai sensi dell'articolo 53 del citato "***Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed il Biennio Economico 1998-1999***".

Fermo restando che l'effettivo riconoscimento, sia sotto il profilo giuridico che sotto il profilo economico, delle "***progressioni economiche***" e delle "***progressioni di livello nei profili di inquadramento***" del personale tecnico e amministrativo, con decorrenza dal **1° gennaio 2017**, è comunque subordinato al perfezionamento, con esito positivo, dell'intero procedimento come innanzi specificato, relativamente alla procedura di selezione bandita ai sensi dell'articolo 54, si intende procedere ad un incremento dei posti già previsti nel bando al fine di garantire, nel rispetto del principio della selettività e della premialità, effettive opportunità di crescita professionale al personale le cui possibilità di carriera sono rimaste congelate per molti anni, a causa del blocco stabilito dalle norme di contenimento della spesa pubblica.

Pertanto, con riferimento alla selezione per le "***progressioni di livello nei profili di inquadramento***" ai sensi dell'articolo 54 del "***Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed il Biennio Economico 1998-1999***", sottoscritto il 21 febbraio 2002, a fronte di complessive **46** posizioni già bandite, come di seguito ripartite:

| Profilo professionale | Livello | numero posti |
|---|---|---|
| Funzionario di Amministrazione | IV | 6 |
| Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca | IV | 18 |
| Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca | V | 2 |
| Collaboratore di Amministrazione | V | 4 |
| Collaboratore di Amministrazione | VI | 3 |
| Operatore di Amministrazione | VII | 4 |
| Operatore Tecnico | VII | 1 |
| Operatore Tecnico | VI | 8 |

tenuto conto degli aventi titolo alle predette progressioni, si intende procedere ad un incremento delle posizioni per un totale di **95** posizioni così ripartite:

| Profilo professionale | Livello | numero posti |
|---|---|---|
| Funzionario di Amministrazione | IV | 11 |
| Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca | IV | 34 |
| Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca | V | 19 |
| Collaboratore di Amministrazione | V | 8 |
| Collaboratore di Amministrazione | VI | 7 |
| Operatore di Amministrazione | VII | 4 |
| Operatore Tecnico | VII | 4 |
| Operatore Tecnico | VI | 8 |

Con riferimento alla selezione per le "***progressioni economiche***" ai sensi dell'articolo 53 del "***Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 1998-2001 ed il Biennio Economico 1998-1999***", sottoscritto il 21 febbraio 2002, le posizioni già bandite sono **189** e sono così ripartite:

| Profilo professionale | Livello | numero posti |
|---|---|---|
| Funzionario di Amministrazione | IV | 17 |
| Collaboratore Tecnico Enti di Ricerca | IV | 88 |
| Collaboratore di Amministrazione | V | 42 |
| Operatore Tecnico | VI | 33 |
| Operatore di Amministrazione | VII | 9 |

## Fabbisogno di personale a tempo determinato

Il limite finanziario previsto dall'articolo 1, comma 187, della Legge 23 dicembre 2005, numero 266, così come modificato dal comma 538, dell'articolo 1, della Legge numero 296/2006 e dal comma 80, dell'articolo 3, della Legge numero 244/2007, per le assunzioni a tempo determinato con oneri a carico del fondo di funzionamento ordinario (FOE) è pari per l'INAF ad euro **294.356.**

Tanto premesso, risultavano in servizio a tempo determinato al 31 dicembre 2016, con oneri a carico del FOE, le seguenti unità di personale:

- Funzionario di amministrazione – V livello: n. 1 unità
- Operatore tecnico – VIII livello: n. 2 unità

per una spesa complessiva annua lorda pari ad euro **117.807.**

# Partecipazione a Consorzi, Società e Fondazioni

Per svolgere la sua missione scientifica INAF partecipa ad alcune società consorzi e fondazioni, tutte rigorosamente senza fine di lucro.

## Partecipazioni societarie

In via preliminare, bisogna evidenziare che l'INAF ha partecipazioni societarie che hanno una natura strettamente scientifica. Si tratta infatti di partecipazioni a organizzazioni senza scopi di lucro, il cui "utile" è rappresentato dal ritorno scientifico, messo poi a disposizione della comunità scientifica.

### LBT Corporation

Per la gestione della costruzione e la gestione delle attività del Large Binocular Telescope, nel 1992 è stata costituita la LBT Corporation, organizzazione no profit di diritto dello stato dell' Arizona (USA). Non esistendo allora un Istituto Nazionale, la comunità scientifica italiana è stata rappresentata inizialmente dall'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (FI).

La Corporation è attualmente costituita da:

- INAF – Istituto Nazionale di Astrofisica al 25%;
- University of Arizona (Tucson, Arizona) al 25% ;
- Ohio State University (Columbus, Ohio) al 12,5%;
- Research Corporation (Tucson, Arizona) al 12,5%;
- LBT Beteiligungs Gesellschaft, che rappresenta un consorzio di Istituti ed Università tedesche, al 25%.
-

Le entrate della LBT Corporation sono rappresentate dalle quote di ciascun partner e la quota che l'INAF è tenuto a versare si aggira intorno ai 3.2 Milioni di USD/anno.

### SKA Organization LTD

Questa società *no profit* ha lo scopo di seguire la gestione della progettazione del telescopio SKA – Square Kilometre Array. Oltre all'Italia, la SKA Organization LTD comprende Olanda, Regno Unito, Cina, India, Sud Africa, Australia, Nuova Zelanda, Svezia e Canada, che partecipano in maniera paritetica. Le entrate della SKA Organization sono rappresentate dalle quote di ciascun partner e la quota che l'INAF è tenuto a versare è di 500.000 €/anno per l'anno 2017.

Sono in fase finale le negoziazioni intergovernative per trasformare la SKA LTD in una una organizzazione intergovernamentale (IGO) da trattato. La Futura IGO si rileverà gli assett correntemente in carico alla SKA LTD si muoverà sul piano del diritto internazionale. In previsione della formazione della IGO è previsto un leggero aumento della quota di partecipazione dei partners (e quindi di INAF) alla SKA LTD (per la parte INAF sino a 1.350 k€/anno per il 2018 e 2019.

### CTA GmbH

Nel luglio 2012, l'INAF ha aderito ufficialmente al **Funding Board del CTA** (assumendone la vicepresidenza), che ha lo scopo di condurre l'organizzazione del CTA verso una forma societaria legale internazionale. A seguire nel 2014 è stata costituita una società a responsabilità limitata di diritto tedesco (GmBH) per la gestione della fase finale di progettazione, la scelta del sito, nel 2015, e la scelta della sede degli Headquarters, nel 2016. I paesi aderenti alla CTA GmBH sono Austria, Germania, UK, Svizzera, Repubblica Ceca, Spagna e Giappone Italia e nel 2017 è prevista la formalizzazione dell'ingresso della Francia. La quota annuale di INAF per la partecipazione alla CTA GmbH è di 500.000 €.

Nel corso del 2017 sono iniziate le negoziazioni a guida italiana (MIUR) per la trasformazione della CTA GmbH in una ERIC (European Research Infrastructure Consortium). Le Negoziazioni, che si suppone giungano a compimento nel 2018, porteranno alla formazione di un ERIC con sede in Italia che assorbirà gli asset attualmente sotto il controllo della CTA GmbH.

### LSST Corporation

INAF ha aderito nel 2017 alla LSST Corporation, una società no-profit di diritto USA che attualmente costruisce ed in seguito opererà il Large Synoptic Survey Telescope. Il Telescopio LSST è in corso di installazione al Cerro Pachon in Cile e produrrà la più ampia e più profonda rassegna di tutto il cielo visibile dal sito. Mediante l'adesione alla Corporation (costo 25 k€ per anno) INAF acquisisce accesso alla governance del progetto mentre mediante l'acquisto di quote di adesione (300 k€ una tantum) acquisisce accesso per i propri ricercatori alle osservazioni della infrastruttura.

## Fondazioni

### Fundacion Galileo Galilei

La Fundacion Galileo Galilei è una fondazione privata senza scopo di lucro, regolamentata dal diritto spagnolo, costituita per la gestione del TNG (Telescopio Nazionale Galileo). Il suo scopo statutario è sviluppare la ricerca scientifica astronomica, secondo le indicazioni del *Patronato*, organo dirigente della Fundacion. Il Patronato è completamente controllato dall'INAF, essendone parte il Presidente, il Direttore Scientifico e il Direttore Generale.

L'attività della fondazione è finanziata dai soci (INAF) e possibilmente da altre fonti, anche se di fatto fino ad oggi il contributo di altre fonti è stato minoritario.

L'attività preponderante della Fondazione è il mantenimento e lo sviluppo del TNG e la gestione del tempo osservativo per conto della comunità astronomica italiana (75%) e internazionale (25%).

Insieme ad altri Istituti di ricerca ed Osservatori astronomici delle Isole Canarie, la Fundacion partecipa all'amministrazione delle installazioni comuni nell'ORM (Observatorio del Roque de los Muchachos).

## Organizzazioni la cui adesione è in via di valutazione o Formalizzazione

### Jive ERIC

**Jive ERIC** Il sistema delle antenne radio europee componenti il Very Long Baseline interferometer (EVN) raccolgono dati che vengono correlati presso il Jive in Olanda. Questa organizzazione aveva la forma giuridica di una fondazione di diritto olandese ed è stata trasformata nel 2014 in un ERIC. L'Italia sottoscrive annualmente un MoU con la Jive-ERIC come partecipante esterno alle attività della organizzazione.

E' in fase di negoziazione con il Ministero la possibilità di aderire formalmente alla Jive-ERIC. Si presume che questa negoziazione potrà giungere a compimento nel corso del 2018.

### LOFAR

In funzione dell'importante impegno di INAF in SKA soprattutto nel settore della bassa frequenza INAF ha deciso di rendere accessibile alla propria comunità uno dei precursori più significativi in questo settore di ricerca: ILT, International LOFAR Telescope. Nel corso del 2017 sono state attivate e negoziazioni per l'adesione di INAF al ILT e si profila la firma dell'accordo relativo per i primi mesi del 2018.

### IBIS

INAF è proprietario dello strumento per spettroscopia del Sole IBIS correntemente installato al Dunn Solar Telescope (DST) operato dal National Solar Observatory (NSO) in Nuovo Messico (USA). A seguito di una ristrutturazione in atto il DST passerà nei primi mesi del 2018 da NSO alla New Mexico State University (NMSU) che implementerà un uso diverso della infrastruttura. Nel coro del 2017 sono state attivate negoziazioni per trasferire IBIS da DST al telescopio solare VTT (ed in prospettiva al telescopio solare GREGOR) a Tenerife (Spagna) mediante un accordo con il consorzio internazionale che opera queste infrastutture.

## Adesione a Cluster Tecnologici Nazionali ed altre associazioni

Le principali partecipazioni a Cluster Tecnologici Nazionali ed altre associazioni sono indicare nella seguente tabella

| denominazione | tipo | anno di costituzione/partecipazione | capitale/fondo verssato INAF | contributi/trasferimenti annuali |
|---|---|---|---|---|
| Apriti Cielo | Associazione | 2005 | 10K u.t | |
| Festival della Scienza | Associazione | 2008 | 40K u.t | 15K u.t 2009 |
| CIFS | Consorzio | 2005 | 10K u.t | |
| Consorzio per la Fisica di Trieste | Consorzio | 2007 | | 7.747 euro/anno |
| COMETA | Consozio | 2005 | 15K u.t | |
| Distretto tecnologico Sicilia Micro e nano Sistemi | S.c.a.r.l | 2007 | 35k u.t | 5K/anno |
| Distretto tecnologico della Campania | S.c.a.r.l | 2012 | 20K u.t | |
| Distretto Aerospaziale Sardegna | S.c.a.r.l | 2013 | 4K u.t | |
| Jive | Fondazione scientifica di diritto olandese | 1993 | | 200K/anno |
| GARR | Consorzio | Rinnovata 2017 | | |
| Astronomy & Astrophysics | Consorzio | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CINECA | consorzio | Rinnovata adesione 2017 | | |
| GAL HASSIN PAM | Fondazione Isnello | 2017 | | 500 k€/anno |

# L'Attività di Ricerca Scientifica e Tecnologica

## Primo Pilastro – La Ricerca Scientifica

*La Ricerca Scientifica produce conoscenza originale che rappresenta un avanzamento nello stato del sapere consolidato. Si realizza attraverso pubblicazioni inserite in forme di comunicazione scientifica strutturate e specializzate, e in altri prodotti di ricerca – quali brevetti, disegni, software, mappe, database etc. – di norma anch'essi associati a pubblicazioni o eventualmente materializzati in "oggetti" suscettibili di osservazione esterna. Ferma restando la natura curiosity driven di questa attività di ricerca, l'elemento qualificante della Ricerca Scientifica svolta all'interno di un EPR è la sua rilevanza dal punto di vista delle ricadute sullo svolgimento delle attività istituzionali dell'ente, quale motore per lo svolgimento allo stato dell'arte delle funzioni istituzionali stesse.*

*I prodotti della ricerca scientifica, nella maggior parte dei casi, non sono il risultato del lavoro di singoli ricercatori ma sono ottenuti grazie ad azioni programmate e coordinate, in cui devono frequentemente cooperare gruppi di ricercatori e tecnologi appartenenti a settori disciplinari differenti.*

*Un secondo elemento che differenzia la Ricerca Scientifica da quella Istituzionale è la limitata programmabilità in termini qualitativi degli output finali della ricerca stessa. Anche di tale differenza si dovrà tener conto in sede di valutazione e di programmazione delle attività dell'Ente.*

*Terzo elemento caratterizzante, che consegue dalla non obbligatorietà dello svolgimento di specifiche linee di ricerca, è l'importanza dell'autofinanziamento, in particolare attraverso la partecipazione a bandi competitivi, nazionali e internazionali.*

L'INAF ha conseguito un livello di eccellenza internazionale grazie a progetti scientifici e tecnologici svolti nei campi più moderni e innovativi dell'astrofisica teorica e sperimentale. Nel seguito vengono inquadrate le tematiche, citando alcuni esempi di risultati particolarmente significativi ottenuti dai ricercatori dell'INAF negli ultimi anni e definendo gli obiettivi strategici da conseguire nel prossimo triennio.

### Cosmologia: una frontiera per comprendere l'Universo primordiale, la fisica fondamentale e la formazione ed evoluzione delle galassie.

La cosmologia moderna copre un vasto insieme di tematiche fondamentali e consente di comprendere le prime fasi dell'Universo, la sua geometria globale e la sua evoluzione, di capire la natura e le proprietà dei suoi costituenti, ovvero delle particelle sia conosciute sia ancora sconosciute, di **collegare l'astrofisica alla fisica delle alte energie e alla fisica fondamentale**, incluse le teorie della gravità e delle altre interazioni fondamentali. Tale conoscenza è strettamente legata sia allo studio del **fondo cosmico di micro-onde** (cosmic micro-wave background, CMB), che fornisce una foto dell'Universo a 380.000 anni dal Big Bang, sia a quello dei fenomeni astrofisici che determinano la **formazione di strutture cosmiche a varie epoche e a varie scale**: dalla formazione delle prime stelle e dei primi buchi neri che hanno prodotto la reionizzazione cosmologica, alla **formazione ed evoluzione delle galassie**, fino alla **formazione ed evoluzione degli ammassi di galassie e della struttura su grande scala dell'Universo**. La materia nell'Universo è infatti organizzata in strutture di varia gerarchia che si dispongono nello spazio in una ragnatela cosmica di filamenti (la cosiddetta *cosmic web*) alla cui intersezione si formano gli ammassi di galassie, le strutture autogravitanti più massicce. La formazione cosmologica di galassie a partire da un Universo altamente isotropo, quale quello

osservato nel CMB, richiede che gran parte della materia si trovi in una forma ancora non identificata di **materia oscura** (dark matter, DM), mentre la materia barionica ordinaria ne compone solo una frazione minoritaria. Le galassie si formano quando il gas cosmologico segue la materia oscura nel processo di formazione di aloni per instabilità gravitazionale e collassa fino a formare stelle. Questo processo è iniziato alcune centinaia di migliaia di anni dopo il Big Bang, a partire dall'amplificazione delle piccole fluttuazioni di densità osservate nel CMB. Mentre lo scheletro della **struttura su grande scala** (large scale structure, LSS) è determinato dai parametri cosmologici e dall'interazione gravitazionale della materia oscura dominante, l'assemblaggio e l'evoluzione di strutture su scale tipiche delle galassie, fino a quelle degli ammassi di galassie sono governate da una complessa alchimia di processi astrofisici legati agli effetti indotti sul gas dalla gravità e dall'evoluzione di stelle e buchi neri super-massicci (SMBH).

### *Le domande fondamentali*

1) **La natura della Materia Oscura**
2) **La natura dell'Energia Oscura**
3) **La comprensione della gravità su scale cosmologiche**
4) **Le condizioni iniziali della Cosmologia**
5) **I principi della fisica e le costanti fondamentali**
6) **I processi fisici che determinano la formazione e l'evoluzione delle strutture cosmiche**.

Gli ultimi quindici anni hanno visto il consolidamento osservativo dello scenario cosmologico del Big Bang, inclusa la scoperta che l'espansione dell'Universo sta accelerando. I risultati più recenti mostrano come un modello ΛCDM di Universo caratterizzato da soli sei parametri, con DM fredda (cold DM, CDM, con un contributo del 26.0% alla densità di energia totale attuale dell'Universo), un contributo attualmente dominante di **energia oscura** (69.2%), rappresentabile in termini di costante cosmologica (Λ), e solo una piccola frazione (4.8%) in materia barionica (sotto forma di gas, stelle, polveri, pianeti, ecc.), costituisca un'ottima descrizione dei dati. Restano tuttavia molte domande strettamente correlate alla fisica fondamentale: perché la costante cosmologica misurata ha un valore enormemente più piccolo di quello atteso in base al Modello Standard della fisica delle particelle? Se la DM è fatta di particelle, di che nuova/e particella/e si tratta? È possibile risolvere il puzzle della DM ricorrendo a un altro tipo di fisica, ad esempio modificando la gravità su grandi distanze?

Le **osservazioni del CMB** risultano consistenti con la teoria secondo cui l'Universo ha subito un'espansione esponenziale (la cosiddetta *inflazione*) nei primi $10^{-32}$ secondi dal Big Bang quando la scala dell'Universo che vediamo oggi è cresciuta da un inizio infinitesimale fino a una dimensione di pochi centimetri. Il modello inflazionario fornisce una soluzione "cinematica" sia per alcuni problemi basilari del modello standard (per es. orizzonte, piattezza, monopoli) sia per la generazione di perturbazioni primordiali. Il postulato di espansione esponenziale porta regioni lontane dell'Universo (molto più distanti rispetto alle dimensioni attuali dell'orizzonte) a contatto causale nelle fasi iniziali. Questa semplice idea fornisce alcune previsioni cruciali secondo cui l'Universo dovrebbe essere molto vicino a una geometria piatta e apparire estremamente isotropo, anche nelle regioni che in assenza di inflazione non dovrebbero esser mai state in contatto causale.

L'Universo fornisce un laboratorio promettente per indagare la fisica fondamentale, in particolare le proprietà di neutrini, la violazione di leggi e simmetrie, la variazione delle costanti fisiche, la scala di energia delle interazioni. Studi di questo tipo, strettamente interdisciplinari, hanno una profonda sinergia con la ricerca diretta della DM e di altre particelle, condotta con gli esperimenti di astrofisica delle alte energie e di fisica di laboratorio. Le grandi distanze astronomiche ci permettono di

indagare effetti molto piccoli che possono diventare rilevabili se accumulati sui corrispondenti tempi lunghi e grandi scale della Cosmologia.

**L'epoca della reionizzazione** (EoR) rappresenta un punto di svolta cruciale nell'evoluzione delle strutture cosmiche, e si colloca alla frontiera delle osservazioni attuali. Determinare quando sia avvenuta la reionizzazione cosmica, nonché i processi fisici coinvolti e la natura delle sorgenti di radiazioni ionizzanti rappresenta uno dei principali obiettivi per i prossimi anni. Anche se esiste un consenso generale che la reionizzazione sia probabilmente prodotta dalla formazione di stelle e/o buchi neri (ma non mancano possibilità più esotiche legate alla fisica fondamentale), il contributo globale di ciascuna di queste classi di oggetti al fondo di radiazion ionizzante è ancora largamente dibattuto. L'esistenza di quasars (QSOs) luminosi a z>6, ovvero ad un'epoca in cui l'Universo era più giovane di un miliardo di anni, rappresenta una sfida ancora attuale per l'astrofisica extragalattica. Qual è infatti l'origine dei "semi" che in seguito sono diventati SMBHs? Come è potuto avvenire un accrescimento così efficiente?

**L'origine e l'evoluzione delle galassie** è uno dei capitoli più appassionanti e complessi nella formazione delle strutture cosmiche. In questo contesto è fondamentale la comprensione di come le proprietà delle galassie dipendano da ambiente e tempo cosmico. Molti processi fisici possono essere importanti: il gas (atomico e molecolare), essendo il combustibile grezzo per la formazione di stelle, gioca un ruolo dominante nella crescita delle galassie e, al tempo stesso, viene arricchito dai prodotti stellari espulsi da meccanismi di feedback. L'attività degli AGN in parte regola e in parte è regolata dalla formazione stellare. La massa di stelle e l'ambiente governano la soppressione della formazione stellare e l'emergere di una sequenza di galassie che evolvono passivamente. Inoltre, la formazione delle galassie è certamente collegata alla crescita degli aloni di materia oscura. In breve, le galassie sono sistemi complessi che vivono in ambienti dinamici, ciò nonostante mantenendo caratteristiche strutturali ben precise e comuni. In questo campo la domanda fondamentale è: quali processi fisici guidano la trasformazione delle proprietà delle galassie?

### *Gli strumenti di indagine*

**Materia Oscura**

L'esistenza di una componente oscura dell'Universo è corroborata da una serie di osservazioni astrofisiche, quali le curve di rotazione di un gran numero di galassie a spirale, la massa degli ammassi di galassie determinata con dati X e dal lensing gravitazionale, i moti delle galassie all'interno degli ammassi, i campi di velocità peculiari delle galassie, le anisotropie del CMB, la crescita osservata delle strutture su grande scala.

**Energia Oscura**

Nel 1998, osservazioni di supernovae (SN) di tipo Ia hanno fornito la straordinaria evidenza di un'accelerazione dell'espansione cosmica, che si ritiene essere causata da una nuova componente, denominata "energia oscura" (dark energy, DE).

L'impatto di DM e DE sulla LSS e sul CMB è essenziale per indagare le loro proprietà fisiche, le loro interazioni, la loro evoluzione nel tempo cosmico e per la comprensione della gravità su grandi scale cosmologiche. In questo contesto, lo studio della CMB e LSS deve essere considerato, concettualmente e programmaticamente, come un esperimento unico, dal quale è possibile ottenere informazioni di base sui costituenti dell'Universo e sulle leggi fondamentali che determinano la sua evoluzione.

**Fisica delle condizioni iniziali dell'Universo**

Nel modello più semplice di inflazione la forma del potenziale del campo scalare che guida l'inflazione (inflatone) e la sua scala di energia, lasciano la loro impronta sia sulle perturbazioni scalari che su quelle tensoriali. Le predizioni dell'inflazione - curvatura dell'Universo estremamente piccola e spettro quasi auto-simile di perturbazioni pressoché Gaussiane - sono in accordo con le osservazioni disponibili del CMB e della struttura su grande scala dell'Universo. Dovrebbe essere possibile verificare con future osservazioni la scala di energia dell'inflazione, la quantità di onde gravitazionali primordiali generate durante l'inflazione e, allo stesso tempo, lo spettro delle perturbazioni iniziali, sia di tipo scalare che tensoriale.

**La struttura su grande scala** rappresenta lo stadio finale dell'evoluzione cosmica, le cui condizioni iniziali sono date dalle anisotropie del CMB. **Galassie, ammassi di galassie e mezzo intergalattico** rappresentano ad oggi i traccianti principali della LSS. Lo studio della loro distribuzione ed evoluzione, in particolare tramite misure di power-spectrum, funzioni di correlazione, baryonic acoustic oscillations (BAO), redshift-space distortions (RSD) a vari redshifts, permette di misurare i parametri cosmologici più rilevanti

La caratterizzazione statistica, attraverso lo studio del CMB, delle perturbazioni primordiali, sia scalari che tensoriali (compresi i limiti superiori al livello dei modi-B primordiali) ha permesso di vincolare in modo significativo diverse classi di modelli inflazionari.

Oltre allo studio del CMB, la missione Planck ha consentito anche l'identificazione dell'effetto di *weak lensing*, dovuta alle deflessioni dei fotoni del CMB nell'attraversare la struttura su larga scala, un altro promettente strumento di indagine cosmologica. Infine, l'ampia copertura in frequenza di *Planck* ha consentito di realizzare mappe accurate a tutto cielo dei segnali astrofisici (di *foreground*) galattici ed extragalattici nel millimetrico e sub-millimetrico, e la produzione del miglior catalogo di sorgenti esistente a quelle lunghezze d'onda. In particolare, l'analisi dell'effetto Sunyaev-Zeldovich (SZ) ha permesso la creazione del più completo catalogo di ammassi di galassie su tutto cielo, che è stato utilizzato per analisi cosmologiche complementari a quelle ottenute direttamente dal CMB.

Nell'Universo a noi vicino, le galassie contengono nel loro complesso meno del 10% della massa barionica totale dell'Universo. Il resto del budget in barioni dell'Universo si trova sotto forma di mezzo inter-galattico (IGM) che permea le strutture cosmiche a grande scala. Ad alto redshift (z~2-5) l'IGM contiene oltre il 90% della massa barionica ed è osservato e studiato in grande dettaglio, soprattutto attraverso la foresta di Lyman. Da un punto di vista cosmologico, lo studio dell'IGM permette di stimare la temperatura della DM a piccole scale (con dati ottenuti da spettrografi ad alta/media risoluzione) e in generale la struttura cosmica a z=2-5.5, fornendo ulteriori vincoli ai parametri cosmologi in un intervallo di redshift altrimenti difficilmente accessibile. Modelli teorico-numerici suggeriscono invece che a basso redshift l'IGM si trovi in una fase Warm-Hot, elusivo per le osservazioni in banda X e UV a causa della sua bassa densità e dell'assorbimento da parte del HI galattico.

È da notare che i limiti più stringenti sui parametri cosmologici sono ricavati combinando le informazioni dal CMB e dalla struttura a grande scala, anche attraverso lo studio delle cross-correlazioni (effetto ISW, lensing, studi di gaussianità, masse dei neutrini, etc.).

**Formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche alle varie epoche e a varie scale.**

Per comprendere la fisica di formazione ed evoluzione delle galassie è necessario osservare le proprietà delle galassie vicine in grande dettaglio e allo stesso tempo studiare il lontano Universo per esaminare le proprietà delle galassie a diverse epoche, con confronto continuo tra un quadro empirico variegato e complessi modelli teorico-numerici. Gli oggetti osservati sono talvolta così lontani che, anche con l'utilizzo della più moderna strumentazione, le nostre conoscenze restano parziali. Passi avanti si stanno compiendo con i dati ottenuti da ALMA a lunghezze d'onda millimetriche, con l'attuale strumentazione del VLT e con LBT.

Misure CMB della profondità ottica del Thomson scattering pongono l'EoR ad un redshift approssimato z ~ 9, mentre studi delle galassie Ly-α emitting e degli spettri di assorbimento di QSOs a z≥6 mostrano che la reionizzazione è sostanzialmente completata ad un redshift z ~ 6. Il metodo ottimale per studiare l'EoR appare essere lo studio del segnale a 21 centimetri redshiftato, originato dell'interazione tra il CMB e l'idrogeno neutro diffuso, per mezzo di interferometri radio.

L'attuale frontiera è costituita dal censimento delle galassie *star-forming* da z~6 e fino a z~11. La ricerca delle sorgenti che hanno reionizzato l'universo richiede una profonda caratterizzazione di: (i) la natura delle popolazioni stellari (e/o AGN) e il contenuto di gas e polveri dei primi oggetti; (ii) i meccanismi fisici che permettono alla radiazione ionizzante di uscire dalla galassia in cui viene prodotta e di raggiungere il mezzo intergalattico: questo è legato a processi di feedback, eventualmente collegati all'arricchimento metallico dell'IGM; (iii) il livello di formazione stellare nel regime di bassa luminosità/massa nel primo miliardo di anni dell'Universo, per comprendere i primi episodi di formazione stellare.

Un contributo fondamentale nel campo della **formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche** viene dalle grandi survey fotometriche e spettroscopiche che hanno giocato un ruolo molto importante negli ultimi anni, e continueranno a farlo nel prossimo triennio, in preparazione all'era degli *Extremely Large Telescopes* (ELT). È facile prevedere uno sviluppo ulteriore dell'acquisizione di dati "a campo integrale", in cui le galassie vengono mappate ad alta risoluzione spaziale per risolvere le singole regioni costituenti. Questo porterà a progressi significativi nella comprensione della formazione delle diverse componenti delle galassie (dischi e sferoidi), nello studio dei buchi neri al centro delle galassie e del ruolo dei nuclei galattici attivi nell'evoluzione delle galassie che li ospitano. Nel frattempo, un progresso decisivo in relazione a queste problematiche e a quelle della reionizzazione sarà ottenuto con il telescopio spaziale di nuova generazione JWST, in fase di lancio.

Gli **ammassi di galassie** costituiscono le strutture gravitazionalmente legate più grandi e, quindi – in uno scenario di formazione gerarchica - quelle formatesi più di recente nella storia cosmica. Essi costituiscono dei laboratori per studiare come i barioni (nelle galassie - osservate prevalentemente nell'ottico e nell'infrarosso - e nel mezzo intracluster (ICM) – sotto forma di plasma caldo che può essere caratterizzato nei raggi X e attraverso l'effetto Sunyaev-Zeldovich in banda millimetrica) traccino le condizioni iniziali del loro collasso entro alone di materia oscura e come reagiscano agli effetti ambientali che hanno luogo durante la loro storia (ulteriori aggregazioni di materia, formazione stellare, attività di AGNs). Le osservazioni in banda X e sub-mm permettono di caratterizzare questi oggetti e utilizzarli come strumenti per la cosmologia. Allo stesso tempo, la combinazione di osservazioni in banda radio e nei raggi gamma permette di studiare fenomeni energetici legati alle fasi più violente dell'evoluzione degli ammassi di galassie. Gli osservabili chiave includono la temperatura, la densità del gas e la sua metallicità econsentono di indagare come l'energia gravitazionale plasmi la formazione del cluster e come e in quale frazione sia convertita in componenti termiche e non termiche, producendo turbolenze e moti globali su scale di kpc.

Su scale più grandi, la teoria prevede che la maggior parte dei barioni nell'universo locale risieda in vaste strutture filamentose non legate che collegano gruppi e ammassi di galassie in una fase tiepida-calda ($10^5$-$10^7$ K). Anche se sarà estremamente difficile vincolare l'emissione del continuo termico generato da questo **warm-hot intergalactic medium** (WHIM), le righe spettrali dei metalli altamente ionizzati forniranno un buon proxy per rilevare e caratterizzare questo gas con strumenti X, mentre le emissioni radio associate possono fornire informazioni sul campo magnetico in tali ambienti.

**Calcolo Numerico**

Tutti i filoni di ricerca della Cosmologia e astrofisica extra-galattica richiedono anche un'intensa attività di simulazioni numeriche e quindi robuste capacità di calcolo, utilizzando super-computer massivamente paralleli. Lo scopo di tali simulazioni è di descrivere, con tecniche numeriche ad N corpi ed idrodinamiche, la formazione ed evoluzione di galassie, ammassi di galassie e strutture cosmiche su grande scala a partire dalle condizioni iniziali date dal CMB. Le simulazioni cosmologiche forniscono un

quadro interpretativo unico grazie alla loro capacità di catturare la complessità dei fenomeni astrofisici e dinamici che guidano la formazione delle strutture cosmiche. Inoltre esse giocano un ruolo essenziale per la definizione dei casi scientifici e per il disegno di strumenti da terra e missioni spaziali dedicati ad osservazioni cosmologiche ed extra-galattiche. L'attività di ricerca in astrofisica numerica necessita, come l'astrofisica osservativa, di avere a disposizioni infrastrutture hardware ed una strategia di sviluppo di lungo termine, non solo per la costruzione e mantenimento di centri di calcolo, ma anche per lo sviluppo più generale di una "cultura del calcolo".

**La scala di distanze cosmiche**

La determinazione di molte proprietà fisiche delle strutture nell'Universo (luminosità, massa, tempi-scala dinamici, tasso di formazione stellare, ecc.) si basa sulla conoscenza della distanza. Diverse quantità cosmologiche, come la costante Hubble e i parametri collegati, dipendono fortemente dalla misura delle distanze. Le distanze sono un elemento fondamentale anche per comprendere i moti delle galassie su larga scala, quindi le distribuzioni di massa su larga scala. Le distanze locali sono oggetto dalla missione Gaia e saranno fondamentali per calibrare la scala di distanza con gli indicatori primari e secondari adottati attualmente, utilizzati per raggiungere distanze cosmologicamente interessanti e quindi atte a misurare la costante Hubble. Le Cefeidi classiche e le RR Lyrae, grazie alle loro relazioni Periodo-Luminosità (PL), sono le candele standard più importanti del Gruppo Locale, associate rispettivamente ai sistemi di Pop I e Pop II, e vengono usate per calibrare diversi indicatori di distanza secondari (ad esempio la relazione Tully-Fisher, SN Ia, fluttuazioni di luminosità superficiale, Novae, la funzione di luminosità degli ammassi globulari). Le SNe, nonostante gli indiscutibili vantaggi offerti da questi eventi super-luminosi, hanno l'inconveniente di esplodere in momenti quasi casuali e in posizioni imprevedibili nelle galassie. Di conseguenza è necessario avere uno o più indicatori extra-galattici di distanza per collegare la scala di distanza dell'Universo locale, mappata con Gaia, al regime di alto-z dove le SNe risultano più utili. Una delle tecniche più promettenti a tal fine è il metodo basato sulle fluttuazioni di luminosità superficiale (SBF). Problemi relativi alla scala di distanze cosmiche sono stati posti recentemente in luce da un sorprendente disaccordo tra le misure locali di Ho basate sugli indicatori di distanza e inferenze da studi del CMB. I prossimi studi ci diranno se si tratta di semplici sottovalutazioni degli errori sistematici o questioni più profonde relative alla struttura cosmica su grande scala o persino effetti inaspettati di fisica fondamentale.

*Gli obiettivi strategici*

*j)*

Le osservazioni di strutture cosmiche possono rivelare proprietà fondamentali sulla **natura della DM** (self-interacting, pressione, annichilazione, decadimento etc.) e sui possibili candidati (WIMPS, assioni, neutrini sterili, gravitini...) in particolare studiandone la scala di free streaming e l'effetto sull'espansione dell'Universo:

- Su scale relativamente piccole (<1 Mpc) la dinamica di dwarf galaxies (con un contributo importante dalla missione Gaia), di gruppi e di ammassi di galassie (VLT, LBT); analisi del segnale di strong e weak lensing (HST, VLT, LBT, JWST, E-ELT, Euclid, LSST) e della distribuzione relativa della materia oscura e dei barioni (in prevalenza quelli dell'ICM mappato in banda X ora con Chandra e XMM e nel prossimo futuro con Athena, missione L2 di ESA).
- Su scale medio-grandi (10-100 Mpc) di clustering di galassie e weak lensing e tomografia del mezzo intergalattico (VLT, E-ELT, Euclid, DESI, LSST, SKA).
- Ad alte energie (gamma, X-ray) per rivelare l'emissione continua o in riga derivante dal decadimento o annichilazione delle particelle di DM (CTA, FERMI, NuSTAR, Athena, cfr. il paragrafo riguardante l'Astrofisica Relativistica e Particellare).

L'approccio più diretto per la **comprensione della natura della DE** è lo studio di forme parametriche della sua equazione di stato tramite:

- L'espansione dell'Universo tracciata per es. dalle SN Ia o con il Sandage Test. Le infrastrutture e le missioni di interesse INAF che più contribuiranno in questo senso sono TNG, VLT, LBT, E-ELT, Euclid, SKA)

- La misura delle BAO e della crescita delle perturbazioni tramite lo studio delle RSD, del cosmic shear (Euclid, SKA, LSST, CMB), della distribuzione ed evoluzione degli ammassi di galassie (Athena) e della Lyman-α forest (X-Shooter@VLT). Le future osservazioni in banda radio con SKA ed suoi precursori apriranno la possibilità di tracciare la LSS attraverso osservazioni della riga a 21 cm con la tecnica dell'HI Intensity Mapping.
-

La comunità scientifica INAF è coinvolta in grandi survey (CLASH, APLAS, BOSS/SDSS-III, XXL), che mirano non solo a misurare i parametri cosmologici nel modello standard ma anche a capire se vi siano deviazioni dalla relatività generale (distorsioni nello spazio dei redshift, clustering di galassie, profili di massa degli ammassi di galassie) e, più in generale, a ricostruire lo storia di espansione dell'universo ed il tasso di crescita delle strutture cosmiche in scenari non-standard. La missione spaziale ESA M2 Euclid, in cui l'INAF è tra i promotori iniziali ed è fortemente coinvolto, realizzerà una vasta survey su buona parte del cielo extragalattico (15.000 gradi quadrati) nel visibile (imaging ad altissima risoluzione), fotometrica (bande Y, J, H) e spettroscopica nel vicino infrarosso.

Per **verificare le predizioni del modello inflazionario** occorre misurare la geometria dell'Universo, la Gaussianità delle perturbazioni e la forma del loro spettro, nonché l'ampiezza e lo spettro delle perturbazioni tensoriali primordiali. Questo è possibile tramite:

- surveys di galassie a grande campo in imaging (VST, VISTA, LSST, Euclid, SKA) o spettroscopia (VIMOS-MOONS@VLT, Euclid, SKA).
- misura dei B-modes primordiali nella polarizzazione del CMB come firma univoca della generazione di onde gravitazionali generate durante l'inflazione. L'ampiezza delle modi-B indotti dalle onde gravitazionali è molto difficile da prevedere nel contesto di qualsiasi teoria, ma normalmente dovrebbe essere <1% dell'anisotropia in temperatura. Ciò impone nuovi requisiti impegnativi su strumenti e tecniche di osservazione. I progressi tecnologici sembrano promettenti, in particolare per grandi matrici sul piano focale.

La **variazione delle costanti fondamentali** attraverso studi di altissima precisione di transizioni atomiche a vari redshift è misurabile grazie a spettroscopia ad alta risoluzione (ESPRESSO@VLT, HIRES@E-ELT, SKA).

Varie **estensioni del Modello Standard** delle interazioni fondamentali prevedono sia violazioni dell'invarianza di Lorentz, (LIV), sia propagazioni anomale di fotoni d'alta energia, entrambe verificabili con osservazioni su scala cosmologica (CTA in particolare). In presenza di campi magnetici intergalattici, fotoni d'alta energia possono oscillare tra il modo gamma e una particella axion-like (ALP), riducendo così la profondità ottica dell'interazione fotone-fotone (fotoni TeV da Blazar con fotoni del Extragalactic Background Light, EBL).

Alcune anomalie osservate nelle mappe di CMB, specie a grandi scale angolari, destano particolare interesse: Planck ha dimostrato come, verosimilmente, tali anomalie non siano dovute a effetti strumentali spuri. Comprendere la loro natura (primordiali o causate da foregrounds sconosciuti) ed il livello di significatività all'interno del modello standard sono passi necessari per decidere se siano piuttosto da interpretare come segnali di "nuova fisica".

Gli obiettivi prioritari nel campo della **formazione ed evoluzione delle strutture galattiche** possono essere riassunti in due filoni:

- Lo studio dell'Universo ad alto redshift, e la formazione delle prime stelle e galassie nell'Universo giovane, al fine di comprendere quando e come si siano formate le prime stelle, quali sorgenti abbiano reionizzato l'Universo e come si siano formate le prime galassie e formati i primi buchi neri e quasars.

- La comprensione dei fenomeni che governano le proprietà e l'evoluzione delle galassie sin dalla loro formazione e l'effetto dell'ambiente sui processi evolutivi per chiarire i fenomeni alla base della diversità di forme, masse, storie di formazione stellare nelle popolazioni delle galassie alle diverse epoche cosmiche.

k)

l) I prossimi anni saranno cruciali per lo **studio dell'EoR**: i primi risultati statistici apriranno la strada alla tomografia a 21cm resa possibile dalla prossima generazione di interferometri radio [SKA]. Verranno ottenute informazioni indipendenti e complementari sulla quantità di idrogeno presente alla EoR tramite: (i) surveys di Ly-α emitters a z>6: osservazioni sub-mm (ad esempio della riga [CII]λ158μm) permetteranno di misurare sia il redshift (in assenza di Ly-α) sia la polvere, il tasso di formazione stellare (SFR) e le proprietà di ionizzazione; osservazioni NIR da terra e dallo spazio permetteranno di identificare galassie star-forming sempre più deboli, utilizzando indicatori di redshift alternativi quali le righe di emissione nebulari ([CIII], HeII, etc.) [JWST, ELT]; (ii) osservazioni spettroscopiche di quasar a z≥6: varie surveys dedicate identificheranno campioni di quasar relativamente brillanti a z≥6; osservzioni spettroscopiche VIS-NIR misureranno la quantità di idrogeno neutro nell'IGM e allo stesso tempo rileveranno le tracce degli elementi chimici pesanti formati dai primi oggetti [ELT].
**Come, quando e dove si formano i primi SMBHs?** Il modo migliore per affrontare le questioni chiave nel prossimo triennio sarà i) sfruttando le osservazioni profonde a raggi X [Chandra e XMM] di QSOs ad alto redshift per comprendere la fisica delle accrescimento nei primi SMBHs e se la loro crescita avviene in ambienti ad alta densità popolati da altri BH compagni, più piccoli e forse oscurati ii) ottenendo osservazioni profonde in banda X per scoprire la popolazione tipica di BHs in accrescimento [Athena, che studierà la formazione delle prime strutture collassate, come queste si arricchiscano di metalli ed energia e l'interazione tra galassie, BHs e ICM].

Il ruolo dell'Italia nello **studio delle galassie e delle strutture cosmiche** è di primo piano. Ricercatori dell'INAF sono alla guida di grandi survey spettroscopiche – condotte principalmente con telescopi ESO quali VLT – e fotometriche – grazie allo sfruttamento del VST e all'utilizzo del LBT. L'eccellenza italiana si evidenzia sia sul fronte osservativo, con l'utilizzo di strumentazione che copre tutto lo spettro elettromagnetico dalle lunghezze d'onda X e gamma al radio, sia sul fronte teorico (simulazioni numeriche, modellistica semi-analitica di formazione delle galassie, modelli di evoluzione spettrofotometrica e chimica di avanguardia) che nella progettazione e realizzazione di strumentazione avanzata per tali studi.

In particolare osservazioni condotte da ricercatori INAF attorno a redshift 7 hanno confermato che questa è un'epoca in cui la frazione di idrogeno neutro varia velocemente e mostrato che il processo di reionizzazione avviene in modo non uniforme (survey CANDELS: VLT, HST). A redshift più basso sono stati caratterizzati gli effetti di feedback sia negativo che positivo sulla formazione stellare, dovuto a potenti "venti" indotti dall'esplosione di SNe e/o da quasars.

Le survey che vedranno impegnati i ricercatori dell'INAF nel prossimo triennio permetteranno di ottenere risultati in vari settori:

- La cinematica stellare e del gas (multi-fase), inflows e outflows di gas in galassie di reshift alto e intermedio e relative connessioni con il mezzo circumgalattico e intergalattico, osservabili anche grazie a spettroscopia integral field (ottica/IR/radio) [ALMA, MUSE@VLT, WEAVE, ELT, SKA e suoi precursori].
- Il gas molecolare in galassie "normali", misurato fino a z~2 e oltre, il contenuto di polvere fino a z~6 e oltre, saranno la chiave per comprendere il ciclo e riciclo dei barioni [ALMA, JVLA, IRAM PdBI & NOEMA].
- Sutdi statistici del contenuto di HI delle galassie e della sua evoluzione col tempo cosmico diverranno possibili grazie a surveys della riga a 21 cm [SKA e suoi precursori].
- I processi fisici in atto nell'ISM, studiati misurando gli elementi chiave del ciclo dei barioni galattici, tramite spettroscopia ad alta sensibilità, in particolare nel mid- e far-Infrared, dato che una parte significativa dell'energia emessa da stelle e SMBH viene assorbita e riemessa dalla polvere [JWST, SPICA?].
- Le prossime generazioni di survey radio avranno una sensibilità tale da permettere un censimento completo della formazione stellare e degli AGN fino ai redshifts più alti, senza problemi di assorbimento [SKA e precursori].
- Le regioni centrali di galassie massicce early-type diventeranno osservabili a z>0.8 grazie ai miglioramenti della risoluzione spaziale, testando la connessione con la dimensione/ crescita delle galassie [JWST, ELT].

