



Piano Triennale di Attività

Aggiornamento 2022-2024

L'Astrofisica è scienza di frontiera ai limiti della conoscenza e rappresenta uno dei filoni di ricerca più entusiasmanti per l'umanità. L'importanza dirompente delle scoperte astronomiche, già manifestata agli inizi della Nuova Astronomia Galileiana, è aumentata sempre di più con l'avvento dell'Astrofisica a partire dal XIX secolo e il suo sviluppo nel '900. Oggi l'Astrofisica rappresenta la scienza primaria per acquisire informazioni sulle leggi fisiche e le loro applicazioni in condizioni non riproducibili sulla Terra e per avere risposte a quesiti fondamentali. L'Universo intero è dunque l'immenso laboratorio dell'Astrofisica del XXI secolo.

L'Ente di Ricerca italiano focalizzato sullo studio dell'Universo è l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) che opera sotto l'egida del Ministero dell'Università e Ricerca. L'INAF è costituito da 16 Strutture di ricerca, da diverse Sezioni presso Università e dalla Sede Centrale di Monte Mario a Roma. Circa 1200 unità di personale di ricerca e amministrativo-gestionale costituiscono il fulcro delle risorse umane dell'Ente che beneficia anche di diverse centinaia di giovani ricercatrici e ricercatori a tempo determinato e di associati delle Università. Una comunità molto attiva in praticamente tutti i settori dell'Astrofisica contemporanea.

Il Piano Triennale dell'INAF per gli anni 2022-2024 qui presentato riassume le linee di ricerca principali dell'Ente e il suo posizionamento internazionale. Il Piano Triennale si deve intendere come aggiornamento di quello dell'anno scorso per gli anni 2021-2023. Le tematiche scientifiche e tecnologiche dell'INAF si focalizzano in cinque Raggruppamenti Scientifici: RSN 1 - Galassie e Cosmologia; RSN 2 - Stelle, popolazioni stellari e mezzo interstellare; RSN 3 - Sole e Sistema Solare; RSN 4 - Astrofisica relativistica e particelle; RSN 5 - Tecnologie avanzate e strumentazione.

Le potenzialità di scoperta sono enormi con studi che vanno dai primordi dell'Universo alla cosmologia e agli effetti di Materia Oscura ed Energia Oscura, dalle stelle e loro formazione nelle galassie all'evoluzione delle strutture cosmiche, dalla formazione di oggetti compatti alle manifestazioni elettromagnetiche e gravitazionali dei buchi neri, da processi estremamente energetici all'accelerazione di particelle, dallo studio del Sole all'esplorazione del Sistema Solare, dalla scoperta degli eso-pianeti alla ricerca della vita extra-terrestre. La strumentazione per studiare tali fenomeni è al limite della tecnologia, e l'Astrofisica dell'INAF è motore di innovazione continua e di travaso dal mondo della ricerca a quello dell'industria e della società.

La comunità dell'INAF è in prima linea sia dal punto di vista scientifico che progettuale come indicato dalle rilevanti partecipazioni dell'Italia nei progetti internazionali che costituiscono direttrici di sviluppo per i prossimi anni quali i programmi dell'ESO, i programmi SKA e CTA e numerosi progetti spaziali. INAF collabora proficuamente con tutti gli Enti di Ricerca italiani (CNR, INFN, INGV), con l'Agenzia Spaziale Italiana e con molteplici Università e istituzioni nazionali e internazionali. A integrazione del PTA 2022-2024 sono più di 800 Schede di Progetto INAF-2022 che includono progetti scientifici, tecnologici e di Terza Missione e che costituiscono l'ossatura dell'attività dell'Ente, in aumento di circa il 13% rispetto all'anno precedente.