- I parametri strutturali e la morfologia (inclusi gli effetti di merging) diverranno disponibili su grandi campioni e in una varietà di ambienti su un arco di temo cosmico di 10 miliardi di anni, permettendo di collegare gli indicatori di evoluzione delle galassie (dimensione, massa, forma, presenza di instabilità) con i meccanismi che guidano la crescita e la trasformazione delle galassie. [Euclid, LSST, VST, VISTA].
- Studi statistici (ad es. delle funzioni di luminosità, massa e formazione stellare) a epoche differenti ottenuti con survey pancromatiche profonde e su grandi aree di cielo studieranno la storia della formazione dei differenti tipi di galassie in differenti ambienti, raggiungendo un regime di masse stellari in cui le previsioni dei modelli sono in tensione con i dati [Euclid, LSST].
- Si iniziano ad avere campioni consistenti di (proto)clusters al picco cosmico della formazione stellare (z~2) e con un dettaglio osservativo sufficiente per studiarne le galassie componenti in una fase critica di formazione di queste strutture [VISTA, LBT, Euclid].
- Osservazioni in banda X (XMM-Newton, Chandra, Swift-XRT, Suzaku) e sub-mm (Planck) di clusters permettono di caratterizzare questi oggetti e utilizzarli come strumenti precisi per la cosmologia. Allo stesso tempo, la combinazione di osservazioni in banda radio (EVLA, GMRT, LOFAR) e nei raggi gamma (Fermi, MAGIC, HESS) permettono di studiare fenomeni energetici che hanno luogo negli ammassi di galassie, legati alle fasi più violente della loro evoluzione.
- Lo studio del contenuto di DM sta diventando possibile grazie a osservazioni spettroscopiche multi-object, al lensing forte e debole e a osservazioni X, permettendo di ricostruire il processo di assemblaggio della massa stellare e oscura dei sistemi galattici e di investigare l'evoluzione della connessione tra i barioni osservati e gli aloni di DM [WEAVE, 4MOST, MOONS].
- Lo studio del WHIM sarà uno degli obiettivi del telescopio X Athena.

Per ottenere progressi significativi in questi campi è necessario accompagnare I risultati delle osservazioni con predizioni ottenute con simulazioni idrodinamiche ad alta risoluzione e grande range dinamico per investigare i processi fisici su scale piccolo e modelli semi-analitici su volumi cosmologici, in entrambi i casi modellando accuratamente l'arricchimento metallico, il background fotoionizzante UV, il feedback stellare e da AGN e il trasporto radiativo. L'enorme quantità di dati e la complessità dello spazio dei parametri, da analizzare nel contesto di questi progetti, determinano l'esigenza di avvalersi delle odierne metodologie di data mining e machine learning, afferenti alle discipline emergenti dell'Astroinformatica e Astrostatistica .

Nel contesto della **cosmologia numerica** i gruppi di ricerca lavoreranno lungo le seguenti direzioni:

- Simulazioni per la formazione di strutture cosmiche, sviluppando modelli di formazione stellare e di feedback che descrivano in modo sempre più realistico la formazione delle galassie in vari ambienti e la loro interazione con il mezzo inter-galattico ed intra-cluster;
- Simulazioni per la formazione delle prime galassie e dei primi buchi neri a z>6, finalizzate allo studio della reionizzazione; tali simulazioni forniranno le predizioni teoriche per le osservazioni che in futuro saranno realizzate con telescopi di prossima generazione, quali JWST, E-ELT, SKA, Athena.
- Simulazioni a grande scala di modelli cosmologici alternativi a quello standard ΛCDM, allo scopo di comprendere quali potranno essere le evidenze osservative di nuova fisica, da survey cosmologiche di prossima generazione;
- Sviluppo di codici di simulazioni innovativi che siano in grado di sfruttare appieno la potenza di calcolo ad alte prestazioni disponibili in futuro con infrastrutture di classe "exa-scale"

La comunità coinvolta in tali simulazioni ha accesso, attraverso "call" competitive alle infrastrutture di calcolo presso il centro di calcolo nazionale CINECA o ad infrastrutture europee disponibili attraverso l'iniziativa PRACE.

L'**high performance computing** (HPC) avrà un notevole sviluppo nei prossimi anni in termini di risorse hardware, algoritmi e software, con un aumento in particolare del range dinamico delle simulazioni cosmologiche. Questo miglioramento riguarderà le simulazioni delle prime stelle e BH, l'applicazione del trasporto radiativo e le simulazioni di quei processi fisici complesse che attualmente vengono decritti con ricette sottogriglia o in post-processing (ad es. la formazione stellare e il feedback).

**La scala di distanze cosmiche**

I risultati di Gaia per la scala di distanze locali, le surveys di SN Ia (Dolores, SOXS) per la scala cosmologica e i miglioramenti degli indicatori su scale intermedie rappresenteranno un progresso decisivo, permettendo di avvicinarsi al traguardo di una precisione dell'1% sulle grandi scale.

Sulla base degli indicatori attuali il valore della costante di Hubble risulta essere Ho~73 km/sec/Mpc, in contrasto con la misura di 66 km/sec/Mpc ottenuta dalla missione Planck con i dati CMB. È di fondamentale importanza risolvere questa inconsistenza utilizzando una calibrazione più accurata della scala delle distanze o/e usando degli indicatori che raggiungano direttamente delle distanze cosmologicamente significative (cfr. Cap. 1.3.2).

| Strumento | Tecnica/Area | Periodo | Risultati attesi | Partecipazione italiana |
|---|---|---|---|---|
| **Strumenti operanti durante il periodo 2017-2019** | | | | |
| **SKA Precursors (ASKAP MeerKAT)** | Crescita della LSS<br><br>Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm | 2017- | Proprietà della DE e DM<br><br>Formazione ed evoluzione di galassie<br><br>EoR | Partecipazione INAF ai programmi di Galactic Plane Surveys EMU (ASKAP) e MeerGAL (MeerKAT) |
| **VLA Low & High frequency** | Continuo e righe atomiche e molecolari | 2017- | Campo magnetico in stelle, stelle attive, flares, struttura di dischi, prorpietà della polvere, tranccianti di temperatura e densità, masers | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU PI-ship |
| **ALMA** | Emissione sub-mm. continuo e righe atomiche e molecolari | 2017- | EoR<br><br>Formazione ed evoluzione di galassie | INAF è PI di diverse proposte e collabora in programmi di US, EA ed EU PI-ship |
| **IRAM-NOEMA-30m** | Emissione sub-mm. continuo e righe atomiche e molecolari | 2017- | EoR<br><br>Formazione ed evoluzione di galassie | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU PI-ship |
| **APEX** | Emissione sub-mm. continuo e righe atomiche e molecolari del mezzo interstellare | 2017- | Surveys di struttura, temperatura, dinamica e chimica di regioni di formazione stellare. Calibrazione di diagnostica evolutiva. | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU PI-ship |
| **VLT**<br><br>**UVES** | Dinamica di galassie, gruppi e ammassi<br><br>Segnale di strong e weak | 2017- | Proprietà della DM e DE<br><br>Parametri cosmologici | Osservazioni GTO e GO |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **X-shooter**<br>**MUSE**<br>**VIMOS** | lensing<br>Tomografia IGM<br>Surveys di galassie | | Calibrazione delle SNe come candele standard | |
| **VST** | Surveys di galassie<br>Imaging | 2017- | Parametri cosmologici<br>Condizioni iniziali dell'Universo | ESO/INAF. PI-ships |
| **VISTA** | Surveys di galassie<br>Imaging IR | 2017- | Parametri cosmologici<br>Condizioni iniziali dell'Universo | ESO |
| **SDSS** | Surveys di galassie e QSOs<br>BAO RSD | 2017- | Parametri cosmologici<br>Condizioni iniziali dell'Universo | SDSS collaboration |
| **LBT**<br>**LBC**<br>**MOD LUCI** | Dinamica di galassie, gruppi e ammassi<br>Segnale di strong e weak lensing<br>Surveys di galassie | 2017- | Natura della DM DE EoR<br>Condizioni iniziali dell'Universo | INAF con contributi altri partner LBT |
| **NTT**<br>**Dolores**<br>**NICS** | SNe come candele standard, osservazioni di galassie e QSO<br>Imaging, spettri | 2017- | Parametri cosmologici<br>Natura della DE<br>Formazione ed evoluzione di galassie | Infrastruttura INAF |
| **Planck** | Fluttuazioni e polarizzazione del CMB<br>Gravitational lensing | 2017 | Condizioni iniziali dell'Universo<br>Test della fisica fondamentale<br>EoR | ESA. Forte impegno italiano |
| **HST** | Immagini-Spettroscopia NUV, ottico e NIR<br>ad alta risoluzione spaziale/<br>Segnale di strong e weak lensing | 2017- | Natura della DM DE EoR | Collaborazione INAF con esponenti EU e US |
| **Gaia** | Dinamica delle Dwarf galaxies<br>Scala delle distanze | 2017-2020 (+2) | Natura della DM. Calibrazione, tramite parallassi, dei principali indicatori di distanza primari (Cefeidi, RR Lyrae, LPV), misura di | ESA. Forte impegno italiano |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | /Astrometria | | moti propri | |
| **Chandra** | Distribuzione dei barioni ICM vs DM<br><br>Sorgenti X | 2017- | Natura della DM<br><br>(SM)BH primordiali | NASA<br><br>PI e co-I INAF di numerosi proposals |
| **XMM** | Distribuzione dei barioni ICM vs DM<br><br>Sorgenti X | 2017- | Natura della DM<br><br>(SM)BH primordiali | ESA<br><br>Contributo INAF:Co-I EPIC, Calibrazioni, PI e co-I di numerosi proposals |
| **FERMI** | Emissione da annichilazione di DM | 2017- | Natura della DM | NASA-INAF-INFN<br><br>Contributo INAF: analisi ed interpretazione dati, software |
| **HPC** | Tecniche numeriche N-corpi e idrodinamiche | 2017- | Formazione ed evoluzione di galassie, clusters di galassie e LSS<br><br>Galassie e BH primordiali, EoR<br><br>Modelli cosmologici<br><br>Predizioni per strumentazione e surveys future | Call competitive presso CINECA<br><br>Infrastrutture EU PRACE |
| **Strumenti futuri** | | | | |
| **SKA** | Crescita delle perturbazioni<br><br>Survey di galassie a grande campo<br><br>Sandage Test<br><br>Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm.<br><br>HI intensity mapping | 2020- | Proprietà della DE e DM, EoR<br><br>Parametri cosmologici<br><br>Condizioni iniziali dell'Universo<br><br>Variazioni delle costanti fondamentali<br><br>Formazione ed evoluzione di galassie | Partecipazione italiana. Partecipazione INAF ai WP – SKA 'Our Galaxy' e 'Cradle of Life' |
| **VLT**<br><br>**ESPRESSO** | Assorbitori QSO<br><br>Tomografia IGM/<br><br>Spettroscopia alta risoluzione. | 2018- | Natura della DM e DE<br><br>Parametri cosmologici<br><br>Variazioni costanti fondamentali | ESO. CoI-ship italiana |
| **VLT** | Crescita della LSS | 2019- | Proprietà della DM e DE, EoR | Forte coinvolgimento INAF |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **MOONS** | Spettroscopia multi-object | | Condizioni iniziali dell'Universo | |
| **E-ELT**<br>**MAORY**<br>**MICADO** | Segnale di strong e weak lensing/<br>Immagini | 2024- | Proprietà della DE<br>Formazione ed evoluzione di galassie | ESO. PI-ship italiana MAORY |
| **E-ELT – HIRES** | Spettroscopia IGM<br>Sandage Test/<br>Spettroscopia alta risoluzione. | 2026- | Natura della DM e DE<br>Parametri cosmologici<br>Variazioni costanti fondamentali | ESO. PI-ship italiana |
| **NTT**<br>**SOXS** | Immagini/spettri | 2019- | Studio SNe: caratterizzazione fisica del fenomeno e del progenitore. | INAF/ESO |
| **WHT**<br>**WEAVE** | Galactic Archaeology;<br>Stellar, Circumstellar and Interstellar Physics; Stellar populations; Galaxy lusters; QSOs<br>1000 spettri per FOV | 2019- | Formazione ed evoluzione di galassie e clusters di galassie<br>Reionization<br>BAO | Forte coinvolgimento INAF |
| **LSST** | Segnale di strong e weak lensing / Immagini | 2021- | Proprietà della DM e DE<br>Condizioni iniziali dell'Universo | NSF-DOE- LSST Corp.<br>INAF partecipa con 15 PI/progetti |
| **CTA** | Emissione da nnichilazione di DM, LIV, propagazione anomala di fotoni<br>Imaging gamma/TeV | 2019 | Proprietà della DM<br>Test della fisica fondamentale | Forte impegno italiano INAF-INFN |
| **JWST** | Immagini,Spettri nel NIR e MIR ad alta risoluzione/<br>Segnale di strong e weak lensing | 2019- | Proprietà della DM<br>Formazione ed evoluzione di galassie<br>EoR | Collaborazione INAF con NASA-ESA. |
| **Euclid** | Segnale di strong e weak lensing | 2020- | Proprietà della DE e DM, EoR | ESA. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Crescita delle perturbazioni<br><br>BAO RSD | | Condizioni iniziali dell'Universo<br><br>Formazione ed evoluzione di galassie | Forte impegno italiano |
| **Athena** | Distribuzione barioni ICM<br><br>Distribuzione dei clusters<br><br>Emissione da nnichilazione di DM Sorgenti X | 2028- | Natura della DM e DE<br><br>(SM)BH primordiali | ESA.<br><br>Forte impegno italiano |

### *Le Professionalità Richieste*

Esperti in

- cosmologia teorica e numerica per lo studio di formazione delle strutture cosmiche, in un framework teorico/interpretativo per la progettazione e lo sfruttamento dei dati osservativi di infrastrutture presenti e future (per es. VLT, LBT, XMM, Euclid, SKA, E-ELT, Athena)
- ricerca di oggetti primordiali (in particolare per la futura strumentazione)
- evoluzione delle galassie sin dalla loro formazione ed effetto dell'ambiente sui processi evolutivi, anche attraverso analisi e interpretazione di dati provenienti da strumenti di integral field spectroscopy
- meccanismi di interazione tra le diverse componenti delle galassie (gas, metalli, stelle, dark matter, ecc.)
- osservazioni e processi di emissione di galassie e AGN nell'infrarosso
- sfruttamento scientifico di ALMA, dei precursori di SKA e in preparazione di SKA
- modelli di fotoionizzazione e fisica del mezzo interstellare
- evoluzione dinamica, chimica e termodinamica degli ammassi di galassie
- lensing gravitazionale
- analisi della LSS/CMB da survey di prossima generazione ed inferenze cosmologiche
- preparazione e sviluppo di software scientifico di analisi dati per strumenti di prossima generazione; progettazione, sviluppo e ottimizzazione di tecniche e modelli di Astroinformatica e Astrostatistica.

## La formazione, l'evoluzione e la fine delle stelle. Le popolazioni stellari come traccianti della storia dell'Universo.

Nel campo dell'astrofisica stellare e dei sistemi esoplanetari l'INAF ha consolidato il suo ruolo di leadership internazionale conducendo ricerche di eccellenza con metodologie innovative e ottenendo risultati di grande impatto. I ricercatori dell'Istituto hanno sviluppato un'invidiabile network di collaborazioni europee e internazionali e sono presenti nelle principali "joint venture" scientifiche da terra e dallo spazio, sia attuali che programmate per il prossimo futuro.

### *Le domande fondamentali*

Le principali problematiche a cui si vuol rispondere nei prossimi anni, formulate in termini dei temi rilevanti dell'astrofisica stellare e dei sistemi planetari extrasolari, sono le seguenti:

**EVOLUZIONE STELLARE:**

***a) Comprensione della reale efficienza di processi fisici "non-canonici".*** Determinare la connessione tra convezione, rotazione e campo magnetico*, e l'efficienza dei processi diffusivi - anche* attraverso studi asterosismologici- è di fondamentale importanza per il ruolo che questi processi fisici svolgono nell'ambito del trasporto del momento angolare e degli elementi chimici durante le fasi dell'evoluzione stellare.

***b) Comprendere il destino finale delle stelle e la natura dei loro resti.*** Le stelle sono i maggiori responsabili dell'arricchimento chimico del mezzo interstellare, di gas e polvere, attraverso i venti stellari e/o le esplosioni di supernova, e possono contribuire in modo rilevante alla materia oscura barionica dell'universo, lasciando resti più o meno compatti. Lo studio approfondito dell'evoluzione e del destino finale delle stelle al variare dei parametri iniziali, è quindi cruciale per comprendere l'evoluzione della nostra Galassia e dell'universo in generale.

**c) Sviluppare una nuova generazione di modelli stellari.** La possibilità di calcolare modelli di atmosfere ed inviluppi stellari sempre più complessi ed accurati – sia dal punto di vista del calcolo 3D sia di quello di un trattamento più dettagliato dei processi convettivi -, permette di "trasferire" i risultati ottenuti attraverso queste simulazioni anche nel calcolo di modelli stellari. È altresí necessario sperimentare la reale fattibilità ed applicabilità al confronto con dati osservativi, di calcoli di modelli stellari multi-dimensionali.

**ASTROARCHEOLOGIA:**

***a) Capire la formazione delle strutture su scala sub-galattica sia nella Via Lattea che nel Volume Locale (includendo la mappatura della materia oscura).*** A tale fine è necessario stabilire se le galassie si formano come conseguenza della fusione di "building blocks" di tipo primordiale o in cui la formazione di stelle ha già avuto inizio, comprendere la natura e l'origine di alone, bulge, disco, stabilire la natura della materia oscura e come essa si mappa nelle sotto-strutture galattiche.

***b) Ricostruire l'evoluzione chimico-dinamica su varie scale, dagli ammassi stellari alle galassie.*** La determinazione delle proprietà chimico-cinematiche delle popolazioni stellari (particolarmente quelle risolte quali gli ammassi) della nostra Galassia e la loro evoluzione temporale è elemento cruciale per la comprensione della formazione ed evoluzione chimico-dinamica della Via Lattea.

***c) Ricostruire la storia della formazione stellare dei sistemi studiati (sia per popolazioni risolte che non risolte).*** La comprensione della storia evolutiva della Via Lattea e del Gruppo Locale richiede come elemento imprescindibile la ricostruzione della storia di formazione stellare, per stabilire se essa costituisca un processo continuo e spazialmente uniforme o, piuttosto, altamente episodico nel tempo e spazialmente disomogeneo.

**SCALA DELLE DISTANZE E TRANSIENTI:**

***a) Ottenere distanze accurate, mappe 3D e la caratterizzazione delle popolazioni stellari nelle galassie, sia tramite lo studio di stelle pulsanti sia con l'analisi di popolazioni stellari non risolte (ad esempio il metodo SBF).*** La determinazione accurata delle distanze, con precisione significativamente migliore del 5%, a partire dal Gruppo Locale fino a ~200 Mpc è elemento essenziale per caratterizzare le proprietà fisiche di stelle e galassie.

***b) Capire il ruolo come indicatori di distanza delle supernovae ed in particolare dei nuovi tipi di esplosione stellare recentemente scoperti (ad esempio le supernovae super luminose).*** Le Supernovae (SNe) sono strumenti fondamentali per conoscere le distanze cosmiche e per indagare sulla natura fisica dell' Energia Oscura ma l'ampia diversità delle SNe sempre più visibile nei dati osservativi richiede di estendere lo schema di classificazione e di migliorare la comprensione di questi eventi.

***c) Riconciliare le stime della costante di Hubble ottenute dalla misura delle distanze (indicatori primari e secondari) con quelle basate sulla misura della radiazione cosmica di fondo.*** Le Cefeidi classiche (pop. I) e le RR Lyrae (pop. II) rappresentano il primo gradino della scala delle distanze cosmiche ma le stime della costante di Hubble ottenute sulla base di queste variabili non sono consistenti entro gli errori con la recente stima dai dati di Planck.

**FORMAZIONE STELLARE:**

***a) Come si distribuisce globalmente la formazione stellare nella Galassia, che e' il "template" a z=0.*** Le leggi generali che si deducono dalla mappatura multi-wavelength di massa, tasso di formazione, distribuzione dei filamenti, e specie chimiche, congiuntamente alla comprensione del ruolo dei campi magnetici e della turbolenza, sono informazioni cruciali riguardo all'evoluzione della Via Lattea.

***b) Quale fisica guida la formazione del singolo oggetto alle varie masse.*** Dato lo stretto legame tra evoluzione fisica e chimica durante la formazione delle stelle, è di fondamentale importanza capire l'evoluzione chimica (in regioni di formazione stellare partendo dalle condizioni iniziali, sia nei "pre-stellar cores" (bassa massa) che e nelle "infrared-dark clouds" (alta massa e clusters).

***c) Quali elementi portano alle coàdizioni iniziali della formazione planetaria.*** Il disco circumstellare, generato dalla conservazione del momento angolare durante il collasso della nube, e' il luogo di nascita dei pianeti. E' quindi cruciale studiarne proprietà (struttura e morfologia, meccanismi di interazione con la stella centrale) ed evoluzione (chimica di gas e polveri, accrescimenti e formazione di planetesimi) per determinare la configurazione iniziale della formazione planetaria e in ultimi analisi il possibile emergere della vita.

**SISTEMI PLANETARI EXTRASOLARI:**

***a) Determinare l'architettura e la dinamica dei sistemi esoplanetari sulle varie scale di massa, raggio e separazione.*** Le architetture dei pianeti extrasolari costituiscono la prima e fondamentale evidenza osservativa fossile dei complessi processi di formazione planetaria in dischi circumstellari. La combinazione di queste informazioni con la varietà di interazioni gravitazionali in sistemi multipli osservate oggi permette inoltre di ricostruire la storia di migrazione orbitale e l'evoluzione dinamica.

***b) Misurare le proprietà strutturali, la chimica e la dinamica delle atmosfere degli esopianeti sulle stesse scale.*** La misura delle densità media e l'identificazione di molecole nelle atmosfere dei pianeti extrasolari sono elementi cruciali per comprendere i processi di formazione ed evoluzione planetaria, che danno origine ad una straordinaria varietà di composizioni interne, chimica e dinamica atmosferiche, con interazione tra proprietà strutturali e atmosferiche e ripercussioni cruciali anche sulle potenziale abitabilità.

***c) Comprendere la dipendenza delle proprietà fisiche e dinamiche dei pianeti dalle caratteristiche delle stelle ospiti (età, massa, metallicità) e dall'ambiente stellare.*** Per capire i complessi meccanismi di formazione, evoluzione fisica e dinamica è necessario comprendere in dettaglio il ruolo di massa e composizione chimica stellare nell'efficienza di formazione dei sistemi di data massa e separazione orbitale, l'impatto di effetti 'ambientalì (binarietà e densità stellare, ma anche attività, formazione ed evoluzione stellare) su frequenze e proprietà fisiche e dinamiche dei sistemi esoplanetari così come le conseguenze in termini di abitabilità.

### *Gli strumenti di indagine*

**EVOLUZIONE STELLARE:**

La comunità INAF ha storicamente un **ruolo di leadership**, a livello mondiale, per quanto riguarda la **modellistica stellare** in un ampio spettro di fasi evolutive, incluse quelle caratterizzate dalle pulsazioni stellari, dagli indicatori di distanza e dai progenitori di Supernova. I risultati di questo scenario teorico, insieme all'ampio quadro osservativo fornito dai ricercatori dell'INAF, stanno

consentendo di realizzare progressi importanti nella conoscenza della fisica delle stelle e nella descrizione del processo di formazione di polvere nel vento stellare. Lo studio delle **pulsazioni stellari** permette da un lato di verificare le assunzioni fisiche e numeriche adottate nella teoria dell'evoluzione stellare, dall'altro di vincolare la storia di formazione stellare dei sistemi studiati e di fornire una calibrazione teorica della scala delle distanze extragalattiche. Questi risultati teorici, costituiscono strumenti insostituibili per la comprensione della storia dell'Universo in tutte le sue componenti. Tuttavia restano ancora delle **criticità** che limitano il potere predittivo dei modelli: il trattamento della convezione, la perdita di massa, il ruolo di rotazione e campi magnetici. Un salto di qualità si potrà avere solo progredendo in modo significativo nella trattazione di tutti questi processi.

Gli **studi asterosismologici** hanno acquistato un ruolo cruciale grazie ai dati dei satelliti **CoRoT e Kepler**, i cui spettri di frequenza permettono – attraverso il confronto con accurati modelli di evoluzione stellare - di stimare i parametri intrinseci stellari (masse, raggi, età) di stelle distanti isolate e di sondare la loro struttura interna, lo stato evolutivo delle giganti, la rotazione del nucleo, il rimescolamento al bordo del nucleo convettivo, ecc. La possibilità di avere a disposizione dati di questo tipo per migliaia di stelle lontane ha aperto la strada alla cosiddetta **ensemble asteroseismology delle popolazioni stellari** con importanti implicazioni per il campo in rapido sviluppo dell'Archeologia Galattica.

**ASTROARCHEOLOGIA:**

Le componenti risolte della Via Lattea e delle galassie vicine rappresentano la "stele di Rosetta" a z=0 per comprendere la formazione ed evoluzione chimica e dinamica delle galassie. La combinazione di **astrometria, fotometria e spettroscopia** fornisce una valida base ai **modelli teorici/interpretativi.** Per capire la formazione delle strutture su scala sub-galattica, occorre: i) determinare la natura e quantità della materia oscura, ii) capire quale sia la gravità corretta e iii) ridefinire i modelli dinamici della Galassia in contesto relativistico, per un'appropriata interpretazione del catalogo di Gaia e delle future missioni. Occorre **aggiornare i sistemi di riferimento celesti relativistici** definiti dall'IAU, per una determinazione più accurata del moto del Sole e dei Quasi Stellar Objects e per valutare l'impatto sullo studio della cinematica delle popolazioni stellari della Via Lattea e delle galassie vicine. Le proprietà chimico-cinematiche delle popolazioni stellari del disco della Galassia sono ragionevolmente consistenti con uno scenario di formazione "inside-out", anche se rimangono da comprendere fattori come il ruolo della migrazione radiale, la definizione del processo di formazione delle stelle più vecchie appartenenti al disco spesso, il processo di formazione dell'alone e le caratteristiche del bulge.

Gli **ammassi stellar**i sono ottimi strumenti di studio della formazione ed evoluzione delle stelle e delle sotto-strutture (disco, bulge, alone). Per gli **ammassi aperti** vanno definiti: ruolo di turbolenza, campo magnetico e "feedback" di stelle massicce nel processo di formazione; disgregazione e popolamento del campo della Via Lattea; posizione attuale rispetto a quella di nascita, importante per modellizzare l'evoluzione chemo-dinamica; ruolo di popolazioni cinematiche multiple in ammassi giovani; relazione inversa età-metallicità nel disco interno. Servono simulazioni N-body, modelli chemo-dinamici, e un solido scenario osservativo. Rimangono da definire quali sono gli eventi che hanno portato alla **formazione degli ammassi globulari e delle loro popolazioni stellari multiple**. Sono da appurare i meccanismi di auto-arricchimento, la massa iniziale e la successiva evoluzione chemo-dinamica e occorre capire il contributo degli ammassi globulari alla **formazione dell'alone** della Galassia e la frazione di sottostrutture cinematiche ("streams") prodotta da accrescimento di satelliti. Le grandi survey in corso dallo spazio (es. Gaia: astrometria, fotometria e spettroscopia) e da terra, (es. Gaia-ESO: spettroscopia) e di prossimo avvio da terra (es. LSST: astrometria e fotometria; WEAVE: spettroscopia), 4MOST, WFIRST daranno un contributo sostanziale allo sviluppo dell' archeologia galattica, aiutando l'identificazione dei numerosi residui dispersi nell'alone, rideterminando la massa della Via Lattea e definendo le proprietà del disco e del bulge

**SCALA DELLE DISTANZE E TRANSIENTI:**

Per ottenere **mappe 3D delle popolazioni stellari nelle galassie risolte in stelle** e caratterizzarne le proprietà intrinseche (età, composizione chimica) è di **cruciale importanza lo studio dei diversi tipi di stelle pulsanti ospitate**. Se lo sviluppo di uno scenario teorico per le variabili pulsanti, basato su modelli idrodinamici non lineari e convettivi, consente di riprodurre le proprietà osservate e di vincolare sia parametri intrinseci stellari che le distanze, le nuove parallassi di altissima precisione (errori < 10 microarcsec) che Gaia otterrà per un altissimo numero di Cefeidi ed RR Lyrae della Via Lattea consentirà una nuova calibrazione, su campioni statisticamente significativi, delle relazioni che rendono queste variabili candele standard.

Per conoscere la distanza e studiare le popolazioni stellari delle galassie distanti dove le stelle non sono risolte, uno dei metodi più efficaci è la tecnica delle **fluttuazioni di brillanza superficiale (SBF).** L'accuratezza intrinseca di questo metodo è del ~3% sulle distanze, con un ulteriore contributo (~8%) provienente dal punto zero della calibrazione. Per definizione, il segnale SBF è dominato dal flusso emesso dalle stelle più brillanti e per questo le SBF multi-banda sono traccianti delle proprietà delle popolazioni stellari nelle galassie.

Per quanto riguarda invece il **ruolo delle supernovae, e dei nuovi tipi di esplosione stellare, come indicatori di distanza**, gli esperimenti DES, Euclid, LSST, WFIRST abbatteranno drasticamente sia gli errori statistici sia quelli sistematici. D'altra parte, per la calibrazione assoluta della scala di distanza e per la verifica e controllo della possibile evoluzione cosmica resta cruciale espandere le osservazioni spettrofotometriche dettagliate di SNe vicine. Occorre ampliare e perfezionare lo schema di classificazione e verificare la possibile calibrazione delle SNe super-luminose per estendere la scala di distanza delle SN a redshift z~3-4. Questo richiede campionamento temporale frequente, ampio range spettroscopico e buona risoluzione spettrale.

Per **riconciliare le stime della costante di Hubble** (distanze versus radiazione cosmica di fondo), un contributo essenziale verrà dalle missioni atrometriche Gaia ed LSST.

**FORMAZIONE STELLARE:**

Le misure di Herschel, combinate con i conteggi stellari nel NIR hanno consentito i primi tentativi di tomografia 3D della polvere nell'ISM diffuso e nelle nubi molecolari. Gaia permetterà la prima ricostruzione 3D del materiale Galattico diffuso. Se il follow-up con single-dish millimetrici dei dati Herschel nel piano Galattico consente la caratterizzazione chimica, fisica e dinamica dei "clumps" progenitori di ammassi e dei filamenti, l'interferometria consente di studiare la frammentazione dei "clumps" e l'evoluzione dell'accrescimento, della dinamica e della chimica dei "cores". **Osservazioni nel MIR** e la **spettroscopia ad alta sensibilità nel lontano IR** saranno fondamentali per investigare le proprietà del gas caldo nel sistema disco/jet di protostelle. I vari scenari proposti per il meccanismo e la scala spaziale e temporale del disaccoppiamento del gas dal campo magnetico sono verificabili tramite misure della cinematica del gas e dell'emissione termica dai grani di polvere. Le proprietà fisiche del gas nei jet così come l'evoluzione e la dissipazione dei dischi gassosi, potranno essere sondate dalle grandi survey spettroscopiche di sorgenti giovani mentre le osservazioni ottiche/IR da terra ad alta risoluzione spaziale con ottica adattiva avanzata esplorano le regioni interne dei jet e dei dischi. Per rilevare molecole complesse fondamentali nella catena pre-biotica si richiede alta risoluzione spaziale e la più estesa banda spettrale possibile (esistono progetti a forte partecipazione INAF come ad es. **SOLIS: Seeds Of Life In Space**). L'imaging ad alta risoluzione spaziale nell'ottico e nell'IR è fondamentale per identificare pianeti all'interno del disco, oppure strutture come spirali o gaps visibili in luce polarizzata, e per investigare le regioni di accelerazione dei jets. La spettroscopia VIS/NIR consente studi di cinematica come la rotazione nei jets o diagnostica spettrale avanzata per trovare i parametri del gas attraverso l'emissione da shocks. **Simulazioni numeriche di alto livello** modelleranno l'effetto di pianeti già formati nel disco, dei meccanismi di lancio del jet, di trasporto di momento angolare, e di migrazione della polvere.

**SISTEMI PLANETARI EXTRASOLARI:**

Risposte alle domande fondamentali nello studio dei sistemi esoplanetari richiedono certamente ulteriori sforzi dal punto di vista sia teorico che osservativo. **Scoperte di nuovi sistemi e caratterizzazioni sempre più dettagliate** di quelli già noti permetteranno una maggiore esplorazione dello spazio dei parametri (planetari e stellari) e consentiranno di effettuare analisi statistiche e individuali sempre più accurate della straordinaria diversità delle proprietà dei sistemi planetari. Queste forniscono l'essenziale banco di prova per i modelli di formazione ed evoluzione planetarie, ad esempio per confrontare le osservazioni con popolazioni planetarie sintetiche.

**Lo spettro degli strumenti disponibili o in corso di realizzazione per lo studio dei pianeti extrasolari è ampio ed utilizza tecniche molto diverse tra loro**; ciascuna di queste tecniche è particolarmente adatta a rispondere ad alcune delle domande di cui sopra. L'INAF è impegnato in modo importante in diversi di questi strumenti.

**La seguente tabella dà un quadro degli strumenti principali di riferimento e descrive qual è l'impegno della comunità italiana di MA2 nella loro realizzazione e utilizzo.**

| Strumento | Tecnica/Area | Periodo | Risultati attesi | Partecipazione italiana |
|---|---|---|---|---|
| **Strumenti operanti durante il periodo 2017-2019** | | | | |
| **Kepler 2** | asterosismologia | 2017-19 | Caratterizzazione di stelle brillanti | NASA |
| **VLT –<br>SPHERE/<br>X-Shooter** | Immagini,Spettri/<br>Caratterizzazione | 2017- | Statistica e caratterizzazione esopianeti, protopianeti, dischi protoplanetari., Jets/outflows. YSOs, supernovae/transienti, progenitori. | ESO. INAF nel GTO di Sphere, ha PI-ship GTO di X-Shooter +survey GO |
| **VLT-<br>FLAMES/<br>MOONS** | Spettri / velocità radiali/ abbondanze chimiche | 2017- | Chimica Galattica. Gaia Follow-up di stelle Galattiche, ammassi, Cefeidi ed RR Lyrae, popolazioni stellari risolte. | ESO, Partcipazione Italiana. INAF PI-ship di Gaia-ESO |
| **VLT –<br>CRIRES+<br>ESPRESSO** | Alta ris. spettrale<br>Vel. Radiali/<br>Atmosfere | 2018- | Statistica Terre e super-Terre. Caratterizzazione di: atmosfere pianeti giganti in transito, YSOs, jets, outflows | ESO e INAF<br>INAF partecipa al GTO di Espresso |
| **VISTA e VST** | Immagini VIS/NIR | 2017- | Pop stellari risolte e stelle variabili. | ESO/INAF. PI-ships |
| **WHT-WEAVE** | Spettroscopia | 2018- | Gaia Follow-up di stelle nella Galassia:<br>velocità radiali, abbondanze chimiche | Consorzio Europeo,<br>contributo INAF |
| **LBT –LMIR /LUCI / SHARK/PEPSI** | Immagini,Spettri/ | 2017- | Statistica e caratterizzazione esopianeti, protopianeti, dischi protoplanetari, Jets/outflows,YSOs | INAF con contributi altri partner LBT |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Caratterizzazione | | stelle Galattiche, | |
| **LBT-LBC** | Immagini | 2017- | Popolazioni stellari e variabili pulsanti | INAF, partner LBT |
| **Asiago-AFOSC / Loiano-BFOSC** | Immagini/Spettri | 2017- | SNe/transienti: caratterizzazione e progenitori. Follow-up Gaia (alerts) | INAF |
| **GTC-OSIRIS** | Spettri | 2017- | SNe/transienti e progenitori | INAF |
| **TNG – HARPS-N e GIARPS** | Vel. Radiali/<br><br>Alta ris. spettrale/ | 2017- | Caratterizzazione e statistica pianeti extrasolari, YSOs , jets/outflows. Caratterizzazione chimica di stelle. | INAF |
| **TNG-LRS e NICS** | Immagini/spettri | 2017- | SNe/transienti e progenitori | INAF |
| **Swift** | Immagini/spettri | 2017- | SNe/transienti e progenitori | NASA-ASI |
| **NTT-EFOSC/SOFI** | Immagini/spettri | 2017- | SNe/transienti e progenitori | INAF |
| **NTT-SOXS**<br><br>**NOT-NTE** | Immagini/spettri | 2019- | Studio supernovae/transienti: caratterizzazione e progenitori. | INAF/ESO |
| **CHEOPS** | Transiti/Properietà | 2018- | Caratterizzazione pianeti in transito | ESA-CH-ASI |
| **TESS** | Transiti/Detezione | 2018- | Pianeti di stelle vicine. Asterosismol. | NASA. Dati pubbl |
| **HST** | Immagini/Spettroscopia NUV, ottico e NIR ad alta ris. | 2017- | Caratterizzazione di: popolazioni e ammassi stellari, stelle variabili, Jets da stelle giovani. Scala distanze. | NASA.Collaborazione INAF con esponenti EU e US |
| **ALMA**<br><br>**low & high – frequency**<br><br>**long baselines &**<br><br>**compact array**<br><br>**polarizzazione/**<br><br>**VLBI/**<br><br>**Single Dish** | Emissione sub-mm. continuo e righe atomiche e molecolari di nubi e filamenti molecolari, clumps, protostelle e dischi circumstellari | 2017- | Evoluzione polvere, massa dischi gassosi in YSOs, brown dwarfs. Formazione pianeti. Struttura e chimica dischi circumstellari, crescita grani di polvere, frammentazione nubi moleco-lari. Dinamica accrescimento. Campo magnetico in dischi e jets. Interazione disco-stella-jet. Mapping a grande scala di filamenti. Masers e outflow. | INAF è PI di diverse proposte e collabora in programmi di US, EA ed EU PI-ship |
| **IRAM-NOEMA-30m** | Emissione sub-mm. continuo e righe atomiche e | 2017- | Formazione di molecole prebiotiche<br><br>in regioni di formazione stellare. | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU PI-ship |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | molecolari | | Surveys di jets molecolari protostellari e dischi circumstellari. | |
| **VLA Low & High frequency** | Continuo e righe atomiche e molecolari | 2017- | Campo magnetico in stelle, stelle attive, flares, struttura di dischi, prorpietà della polvere, tranccianti di temperatura e densità, masers | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU |
| **APEX** | Emissione sub-mm. dei continuo, righe atomiche e molec, mezzo interstellare | 2017- | Surveys di struttura, temperatura, dinamica e chimica di regioni di formazione stellare. Calibrazione di diagnostica evolutiva. | INAF è PI di diverse proposte e collabora in large programmes di EU |
| **Herschel** | Continuo e righe atomiche/molecolari nel far-IR | 2017- | Formazione stellare globale nella Galassia (template z=0). Energetica e dinamica outflows molecolari. | INAF è PI di diverse proposte e large programmes |
| **Gaia** | Astrometria/ Rivelazione/ Fotometria/ Spettroscopia. | 2017-2020 (+2) | Scala distanz. Struttura 3D Via Lattea. Formazione ed evoluzione pop. stellari Galattiche e Gruppo Locale. Transienti. Scoperta e statistica pianeti giganti. Membership, moto 3D stelle. Tomografia 3D polvere in ISM diffuso, nubi. | ESA. Forte impegno italiano |
| **JWST** | Immagini,Spettri nel NIR e MIR ad alta risoluzione/ Caratterizzazione | 2019- | Caratterizzazione di: atmosfere pianeti in transito, gas caldo in sistema disco/ jet, protoclusters Galattici, shock e outflows, popolazioni stellari, stelle spulsanti, transienti. Scala distanze | Collaborazione INAF con NASA-ESA. Programmi ERS e GO |
| **SKA Precursors (ASKAP/ MeerKAT)** | Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm | 2016- | Surveys Galattiche a grande scala in continuo e riga per studio dell'ISM ionizzato diffuso e in SFRs | INAF coinvolta nelle Surveys EMU e MeerGAL |
| **Strumenti futuri** | | | | |
| **PLATO / ARIEL** | Transiti/ Spettri/ Atmosfere | 2025- | Pianeti in transito attorno a stelle brillanti. Caratterizzazione atmosfere pianeti e stelle, archeologia Galattica. | ESA. Forte impegno italiano |
| **WFIRST-AFTA** | Immagini/ Caratterizzazione | 2025- | Scoperta e caratterizzazione pianeti. Pop. stellari nel bulge Galattico e in regioni di formazione stellare, funzione di luminosità, cinematica di stream stellari nel Gruppo Locale. | NASA Possibile partecipazione ESA |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **VLT-ERIS** | Immagini | 2020- | Indicatori distanza stellari secondari fino ~300 Mpc. Formazione stellare, dischi e jets | ESO. PI-ship italiana per AO |
| **E-ELT – HIRES/MOS** | Vel. Radiali/<br><br>Atmosfere. Spettroscopia alta risoluzione. | 2026- | Atmosfere di esopianeti terrestri. Caratterizzazione e statistica accrescimento e dinamica di jets e outflows in oggetti sub-stellari. Popolazioni stellari nel Gruppo Locale e oltre. | ESO. PI-ship e partecipazione italiana |
| **E-ELT – EPICS** | Immagini,Spettri/<br><br>Caratterizzazione | 2028- | Scoperta e caratterizzazione pianeti fino a super-Terre | ESO. Forte impegno INAF |
| **E_ELT -MICADO/<br><br>MAORY** | Imaging ad alta risoluzione | 2024- | Indicatori distanza secondari fino a z~0.3 e calibrazione diretta scala distanze con Cefeidi. Storia formazione stellare galassie vicine; astrometria in regioni affollate. Detezione di pianeti in dischi protoplanetari, jets vicino a stelle giovani e connessione con accrescimento. IMF e frazione di dischi in regioni a bassa metallicità | ESO. PI-ship italiana MAORY.<br><br>Partecipazione INAF al consorzio MAORY e prep.<br><br>casi scientifici per White Book. |
| **LSST** | Immagini | 2021- | Struttura 3D Via Lattea e Universo fino alto redshift. Indicatori distanza geometrici primari/secondari. Transienti | NSF-DOE- LSST Corporation<br><br>INAF partecipa<br><br>con 15 PI/progetti |
| **4MOST** | spettri | 2021 | Gaia follow-up, caratterizzazione di stelle Galattiche | ESO+consorzio Europeo |
| **SKA** | emissione radio/ X. Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm. | 2020- | Origine campi magnetici e legame con “attività” stellare. Molecole prebiotiche, dischi/jets in regioni di formazione stellare. Grandi surveys Galattiche (in continuo e riga). | Partecipazione INAF anche ai WP – SKÀOur Galaxy' e 'Cradle of Life' e<br><br>alla preparazione casi scientifici. |
| **CTA** | Imaging gamma | | Caratterizzazione del "dark gas" in ISM e relazione fra flusso di raggi cosmici e *star formation rate*. | |

*Gli obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio*

**EVOLUZIONE STELLARE:**

Nel triennio ci proponiamo di: **i) Determinare il destino finale delle stelle ed i loro resti e il loro ruolo come agenti inquinanti.** I resti compatti delle loro esplosioni delle stelle massicce hanno ricevuto, recentemente, un forte interesse nell'ambito della cosiddetta "astronomia multimessenger". Le rilevazioni dirette di onde gravitazionali (GW150914 e GW151226), infatti, sono state associate alla coalescenza di due buchi neri, presumibilmente di origine stellare, di masse ~36-29 $M_{\odot}$ e ~14-7 $M_{\odot}$, rispettivamente. Quali stelle formano buchi neri di questo tipo? Con che masse, metallicità iniziali e frequenza? Qual è l'impatto della rotazione? Lo **sviluppo di un quadro teorico completo di riferimento** è necessario per una **corretta interpretazione delle prossime campagne osservative** della seconda generazione di interferometri da terra e quelle della nuova generazione di interferometri nello spazio (operativi a partire dai prossimi anni 30); **ii) Comprendere la reale efficienza di processi fisici "non canonici"**, primo tra tutti la perdita di massa. Le interazioni tra materiale eiettato da un'esplosione stellare e materiale circumstellare pre-esistente (visibili come emissione X. UV e radio) sono cruciali per tracciare la storia recente di perdita di massa stellare. Tra le stelle di grande massa, assumono particolare importanza le Luminous Blue Variables il cui numero è atteso aumentare in modo esponenziale grazie alle surveys a grande campo con elevata cadenza temporale (LSST). Nell'ambito delle stelle di massa piccola e intermedia, la perdita di massa e la sua evoluzione temporale in stelle di RGB e AGB saranno caratterizzate da osservazioni spettro-fotometriche nelle bande infrarosse, sub-millimetriche e millimetriche dello spettro elettromagnetico. Dal lato teorico, per quanto riguarda la struttura termodinamica degli inviluppi circumstellari e i processi di produzione di polvere in stelle AGB, i modelli che descrivono lo status chimico-dinamico del vento così come la determinazione degli yields devono essere migliorati**; iii) Sviluppare lo studio dell'asterosismologia di nane bianche,** grazie alla maggiore risoluzione temporale e al maggiore campo di vista di PLATO rispetto a Kepler. Queste osservazioni potranno fornire importanti informazioni sull'efficienza del trasporto del momento angolare ed sul ruolo della rotazione; **iv) Capire l'origine e la natura delle popolazioni stellari multiple negli ammassi globulari galattici e nei sistemi stellari del Gruppo Locale.** Le popolazioni stellari multiple sono state scoperte negli ammassi globulari galattici, rivoluzionando l'idea che le stelle di questi sistemi si siano formate in un unico episodio di formazione stellare. Come e quando si sono formate queste popolazioni multiple? Come e chi ha prodotto il gas necessario a formarle? Quale era la massa iniziale dei proto-ammassi? E se, come sembra, dovevano essere molto più massivi all'inizio, in che modo la massa da essi persa sotto forma di stelle ha contribuito alla formazione dell'alone e del nucleo Galattico? Quali sono le conseguenze nella comprensione dei sistemi stellari esterni alla nostra Galassia? Per rispondere a queste domande è necessario studiare in dettaglio non solo l'evoluzione/nucleosintesi dei possibili candidati "polluters", ma è anche le proprietà osservabili delle stelle di piccola massa che – in virtù dei loro tempi di vita estremamente lunghi – si stanno evolvendo attualmente negli ammassi globulari Galattici.

**ASTROARCHEOLOGIA:**

Nel triennio ci proponiamo di:

i) **Rafforzare il ruolo dei modelli teorici (di evoluzione stellare, idrodinamici, N-body e Tree-SPH) per ricostruire l'evoluzione chimico-dinamica dei sistemi stellari su un'ampia scala**. Oltre alle nuove strutture di calcolo (ASDC, Trieste, Cineca), servono risorse per l'interpretazione, adeguate all'eccezionale qualità dei dati osservativi, non solo di Gaia ma anche delle missioni future;

ii) **effettuare uni studio in 3D della Via Lattea tramite Gaia e survey da terra.** Gaia produrrà, assieme alle survey spettroscopiche e fotometriche da terra, una rivoluzione nella nostra comprensione della Via Lattea. Si misureranno orbite, distanze, cinematica e dinamica interna negli ammassi stellari, chimica, con una caratterizzazione chemo-dinamica completa sia degli ammassi che delle stelle di campo. Si calibreranno (e applicheranno) modelli evolutivi

stellari e diversi traccianti di età, permettendo di mantenere la leadership internazionale nelle teorie di evoluzione e pulsazione stellare. Si prevede un sempre maggior coinvolgimento della comunità scientifica INAF per lo sfruttamento ottimale dei dati che, nel caso di Gaia, si renderanno disponibilli nel trienno tramite una serie di data release intermedie di cui la prima si è verificata nel settembre 2016 e la prossima avverrà nell'Aprile 2018;

iii) **Implementare l'Astrometria relativistica**, necessaria per il pieno sfruttamento dei risultati di Gaia, per i fenomeni astrofisici legati alle interazioni fondamentali o causati dalle onde gravitazionali. Saranno studiati: il legame tra propagazione elettromagnetica e spazio-tempo/gravità; la modellizzazione del segnale gravitazionale in connessione con la controparte ottica; la definizione sempre più accurata della metrica (e quindi, dinamica) del Sistema Solare;

iv) **Capire i meccanismi di formazione degli ammassi globulari e delle loro popolazioni stellari multiple** e il **contributo degli ammassi alla formazione dell'alone**, combinando l'uso innovativo della strumentazione attuale con la teoria. Lo scopo e' capire come e quando si sono formate le popolazioni multiple, chi ha prodotto il gas per formarle, quali sono le conseguenze di questa rivoluzionaria scoperta nella comprensione dei sistemi stellari esterni alla nostra Galassia, e quanto importanti sono le stelle nate in questi sistemi e successivamente disperse nel campo durante la costituzione dell'alone Galattico;

v) **Modellare la tipologia e quantità di polvere prodotta da stelle di AGB di varie masse e composizioni**. Questo è fondamentale per l'interpretazione di future osservazioni di popolazioni stellari nel vicino e medio infrarosso. Si mira a caratterizzare le sorgenti osservate e a ricostruire la storia di formazione stellare e l'evoluzione della relazione massa-metallicità delle galassie ospiti;

vi) **Comprendere la natura e l'efficienza di processi di quenching della formazione stellare.** Lo studio della SFH e dell'efficienza della formazione stellare in galassie nane del gruppo locale permetterà di valutare l'effetto della reionizzazione (radiazione UV di "background") e il ruolo dello "shielding". Codici di analisi numerica e modelli evolutivi stellari aggiornati permetteranno di ricostruire la SFH "reale" in galassie nane di tutti i tipi morfologici.

### 3) SCALA DELLE DISTANZE E TRANSIENTI:

Nel triennio ci proponiamo di: **i) Determinare accurate stime di distanza per le stelle della Via Lattea grazie alla missione Gaia**, nella quale i ricercatori dell'INAF rivestono ruoli di primaria importanza. La comunità ha partecipato, nell'ambito delle unità di coordinamento CU3 (astrometria), CU5 (fotometria) e CU7(stelle variabili), alla pubblicazione dei dati della prima release nel Settembre 2016 ed è fortemente coinvolta anche per le prossime release. Gaia produrrà una "fotografia" senza precedenti della Via Lattea con informazioni uniche sulle sue dimensioni spaziali e sul suo stato evolutivo e dinamico, fornendo un banco di prova ineguagliabile per verificare, a un livello di precisione mai raggiunto, la validità delle moderne teorie di formazione galattica. Inoltre, questi risultati forniranno calibrazioni eccezionali degli indicatori di distanza aprendo una nuova era in termini di precisione e accuratezza della scala di distanza extragalattica e dunque nella conoscenza delle reali dimensioni spaziali dell'Universo; **ii) Ottenere misure molto accurate dell'energia emessa da ciascuna stella per un campione enorme (> $10^7$) di stelle della Galassia**. I ricercatori dell'INAF, che già detengono la leadership internazionale nel campo delle teorie di evoluzione e pulsazione stellare, saranno in grado di confrontare i loro modelli con i dati di Gaia, rendendo possibile un vero salto di qualità nella conoscenza della fisica stellare; **iii) Estendere i risultati ottenuti con Gaia alle altre galassie del Gruppo Locale e a quelle esterne** con la partecipazione alla survey LSST, 5 magnitudini più profonda di Gaia. LSST permetterà anche, con metodi come le SBF o la GCLF, di studiare la distribuzione spaziale 3D di galassie entro un intervallo fra i 50Mpc (per le galassie meno luminose) ed i ~150Mpc (per le galassie brillanti), con incertezze prevedibilmente migliori del 5% in distanza; **iv) Estendere le osservazioni delle Cefeidi Classiche anche in campi affollati fino all'ammasso di Coma e delle RR Lyrae anche nelle galassie ellittiche e nelle spirali giganti fino a circa 6 Mpc,** utilizzando MICADO@E-ELT. Per indicatori come le SBF e la GCLF, si potrà estendere il limite di

distanza raggiungibile da 150 a oltre i 300 Mpc**; v) Riconciliare i valori della costante di Hubble stimati dalla scala delle distanze cosmiche con quelli ottenuti dallo studio della radiazione cosmica di fondo** mediante una sempre più accurata calibrazione dei vari gradini della scala delle distanze e/o l'uso di indicatori di distanza che coprano direttamente distanze sempre maggiori in modo da ridurre la propagazione degli errori. Grazie alle missioni astrometriche presenti e future e ai telescopi della nuova generazione potranno essere significativamente ridotti gli errori sistematici dovuti agli indicatori primari, verificando la compatibilità tra la scala delle distanze di pop I e pop II.

### 4) FORMAZIONE STELLARE:

Nel triennio ci proponiamo di:

- **i)** **Migliorare la nostra comprensione del ruolo del campo magnetico** nei processi di collasso nelle varie fasi dell' ISM e scale spaziali nella Via Lattea attraverso misure di polarizzazione e tomografia Faraday;
- **ii)** **Tracciare i tempi scala evolutivi della formazione globale dai primi filamenti alle stelle massicce tracciate nel radio** grazie alla caratterizzazione chimica dei clumps da surveys millimetriche single-dish su molte migliaia di oggetti;
- **iii)** **Seguire in dettaglio la fisica, la dinamica e la chimica della frammentazione e dell' accrescimento iniziale così come le fasi intermedie e finali della formazione stellare** con surveys di centinaia o migliaia di siti Galattici nel MIR per tracciare i tempi-scala dell'emersione di nuove generazioni stellari giovani, e nel radio per tracciare il primo segno di emissione radio da jets o da free-free termico;
- **iv)** **Ottenere relazioni calibrate a z=0 da usare** in galassie esterne**;**
- **v)** **Produrre una tomografia 3D del mezzo diffuso senza precedenti** dal confronto tra le distanze Gaia di milioni di oggetti stellari giovani e la distribuzione della polvere dell'ISM diffuso e delle nubi molecolari;
- **vi)** **Evidenziare eventuali gradienti evolutivi e il ruolo dei bracci come "triggering" attivo della formazione o semplici accumulatori di materia**, **c**ombinando le proprietà fotometriche di questi oggetti con la posizione rispetto alle braccia a spirale Galattiche;
- **vii)** **Misurare i tassi di accrescimento e perdita di massa e i loro effetti sull'evoluzione dei dischi protoplanetari** per ampi intervalli di massa ed età stellari e per oggetti sub-stellari dalle survey spettroscopiche;
- **viii)** **Ottenere uno schema unificato e robusto dell'evoluzione del sistema stella-disco** dalla sinergia X-Shooter-ALMA, inclusi gli effetti della formazione di pianeti;
- **ix)** **Determinare il rapporto poco conosciuto tra massa del gas e massa della polvere, la distribuzione della polvere, la cinematica del gas**, attraverso surveys (sub)millimetriche dedicate, per guidare le simulazioni numeriche degli effetti di pianeti in formazione nel disco;
- **x)** **Determinare i meccanismi in grado di contrastare la frammentazione e la migrazione** verso la stella dei grani e il loro aggregarsi nei primi nuclei rocciosi**;**
- **xi)** **Indagare l'avanzamento della complessità molecolare** dalle semplici specie già nell'ISM alle molecole organiche e pre-biotiche nel disco, l'abbondanza di specie chiave (acqua, metanolo), la posizione dei fronti di condensazione delle varie molecole, la chimica che avviene sui grani di polvere ghiacciati e i meccanismi di trasporto dal disco ai pianeti in formazione**;**
- **xii)** **Vincolare la modellistica della formazione del disco, dell'estrazione di momento angolare via instabilità e jets, e della propagazione all'interno del disco** dei raggi cosmici ionizzanti generati negli shocks del jet con la distribuzione del campo magnetico misurato;
- **xiii)** **Determinare rotazione e flusso di massa e momento nel jet**, per testare i modelli di lancio e di feedback jet-disco sviluppati in INAF con le osservazioni VIS/NIR ad alta risoluzione spettrale/spaziale;
- **xiv)** **Capire la dispersione finale del disco** ad opera dei venti foto-evaporati.

**SISTEMI PLANETARI EXTRASOLARI:**

L'astronomia italiana ha acquisito negli ultimi anni la capacità di contribuire in modo decisivo allo studio dei pianeti extrasolari. Secondo Gratton (2012), nell'ultimo quadriennio la produttività scientifica italiana nel campo è quasi raddoppiata, portando l'Italia all'ottavo posto a livello mondiale, con miglioramento significativo di due posizioni rispetto all'ultimo rilevamento. Come indicato in Tabella di Sez. 1.3.2.2, gli **obiettivi generali** nel triennio si concentreranno su: **Programmi di ampio respiro per la ricerca e caratterizzazione (architettura, struttura interna, atmosfere) di pianeti** su grandi range di separazione orbitale e massa attorno a stelle di diversa massa, composizione chimica ed età, utilizzando strumentazione sia da Terra che nello spazio, una varietà di tecniche di alta precisione e risoluzione spettrale e spaziale (fotometria, spettroscopia, astrometria, e imaging diretto), e un importante intervallo di lunghezze d'onda (dal visibile all'infrarosso vicino).

Il recente sforzo per l'unione di competenze e sviluppo di sinergie si è concretizzato in importanti elementi di aggregazione, collaborazione, e coordinamento nazionale di programmi ricerca a sfondo esoplanetario (quali GAPS) che hanno utilizzato importanti risorse (Progetto Premiale WOW) e facilitato il raggiugimento di ruoli di responsabilità e leadership tecnologico/scientifica. Gli **obiettivi strategici** da raggiungere nel triennio ruguardano

**i)** **il consolidamento e l'aumento di coordinamento, preparazione, produttività, visibilità e competitività della comunità esoplanetaria nazionale** per poter garantire

**ii)** **la partecipazione e gli adeguati livelli di leadership nei progetti scientifici in corso**.

Tali obiettivi richiedono:

a. **ulteriori sforzi aggreganti** della comunità di riferimento e sinergie di tipo interdisciplinare con tematiche di formazione, evoluzione ed attività stellare, asterosismologia e astroarcheologia della Via Lattea, tramite studi comparativi del Sistema Solare nel contesto delle possibili realizzazioni dei sistemi extrasolari, e grazie allo sfruttamento di strumenti interpretativi, modellistici e di laboratorio sviluppati nel caso del Sistema Solare per lo studio della formazione planetaria e delle atmosphere;
b. **nuovi strumenti interpretativi avanzati**, nonché di rilevanti di attività di laboratorio particolarmente focalizzate alla comprensione delle proprietà strutturali, atmosferiche e di potenziale abitabilità di pianeti di tipo terrestre di cui non esiste un analogo all'interno nel nostro Sistema Solare;
c. **Supporto continuativo al processo di crescita** in termini di risorse finanziarie e di calcolo e di politica di reclutamento. A fronte di un 7% di produzione astronomica mondiale focalizzata sui pianeti extrasolari, meno del 4% dello staff di ricerca INAF è coinvolto per la maggioranza del suo tempo in questo campo. È necessaria la creazione di team scientifici di altro profilo che assicurino una leadership nel campo a livello internazionale, da un lato producendo il massimo ritorno in termini di investimento e dall'altro rafforzando le relazioni con l'Università, l'industria e la società in senso lato.

***Le Professionalità Richieste***

- Esperti di calcolo di modelli di atmosfera sia "tradizionali" che "3D"
- Esperti di modellistica stellare sia "tradizionali" che "multidimensionali"
- Esperti di analisi d'abbondanza.
- Esperti di simulazioni idrodinamiche (con accesso a cluster istituzionali INAF).
- Esperti di gestione e uso di grandi quantità di dati.
- Esperti di modellizzazione della Galassia.
- Teorici della gravitazione (sia analitici che numerici).
- Esperti nella ricerca e caratterizzazione di pianeti extrasolari.
- Teorici di formazione planetaria e atmosfere planetarie.
- Esperti nella ricerca e caratterizzazione di transienti.
- Esperti di modellizzazione teorica di dischi e jets protostellari.

- Esperti di osservazioni ad alta risoluzione spettrale e angolare nel visibile-NIR.
- Esperti di osservazioni ad alta risoluzione angolare nel sub-mm.
- Esperti di astrochimica in regioni di formazione stellare.
- Esperti di astrostatistica.
- Esperti di analisi spettro-fotometrica di popolazioni stellari risolte, storie di formazione stellare, evoluzione di galassie risolte nell'universo vicino".

### *Le Esigenze Strutturali*

- **Arrays di computer** al fine di poter eseguire simultaneamente un numero elevato di simulazioni numeriche di modelli stellari/pulsazionali e modelli di atmosfera per diverse scelte dei parametri iniziali, ma anche di modelli galattici, così come la disponibilità di calcolo distribuito (personal computers potenti) per lo sviluppo dei codici numerici di evoluzione/pulsazione e atmosfere stellari.
- **Strumentazione di calcolo capace di grande data storage** e capacità di gestione di dati pesanti per analisi dati di spectro-imaging ad alta risoluzione spaziale/spettrale nell'ambito della formazione stellare.

## Il Sole e il Sistema Solare

**Lo studio del Sole e del Sistema Solare ha come obiettivo la comprensione dei processi che ne hanno determinato l'origine e l'evoluzione fino all'epoca attuale, e che determinano le proprietà fisiche e dinamiche e le interazioni reciproche tra i vari corpi che ne fanno parte.**

### *Le domande fondamentali*

Lo studio del Sole e del Sistema Solare riguarda due ambiti di ricerca distinti, la fisica solare ed eliofisica e la planetologia, che si avvalgono di dati e metodologie diverse. I corpi che sono oggetto di osservazione, esplorazione e di studio sono il Sole, l'eliosfera e tutti gli oggetti che fanno parte del Sistema Solare. I ricercatori INAF sono impegnati a dare risposta alle seguenti domande fondamentali:

**Fisica solare e eliofisica:**

- **In che modo il Sole dà origine all'eliosfera e ne controlla l'evoluzione, e quali processi derivano dall'interazione del Sole/ambiente eliosferico con gli ambienti/corpi planetari?**
  Tale conoscenza, che deriva anche da studi interdisciplinari, è strettamente legata alla comprensione dei fenomeni astrofisici che caratterizzano i sistemi planetari e collegano la fisica delle stelle, del mezzo interstellare e dei corpi dei sistemi planetari.
- **Come si origina ed evolve il campo magnetico della stella e quale è il ruolo della magneto-convezione turbolenta del Sole nei meccanismi alla base della dinamica e della variabilità solare?**
  La comprensione della natura del campo magnetico e dei processi che portano alla sua amplificazione rivestirà un ruolo cruciale nelle ricerche del prossimo futuro, rappresentando un passo fondamentale per la conoscenza del campo magnetico stellare e dei processi che determinano la variabilità delle stelle.
- **Quali sono i meccanismi fisici che determinano e regolano il riscaldamento e l'accelerazione dei plasmi astrofisici e delle particelle ad alta energia?**
  L'eliosfera rappresenta un laboratorio unico dal quale ottenere conoscenze fondamentali sul plasma e i processi che si verificano nell'universo.

**Planetologia:**

- **Quali sono stati i processi che hanno determinato la formazione del Sistema Solare e le sue successive fasi evolutive?**
  I sistemi planetari sono un fenomeno comune nell' universo. Lo studio dei processi di formazione del Sistema Solare getta luce sui processi di formazione dei sistemi extrasolari e, viceversa, lo studio dei sistemi extrasolari in varie fasi del loro sviluppo ci aiuta a capire meglio i processi che hanno portato alla formazione del sistema in cui viviamo.

- **Quali sono i processi che determinano l'aspetto e le proprietà dei corpi del Sistema Solare?**
  Una grande varietà di situazioni e di processi fisici e dinamici rendono pianeti, satelliti e piccoli corpi incredibilmente diversi tra loro. Questo implica che per comporre le diverse informazioni che abbiamo in uno scenario coerente sono necessari dati accurati e competenze fisiche eterogenee ed approfondite.

- **Quali sono stati i processi evolutivi che hanno permesso l'emergere della vita?**
- La presenza di acqua e materiali organici ha svolto un ruolo fondamentale. Lo studio delle condizioni di abitabilità, passata e presente, nel nostro sistema è importante anche per una migliore comprensione di quanto accade nei sistemi extrasolari.

### *Gli strumenti d'indagine – Fisica solare ed eliofisica*

La stella a noi più vicina, il Sole, è un laboratorio dove si possono studiare con un livello di risoluzione molto elevato fenomeni fisici che, per la loro scala, non sono accessibili alla sperimentazione terrestre e non possono essere investigati su astri più lontani. Per questo lo studio del Sole ha contribuito e continua a concorrere in modo significativo al miglioramento delle nostre conoscenze dell'Universo e delle leggi fisiche che lo regolano. Infatti, a causa della sua vicinanza, il Sole permette **l'osservazione diretta con elevata risoluzione di processi** che sono di estremo interesse per l'astrofisica e la fisica dei plasmi, quali l'amplificazione e diffusione del campo magnetico, il riscaldamento e l'accelerazione del plasma, la riconnessione magnetica, la variabilità stellare. In attesa della futura generazione di telescopi solari da Terra e dallo spazio (***EST, Solar Orbiter***), le sfide dei prossimi anni saranno osservare e studiare tramite la migliore strumentazione esistente i **processi di emersione e interazione del campo magnetico con il plasma solare, i meccanismi di trasferimento e rilascio dell'energia nell'atmosfera e di accelerazione del vento solare,** le cause delle esplosioni osservate e la propagazione dei loro effetti nell'eliosfera. Tali studi non potranno prescindere dallo sviluppo di modelli numerici dei processi MHD e delle strutture osservate, nell'atmosfera e nelle regioni sorgente del vento solare. Tali modelli richiederanno potenti risorse di calcolo.

I ricercatori dell'INAF, supportati dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dal MIUR, partecipano ai principali progetti internazionali di osservazione dedicati allo studio e all'esplorazione del Sole e dell'eliosfera. In particolare, contribuiscono con ruoli di responsabilità a quasi tutte le missioni spaziali internazionali realizzate a tal fine da ESA, NASA e dalle maggiori agenzie spaziali nazionali. Inoltre, partecipano attivamente ai programmi di osservazione del Sole e di vari corpi del sistema solare effettuati con tutti i più importanti telescopi a Terra, e allo sviluppo di nuova strumentazione per telescopi operanti da Terra e dallo spazio. Da parecchi anni i ricercatori INAF contribuiscono altresì a molti progetti relativi allo studio dei processi che caratterizzano il Sole, l'eliosfera, i pianeti del Sistema Solare e lo Space Weather, finanziati da varie agenzie e enti governativi (ASI, MIUR, MiSE, Regioni) e dalla Commissione Europea nei programmi quadro FP7 e H2020.

Negli ultimi anni sono state acquisite osservazioni da Terra e dallo spazio che hanno rivoluzionato la nostra conoscenza della struttura e dinamica dell'atmosfera solare, dalla base della fotosfera alla corona esterna. Il Sole è certamente anche la stella che conosciamo meglio e l'unica che permette lo **studio dell'interazione tra stella, ambiente circumstellare e pianeti in grande dettaglio**, paradigma per la ricerca di esopianeti in cui sia possibile o presente la vita. La comunità nazionale è anche impegnata nello studio della **variabilità solare e degli effetti sul clima terrestre**. Molte missioni spaziali includono strumentazione per lo studio degli ambienti planetari e quindi hanno evidenziato **l'effetto della variabilità solare sui climi planetari.** Le conoscenze acquisite in questo ambito, oltre a migliorare la nostra comprensione delle relazioni Sole-Terra e del riscaldamento globale del

nostro pianeta, nel prossimo futuro permetteranno anche di progredire l'indagine degli effetti della **variabilità stellare sul clima dei corpi dei sistemi planetari**.

Negli anni recenti lo studio delle condizioni fisiche nelle regioni utilizzate per l'esplorazione satellitare ed umana dello spazio (**Space Weather e Space Climate**) ha riscontrato sempre maggiore interesse. Infatti, la crescente esposizione d'innumerevoli infrastrutture critiche (reti per telecomunicazioni satellitari, navigazione aerea e marittima) agli effetti dell'attività solare sulla Terra e nello spazio ha reso l'osservazione continua e lo studio dei processi solari e eliofisici asset strategici per la mitigazione degli effetti socio-economici della variabilità della nostra stella.

La comunità italiana ha una tradizione notevole nell'ambito della ricerca teorica in vari settori, in particolare quelli che riguardano la modellistica delle strutture magnetiche della corona solare e delle regioni sorgente del vento solare.

Studio della corona solare. Tale filone fa ricorso a strumenti di calcolo sempre più potenti per lo sviluppo della modellistica delle strutture magnetiche coronali e delle regioni sorgente del vento solare. I fenomeni di riscaldamento impulsivo oggetto di indagine, ad esempio, richiedono l'utilizzo di codici numerici avanzati con griglie spaziali adattive, necessarie per seguire propriamente l'evoluzione del plasma soggetto a riscaldamento e i fenomeni di trasporto di energia ad esso correlati.

Studio delle proprietà del mezzo interplanetario e del vento solare e loro interazione con gli ambienti planetari e circumplanetari. Tale studio si avvale di diversi strumenti di indagine. In primo luogo si utilizzano sia osservazioni dallo spazio dell'ambiente elettromagnetico e particellare dei diversi corpi, sia osservazioni da terra della variabilità delle esosfere planetarie (per esempio l'emissione del sodio) in relazione alla variabilità solare. Inoltre, si sviluppano modelli di dinamica magnetosferica, del plasma ed esosferica in diversi ambienti planetari (come Marte, Mercurio e le lune di Giove), al fine di sviluppare dei modelli interpretativi e predittivi della risposta di tali ambienti alle condizioni del vento solare e all'azione del mezzo interplanetario (ad esempio impatti di meteoriti). Tali studi sono anche un utile strumento per valutare gli effetti della radiazione particellare sulla strumentazione spaziale (Planetary Space Weather). Infine, ci si avvale anche dei risultati di esperimenti di laboratorio di simulazione di interazioni dei plasmi con analoghi planetari.

### *Gli strumenti di indagine – Planetologia*

**Le missioni spaziali:**

La risposta alle domande fondamentali e lo studio delle tematiche ad esse collegate è basata su una adeguata conoscenza di tutti i corpi che fanno parte del nostro sistema planetario, e per questo i ricercatori dell'INAF, supportati dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e dall'ESA, partecipano ai principali progetti internazionali dedicati all' esplorazione del Sistema Solare e contribuiscono con ruoli di responsabilità a quasi tutte le missioni spaziali internazionali realizzate a tal fine da ESA, NASA e dalle maggiori agenzie spaziali nazionali.

I piccoli corpi del Sistema Solare sono fondamentali per rispondere alle domande relative all'origine ed evoluzione del sistema, perché possono essere considerati come **materiale residuo, quindi spesso minimamente processato, della formazione del Sistema Solare**. Le missioni che hanno fornito dati preziosi sui corpi minori, e di conseguenza hanno gettato nuova luce sui processi di formazione del Sistema Solare, sono ***Rosetta*** e ***Dawn***. La missione ***Rosetta*** ha rivoluzionato la scienza delle comete, e sta di conseguenza modificando anche il paradigma di formazione del Sistema Solare. La missione NASA ***Dawn*** ha già visitato Vesta, raccogliendo dati per oltre un anno, ed ha raggiunto Cerere, intorno a cui è tuttora in orbita, nel gennaio del 2015. I dati forniti da questa missione stanno anch'essi contribuendo a rispondere ad alcune questioni fondamentali che riguardano la formazione del nostro Sistema Solare e la composizione originale del disco protoplanetario.

Lo studio dei pianeti di tipo terrestre, cioè Mercurio, Marte e Venere, con le loro differenze e somiglianze rispetto alla Terra, è fondamentale per capire **come e perché corpi probabilmente simili in origine abbiano poi preso strade evolutive così diverse nella loro evoluzione ed è quindi rilevante per le tematiche collegate alle prime due domande**. Marte è l'unico pianeta per il quale al momento si prevede una futura visita e un'eventuale colonizzazione da parte dell'uomo; inoltre, per la passata presenza di acqua liquida sulla sua superficie, è di fondamentale importanza per le implicazioni astrobiologiche ed è quindi rilevante per le tematiche collegate alla terza domanda**.** A Mercurio è dedicata la missione ESA ***BepiColombo*****,** il cui lancio è previsto nel 2018, con l'obiettivo di studiare, caso estremo nel nostro sistema solare, la formazione e l'evoluzione di un pianeta così vicino alla sua stella. Al momento tre missioni stanno fornendo dati su Marte: ***Mars Reconnaissance Orbiter***, ***Mars Express*** (che ha collezionato notevoli risultati scientifici come la scoperta del metano su Marte, della presenza di minerali idrati in superficie, e del solar wind scavenging come responsabile della perdita del vapor d'acqua nell'atmosfera marziana) e ***ExoMars TGO***.

I pianeti esterni del Sistema Solare sono importanti, oltre che per la storia dei processi di formazione sia del nostro che di altri sistemi solari (**i pianeti giganti possono essere considerati un analogo di molti degli esopianeti** che vengono via via scoperti), per l'interesse astrobiologico che alcuni dei satelliti hanno. A Giove è dedicata la missione NASA ***Juno***, che, "parafrasando" la mitologia greca, come Giunone si pone l'obiettivo di svelare Giove al di sotto del suo strato di nubi: il suo interno, il suo campo magnetico, ma anche la sua magnetosfera, la più grande del sistema solare. La missione europea ***Juice***, il cui lancio è previsto nel 2022, ha come obiettivo Ganimede.

### Osservazioni da Terra

**La comunità INAF è tradizionalmente molto attiva anche nelle osservazioni da Terra dei piccoli corpi (asteroidi, comete e oggetti trans-nettuniani) e di pianeti, pianeti nani e satelliti.** INAF è stata ed è coinvolta (come PI-ship e CoI-ship) in numerosi programmi di osservazione con telescopi di classe media e grande per l'osservazione delle caratteristiche e proprietà fisiche e dinamiche di un grande numero di piccoli corpi. Gruppi INAF, in autonomia e anche riuniti in consorzi e collaborazioni, hanno avuto e hanno regolare accesso a tempo osservativo per attività scientifiche che spaziano dall'analisi di eventi "time-critical" e transienti al ripetuto monitoraggio su lunghi tempi scala di fenomeni intimamente legati alle proprietà delle varie popolazioni dinamiche dei piccoli corpi del Sistema Solare. Tali misure per una grande varietà di oggetti, impossibili da ottenere se non con osservazioni da Terra, sono importanti per ricostruire la visione generale ed evolutiva di queste numerose famiglie e gruppi dinamici di piccoli corpi, e dei possibili legami tra di loro (si pensi ad esempio a una scoperta importante nel campo della polarimetria degli asteroidi come quella dei cosiddetti asteroidi *Barbarians).*

### Ricerca teorica

La comunità italiana ha una tradizione notevole nell'ambito della ricerca teorica in vari settori, in particolare quelli che riguardano la **formazione del Sistema Solare** e la **fisica e dinamica dei corpi minori**; recentemente si sono aggiunte tematiche nuove come la **modellizzazione del clima e dell'abitabilità di pianeti di tipo terrestre**.

Evoluzione del disco protoplanetario e formazione di pianeti**.** Questo tipo di studi si concentra in particolare sulla formazione e evoluzione del disco protoplanetario, sugli effetti dell'accrescimento sequenziale e competitivo dei quattro pianeti giganti e sul trasferimento dinamico e collisionale di acqua e volatili nel Sistema Solare interno. Data la natura generale dei processi studiati, i risultati e gli strumenti teorici e numerici sviluppati per questi studi trovano diretta applicazione anche allo studio della formazione dei pianeti extrasolari.

Modellistica geofisica e termofisica di piccoli corpi, sia rocciosi che ghiacciati**.** Questo tipo di studi si occupa di asteroidi e nuclei cometari. Sono in particolare oggetto di studio la differenziazione chimico-fisica e la distribuzione delle temperature interne, la sublimazione di ghiacci e l'emissione di specie volatili e polvere e, per i corpi rocciosi più grandi, la stabilità della crosta e l'eventuale subduzione, il fenomeno della core dynamo e la generazione di campi magnetici.

Dinamica e fisica collisionale**.** Questi studi si concentrano sull'evoluzione collisionale della fascia degli asteroidi indagata sia dal punto di vista della popolazione asteroidale nel suo complesso che da quello dei singoli corpi. Oltre al loro immediato impatto scientifico, queste attività permettono di verificare gli strumenti teorici e numerici utilizzati per lo studio della formazione planetaria

### Attività di laboratorio

**L'attività di laboratorio è di fondamentale supporto alla ricerca nel campo della planetologia.** L'INAF ha una ben radicata esperienza in questo tipo di attività che varia da esperimenti di simulazione a studio di analoghi, dalle analisi di materiale extraterrestre, alla caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche di materiali terrestri.

In laboratorio è possibile studiare e caratterizzare meteoriti e minerali simili a quelli che si trovano in ambienti extraterrestri, riprodurre le condizioni di vuoto e di temperatura che si riscontrano, per esempio, sulle superfici degli asteroidi, sulle comete, su Mercurio e nelle regioni di formazione stellare e simulare le atmosfere di pianeti e satelliti. Inoltre è possibile studiare gli effetti indotti dalla radiazione elettromagnetica e dai raggi cosmici su materiali analoghi a quelli osservati.

Attraverso le indagini condotte in laboratorio è possibile, inoltre, comprendere i principi di base dell'astrobiologia ovvero la ricerca di segni di vita nello spazio e lo studio dei processi prebiotici responsabili dell'origine della vita.

**Questo tipo di studi arricchisce la nostra conoscenza e contribuisce all'interpretazione dei dati acquisiti dai telescopi e dalle missioni spaziali** o perché permette un confronto diretto fra le osservazioni astronomiche e i dati di laboratorio o perché ci consente di definire l'evoluzione chimico-fisica di diversi materiali in diversi ambienti astrofisici. **L'analisi di dati di laboratorio ci permette anche di capire quali sono le misure più opportune e quindi gli strumenti (e il loro sviluppo) necessari per rispondere alle domande scientifiche che si pongono le missioni.** La maggior parte dei piccoli corpi del Sistema Solare non sarà mai raggiunta da una missione spaziale ed è quindi fondamentale condurre osservazioni da Terra, esperimenti di laboratorio che ci permettano di modellizzare la composizione della superficie di oggetti privi di atmosfera e gli effetti dei processi fisici che vi avvengono, utilizzando anche *materiali considerati analoghi*, oltre all'utilizzo diretto dei frammenti di corpi planetari rappresentati dalle meteoriti. Gli esperimenti condotti in ambienti e su *terreni ritenuti analoghi* di ambienti extraterrestri sono utili non solo per l'interpretazione dei dati ottenuti da osservazioni remote, ma anche per lo studio di nuovi strumenti.

| **Missione/Strumento** | **Tecnica/Area**<br><br>**(partecipazione INAF)** | **Periodo** | **Risultati attesi** | **Partecipazione italiana** |
|---|---|---|---|---|
| **Missioni e strumenti operanti durante il periodo 2017-2019** | | | | |
| | | | | |
| **Cassini (NASA)** | Spettrometria a immagine | 1997-2017 | Caratterizzazione sistema di Saturno | Strumento VIMS |
| **CLUSTER (ESA)** | Misura della componente ionica del plasma | 2000-2018 | Caratterizzazione delle strutture tridimensionali del plasma spaziale | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Mars Express** | Immagini,Spettri, radar/ | 2004- | Studio di Marte | PI-ship INAF (PFS, MARSIS) |
| **Mars Reconnaissance Orbiter** | Radar | 2005- | Studio di Marte | Partecipazione INAF (SHARAD) |
| **DUSTER** | Piattaforma stratosferica | 2004- | Raccolta materiale extraterrestre | Realizzazione italiana |
| **Dawn (NASA)** | Spettrometria a immagine | 2007-2017 | Composizione superficie di Cerere | PI-ship INAF (VIR) |
| **Juno (NASA)** | Spettrometria a immagine | 2011-2019 | Studio aurore e atmosfera di Giove | PI-ship INAF (JIRAM) |
| **GAIA (ESA)** | Astrometria, fotometria e spettroscopia nel visibile | 2013-2020 | Proprietà fisiche degli asteroidi | Partecipazione INAF nel processamento e analisi dati (DPAC) |
| **ExoMars (ESA)** | Immagini, spettrometria | 2016-2022 | Studio di Marte | Co-PIship INAF (CASSIS, NOMAD, Dust Complex); PI-ship INAF (DREAMS, MaMISS) |
| **OSIRIS-REX (NASA)** | Immagini, Spettri | 2016-2023 | Caratterizzazione della superficie di un asteroide | Partecipazione all'analisi dei dati e dei campioni |
| **IBIS** | Immagini,Spettri/polarimetria. | 2017-2019 | Emersione ed evoluzione delle regioni magnetiche solari in fotosfera e cromosfera. Diagnostica eventi esplosivi. | INAF con contributi altri partner universitari |
| **SOHO-UVCS** | Spettro-coronografia UV di regioni sorgente del vento solare | 2017-2019<br><br>analisi dati in corso | Diagnostica dei processi di riscaldamento ed accelerazione del vento solare. Indagine sui processi energetici che caratterizzano i CME | INAF con contributi altri partner universitari |
| **Hayabusa 2 (JAXA)** | Immagini Spettroscopia IR<br><br>Analisi Sample Return | 2017-2024 | Caratterizzazione Asteroide NEA Ryugu e landing + sampling site<br><br>Analisi campioni riportati a Terra | INAF<br><br>Co-I-ship |

| Missioni e strumenti futuri | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **BepiColombo (ESA-JAXA)** | Immagini, Spettri, accelerometria, misurazione di particelle neutre | 2018 | Caratterizzazione superficie e esosfera di Mercurio | PI-ship INAF (SIMBIOSYS, SERENA, ISA) e italiana (MORE) |
| **SCORE – Herschel** | Imaging coronografico VL, UV e EUV<br><br>(programma sub-orbitale) | 2018 | Proprietà fisiche corona esterna.<br><br>Abbondanza elio coronale. | NASA.<br><br>Impegno ricercatori INAF in collaborazione con NRL-USA. |
| **Solar Orbiter (ESA)** | Imaging coronografico VL e UV<br><br>Indagine in-situ del plasma del vento solare | 2019 | Proprietà delle regioni sorgente del vento solare. Origine, evoluzione e propagazione dei CME. Cinetica del plasma | ESA. Forte impegno italiano:<br><br>PI-ship (METIS) e CoPI-ship (SWA) |
| **ASPIICS – Proba3** | Coronografia ad altissima risoluzione con satellite in formazione | 2020 | Spettropolarimetria della corona solare e estesa e prime misure dei campi magnetici coronali mediante effetto Hanle. | ESA. Impegno ricercatori INAF |
| **JUICE (ESA)** | Immagini, Spettrometria a immagine | 2022 | Studio del sistema di Giove. Caratterizzazione superfici ed esosfere dei satelliti galileani e della atmosfera di Giove. | Co PI-ship INAF (JANUS, MAJIS) |
| **EST** | Osservazioni spettropolarimetriche dal vicino IR al vicino UV | 2026 | Conoscenza dettagliata delle proprietà termiche, dinamiche e magnetiche del plasma della nostra stella, dalla base della fotosfera all'alta cromosfera. | Consorzio europeo EAST, con partecipazione italiana |

### *Obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio – Fisica solare ed eliofisica*

Lo strumento INAF **IBIS** (Interferometric Bidimensional Spectrometer), attualmente presso il DST/NSO Sunspot (NM, USA), mantiene una leadership mondiale nel campo della spettro-polarimetria solare dedicata allo studio della dinamica e dei processi MHD della fotosfera e cromosfera del Sole. IBIS, prototipo di strumentazione che sarà installata ai telescopi solari di nuova generazione e a telescopio solare europeo EST (European Solar Telescope), permette di effettuare osservazioni spettropolarimetriche e sviluppare tecniche di studio che saranno necessarie anche per l'analisi dei dati prodotti in futuro dalle

infrastrutture utilizzate per osservazioni notturne. A seguito dei cambiamenti previsti presso DST/NSO, il triennio di riferimento potrà contemplare lo spostamento di IBIS presso un altro telescopio che possa garantire le migliori condizioni di utilizzo dello strumento nel futuro.

I processi MHD responsabili dell'emersione e diffusione del plasma, della propagazione di onde e dell'evoluzione delle regioni magnetiche, contribuiscono anche al riscaldamento degli strati più esterni dell'atmosfera solare e all'accelerazione del vento stellare. Lo studio della struttura, dinamica, espansione e riscaldamento della corona, riscaldata a temperature di milioni di gradi e sede di processi stazionari e transienti che modificano le condizioni fisiche nell'eliosfera, continuerà ad avere un ruolo importante nelle ricerche svolte nel prossimo triennio.

Il contributo a livello di Co-PI alla realizzazione dello spettrocoronografo ultravioletto UVCS per la missione ESA-NASA ***SOHO***, supportato dall'ASI e con un'importante partecipazione dell'industria aerospaziale nazionale, e il conseguente impegno nella conduzione delle operazioni scientifiche e nell'analisi dei dati raccolti, ha infatti posto la comunità nazionale **in una posizione di leadership mondiale nell'ambito della coronografia ultravioletta.**

L'esperienza tecnologica e scientifica acquisita con UVCS/***SOHO*** è stata recentemente consolidata anche con la rilevante partecipazione alla definizione e realizzazione dei nuovi coronografi METIS, SCORE e ASPIICS, per le missioni ESA ***Solar Orbiter, Herschel*** NASA/US Naval Research Lab e ESA ***Proba3*** che saranno lanciate nell'arco del prossimo triennio. La comunità eliofisica guida infatti la partecipazione italiana al coronografo **ASPIICS** per la missione ESA **Proba3.** Tali attività sono condotte con il supporto dell'ASI. Nel triennio di riferimento, lo spettropolarimetro elettroottico originariamente sviluppato per il coronografo **ASPIICS,** che è stato già collaudato durante osservazioni di eclissi naturali, verrà anche integrato nel coronografo ESCAPE-CorMag e installato presso la base italo-francese Concordia in Antartide. L'obiettivo scientifico è la diagnostica dei campi magnetici coronali. Questo progetto, finanziato dal Piano Nazionale Ricerche Antartide, è supportato dall' Azione COST MP 1104 (Polarization as a tool to study the Solar System and beyond). Negli ultimi anni la comunità nazionale ha contribuito a molti progetti nazionali e internazionali volti allo studio e interpretazione dei processi osservati sul Sole e nell'eliosfera. La collaborazione tra INAF e industria ha portato recentemente al finanziamento della realizzazione di un telescopio robotico con filtri magneto-ottici per l'osservazione e il monitoraggio tomografico dell'atmosfera solare (SAMM Solar Activity MOF Monitor). Un cenno a parte merita la radiofisica del Sole, potentissimo strumento diagnostico per la fisica della corona solare. Si prevede che nel triennio L'INAF si doterà a Trieste di un nuovo sistema, interamente dedicato allo Space Weather ed in particolare al monitoraggio delle interferenze radio ai GNSS. La comunità INAF è anche attivamente impegnata negli studi relativi all'interazione del vento solare e del mezzo interplanetario con gli ambienti planetari. La missione ***Cluster*** dell'ESA, che vede attivamente coinvolta la comunità nazionale a livello di Co-I, ha permesso di ottenere nel corso dell'ultimo decennio un grande avanzamento nella comprensione dell'interazione tra il vento solare e la magnetosfera terrestre, con particolare attenzione al ruolo che processi come la riconnessione magnetica svolgono nel trasferimento di energia, massa e momento dal vento solare alla magnetosfera.

Il triennio di riferimento vedrà la messa a punto finale e il lancio delle missioni spaziali ***BepiColombo*** e ***Solar Orbiter*** del programma ESA Cosmic Vision 2015-2025 (lanci previsti nel 2018). Per ***Solar Orbiter***, la definizione dei requisiti scientifici e tecnici e la realizzazione del coronografo **METIS** (PI INAF) è sotto la responsabilità italiana, con il supporto dell'ASI e un notevole coinvolgimento dell'industria aerospaziale nazionale. **METIS otterrà per la prima volta immagini della corona solare simultaneamente nelle bande del visibile e UV e studierà origine ed evoluzione dell'eliosfera, osservando l'accelerazione del vento solare e la propagazione iniziale delle sue perturbazioni in corona.** Nello stesso contesto, a breve sarà anche lanciato il coronografo SCORE, progettato e realizzato dalla comunità INAF come prototipo di METIS. SCORE volerà per la seconda volta con un razzo suborbitale nel quadro del programma Herschel della NASA, in collaborazione con il Naval Research Laboratory.

La comunità eliofisica partecipa inoltre (Co-PIship INAF) alla realizzazione della suite di plasma **SWA**, collaborando al disegno dei 4 sensori, alla definizione dei loro requisiti scientifici e fornendo il Data Processing Unit ed il S/W di bordo. **SWA fornirà misure in situ di protoni, elettroni, particelle alfa e ioni minori a risoluzioni temporali mai raggiunte nell'eliosfera interna, fondamentali per individuare i meccanismi fisici alla base del riscaldamento e accelerazione del vento solare.**

Infine, la comunità fornirà anche un importante contributo all'elaborazione delle tecniche di ricostruzione di immagini per lo strumento STIX dedicato all'acquisizione di immagini della corona solare nei raggi X.

Per ***BepiColombo*** **(**vedi anche sez. …), la suite internazionale di 4 strumenti **SERENA**, con PI-ship italiana, fornirà importanti informazioni su flussi e densità di particelle cariche e neutre nell'ambiente di Mercurio. L'Italia ha la responsabilità del coordinamento del Hermean Environment Working Group (**HEWG**), all'interno del quale tali problematiche e le relative strategie osservative sono esaminate. Inoltre, l'Italia coordina anche le attività del Venus Fly-by Working Group **(VFBWG)**, inerente alle osservazioni di Venere in concomitanza dei due passaggi previsti durante il viaggio. Altre due Co-I ships italiane riguardano l'esperimento PHEBUS (segnale UV esosferico) e SIXS (monitor della radiazione e particelle solari).