Tutti i progetti sono stati visionati da Commissioni dei Raggruppamenti Scientifici che, anche attraverso audizioni pubbliche, hanno contribuito alla stesura del PTA. Ne è emerso un quadro generale di attività con una visione fortemente co-partecipata e una governance scientifica consolidata. Di notevole importanza a partire dal 2022 è il finanziamento su scala competitiva nazionale di progetti INAF di "Ricerca Fondamentale" che vede molteplici canali di sviluppo e uno stimolo particolare alla creatività scientifica e tecnologica di giovani ricercatrici e ricercatori. Inoltre, l'INAF si troverà impegnato in programmi PNRR, non ancora finalizzati al momento del completamento delle Schede di Progetto 2022 e del presente PTA, ma che costituiranno importanti attività per gli anni futuri.

L'INAF si rivela Ente di Ricerca particolarmente attivo e in continua crescita scientifica e culturale: un apporto prezioso e unico nel suo genere alla conoscenza fondamentale dell'Universo e al progresso dell'Italia.

Il Presidente INAF
Marco Tavani

INDICE

1. Premessa.....	6
2. L'Ente.....	6
2.1. Nome Descrizione e Finalità	6
2.2. Missione ed affinità con altri Enti nazionali ed internazionali.....	7
2.2.1. Aderenza con il DVS, PNR ed altre roadmaps.....	7
2.2.1.1. Documento di Visione Strategica	7
2.2.1.2. Programma Nazionale delle Ricerca (PNR)	8
2.2.1.3. Roadmap ESFRI.....	9
2.2.1.4. Roadmap ASTRONET	9
2.2.2. Posizionamento dell'Ente nel panorama della Ricerca Internazionale.....	9
2.3. Organizzazione dell'Ente.....	10
2.3.1. Le Strutture di Ricerca, caratteristiche, localizzazione e logistica	12
2.3.2. Tipi di laboratori e di strumentazione specifica.....	14
2.3.3. Sedi Osservative ed Infrastrutture di Ricerca Nazionali.....	14
2.4. Sostenibilità e Programmazione.....	14
2.4.1. Pianificazione delle attività di ricerca.....	16
2.4.2. Controllo dei prodotti delle Attività di Ricerca	16
2.4.3. Leadership scientifica con record elevato di pubblicazioni.....	17
3. Attività a carattere Internazionale	18
3.1. Partecipazione a reti ed infrastrutture a carattere internazionale.....	18
3.2. Posizionamento dell'Ente in contesti di ricerca internazionali	18
4. Attività Scientifica e Risultati.....	19
4.1. Attività di Ricerca fondamentale ed applicata.....	19
4.1.1. Raggruppamento Scientifico Nazionale 1 – Galassie e Cosmologia.....	19
4.1.2. Raggruppamento Scientifico Nazionale 2 – Stelle, Popolazioni Stellari e Mezzo Interstellare	22
4.1.3. Raggruppamento Scientifico Nazionale 3 – Sole e Sistema Solare.....	25
4.1.4. Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 – Astrofisica Relativistica e Particelle	28
4.1.5. Raggruppamento Scientifico Nazionale 5 – Tecnologie Avanzate e Strumentazione	32
4.2. Progetti Attivi.....	36
5. Attività Esterna e di Servizio alla Comunità.....	36
5.1. Space Situation Awareness (SSA)	36
5.1.1. Space Surveillance and Tracking (SST)	36
5.1.2. Space Weather (SW)	37