I risultati degli studi osservativi e teorici condotti nell'ultimo decennio mostrano che i processi fisici rilevanti per la comprensione del bilancio di energia nelle atmosfere stellari avvengono a scale spaziali e temporali, e in regioni della stella, non osservate con la strumentazione ora disponibile, motivando lo sviluppo di tecniche di studio e la realizzazione di telescopi di futura generazione operanti da Terra e dallo spazio. In questo contesto, la comunità nazionale negli ultimi anni ha attivamente partecipato allo studio di fattibilità del telescopio **Telescopio Solare Europeo *EST***, promosso dalla comunità astrofisica solare europea raccolta in EAST (European Association for Solar Telescopes) e incluso nella Roadmap 2016 ESFRI (European Strategy Forum for Reserch Infrastructures). EST **effettuerà osservazioni spettropolarimetriche di elevata precisione dal vicino ultravioletto al vicino infrarosso migliorando significativamente la nostra comprensione del campo magnetico solare e delle sue relazioni con l'eliosfera e la Terra.**

Spostando l'attenzione dal Sole agli effetti dell'attività solare e del vento solare sullo spazio circumterrestre, è bene menzionare che il radar ionosferico a guida italiana, installato nel 2013 presso la base Concordia in Antartide, continuerà a fornire regolarmente osservazioni. Questo radar fa parte della catena internazionale ***SuperDARN*** (Super Dual Auroral Radar Network), dedicata allo studio della ionosfera ad alta latitudine, per la comprensione dei processi dello spazio circumterrestre e nel contesto dello Space Weather. E' in corso di installazione un secondo radar a guida italiana, sempre presso la base di Concordia, che andrà a completare la catena SuperDARN facendo coppia con quello della base cinese di Zhongshang. Questa attività è finanziata dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA). Sempre in quest'ambito, l'osservatorio **S.V.I.R.CO** (Studio Variazioni Intensità Raggi Cosmici) continuerà ad effettuare misure della componente secondaria nucleonica del flusso di raggi cosmici. Nel triennio di riferimento continueranno altresì **le osservazioni solari sinottiche a disco intero a varie bande spettrali** effettuate presso gli Osservatori di Catania e Roma, con la finalità di acquisire informazioni necessarie per gli studi sulla variabilità solare e sui processi di innesco dei fenomeni che determinano lo Space Weather. Tali osservazioni saranno anche estese con l'uso del nuovo telescopio robotico SAMM in avanzata fase di realizzazione.

Al fianco della suddetta attività si deve menzionare la partecipazione della comunità INAF interessata allo studio delle proprietà dei plasmi spaziali alle attività scientifiche relative alla missione cinese ***CSES*** nell'ambito della collaborazione Limadou (CNSA-ASI). Il lancio del satellite ***CSES*** è previsto nel luglio/agosto 2017. Il crescente impegno dell'INAF nella programmazione strumentale e scientifica della costellazione CSES permetterà l'accesso a dati di plasma e campi magnetici ed elettrici per studi di accoppiamento magnetosfera-ionosfera e per integrare le osservazioni relative alla penetrazione dei raggi cosmici nell'ambiente terrestre con misure in una regione poco esplorata.

I ricercatori dell'INAF sono anche coinvolti in proposte per missioni di esplorazione del Sistema Solare in fase di approvazione che includono strumentazione per lo Space Weather Planetario, come le missioni sottomesse all'ESA nel 2016 in seguito alla call M5, ESCAPE e Alfven. I ricercatori dell'INAF partecipano alla missione THOR (Turbulent Heating ObsereR), candidata nell'ambito della selezione per la futura missione M4 dell'ESA. Si è poi partecipato sia ad una proposta (LUCIANUS) in risposta alla call ESA SysNova per una missione dedicata allo studio dell'ambiente Lunare, sia ad una proposta NASA di uno spettrometro di massa per la missione Coreana KPLO.

Continueranno le osservazioni da Terra dell'emissione esosferica di sodio in diversi ambienti planetari come Mercurio e le lune gioviane con telescopi Solari (THEMIS) e notturni. Continuerà e si intensificherà l'attività di modellistica teorica, in previsione di nuovi dati osservativi dalle prossime missioni (BepiColombo e Solar Orbiter), e si potenzieranno le attività di simulazione in laboratorio per studiare l'effetto dell'impatto di plasmi energetici su analoghi planetari.

### *Obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio – Planetologia*

#### Le Missioni di Esplorazione

m) Nel prossimo triennio la comunità continuerà a essere fortemente impegnata nelle attività relative a missioni in fase operativa (***Dawn, Cassini, Juno, Gaia, Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Express, ExoMars, Hayabusa 2***) e in preparazione (***BepiColombo*** e ***Juice***).
La missione NASA ***Dawn*** ha già visitato Vesta ed è in orbita intorno a Cerere dal gennaio 2015. L' INAF partecipa alla missione a livello di Co-I e con la responsabilità di uno dei tre strumenti scientifici di bordo (lo spettrometro VIR), con finanziamenti importanti da parte dell'ASI. La NASA ha esteso la missione almeno per altri due anni, dedicati all'osservazione di Cerere.

Anche la sonda ***Cassini*** ha ricevuto un'ulteriore estensione fino a settembre 2017, quando terminerà la sua vita operativa penetrando nell'atmosfera di Saturno. Per quel che riguarda la missione ***Cassini***, l'INAF fa parte dei team scientifici di alcuni strumenti (RADAR, Radio Science, VIMS), ha inoltre il coordinamento scientifico per la parte italiana (stabilito a Roma) ed ha contribuito alla strumentazione a bordo della sonda (canale visibile strumento VIMS).

Nel luglio 2016 la missione NASA ***JUNO*** è entrata nell'orbita di Giove. In accordo con l'attuale piano di missione le osservazioni del pianeta si protrarranno fino al 2019. L'INAF partecipa con uno strumento a PI-ship Italiana, JIRAM (uno spettrometro a immagine nel vicino e medio infrarosso), i cui obiettivi primari sono lo studio delle aurore e dell'atmosfera gioviana.

***Gaia***, lanciata nel 2013, migliorerà di un fattore 100 la nostra conoscenza delle orbite degli asteroidi, ivi compresi quelli su orbite a rischio di impatto col nostro pianeta, e fornirà dati fisici fondamentali (proprietà rotazionali, composizione) e le prime misure accurate di massa e densità per un campione importante della popolazione. L'INAF riveste un ruolo fondamentale nel Data Processing and Analysis Consortium (DPAC), il consorzio europeo che si occupa della riduzione dei dati della missione.

Tre missioni spaziali stanno fornendo dati su Marte: ***Mars Reconnaissance Orbiter, Mars Express e ExoMars TGO***. ***Mars Reconnaissance Orbiter***, missione NASA operativa dal 2005, vede una partecipazione scientifica INAF nell'esperimento a guida italiana SHARAD. La missione ESA ***Mars Express*** è operativa a Marte dal 2004 e continua tutt'ora a raccogliere preziose informazioni sul pianeta rosso; gli obiettivi scientifici della missione sono lo studio dell'atmosfera, della superficie e del sottosuolo del pianeta. Due dei sette esperimenti a bordo (OMEGA e ASPERA3) vedono un'importante partecipazione INAF, e altri due (PFS e MARSIS) hanno PI dell'INAF. É in fase operativa/realizzativa il programma per l'esplorazione di Marte ***ExoMars***, che è strutturato in due sonde: la prima, lanciata nel 2016, composta da un orbiter (TGO - Trace Gas Orbiter) attualmente operativo ed un lander denominato Schiaparelli, e la seconda che verrà lanciata nel 2020 contenente come elementi primari di missione un Rover, con strumenti dedicati all'esobiologia, ed una stazione fissa al suolo. In entrambe le missioni è rilevante il

contributo di diversi gruppi di ricercatori dell'INAF con ruoli di responsabilità in tutti gli elementi di missione: la stereocamera (CASSIS) e lo spettrometro (NOMAD) a bordo del TGO sono entrambi con Co-PIship INAF, così come il Dust Complex a bordo della stazione fissa di ExoMars 2020. La stazione meteo DREAMS, a bordo di Schiaparelli e lo spettrometro miniaturizzato MaMISS, strumento completamente italiano inserito nel trapano, a bordo del rover di ***ExoMars*** 2020 hanno la PI-ship in INAF.

Nel 2018 è previsto il lancio di ***BepiColombo***, missione "cornerstone" ESA e JAXA per lo studio di Mercurio, con due satelliti che orbiteranno intorno al pianeta. La missione è progettata per studiare la composizione, la geofisica, l'atmosfera, la magnetosfera e la storia di Mercurio ed infine anche fornire un test della teoria della relatività con una accuratezza mai raggiunta in precedenza. Il contributo dell'INAF è rilevante attraverso gli esperimenti a guida INAF: oltre a SERENA (vedi sez. …), **SIMBIOSYS** (una suite di strumenti che combina una camera ad alta risoluzione, una stereocamera e uno spettrometro ad immagine per lo studio della superficie del pianeta dal punto di vista della sua composizione e geologia), e **ISA** (un accelerometro per rilevare le accelerazioni di origine non gravitazionale agenti sul satellite). A guida italiana è anche **MORE**, lo strumento di radio scienza dedicato allo studio del campo gravitazionale di Mercurio e alle verifiche della relatività generale.

Nel prossimo triennio, inoltre, sono previste due missioni di sample return da asteroidi primitivi, la missione NASA ***OSIRIS-Rex*** e la missione JAXA ***Hayabusa* 2.** Entrambe le missioni raggiungeranno i loro targets, i NEO Bennu e Ryugu (rispettivamente per ***Osiris Rex*** e ***Hayabusa 2***) nell'estate del 2018. È previsto un grande coinvolgimento della comunità INAF, che ha attivamente partecipato alla definizione degli obiettivi scientifici e della strumentazione di bordo, nella fase di global mapping e local mapping per lo studio delle caratteristiche a grande scala degli oggetti e per la scelta dei siti da cui prelevare i campioni da riportare a Terra.

Il lancio di ***JUICE***, missione ESA che esplorerà il sistema di Giove, è invece previsto per il 2022. Lo scopo principale di ***JUIC***E è quello di studiare Giove e le sue lune ghiacciate, con particolare enfasi per Ganimede, Callisto ed Europa, dove potenzialmente esistono strati sottosuperficiali di acqua mantenuta allo stato liquido su tempi geologici. A bordo di ***JUICE*** vi saranno anche due strumenti con forte partecipazione di ricercatori dell'ente, la camera JANUS e lo spettrometro a immagine MAJIS (a co-pi-ship INAF).

Quanto alle attività legate a **missioni future non ancora approvate**, i ricercatori dell'INAF sono coinvolti in un ampio spettro di proposte con le maggiori agenzie internazionali (NASA, ESA e JAXA) per missioni di esplorazione del Sistema Solare, come le missioni NASA di Comet Sample Return, di esplorazione di Venere (VERITAS) e ARM (Asteroid Redirect Mission), le missioni JAXA dedicata alla caratterizzazione e sample return sia del satellite di Marte Phobos (Martian Moon eXplorer) sia di un asteroide Troiano (Solar Power Sail Mission) o le missioni sottomesse all'ESA nel 2016 in seguito alla call M5, come Castalia. L'INAF partecipa inoltre allo studio NASA per future missioni a Urano e Nettuno con uno dei due rappresentanti europei nominati da ESA, mentre in parallelo ricercatori INAF sono impegnati a più livelli nella proposta per un analogo studio europeo in risposta al bando ESA del 2016 per nuove idee scientifiche per future missioni spaziali. Infine, i ricercatori INAF stanno collaborando sinergicamente con le comunità esoplanetarie italiana ed europea coinvolte nella missione ARIEL (Atmospheric Remote-sensing Exoplanet Large-survey), candidata nell'ambito della selezione per la futura missione M4 dell'ESA, contribuendo alla definizione della missione sia dal punto di vista strumentale-tecnologico che da quello scientifico (studio delle atmosfere e della formazione planetaria) grazie al know-how derivato dallo studio del Sistema Solare.

### Le osservazioni da Terra

Per quanto riguarda le **osservazioni da Terra**, proseguiranno le osservazioni e la modellizzazione di piccoli corpi, pianeti e satelliti del Sistema Solare. A partire da osservazioni con telescopi di medie e grandi dimensioni (TNG, LBT, VLT, etc) verranno monitorati e analizzati eventi "time-critical" e transienti, e proseguirà lo studio delle caratteristiche fisiche e dinamiche e dei processi che le modificano.

Proseguiranno anche le osservazioni di pianeti e satelliti, analoghe a quelle effettuate tramite gli osservatori NASA-IRTF e Subaru a Mauna Kea (Saturno e Urano nel vicino infrarosso, Vesta nell'infrarosso termico, occultazioni stellari di Ganimede nel visibile e vicino infrarosso).

**La planetologia italiana fornisce poi un contributo fondamentale allo studio degli oggetti con orbite molto vicine alla terra** (Near Earth objects, NEO): in particolare va citato il progetto **NeoDys** (Università di Pisa, IAPS Roma), finanziato in parte dall'ESA nell'ambito del programma SSA (Space Situational Awareness), che si occupa del monitoraggio delle orbite degli asteroidi che possono passare vicino al nostro pianeta, e il progetto **NEOShield-2** (2015-2017) finanziato nell'ambito del programma EU Horizon 2020 al fine di studiare tecnologie e strumenti per sviluppare missioni spaziali a NEO potenzialmente pericolosi per il nostro pianeta.

**Ricercatori dell'INAF sono anche attivi nel campo dell'osservazione di meteore**, che possono portare anche al ricupero di meteoriti appena cadute, e il prossimo triennio vedrà sicuramente un incremento di questo tipo di studi. L'interesse si è concretizzato di recente nella partecipazione al progetto nazionale in contesto internazionale **PRISMA** (Prima Rete Italiana per la Sorveglianza sistematica di Meteore e Atmosfera), a cui partecipano, oltre a varie strutture INAF, università ed altre entità didattico/divulgative sul territorio. Esiste poi una collaborazione con l'INFN che riguarda lo sviluppo di rivelatori di fenomeni transienti in atmosfera nell'UV, da installare sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Nel 2017 dovrebbe poi essere collocato uno strumento, che si chiama Mini-EUSO, sul modulo russo dell'ISS, come precursore di una possibile missione molto più ambiziosa (un telescopio da 2 metri da piazzare sul modulo giapponese).

### Ricerca teorica e astrofisica di laboratorio

**Nel prossimo triennio prevediamo che i filoni di ricerca teorica già attivi riceveranno un ulteriore forte impulso grazie anche alla quantità di nuovi dati arrivati soprattutto con le missioni di esplorazione**. **Gli esperimenti a bordo delle missioni di esplorazione del Sistema Solare producono una grande quantità di dati che richiedono, per il loro sfruttamento, uno sforzo che si prolunga ben oltre la fine della fase operativa della missione**. La fase di interpretazione dei dati, che viene dopo la fase di prima analisi degli stessi, è quella in cui si cerca di fornire risposte alle domande fondamentali, ed è fondamentale per sfruttare appieno le potenzialità di una missione, in particolare per l'analisi ed interpretazione dei dati ottenuti dagli strumenti che vedono ricercatori INAF con ruoli di responsabilità. Questa fase richiede anche attività di laboratorio e di modellistica, e normalmente vede occupata la comunità per alcuni anni dopo la fine di una missione. Nel dicembre 2014 e nel settembre 2016 hanno avuto termine rispettivamente le fasi operative della missione Venus Express e di Rosetta, ma l'impegno dei ricercatori INAF non è terminato con la fine delle missioni, in quanto l'ESA ha richiesto il contributo per una attività di *enhanced archiving* che prevede la consegna di prodotti di ordine superiore al semplice dato calibrato. Questa attività è in corso per quanto riguarda Venus Express ed è prevista per un triennio dopo la fine della missione nominale di Rosetta (settembre 2016 – settembre 2019). A complemento ed estensione di queste attività, i filoni di ricerca teorica continueranno a fornire un contributo chiave alla identificazione delle misure mancanti per il pieno sfruttamento scientifico dei dati già acquisiti o in corso di acquisizione, alla definizione degli obiettivi scientifici di future missioni e alla creazione di metodi, know-how e strumenti applicabili allo studio dei pianeti extrasolari.

L'interpretazione dei dati ottenuti da osservazioni da Terra nello studio delle popolazioni dei piccoli corpi si avvale invece di metodi statistici e di modellizzazione dei possibili processi fisici che hanno modificato la popolazione iniziale. Gruppi INAF sono attivi nel portare avanti studi teorici che riguardano principalmente la simulazione della formazione del Sistema Solare e dell'evoluzione dinamica delle varie popolazioni dei piccoli corpi e la modellizzazione delle strutture, delle densità e del comportamento fisico dei piccoli corpi alle diverse distanze dal Sole in seguito a collisioni o passaggi ravvicinati al Sole o ai pianeti. **Per far fronte al sempre crescente livello di dettaglio dei modelli numerici e alla complessità e dimensione dei dati cui sono applicati, nell'arco del prossimo triennio per queste attività teoriche è previsto un crescente impegno nell'ambito**

**dell'astrofisica computazionale e del calcolo avanzato**, in modo da aggiornare gli strumenti utilizzati alle potenzialità delle infrastrutture messe a disposizione da INAF.

**Anche per l'attività di laboratorio, come per la ricerca teorica, prevediamo nei prossimi anni, oltre alla continuazione delle attività già in corso, un forte impulso e l'apertura di nuovi filoni**.

Molte delle future missioni di esplorazione prevedono la raccolta e il rientro a Terra di materiale extraterrestre. L'Italia ha acquisito un'ottima esperienza nell'ambito dell'analisi in laboratorio di materiale cometario ed è coinvolta in missioni e proposte di missioni sample return (ad esempio MMX/JAXA, ***Osiris-REX***/NASA, ***Hayabusa 2***/JAXA, Solar Power Sail/JAXA, Comet Sample Return/NASA). La *raccolta di materiale extraterrestre* può avvenire, con costi molto ridotti, anche in stratosfera terrestre con piattaforme stratosferiche, come lo strumento DUSTER, progettato per la raccolta di polvere in alta stratosfera. Diversi gruppi di ricerca italiani partecipano con collaborazioni internazionali di alto livello ai programmi di raccolta e analisi di materiale extraterrestre, DUSTER, Stardust/NASA, IDPs/NASA, Hayabusa/JAXA e micro-meteoriti in Antartide/PNRA. Per mantenere elevata la rappresentatività che l'Italia ha conquistato nell'ambito della raccolta, manipolazione, cura, e analisi in laboratorio di materiale extraterrestre, è importante sostenere l'operatività di strumentazione di laboratori all'avanguardia, con prestazioni molto superiori a quelle degli strumenti per l'analisi in situ. Gli sviluppi tecnologici associati alla produzione di strumenti quali DUSTER potranno anche essere sfruttati per future esplorazioni in situ di pianeti e di satelliti di tipo terrestre.

### *Professionalità necessarie*

Alcune professionalità necessarie e spesso indispensabili per lo sviluppo delle tematiche di cui ci occupiamo possono essere considerate carenti nella nostra comunità, in quanto tipicamente presenti solo come personale non permanente e legato a uno specifico progetto. Naturalmente, anche professionalità attualmente ben rappresentate possono avere bisogno di un ricambio generazionale oppure di un potenziamento numerico. L'elenco che segue si riferisce alle sole professionalità mancanti.

#### Settore fisica solare ed eliofisica

- Esperti di modellistica e interpretazione dei processi HD e MHD (convezione ed emersione campi magnetici, struttura delle regioni magnetiche chiuse e aperte dell'atmosfera solare, eventi dinamici ad alta energia)
- esperti di tecniche osservative da terra e dallo spazio
- esperti di tecniche di analisi di dati acquisiti da terra e dallo spazio
- esperti di progettazione e integrazione di strumentazione, per sviluppo di nuova strumentazione e test di laboratorio.

#### Settore planetologia

- Teorici ed esperti di modellistica
    - fisica delle atmosfere
    - formazione ed evoluzione planetaria
    - dinamica del Sistema Solare
    - trasferimento radiativo in aerosol atmosferici e chiome cometarie
- Geologi planetari dedicati allo studio dei processi esogeni ed endogeni agenti sui pianeti e corpi minori del Sistema Solare
- esperti di laboratorio per:
    - sviluppo di nuova strumentazione e test
    - simulazione di ambienti planetari
- tecnologi per la gestione del P/L di missioni planetarie: pianificazione operazioni, controllo dello strumento in volo, gestione dati di telemetria (HouseKeeping e dati scientifici)
- esperti nel campo delle tecnologie informatiche per la gestione e lo sfruttamento delle grandi basi di dati generate dalle missioni spaziali.

Astrofisica Relativistica e Particellare

*Le domande fondamentali*

**La fisica dell'accrescimento**

Le stelle compatte (nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri) sono alla base di gran parte delle sorgenti celesti studiate dell'astrofisica relativistica e delle alte energie. Sebbene sia ben noto da decenni che l'accrescimento di materia costituisce uno dei processi più rilevanti per la produzione dell'emissione osservata da questi oggetti su diverse scale di luminosità, energia, e tempi scala caratteristici, la fisica dell'accrescimento costituisce ancora un importante oggetto di studio. I dettagli dell'interazione tra flusso di materia e l'oggetto compatto, spesso dotato di un campo magnetico dinamicamente importante, i processi radiativi termici e non termici, il feedback tra emissione ed accrescimento, l'evoluzione dei sistemi binari di massa stellare e dei nuclei galattici attivi sono oggetto di approfonditi studi da parte di diversi gruppi di ricercatori INAF, sia dal punto di vista teorico che osservativo.

**Accelerazione di particelle, produzione di getti relativistici e origine dei raggi cosmici**

Uno dei principali campi di attività riguarda lo studio dell'accelerazione di particelle in sorgenti astrofisiche di varia natura e dimensione. Getti relativistici sono emessi da buchi neri di massa stellare in sistemi binari e da buchi neri con masse fino a $10^9$ masse solari al centro di galassie attive, ed in sorgenti transienti come i lampi gamma. La natura dei getti ed i meccanismi di accelerazione in buchi neri e stelle di neutroni non sono ancora compresi pienamente. Pulsar giovani ed energetiche emettono un vento relativistico che è inizialmente dominato dall'energia magnetica e non è ancora stato chiarito come, a distanze maggiori, questa sia trasformata in energia cinetica delle particelle. Lo studio degli acceleratori di particelle è ovviamente legato alla comprensione dell'origine dei raggi cosmici. Uno dei principali campi di attività riguarda lo studio dell'accelerazione di particelle in resti di supernovae e la loro connessione con l'origine dei raggi cosmici.

L'origine dei raggi cosmici viene indagata anche alle energie estreme (>$10^{17}$ eV) esplorando il loro spettro di energia, composizione ed in particolare la loro anisotropia, sia su larga scala che da sorgenti.

**Comportamento della materia in regime di gravità forte**

La materia in accrescimento intorno a stelle di neutroni e buchi neri raggiunge regioni dello spazio molto vicine all'oggetto compatto e quindi costituisce uno strumento potente per rivelare effetti di Relatività Generale (GR) in regime di campo forte. Il vantaggio di poter arrivare a pochi chilometri dalla superficie di una stella di neutroni o dall'orizzonte degli eventi di un buco nero è controbilanciato dalla difficoltà di separare gli effetti dell'accrescimento da quelli di GR. Due approcci principali al problema vengono seguiti: lo studio dello spettro di emissione, che viene modificato in modo complesso da effetti gravitazionali e lo studio della variabilità rapida, che produce segnali quasi-coerenti che possono essere associati a frequenze caratteristiche in un campo gravitazionale.

**Ricerca delle controparti elettromagnetiche delle sorgenti di onde gravitazionali e di neutrini**

Nella primavera del 2016 è stata annunciata da parte del consorzio LIGO-VIRGO la prima rivelazione diretta di onde gravitazionali emesse dalla coalescenza di due buchi neri. Questa scoperta, che apre un canale completamente nuovo di informazione astrofisica, ha un'enorme rilevanza per i nostri studi dell'Universo. Inoltre grandi progressi sono stati compiuti negli ultimi anni dai rivelatori per neutrini come IceCube ed AMANDA, che hanno portato alla scoperta di neutrini al PeV di origine cosmica le cui sorgenti astrofisiche (acceleratori di raggi cosmici di altissima energia) non sono ancora identificate. La ricerca e lo studio delle controparti elettromagnetiche associate alle sorgenti di onde gravitazionali e di neutrini è un campo in rapidissimo sviluppo e in cui INAF sta svolgendo un ruolo di rilievo in primo luogo dal punto di vista osservativo, ma anche mediante la modellizzazione ed

interpretazione astrofisica. L'INAF ha firmato un Memorandum of Understanding (MoU) con il consorzio LIGO-VIRGO per poter utilizzare tutte le facilities osservative a cui ha accesso per la ricerca di controparti elettromagnetiche dei segnali di onde gravitazionali nella fase in cui i relativi dati non sono ancora distribuiti pubblicamente. Analoghi MoU con il consorzio LIGO-VIRGO sono stati firmati da ricercatori INAF per l'utilizzo dei satelliti AGILE, INTEGRAL e Swift. In questo contesto sono state già eseguite importanti campagne osservative per i primi segnali rivelati da LIGO che hanno portato a numerose pubblicazioni e dimostrano come la comunità INAF sarà in prima linea nei prossimi anni in questo nuovo campo di ricerca. Inoltre, ricercatori dell'INAF sono impegnati nell'esperimento Pierre Auger, che può osservare neutrini di alta energia prodotti in merger di buchi neri in sistemi binari. Dalla loro mancata rivelazione sono già stati derivati i primi limiti alla quantità di energia irradiata in neutrini.

### Le sorgenti di alta energia come laboratori per la fisica fondamentale

Lo studio dei buchi neri e delle stelle di neutroni magnetizzate (pulsar e magnetar) ha anche una grande rilevanza per alcuni degli argomenti più caldi della fisica fondamentale. Ad esempio la determinazione dell'equazione di stato a densità super nucleari che governa la struttura delle stelle di neutroni, i test di teorie alternative della gravità, e lo studio della fisica dei plasmi in condizioni estreme di densità e magnetizzazione. Lo studio degli oggetti compatti è quindi uno strumento unico per indagare su problematiche di fisica fondamentale che non possono essere riprodotte in laboratorio, e si basa spesso su osservazioni effettuate in più bande dello spettro elettromagnetico (dal radio all'infrarosso, all'ottico, alla banda X e Gamma), ed alla loro interpretazione teorica. Inoltre osservazioni alle alte energie (X e gamma) permettono di studiare sperimentalmente le previsioni di alcune estensioni dell'attuale modello standard delle particelle, come l'esistenza delle particelle simili all'assione o la rottura dell'invarianza di Lorentz, legata alla gravità quantistica.

#### *Gli strumenti di indagine*

**Studi multi-banda di oggetti compatti galattici ed extragalattici**. Questi studi sono principalmente basati su osservazioni ottenute con in principali satelliti per astronomia X attualmente operativi, quali XMM-Newton, Chandra, NuSTAR, Swift, ed INTEGRAL a cui si aggiungono molto spesso dati acquisiti in altre bande dello spettro elettromagnetico (dal radio all'infrarosso, all'ottico e ultravioletto, e ai raggi gamma).

La problematica dell'accrescimento su oggetti compatti e la espulsione di getti relativistici coinvolge fenomenologie estremamente differenti dal punto di vista osservativo. Basti pensare alle sorgenti blazar, in cui il getto domina il sistema, o alle binarie X e agli AGN in generale, in cui le proprietà di accrescimento e getto sono strettamente legate, anche se su scale spaziali molto differenti; oppure al comportamento della materia nelle vicinanze di buchi neri di taglia intermedia o, per finire, all'ampia fenomenologia legata ai GRB ed alle supernove ad essi a volte associati. Caratteristica comune di questo settore di ricerca è l'estrema dinamicità temporale dei fenomeni studiati, che ha generato lo sviluppo e l'applicazione di specifiche tecniche osservative e strumentali.

Tra le classi con proprietà fisiche estreme sono di particolare interesse le Magnetar, le pulsar, i candidati buchi neri di massa stellare, e le numerose sorgenti X ultraluminose (ULX) osservate in galassie dell'universo locale. La recente scoperta di alcune stelle di neutroni con periodi di rotazione di qualche millisecondo, che compiono transizioni tra stati di pulsar X e radio in risposta a variazioni del tasso di accrescimento di materia, ha provato lo stretto legame evolutivo esistente tra queste classi di sorgenti, aprendo un nuovo canale osservativo dei fenomeni di accrescimento ed eiezione di materia. Alcune pulsar di alto campo magnetico sono state identificate in sorgenti ultraluminose (ULX), estendendo i limiti di luminosità possibili per tali oggetti. Tra le classi di oggetti compatti identificate negli ultimi anni grazie soprattutto al satellite INTEGRAL e oggetto di studi approfonditi da parte di ricercatori INAF spiccano anche i Transienti X veloci con compagna super-gigante (SFXT) e i Transienti X estremamente deboli (VFXT).

**Gamma-ray bursts ed altri fenomeni transienti**. Lo studio dei GRB permette di affrontare una varietà di fenomeni rilevanti per la fisica, l'astrofisica e la cosmologia e vede impegnata una rilevante parte della comunità INAF. Un ruolo fondamentale in questo contesto è svolto dalla missione Swift, che, a diversi anni dal lancio continua a fornire un elevato contributo scientifico nel campo della fisica delle alte energie in generale. L'INAF è direttamente coinvolto nella gestione della missione, che prosegue con la continua attività di rivelazione e caratterizzazione di circa un centinaio di GRB per anno. Inoltre, proseguono le attività di supporto alle missioni INTEGRAL, AGILE e Fermi, soprattutto relative all'analisi in real time di GRB ed altri transienti. In particolare I risultati di queste missioni hanno condotto a studi dettagliati sulla definizione delle varie categorie di eventi di questa natura ed al loro possibile uso come indicatori cosmologici. Negli ultimi anni sono anche state scoperte e studiate sorgenti transienti di diversa natura, come ad esempio quelle dovute alla distruzione mareale di oggetti di varia taglia, da asteroidi a stelle. Gli strumenti Fermi-LAT ed AGILE-GRID hanno rivelato numerosi GRB con emissione fino a decine di GeV. Di grande rilievo per il ruolo dell'INAF nell'ambito dell'ESO sono poi le attività osservative in corso con lo strumento ESO X-shooter dedicate ai GRB, alle SN ed alle galassie ospiti di questi oggetti.

**Accelerazione di particelle in astrofisica e fenomeni non termici.** Importanti risultati sono stati ottenuti nello studio dell'accelerazione "non-lineare" di particelle da shock e delle sue implicazioni sull'amplificazione di campi magnetici agli shock e alla massima energia accelerabile. Altre ricerche sono state orientate, negli ultimi anni, allo studio dell'accelerazione di particelle negli shock delle PWN mediante uso di simulazioni numeriche di tipo magneto-idrodinamico (MHD). Su più grandi scale, negli ammassi di galassie e filamenti, risultati importanti sono stati ottenuti nella fisica dell'accelerazione di particelle e dei fenomeni non termici. Uno dei campi di attività principali riguarda lo studio dell'interazione non lineare fra particelle e turbolenza MHD e l'accelerazione di particelle da shock cosmologici. In questo campo, i dati derivano principalmente da osservazioni in banda radio di ammassi e filamenti (VLA, GMRT, WSRT). Sono stati sviluppati codici per la soluzione delle equazioni della idrodinamica classica e relativistica e della magnetoidrodinamica classica e relativistica sia su griglia statica che su griglia adattiva. Questi hanno permesso di svolgere simulazioni numeriche di flussi relativistici magnetizzati, dinamica a grande scala di getti, processi di dissipazione: instabilità, shocks, riconnessione magnetica, nonché di studiare il trasporto di momento angolare in dischi di accrescimento, la turbolenza magnetorotazionale ed i processi di dinamo connessi.

**Astronomia Gamma dallo spazio**. I risultati ottenuti negli ultimi anni dalle missioni spaziali INTEGRAL, *Fermi* ed AGILE hanno rappresentato una vera rivoluzione nel campo dell'astronomia gamma. INTEGRAL è una missione ESA con grande coinvolgimento di ricercatori INAF (PI-ship dello strumento IBIS, e co-I-ship in SPI e centro dati scientifici), AGILE è una missione interamente italiana mentre *Fermi* è una missione guidata dalla NASA, ma con un grande partecipazione italiano. INTEGRAL ha dato importanti contributi in diversi campi, come lo studio delle popolazioni di sorgenti di raggi X duri galattiche (con la scoperta di nuove classi di sorgenti) ed extragalattiche, nella mappatura delle righe gamma prodotte nel mezzo interstellare, in resti di supernovae, in buchi neri, e nello studio della polarizzazione dei GRB. Fra i più importanti risultati di AGILE menzioniamo: la scoperta di variabilità dalla Crab Nebula, con importanti ripercussioni per la fisica dell'accelerazione di particelle; la scoperta e la caratterizzazione di processi di emissione adronica in diversi resti di SN; la rivelazione e l'annuncio rapido del super-flare del blazar 3C454.3, che ha permesso di effettuare una campagna a multifrequenza di grande precisione; la scoperta di emissione a energie fino a 100 MeV da parte dei Flash Gamma Terrestri che ha avuto un grande impatto sugli studi di fisica dell'atmosfera. L'ultimo catalogo di sorgenti gamma rivelate da *Fermi*, che comprende circa 3000 sorgenti, ha permesso di aprire il campo allo studio delle proprietà statistiche in banda gamma di diverse popolazioni di oggetti astrofisici. I più rilevanti risultati di *Fermi* sono: i limiti alla Dark Matter (DM, sia da emissione isotropa diffusa che da emissione della galassia); la conferma dell'eccesso positrone/elettrone con rilevanti conseguenze sulla sua origine; la scoperta delle "Fermi Bubbles", emissioni gamma probabilmente connesse con l'attività del nucleo della nostra galassia; l'identificazione e lo studio di più di 100 pulsar nuove; la rivelazione di emissione gamma dalle novae, l'osservazione dell'emissione GeV dai Gamma-Ray Burst.

**Astronomia Gamma da terra**. Osservazioni ad energie maggiori di 100 GeV vengono effettuate mediante telescopi a terra (HESS, MAGIC, VERITAS) che sfruttano la luce Cherenkov prodotta nell'atmosfera dagli sciami di particelle inziati da fotoni gamma di alta energia. Ricercatori INAF sono coinvolti nell'esperimento MAGIC e nella costruzione della grande facility internazionale di nuova generazione CTA. Fra i risultati più rilevanti ottenuti recentemente nell'astronomia gamma di alta energia spiccano: la scoperta di pulsazioni della Crab Nebula ad energie fino a 25 GeV; la definizione di importanti limiti osservativi sulla presenza di materia oscura in galassie vicine; lo studio delle Spectral Energy Distribution di molti Nuclei Galattici Attivi e, infine, la possibilità di verificare sperimentalmente le proprietà degli assioni, particelle previste dal modello standard e da diverse sue estensioni. L'astronomia Gamma da terra è realizzabile anche tramite schiere di rivelatori di particelle, tecnica complementare alla rivelazione della luce Cherenkov e che ha visto coinvolti ricercatori INAF nell'esperimento ARGO-YBJ in Tibet e ora nel progetto LHAASO in Cina, la cui presa dati è prevista iniziare nel 2018. La rivelazione delle particelle secondarie delle cascate (principalmente elettroni e muoni) consente un grande campo di vista (circa 2 sr, limitato unicamente dall'assorbimento atmosferico) e un duty cycle teorico del 100%. Nonostante la minore sensibilità e risoluzione angolare, questo costituisce un indubbio vantaggio rispetto alla tecnica Cherenkov nello studio delle sorgenti estese, variabili, sconosciute e nell'all-sky survey.

### *Obiettivi strategici*

In un discorso ad ampio respiro, proiettato negli anni futuri, lo studio degli oggetti compatti galattici ed extragalattici trarrà notevole giovamento dall'attuale sviluppo, con forte coinvolgimento dell'INAF, di missioni e strumenti dedicati alle diverse bande energetiche. Tra questi, vi sono certamente ASTRI e mini-arrays (come passi preliminari e fondamentali del progetto internazionale CTA) nella banda TeV, SRT e SKA nel radio e, con prospettiva molto più lunga, Athena nella banda X, con lo sviluppo di microcalorimetri capaci di garantire una risoluzione spettrale mai raggiunta a queste energie.

Rilevante sarà, inoltre, il contributo della missione eXTP, che ha come obiettivo primario il timing ad alta sensibilità, e dei telescopi Cherenkov (come MAGIC, con ampia partecipazione dell'INAF) di attuale generazione, che consentiranno di proseguire gli studi dei fenomeni di accrescimento e di accelerazione di particelle fino ad altissime energie in varie sorgenti astrofisiche, da binarie X e pulsar ad AGN. La missione Swift, con il suo ricco parco strumenti, sebbene attiva da più di 10 anni, rappresenterà ancora uno strumento insostituibile per la ricerca nel campo dei GRB ma anche per il crescente interesse nei confronti dei transienti di alta energia. Ricercatori dell'INAF sono inoltre coinvolti come Principal Investigators in progetti *in progress* per l'astrofisica delle alte energie quali XIPE, eASTROGAM e THESEUS.

Di particolare interesse ed attualità è la possibilità, tramite osservazioni ad alte energie, di ottenere importanti informazioni sulla natura della materia oscura andando a studiarne i possibili decadimenti in ambienti ad elevato rapporto massa/luminosità. In tal senso, la disponibilità di missioni come NuSTAR, con sensibilità ad energie più alte degli attuali telescopi X, permetterà di ottenere informazioni spettrali più complete per un'ampia gamma di sorgenti. L'osservazione di raggi cosmici nell'ambiente circum-terrestre, con strumenti tipo ISS/AMS, cercherà tracce di questi decadimenti in eventuali eccessi di anti-materia, positroni e anti-protoni. L'osservazione di eccessi di neutrini o assioni (IceCube + osservatori neutrinici, IAXO) dal centro di oggetti massivi opachi ai raggi gamma (il centro del Sole) forniranno ulteriori vincoli.

I ricercatori dell'INAF stanno dando un notevole contributo all'identificazione e ottimizzazione dei progetti primari e secondari di **questi nuovi strumenti e nuove missioni in varie bande dello spettro elettromagnetico** e con varie tecniche osservative (polarimetria X, focalizzazione e rivelazione di raggi X ad energie >50 keV, ottica adattiva per alte risoluzioni angolari da Terra, osservazioni a largo campo tramite innovativi rivelatori al silicio, rivelatori per raggi gamma di bassa energia a grande area, ecc.) e dedicate a classi specifiche di sorgenti (GRB, ecc.). Gruppi di ricerca dell'INAF sono anche coinvolti in LOFAR che sta aprendo una

nuova finestra all'osservazione dell'universo, alle bassissime frequenze radio, e che dovrebbe portare ad una rivoluzione della nostra comprensione dei fenomeni non termici in diversi ambiti astrofisici.

A partire dalla metà del 2018 inizierà ad essere operativo LHAASO, un esperimento multicomponente di nuova generazione che vede la partecipazione di ricercatori INAF nel monitoraggio continuo del cielo Gamma alla ricerca di sorgenti continue e transienti da 100 GeV ai PeV, aprendo per la prima volta l'intervallo di energia tra 100 e 1000 TeV all'osservazione diretta delle sorgenti di raggi cosmici di alta energia. Inoltre LHAASO consentirà lo studio dell'origine, accelerazione e propagazione dei raggi cosmici attraverso la misura dello spettro di energia, composizione chimica e anisotropia della loro componente carica.

L'INAF è altresì coinvolto nella rete EVN, nel progetto di VLBI spaziale con il satellite Radioastron, e nella preparazione per l'Event Horizon Telescope (EHT) con osservazioni radio ad altissima risoluzione spaziale e nella banda millimetrica, nonché nei progetti LAGEOS e LAGEOS II e nella collaborazione internazionale LIGO/Virgo per lo studio delle Onde Gravitazionali.

L'analisi delle Onde Gravitazionali e dei neutrini di alta energia sta entrando nella piena maturità aprendo prospettive di studio della fisica fondamentale estremamente stimolanti. La cosiddetta astronomia a "multi-messenger", dove informazioni di tipo elettromagnetico e non convergeranno nella caratterizzazione astrofisica degli oggetti studiati, appare essere uno dei settori di più promettente sviluppo nei prossimi anni e nel quale un'ampia partecipazione di scienziati del nostro ente è presente sia nel lato strumentale (NTE, VST, e LSST nel prossimo futuro) che di modellizzazione ed interpretazione teorica. In questo contesto, la flessibilità operativa di Swift, così come la continua copertura di quasi tutto il cielo a energie gamma con INTEGRAL ed AGILE, rappresentano ancora un contributo irrinunciabile.

Infine, Gaia ha inaugurato il campo d'indagine dell'Astrometria Relativistica che apre nuovi scenari epistemologici di ricerca e che necessita, parallelamente, di risorse adeguate e complementari a quelle già esistenti o previste. Ad esempio, andrà valutata tutta una nuova gamma di fenomeni astrofisici legati alla natura delle interazioni fondamentali e alla propagazione elettromagnetica nello spazio-tempo (da coniugare a quella locale, alla sorgente e all'osservatore), nonché la modellizzazione ed individuazione del segnale gravitazionale in connessione con il tracciamento inverso della controparte ottica. Ciò prevede potenziali applicazioni anche alla cosmologia.

La regione energetica più estrema (>$10^{17}$ eV) fornisce importantissime informazioni sia nell'ambito della fisica fondamentale che dell'astrofisica particellare. L'Osservatorio Pierre Auger, con la sua tecnica osservativa ibrida, è attivo da più di 10 anni in questo ambito e con il suo upgrade, in fase di costruzione, sarà un apparato insostituibile per la ricerca nello studio delle sorgenti e della propagazione diffusiva dei raggi cosmici di altissima energia, consentendo di valutare e discriminare i diversi modelli di origine della radiazione non termica. INAF è coinvolto, tramite la sua partecipazione all'Osservatorio Pierre Auger, in collaborazioni con LIGO/Virgo (onde gravitazionali), IceCube (neutrini), Telescope Array (raggi cosmici ultra-energetici) che porteranno ulteriori contributi agli studi multi-messenger.

Alle energie estreme, lo studio delle interazioni adroniche è fattibile solo attraverso misure indirette (sciami estesi atmosferici). Sono di sempre maggiore interesse gli studi su processi non standard, come l'esistenza di monopoli o la violazione dell'invarianza di Lorentz ad altissimi $\gamma$L (modifica delle relazioni di dispersione, modifiche alla QED, ecc.), cui scienziati INAF partecipano attivamente attraverso il loro coinvolgimento nell'Osservatorio Pierre Auger ed in particolare nel suo upgrade, previsto per i prossimi 10 anni. Infine, lo sviluppo delle tecniche radio si estende anche ad energie superiori a $10^{17}$ eV con l'esperimento Auger-AERA, che sfrutta un sistema di antenne per misurare brevi impulsi radio emessi dagli sciami prodotti dai raggi cosmici nel range di frequenza da 30 a 80 MHz.

| Strumento | Tecnica/Area | Periodo | Risultati attesi | Partecipazione italiana |
|---|---|---|---|---|
| **Strumenti operanti durante il periodo 2017-2019** | | | | |
| **SRT** | Radio | 2018- | Pulsars, radio-galassie, blazars, FRBs, GWs, transienti radio, XRBs | INAF |
| **ALMA** | millimetric | 2017- | GRB mm afterglows e galassie ospiti; radio-galassie | ESO |
| **HST** | Ottico, UV, IR | 2017- | Follow-up accurato di sorgenti transienti deboli e loro galassie ospiti | NASA-ESA |
| **REM** | Tele. robotico – imaging ottico/NIR | 2017- | Follow-up transienti, monitoraggio di sorgenti | INAF |
| **VLT – FORS e XS** | Immagini,Spettri/ Caratterizzazione | 2017- | Identificazione di sorgenti di alta energia, controparti di GRB e GW | ESO Partecipazione INAF al GTO |
| **LBT** | Immagini,Spettri/ Caratterizzazione | 2017- | Identificazione di sorgenti di alta energia, controparti di GRB e GW | INAF con contributi altri partner LBT |
| **TNG+NOT** | Immagini,Spettri/ Caratterizzazione | 2017- | Identificazione di sorgenti di alta energia, controparti di GRB e GW | INAF |
| **JWST** | Immagini,Spettri/ Caratterizzazione | 2017- | Ricerca di Supernovae, galassie ospiti di GRB, statistica di AGN | NASA-ESA |
| **Chandra** | X-rays | 2017- | Osservazioni ad alta sensibilità di sorgenti X deboli, studio di getti, surveys; Ricerca e follow-up di transienti X | NASA PI e co-I INAF di numerosi proposals |
| **XMM** | X-rays, UV-opt | 2017- | Osservazioni ad alta sensibilità di sorgenti X deboli, studi spazialmente e temporalmente risolti, surveys; Ricerca e follow-up di transienti X | ESA Contributo INAF:Co-I EPIC, Calibrazioni, PI e co-I di numerosi proposals |
| **Swift** | X-rays, UV-opt | 2017- | Ricerca e follow-up di transienti X e controparti ottico-UV; | NASA-UK-ASI Contributo INAF: XRT–BAT software e data analisi |
| **NuSTAR** | Hard X-rays | 2017- | Osservazioni accurate in hard X di sorgenti di alta energia e righe di emissione nucleari in novae, SNe | NASA Partecipazione INAF a calibrazioni e data analysis SW |
| **ASTROSAT** | Timing e spettroscopia X | 2017- | Analisi temporale e spettrale a larga banda di sorgenti galattiche ed extragalattiche | India Partecipazione INAF: analisi dati |
| **INTEGRAL** | Imaging e spettroscopia hard X | 2017- | Ricerca, caratterizzazione e studio di sorgenti di alta energia, incluse GW e GRB | ESA Partecipazione INAF:PI IBIS e co-I di ISDC e SPI, PI e co-I INAF di numerosi proposals |
| **AGILE** | Astronomia gamma MeV-GeV e hard X-rays | 2017- | Monitoraggio di blazars e sorgenti galattiche, TGF, GRBs, controparti e.m. GW | ASI-INAF-INFN |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **FERMI** | Astronomia MeV-GeV | 2017- | Studio sorgenti galattiche ed extragalattiche, studio di popolazioni, funzioni di luminosità. GRB, ricerca di dark matter | NASA-INAF-INFN<br>Contributo INAF: analisi ed interpretazione dati, software |
| **MAGIC** | Astronomia TeV | 2017- | Rivelazione e follow-up di sorgenti TeV, ricerca di controparti TeV di GRB e GW | INFN-INAF come parte del consorzio |
| **Strumenti futuri** | | | | |
| **SKA** | radio | 2025- | Osservazioni profonde di radiosorgenti deboli a grandissimo campo; controparti radio di transienti; pulsars | INAF come parte del consorzio |
| **ATHENA** | Spettroscopia X | 2025- | Spettri di sorgenti di alta energia, riga del ferro, BHs, cosmologia | ESA.<br>Partecipazione INAF:Co-I di X-IFU, working group scientifici |
| **SVOM** | Imaging hard X | 2020- | GRB e sorgenti di alta energia | CAS (Cina)-CNES(Francia).<br>Contributo INAF: follow-up di GRB |
| **CTA** | Astronomia TeV | 2025- | Rivelazione e follow-up di sorgenti TeV, ricerca di controparti TeV di GRB e GW | INAF (è parte del consorzio) |
| **IXPE** | Satelliti per polarimetria X | 2020- | Polarimetria X di sorgenti non termiche, temporalmente e spazialmente risolta | NASA, INAF |
| **EUCLID** | Ottico-IR | 2025- | Determinazione del redshift di una quantità enorme di transienti dal radio all'X fino a z = 2 | ESA<br>Coinvolgimento INAF: Co-I |
| **HXMT** | X-ray | 2017-2020 | Analisi temporale e spettroscopia di sorgenti X tra 0.1-250 keV. Survey (E>20 keV) | Cina.Coinvolgimento INAF: calibrazioni, partecipazione come Co-I a diverse proposte scientifiche |

## Ricerca di Base nel campo delle Tecnologie Astronomiche

La ricerca in campo astronomico è stata storicamente ed è tuttora sostanzialmente ricerca di base, con essenziali ricadute culturali. Non fa eccezione la ricerca sulle tecnologie dedicate all'Astronomia, su cui INAF sin dalla sua nascita ha investito riguardevoli risorse come dimostrato dalle numerose partecipazioni, spesso con ruoli di leadership, agli strumenti citati nei paragrafi precedenti che sono fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi scientifici e, in ultima analisi, della missione istituzionale di INAF. Tale investimento ha portato alla formazione in INAF di alte professionalità in tutti i settori della strumentazione astronomica, dalla progettazione alla realizzazione fino all'integrazione, l'ottimizzazione ed il supporto alle osservazioni astronomiche e loro analisi. La continua evoluzione nel campo dell'astronomia osservativa, sia da terra che dallo spazio, ha determinato, e determina, la necessità di costruire strumenti sempre più complessi per soddisfare le esigenze dei nuovi esperimenti, che richiedono lo sviluppo di tecnologie e materiali spesso ex novo. Grazie alla presenza di numerosi gruppi operanti nel settore tecnologico all'interno della comunità, INAF partecipa a queste nuove sfide ricoprendo il ruolo di partner fondamentale all'interno di ogni consorzio internazionale. Tali partecipazioni, non solo permettono la realizzazione di nuovi

strumenti, ma in molti casi garantiscono successivamente alla comunità INAF di avere accesso al tempo osservativo garantito, fondamentale per il compimento di programmi astronomici di ampio respiro.

Ciò non di meno, l'importanza della ricerca in campo tecnologico è cresciuta anche dal punto di vista dei suoi aspetti applicativi diretti: alcuni esempi immediati sono la tempestiva osservazione di eventi di attività solare potenzialmente pericolosi per le telecomunicazioni, il monitoraggio sistematico e continuo del cielo per l'identificazione di asteroidi su orbite a rischio di collisione con la Terra, lo studio della possibilità di monitorare l'attività dei vulcani con i muoni, e lo sviluppo di metodi computazionali sofisticati, riutilizzati anche in ambiti diversi dalla ricerca astronomica.

Per queste ragioni, l'INAF porta avanti progetti di ricerca di base ed applicata nel settore delle tecnologie astronomiche, sia nei propri laboratori che in collaborazione con l'Industria Nazionale ed altri Enti di Ricerca. Questi progetti, pur orientati alla strumentazione astronomica, hanno risvolti applicativi diretti anche in altri settori, al punto che l'Istituto statutariamente ne promuove attivamente la diffusione e la valorizzazione, tramite attività volte al supporto del trasferimento tecnologico. La linea di ricerca tecnologica dell'INAF abbraccia attività estremamente multidisciplinari che spaziano dalla scienza ed ingegneria dei materiali, ai modelli matematici per il processo di immagine, allo studio della turbolenza atmosferica e la correzione dei suoi effetti nelle immagini, alla concentrazione, rivelazione ed analisi della radiazione a tutte le lunghezze d'onda.

Nel campo della Ricerca Tecnologica Applicata lo sviluppo è normalmente contemperato dall'esigenza di abbattere i rischi connessi all'utilizzo di tecnologie non sufficientemente mature nella realizzazione di strumentazione astronomica innovativa. Per questa ragione, si investe in programmi di R&D, paralleli alla costruzione della strumentazione, finalizzati all'innovazione e allo sviluppo di nuove tecnologie, da sottoporre poi a collaudo per la verifica delle prestazioni e dell'affidabilità, che possano essere implementate in progetti internazionali di punta. In questo contesto è essenziale la collaborazione con l'Industria Nazionale, anche attraverso le opportunità di partnership di reti pubblico-private finanziate dalla Comunità Europea e/o dal Governo Italiano, quali la partecipazione a Distretti Tecnologici e Clusters fra Università e altri Enti di Ricerca, PMI e grandi imprese.

Nel campo della Ricerca Tecnologica di Base gli studi si concentrano sulle tecnologie, sui dispositivi e sui processi in embrione d'interesse per la strumentazione astronomica futura ma ancora non esistenti, neppure a livello prototipale. Questa ricerca si sviluppa internamente nei laboratori dell'INAF e, in molti casi, viene poi proposta all'Industria Nazionale per l'ingegnerizzazione. Per questa attività è importante sottolineare il fondamentale ruolo della interdisciplinarità e della collaborazione con altri Enti di Ricerca (e.g. INFN, INGV e CNR) ed Università, che permettono di mettere a fattore comune competenze, tecnologie, risorse ed infrastrutture, elementi essenziali per lo sviluppo e che, talvolta, porta fino all'invenzione di nuovi dispositivi. La Ricerca di Base (e l'attività R&D in particolare) è intrinsecamente un'attività che non "garantisce" risultati, soprattutto immediati, ma è la linfa vitale del progresso scientifico e tecnologico. La possibilità di raggiungere risultati scientifici di "breakthrough" è nella gran parte dei casi legata allo sviluppo di tecnologie che permettono di realizzare strumentazione innovativa. L'INAF investe da sempre in questo settore, in taluni casi raggiungendo l'eccellenza e la leadership europea o mondiale.

### *Strumentazione Astronomica*

La produzione di risultati scientifici di eccellenza è sempre più strettamente legata alla qualità e versatilità della strumentazione astronomica, a disposizione della comunità INAF, montata su telescopi da terra e dallo spazio. Numerosi gruppi di ricercatori e tecnologi INAF collaborano a consorzi internazionali per la progettazione, la costruzione e l'integrazione di strumentazione innovativa, ricoprendo al contempo anche ruoli di management ed eventualmente di supporto all'industria italiana.

Di seguito è riportata una lista non esaustiva di strumentazione in fase di costruzione, o recentemente completata, per telescopi ottici/infrarossi ground-based:

- **HARPS-N e GIANO** (e a breve **GIARPS**), spettrografi ad alta risoluzione rispettivamente ottico e infrarosso istallati al TNG;
- **SPHERE**, spettropolarimetro ad alta risoluzione operante a ESO-VLT;
- **ESPRESSO**, spettrografo ad alta risoluzione per ESO-VLT in fase di integrazione finale;
- **MOONS**, spettrografo multi oggetto per ESO-VLT in fase di costruzione;
- **FLAO**, il sistema di ottica adattiva singolo-coniugata operante a LBT;
- **ARGOS**, il sistema adattivo per la correzione del ground-layer di LBT basato su laser Rayleigh, attualmente in fase di commissioning;
- **NIRVANA**, l'imager ad alta risoluzione per il vicino infrarosso con modalità interferometrica di LBT, attualmente in fase di commissioning;
- **SHARK**, imager con capacità coronografiche per il visibile ed il vicino infrarosso di LBT in fase avanzata di design;
- **WEAVE**, spettrografo multi-oggetto per WHT (la Palma) in corso di costruzione;
- **NTE**, imager-spectrograph per il NOT (la Palma) in corso di costruzione;
- **ERIS**, imager e integral field spectrograph ad alta risoluzione spaziale per l'ESO-VLT in corso di disegno avanzato;
- **SOXS**, spettrografo per ESO-NTT recentemente selezionato da ESO per la fase A ed attualmente in fase avanzata di design;
- **ESCAPE-CorMag** (INAF istituto PI) per la base Concordia in Antartide: coronografo solare con spettropolarimetro elettro-ottico per il visibile e vicino infrarosso in corso di sviluppo.

n)

A quanto sopra si deve aggiungere la selezione di INAF per gli studi e la realizzazione dei seguenti strumenti e componenti per **E-ELT**:

- **MAORY** (INAF istituto PI), modulo di ottica adattiva multi-coniugata di prima luce, attualmente in fase realizzativa (fase B);
- **HIRES** (INAF istituto PI), spettrografo multibanda ad alta risoluzione spettrale;
- **MICADO**, l'imager vicino infrarosso ad alta risoluzione di prima luce;
- Test ottici dello specchio adattivo **M4** del telescopio;

o)

Nell'ambito del progetto **CTA** ovvero la realizzazione di un grande osservatorio da terra nella banda delle altissime energie (TeV), l'Italia sta dando un importante contributo attraverso il progetto ASTRI. Iniziato come progetto bandiera MIUR, ASTRI ha realizzato un prototipo end to end di telescopio della classe SST di CTA che in questo momento è in fase di test all'osservatorio di Serra La Nave. Grazie ai nuovi fondi "Astronomia Industriale" ottenuti dal MISE il progetto è entrato in una nuova fase che porterà all'installazione al sito sud di CTA di un array di 15 telescopi che costituiranno il primo seme dell'osservatorio CTA.

INAF ha partecipato allo sviluppo tecnologico di **SKA** fin dall'inizio del progetto con la partecipazione al programma SKADS (Square Kilometer Array Design Study) nell'ambito del programma quadro FP6. La Commissione europea ha riconosciuto al progetto Square Kilometre Array lo status di "Landmark Project": uno dei più importanti su cui puntare nel prossimo futuro. Lo ha inserito nella Roadmap 2016 pubblicata nell'ambito dello European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Attualmente INAF è membro di vari consorzi SKA (central signal processing, dish,low frequency aperture array, telescope manager). INAF sta realizzando dimostratori di small aperture arrays, Medicina Array Demonstrator (MAD) e Sardinia Array Demonstrator (SAD) basati su antenne Vivaldi, per poter acquisire esperienza e tecnologie per una possibile applicazione al low frequency aperture array della parte a bassa frequenza di SKA (SKA-LOW1). Inoltre INAF è fortemente coinvolta nel dimostratore AAVS1 situato nel deserto Australiano del Murchison Radio Observatory (MRO), sito selezionato che ospiterà SKA-LOW. Per la verifica di questi radiotelescopi, INAF ha sviluppato un sistema basato su un drone (UAV) dedicato alle misure per la caratterizzazione e la calibrazione in situ.

Inoltre INAF ha partecipato attivamente alle fasi di progettazione e sviluppo tecnologico del progetto European Solar Telescope (**EST**), la più grande facility europea dedicata allo studio ed al monitoraggio del Sole. Con l'inserimento nella Roadmap di ESFRI, EST è stato riconosciuto come infrastruttura strategica per la ricerca solare europea dei prossimi decenni. Il contributo INAF ha riguardato il sistema di MCAO e wavefront sensing, strumenti di piano focale (interferometri Fabry-Perot, broad-band imager), controllo, gestione dati, sistemi di controllo termico.

La partecipazione alla prosecuzione del progetto è al momento al vaglio da parte dell'Ente.

Di seguito è riportata una lista non esaustiva di satelliti e strumentazione per missioni spaziali recentemente lanciate, o prossime al lancio:

- Il satellite **GAIA** lanciato nel dicembre 2013;
- Gli strumenti SERENA, SIMBIO-SYS e ISA (INAF istituto PI) per il satellite **BEPICOLOMBO** (lancio 2018);
- Lo strumento METIS (INAF istituto PI) per il satellite **SOLAR ORBITER** (lancio 2018);
- Gli strumenti DREAMS e MA_MISS (INAF istituto PI), CASSIS e NOMAD (INAF istituto co-PI) a bordo delle missioni del programma **EXOMARS** (lancio 2016 e 2020);
- Il satellite **CHEOPS**, prima missione di classe "S" dell'ESA (lancio 2018);
- Lo strumento SCORE per la missione sub-orbitale **HERSCHEL** della NASA (lancio (2017);
- Lo strumento ASPIICS per la missione ESA**Proba-3** (lancio 2019).
- Lo strumento SWIPE e il telescopio STRIP per la missione LSPE di ASI (lancio 2018).

p)
A queste vanno aggiunte le future missioni spaziali già selezionate definitivamente da ESA o NASA:

- I sistemi di controllo e acquisizione dei dati per gli strumenti VIS e NISP a bordo del satellite **EUCLID**, seconda missione ESA di classe M (lancio 2020);
- I Gas Pixel Detectors al piano focale del satellite **IXPE**, Small Explorer NASA (lancio 2020), e tutta la catena di acquisizione e calibrazione dei dati;
- Gli strumenti JANUS e MAJIS a bordo del satellite **JUICE** (2022), prima missione ESA di classe L;
- I 26 telescopi e il sistema di controllo di tutto il payload del satellite **PLATO**, terza missione ESA di classe M (lancio 2025);
- Il sistema criogenico di controllo attivo del background per lo strumento X-IFU a bordo del satellite **ATHENA**, seconda missione ESA di classe L (lancio 2028), e la elettronica di controllo e acquisizione dati dello strumento.

### *Sviluppo di tecnologie abilitanti*

Tra i progetti di ricerca di base ed applicata nelle tecnologie astronomica, affermatisi a livello internazionale o con la prospettiva di trasformarsi, in breve, in dispositivi o processi rilevanti per la futura strumentazione astronomica, si elencano i seguenti:

**Ottiche Attive ed Adattive:** Nel campo delle Ottiche Adattive INAF, insieme all'industria Italiana, ricopre da molti anni una posizione di chiara leadership mondiale. I sistemi di ottica adattiva basati su specchi deformabili ad attuazione elettro-magnetica di grandi dimensioni, correntemente installati nei più grandi telescopi al mondo, sono stati tutti derivati dallo sviluppo iniziale di INAF per il Large Binocular Telescope (LBT) e prodotti dall'industria italiana in collaborazione con INAF.

Anche nel settore dei sensori di fronte d'onda (sensori "a piramide") e nelle applicazioni più innovative dell'Ottica Adattiva quali quella multi-coniugata (MCAO) INAF e l'industria italiana sono in una posizione di assoluta preminenza a livello mondiale. Tale posizione di preminenza è stata senza dubbio resa possibile dalla partecipazione Italiana al Large Binocular Telescope (LBT), che ha fornito un formidabile laboratorio per lo sviluppo e messa a punto di queste tecnologie.

INAF e l'Industria italiana affrontano le nuove sfide europee quali EELT contribuendo allo specchio deformabile M4 ed al modulo post-focale di MCAO (MAORY) e continuando a contribuire con la propria tecnologia proprietaria alle grandi facility americane come GMT.

INAF sviluppa e collabora a sistemi adattivi singolo coniugati (SCAO) ed estremi XAO sia nel vicino infrarosso che nel visibile basati su sensori di fronte d'onda a piramide per VLT, E-ELT e TMT.

Gran parte della comunità INAF operante nel campo, recentemente riunitasi sotto il Laboratorio Nazionale di Ottica Adattiva (ADONI), continua a sviluppare e a promuovere tecniche e tecnologie innovative come ad esempio:

- l'ottica adattiva multi-coniugata (MCAO) nell'intervallo spettrale visibile per telescopi di classe 8m;
- l'ottica adattiva multi-coniugata globale (GMCAO) indirizzata ai grandi telescopi del prossimo futuro;
- lo studio dei parametri della turbolenza atmosferica e loro previsione finalizzati all'ottimizzazione delle osservazioni;
- l'implementazione di rivelatori di ultima generazione ad alta velocità di lettura ed alta efficienza;
- Ottiche adattive per polarimetria ad alta sensibilità e accuratezza.
- Wavefront sensing a grande campo.

ed applicazioni della tecnologia anche ad ambiti non convenzionali di concerto con l'industria italiana, come ad esempio la spazializzazione di sistemi adattivi e ingegnerizzazione degli stessi in ambito medico-industriale).

Nel campo dell'Ottica Attiva INAF ha parimenti un eccellente posizionamento a livello internazionale, grazie alla realizzazione dei sistemi per VST e TNG e alla partecipazione a LBT, sempre in stretta collaborazione con l'industria italiana di opto-meccanica di precisione.

**Tecnologie per le Alte Energie:** lo sviluppo di tecnologie e strumentazione per l'Astrofisica delle Alte Energie costituisce da sempre uno dei campi di eccellenza degli istituti INAF. Le linee lungo le quali, negli ultimi anni, si sono concentrati prevalentemente gli interessi della comunità tecnologica dell'INAF sono:

- Microcalorimetri a transizione di fase superconduttiva Transition Edge Sensor (TES) e relative tecnologie criogeniche;
- polarimetri ad effetto fotoelettrico basato su tecnologia Gas Pixel Detector (GPD) e polarimetri Compton nella banda X duri/gamma molli;
- Single Photon Avalanche Diode (SPAD) e SiPM sia per la rivelazione di fotoni X e gamma che per la rivelazione di luce Cherenkov;
- Large-area e multi-pixel Silicon Drift Detectors (SDD) per timing, imaging e spettroscopia nella banda 0.5-50 keV;
- calorimetri basati su nuovi cristalli scintillatori di nuova generazione come il LaBr3[Ce];
- lenti di Laue a larga banda per la focalizzazione di raggi X e gamma;
- sensori 3D di CZT/CdTe per spettroscopia, imaging e polarimetria a scattering in raggi X duri/gamma molli;
- sviluppo di ottiche multilayer per raggi X molli e duri;
- segmenti di specchi di vetro sottili (0.4 mm) formati a caldo;
- specchi con formatura a freddo;
- sviluppo di specchi polinomiali sottili (2 mm, 50 cm diametro) con risposta piatta su grande campo (1 deg).

A tali attività, prettamente legate allo sviluppo di rivelatori ed ottiche per l'Astrofisica delle Alte Energie, viene affiancato un significativo sviluppo dell'elettronica analogica e digitale (e.g. ASIC e FPGA) e dell'elettronica criogenica (e.g. SQuID), tecnologie fondamentali e complementi essenziali per un pieno sfruttamento di rivelatori innovativi.

Nel loro complesso, le linee di sviluppo perseguite hanno permesso alla comunità INAF delle Alte Energie di partecipare con ruoli importanti e spesso di primo piano alle Call for Missions dell'ESA nell'ambito del programma Cosmic Vision. In particolare, l'INAF riveste un ruolo di primo piano (co-PI-ship dello strumento principale) nella missione ATHENA, selezionata dall'ESA per lo slot L2 (lancio previsto nel 2028), con strumentazione basata sulla tecnologia dei microcalorimetri a transazione di fase superconduttiva per raggi X.

Nell'ambito delle missioni di classe media (M), l'INAF ha rivestito un ruolo di primo piano (PI-ship di missione) nella missione per raggi X studiata dall'ESA come candidata M3, LOFT, nata dallo sviluppo tecnologico INAF-INFN delle SDD di grande area ed ora evoluta in eXTP (con la Cina) e STROBE-X (con la NASA). Anche per la call M4 l'ESA ha selezionato una missione candidata concepita nell'INAF e basata sugli sviluppi tecnologici per i polarimetri X fotoelettrici realizzati in INAF-INFN. La missione, XIPE, a PI-ship INAF, è in fase di studio presso l'ESA come candidata M4 (lancio 2025-26). La stessa tecnologia è anche alla base della missione IXPE, approvata dalla NASA come missione SMEX (lancio 2020). In questo caso l'INAF ha la responsabilità dell'intero del piano focale.

**Ottiche per Telescopi Cherenkov:** La partecipazione di INAF a CTA ed in particolare alla realizzazione degli SST (small size telescope) ha dato un particolare impulso alla ricerca nel campo delle tecnologie replicanti per la realizzazione di specchi leggeri ed a basso costo. Le tecniche di riproduzione di specchi ad alta e bassa qualità superficiale mediante replica a freddo (cold slumping) e replica a caldo (warm slumping), sviluppate nel corso di un progetto bandiera MIUR, sono oggi di punta per INAF che condivide una diversificata proprietà intellettuale con il sistema industriale italiano per avviarla anche ad applicazioni non astronomiche. Specchi prodotti con queste tecnologie sono correntemente installati in infrastrutture esistenti (MAGIC2, prototipo ASTRI) o in via di realizzazione per infrastrutture future (CTA).

**Elementi Ottici Olografici:** Gli elementi ottici olografici (HOE) si sono affermati negli ultimi anni come una tecnologia di grande valore sia per la caratterizzazione delle ottiche di forma complessa, tipiche della strumentazione astronomica, durante la fase di produzione sia come elementi disperdenti (VPHGS, Volume Phase Holographic Gratings) degli spettrografi per astronomia. INAF ha sviluppato nell'ultima decade un ruolo di assoluta leadership mondiale nel settore proponendosi con successo in percorsi innovativi quali la realizzazione di HOEs riscrivibili a base polimericafotocromica e di VPHGs a base fotopolimerica (già in uso al NOT e al Telescopio Copernico di Asiago).

I ricercatori dell'INAF, di concerto con una delle maggiori industrie aerospaziali operanti in Italia, hanno sviluppato la tecnologia denominata "**Fly-Eye**" che prevede una ripartizione del campo in numerosi sotto-settori ciascuno monitorato con una camera a campo largo di ottica opportuna. La tecnologia "Fly-Eye" è un programma di valore tecnologico particolarmente promettente e dalle possibili applicazioni in diverse aree strategiche del paese quali la difesa, la protezione civile oltre, naturalmente, all'osservazione astronomica.

**Sensori piezoelettrici per la misura di polveri, composti volatili e di contaminazione nello spazio**. Le microbilance a cristalli piezoelettrici utilizzate fino ad ora per tali scopi sono sempre state di produzione US, anche in caso di missioni europee. L'Agenzia Spaziale Europea ha come obiettivo la realizzazione di questi sensori con prestazioni migliorate (e.g. migliore accuratezza in temperatura) con un know - ho w interamente e delle facility interamente europee. Il consorzio è guidato da INAF (composto inoltre da CNR, Politecnico di Milano e Kayser Italia) ed ha la leadership europea per lo sviluppo di questo tipo di sensori.

**Sistemi di acquisizione ad alta prestazioni/canali multipli**: Nell'ambito del progetto SKA-LFAA è stato realizzato un sistema di acquisizione e back-end digitale ad alta integrazione. Il funzionamento di tali array presuppone la sintetizzazione di un beam il quale può essere 'orientato elettricamente'; A questo scopo è stata sviluppata una scheda (iTPM) ad alte prestazioni in grado di

processare 32 segnali analogici nella banda 50-650 MHz provenienti da un gruppo di 16 antenne in doppia polarizzazione e trasmetterlo tramite fibra ottica su una rete Ethernet a 40Gb/sec.

**Sistemi per misure di performances di antenne sul campo mediante l'uso di UAV:**

La caratterizzazione del diagramma d'irradiazione di antenne a bassa frequenza posizionate in configurazione schiera, direttamente sul terreno, risulta essere difficilmente praticabile con le comuni tecniche di misura. Per questo motivo si è pensato di utilizzare un Unmanned Aerial Vehicle (UAV) equipaggiato con un trasmettitore ad onda sinusoidale come sorgente di riferimento per caratterizzare le antenne nella loro reale condizione di lavoro. Il sistema di misura con UAV sarà prossimamente utilizzato per caratterizzare anche altre antenne progettate per l'utilizzo in ambito SKA dai collaboratori internazionali.

**Produzione ricevitori basati su tecnologie RF over Fiber (RFoF):**

Nel campo delle tecnologie a Radio Frequenza per SKA-LFAA, INAF ha sviluppato in collaborazione con la grande Industria Italiana una architettura ottimizzata (Design for Manufacturing) che ha portato alla progettazione di un ricevitore integrato, ad alte prestazioni e a basso costo. Sono state incluse tecnologie innovative quali il trasporto del segnale RF su fibra ottica monomodale trasmettendo due segnali RF a larga banda su un'unica fibra, con la tecnica Wavelength Division Multiplexing.

**Mitigazione interferenze radio:** i segnali radio di natura antropica disturbano pesantemente le misure radio astronomiche; con lo studio di tali fonti di disturbo e la mitigazione dei loro effetti si concorre al miglioramento delle prestazioni dei radio telescopi, soprattutto a quelle frequenze che ne sono maggiormente influenzate. Un esempio in questo settore è costituito dai filtri a microonde basati su tecnologia "high temperature superconductor" (HTS), sviluppati da INAF.

**Attuatori meccanici piezo-attuati e a base di leghe a memoria di forma:** sviluppati da INAF in collaborazione con il CNR e con alcune università Italiane, questi attuatori non motorizzati, ora in fase pre-prototipale, sono molto promettenti per applicazioni sia dallo spazio (dispositivi non motorizzati di sgancio) che da terra (compensatori di flessione termo-meccaniche).

**Tecniche di nanotecnologia applicate alla costruzione di grism al silicio, per spettroscopia ad alta risoluzione:** Nell'ambito del progetto per lo studio dell'alta risoluzione spettroscopica, INAF ha realizzato in collaborazione con l'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie - CNR (Roma, ex IESS-CNR), un prototipo di grism al silicio, attualmente in dotazione della camera-spettrografo NICS al TNG. Lo sviluppo dei grism al silicio, per la natura stessa del materiale che ne impedisce il semplice ruling meccanico, coinvolge procedure utilizzate nella nanotecnologia, quail e-beam lithography, anisotropic wet etching.

**Tecnologie per array di piano focale e ricevitori criogenici nelle microonde:** in questa area di attività, principalmente guidata dallo studio e sviluppo di esperimenti per CMB e ricevitori a bassissimo rumore alle microonde ed onde millimetriche, gli sviluppi sono concentrati principalmente nei seguenti punti:

- Sviluppo di componenti passivi (feed, OMT, guide d'onda, polarizzatori) a larga banda e performanti ed ottimizzazione delle tecniche di fabbricazione (platelet ed elettro-formatura per le quali si stanno sviluppando con l'industria italiana competenze specifiche applicabili anche in altri campi). Per questo l'expertise in INAF e' di eccellenza grazie soprattutto all'esperienza su Planck/LFI (30, 44, 70 GHz),ed allo sviluppo del ricevitore in Banda 2+3 per ALMA (67-116 GHz).
- Sviluppo di calibratori criogenici e tecniche di fabbricazione sulla base delle necessità scientifiche di calibrazione. Ne è un esempio il coinvolgimento nel progetto SPE/STRIP per il quale INAF ha il compito di sviluppare i calibratori per la campagna di test di strumento integrato. Inoltre nell'arco del 2017, si procederà a sviluppare un sistema automatico di calibrazione criogenico (fino a 4K) per il ricevitore in banda 2+3 di ALMA ma che potrà essere utilizzato anche per altre strumentazioni.

- Criogenia, intesa più in generale come sviluppo di tecnologie e tecniche per garantire il necessario ambiente per il raffreddamento dei ricevitori e piani focali. INAF ha la responsabilità di sviluppare, costruire ed operare il criostato di LSPE/STRIP ed è dotato di un laboratorio (Cryowaves lab) con facility criogeniche allo stato dell'arte.
- Studio, sviluppo, ottimizzazione e caratterizzazione di ottiche per l'osservazione della CMB grazie anche all'utilizzo di software avanzati e di riferimento (GRASP).
- Sviluppo di tecniche di calibrazione e testing di ricevitori criogenici a bassissimo rumore.

**Tecnologie informatiche:** Per sfruttare pienamente il ritorno scientifico delle nuove facility astronomiche (E-ELT, SKA, CTA, ALMA), è necessario che la comunità scientifica sia in grado di elaborare enormi moli di dati (i.e. centinaia di Petabyte). Le simulazioni numeriche, inoltre possono produrre un flusso di dati superiori a quelle degli strumenti. Questi aspetti fanno sì che dati prodotti dall'astrofisica ricadano nella tipologia dei Big Data. Tali Big Data sono gestibili solamente tramite una opportuna infrastruttura informatica ed un opportuno know-how all'interno della comunità INAF. In generale, nelle grandi infrastrutture osservative esiste un continuo di attività gestite da sistemi informatici: dal controllo degli strumenti alla gestione delle osservazioni, all'acquisizione, gestione, elaborazione, analisi, archiviazione, retrieval di grandi quantità di dati, generati sia da terra che dallo spazio che da modelli numerici.

- Controllo della strumentazione: in INAF è presente una importante expertise riconosciuta a livello internazionale in tecnologie informatiche relative al controllo di strumentazione, che ha permesso di ricoprire ruoli di responsabilità nei sistemi di controllo e nelle pipeline di riduzione dati per numerosi strumenti sia per osservazioni da terra che dallo spazio, tra cui: VLT (strumenti X-SHOOTER, SPHERE, FLAMES, VIMOS, ESPRESSO e MOONS), LBT (LBC), VST (OMEGACAM), TNG (GIANO), WHT, SRT, CTA, E-ELT e SKA;. PLANK (strumento LFI), HRSCHEL (SPIRE, PACS e HIFI), GAIA (ground segment), VIRTIS/Rosetta, EUCLID (VIS, NISP, ground segment), PLATO (sistema di controllo dell'intero payload), ATHENA (X-IFU), ARIEL (sistema di controllo dell'intero payload), SPICA (SAFARI) e NASA/OST (eterodina). La decisione strategica di diventare membri della collaborazione TANGO, ha posto le basi per lo sviluppo futuro di sistemi di controllo object-oriented.
- Calcolo ed elaborazione dati: INAF ricopre un ruolo chiave relativamente alle pipeline di riduzione e analisi dati provenienti di strumentazione da terra e dallo spazio, grazie alle competenze specifiche di tipo informatico sulle tecnologie per la distribuzione del calcolo e della gestione dati. INAF partecipa a tre progetti H2020 nel campo: EOSCpilot che definisce l'infrastruttura di cloud per la ricerca europea, ASTERICS che si occupa dell'infrastruttura informatica comune per i telescopi ESFRI, ed AENEAS che definisce lo sviluppo di futuri European Science Data Center per le esigenze di SKA.
- Calcolo ad alte prestazioni: per venire incontro alla necessità di calcolo della comunità astronomica è stato siglato l'accordo quadro INAF/CINECA per necessità di HPC di classe Tier-0 ed è stato ideato il progetto pilota CHIPP per esigenze di classe Tier-2. Tramite i progetti H2020 ExaNeSt e EuroExa, INAF sta ricoprendo un ruolo di primo piano per quanto riguarda i progetti FET-HPC, in particolare per quanto riguarda la prototipizzazione di hardware e software e lo sviluppo di codice in ambito astrofisico, per essere in grado di sfruttare le capacità fornite dall'exascale computing.
- Gestione dati: La comunità astronomica INAF è senz'altro all'avanguardia dell'adozione del paradigma FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Resuable) grazie all'uso comune degli standard dell'Osservatorio Virtuale definiti dall'IVOA (International Virtual Observatory Alliance), cui INAF dà il suo attivo contributo da una quindicina d'anni con compiti di coordinamento.
- Astroinformatica: l'Astroinformatica è una disciplina che lega l'astrofisica alle tecnologie informatiche e al data mining. In questo campo c'è un'importante esperienza in INAF, basata su gruppi che svolgono ricerca su data mining e statistica, e che hanno messo a disposizione della comunità i relativi strumenti e servizi. Questi servizi si possono utilizzare in un'ampia varietà di contesti scientifici, soprattutto quando metodi più tradizionali risultano meno efficienti.

### *Gli obiettivi generali e strategici da conseguire nel triennio*

I progetti e la strumentazione in ambito astronomico in fase di realizzazione a conduzione e/o partecipazione INAF in fase design, sviluppo o di realizzazione per il triennio 2017-2019 sono riportati nelle seguenti tabelle.

| Strumento/ Progetto | Area Scientifica/ Tecnica Osservativa | Facility di Riferimento | Ruolo INAF | Partner Industriale | Milestones 2017-2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| **ESPRESSO** | Spettroscopia VIS/NIR ad alta risoluzione | ESO-VLT | Istituto CoPI | ALCA TECHNOLOGY S.r.l., LABORATORIOOTTICO COLOMBO, DELL'ORO MAURO S.r.L. | Commissioning 2017 Delivery 2018 |
| **ERIS** | Imaging NIR/ MIR ad alta risoluzione spaziale | ESO-VLT | Istituto CoI | | FDR 2017 |
| **MOONS** | Spettroscopia multi-oggetto VIS/NIR a media/alta risoluzione | ESO-VLT | | | |
| **SOXS** | Spettroscopia VIS/NIR a media risoluzione | ESO-NTT | Istituto PI | | 2017 PDR |
| **MAORY** | Modulo adattivo MCAO di prima luce | ESO-EELT | Istituto PI | | Fase B 2018 PDR |
| **MICADO** | Imaging NIR ad alta risoluzione spaziale di prima luce | ESO-EELT | Istituto CoI | | Fase B |
| **HIRES** | Spettroscopia VIS/NIR ad alta risoluzione | ESO-EELT | Istituto PI | | Fase A |
| **M4 E-ELT** | Specchio adattivo del treno ottico di E-ELT | ESO-EELT | Subcontractor | MICROGATE S.p.A. | 2018 FDR |
| **ARGOS** | Correzione adattiva per il ground layer basato su laser Rayleigh | LBT | Istituto CoI | | Commissioning |
| **LINC-NIRVANA** | Imaging NIR ad alta risoluzione spaziale con potenziale capacita' interferometrica | LBT | Istituto CoI | | Commissioning |
| **SHARK VIS** | Imaging coronografico VIS ad alta risoluzione spaziale | LBT | Istituto PI | | FDR |
| **SHARK NIR** | Imaging coronografico NIR ad alta risoluzione spaziale | LBT | Istituto PI | | FDR |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **GIARPS** | Spettroscopia VIS/NIR ad alta risoluzione | TNG | Istituto PI | N/A | Commissioning |
| **ALTA** | Previsione di turbolenza atmosferica e parametri atmosferici per astronomia dal suolo | LBT | Istituto PI | N/A | Durata progetto 2015-2020 |
| **WEAVE** | Spettroscopia multi-oggetto VIS a media/alta risoluzione | WHT | | | Commissioning<br><br>03/2018 Prima Luce |
| **NTE** | Imaging/ Spettroscopia VIS/NIR | NOT | | | |
| **LSPE/STRIP** | Osservazione del fondo cosmico e foregrounds alle microonde e onde millimetriche | TEIDE | System Engineer, AIV manager, WP leader | | Installazione 2018<br><br>Campagna Osservativa 2018-2019 |
| **Q band Multifeed** | Ricevitore Multibeam banda Q | SRT | | | Commissioning 2019 |
| **S band Multifeed** | Ricevitore Multibeam banda S | SRT | | | Commissioning 2018<br><br>Installazione 2018/19 |
| **C band Monofeed** | Ricevitore monofeed banda C (4.2-5.6 GHz) | SRT | | | Commissioning 2019 |
| **SARDARA** | Spettroscopia radio larga banda multi beam | SRT | | | Commissioning modalità multi beam |
| **ESCAPE-CorMag** | Coronografo solare VIS/NIR spettro polarimetrico | Dome C | Istituto PI | | |
| **Ku band receiver** | Ricevitore 12 – 18 GHz | Medicina RT | | | commissioniing 2019 |
| **SXL receiver** | Ricevitore bande L , S e X per VLBI | Noto RT | | | Commissioniong 2018 |
| **CTA** | Telescopi della classe SST per il sito sud. Fornitura specchi telescopi della classe MST. Software di controllo dell'Array CTA.Data Management. | CTA | Istituto PI<br><br>Partecipazione<br><br>WP leader | MEDIALARIO<br><br>FLABEG FE<br><br>EIE<br><br>GALBIATI | Produzione di un mini-array di 9 precursori SST per il sito sud di CTA |
| **SKA-DC** | Consorzio Dish (SKADC) | SKA | Leader per Local Monitor and Control | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (LMC) | | |
| **SKA - CSP** | Consorzio Central Signal Processor | SKA | Attività di Correlator and Central Beam Former, Non-Imaging processor e Local Monitor and Control. | | |
| **SKA-TMC** | Consorzio Telescope Manager | SKA | Local Monitoring and Control. System Engineering e Observation Management. | | |
| **SKA-AADC** | Consorzio Aperture Array Design | SKA | Leader per il Receiver | | |
| **EST** | Osservatorio Solare | EST | Partecipazione | N/A | Installazione 2026 |

| Strumento/ Progetto | Area Scientifica/ Tecnica Osservativa | Agenzia Missione | Ruolo INAF | Partner Industriale | Milestones 2017-2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| **SERENA** | Sensore per atomi neutri e ioni | ESA BEPI COLOMBO | Istituto PI | | Lancio 2018 |
| **SIMBIO-SYS** | Immagini alta risoluzione, immagini stereo, spettroscopia Vis-NIR | ESA BEPI COLOMBO | Istituto PI | LEONARDO S.p.A. | Lancio 2018 |
| **ISA** | Misura del campo gravitazionale di Mercurio, accelerazioni non gravitazionali, Accelerometro a tre assi ad elevata sensibilità | ESA BEPI COLOMBO | Istituto PI | THALES ALENIA SPACE | Lancio 2018 |
| **METIS** | Coronografo | ESA SOLAR ORBITER | Istituto PI | | Lancio 2018 |
| **MA MISS** | Spettrometro IR miniaturizzato studi sotto la superficie | ESA EXOMARS | Istituto PI | LEONARDO S.p.A. | Lancio 2020 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **SCORE** | | NASA HERSCHEL | | | |
| **CHEOPS** | Fotometria di altissima precisione per caratterizzazione di pianeti extrasolari | ESA | Responsabile progettazione realizzazione installazione elementi ottici | LEONARDO S.p.A. | Lancio 2018 |
| **ASPIICS** | | ESA PROBA-3 | | | Lancio 2019 |
| **EUCLID** | Cosmologia, studio materia ed energia oscura/Imaging a grande campo di vista nel visibile (strumento VIS); spettro-fotometria nel vicino IR (strumento NISP) | ESA | Progettazione e realizzazione dei sistemi di controllo e di acquisizione dati di VIS e NISP. Responsabilità dello Science Ground Segment | OHB Italia | Lancio 2020 |
| **IXPE** | Studio della polarizzazione lineare nella banda X in Astronomia | NASA | Istituto italiano PI Tecnologia abilitante e Responsabilità Piano Focale | OHB CGS | Lancio 2020 |
| **PLATO** | Fotometria di altissima precisione a grande campo di vista per la scoperta e caratterizzazione di pianeti extrasolari | ESA | Responsabile progettazione realizzazione delle 26 TOUs e P/L ICU | LEONARDO S.p.A.,<br>MEDIALARIO<br>THALES ALENIA SPACE<br>KAYSER ITALIA | Lancio 2025<br>PDR 2018 |
| **JANUS** | Imager VIS per la mappatura dei satelliti di Giove | ESA JUICE | Istituto PI | LEONARDO S.p.A. | Lancio 2022 |
| **MAJIS** | Spettrometro IR | ESA JUICE | Istituto CoPI | LEONARDO S.p.A. | Lancio 2022 |
| **X-IFU/ATHENA** | Alte energie/Anticoincidenza Criogenica basata su TES e relativa elettronica di readout; Filtri termici criogenici per | ESA | Istituto CoPI | N/A | Adozione 2020 Lancio 2028 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | raggi-X | | | | |
| **WFI/ATHENA** | Alte energie / X-ray-Optical filters | ESA | Istituto CoI | N/A | Adozione 2020<br><br>Lancio 2028 |
| **TOMOX** | Planetologia: tomografia a raggi X per determinare composizione ed eta' in situ. | ASI | WP leader | | |

Le attività di ricerca e sviluppo in ambito tecnologico a conduzione e/o partecipazione INAF per il triennio 2017-2019 sono riportate nella seguente tabella.

| Attività R&D | Obiettivi | Ente finanziatore / Progetto di riferimento | Ruolo INAF | Milestones 2017-2019 |
|---|---|---|---|---|
| **LCI Range finder** | Svilluppo range finder in inteferometria a bassa coerenza per applicazioni in metrologia per telescopi (sia nel radio che nel visibile) e strumentazione astronomica | INAF- UIT | PI | Sviluppo prototipo dimostratore entro il 2019 |
| **Space debris** | Sviluppo telescopio per monitoraggio space-debris | TELESPAZIO / ESA | Consulente | Sviluppo prototipo dimostratore entro il 2018 |
| **PixDD** | Prototipo 4x4 Multi-pixel (500 µm pitch), single-photon, Silicon Drift Detector per raggi X di bassa energia (0.5-10 keV) per spectral-timing ad alto throughput | TECNO-INAF / eXTP (CNSA) | PI | Ottobre 2017: Relazione e rendicontazione finale |
| **COMPASS** | Prototipo di polarimetro Compton basato su cristalli scintillatori di nuova generazione e lettura SiPM, per la banda hard X | TECNO-INAF | PI | Ottobre 2017: Relazione e rendicontazione finale |
| **XGS** | Prototipo rivelatore a larga banda (1 keV – 10 MeV) basato su cristalli scintillatori e lettura con SDD per la rivelazione e misura spettrale di gamma-ray bursts e transienti di alta energia. | TECNO-INAF / THESEUS (ESA) | PI | Ottobre 2017: Relazione e rendicontazione finale |
| **HERMES** | Prototipo rivelatore hard X / gamma (20 keV-10 MeV) per micro e mini satelliti: studio ad alta risoluzione della struttura temporale di gamma ray bursts per localizzazione e studi di quantum-gravity. Rivelatori a scintillazione con lettura basata su SDD e/o SiPM. | TECNO-ASI / HERMES | CoI, Responsabilità sviluppo detector | Maggio 2017-18: Riunioni Avanzamento<br><br>Febbraio 2019: Riunione Finale |
| **PixDD** | Sistema integrato 32x32 Multi-pixel (300 µm pitch), single-photon, Silicon Drift Detector per raggi X di | TECNO-ASI / eXTP | PI | Marzo 2017: Riunione |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | bassa energia (0.5-10 keV) – read-out ASIC per per spectral-timing ad alto throughput | (CNSA), EP (CAS) | | Avanzamento<br><br>Marzo 2018: Riunione Finale |
| **Space Debris** | Tecniche radar per monitoraggio detriti spaziali | ASI/Horizon2020 | PI | Kickoff 2017 |
| **PHAROS2** | Upgrade del Phased Array Feed criogenico PHAROS operante in banda C (4-8 GHz) con 24 antenne attive a singole polarizzazione. | SKA Italia<br><br>SKA | CoI | Review 2017<br><br>Installazione/Test 2018 |
| **SAD** | Sardinia aperture Array demonstrator (SKA-LOW) | LR7/2007 Sardegna /TECNO | PI | Commissioning Test calibrazione.<br><br>Basic Science. |
| **IALMA** | Ricevitore ALMA 67-116 GHz | Premiale MIUR 2013 | PI | Relizzazione ricevitore 2+3 ALAMA |
| **Geant4** | Sviluppo di un simulatore user-friendly basato su Geant4 | ESA CTP/AREMBES | PI | Presentazione finale risultati 2018 |
| **Micro calorimetri TES** | Analisi criticita' su sviluppo anticoincidenza criogenica basata su TES | ESA CTP/optimization of european TES array | WP leader | Presentazione finale risultati 2019 |
| **Micro calorimetri TES** | Soluzioni per lo sviluppo di anticoincidenza criogenica basata su TES oltre la baseline di ATHENA | UE H-2020/AHEAD | PI | Presentazione finale risultati 2019 |
| **NTD Ge Micro-calorimeter Detectors** | Test di rivelatore di raggi X a microcalorimetro per lancio su pallone stratosferico | ASI | PI | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **High performance 3D Cadmium-Zinc-Telluride Spectro-imager for X and gamma-ray applications** | Prototipo innovativo di rivelatore segmentato 3D basato su CdZnTe orientato a rivelatore di piano focale per lenti di Laue. | INFN | | Termine 2019 |
| **Athena: large area high-performance optical filter for X-ray instrumentation** | Sviluppo e caratterizzazione di prototipi di filtri sottili di grande area per gli strumenti scientifici a bordo della missione ATHENA | ESA, HS FOILS | Subcontrattore con Università degli Studi di Palermo | Termine 2019 |
| **OPTICON** | Sviluppo di VPHG di grandi dimensioni e loro produzione a livello industriale; sviluppo di specchi deformabili a controllo ottico (PCDM) | EU Horizon 2020 | PI JRA7 | Standardizzazione della produzione di VPHG; definizione di nuovi materiali per olografia;<br><br>specchi PCDM |
| **Innovative tools for high res spectroscopy based on VPHGs** | Sviluppo di nuove potenzialità della tecnologia VPHG | TECNO INAF | PI | Ottobre 2017: Relazione finale |
| **IRIDE** | Sviluppo di elementi disperdenti di tipo VPHG , da integrare in payload di analisi Multi ed Iperspettrale | Regione Lombardia | Co-PI (progetto a partecipazione industriale) | Prototipo di VPHG multispettrale; test e qualifica (termine:2017) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **SIMPOSiuM** | Sviluppo software per disegno ottico e simulazione prestazioni delle ottiche della missione per raggi X ATHENA | ESA/ATHENA | PI | Review 2° anno (set 2017)<br><br>Review 3° anno (2018)<br><br>Presentazione finale (2018) |
| **SPIRIT** | Sviluppo delle shell più interne delle ottiche per raggi X di Athena | ESA/ATHENA | Responsabilità di WP | Prototipo, (2017)<br><br>Calibrazione in raggi X (2018) |
| **NEOSTED** | Sviluppo di telescopio fly-eye per monitoraggio space debris e NEO | ESA | Responsabilità di WP | 2017:consegna specchio primario di 1 m dopo correzione ion-figuring, coating , dopo montaggio su cella e metrologia |
| **Tecnologie del Vetro per le ottiche in raggi x di prossima generazione** | Sviluppo di shell sottili superpulite e tecnologia slumping "a freddo" per ottiche innovative per astronomia in raggi X | ASI/bando tecnologico 2014 | PI | 2017: prototipi di ottiche prodotte per slumping a freddo di segmenti in vetro e loro calibrazione in raggi X<br><br>2017/2018: prototipi di ottiche a shell chiusa sottile prodotte per polishing diretto e loro calibrazione in raggi X |
| **BEATRIX** | Sviluppo di facility di calibrazione in raggi X compatto per gli specchi di Athena | ESA/Athena AHEAD/H2020 | PI | 2018: produzione del modulo ottico per la parallelizzazione del fascio X<br><br>2019: facility funzionante presso la sede INAF di Merate |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **CTA/ASTRI** | Sviluppo dei prototipi E2E dei telescopio per il mini-array ASTRI | MIUR/Astronomia Industriale/CTA | PI | 2018: 3 prototipi strutture<br><br>2019: 9 telescopi funzionanti sito in Cile di CTA |
| **Christmas** | Sviluppo di telescopio per Earth Observation e monitoraggio ghiacciai | ASI/Bando concetti Earth Observation | Responsabile WP | 2018: design e simuluazione optomeccannico del telescopio |

Al fine di mantenere lo stato di eccellenza in ambito strumentale e di incrementare la capacità di competere a livello internazionale, le professionalità all'interno di INAF devono essere supportate tramite percorsi formativi adeguati e/o assunzioni mirate, adeguamento delle infrastrutture e strumentazione di supporto e acquisizione di licenze relative a software specialistico. In particolare, le professionalità necessarie sono figure multidisciplinari nell'ambito di: progettazione e analisi ottica, meccanica e termica; esperti di ottica in ambiente spaziale; elettronici orientati ai rivelatori; esperti in rivelatori criogenici, esperti di integrazione di strumentazione e di verifica delle prestazioni, anche in ambiente criogenico; esperti di software con competenze specifiche sulle tecnologie per la distribuzione del calcolo e della gestione dati, sulle tecnologie real time per controllo strumentazione, sulle architetture di calcolo ad alte prestazioni e sui sistemi informativi, anche orientati ai big data. Non ultimo, visto l'incremento delle complessità dei recenti progetti, figure professionali per i ruoli di Project Managers, System Engineers, Project Controllers e Product Assurance Managers ed un adeguato supporto amministrativo e giuridico per l'acquisizione di beni e servizi.