5.2.	Tomografia Muonica dei Vulcani Attivi.....	38
5.3.	Ricerca per la lotta al COVID-19.....	38
5.4.	Altre Attività Esterne all'Ente.....	39
5.4.1.	Rappresentanze in altri Enti di Ricerca o Istituzioni nazionali ed internazionali.....	39
6.	Attività di Terza Missione.....	40
6.1.	Valorizzazione economica della conoscenza.....	40
6.2.	Alta Formazione.....	41
6.3.	Public Engagement.....	41
6.3.1.	Informazione e Comunicazione.....	42
6.3.2.	Divulgazione (Public Engagement).....	43
6.3.3.	Didattica (Education).....	44
6.4.	Biblioteche, archivi storici e Musei.....	45
7.	Infrastrutture di Ricerca.....	47
7.1.	Infrastrutture da Terra.....	47
7.1.1.	Infrastrutture in funzione.....	47
7.1.2.	Infrastrutture in costruzione.....	49
7.1.3.	Infrastrutture da Spazio.....	51
7.2.	Infrastrutture Informatiche.....	53
8.	Risorse umane e loro gestione.....	55
8.1.	Dotazione Organica.....	55
8.2.	Fabbisogno del Personale e Programmazione.....	57
8.3.	Politiche di reclutamento nel triennio.....	60
8.3.1.	Azioni previste per il 2022.....	60
8.3.2.	Azioni previste per il 2023-2024.....	61
8.3.3.	Assunzioni obbligatorie per il Triennio 2022-2024.....	61
8.4.	Borse di Studio di pre-dottorato, di PhD e post-doc.....	63
8.5.	Attività di formazione per il Personale.....	63
9.	Patrimonio, Bilancio e Fabbisogno di Risorse.....	63
9.1.	Patrimonio.....	63
9.2.	Bilancio.....	63
9.2.1.	Stato del bilancio annuale e di previsione.....	63
9.2.2.	Record dei tre anni precedenti.....	66
9.2.3.	Immagine proiettiva dei successivi tre anni.....	67
9.2.3.1.	Entrate Previste.....	67
9.2.3.2.	Spese Previste per l'Anno 2022.....	68
9.2.4.	Rapporto tra le risorse interne ed esterne.....	69
9.3.	Spese per il Personale.....	70

9.4. Azioni volte al risparmio sulla conduzione dell'Ente.....	71
10. Società Partecipate e Fondazioni	72
11. Elenco degli Allegati in Forma Elettronica.....	72
1. Lista degli Acronimi	74

1. Premessa

L'aggiornamento al Piano Triennale di Attività per il triennio 2022-2024 ripropone il formato e contenuti introdotti per la prima volta nel precedente aggiornamento 2021-2021. Come da indicazioni del MUR la descrizione delle Attività si articola in due parti: un *Executive Summary* ed una parte descrittiva generale. Sono inoltre resi disponibili attraverso collegamenti ipertestuali molte informazioni aggiuntive su attività e progetti in corso di svolgimento nell'Ente.

La formazione dei contenuti del PTA è anche quest'anno frutto del processo introdotto lo scorso anno di ricognizione partecipata ed analisi dei progetti. Il Personale dell'Ente ha potuto inviare delle Schede per la descrizione dei progetti in cui è coinvolto, corredate di dettagli del progetto, quali descrizione, obiettivi, deliverables, finanziamenti, impegno di risorse umane ed eventuali criticità: Le criticità in particolare sono state prese in considerazione nella determinazione, ad esempio, del piano di fabbisogno del personale. Queste Schede sono confluite in un database che viene aggiornato annualmente nel processo di redazione del PTA. Quest'anno sono state introdotte o aggiornate 830 schede (lo scorso anno erano 750) nel database. Le parti generali delle schede sono state raccolte in un fascicolo descrittivo elettronico che è parte integrante del presente PTA e disponibile al sito <https://pta.inaf.it>.

I Comitati Scientifici Nazionali (CSN) hanno visionato tutte le Schede di loro competenza ed hanno poi selezionato un numero di schede secondo criteri di rilevanza. I progetti selezionati sono stati presentati in audizioni pubbliche (anche quest'anno telematiche per via della coda della emergenza pandemica) generando una maggiore consapevolezza collettiva delle attività in essere all'interno dell'Ente. La parte descrittiva del presente documento deriva dalla sintesi descrittiva operata dai CSN sul materiale ricevuto in tutte le Schede e di quelle presentate nelle audizioni.