## Secondo Pilastro – La Ricerca Istituzionale

*Negli EPR è presente un insieme di attività di ricerca istituzionale, svolte in conformità allo specifico mandato istituzionale come descritto nella legge istitutiva, nello statuto o in atti amministrativi di alto livello. Esse rappresentano attività "obbligatorie" per gli EPR, perché richieste in modo formale da istanze della pubblica amministrazione cui l'ente di ricerca deve corrispondere. Queste attività sono frequentemente svolte in condizioni di esclusività da parte dell'ente, finanziate attraverso il finanziamento ordinario statale, e quantitativamente e qualitativamente programmabili. Riveste quindi particolare importanza il loro puntuale inserimento sotto forma di obiettivi quali-quantitativi nella programmazione pluriennale dell'Ente, l'esplicitazione dei target organizzativi e di qualità dei processi anche al fine di offrire i risultati di tale attività ai propri stakeholder alle migliori condizioni.*

*Un primo censimento di queste attività effettuato nel corso del 2017 ha evidenziato un'ampia varietà di tipologie che sono riportate nell'Allegato 1 a questo documento. Queste attività producono beni, servizi, pubblicazioni istituzionali e conoscenze di interesse del governo, di enti sovranazionali, della pubblica amministrazione, delle comunità scientifiche o dei cittadini, sulla base della ricerca compiuta dagli enti e delle competenze tecnico-scientifiche del proprio personale. In molti casi esse sono regolate da apposite convenzioni.*

*Le attività di Ricerca Istituzionale, benché non portino alla realizzazione delle stesse tipologie di prodotti caratteristici della Ricerca Scientifica, analogamente a quest'ultima si basano sull'applicazione competente di conoscenza scientifica a casi di particolare complessità del mondo reale. Pertanto, la Ricerca Istituzionale non potrebbe essere svolta senza la disponibilità, all'interno degli enti, di competenze scientifiche. Si realizza in questo modo un'integrazione, a forte ricaduta applicativa, tra ricerca fondamentale, ricerca applicata e attività istituzionali. Ciò è confermato dal fatto che di norma tali attività coinvolgono sistematicamente sia tecnologi sia ricercatori, all'interno del proprio bilancio- tempo.*

## Le Infrastrutture di Ricerca

### Le Grandi Infrastrutture da Terra

L'INAF, attraverso infrastrutture proprie o in compartecipazione, offre alla propria comunità di riferimento, ed in taluni casi ad altre comunità relazionate con l'INAF, un panorama di possibilità osservative vario per energia di riferimento (dal Radio al gamma) e per locazione geografica (emisferi e latitudini).

#### *Infrastrutture in Operazioni*

Le infrastrutture accessibili all'INAF o gestite dall'INAF sono state rese operative negli ultimi 50 anni; alcune di esse sono ancora operative, nonostante la naturale obsolescenza, altre sono state rinnovate attraverso specifici programmi, altre ancora sono di costruzione recente e recentissima e si possono considerare all'avanguardia.

Il processo di realizzazione di nuove ed innovative Infrastrutture è un processo continuo al quale INAF prende parte con energia. Nelle pagine che seguono sono riassunti i dettagli salienti delle strutture correntemente operative o accessibili dall'INAF.

#### Large Binocular Telescope

Il Large Binocular Telescope (abbreviato in LBT, in italiano "Grande Telescopio Binoculare"), è il più grande telescopio ottico del mondo. La sua caratteristica è di essere binoculare, con due specchi da 8.4 m. di diametro montati su un'unica struttura. Tecnicamente, è un telescopio a doppia pupilla a montatura altazimutale in configurazione gregoriana, ottimizzato per l'interferometria e l'osservazione a grande campo. E' un telescopio disegnato sin dall'inizio per l'adozione di Ottiche Adattive con un secondario adattivo. Grazie al successo di tale configurazione è correntemente il più grande laboratorio per lo sviluppo di ottiche adattive a livello mondiale.

Il Telescopio LBT offre alla propria comunità di riferimento due camere per Imaging nel Visibile (LBC), costruite dall'INAF, una ottimizzata per il rosso ed una per il blu, gli spettrografi nel visibile (MODS) e nel vicino infrarosso (LUCI). Sono inoltre in fase di installazione un sistema laser per realizzazione di stelle artificiali (ARGOS), un image AO a grande campo nell'IR (LINC) e uno spettrografo ad altissima risoluzione (PEPSI

<u>Osservazioni Astronomiche:</u>

Il telescopio ha iniziato la sua attività scientifica da pochi anni, in un contesto nel quale il 40% del suo tempo osservativo è ancora dedicato alla installazione di nuova strumentazione e al completamento delle funzionalità operative. Le notti a disposizione della comunità astronomica italiana sono circa 45-50 per anno, e sono gestite tramite un bando aperto all'intera comunità astronomica italiana, emesso annualmente dal Centro Italiano di Coordinamento per LBT.

Per l'anno 2012/2013 sono state richieste 484 ore di osservazione, e per l'anno 2013/2014 621 ore, con un aumento del 30% circa. Di queste, nel 2012/2013 sono state eseguite 123 ore di esposizione (definite come "open shutter time in specifica"). Queste corrispondono a 13 programmi eseguiti (completamente o in maniera quasi integrale). Le osservazioni hanno riguardato i

più disparati campi dell'astronomia, dalla detezione di pianeti intorno a stelle brillanti fino alle galassie nell'Universo primordiale. In totale, oltre 40 articoli sono stati pubblicati nel 2013 facendo uso dei dati raccolti dal telescopio LBT.

Sviluppo di Tecnologie Astronomiche Innovative:

LBT è il più avanzato laboratorio al mondo per lo sviluppo delle ottiche adattive, che non solo permettono di raggiungere le prestazioni migliori per i telescopi odierni ma sono cruciali per la realizzazione dei futuri ELT. In questo contesto, LBT è stato il primo a raggiungere una correzione elevata della deformazione indotta dall'atmosfera, raggiungendo quasi il 90% della correzione teoricamente possibile. Il successo di LBT in questo campo è stato tale che è stato creato un nuovo acronimo per definire questo tipo di performances, XAO (eXtreme Adaptive Optics). Questo sviluppo è interamente merito della tecnologia italiana, considerato che il sistema AO è stato sviluppato dall'INAF-OA Arcetri e da alcune aziende italiane (ADS e MicroGate). Queste ultime, in particolare, stanno capitalizzando il know-how raggiunto ottenendo importanti commesse industriali da altri telescopi non italiani.

Anche alcuni strumenti oggi installati sono unici nel panorama internazionale. La camera a primo fuoco LBC è l'unico imager con elevate prestazioni nell'UV disponibile al mondo ad un telescopio di grande diametro. Lo spettrografo LUCI è stato il primo spettrografo IR ad offrire la modalità Multi Object Spectrograph.

Costi di Esercizio

INAF detiene il 25% della LBT-Corporation, che finanzia e gestisce l'Osservatorio LBT. Corrispondentemente, ha sostenuto il 25% dei costi per la costruzione del Telescopio e della Strumentazione, contribuisce per il 25% ai costi di gestione e garantisce alla comunità Astronomica Italiana il 25% del tempo osservativo. Il Bilancio della LBT Corporation per l'anno in corso è pari a 12.8 MUSD e la quota parte per la partecipazione italiana è pertanto pari a 3.2 M€ parzialmente sostenuto con apposita assegnazione straordinaria di FOE da parte del MIUR. Con la propria dotazione la LBT Corporation provvede alla operatività, manutenzione, promozione e sfruttamento scientifico di LBT.

Assumendo un numero di notti osservative utili pari a 300 anno (stima statistica detratte le notti di manutenzione tecnica e le notti perse per maltempo) il costo unitario della notte osservativa è pari a 42.500 €, sostanzialmente più economico del costo medio dei telescopio della stessa classe 8 mt (65-85 k€ per notte), con gli indubbi vantaggi esclusivi della binocularità.

### Sistema dei Radiotelescopi Nazionali

Il Sistema RadioAstronomico Nazionale è correntemente costituito dall' Antenna "Croce del Nord" e dalla Antenna a disco singolo da 32 mt collocate nel sito di Medicina (Bo) e la gemella di quest'ultima collocata presso Noto (Sr). La "Croce del Nord" è oggi costituita da due rami perpendicolari lunghi 564 metri (Est-Ovest) e 640 metri (Nord-Sud) e possiede un'area di raccolta complessiva di 30.000 mq. Una tale superficie rende l'antenna sensibile a sorgenti radio molto deboli in una finestra di ampiezza 2.7 MHz centrata ad una frequenza di 408 MHz. L'Antenna da 32 metri a Disco Singolo è progettata per osservare in modo antenna singola ed in modo interferometrico. Per quest'ultimo l'antenna è parte del Consorzio EVN (European VEry Long Baseline Interferometry Network). L'antenna lavora nella banda 1.4-23 GHz. L'antenna di Noto è gemella dell'Antenna di Medicina.

Il Sistema RadioAstronomico Nazionale è operato e gestito attraverso l'Istituto di Radioastronomia (IRA). La costruzione e messa in opera delle Antenne, antecedente alla costituzione dell'INAF, si deve all'Università di Bologna ed al CNR (a cui al tempo l'IRA apparteneva).

Le antenne a disco singolo di Noto e Medicina sono in uso corrente nell'ambito del network interferometrico EVN ed offerte per osservazioni ad antenna singola tipicamente per sorgenti Maser-$H_2O$ e Metanolo.

SRT- Sardinia Radio Telescope

SRT è un Radiotelescopio versatile e di alto livello scientifico adatto ad osservazioni per Astronomia Radio ma anche per studi geodinamici ed applicazioni relative allo spazio. SRT può essere utilizzato come antenna singola oppure coordinata in configurazione VLBI. SRT propone una superfice configurabile di antenna tra le più vaste al mondo combinata con tecnologia all'avanguardia che consente osservazioni ad alta efficienza sino alla banda di 3-mm.

SRT ha svolto nel 2014 la fase di verificazione scientifica ed è correntemente adoperato per Osservazioni Astronomiche a carattere scientifico.

Nella fase di collaudo e preliminare verificazione scientifica sono già stai ottenuti risultati di alto livello come la rilevazione di impulsi radio ad una frequenza di 7 GHz dal Magnetar PSR J1745-2900 nella regione del centro galattico e la verifica della operatività per osservazioni VLBI europea in banda K.

SRT opera nel contesto di collaborazioni e campagne di osservazioni coordinate internazionali quali l'European VLBI Network. SRT è stato costruito con contributi di INAF, del MIUR, dell'ASI e della Regione Autonoma della Sardegna. La struttura è operata interamente da INAF.

Il tempo osservativo di SRT è attribuito pro-quota 20% all'ASI e 80% all'INAF. INAF attribuisce il tempo a progetti osservativi selezionati da un apposito comitato scientifico tra quelli sottomessi attraverso appositi bandi.

### Telescopio Nazionale Galileo

Il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) è il primo telescopio della Classe 4-mt costruito interamente dalla Comunità Astronomica Italiana. Esso ha rappresentato e rappresenta un eccellente training della comunità nel settore dello sviluppo e della gestione di una Infrastruttura di ricerca complessa ed al contempo una eccellente opportunità osservativa per la nostra comunità scientifica. A 15 anni dalla messa in esercizio, TNG continua nell'eccellenza con strumentazione nuova e strumentazione rinnovata. Accanto al TNG sorge il Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope, Il più grande telescopio Cherenkov attualmente operato al mondo.

Il TNG offre correntemente alla comunità tempo osservativo su 3 strumenti principali: a) Lo spettrografo a bassa risoluzione con imager per il Visibile DOLORES, b) Lo spettrografo a bassa risoluzione con imager per il vicino infrarosso NICS, c) Lo spettrografo ad alta risoluzione ed alta stabilità specializzato nella ricerca di pianeti extrasolari HARPS.

Le notti osservative al TNG sono attribuite attraverso un processo competitivo ai ricercatori Italiani con le seguenti eccezioni: a) 80 notti/anno, garantite al Consorzio HARPS in ritorno per la messa a disposizione dello strumento b) 20% di notti attribuito per diritti territoriali alla Spagna, c) 5% gestito da un comitato internazionale (CCI) secondo gli accordi di cooperazione tra Italia e Spagna per l'astrofica alle Canarie, d) fino a 28 notti all'anno poste a disposizione attraverso il programma di accesso dell'UE (OPTICON) ai ricercatori Europei. A partire dal 2013, un accordo di collaborazione tra INAF e NOTSA pone a disposizione dei ricercatori scandinavi 20 notti all'anno in cambio di 40 notti al telescopio NOT per i ricercatori italiani.

Dopo l'installazione di Harps-N questo è diventato lo strumento di gran lunga più utilizzato, con il 70% delle notti rivolte allo studio dei pianeti extra-solari. Il resto delle osservazioni riguarda GRN e supernove, riconoscimenti di sorgenti X, popolazioni stellari in galassie e ammassi e asteroidi con orbite vicine alla Terra.

Le pubblicazioni, frutto di osservazioni eseguite con TNG e apparse su riviste con referee, sono costantemente monitorate e negli ultimi tre anni si attestano ad un livello medio di 50/anno.

MAGIC è un telescopio stereoscopico per raggi gamma che, non essendo soggetti ai campi magnetici, arrivano sulla Terra conservando integra l'informazione sui processi che li hanno generati. Sono prodotti da eventi straordinariamente energetici che avvengono in situazioni particolari nel nostro universo: collassi gravitazionali e onde d'urto che si generano in prossimità di buchi neri durante il loro accrescimento, resti di supernova o Gamma Ray Bursts (GRB).

l TNG è gestito attraverso la Fundaciòn Galileo Galilei (FGG), di diritto spagnolo.

Il TNG è contestualizzato in ORM (Observatorio del Roque de los Muchachos), uno degli Osservatori Internazionali di maggiore tradizione ed importanza. L'INAF si adopererà nel triennio per rinforzare le relazioni e le sinergie con altre realtà presenti in ORM, al fine di ottimizzare i costi di gestione e la produttività delle infrastrutture nel suo complesso, come auspicato e fortemente sostenuto da ASTRONET (Coordinamento Europeo per la Astronomia).

In quest'ottica, sono appena state attivate partecipazioni Italiane allo strumento WEAVE per il WHT (William Herschel Telescope – Operato ad ORM da STFC attraverso ING) ed allo strumento NTE per il NOT (Nordic Optical Telescope – Operato da NOTSA per conto di Svezia, Danimarca, Norvegia e Finlandia). In questo quadro si colloca anche l'accordo, già citato, di scambio di notti osservative tra NOT e TNG.

Costi di Esercizio

Il Bilancio annuale della FGG è pari a **2.5 M€** a carico dell'INAF e sostenuto con apposita assegnazione straordinaria di FOE da parte del MIUR. Con la propria dotazione la FGG provvede alla operatività, manutenzione, promozione e sfruttamento scientifico del TNG.

Assumendo un numero di notti osservative utili pari a 300 anno (stima statistica detratte le notti di manutenzione tecnica e le notti perse per maltempo) il costo unitario della notte osservativa è pari a 8.300 €, sostanzialmente più economico del costo medio dei telescopio della stessa classe 8 mt (10-15 k€ per notte).

### European Southern Observartory

VLT Very Large Telescope

Il VLT si pone come la più importante struttura per l'Astronomia da terra all'inizio del terzo millennio. È lo strumento ottico più avanzato al mondo, composto da quattro telescopi principali (Unit Telescopes: UT), con specchi primari di 8,2 metri di diametro e da quattro telescopi ausiliari mobili (Auxiliary Telescopes: AT) di 1,8 metri di diametro. I telescopi possono essere combinati a formare un interferometro gigante, il Very Large Telescope Interferometer dell'ESO (VLTI), che consente agli astronomi di vedere dettagli fino a 25 volte più fini rispetto a quelli osservabili con i singoli telescopi. Nel VLTI i fasci di luce sono combinati per mezzo di un sistema complesso di specchi in tunnel sotterranei che devono mantenere uguali i percorsi del segnale luminoso a meno di 1/1000 mm lungo un percorso di oltre cento metri. Con questo tipo di precisione il VLTI può ricostruire immagini con una risoluzione angolare del millesimo di arcosecondo, equivalente a distinguere i fari di un'automobile alla distanza della Luna. I telescopi di 8,2 metri di diametro possono essere usati anche individualmente. Con un telescopio di questa dimensione si possono ottenere immagini di corpi celesti fino a magnitudine 30 con un'esposizione di un'ora. Questo corrisponde a vedere oggetti che sono quattro miliardi di volte meno luminosi di quelli che possono essere visti a occhio nudo.

Il VLT offre 12 strumenti di piano focali, 3 per UT, oltre al fuoco interferometrico alimentabile dalle UT stesse o dai piccoli telescopi ausiliari da 1.8 mt. Gli strumenti di piano focale coprono dall'ultravioletto al medio infrarosso e sono specializzati ciascuno per un'esigenza osservativa specifica: imaging, spettroscopia a varie risoluzioni, campo integrale, polarimetria, etc. etc.

La produzione scientifica del VLT è tanto abbondante e varia al punto che l'Infrastruttura si colloca agli assoluti vertici per produttività scientifica a livello mondiale, distaccando in molti casi le dirette concorrenti. Questo anche per via del metodo di attribuzione del tempo osservativo che avviene mediante la sottomissione di proposte giudicate da un apposito comitato scientifico, garantendo la massima qualità nei prodotti. Gli Astronomi Italiani fanno grande uso del VLT, sottoponendo proposte di successo ed interpretando e pubblicando i dati in modo efficiente.

L'Italia ha contribuito pro-quota alla realizzazione dei Telescopi del VLT in quanto membro dell'organizzazione inter-governativa (ESO) che lo ha realizzato. L'industria Italiana ha fornito importanti parti dell'Infrastruttura, tra le quali la meccanica delle UTs.

Consorzi internazionali a partecipazione Italiana hanno, nel corso degli anni, disegnato, costruito, installato e, in taluni casi, operato strumenti di successo al VLT. Tra di essi lo spettrografo multi-oggetto nel visibile VIMOS, lo spettrografo multi-oggetto a fibre FLAMES-GIRAFFE, lo spettrografo a bassa risoluzione e larga banda spettrale X-shooter.

Per la parte interferometrica l'INAF ha contribuito alla realizzazione del rivelatore di frange di interferenza FINITO e dello strumento interferometrico di piano focale AMBER.

Tutti i ricercatori italiani che si occupano di Astronomia possono richiedere tempo osservativo al VLT. Il tempo viene assegnato per selezione competitiva. Molti progetti osservativi ed alcuni progetti tecnologici vengono sviluppati insieme con le Università.

VST –VLT Survey Telescope

Il VST è un telescopio alt-azimutale di ricognizione a grande campo, con un'apertura di 2,6 metri che è stato installato e reso operativo nel 2007 presso l'Osservatorio ESO di Cerro Paranal, in Cile.

Il VST è correntemente equipaggiato con la camera a campo largo Omega-CAM come singolo strumento offerto. Omega-CAM copre 1 grado quadrato di cielo campionandolo con 268 Megapixels nella banda 0.3-1.0 um. L'associazione VTS-Omega-CAM è indicata per osservazioni di rassegna. 3 Survey pubbliche sono programmate ed in alcuni casi le osservazioni relative sono iniziate: a) KIDS (The Kilo-Degree Survey), b) VST ATLAS, c) VPHAS+ (The VST Photometric H-alpha Survey of the Southern Galactic Plane).

Il VST è stato concepito e costruito in seno ad un accordo tra l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte-Napoli (OACN poi confluito in INAF) e l'ESO, stipulato nel 1997. Come descritto nell'accordo e nel Memorandum of Understanding firmato dalle parti nell'anno successivo, l'INAF (allora OACN) si è fatta carico della realizzazione del Telescopio e della collaborazione al suo collaudo ed alla verifica scientifica; ESO ha costruito l'infrastruttura in loco (Cupola, etc.) e ne sostiene l'esercizio e la manutenzione.

Tutti i ricercatori italiani che si occupano di Astronomia possono richiedere tempo osservativo al VST. Il tempo viene assegnato per selezione competitiva. Molti progetti vengono sviluppati insieme con le Università.

NTT - New Technology Telescope

ESO opera da decenni a la Silla  NTT (New Technology Telescope). INAF ha proposto ed ottenuto il via libera a costruire lo spettrografo a risoluzione intermedia SOXS. In fase di avanzato disegno SOXS sarà costruito ed installato nei prossimi anni

fornendo un prezioso contributo per l'osservazione dell'universo transiente con particolare riferimento alle controparti ottiche delle onde gravitazionali.

ALMA

ALMA è un radiointerferometro astronomico all'avanguardia, che comprende uno schieramento di 66 radiotelescopi da 12 e 7 metri che osservano alle lunghezze d'onda tra millimetriche e sub-millimetriche (0.3-9.6 mm). ALMA è correntemente la più grande Infrastruttura per la Ricerca Astronomica in esercizio al mondo.

ALMA è un osservatorio versatile concepito per contribuire a svariati casi scientifici. Tra questi:

- Cosmologia ed Universo ad Alto Redshift;
- Galassie e Nuclei Galattici;
- Mezzo interstellare, formazione stellare ed astrochimica;
- Dischi circumstellari, pianeti extra-solari e sistema solare;
- Evoluzione stellare e Sole.
-

L'INAF e l'Italia hanno contribuito alla realizzazione di ALMA attraverso la loro partecipazione ad ESO. Importanti contratti per la costruzione dell'Array sono stati assegnati ad imprese italiane. INAF opera inoltre a Bologna un Alma Regional Center (ARC) che fornisce supporto ai ricercatori che si accostano alla infrastruttura.

### *Infrastrutture in Costruzione*

#### CTA Cherenkov Telescope Array

L'Osservatorio CTA sarà lo strumento da terra dedicato alle alte energie dei raggi gamma della prossima generazione. Sarà operato come un osservatorio aperto alla comunità ed aiuterà ad approfondire la conoscenza dell'universo non termico ad alta energia.

CTA è un osservatorio nella banda dei raggi gamma (GeV e TeV). A queste bande il meccanismo di generazione dei fotoni non può essere termico, non ci sono oggetti celesti sufficientemente caldi, ma deve necessariamente essere non-termico, originato da shocks relativistici, da interazione con i campi magnetici etc. Il flusso e la distribuzione in energia dello spettro nella regione dei gamma riflettono il corrispondente flusso e distribuzione della particelle ad alta energia. Di conseguenza, possono essere utilizzati per tracciare la presenza di raggi cosmici e di elettroni in regioni distanti della nostra galassia od anche in altre galassie.

L'Osservatorio CTA sarà utilizzato per osservare:

- Sorgenti gamma della nostra galassia: Residui di Supernovae, Pulsars, regioni di formazione stellare, il centro galattico, binarie-X e microquasars.
- Sorgenti gamma extragalattiche: Nuclei Galattici Attivi, Luce di Background Extragalattica, Gamma-Ray Bursts, Clusters di Galassie.
- Fisica Fondamentale: Materia Oscura, Gravità Quantistica, Raggi Cosmici carichi.

E' inoltre previsto l'uso di CTA per una mappatura del cielo a queste energie.

CTA Observatory (Società no-profit di diritto privato Tedesco partecipata dagli Enti).

L'INAF contribuisce a CTA nel settore dei "piccoli Telescopi" ovvero i telescopi da 4 metri, parte dell'Array, necessari per monitorare la parte ad alta frequenza dello spettro elettromagnetico di interesse per CTA. Lo sviluppo di questi telescopi è stato condotto nel contesto del Progetto Bandiera ASTRI per la costruzione di una stazione prototipale di tali telescopi completi di strumentazione e controllo presso il sito di Serra La Nave (Catania).

INAF è socio fondatore della GMbH e ne forma parte rilevante (seconda dopo la Germania). Attraverso la GMBh, INAF governa il processo di realizzazione e successivamente di operazione dell'Array CTA nel suo complesso. Nel 2016 l'Italia è stata scelta come sede del quartier generale di CTA (Bologna) ed il MIUR ha proposto ai partners internazionali l' ERIC come forma legale per la governance del progetto.

La Collaborazione CTA vede personale delle Università e di altri enti di Ricerca (es. INFN) collaborare con i ricercatori INAF al progetto

Costi di Costruzione ed Esercizio

Il contributo italiano a CTA è previsto dell'ordine di 50 M€ nell'arco di 10 anni dei quali il 25% di contributo diretto alla ERIC ed il 75% come contributo in-kind attraverso commesse industriali all'industria italiana. I criteri di ripartizione dei costi di esercizio (e relativo ritorno in termini di proprietà intellettuale) sono correntemente oggetto di negoziazione nell'ambito della definizione dello statuto dell'ERIC.

In questa fase transitoria INAF sostiene le attività preliminari e gli studi per la fase di disegno e configurazione con circa 2M€/anno.

### SKA Square Kilometer Array

Il progetto SKA (Square Kilometer Array) costituisce il più ambizioso progetto radioastronomico attualmente in fase di studio. Sarà un network caratterizzato da un 1 km quadrato di area di raccolta, un grande campo di vista, un'estensione di alcune migliaia di km e tecnologie innovative per ricevitori, trasporto ed elaborazione del segnale e calcolo. Lavorerà su un grande intervallo di frequenze con un miglioramento di 50 volte in sensibilità e di oltre 100 volte in velocità di osservazione del cielo rispetto agli strumenti attuali.

Le caratteristiche senza precedenti di un radio telescopio come SKA consentiranno di approfondire lo studio della formazione ed evoluzione delle prime stelle e galassie dopo il Big Bang, il ruolo del magnetismo cosmico, la natura della gravità e, possibilmente, lo studio della vita oltre la terra.

Ancorché il grande salto in termini di performance tra i radiotelescopi esistenti e SKA non consenta una visione completa della scienza che SKA potrà fare, i seguenti casi scientifici sono stati utilizzati in fase di disegno per definire i requisiti di alto livello per la sua costruzione:

- Evoluzione delle Galassie, Cosmologia ed Energia Oscura
- Tests dei campi gravitazionali forti usando Pulsars e Buchi Neri
- Origine ed Evoluzione del magnetismo Cosmico
- Sondare l'alba del cosmo
- Le origini della vita nell'Universo

Personale Universitario associato all'INAF partecipa agli sviluppi tecnologici e scientifici relativi a SKA.

Nel 2015 l'Italia (MAECI) è stata incaricata di condurre i negoziati internazionali per la formazione dei una IGO (Inter Governemntal Organisation) che subentri alla attuale società no-profit di diritto privato inglese che correntemente governa il progetto. La sottoscrizione del trattato per la IGO (che necessiterà in seguito una ratifica parlamentare) è prevista per i primo mesi del 2018.

Costi di Costruzione ed Esercizio

Il contributo italiano a SKA non è correntemente definito e verrà stabilito solo a valle della formazione della IGO. Una stima basata su una suddivisione percentuale dei costi previsti per la realizzazione dell'opera indica in 100 M€ in 10 anni l'impegno italiano nella infrastruttura.

In questa fase transitoria INAF sostiene le attività preliminari e gli studi per la fase di disegno e configurazione con circa 2M€/anno.

### E-ELT European Extremely Large Telescope

Il "European Extremely Large Telescope (E-ELT)" è un telescopio da terra della classe ELT (Telescopi estremamente grandi) in corso di avanzato disegno, coordinato da ESO. Si tratta di un telescopio con un primario segmentato da 39.3 metri di diametro (il più largo attualmente in programmazione al mondo) intrinsecamente dotato di ottica adattiva per la correzione della turbolenza atmosferica (unico al mondo sotto questo aspetto). Il telescopio sarà dotato di strumenti multipli con varie funzioni: sei sono correntemente programmati ed allo studio.

Una volta in operazione, E-ELT sarà il telescopio con l'area di acquisizione più larga al mondo (circa 25 volte superiore al più grande telescopio correntemente operato). Con l'ottica adattiva integrata EELT raggiungerà risoluzioni spaziali oggi impossibili che, unite alla grande area di acquisizione, consentiranno Osservazioni ad oggi di difficile previsione.

Le linee guida Scientifiche utilizzate per guidare il disegno del telescopio, comprendono: a) la rivelazione e caratterizzazione chimica di pianeti extra-solari di tipo terrestre, b) caratterizzazione di oggetti primordiali quali le prime stelle e le prime galassie, c) misura diretta della variazione delle costanti fisiche fondamentali.

Il tempo Osservativo all'E-ELT verrà assegnato come già avviene per le altre infrastrutture operate dall'ESO, in modo competitivo attraverso la sottomissione di proposte e la loro valutazione da parte di appositi comitati. Ciò a garanzia della qualità dei programmi scientifici ammessi all'uso dell'infrastruttura.

Il Personale Universitario associato all'INAF collabora attivamente nella realizzazione del progetti tecnologici strumentali e nella definizione dei programmi scientifici per E-ELT.

Costi di costruzione ed esercizio

L'E-ELT è progettato e sarà costruito dall'organizzazione intergovernativa ESO, di cui l'Italia è Membro e ne sostiene pro-quota i costi di funzionamento (attraverso il Ministero degli Esteri). Per l'E-ELT l'Organizzazione ha richiesto ed ottenuto (attraverso i necessari adempimenti legislativi in ciascuno dei Paesi Membri) un contributo straordinario proporzionale alla percentuale di partecipazione alla Organizzazione (nel caso dell' Italia 44 M€) unito ad un aumento incrementale della quota annuale di funzionamento (pari al 2% per anno).

## Le Grandi Infrastrutture da Spazio

Tra i progetti dell'astronomia moderna che si configurano cruciali per le ricerche nel campo, ci sono i progetti "spaziali", cioè le osservazioni dell'Universo effettuate con strumenti a bordo di satelliti, e l'esplorazione del sistema solare attraverso l'utilizzo di sonde robotiche. Nei progetti "spaziali" i Paesi industrializzati stanno investendo ingenti risorse, in quanto e' oramai assodato che essi rappresentino un volano per lo sviluppo di tecnologie innovative con enormi ricadute nella vita di tutti i giorni. Anche in questo settore l'INAF è all'avanguardia, attraverso una consolidata collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), così come con quella Europea (ESA), quella statunitense (NASA) e/o giapponese (JAXA). Di seguito riportiamo un brevissimo resoconto delle missioni per le quali esiste un'indiscussa leadership del nostro Istituto i.e. che recano a bordo diversi strumenti ed esperimenti a guida INAF o che hanno usufruito di una collaborazioni tecnico/scientifiche di rilievo di personale INAF. La nostra industria nazionale ha contribuito in maniera rilevante alla loro costruzione e ha tratto ovviamente vantaggio delle commesse finanziate dalle agenzie spaziali nazionali o sovranazionali. Une descrizione di maggior dettaglio di quanto riportato qui e' reperibile al seguente link

### *Infrastrutture in Operazione (o recentemente in fase post-operativa)*

#### Esplorazione del Sistema Solare

**Mars Express** (con uno strumento INAF)**, Venus Express** (conclusa a fine 2014, con 2 strumenti INAF) e **Cassini** (uno strumento INAF) sono missioni dedicate allo studio dell'atmosfera, della superficie e del sottosuolo rispettivamente di Marte, Venere e Saturno. **Dawn** è una missione NASA dedicata agli asteroidi Vesta e Cerere con uno strumento dell'INAF, mentre **Juno** (anche qui con uno strumento INAF) studia la composizione atmosferica e la struttura interna di Giove. **Rosetta** (conclusa a settembre 2016) è stata una delle missioni più importanti dell'ESA, dedicata allo studio (anche con misure in situ) della cometa 67P/CG con un notevole contributo italiano e dell'INAF (con uno strumento a guida INAF ed uno a co-guida INAF).

#### Stelle, Galassie e Cosmologia

*Il telescopio spaziale Hubble (***HST)**, frutto della collaborazione NASA-ESA, continua a fornire dati rivoluzionari su popolazioni stellari risolte, pianeti extrasolari, galassie vicine e lontane, supernovae e oggetti primordiali. **Herschel** (dell'ESA, in fase post-operativa dal 2013) ha analizzato la formazione stellare e lo studio della formazione ed evoluzione delle galassie nell'Universo. **Planck** (dell'ESA, in fase post-operativa dal 2013, con uno strumento INAF) è stata la prima missione europea dedicata allo studio della nascita dell'Universo e della radiazione cosmica di fondo, tramite la produzione di mappe ad alta risoluzione. La missione **Gaia** è invece dedicata a studiare la scala delle distanze, la struttura della nostra Galassia e la dinamica e la fisica dei corpi minori nel Sistema solare. L'INAF partecipa in maniera rilevante al consorzio che si occupa del processamento e dell'analisi dell'enorme quantità di dati che **Gaia** sta accumulando.

#### Universo "violento"

**XMM** e **INTEGRAL** e le missioni NASA **SWIFT e NuSTAR**, tutte con rilevante contributo italiano (su I**NTEGRAL** uno degli strumenti è INAF, mentre per SWIFT INAF ha fornito gli specchi), che approfondiscono la nostra conoscenza dell'emissione X di numerose classi di sorgenti astronomiche, come i buchi neri con masse da poche a milioni volte quelle del Sole, della materia e dei campi magnetici in condizioni estreme, e delle sorgenti dei potentissimi lampi gamma cosmologici. A queste si aggiungono le missioni **AGILE** e **FERMI**, la prima totalmente italiana, la seconda in collaborazione con la NASA, che permettono la caratterizzazione dell'emissione alle altissime energie di numerose classi di sorgenti galattiche ed extra-galattiche.

*Infrastrutture in Costruzione o in fase di studio*

### Missioni vicine al lancio

**Bepi-Colombo** (lancio previsto nel 2018), missione "cornerstone" ESA-JAXA per studiare Mercurio e il suo ambiente, l'interazione con il Sole e gli effetti gravitazionali previsti dalla relatività generale. Rilevante il contributo italiano, con 4 strumenti, di cui 3 a guida INAF. Il programma **EXOMARS** è una missione europea-russa per l'esplorazione marziana con rilevante coinvolgimento italiano, per stabilire se la vita su Marte è mai esistita e dimostrare la fattibilità di nuove tecnologie per le missioni di *Sample Return* negli anni a venire (in questo campo INAF collabora anche nella missione di *Sample Return della NASA denominata* ***OSIRIS-REX,*** attualmente in fase operativa*)*. Il programma prevede due missioni: la prima (lanciata a marzo 2016) è composta da un orbiter e un modulo di discesa (il cui unico strumento a bordo era a guida INAF), mentre la seconda prevista nel 2020 farà sbarcare su Marte un rover con un trapano. Nella missione del 2020 l'INAF contribuisce con la responsabilità di due strumenti scientifici e con la partecipazione a diversi altri. **Cheops** (lancio previsto nel 2018) è la prima missione di classe *small,* "S", del programma *Cosmic Vision* dell'ESA, il cui obiettivo è di fare osservazioni di stelle con pianeti già noti (o potenziali), in modo da misurarne i transiti con fotometria ad alta precisione; il principale contributo italiano sarà la fornitura del telescopio. **JWST** (lancio previsto a fine 2018) è la missione congiunta NASA, ESA e CSA che porterà in orbita nel 2018 il più grande telescopio spaziale ottico-infrarosso mai volato. **JWST** studierà i pianeti extra-solari, le regioni di formazione stellare, le popolazioni stellari e le galassie remote, fino a vedere quelle nell'universo giovanissimo; il contributo di ricercatori afferenti ad INAF è stato fondamentale per lo sviluppo della missione dal punto di vista della sua ottimizzazione scientifica.

### Missioni in preparazione

**Solar Orbiter** (lancio previsto nel 2019) è la prima missione di classe *Medium*, "M", del programma *Cosmic Vision* dell'ESA selezionata per studiare il plasma del vento solare, il campo magnetico da esso trasportato e le sorgenti solari che lo hanno generato; INAF ha la guida di uno strumento (e ne co-guida un altro) a bordo della missione. **Euclid** (seconda missione "M" dell'ESA, lancio previsto fine 2020) è dedicata allo studio di Energia Oscura, Materia Oscura e possibili deviazioni dalla teoria della Relatività Generale; in **Euclid** INAF ha la responsabilità del coordinamento del *Science Ground Segment* della missione. **Plato** (terza missione "M" dell'ESA, lancio previsto nel 2024), permetterà l'individuazione e la caratterizzazione di pianeti extrasolari: i suoi telescopi saranno progettati in Italia da ricercatori afferenti all'INAF. **Juice** (lancio previsto nel 2022) è la prima missione di classe *Large*, "L", dell'ESA selezionata per studiare il sistema di Giove e, in particolare, le tre maggiori lune ghiacciate (Europa, Ganimede e Callisto); tre saranno gli strumenti a bordo della missione con responsabilita' INAF. **Athena** (seconda missione "L" dell'ESA, lancio previsto nel 2028) sarà un osservatorio di Astrofisica in raggi X; studierà gli aspetti più energetici dell'Universo e gli oggetti celesti più estremi che si conoscano, come i buchi neri e i lampi gamma, spingendosi fino agli albori dell'Universo. Diverse e di rilievo le responsabilita' italiane (i.e. impatto scientifico, sullo strumento principale della missione, sui filtri criogenici, sullo Science Innovation Center etc..). In stretta collaborazione con INFN, l'INAF partecipa anche a **IXPE** (lancio previsto nel 2020), una missione recentemente selezionata dalla NASA, dedicata allo studio di sorgenti celesti mediante l'utilizzo della polarimetria in banda X.

### Missioni ancora in competizione

A valle di un processo che ha visto la competizione di 27 missioni, ESA ha ristretto la rosa a tre missioni per la selezione della quarta missione di classe "M" del suo programma *Cosmic Vision*. Le tre missioni ancora in competizione (tutte con una importate o fondamentale partecipazione INAF) sono **Xipe** (PI-ship INAF), **Thor** e **Ariel** (Co-PI-ship INAF) dedicate, rispettivamente, alla polarimetria in banda X, allo studio del plasma spaziale in condizioni di turbolenza ed allo studio delle atmosfere stellari di esopianeti in orbita attorno a stelle vicine. La selezione finale è programmata per la seconda meta' del 2017.

## Infrastrutture Informatiche

Le e-infrastrutture rappresentano uno dei pilastri sui quali regge lo sviluppo della ricerca nelle modalità auspicate dalle politiche europee dei progetti ESFRI e, come tali, rappresentano il necessario sostegno alle iniziative nazionali ed in collaborazioni internazionali per l'astrofisica che fanno riferimento ai servizi da loro offerti. Tutte le attività volte a facilitare l'accesso a queste infrastrutture favoriscono il circolo virtuoso d'innovazione tecnico-scientifico con importanti ricadute sul tessuto produttivo e nel contesto sociale del sistema Paese.

L'INAF collabora con varie istituzioni Europee allo sviluppo dell'infrastruttura di calcolo e data storage per i grandi progetti strumentali di astrofisica quali ALMA, SRT, VLBI, VST, GAIA e LBT, ed Euclid, CTA e SKA nel futuro**,** ed e coinvolta nello sviluppo di standard internazionali di interoperabilità tra i dati (e il caso del **Virtual Observatory)**, e di sviluppo di middleware per supporto al calcolo (**EGI**). Lo scopo di questo pesante coinvolgimento e quello di supportare i progetti scientifici per lo sfruttamento dei dati provenienti sia dai telescopi da terra o dallo spazio, sia dal calcolo teorico.

Nell'ambito delle *e-Infrastructure* di calcolo/dati, esistono fondamentalmente tre diverse linee, dotate di caratteristiche tra loro complementari: **HPC** (High Performans Computing), **HTC** (High Troughput Computing) e **Data Infrastructure**. Pur rispondendo a necessita tra loro differenti, vi e un'ampia sovrapposizione di problematiche comuni tra queste tre linee, quali le modalità di connessione in rete, l'archiviazione, la gestione e l'uso di grandi moli di dati, le problematiche di security e privacy, fino ai modi di controllo dell'accesso tramite la federazione di autorità di autenticazione. Non ultimo e da considerare anche tutto il lavoro nello sviluppo ed ingegnerizzazione di software sia come framework che come sistemi di analisi dei dati raccolti.

La Direzione Scientifica intende valorizzare ed integrare le realtà presenti nel territorio nazionale legate ai vari progetti, oltre ad incentivare una sempre piu forte interazione tecnica con gli altri Enti di Ricerca Italiani, in quanto molte problematiche infrastrutturali sono simili.

Attualmente presso l'INAF esistono molte esperienze in questi campi, ma sono spesso dedicate ai singoli progetti. Sviluppi ed attività atte a migliorare l'efficienza dell'offerta ICT sono già in atto, ed il loro consolidamento dovrà permettere di rispondere alle sempre maggiori richieste di calcolo, in senso lato, che arrivano dall'istituto.

Per ottenere il miglior risultato le attività dell'ICT dovranno concentrarsi su 4 punti principali:

- **Infrastruttura di rete**
- **Infrastruttura di Calcolo**
- **Infrastruttura di Archivio – Big Data**
- **Networking**

### *Infrastrutture di rete*

La rete informatica dell'ente si caratterizza come una infrastruttura irrinunciabile per l'amministrazione, l'accesso ai servizi della comunità scientifica, l'acquisizione dei dati, l'integrazione delle risorse di calcolo. Se per le due prime due voci potrebbero essere sufficienti gli accessi a 2-30 Mbit/s previsti dalle moderne ADSL forniti dagli operatori, ma l'attività di ricerca richiede che siano garantite velocita ben maggiori. Basti pensare al E_VLBI che richiede dei flussi di 2-4 Gbit/s tra le singole antenne ed il correlatore distante alcune migliaia di Km, oppure il trasferimento dei dati osservativi di un telescopio o di un satellite che vengono analizzati in istituti di differenti paesi, o l'utilizzo di super-computer che generano TB di dati da analizzare localmente. Le reti della ricerca internazionali e quella nazionale GARR assolvono a questa funzione fornendo le dorsali ad altissima velocita (100-500 Gbit/s) verso i poli e le risorse scientifiche, garantendo al contempo il collegamento verso l'Internet commerciale.

Per sfruttare a pieno le potenzialità della rete della ricerca nazionale ed internazionale e necessario disporre di collegamenti veloci tra le nostre sedi ed i punti di accesso alle dorsali (PoP del GARR). In particolare si rendono necessari collegamenti in fibra ottica, gli unici che permettono le velocita richieste. Anche utilizzando fibre ottiche possiamo avere differenti soluzioni più o meno economiche e più o meno versatili. Il collegamento tra le nostre sedi ed il POP Garr su una fibra diretta (dark-fiber) permette di avere qualunque velocita si desideri (1-10-40 Gbit/s) semplicemente cambiando gli apparati attivi. Arrivare al POP attraverso una MAN universitaria o cittadina e notevolmente più economico, ma sono più ridotte le possibilità di avere bande alla massima velocita, bande che comunque vanno concordate. Infine si può avere un "servizio di trasporto" da un operatore di connettività con cui si concordare una tariffa ed una banda, tipicamente ( n x 100Mbit/s).

Lo stato delle sedi INAF e notevolmente migliorato negli ultimi anni grazie anche al progetto Garr-XProgress che ha portato al collegamento in fibra "dark" di tutte le sedi del Sud, ma presenta ancora criticita che devono essere risolte. In particolare occorre anche portare la fibra "dark" in molte strutture del Nord affinche' tutte le sedi INAF abbiano un collegamento minimale ad 1 Gbit/s e' essenziale  e per l'utilizzo dei big data. Al momento la collegamenti diretti a 10 Gbit/s sono previsti solo in due strutture.

Proprio per preparasi al collegamente veloce tra le struttura INAF ha appena stanziato circa 500 KEuro per l'adeguamento delle reti interne (switch, router, firewall e cavi).

Il costo attuale per l'infrastruttura di rete e di circa 550 KEuro piu iva all'anno. A questa cifra vanno aggiunte alcune decine di migliaia di euro che sono pagate dall'ICT e dalle strutture sulla base di accordi locali. Si prevede un aumento della spesa di circa 50KEuro anni per l'adeguamento della velocita' di rete come sopra specificato per ridurre le situazioni di sofferenza o di saturazione di banda.

### *Infrastrutture di Calcolo*

In INAF i progetti e i gruppi di ricerca hanno sviluppato proprie infrastrutture per specifiche esigenze. Un esempio di ciò sono le infrastrutture per il centro dati di **Planck**, il DPC Italiano di **GAIA**, l' **ALMA Regional Data Center** e le infrastrutture di calcolo ottenute attraverso specifici finanziamenti regionali quali **MIUR-PON e POR**. Queste infrastrutture hanno permesso ai ricercatori INAF di raggiungere livelli di eccellenza a livello internazionale.

Esistono inoltre in alcune sedi cluster d'istituto o di gruppo di piccole dimensioni con un numero limitato di CPU/core non superiore a 128 che offrono servizi a progetti Nazionali ed Internazionali. Il vantaggio di questo tipo di approccio consiste nella flessibilità, lo svantaggio invece e dato dalla difficolta di manutenzione, dall'evoluzione non sempre garantita e dal ristretto numero di persone ivi dedicate. Inoltre visto il target spesso "dedicato" dell'infrastruttura stessa e la connotazione locale, l'ingegnerizzazione del sistema e decisa dalle esigenze "locali" e poi eventualmente adattate a progetti anche di altre sedi.

Da dibattiti interni alla nostra comunità e l'interesse dei grandi progetti e' emersa la necessità/possibilità di dotarsi di una "infrastruttura" nazionale di calcolo flessibile e diversificata. Tale versatilità può essere data sia dalla creazione di almeno un Tier-2 per le esigenze "generiche" sia da accordi con altre realtà nazionali ed internazionali. La diversificazione essenziale sia per mantenere i livelli di eccellenza e la sperimentazione per progetti di rilevanza internazionale (SKA, CTA ecc) che per le ricerche di Astrofisica che fanno uso di HTC ed HPC.

Internamente, e prima di dotarsi di un'infrastruttura almeno equivalente ad un Tier-2, il cui costo potrebbe aggirarsi intorno a 2 MEuro, INAF sta finanziando il progetto CHIPP per l'utilizzo delle attuali infrastrutture di calcolo derivanti da precedenti finanziamenti esterni dedicati (es PON e POR, consorzi regionali o progetti come il DHTCS-IT) con lo scopo di ottimizzare le risorse presenti, creare expertise interna sia dal punto di vista di fornitura del servizio sia per organizzare al meglio la domanda.  Ciò permetterà di offrire un servizio generale non più gestito secondo criteri della sede locale ma dipendente dalla valutazione a

livello nazionale da cui discenderà l'ingegnerizzazione del sistema stesso, tenuto conto delle esigenze dell'intera comunità. Proprio per ottimizzare il risultato, verrà acquisito del personale dedicato presso i centri locali che contribuiscono a fornire il servizio. Il costo iniziale di questa attivita' e' programmato intorno ai 120 KEuro.

Questo punto di accumulazione virtuale permetterà anche di prestare particolare attenzione a progetti con finanziamento di tipo regionale (ad es. PON e POR o consorzi regionali) che possano portare all'acquisizione di facilities complementari o di estensione al Tier-2, purché siano sempre rispondenti a logiche non locali ma di respiro nazionale.

In parallelo all'esperienza interna, per le esigenze di calcolo HPC che richiede infrastrutture di tipo Tier-0, l'INAF ha siglato un accordo quadro (MoU) triennale con il CINECA sia per l'acquisizione di un numero adeguato di ore di calcolo, sia per aumentare il supporto alla comunita' in termine di expertise in quanto l'evoluzione dei sistemi HPC con l'uso di acceleratori necessita' di personale ed esperienza sempre piu' specialistica che permettera l'adeguamento dei codici in uso e quelli in fase di progettazione e l'uso efficiente degli acceleratori. Oltre all'accordo quadro esiste anche un MoU con il Cineca dedicato esclusivamente alla missione Gaia.

### *Infrastrutture di Archivio – Big Data*

Per l'INAF il concetto di "data curation e preservation" e insito nell'attivita scientifica. Il dato astronomico e unico ed irripetibile, e come tale va salvato per ogni suo uso presente e futuro. Per questo INAF si e già dotata da tempo di un Centro Italiano Archivi Astronomici-**IA2**. Questo gestisce i dati dei maggiori telescopi terresti dell'INAF e fornisce una "data infrastructure" a tutta la comunità. Il data center, oltre ad aver sviluppato sistemi avanzati di gestione e salvataggio dei dati (NADIR – New Archivial Distributed InfrasctructuRe), permettere la loro pubblicazione tramite le classiche GUI (Grafical User Interface) o tramite i servizi del VO (Virtual Observatory), fornisce anche la possibilità di hosting di archivi vecchi o nuovi che necessitano di una infrastruttura adeguata.

L'infrastruttura consente all'intera comunità INAF la possibilita di condividere i propri dati tramite strumenti di archivio e Cloud, ed e stata appena equipaggiata con un sistema base di tape-library per permettere una "preservazione" del dato scientifico e amministrativo su tempi scala di decenni. Il sistema pero andrà potenziato soprattutto per supportare i progetti INAF di piu' largo respiro. Il potenziamento, che prevede l'acquisizione di un sistema integrato di dischi e tape library avrà un costo iniziale stimato di circa 250KEuro.

L'adeguamento di una tale infrastruttura di storage a lunga durata andrebbe poi "integrata" con delle infrastrutture analoghe ma di entità minori localizzate in alcune strutture per un primo salvataggio dei dati, prima che questi vengano definitivamente archiviati nella Tape Library. IA2 non e il solo repository di dati dell'INAF. A parte la stretta collaborazione che ha l'INAF con ASDC (Asi Science Data Center), in INAF sono presenti oltre 50 piccoli e medi archivi, i cui dati pubblici e privati devono essere salvaguardati sia nel concetto "salvare il bit" sia nel salvare la conoscenza che e legata ed intrinseca nel dato stesso.

Infine IA2 e coinvolta in diversi progetti EU FP7 ed H2020 o a progetti di Archivi Radio, di Cloud e di Virtual Observatory sviluppando sistemi di gestione visualizzazione (GUI), di AAI (Autorizzazione ed Autenticazione) e tutto sistemi di supporto alla gestione dei big data. In particolare IA2 con l'ARC (Alma Regional Center di Bologna) lavorano a stretto contatto per studiare ed ottimizzare il servizio offerto in vista della sfida del Big Data derivante dal progetto SKA partecipando anche al progetto H2020/AENEAS.

### *Networking*

Si e voluto tenere separata la parte di Networking o "infrastruttura umana" non perché' scollegata dalle infrastrutture fisiche, ma per sottolineare l'importanza di creare un network la cui competenza può essere tranquillamente distribuita e coordinata sulle vari sedi dell'INAF.

Mentre una struttura centrale legata all'hardware può portare a dei vantaggi economici e strutturali, la situazione distribuita geograficamente dell'INAF porta insita in se una distribuzione tipo "cloud" delle risorse umane.

Attualmente con il termine "Cloud Compting" si indica un paradigma di erogazione delle risorse informatiche, come quelle indicate precedentemente (archiviazione, elaborazione e la trasmissione dei dati), caratterizzato dalla disponibilità "on demand" a partire da un insieme di risorse preesistenti e configurabili raggiungibili tramite la rete. In particolare si parla molto di IaaS, PaaS & SaaS (Infrastruttura, Piattaforma e Sofware "as a Service") ove l'utente, a seconda del tipo di servizio richiesto, si deve preoccupare solo dell'applicativo finale (il software scientifico) astraendosi sempre di più dal concetto di macchina fisica. Per far ciò serve creare, oltre all'infrastruttura stessa, una rete di competenze e di interazioni tra il personale INAF, e non solo.

Il Lavoro che INAF sta portando avanti tramite L'ufficio ICTI della Direzione Scientifica, è quello di stimolare la creazione di collaborazioni interne ed esterne all'ente e di pubblicizzarne l'esistenza. Esistono a tal proposito già diverse collaborazioni, Mou e Progetti Nazionali ed Europei che sono avviati o in fase di sviluppo, tra cui vale la pena citare:

- **IVOA** (International Virtual Observatory Allinace): e un progetto decennale mondiale in cui la comunità astronomica sta sviluppando ed evolvendo gli standard necessari affinché i dati astronomici siano resi interoperabili in maniera efficiente;
- **RDA** ( Research Data Alliance) come per l'IVOA, ma con connotazioni interdiscipliari;
- **MoU sulla Digital Library** tra gli enti di ricerca Italiani;
- **MoU** con **TANGO** ed **ACS** per l'uso e lo sviluppo dei software sui sistemi di controllo dei strumenti scientifici.
- **MoU** con **INFN** e **SISSA** per lo sfruttamento di risorse di calcolo;
- Partnership industriali con **IBM** (**OpenPower**) ed **Oracle**;
- Progetti europei finanziati dalla comunità Europea nell'ambito di **H2020** quali **AENEAS, ASTERICS**, **INDIGO** ed **EGI** per l'uso e lo sviluppo di infrastrutture e standard da calibrare al paradigma Cloud.
- Etc.
-

Tutte queste iniziative, avranno un reale futuro solo se si sarà in grado di far evolvere la comunità astronomica ed il personale di supporto alla ricerca in modo coordinato. Essenziale e quindi investire sul capitale umano presente, sia esso scientifico che di supporto alla ricerca in parallelo ai progetti ed impegni nazionali ed internazionali va **stimolata ed incentivata**:

- la propagazione dell'informazione;
- la creazione di gruppi di lavoro che portino all'uniformazione di servizi (un esempio potrebbe essere l'implementazione di un unico sistema di posta), e ad un utilizzo piu efficiente delle risorse umane;
- la creazione di comunita dedicate a particolari temi ( come il calcolo HPC, o i sistemi OpenPower o di controllo come TANGO, l'utilizzo di GPU come acceleratori numerici);
- la creazione di corsi, seminari e meeting interni ed esterni dedicati ai singoli argoment;
- la creazione di repository di software sviluppato per il singolo ricercatore o gruppo di ricerca.

In tutto questo discorso va pero tenuto presente un punto cruciale che e l'invecchiamento del capitale umano, soprattutto quello di supporto alla ricerca. Oramai diverse strutture iniziano ad avere problemi di supporto all'utenza scientifica, e questo non per la mancanza di infrastrutture, ma per la mancanza di personale locale che, anche nel paradigma "Cloud", deve essere in grado come

numero e come esperienza di supportare la componente scientifica, od a sviluppare il necessario background tecnologico tramite tecnologiche mirate. A integrare, ma non in secondo piano, gli investimenti infrastrutturali va anche sviluppata una adeguata politica di tourn-over se non di incremento delle capitale umano.

### SST ed SSA

INAF partecipa con proprio personale e proprie infrastrutture alle attività di Space Surveillance Tracking (SST) e Space Surveillance Awareness (SSA). Queste attività sono svolte in modo congiunto con ASI e con lo Stato Maggiore della Difesa e saranno finanziate da apposite fondi predisposti dall'Unione Europea.

### Parco Astronomico delle Madonie

L'INAF, a seguito del D.M. 10 agosto 2015, n. 599, ha ricevuto dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) un finanziamento di € 500.000,00 da destinare alle attività di divulgazione e didattica delle scienze astronomiche del Parco Astronomico delle Madonie (PAM), finanziamento che gestisce tramite l'Osservatorio Astronomico di Palermo. Tale finanziamento è stato rinnovato negli anni fiscali successivi.

Il PAM oggi consta di una struttura destinata alla divulgazione e alla didattica ubicata in contrada Fontana Mitri, nel Comune di Isnello, già attrezzata e dotata di un planetario digitale da 10 metri, una Terrazza osservativa con copertura mobile con 12 strumenti di osservazioni connessi in rete, un radiotelescopio con parabola da 2,3 metri, una struttura museale, aule didattiche, un laboratorio solare, e un laboratorio astronomico all'aperto. Il finanziamento ricevuto da INAF servirà alla gestione della struttura e del personale dedicato alla divulgazione per i prossimi due anni.

Il Comune di Isnello ha nel frattempo investito anche nel territorio per consentire un ritorno efficiente del finanziamento ricevuto. Ci si aspetta che l'impatto sul territorio siciliano e in particolare sulle scuole (studenti e insegnanti) sarà molto significativo. Sono già stati preparati una serie di proposte per percorsi didattici inviati alle scuole del comprensorio.

# Collaborazioni Nazionali ed Internazionali

## La presenza nelle strutture europee, internazionali e nazionali

L'INAF è presente nelle due principali istituzioni europee per la pianificazione e attuazione della ricerca da terra e dallo spazio, l'ESO e l'ESA. In particolare, la presenza dell'INAF è articolata sia in organismi scientifici volti alla definizione e selezione di programmi di ricerca che in commissioni programmatiche che valutano la realizzabilità dei diversi progetti anche in ambito tecnologico e finanziario.

Le roadmaps scientifiche e delle infrastrutture del network europeo Astronet, avviato nel corso del settimo programma quadro, hanno costituito l'elemento coagulante di gran parte dell'astronomia europea e gettato le basi su cui si sono sviluppati i piani nazionali, incluso quello dell'INAF.

Le nuove infrastrutture per l'astrofisica inserite nella roadmap ESFRI (CTA , SKA e E-ELT) vedono INAF presente sin dalla loro costituzione con propri rappresentanti negli organi di governo, in maniera determinante sia del punto di vista tecnologico che scientifico e a ciò autorizzata dal MIUR.

L'INAF è altresì presente in consorzi finalizzati alla gestione di grandi infrastrutture osservative in territori internazionali, quali LBT, TNG, VLBI e MAGIC, Pierre Auger Observatory, fornendo un contributo finanziario, gestionale e tecnologico per garantirne piena operatività.

Esistono inoltre numerose collaborazioni internazionali a livello scientifico e tecnologico, consolidate nel corso degli anni da parte di gruppi di ricerca presenti nelle strutture territoriali dell'INAF.

### I contributi europei

Il Programma Quadro (PQ) per la ricerca e l'innovazione dell' Unione Europea H2020 chiude nel 2017 il secondo biennio di attuazione. Il Programma stabilisce tre obiettivi strategici: aumentare e diffondere il livello di eccellenza della ricerca europea, massimizzare la competitività e l'impatto nel sistema produttivo e affrontare le grandi sfide della società. H2020 è strutturato intorno a tre pilastri, *Excellent Science*, *Industrial Leadership* e *Societal Challenge*s, che si collegano direttamente a questi obiettivi.

I due pilastri di maggiore interesse per l'INAF sono: Excellence Science e Industrial Leadership, i cui bandi hanno un approccio di carattere bottom –up più adatto alle attività di ricerca dell'Ente. Il terzo pilastro, Societal Challenges, e i programmi trasversali Spreading excellence and widening participation e Science with and for Society, pur non rispondendo esattamente ai campi di ricerca dell'INAF possono rivelarsi interessanti per l'avvio di collaborazioni in ambito multidisciplinare, o per il finanziamento di progetti legati alla valorizzazione del patrimonio storico, museale e archivistico dell'INAF così come alle numerose attività di divulgazione e diffusione.

Nella tabella seguente si elencano i progetti H2020 correntemente attivi che vedono la partecipazione di INAF.

| ACRONYM | TITLE | CALL IDENTIFIER | INAF BUDGET | N. PARTNERS | ROLE |
|---|---|---|---|---|---|
| EURO-CARES | European Curation of Astromaterials Returned from the Exploration of Space | H2020-COMPET-2014 | € 347.275,00 | 13 | Partner |
| UPWARDS | Understanding Planet Mars With Advanced Remote-sensing Datasets and Synergistic Studies | H2020-COMPET-2014 | € 347.125,00 | 7 | Partner |
| NEOShield-2 | Science and Technology for Near-Earth Object Impact Prevention | H2020-PROTEC-2014 | € 185.001,00 | 11 | Partner |
| PPOSS | Planetary Protection of Outer Solar System | H2020-COMPET-2015 | € 69.706,25 | 7 | Partner |
| EGI-Engage | Engaging the EGI Community towards an Open Science Commons | H2020-EINFRA-2014-2 | € 81.487,50 | 41 | Third Party |
| INDIGO-DataCloud | INtegrating Distributed data Infrastructures for Global ExplOitation | H2020-EINFRA-2014-2 | € 187.500,00 | 26 | Partner |
| GREST | Getting Ready for EST | H2020-INFRADEV-1-2014-1 | € 370.000,00 | 13 | Partner |
| ASTERICS | Astronomy ESFRI and Research Infrastructure Cluster | H2020-INFRADEV-1-2014-1 | € 1.459.290,00 | 24 | Partner |
| AHEAD | Integrated Activities for the High Energy Astrophysics Domain | H2020-INFRAIA-2014-2015 | € 1.340.434,00 | 27 | Coordinator |
| EPN2020-RI | EUROPLANET 2020 Research Infrastructure | H2020-INFRAIA-2014-2015 | € 207.000,00 | 34 | Partner |
| OPTICON | Optical Infrared Coordination Network for Astronomy | H2020-INFRAIA-2016-2017 | € 1.110.081,00 | 22 | Partner |
| RadioNet | Advanced Radio Astronomy in Europe | H2020-INFRAIA-2016-2017 | € 385.377,00 | 28 | Partner |
| JUMPING JIVE | Joining up Users for Maximising the Profile, the Innovation and the Necessary Globalisation of JIVE | H2020-INFRADEV-2016-1 | € 108.537,50 | 12 | Partner |
| AENEAS | Advanced European Network of E-infrastructures for Astronomy with the SKA | H2020-INFRASUPP-2016-1 | € 374.070,00 | 28 | Partner |
| AARC2 | Authentication and Authorisation For Research and Collaboration | H2020-EINFRA-2016-1 | € 32.237,50 | 25 | Partner |
| PRE-EST | Preparatory Phase for the European Solar Telescope | H2020-INFRADEV-2016-2017 | € 18.750,00 | 23 | Partner |
| EOSCpilot | The European Open Science Cloud for Research Pilot Project | H2020-INFRADEV-2016-2017 | € 110.625,00 | 33 | Partner |
| SUNDIAL | SUrvey Network for Deep Imaging Analysis and Learning | H2020-MSCA-ITN-2016 | € 258.061,32 | 9 | Coordinator |
| LACEGAL | Latin American Chinese European Galaxy Formation Network | H2020-MSCA-RISE-2016 | € 72.000,00 | 10 | Partner |
| SOCIETY | in Search Of Certainty - Interactive Event To inspire Young people | H2020-MSCA-NIGHT-2016 | € 5.020,00 | 7 | Partner |
| Cosmo Plasmas | Cosmological simulations of radio bright plasmas | H2020-MSCA-IF-2014 | € 244.269,00 | 2 | Coordinator |
| TMSP | Mass accretion and ejection in transitional millisecond pulsars | H2020-MSCA-IF-2014 | € 168.277,00 | 1 | Coordinator |
| AstroFIt2 | Astronomy Fellowships in Italy 2 | H2020-MSCA-COFUND-2014 | € 1.911.600,00 | 1 | Coordinator |
| ExaNeSt | European Exascale System Interconnect and Storage | H2020-FETHPC-2014 | € 600.000,00 | 12 | Partner |
| EuroEXA | Co-designed Innovation and System for Resilient Exascale Computing in Europe: From Applications to Silicon | H2020-FETHPC-2016 | € 363.250,00 | 16 | Partner |
| Fornax | Galaxy evolution in dense environments | ERC-2015-STG | € 1.500.000,00 | 1 | Coordinator |
| ClustersXCosmo | Fundamental physics, Cosmology and Astrophysics: Galaxy Clusters at the Cross-roads | ERC-2016-STG | € 1.230.403,00 | 1 | Coordinator |
| DRANOEL | Deciphering RAdio NOn-thermal Emission on the Largest scales | ERC-2016-STG | € 1.500.000,00 | 3 | Coordinator |

Nel corso di questi ultimi anni abbiamo potuto constatare una eccellente attrattività dell'INAF nei confronti dei ricercatori attualmente in servizio all'estero; l'obiettivo per il prossimo triennio è quello di aumentare tale percentuale e puntare sul valore aggiunto delle grandi infrastrutture di ricerca che l'INAF può mettere a disposizione della comunità scientifica nazionale e

internazionale. A questo riguardo si sottolinea l'importanza delle assunzioni straordinarie per meriti eccezionali di ricercatori italiani attualmente operanti all'estero, in grado di stimolare ulteriormente le collaborazioni internazionali.

La possibile sinergia con gli altri strumenti di finanziamento europei, e un maggiore coinvolgimento del mondo industriale in favore di un incremento delle possibili partnership saranno oggetto di particolare attenzione, soprattutto grazie al recente ri-assetto della Direzione Scientifica che prevede specifiche iniziative congiunte delle Unità Scientifiche a carattere Tematico-Gestionali

L'INAF conta tre infrastrutture inserite nella roadmap ESFRI, il cui grado di maturità è stato ottimamente valutato dal Comitato di Valutazione dello stato di avanzamento delle infrastrutture ESFRI istituito dalla DG Ricerca della Commissione Europea, e prevede di vedersi autorizzato nel corso del 2015 il suo primo ERIC per le attività del Joint Institute for VLBI in Europe (JIVE).

## Rapporti e Convenzioni con le Università

L'INAF opera in stretta connessione con le Università per le attività di ricerca e per i processi di formazione. Gli Universitari associati all'INAF sono dell'ordine di 400. Nel corso del 2017 INAF ha finanziato 19 Borse di Dottorato (finanziamento relativo all'intero ciclo triennale per ciascuna) presso 9 università Italiane. Sono state inoltre erogate circa 3500 ore di formazione universitaria distribuite in 70 corsi con 50 docenti ricercatori e tecnologi INAF.

Oltre ad una convenzione quadro con la CRUI e convenzioni bilaterali con molte università Italiane, INAF ha convenzioni con università straniere in paesi europei ed extraeuropei.

Ulteriori dettagli circa il coinvolgimento INAF in attività di alta formazione sono riportati in seguito nella sezione dedicata alla terza missione.

## Relazioni con l'industria nazionale ed Internazionale

La ricerca astronomica non ha di per sé finalità applicative immediate ma, come per altri settori della ricerca fondamentale, richiede e promuove soluzioni tecnologiche sempre più raffinate. Quale esempio di innovazione tecnologica divenuta popolare e riconducibile al "Made by Astronomy", si può annoverare lo standard di trasmissione radio IEEE 802.11, meglio noto al grande pubblico come Wi-Fi, (acronimo di "Wireless Fidelity"), oggi comunemente usato come standard di connessione ad internet di popolari dispositivi portatili quali PC, tablet, cellulari ecc.. ed appunto nato per soddisfare specifiche esigenze di elaborazione e trasmissione dati per le ricerche in radioastronomia.

Anche i rivelatori per raggi X in dotazione negli aeroporti per i controlli di sicurezza si basano su tecnologie sviluppate per le osservazioni astronomiche da satellite e gli sviluppi dei nuovi strumenti trovano applicazioni per diagnostica di materiali anche biologici a bassissima invasività. La realizzazione di specchi per astronomia in raggi X tramite elettroformatura di Nichel (sviluppata presso Istituti INAF) ha trovato un importante *spin-off* nelle applicazioni nano-litografiche, per la produzione dei microprocessori di prossima generazione. Possibili applicazioni pratiche in altri settori delle attività umane non sono quasi mai immaginabili a priori, ma l'inventiva umana quasi mai tarda a trovarne.

L'INAF presta da sempre grande attenzione alla valenza sociale della propria ricerca, non solo analizzandone rapidamente le possibili ricadute applicative, come, ad esempio, adattare alla diagnostica medica per immagini le tecniche utilizzate per l'elaborazione ed il processing delle immagini astronomiche, ma soprattutto pianificando le proprie strategie di ricerca ed innovazione ponendosi obiettivi di Politica Industriale, quale contribuito alla crescita economica del Paese. A riprova del nesso

indissolubile fra ricerca pura e innovazione tecnologica, in pochi anni l'INAF ha depositato diversi brevetti e avviato *start-up* innovative che, grazie alla costruzione di grandi telescopi ottici e radio e al lancio di satelliti di prossima generazione per l'astronomia in raggi gamma e raggi X, così come pure nelle bande ottiche e infrarosse, descritte nelle precedenti sezioni, hanno comportato e comporteranno importanti ricadute industriali, specialmente per i settori della opto-meccanica di grande precisione, aerospaziale, elettronico ed optoelettronico.

In questo quadro, la partecipazione ai grandi progetti astronomici internazionali sarà accompagnata da crescenti ritorni in termini di importanti commesse per l'industria italiana, che trova nell'INAF il supporto nella competitività ed internazionalizzazione, in particolare nell'aggredire i mercati basati sui settori tecnologici più avanzati, quali la sensoristica dal radio ai raggi gamma, le ottiche di precisione e adattive, l'elettronica e i sensori criogenici, la meccanica di precisione, il controllo remoto di strumentazione, la gestione ed il controllo satelliti, le reti e gli archivi dati, nei quali INAF è un *world-class player*.

# Terzo Pilastro: Terza Missione

*La Terza Missione riguarda il rapporto degli enti di ricerca con la società e con lo sviluppo economico e culturale attraverso la trasformazione, la messa a disposizione e la circolazione della conoscenza prodotta con l'attività di ricerca. Si tratta di un insieme complesso di attività che include diverse modalità di relazione, diversi output e diversi sistemi di trasferimento, formali ed informali al cui interno sono comprese, laddove non incluse tra le attività di Ricerca Istituzionale dell'Ente, le attività di (i) Valorizzazione della ricerca e (ii) Produzione di beni pubblici di natura sociale, educativa e culturale. La valorizzazione della conoscenza dal punto di vista economico ha l'obiettivo di favorire la crescita economica, attraverso la trasformazione della conoscenza prodotta dalla ricerca in conoscenza utile a fini produttivi. La produzione di beni pubblici di natura sociale, educativa e culturale ha invece l'obiettivo di mettere a disposizione della società, nelle sue varie articolazioni, i risultati della propria ricerca e specifiche attività di servizio. Queste attività producono prevalentemente beni pubblici, spesso intangibili, con modalità molto variegate e con processi altamente differenziati quanto a livello di impegno istituzionale. Ciò fa sì che una stessa tipologia di attività possa per un ente avere caratteristiche di Terza Missione e non per un altro.*

*Anche queste attività sono per loro natura largamente programmabili e l'Ente potrà dare, di concerto con il Ministero vigilante, l'enfasi ritenuta opportuna in fase di elaborazione del proprio piano triennale e di destinazione delle risorse di bilancio e di personale. È importante sottolineare che le diversità statutarie degli EPR fanno sì che una medesima attività possa essere classificata in modo diverso in enti diversi.*

## Innovazione Tecnologica e Competitività Industriale

La centralità dell'innovazione, quale motore della moderna economia della conoscenza, è un dato storico ormai globalmente acquisito. Tutti gli attori del mondo economico pianificano, infatti, le proprie strategie di business verso l'obiettivo di incrementare il posizionamento di proprie innovazioni sul mercato.

In questo scenario, si è quindi compreso come, anche le Amministrazioni Pubbliche, sia per le diverse funzioni di regolamentazione dei mercati, sia per i capitali che investono nel perseguimento delle diverse missioni istituzionali, debbano giocare un ruolo nei processi di innovazione della società e dell'economia, attraverso l'attuazione di politiche che inneschino fattori moltiplicativi di crescita economica, attraverso la promozione delle opportunità di innovazione.

Quale esempio di questo trend politico, si possono citare l'introduzione dei nuovi strumenti normativi comunitari d'incentivazione della innovazione, quali gli appalti per l'innovazione e gli appalti pre-competitivi, il cui obiettivo è la "fertilizzazione" dell'ecosistema industria-ricerca per stimolare innovazioni foriere di nuovi mercati.

Un moderno Ente Pubblico di Ricerca quale l'INAF, che produce conoscenza in un framework, per definizione, globale come la ricerca scientifica, è quindi, per sua stessa natura un provider di innovazione ed un player di politica economica, pertanto chiamato a dotarsi di una specifica politica di massimizzazione dell'impatto economico della propria attività.

### Policy

Le modalità di valorizzazione dell'INAF, hanno subito una veloce trasformazione nel tempo, passando dall'iniziale esercizio delle sole attività di business development, ovvero tentativi di avviamento allo sfruttamento economico del proprio portfolio brevetti, alla definizione di una più ampia ed articolata politica industriale e dell'innovazione, quale obiettivo strategico teso a massimizzare l'impatto dei ritorni sugli investimenti pubblici che l'Istituto è deputato a gestire nell'esercizio della propria missione istituzionale, anche in forza della crescita del posizionamento strategico che il ruolo dell'INAF ha rapidamente acquisito sulla scena internazionale.

Dialogo organico con il mondo produttivo, comprensione delle capabilities industriali del Paese, analisi dei trend tecnologici di punta, ottimizzazione delle policy di gestione della proprietà intellettuale, sono quindi divenuti strumenti cardine di un sistematico ciclo dell'innovazione che vedo come ambito principe della declinazione la partecipazione ai grandi progetti infrastrutturali di carattere internazionale, con l'obiettivo strategico di massimizzare i ritorni per il Paese sotto il profilo economico, tecnologico ed industriale.

Sulla base delle strategie di massimizzazione dei ritorni, vengono quindi decisi i target di partecipazione nei progetti, con l'esplicito intendo di posizionarsi nello spettro di attività che può potenzialmente apportare il maggior valore aggiunto in termini di innovazione scientifica e tecnologica per il Paese.

Le attività avviate per progetti quali EELT, SKA, CTA che rappresentano un significativo campo di azione di questo approccio politico, che oltre a portare, nel prossimo futuro, un significativo numero di innovazioni nei prossimi anni, ha già garantito ritorni economici per Paese di gran lunga superiori agli investimenti effettuati.

Un fulgido esempio di successo di questa politica è il caso del progetto EELT – European Extremely Large Telescope dove, grazie ad un piano di dialogo strutturato con le aziende iniziato nel 2008, si è resa possibile l'aggiudicazione ad una cordata di aziende italiane, della gara per la costruzione della struttura meccanica portante e della cupola di quello che sarà il più grande telescopio ottico mai realizzato, con un contratto il cui valore ammonta a circa 400 milioni di Euro.

### Attività di studio e realizzazione in partenariato con l'Industria

La ricerca scientifica in campo Astronomico, con particolare riferimento alle attività di sviluppo della Strumentazione, produce innovazione nel campo dei processi, dei materiali e dei dispositivi soprattutto nelle aree dell'Ottica, della Meccanica, della elettronica, del software di controllo per automazione e dell'aerospazio.

Diversi di questi trovati hanno potenziali applicazioni in campi diversi dall'Astrofisica ed alcuni possono interessare il mercato consumer a seguito di adeguata attività pre-prototipale ed ottimizzazione industriale di processo. Queste ultime attività non sono istituzionali per INAF che le svolge e le guida in contesti di partenariato con l'Industria.

Ad esempio nel corso del 2016 sono state attivate attività miste pubblico-privato nel settore degli elementi ottici olografici, della caratterizzazione delle superfici ottiche complesse, nella realizzazione della elettronica di controllo dei radio-ricevitori, nei telescopi a larghissimo campo per il monitoraggio dei detriti spaziali e nella produzione di specchi economici per replica per applicazione nel solare termico.

L'attività in partenariato con l'Industria è continua e costante ed INAF si sta attrezzando per una gestione coordinata attraverso un Registro Unico Trovati al fine di monitorare e valorizzare la proprietà intellettuale che da essi deriva.

### Stimolo diretto ed indiretto a grandi commesse industriali

La partecipazione alla realizzazioni di grandi infrastrutture nazionali ed internazionali di grande impatto economico genera un rilevante volume di commesse industriali in aree come aerospazio, meccanica di precisione, l'ottica, l'elettromeccanica di controllo e svariati elementi Hardware e Software nell'area dell'ICT.

INAF svolge un ruolo di promotore del know-how industriale italiano presso le organizzazioni internazionali organizzando *Industry days* e fornendo ove necessario il servizio di Industry Liason Officer nel pieno rispetto delle regole di approvvigionamento di ciascuna delle Organizzazioni Internazionali interressate.

L'efficacia di questo modello di promozione è dimostrata del volume di ritorno industriale per l'Italia molto superiore, nella media degli ultimi dieci anni, all'investimento profuso dal Paese per la realizzazione delle infrastrutture-

## Biblioteche Archivi Storici e Musei

Nel corso del 2016, a seguito di una riorganizzazione interna, la Direzione Scientifica di INAF si è dotata di una propria unità "Biblioteche finalizzate alla ricerca scientifica" che ha l'obiettivo di mettere in atto la migliore strategia e le procedure connesse per rendere possibile a tutto il personale dell'Ente l'accesso alle risorse informative correnti. Su questo fronte è da sottolineare il recente accordo con il gruppo CARE (Coordinamento per l'Accesso alle Risorse Elettroniche) della CRUI – Conferenza dei Rettori delle Università Italiane – che ha permesso la sottoscrizione di un accordo finalizzato alla partecipazione dell'INAF ai contratti con i principali editori scientifici per la sottoscrizione degli abbonamenti alle riviste.

Per quanto riguarda invece la conservazione e fruizione del patrimonio storico di ambito bibliotecario e archivistico, esse rientrano, analogamente al settore più propriamente museale, sotto le attività che la Presidenza ha deciso di valorizzare in modo diretto.

E' stato quindi costituito un settore dedicato della Segreteria Tecnica di Presidenza il cui coordinatore si avvale del supporto e della consulenza di due dipendenti e di un assegnista di ricerca.

Il patrimonio delle Biblioteche dell'INAF conta oltre 125.000 volumi monografici, 7000 volumi antichi, 500 testate di periodici cartacei e online, di cui circa un centinaio in abbonamento corrente.

Il patrimonio storico strumentale custodito negli Osservatori Astronomici rappresenta nel suo insieme una delle collezioni più interessanti e preziose nel campo della storia della scienza, sia a livello italiano che a livello internazionale: lo Statuto dell'INAF lo impegna non solo a garantirne la tutela e la salvaguardia, ma anche a sostenerne la valorizzazione e la conoscenza critica attraverso appropriati studi ed idonee iniziative museali. Per poter coordinare le diverse attività di recupero e conservazione gestite singolarmente nelle diverse strutture locali, l'INAF si era dotato di un Servizio Musei onde sostenere tutte le azioni volte alla catalogazione delle collezioni e il restauro dei relativi strumenti; l'esposizione e la fruizione pubblica del patrimonio storico-scientifico nelle diverse realtà locali; la valorizzare del patrimonio attraverso studi, ricerche, pubblicazioni e manifestazioni riguardanti la strumentazione astronomica e la storia dell'astronomia italiana ed internazionale.In quest'ambio è stato realizzato *Polvere di Selle*, il Portale dei beni culturali dell'astronomia italiana (www.beniculturali.inaf.it), che raccoglie i database archivistici, bibliografici e strumentali di tutti i beni culturali dell'Istituto che continua a essere implementato e aggiornato sia per

la parte dei dati patrimoniali che per l'informazione delle attività di valorizzazione e fruizione. Il Portale intende essere uno strumento informatico interattivo che consenta agli studiosi ricerche simultanee sulle differenti tipologie di materiale che costituiscono le collezioni storico-scientifiche dell'INAF, dal momento che da esso sono accessibili tutti i database delle differenti tipologie di materiale storico. Il Portale è arricchito sia dalla presenza della Teca digitale, che permette la consultazione dei volumi antichi di particolare rilievo, sia dal database delle biografie degli astronomi italiani. In particolare, per quanto riguarda la strumentazione storica, si sta compilando il database nazionale delle collezioni secondo i criteri di catalogazione richiesti dall'ICCD (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione), al fine di pervenire, per ciascun oggetto della collezione INAF, all'assegnazione del numero di catalogo generale NCTN. Il completamento del database nazionale della strumentazione storica costituirà poi anche la premessa per la successiva realizzazione di un catalogo cartaceo unico di tutti i beni museali INAF.

Per quanto riguarda il materiale bibliografico, si sta ultimando la catalogazione di tutti i libri antichi e di pregio ed è attualmente in corso di preparazione il Catalogo degi incunaboli e delle Cinquecentine posseduti dalle Biblioteche degli Osservatori dell'INAF. È già stata effettuata la digitalizzazione di alcuni volumi rari dell'Osservatorio di Capodimonte, e di una selezione tra i più pregiati volumi dell'Osservatorio Astronomico di Roma e di Brera; inoltre è in fase di realizzazione la digitalizzazione di alcuni volumi antichi dell'Osservatorio di Padova. Tali testi sono consultabili nella teca digitale del portale dei beni culturali. Presso IA2 dell'Osservatorio di Trieste è stato creato il repositori nazionale delle copie digitali sia ad alta risoluzione (600 DPI, TIFF) sia per la consultazione via web.

Per quanto attiene agli archivi storici, nel corso del 2016 si è concluso il riordino dell'archivio storico dell'Osservatorio di Roma che verrà a breve importato nel relativo database nazionale e reso accessibile sul portale web. Inoltre è stato pubblicato l'inventario dell'archivio storico di Palermo, a cura di D. Randazzo, A. Mandrino, S. La Via e R. Vinci. Anche i dati di questo archivio sono in fase di trasferimento nel DB e parzialmente già consultabili online.

Nel biennio 2015-16, gli Osservatori di Arcetri, Capodimonte, Padova, Palermo e Roma, infine, sono coinvolti nel progetto PDIN INAF "Analyzing starlight" per la valorizzazione del patrimonio storico culturale INAF che ha portato alla realizzazione della mostra a rete STARLIGHT (21 marzo-21 giugno 2016).

## Le Collezioni e Musei Scientifici

Avendo accorpato i 12 Osservatori Astronomici italiani, la cui fondazione risale in alcuni casi a oltre 250 anni fa, all'atto della sua costituzione l'INAF ha acquisito anche tutto il patrimonio strumentale da questi posseduto, e nella sua globalità questo patrimonio costituisce una delle collezioni scientifiche più interessanti e preziose nel campo della storia della scienza, non solo a livello italiano o europeo, ma anche a livello mondiale.

L'INAF si è quindi impegnato ad attuare tutte quelle attività di ricerca che ne garantiscano la tutela e la salvaguardia, ma anche a sostenerne la valorizzazione e la conoscenza critica attraverso appropriati studi ed idonee iniziative museali, così come previsto dallo Statuto (Art. 2, comma g). Le collezioni scientifiche dell'INAF sono dunque dislocate su tutto il territorio nazionale e alcune di esse sono permanentemente esposte in musei strutturati, e quindi fruibili dal pubblico.

I Musei e le collezioni strumentali INAF sono così distribuiti sul territorio:

**OA Arcetri (Firenze)**. Collezione. Gli strumenti storici più importanti dell'OA Arcetri sono da molti anni conservati al Museo Galileo di Firenze, ma dal 2009 si sono avviati interventi di recupero sugli oggetti (ca. 170 pezzi, in gran parte Novecenteschi) che erano rimasti in Osservatorio. In particolare si è attuato il restauro del telescopio 'Tempel' ed è stata effettuata la ricognizione della collezione: strumenti, opere artistiche, arredi - con ricerca di fonti documentarie ed iconografiche, che ha portato alla ricollocazione di un ritratto ottocentesco di Galileo, e al rinvenimento e ricollocazione del busto in marmo di Domenico Cipolletti,

opera di Luigi Cartei. La strumentazione più piccola è esposta nel padiglione 'Amici', ed è visitabile in occasione delle visite didattiche organizzate dall'Osservatorio. È attualmente in corso la catalogazione di tutta la collezione all'interno del database nazionale.

**OA Brera (Milano)**. Museo aperto al pubblico. Fino al 2015 la collezione storica Sette-Ottocentesca (ca. una novantina di pezzi), restaurata da molti anni a cura dell'Università degli Studi di Milano, è stata gestita in parte dall'Osservatorio, in parte dall'Università stessa. Dal dicembre 2015 è stato formalmente costituito il Museo Astronomico di Brera (MAB), dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Brera. L'OA Brera sta quindi curando la catalogazione degli strumenti novecenteschi, mai censiti in precedenza (si contano ca. 450 oggetti), compiendo le necessarie ricerche sul loro funzionamento, attraverso la documentazione storica, per la compilazione delle relative schede e sta preparando le nuove schede di tutta la collezione scientifica, da inserirsi nel Portale nazionale dei Beni Culturali INAF. Il team di OABr, in collaborazione con l'Università di Milano, ha inoltre realizzato le audioguide, per ora solo in italiano, per i visitatori del Museo Astronomico.