Il documento corrente del PTA 2022-2024 risulta aggiornato rispetto al PTA 2021-2023 in diverse parti, di cui le sezioni più rilevanti sono: (1) l'introduzione del Presidente ed Executive Summary; (2) aderenza al Piano di Visione Strategica; (3) programmi e progetti di ricerca sia di natura scientifica e tecnologica afferenti ai diversi Raggruppamenti Scientifici Nazionali che progetti di Terza Missione e multi-disciplinari (con relativo aggiornamento di 835 Schede di Progetto INAF disponibili on-line); (4) la descrizione della Unità Scientifica Centrale dedicata al Calcolo il cui inizio è previsto nel 2022; (5) l'inserimento nel flusso delle attività dell'Ente dei programmi PNRR consolidati al momento della scrittura del presente PTA; (6) programmazione del personale e relative tabelle; (7) prospetto finanziario dell'Ente; (8) inserimento di prospetti che descrivano a partire dal 2022 il finanziamento competitivo della ricerca fondamentale, di fellowship di ricerca e di programmi di Terza missione.

2. L'Ente

2.1. Nome Descrizione e Finalità

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) è l'Ente tematico di ricerca, vigilato dal MUR, che si occupa di ricerca di base ed applicata nei settori di astrofisica, astronomia ed esplorazione scientifica del sistema solare. Si 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 dallo spazio.

2.2. Missione ed affinità con altri Enti nazionali ed internazionali.

L'INAF è un Ente Pubblico di ricerca tematico affine, a livello nazionale, all' INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - pur avendo quest'ultimo un ordinamento giuridico a sé stante) ed all'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Per ordinamento e regole di funzionamento l'INAF non è dissimile dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) che tuttavia è multi-tematico ed organizzato in dipartimenti.

L'INAF collabora a progetti comuni con tutti gli Enti di Ricerca citati ed ha un rapporto privilegiato con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) con la quale progetta e sviluppa missioni per l'astrofisica, per lo studio dell'universo e per lo studio del sistema solare e progetta inoltre sistemi a terra per la sorveglianza dello spazio (detriti spaziali, NEO, space weather).

Altri paesi europei ed extraeuropei presentano forme di coordinamento nazionale dell'astrofisica espressa attraverso enti autonomi o come parte di enti multi-tematici di governo della ricerca. A titolo di esempio in Francia troviamo l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU) parte del Centre national de la recherche scientifique (CNRS). In Spagna l' Instituto de Astrofisica de Canarias (IAC) e l' Instituto del Astrofisica de Andalucia (IAA), il primo autonomo ed il secondo parte del Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (CSIC). In Messico Instituto Nacional de Astrofisica, Óptica y Electrónica (INAOE). In Australia abbiamo la Australian Telescope National Facility (ATNF) parte del Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Altri Paesi quali Germania o Stati Uniti presentano una maggiore frammentazione delle attività in entità multiple di piccola-media dimensione a volte coordinate in associazioni come nel caso della Max Planck Gesellschaft (MPG) o della Helmholtz-Gemeinschaft.

2.2.1. Aderenza con il DVS, PNR ed altre roadmaps

2.2.1.1. Documento di Visione Strategica

Il Documento di Visione Strategica dell'INAF per il periodo 2019-2029 in corso di validità è stato pubblicato dal Consiglio Scientifico dell'Ente ed è reperibile al seguente link <https://pta.inaf.it>

Il documento indica le seguenti come le priorità di lungo termine per l'Ente:

1. La partecipazione alle grandi infrastrutture internazionali del futuro
2. L'esplorazione del sistema solare
3. La vita oltre il sistema solare
4. L'Astrofisica Multi-Messenger
5. L'Astrofisica fondamentale

Fornisce inoltre le seguenti raccomandazioni generali:

- Fornire supporto alla astrofisica teorica
- Incoraggiare la coordinazione e la creazione di grandi gruppi di ricerca
- Fornire supporto a progetti di "ricerca di base"
- Incoraggiare le partnership interdisciplinari
- Migliorare la cooperazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e gli altri Enti Pubblici di Ricerca
- Dare un ruolo efficace ai *Raggruppamenti Scientifici Nazionali*.