**OA Cagliari.** Collezione. Il recupero della strumentazione d'interesse storico (ca. una trentina di pezzi), ereditata dalla Stazione Astronomica di Carloforte, ha avuto avvio negli anni novanta. Alla fine del 2013, con il trasferimento dell'Osservatorio alla nuova sede, presso il comune di Selargius (Cagliari), si è concretizzata l'idea di realizzare una Sala Espositiva, progettata per accogliere il patrimonio storico-astrometrico e renderlo fruibile al pubblico, all'interno dei Percorsi Museali della Sardegna. In essa troveranno spazio anche dei momenti didattici con attività di tipo laboratoriale. L'allestimento della Sala Espositiva ha avuto inizio nel gennaio del 2014, secondo le linee guida indicate dalla Regione Sardegna, per il riconoscimento del Polo Museale dell'Osservatorio cagliaritano all'interno della rete museale regionale. Per ogni strumento e, se presenti, per le parti accessorie, si stanno predisponendo le didascalie complete di tutti i dati indicativi: questi confluiranno anche nel database del Portale nazionale. L'apertura della struttura è prevista entro il 2016.

**OA Capodimonte (Napoli)**. Museo aperto al pubblico. Il "MuSA – Museo degli Strumenti Astronomici" è stato inaugurato il 17 novembre 2012 e con decreto dell'8 marzo 2013 è stato approvato il regolamento, la carta dei servizi, gli orari di apertura e le tariffe, ed è stato nominato il Conservatore e Responsabile scientifico. La collezione scientifica permanentemente esposta conta circa centotrenta strumenti che coprono un arco temporale dal Cinquecento agli inizi del Novecento, alcuni di notevole pregio artistico e scientifico; è tuttora in corso lo studio della documentazione ad essa relativa, così come lo studio dei documenti biografici e la produzione scientifica degli astronomi di Capodimonte. Nel 2016 oltre un ampia attività di valorizzazione della collezione e di diffusione della cultura scientifica in connessione con le principali istituzioni culturali e museali del territorio, è proseguito il lavoro di restauro sulla collezione con il completamento del restauro e del riallestimento del Circolo ripetotore di Reichenbach (1814), il primo strumento montato e usato a Capodimonte, e di manutenzione straordinaria delle teche del MuSA. Tuttavia il MuSA non è ancora dotato di personale stabile a tempo indeterminato ad esso dedicato ed è auspicabile che questa prestigiosa collezione abbia al più presto un Conservatore strutturato.

**OA Catania**. Collezione. Possiede diverso materiale storico già catalogato (circa una cinquantina di pezzi), ma questo non è esposto al pubblico e non è attualmente fruibile neanche all'interno dei percorsi delle visite divulgative. Si sono però individuate le priorità da perseguire nel prossimo triennio (cfr. più sotto).

**OA Torino**. Collezione. Possiede circa una quarantina di strumenti antichi che sono stati oggetto di restauro negli ultimi anni, ma che non sono fruibili al pubblico per mancanza di spazi. Nel corso del 2013 si è quindi effettuato il prestito di tre strumenti per la mostra "Lagrange: un europeo a Torino", organizzata dall'Accademia delle Scienze di Torino per celebrare il bicentenario della morte del suo illustre Socio fondatore.

**OA Padova**. Museo aperto al pubblico. Il Museo "La Specola", sezione museale dell'Osservatorio di Padova, è stato istituito nel 1994 e da allora esso è regolarmente aperto al pubblico. Il Museo possiede una collezione scientifica di circa 150 strumenti storici, databili dalla metà del Settecento fino ai primi anni del Novecento, di cui un'ottantina esposti; ha un forte inserimento nel territorio ed è sede di attività di ricerca storica. La strumentazione novecentesca e contemporanea è per lo più conservata presso la succursale di Asiago, dove l'OA Padova convive con l'Osservatorio Astrofisico del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova. In questa sede gli oggetti appartenenti all'Osservatorio sono stati utilizzati dal Dipartimento per allestire il 'Museo degli strumenti di Astronomia'. Nel corso del 2015 è proseguita l'attività di ricerca storica e l'attività di revisione catalografica per il riversamento del catalogo locale nel database nazionale, consultabile sul Portale dei Beni Culturali INAF.

**OA Palermo**. Museo. Gestisce e cura da molti anni, tramite convenzione, la collezione scientifica di proprietà universitaria. Il Museo è chiuso dal luglio 2010 per adeguamento alla normativa antincendio, ma continua a svolgere l'attività di ricerca di sua competenza: nel 2012 è stato realizzato un importante intervento di restauro sul pilastro lesionato del grande rifrattore Merz (1865), in occasione del quale è stata effettuata la pulitura e manutenzione dello strumento. Nel 2013 sono state avviate le operazioni di pulitura straordinaria del Cerchio di Ramsden (1789), il pezzo principale della collezione, ultimate nel 2014. Nel 2014 è stata completata l'inventariazione dei beni in deposito, non ancora catalogati, che ha prodotto un elenco aggiuntivo di circa 120 pezzi. È stato inoltre effettuato, dall'ottobre 2013 all'ottobre 2014, un rilevamento dati del microclima del Museo, grazie alla collocazione di appositi sensori, i cui dati sono ancora allo studio. Tutte le attività relative al Museo sono state comunicate al pubblico attraverso la redazione di una Newsletter elettronica (di cui nel triennio scorso sono usciti 12 numeri), consultabile alla pagina http://www.astropa.unipa.it/NewsletterOttobre.html.

**OA Roma, Museo Astronomico e Copernicano**. Museo. L'INAF-Osservatorio Astronomico di Roma (OAR) possiede un patrimonio unico al mondo per ampiezza e completezza, che abbraccia un periodo che va dal XVI secolo ai nostri giorni. La collezione scientifica proviene dai due principali osservatori astronomici romani dell'Ottocento, che sono stati la culla dell'astrofisica: l'Osservatorio del Collegio Romano e l'Osservatorio del Campidoglio. Il materiale più recente è frutto delle attività svolte dall'Osservatorio di Roma nella sede di Monte Mario, nel Novecento. A questo si aggiungono le opere conservate nel Museo Astronomico e Copernicano a partire dalle collezioni raccolte in occasione delle celebrazioni di Copernico nel 4° centenario della nascita, tenutesi a Roma nel 1873. La collezione e il relativo percorso storico si sviluppano su due sedi: Monte Porzio Catone e Monte Mario. A Monte Porzio, presso l'edificio principale dell'OAR, nel 2014 è stato inaugurato un nuovo percorso espositivo, che prevede una parte stabile e due ambienti (la cupola e una nuova sala blindata) dedicati a mostre temporanee, mentre il percorso espositivo di Monte Mario, che conserva le collezioni del Museo Astronomico e Copernicano, è attualmente in fase di riallestimento.

Le attività di ricerca svolte sulle collezioni hanno coinvolto unitariamente strumenti, libri e documenti d'archivio: ricognizione del patrimonio librario composto da circa 4000 libri antichi (tra cui due copie della prima edizione del *De revolutionibus* di Copernico del 1543) e ricostruzione delle collezioni e della loro provenienza; digitalizzazione di una selezione di volumi antichi e di pregio per il portale beni culturali INAF; riordinamento dei documenti dell'archivio storico; studio della strumentazione di Angelo Secchi (caratterizzazione dei prismi a visione diretta e del prisma obiettivo) in vista della mostra "Starlight" e delle celebrazioni del bicentenario delle nascita di Secchi del 2018; ricognizione e analisi storico-scientifica di tutte le opere conservate per la realizzazione delle schede necessarie al nuovo allestimento del museo e al portale dei beni culturali INAF; studio per la realizzazione di un *exhibit* "astrolabio virtuale" per i visitatori del museo; ricerca sulla storia dell'astronomia da Monte Mario e valorizzazione della linea del primo meridiano (collocamento dello strumento dei passaggi di Bamberg nella cabina dove è stato utilizzato fino agli anni '60 del secolo scorso); collaborazioni di ricerca storica per lo studio e la valorizzazione del patrimonio comune tra Museo Astronomico e Copernicano e Università Gregoriana, Biblioteca Nazionale di Roma, CRA-CMA, Biblioteca

Casanatense, Istituto Massimo; recupero e restauro di alcune opere di elevato valore storico (Globo celeste di Coronelli, Codice manoscritto del XIV sec.).

**OA Teramo**. Museo aperto al pubblico. Il Museo possiede una collezione scientifica di circa 40 strumenti e l'attuale allestimento è stato progettato e realizzato nel 2014, anno della sua riapertura dopo la chiusura forzata a causa del sisma del 2009. Tutto il materiale è stato restaurato e catalogato all'interno del database nazionale, consultabile sul Portale dei Beni Culturali INAF. Per ogni strumento è stata anche redatta una scheda descrittiva. Tutte queste schede sono confluite in un unico catalogo museale consultabile dal visitatore anche on-line sul sito: www.oa-teramo.inaf.it/museo.htm. Il Museo è parte integrante del nuovo Laboratorio Didattico realizzato nel 2014, dove sono state sviluppate tecnologie per la didattica e la divulgazione dell'Astronomia: quadrisfera, schermo immersivo, sala dei pianeti, sala delle cosmologie antiche e sala 3D. L'allestimento del museo suggerisce al visitatore un percorso da seguire attraverso un ordinamento scientifico continuo, mettendo in rilievo le specificità di ogni strumento esposto. Questa organizzazione spaziale e funzionale crea un senso di immediata comunicazione tra l'oggetto esposto ed il visitatore, suscitando l'interesse di quest'ultimo. A tale scopo si è fatto ricorso alle moderne tecniche comunicative integrando l'ausilio di didascalie efficaci e di pannelli esplicativi con l'utilizzo di sistemi multimediali QR-Code, AR+ (Augmented Reality) e sviluppando una specifica App scaricabile dalle principali piattaforme (iOS e ANDROID). Ciò permette al visitatore di spostarsi a differenti livelli d'approfondimento e d'interattività, fornendogli così un'informazione più esauriente ed efficace.

**OA Trieste**. Collezione. Possiede circa 25 strumenti, esposti con allestimento tematico assieme a una quarantina di testi storici al piano terreno della cupola principale della Stazione osservativa di Basovizza (Specola Margherita Hack).

Nella tabella che segue sono dettagliatamente riportati il numero di giorni di apertura all'anno, gli spazi dedicati in metri quadrati, il budget impegnato per la gestione dell'attività nell'anno, l'ammontare totale dei finanziamenti esterni ottenuti per la gestione del polo museale nell'anno ed il numero dei visitatori (dati riferiti al 2015). Si segnala infine come le attività di ricerca legate alle collezioni scientifiche sono alla base di una serie di pubblicazioni specializzate.

In alcune delle Strutture INAF che conservano collezioni scientifiche si è allestito anche un vero e proprio museo aperto al pubblico, per lo più sfruttando proprio gli ambienti storici che furono interessati dall'attività di ricerca degli astronomi Sette e Ottocenteschi. Le Strutture che hanno una sezione museale sono gli Osservatori Astronomici di Brera, Capodimonte, Padova, Palermo, Roma-Monte Porzio e Teramo, cui si aggiunge la collezione di Trieste, che è accessibile da tutti i visitatori che effettuano le visite didattiche in cupola. Ad eccezione di Palermo, il cui Museo è stato chiuso nel corso del 2015 per adeguamento alla normativa antincendio, i restanti sono aperti al pubblico. Nel corso del 2016-2017 si prevede aprano al pubblico, ove le risorse lo permettano, anche il museo di Cagliari e quello di Roma-Monte Mario.

### Pianificazione

Nel corso del 2017 ed in prospettiva nel successivo biennio l'Ente ha pianificato nella propria programmazione i seguenti obiettivi nel settore delle Collezioni e dei musei scientifici:

- Aumentare il numero di poli museali disponibili dagli attuali 7 (è prevista l'apertura del polo di Cagliari e del polo di Roma Monte Mario).
- Mantenere l'attuale livello medio di aperture al pubblico dei poli museali (attualmente 260 giorni per i poli più grandi e 50-100 per I poli più piccoli)
- Mantenere e possibilmente aumentare l'attuale livello di superficie espositive (1400 mq circa) complessiva fruibile dal pubblico
- Mantenere il corrente livello di investimento (circa 140 k€/annui) attraverso la ricerca continua di fonti di finanziamento esterne all'ente

- Perfezionare il sistema di rilevazione delle presenze in essere che risulta ancora essere incompleto e non esteso a tutti poli del sistema museale.
- Mantenere o aumentare l'attuale numero annuale dei visitatori dei poli del sistema museale (attualmente circa 22000 dei quali 7500 paganti).

## Attività di Alta Formazione

Il numero complessivo di ricercatori appartenenti ad Università o ad altri Enti e associati all'INAF è di circa 460 unità, di cui circa 300 appartenenti ad Università. Astronomi ed astrofisici sono presenti in molte Università. In particolare, vi sono Dipartimenti di Fisica e Astronomia nelle Università di Bologna, Padova e Catania. Gruppi di ricerca in astrofisica sono presenti anche in diversi Dipartimenti di Fisica, fra cui Torino, Milano, Milano Bicocca, Como-Insubria, Pavia, Trieste, Trieste-SISSA, Ferrara, Firenze, Pisa, Scuola Normale Superiore di Pisa, Cagliari, L'Aquila, Pescara, Roma La Sapienza e Roma Tor Vergata, Roma-3, Napoli Federico II e Napoli Parthenope, Lecce, Cosenza, e Palermo. L'INAF collabora alla formazione di nuovi ricercatori, coadiuvando le Istituzioni universitarie nei corsi di laurea e di dottorato e nella supervisione di tesi di ricerca. In diversi casi i rapporti di collaborazione e scambio tra l'INAF e le Università sono regolati da appositi accordi, stipulati nell'ambito di una convenzione quadro con la CRUI. Il personale scientifico universitario ha accesso alle infrastrutture supportate da INAF alla stessa stregua del personale dell'Istituto stesso.

L'alta formazione è strettamente legata allo sviluppo della ricerca scientifica. In generale, gli enti di ricerca non ricevono finanziamenti ad hoc per queste attività e vi partecipano attraverso accordi con le Università utilizzando i propri fondi di funzionamento ordinario e/o fondi a valere su specifici progetti, inclusi quelli dei progetti premiali MIUR o specifici progetti di formazione post-laurea, spesso a valere su risorse FSER. Ricercatori e tecnologi dell'INAF hanno svolto attività di docenza universitaria e post-laurea sia come docenti di corsi di laurea, di master universitari, di corsi di dottorato e di corsi professionalizzanti di alta formazione, sia come tutor di tirocini previsti dagli ordinamenti dei corsi di laurea sia di università italiane che straniere e che danno titolo all'acquisizione di crediti formativi da parte degli studenti.

A partire dal 2009 l'INAF aveva dovuto ridurre drasticamente a 1-2 per anno il numero di nuove borse di Dottorato finanziate con i fondi di funzionamento ordinario. Diversi dottorandi sono stati comunque supportati su fondi esterni assegnati ai progetti di ricerca (fondi ASI, PRIN-MIUR, premiali, ecc.). A partire dal 2014, INAF ha deciso di invertire tale tendenza. Pertanto INAF ha attivato, per il triennio 2014-2016, 3 dottorati in Astronomia ed in Astrofisica in convenzione con le Università di Bologna, Padova e con il consorzio fra la I Università di Roma, La Sapienza e la II Università di Roma, Tor Vergata e nel contempo ha accresciuto il numero di borse di studio finanziate presso dottorati generalisti in Fisica, Fisica ed Astrofisica, etc.

Per l'anno 2017 INAF ha ulteriormente aumentato il proprio supporto ai Dottorati di indirizzo Astrofisico presso diverse università italiana finanziando o co-finanziando 19 borse di studio presso 9 Università Italiane, 9 delle quali nel contesto di scuole strutturate di Dottorato in astrofisica a Bologna, Padova e Roma.

Nel corso del 2014 è stato presentato alla UE un programma di borse post-doc biennali cofinanziate dalla UE riservate a favorire la mobilità di ricercatori italiani e stranieri residenti all'estero che mira a continuare un analogo programma nominato ASTROFIT avviato negli anni precedenti. Il nuovo programma è stato approvato e finanziato dalla UE e, nel corso del 2015, esso è entrato nella fase di implementazione con l'emissione del primo bando per 9 borse di studio e la selezione dei borsisti che si è recentemente conclusa. I vincitori inizieranno le loro attività entro la fine del 2016, il secondo bando per ulteriori 9 borse di studio è stato pubblicato nel corso della seconda metà del 2016 e nel 2017 le borse sono state fruite.

Nel corso del 2016 l'INAF, utilizzando fondi di specifici progetti, ha emesso svariate decine di bandi per il conferimento di borse di studio e di assegni di ricerca su un ampio spettro di tematiche. Attualmente operano presso INAF circa 70 borsisti e 250 assegnisti di ricerca.

Ricercatori e Tecnologi dell'INAF hanno nel corso del 2016 partecipato ad attività di formazione professionale continua rivolti i) all'aggiornamento di personale docente della scuola secondaria, ii) alla formazione di volontari di Servizio Civile Nazionale, iii) alla formazione di personale specializzato nel campo dell'ICT.

### Pianificazione

In relazione alla formazione universitaria e post-universitaria l'Ente ha inserito I seguenti obiettivi per il 2017 nella propria programmazione.

- Mantenere il Numero totale di corsi di didattica universitaria e post-universitaria (corsi di laurea, master e corsi di dottorato, scuole nazionali di dottorato, altri corsi in percorsi di alta formazione) erogati in toto o in parte (attualmente circa 70).
- Mantenere il Numero totale di ore di didattica universitaria e post-universitaria complessivamente erogate (attualmente circa 3500)
- Aumentare il Numero di ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti (attualmente circa 50)
- Mantenere un numero ragionevole di dottorati in convenzione commisurato al numero di possibili aderenti a livello nazionale (attualmente 3)
- Sostenere un numero ragionevole di studenti di dottorato attivi nell'anno (con tutor o co-tutor dell'INAF) commisurato al numero dei possibili aderenti a livello nazionale (attualmente circa 90)
- Erogare un Numero di borse di dottorato finanziate dall'Ente commisurato ai sopra citati punti.

In relazione alla formazione continua e permanente l'Ente ha inserito I seguenti obiettivi per il 2017 nella propria programmazione.

- Mantenere o aumentare il Numero totale di corsi erogati (Attualmente circa 10)
- Mantenere o aumentare il Numero totale di ore di didattica assistita complessivamente erogate (attualmente circa 80)
- Mantenere o aumentare il Numero totale di partecipanti (attualmente circa 250)
- Mantenere o aumentare il Numero di ricercatori e tecnologi complessivamente coinvolti (attualmente 3)
- Mantenere o aumentare il Numero di organizzazioni esterne coinvolte come utilizzatrici dei programmi (attualmente circa 20)

## Attività di Public Engagement e Pianificazione

L'astronomia è una delle scienze che più affascina i media e il grande pubblico. La sua specificità le consente inoltre di essere un efficace tema di insegnamento multidisciplinare di grandi potenzialità, anche riguardo ai temi di inclusione sociale, per le scuole di ogni ordine e grado. Per la curiosità e il fascino che suscita nei giovani, l'Astronomia, infatti, rappresenta un valido strumento per combattere la tendenza negativa di abbandono degli studi di area scientifica che si sta verificando nella maggior parte dei Paesi Europei. Le competenze scientifiche di punta e le tecnologie di avanguardia che la ricerca astronomica contribuisce a sviluppare costituiscono un ottimo esempio del progresso culturale e industriale di paesi a sviluppo avanzato come vorrebbe essere l'Italia.

L'INAF persegue i suoi obbiettivi in questo settore attraverso una rete di ricercatori e tecnologi diffusa nelle sedi (rete D&D), coordinata dal Settore D della Struttura di Presidenza per la Comunicazione.

Nel medio termine, si intende continuare ad operare con i seguenti obiettivi:

- promuovere, coordinare e capitalizzare a livello nazionale le iniziative di diffusione delle conoscenze astronomiche a livello locale;
- programmare, coordinare e promuovere, anche a livello ministeriale, l'attività di didattica astronomica nelle scuole;
- studiare l'utilizzo a fini didattici di strumentazione astronomica presso le strutture INAF;
- ideare e gestire moduli di lavoro di Didattica e Divulgazione ormai richiesti a livello europeo anche a supporto di programmi scientifici di Ricerca e Sviluppo.

Nel corso del triennio 2017-2019, si pianifica inoltre il coinvolgimento di INAF in programmi di respiro europeo da presentare in risposta alle specifiche call del programma H2020 della UE.

Nel seguito indichiamo gli obiettivi specifici legati alle attività di Public Engagement, suddivisi in due pilastri fondamentali: attività di outreach dedicate a segmenti di pubblico generico e attività di education, dedicate al mondo della scuola.

## Attività di outreach e Pianificazione

### Festival della scienza e attività sul territorio

Nel corso del 2018, come già accaduto nel 2017, l'INAF parteciperà a numerosi festival, iniziative ed eventi organizzati da associazioni sul territorio – che siano di grande visibilità, nazionale o regionale, con grande attenzione alla copertura dell'intero territorio italiano.

La presenza dell'INAF nei vari Festival sarà duplice: un prodotto istituzionale indicato dalla Struttura per la Comunicazione della Presidenza (per esempio una lectio magistralis di un ricercatore, una mostra), sempre accompagnato dal coinvolgimento della sede INAF di riferimento sul territorio – o di altri sedi qualora i contenuti e i costi coinvolti fossero più convincenti - che organizzerà, per esempio, laboratori per bambini o la presenza di un planetario gonfiabile, un evento teatrale ecc.
I festival per i quali è stata pianificata la presenza dell'istituto sono:

- Festival di Genova
- Futuro Remoto, festival della scienza di Napoli
- Festival della Scienza di Roma
- Earth day di Roma
- Festival delle scienze di Agrigento
- Bergamoscienza, festival di Bergamo
- Festival di Cagliari
- Festival di Foligno

Ad altri eventi minori, di carattere cittadino, come per esempio Carpinscienza, festival delle scienze di Carpi, che nel 2017 ha visto un notevole contributo in presenza del nostro ente, l'istituto parteciperà attraverso patrocini, conferenze e spettacoli.

### Mostre sul territorio

La mostra "L'Italia su Marte", realizzata grazie a una collaborazione con ASI, sarà allestita presso il Museo della Scienza e delal Tecnologia di Milano e resterà aperta al pubblico da metà gennaio a fine maggio 2018.

La mostra Cosmos Discovery, allestita da Venice Exhibition srl presso il Guido Reni Districtdi Roma dal 28 settembre 2017 al maggio 2018, ha avuto il patrocinio dell'INAF e vede la presenza del nostro ente su uno spazio di circa 200 metri quadrati, messi a disposizione gratuitamente dagli organizzatori.

### La Settimana della Luce - iniziativa nazionale

Per il IV anno consecutivo, proporremo la settimana della luce – i laboratori aperti dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, a cui aderiscono tutte le sedi dell'INAF. La manifestazione si svolgerà nella terza settimana di novembre, con aperture straordinaria delle sedi e organizzazione di laboratori, mostre, eventi e valorizzazione del patrimonio storico, con visite ai musei INAF. La contemporaneità delle iniziative e la scelta di un tema comune molto generale (la luce in astronomia) permette di avere, allo stesso tempo, larghissima libertà decisionale da parte delle sedi e un'ottima visibilità a livello nazionale.

### Famelab

Anche nel 2018, l'INAF sarà partner nazionale di Famelab, un talent show su argomenti scientifici, promosso dal Cheltenham Science Festival, nel Regno Unito, che viene organizzato in circa 30 paesi del mondo.
Grazie alla collaborazione tra British Council e Psiquadro, FameLab è approdato in Italia, coinvolgendo partner come INFN, CNR e numerose università. Fin dalla prima edizione, INAF ha partecipato da subito con diverse sue sedi (Milano, Padova, Trieste, Bologna, Roma), ottenendo un ottimo riscontro di pubblico e di stampa.

### Pint of science

Anche nel 2018, l'INAF sarà partner nazionale del festival internazionale "Pint of Science", la più estesa manifestazione di comunicazione della ricerca scientifica e tecnologica al Mondo, essendo diffusa in 12 paesi, dal Regno Unito alla Germania e all'Austria, dal Giappone, all'Australia, dalla Francia al Canada, al Sud Africa e al Brasile. La peculiarità di Pint of Science è che gli incontri con i ricercatori vengono ospitati da locali, bar e pub. Questo garantisce la presenza di un pubblico vario di giovani adulti, non necessariamente interessati alla scienza, ma che vengono in contatto con i ricercatori e la ricerca, scoprendo un possibile nuovo interesse. Pint of science, inoltre, è una manifestazione multidisciplinare coordinata da giovani ricercatori, che hanno sentito la necessità di includere la comunicazione nelle loro attività istituzionali.

### Notte europea dei ricercatori

La Notte europea dei ricercatori è un'Iniziativa promossa dalla Commissione Europea che coinvolge ogni anno migliaia di ricercatori e istituzioni di ricerca in tutti i paesi europei. L'obiettivo è di creare occasioni di incontro tra ricercatori e cittadini per diffondere la cultura scientifica e la conoscenza delle professioni della ricerca in un contesto informale e stimolante. Gli eventi organizzati comprendono esperimenti e dimostrazioni scientifiche dal vivo, mostre e visite guidate, conferenze e seminari divulgativi, spettacoli e concerti.
L'INAF ha aderito da subito con una molteplicità di progetti distribuiti in tutta Italia in piazza o presso le proprie strutture che ne fanno tradizionalmente una delle istituzioni italiane che propone il maggior numero di eventi sparsi sul territorio italiano

### Mostre e altre attività istituzionali

La mostra "L'Italia su Marte", realizzata in collaborazione con ASI, Thales Alenia Space, MIBACT, con il supporto di National Geographic, prevede altre tappe in Italia: Milano, Roma, Napoli. Sebbene la mostra sia in fase di realizzazione con un finanziamento apposito, è facile prevedere che alcuni costi saranno da mettere in conto per il rinnovo dell'esposizione e l'adattamento a nuovi spazi.
Sono auspicabili anche alcune iniziative a costi relativamente ridotti e da condurre con possibili ulteriori partnariati che INAF potrà realizzare presso strutture come Città della Scienza, Napoli, o MUDEC o Museo della Scienza e della Tecnologia di Milano, per non limitare la propria presenza solo a Roma.
Questo finanziamento potrà essere usato anche per co-finanziare iniziative delle sedi, sempre relative a mostre, che siano di chiaro interesse nazionale.

### Attività per bambini

Astrokids: produzione di uno spettacolo teatrale per bambini: Nel corso del 2018, proseguiranno e saranno rafforzate le tradizionali attività per bambini Astrokids – le avventure di Martina Tremenda, che nel 2014 sono state accompagnate dalla pubblicazione del volume Astrokids, Avventure e Scoperte nello spazio, edito da Scienza Express. La proposta verrà rafforzata dal rinnovamento del sito web dedicato (http://astrokids.inaf.it/), sul quale sarà possibile trovare materiale divulgativo come approfondimenti, video, immagini e giochi legati ai capitoli del libro, e soprattutto dalla produzione di uno spettacolo teatrale, con la collaborazione di una compagnia di professionisti, dedicato al circuito delle scuole e degli eventi sul territorio.

### Turismo culturale

Presso l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri prenderà il via un progetto di avanguardia legato al turismo scientifico e culturale, con lo scopo di costituire un prototipo da applicare ad altre realtà: un gran numero di sedi organizzano visite sia al patrimonio storico sia al patrimonio strumentale contemporaneo (si pensi ad Asiago, Loiano o Merate, per fare degli esempi), sia in rete con i musei cittadini. Vogliamo stabilire alcune prassi positive per progettare percorsi culturali, che possano essere oggetto di specifici accordi a livello cittadino e nazionale. Nel caso di Arcetri, si tratta di progettare percorsi e itinerari nei quali l'Osservatorio si interfacci con la rete di musei, con l'aspetto monumentale e storico della città, dai percorsi astronomici danteschi alla rappresentazione del cielo nelle collezioni di arte, alla eredità galileiana, fino alla moderna astrofisica. Un progetto-test a basso investimento, con ricadute potenzialmente molto elevate.

### Progetti di didattica

L'INAF proseguirà nella sua opera di sostegno alla scuola 2.0 attraverso estese attività di formazione per docenti, interventi laboratoriali nelle scuole, progetti di Alternanza Scuola Lavoro. Anche per questo motivo ha varato due iniziative digitali di ampio respiro che saranno portate a maturazione nel 2018:

#### *il sito edu.inaf.it*

Il sito edu.inaf.it è un portale di ingresso nel mondo dell'astronomia per docenti e studenti di ogni ordine e grado.
Si tratta di un collettore di iniziative di supporto alla scuola, con un occhio di riguardo a trasformare in attività colastiche" le frontiere della ricerca. In particolare, da edu.inaf si potranno trovare:

- corsi formazione online di docenti e studenti;
- attività interattive online di tipo moodle;

- attività didattiche “chiavi in mano” per le scuole primarie e secondarie di primo grado e per le scuole secondarie di secondo grado (superiori);
- un portfolio di progetti nazionali di alternanza scuola-lavoro;
- un portfolio di spettacoli scientifici promossi o partecipati dall’INAF (teatro, musica, conferenze, TED ecc. ecc.);
- un portfolio di attività di astronomia per l’integrazione sociale;
- un portfolio di di attività di astronomia per disturbi specifici di apprendimento (DSA);

Si sottolinea come le attività di astronomia promosse sono basate sul metodo EBL (Enquiry Based Lerning), su attività di tipo tinkering e gamification, in linea con le più aggiornate teorie pedagogiche.

Il link al portale: http://edu.inaf.it

### *La rivista online astroEDU*

astroEDU è una rivista online ad accesso libero dedicata agli insegnanti che offre le migliori attività didattiche di astronomia, scienza della terra e dello spazio. è un progetto realizzato in collaborazione con l’Unione Astronomica Internazionale (IAU).

I docenti di ogni ordine di scuola potranno sottoporre le proprie attività per la pubblicazione su astroEDU. Il Comitato Redazionale prevede due revisori per ciascuna attività: un ricercatore di settore che valuti i contenuti scientifici dell’attività e un docente esperto nello stesso segmento scolastico per il quale l’attività viene proposta. Questo processo è del tutto analogo a quanto già avviene per gli articoli scientifici in cui la peer review è la base per la valutazione del lavoro dei ricercatori.

astroEDU fornirà un nuovo sistema per valutare la qualità del lavoro sviluppato dagli insegnanti. Alle attività sarà anche data grande visibilità e un’ampia distribuzione attraverso le reti partner e l’utilizzo del sigillo ufficiale dell’IAU. Link alla rivista: astroedu.iau.org/it/

### *Portfolio di attività di Alternanza scuola lavoro*

Molte sedi INAF partecipano attivamente ai progetti di Alternanza scuola lavoro, coinvolgendo i ragazzi in lavori di ricerca, di musealità, di comunicazione della scienza.
Nel 2018 produrremo una documentazione omogenea su scala nazionale e avremo un portfolio completo delle opportunità di cui gli studenti e le studentesse potranno usufruire, con lo scopo di rappresentare un case study positivo per l’implementazione definitiva di questa modalità ponte fra enti di ricerca e società civile.

### Olimpiadi di Astronomia

Fin dal 2001, l’INAF organizza le Olimpiadi Italiane di Astronomia in collaborazione e su invito della Società Astronomica Italiana (SAIt) – ente individuato dal Ministero dell'Istruzione Università Ricerca (MIUR) - Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e la Valutazione del Sistema Nazionale d'Istruzione. Le Olimpiadi rientrano nel programma del MIUR per la valorizzazione delle eccellenze scolastiche. I vincitori usufruiranno di borse di studio, stage specifici di formazione. La squadra italiana parteciperà alle Olimpiadi Internazionali, che si terranno nell’autunno 2018.

### Astrofisica su Mediterranea

Proporremo la IV edizione di Astrofisica su Mediterranea, un’iniziativa di formazione universitaria patrocinata e finanziata dall’INAF, con la collaborazione di UniMed, Unione delle università del Mediterraneo. Per una settimana, un gruppo di 5 studenti universitari iscritti alla laurea triennale in Fisica ed Astrofisica parteciperà a una crociera a bordo di Mediterranea, un Mikado

ketch di 18 metri armato a cutter. Gli studenti seguono un corso di astronomia tenuto da un astronomo dell'INAF per tutta la durata della crociera. Gli studenti vengono selezionati attraverso un bando pubblico e sono tenuti a fare un report divulgativo di ciascuna delle loro giornate, che viene pubblicato sulla pagine del progetto e, a partire dalla prossima edizione, su edu.inaf.it.

Fra i veicoli di attrazione e di comunicazione verso il pubblico e le scuole, vanno segnalate le visite stabilmente organizzate ai Musei e delle Collezioni Scientifiche dell'INAF (di cui si fornisce una dettagliata descrizione nella sezioni 5 e 8e), oltre che presso altri laboratori e strutture osservative di INAF. Fra questi ricordiamo il *Centro Visite Marcello Ceccarelli* che espone strumentazioni storiche provenienti dai laboratori dei radiotelescopi e permette l'osservazione ravvicinata dei radiotelescopi del sito di Medicina, l'*Astrolab* di Roma, *infini.TO* di Torino, un museo con planetario a partecipazione INAF, il Planetario dell'Osservatorio di Capodimonte, il *Centro Visite* legato Sardinia Radio Telescope e il nuovo Planetario dell'Osservatorio di Cagliari, l'*Astrolab* dell'Osservatorio Astronomico di Roma Monteporzio.

Vale la pena sottolineare come anche le nuove tecnologie si facciano strada nei metodi di diffusione della cultura astronomica.

## INAF e Servizio Civile

Grazie all'interessamento della Direzione Scientifica, dal 2015 l'INAF è accreditato all'albo nazionale degli enti che possono presentare ed ospitare progetti di Servizio Civile nazionale, con espresso riferimento a progetti nell'ambito di: Educazione e promozione culturale e Patrimonio artistico e culturale. Nel corso del 2018 l'INAF continuerà a ospitare numerosi volontari di Servizio Civile potranno svolgere, nel corso del 2017, la loro attività e il loro processo di formazione e crescita presso le sedi di INAF. In particolare, per il settore PATRIMONIO ARTISTICO E CULTURALE, le aree di intervento saranno: Cura e conservazione biblioteche, valorizzazione storie e culture locali, valorizzazione sistema museale pubblico e privato, turismo culturale. Per il settore EDUCAZIONE E PROMOZIONE CULTURALE le aree saranno. Centri di aggregazione, attività artistiche, animazione culturale verso minori, animazione culturale verso giovani, educazione al cibo, educazione informatica, educazione ai diritti del cittadino, educazione alla pace, lotta all'evasione scolastica, attività di tutoraggio scolastico, interventi di animazione nel territorio, sportelli informa, attività sportiva, minoranze linguistiche e culture locali.

# Valutazione dell' INAF

## Valutazione Interna

La Ricerca Scientifica nel settore dell'Astrofisica, nella attuale fase moderna, è per sua natura affidata a grandi collaborazioni e viene condotta mediante l'uso di grandi infrastrutture internazionali alle quali il ricercatore accede per una valutazione di merito della propria proposta osservativa. Una prime e rilevante metrica valutativa interna della qualità della ricerca è proprio il successo dei ricercatori INAF nell'ottenere tempo osservativo presso le grandi infrastrutture internazionali.

Con il nuovo statuto in fase di approvazione INAF si è dotato di un organismo indipendente di valutazione della ricerca (OIVR). Questo organismo, i cui componenti verranno scelti tra le personalità maggiormente autorevoli nella astrofisica mondiale, valuterà gli indirizzi strategici dell'Ente nonché i risultati dei principali mainstreams di ricerca nei quali i ricercatori INAF sono impegnati.

Sempre nel nuovo statuto è previsto un processo di valutazione interna della qualità della ricerca affidato ai Comitati Scientifici Nazionali (CSN che sostituiranno le Macroaree) nell'esercizio del loro ruolo di consulenza al Presidente ed al Consiglio di Amministrazione.

## Valutazione Esterna: VQR 2004-2010 e VQR 2011-2014

Nel corso del 2013 si è concluso il processo della Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR) avviato dall'ANVUR alla fine del 2011. L'INAF ha chiesto e ottenuto di essere valutato come una singola entità: tale richiesta trova motivazione, da una parte, nella natura di ente monoculturale in cui la quasi totalità delle attività è concentrata nel settore scientifico-disciplinare FIS/05 e, dall'altra, nel fatto che molte attività convergono in progetti di ampio respiro che vedono coinvolti ricercatori che operano cooperativamente presso le varie strutture di ricerca dislocate sull'intero territorio nazionale.

L'analisi di VQR ha utilizzato 7 indicatori della qualità della ricerca e a ciascuno di essi ~~è~~ assegnato uno specifico peso. Gli indicatori e i pesi associati sono:

- qualità della produzione scientifica [peso 0.5];
- attrazione di risorse esterne [peso 0.1];
- mobilità, in termini di reclutamento o promozione di personale [peso 0.1];
- internazionalizzazione (numero dei mesi/uomo di ricercatori incoming o outgoing) [peso 0.1];
- alta formazione (dottorandi, assegnisti, borsisti) [peso 0.1];
- risorse proprie dedicate ad attività di ricerca [peso 0.05];
- miglioramento rispetto al processo di valutazione del CIVR [peso 0.05].

Per ciò che concerne la qualità della produzione scientifica, sono stati utilizzati 4 indici:

- I (voto medio dei prodotti);
- S (voto medio normalizzato alle dimensioni della struttura);
- R (rapporto fra il voto medio della struttura valutata nella data Area scientifica e il voto medio di tutti i prodotti nella stessa Area);
- X (rapporto fra la frazione di prodotti eccellenti della struttura nella data Area scientifica e la frazione dei prodotti

eccellenti nella stessa Area).

Dei tre grandi enti (CNR, INAF e INFN) individuati da ANVUR, l'INAF è posizionato al secondo posto per 2 centesimi di punto dopo l'INFN, sia rispetto all'indice I che a quello R, mentre è posizionato secondo, dopo il CNR, rispetto alla frazione di prodotti di eccellenza (indice X).

L'analisi dei 7 indicatori di cui sopra evidenzia:

- come punti di forza, la qualità della ricerca e la capacità di attrarre risorse esterne;
- come punto di debolezza, la scarsa quantità di risorse interne impegnabili per attività di ricerca, in larga parte determinata dalla esiguità delle risorse complessivamente disponibili.

L'analisi evidenzia inoltre:

- la necessità di potenziare la capacità di assumere e promuovere personale qualificato attraverso processi selettivi e quella di incidere e partecipare ai processi di formazione e alta formazione (circostanza, questa, che ha stimolato un rinnovato impegno dell'Istituto nel sostegno ai dottorati di ricerca);
- la necessità di diventare maggiormente attrattivi per i ricercatori stranieri (problema che, peraltro, affligge l'intero sistema della ricerca nazionale).

Il rapporto finale VQR evidenzia, inoltre, come l'Istituto:

- abbia selezionato con grande cura i prodotti sottoposti a valutazione;
- abbia una frazione di prodotti eccellenti superiore alla media dell'area di Astrofisica in cui, essenzialmente, opera;
- unico fra i grandi enti di ricerca, abbia un positivo indicatore per le attività di terza missione.

Nella seconda metà del 2015 e nei primi mesi del 2016 INAF ha partecipato all'esercizio VQR 2011-2014 fornendo ad ANVUR il materiale richiesto. Alcune settimane fa l'ANVUR ha pubblicato i risultati della nuova VQR. I valori degli indicatori sono risultati marginalmente inferiori alle performance registrate nella edizione precedente della VQR (I=0,75 R=0.94 X=0,95 rispetto a I=0,74 R=0.99 e X=1,01). Tuttavia per via della diversa metodologia di conferimento e valutazione dei prodotti gli indicatori non sono direttamente paragonabili. E' in corso una valutazione dettagliata dei risultati che sarà presentata nei successivi aggiornamenti del Piano Triennale.

## Confronto Internazionale

L'Astrofisica è una tematica di ricerca a capillare diffusione nella maggioranza della Nazioni sviluppate del mondo. L'Astrofisica osservativa, in particolare, richiedendo accesso a Infrastrutture di grande rilevanza economica, è tradizionalmente condotta in grandi progetti consortili internazionali che favoriscono la cooperazione ed al tempo stesso la competizione tra ricercatori, Istituti, Paesi.

Si deve aggiungere che l'accesso alle grandi infrastrutture di ricerca avviene nella maggioranza dei casi in modo competitivo, attraverso la sottomissione di proposte giudicate da appositi comitati scientifici. Lo stimolo competitivo a produrre nuove idee è pertanto condizione necessaria per avere accesso alle infrastrutture, acquisire i propri dati ed infine condurre e pubblicare la propria ricerca.

Il ranking di produttività scientifica effettuato dalla rivista Nature per gli Enti di Ricerca ed Università Italiane dal 01.01 al 31.12. 2016 (figura seguente), mostra che nel contesto Italiano l'INAF occupa **saldamente il primo posto,** nell'ambito delle scienze fisiche, in entrambi gli indicatori principali (Indice AC - numero di Pubblicazioni indipendente dal numero di autori - ed indice WC - numero di pubblicazioni pesato per il numero di autori)[4], staccando di lunghezze altre Università ed Enti di Ricerca di riconosciuta eccellenza.

| Institution | AC | FC | WFC |
|---|---|---|---|
| 1. National Institute for Astrophysics (INAF) | 1085 | 270.64 | 56.95 |
| 2. National Institute for Nuclear Physics (INFN) | 790 | 137.23 | 113.74 |
| 3. University of Bologna (UNIBO) | 354 | 29.86 | 10.81 |
| 4. Sapienza University of Rome | 340 | 29.07 | 20.15 |
| 5. University of Padova (UNIPD) | 333 | 28.81 | 12.80 |
| 6. National Research Council (CNR) | 258 | 55.07 | 52.64 |
| 7. University of Rome Tor Vergata | 215 | 10.35 | 5.41 |
| 8. University of Milan (UNIMI) | 213 | 14.57 | 9.66 |
| 8. University of Pisa (UNIPI) | 213 | 9.21 | 7.51 |
| 10. University of Naples Federico II (UNINA) | 181 | 6.42 | 5.08 |
| 11. University of Genoa | 180 | 4.40 | 4.25 |
| 12. University of Turin (UNITO) | 179 | 12.48 | 7.90 |

Nel contesto Europeo INAF occupa il **quarto posto** dietro grandi organizzazioni come il CNRS francese ed il Max Planck tedesco e davanti a Università prestigiose come Cambridge ed Oxford

[4] *L'Indice WFC che include un fattore riequilibrante per le pubblicazioni di Astronomia ed Astrofisica nel contesto di Enti di ricerca generalisti non può essere considerato attendibile per un Ente tematico che si occupa solamente di queste discipline.*

| Institution | AC | FC | WFC |
|---|---|---|---|
| 1. French National Centre for Scientific Research (CNRS) | 2770 | 428.03 | 280.05 |
| 2. [+] Max Planck Society | 2124 | 541.85 | 298.39 |
| 3. [+] Spanish National Research Council (CSIC) | 1248 | 156.18 | 77.10 |
| 4. National Institute for Astrophysics (INAF) | 1086 | 270.66 | 56.95 |
| 5. Pierre and Marie Curie University (UPMC) - Paris 6 | 1050 | 79.56 | 47.12 |
| 6. University of Cambridge | 913 | 242.28 | 147.81 |
| 7. Paris Diderot University (Paris 7) | 812 | 49 | 21.58 |
| 8. Atomic Energy and Alternative Energies Commission (CEA) | 807 | 74.93 | 54.83 |
| 9. National Institute for Nuclear Physics (INFN) | 790 | 137.23 | 113.74 |
| 10. [+] Helmholtz Association of German Research Centres | 781 | 173.05 | 159.33 |
| 11. [+] Russian Academy of Sciences (RAS) | 706 | 144.29 | 92.48 |
| 12. University of Oxford | 643 | 144.19 | 101.78 |

Nel contesto mondiale INAF occupa il **sesto posto** a poche lunghezze da Università prestigiose come Harvard.

| Institution | AC | FC | WFC |
|---|---|---|---|
| 1. French National Centre for Scientific Research (CNRS) | 2806 | 431.21 | 281.92 |
| 2. [+] Max Planck Society | 2158 | 547.05 | 302.13 |
| 3. [+] Chinese Academy of Sciences (CAS) | 1632 | 558.16 | 391.80 |
| 4. [+] Spanish National Research Council (CSIC) | 1312 | 156.26 | 77.11 |
| 5. Harvard University | 1177 | 239.08 | 160.14 |
| 6. National Institute for Astrophysics (INAF) | 1097 | 270.93 | 57 |
| 7. California Institute of Technology (Caltech) | 1093 | 203.40 | 105.53 |
| 8. Pierre and Marie Curie University (UPMC) - Paris 6 | 1052 | 79.67 | 47.14 |
| 9. [+] National Aeronautics and Space Administration (NASA) | 1047 | 158.69 | 44.26 |
| 10. University of Cambridge | 914 | 242.28 | 147.81 |
| 11. University of California Berkeley (UC Berkeley) | 889 | 171.87 | 113.14 |
| 12. Massachusetts Institute of Technology (MIT) | 822 | 227.55 | 190.95 |