IL DVS ed il PTA sono entrambi documenti programmatici che indicano la pianificazione delle attività di ricerca dell'INAF, il primo per il medio-lungo termine ed il secondo per il corto-medio termine. In questo senso il PTA è una declinazione operativa per il triennio, aggiornata di anno in anno, delle priorità definite

dal DVS. Come si può evincere dalla lettura del Piano Triennale le priorità e le raccomandazioni del DVS sono effettivamente riflesse nel in questo PTA. Il PTA ha anche la funzione di complementare il DVS, che non viene aggiornato annualmente, con le eventuali opportunità nuove che si presentano e che gli organi di governo dell'Ente hanno determinato di cogliere. Le azioni riportate in questo PTA riflettono puntualmente tutte le raccomandazioni del DVS. In particolare: (1) nel corso del 2022 si è iniziato un supporto per finanziamenti competitivi di ricerca di base di tipo teorico; (2) si sono sostenuti numerosi gruppi di ricerca medio-grandi per affrontare al meglio i grandi programmi internazionali; (3) nel corso del 2022 si è iniziato un esteso programma di finanziamento su base competitiva della ricerca di base in ambito INAF; (4) si sono fortemente incoraggiate le collaborazioni interdisciplinari coinvolgendo altri Enti di Ricerca (quali CNR, INGV, INFN); (5) si sono rafforzate le collaborazioni scientifiche e programmatiche con ASI con l'adozione di diversi progetti comuni in ambito satellitare e per applicazioni terrestri; (6) si è fortemente consolidato nel corso del 2021 e 2022 il ruolo dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali che ora partecipano pienamente al processo di visione di tutti i progetti di ricerca dell'Ente tramite l'analisi delle Schede di Progetto, audizioni pubbliche e contributi al PTA.

2.2.1.2. Programma Nazionale della Ricerca (PNR)

Il Programma Nazionale della Ricerca 2021-2027 ha cambiato l'impostazione rispetto ai piani precedenti allargando l'ambito dalla ricerca di per sé alla *"messa a sistema dei programmi per ricerca, sviluppo, innovazione, sostegno alle relazioni internazionali e alle politiche industriali portati avanti da ciascuna amministrazione"* (PNR 2021-2027 – Cap-1 Metodologia del PNR).

Il PNR non pone come obiettivo la eccellenza in settori specifici della ricerca da base, che è previsto comunque sia perseguita dalle Università e dagli Enti di Ricerca "con le specificità dei loro ordinamenti e nel rispetto delle loro autonomie e attività istituzionali" (D.Lgs 204/1998 citato nel PNR 2021-2027 Cap-1 Metodologia del PNR) quanto piuttosto i *"Sustainable Development Goals (SDGs) delle Nazioni Unite, delle priorità della Commissione Europea e degli Obiettivi della politica di coesione 2021-2027"* (PNR 2021-2027 – Cap-1 Metodologia del PNR).

Il PNR 2021-27 è articolato in priorità di sistema, grandi ambiti di ricerca e innovazione e relative aree d'intervento, piani nazionali e Missioni. Le priorità sono:

- Sostenere la crescita diffusa ed inclusiva del sistema della ricerca;
- Consolidare la Ricerca Fondamentale;
- Rafforzare la Ricerca Interdisciplinare;
- Garantire la centralità della persona nell'innovazione;
- Valorizzare la circolazione di conoscenza e competenze tra ricerca e sistema produttivo;
- Promuovere la dimensione internazionale dell'alta formazione e della ricerca;
- Assicurare il coordinamento della ricerca nazionale, europea ed internazionale;
- Verso i nuovi orizzonti della ricerca.

Come descritto nel presente PTA L'INAF ha come obiettivo primario il consolidamento della ricerca fondamentale in astrofisica ed il contributo per le proprie competenze alla Ricerca interdisciplinare. La ricerca in Astrofisica è per una buona frazione tecnologica, spesso svolta in partenariato con il settore privato favorendo la circolazione di competenze tra ricerca e sistema produttivo. L'INAF lavora a stretto contatto con Atenei ed altri istituti di ricerca di tutto il mondo presso i quali manda o dai quali riceve giovani ricercatori in formazione, promuovendo in questo modo la dimensione internazionale dell'alta formazione e della ricerca. INAF è un Ente di Ricerca tematico che coordina a livello nazionale la ricerca in Astrofisica ed esplorazione del Sistema Solare contribuendo per ruolo al coordinamento europeo ed internazionale della stessa. L'INAF infine partecipa, in molti casi con riconosciuta leadership, ad un gran numero di progetti scientifici, tecnologici ed infrastrutturali che mantengono l'ente in assoluta prima linea verso i nuovi orizzonti della ricerca.

2.2.1.3. Roadmap ESFRI

INAF è fortemente coinvolto e partecipa in modo attivo alla realizzazione delle principali infrastrutture Internazionali di ricerca per l'Astrofisica che fanno parte della Roadmap ESFRI o ne hanno fatto parte in passato. Le infrastrutture ESFRI che vedono l'INAF direttamente coinvolto sono:

- ELT: European Extremely Large Telescope
- SKA: Square Kilometer Array
- CTA: Cherenkov Telescope Array

Il possibile supporto di INAF ad una Consorzio di Università Italiane per la partecipazione al progetto ESFRI European Solar Telescope (EST) è correntemente oggetto di valutazione. E' inoltre in via di definizione il coinvolgimento futuro dell'INAF nel progetto in Einstein Telescope (ET) recentemente aggiunto ad ESFRI.

Il livello di partecipazione è dettagliato nelle pagine di questo Piano Triennale

2.2.1.4. Roadmap ASTRONET

Di grande rilievo per la ricerca in Astrofisica in Europa è la roadmap predisposta da ASTRONET. Costituito nel 2005 come Consorzio di Agenzie di Finanziamento ed organizzazioni di ricerca in astrofisica in ambito Europeo con l'obiettivo di incoraggiare una comune visione scientifica per tutta l'astrofisica Europea, ASTRONET è stato fino al 2015 un ERA-NET (Strumento EU nell'ambito di H2020 per il supporto a partnership pubblico-pubblico) per poi continuare sostenuto dalle stesse agenzie ed organizzazioni partecipanti. INAF è membro fondatore di ASTRONET.

Tra il 2010 ed il 2015 ASTRONET ha prodotto e mantenuto un documento di visione scientifica ed una roadmap per le infrastrutture. Questi documenti, alla composizione dei quali l'INAF ha contribuito fortemente, sono stati principio di ispirazione per la definizione delle priorità dell'Ente. Una nuova edizione di questi documenti è in fase di avanzata redazione e se ne prevede la pubblicazione nel corso dell'anno.

Tra il 2019 ed il 2022 ASTRONET ha iniziato un percorso (community consultation) per la definizione di una nuova Roadmap, percorso che non si è ancora concluso (maggiori dettagli al sito <https://www.astronet-eu.org>)

2.2.2. Posizionamento dell'Ente nel panorama della Ricerca Internazionale

INAF è un Ente tematico che si occupa di ricerca scientifica e tecnologica nel settore dell'Astronomia ed Astrofisica, dell'esplorazione del Cosmo e del Sistema Solare. Al fine di una comparazione con realtà simili a livello europeo e mondiale è opportuno utilizzare un data-base ed indici che siano specifici per il settore piuttosto che ad altri più generalisti (Scopus, Web-of-Science, Nature Index) che spesso valutano l'astrofisica insieme alla fisica in generale.

Il più indicato, ed usato, di questi database è lo Astrophysical Data System (ADS) gestito congiuntamente da NASA e SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory). <https://ui.adsabs.harvard.edu>

In Tabella 1 sono riportati il numero di pubblicazioni con referee, con contenuti di Astrofisica o Esplorazione del Sistema Solare, pubblicate tra il 2015 ed il 2019 da INAF, dal Max Planck tedesco e dal Centro Nazionale della Ricerca francese registrate in ADS. Sono anche riportati il numero di citazioni ed il rapporto pubblicazioni/citazioni. La presenza nel data-base ADS garantisce il contenuto astrofisico della pubblicazione e consente quindi il paragone diretto con INAF.

Ente	Numero di pubblicazioni con Referee (2015-2019)	Numero di Citazioni	Rapporto citazioni/Pubblicazioni
INAF	7059	262457	37,18
MPG	9712	270468	27,84
CNRS	12668	189974	14,99

Tabella 1. Analisi comparata del numero di pubblicazioni a carattere Astrofisico dell'INAF e delle principali organizzazioni di ricerca Tedesca e Francese.

Si evince dalla tabella che INAF sia ben posizionata rispetto a *competitor* europei diretti sia in termini di numero di prodotti che di citazioni dei prodotti stessi.

2.3. Organizzazione dell'Ente

L'INAF è un Ente pubblico di Ricerca costituito con Decreto Legislativo 23 luglio 1999, n. 296 dalla unificazione degli Osservatori Astronomici (allora 12) e successivamente riformato dal Decreto Legislativo 4 giugno 2003, n. 138 includendo gli Istituti tematicamente affini allora afferenti al CNR. L'INAF ha la propria sede legale a Roma. La governance dell'Ente è descritta nello Statuto, approvato il 25 Maggio 2018, il cui testo integrale è reperibile al seguente sito <https://pta.inaf.it>.

L'Ente è articolato in sedici Strutture di Ricerca distribuite sul territorio nazionale ciascuna sotto la responsabilità di un Direttore di Struttura. I ricercatori e tecnologi che svolgono le proprie attività nelle Strutture di Ricerca afferiscono a cinque Raggruppamenti Scientifici Nazionali (RSN) definiti dal Consiglio di Amministrazione.

Lo schema di funzionamento dell'Ente è rappresentato in Figura 2-1. Come da Statuto l'organizzazione dell'INAF separa le funzioni di indirizzo dalle funzioni di gestione. Le funzioni di indirizzo sono svolte dal **Presidente** e dal **Consiglio di Amministrazione**, organi di governo dell'Ente. Le funzioni gestionali sono svolte dalla due direzioni apicali paritetiche, la **Direzione Generale** e la **Direzione Scientifica**, e dai Direttori delle Strutture di Ricerca ciascuno secondo le proprie competenze.

Gli organi di governo dell'Ente deliberano atti di indirizzo che sono trasmessi in forma di delibera agli organismi gestionali per essere attuati. Nella formulazione degli indirizzi gli organi di governi si avvalgono della consulenza del **Consiglio Scientifico**, del **Collegio dei Direttori di Struttura**, dei **Comitati Scientifici Nazionali** e della **Direzione Scientifica** che ha in aggiunta ruolo propositivo verso gli organi di Governo.

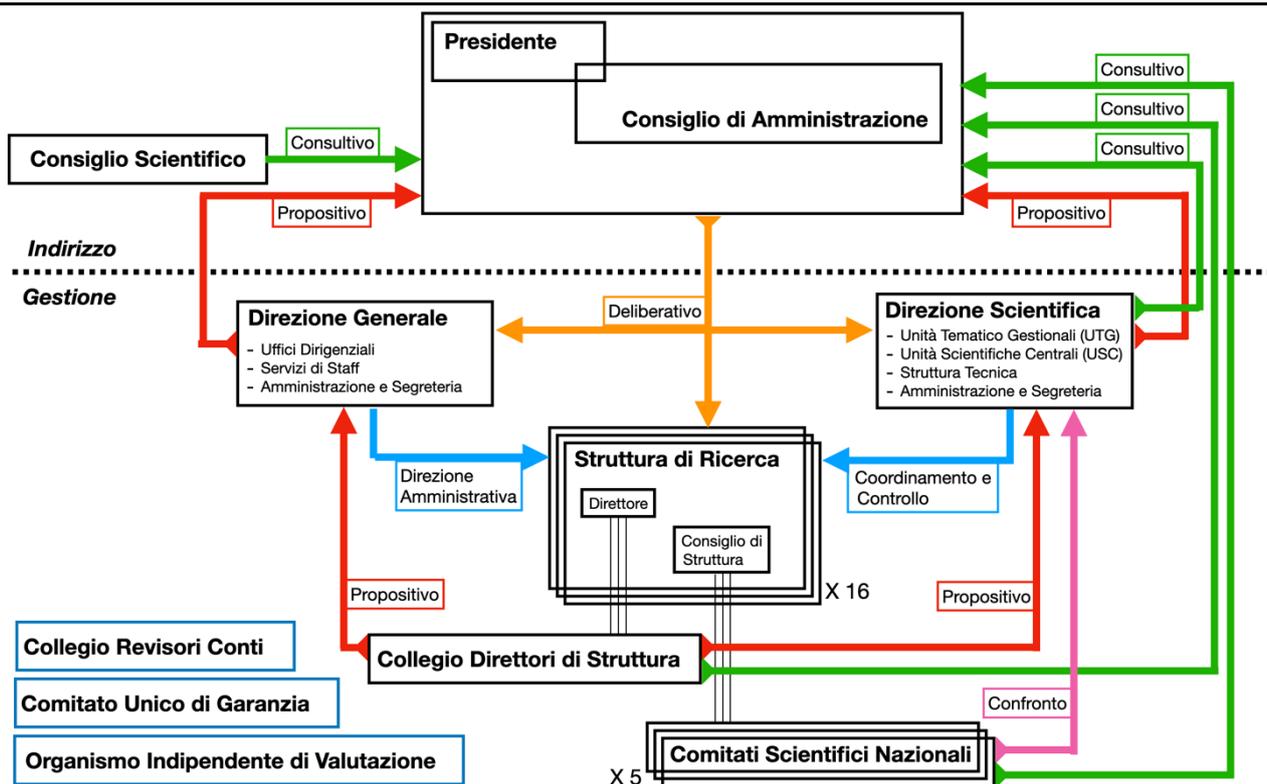


Figura 2-1. Schema della Organizzazione dell'INAF

A questi si aggiungono con specifiche funzioni statutarie il **Collegio dei Revisori dei Conti**, il **Comitato Unico di Garanzia** e l'**Organismo Indipendente di Valutazione**.

Il **Direttore Generale** è responsabile, in via esclusiva, della gestione amministrativa e contabile dell'Ente, fatta eccezione per le funzioni amministrative e gestionali espressamente attribuite al Direttore Scientifico e ai Direttori delle Strutture di Ricerca.

La Direzione Generale dispone correntemente di due Uffici di livello dirigenziale:

- Ufficio Risorse Umane;
- Ufficio Bilancio.

E' stata ribadita in più occasioni ai ministeri vigilanti la necessità di aumentare il numero degli uffici Dirigenziali a beneficio di una maggiore efficienza dell'Ente.

La Direzione Generale è dotata di Servizi di Staff, per lo svolgimento di specifiche funzioni, sia tecniche che specialistiche, a supporto sia del Direttore Generale che dei Dirigenti. Il numero complessivo dei Servizi di Staff al Direttore Generale non può essere superiore ad otto.

Il **Direttore Scientifico** è responsabile, in via esclusiva, della gestione scientifica dell'Ente e di tutte le attività amministrative e contabili ad essa strumentali.

La Direzione Scientifica è correntemente articolata in quattro *Unità Tematico Gestionali*:

- UTG-1: “Divisione Nazionale Abilitante dell’Astronomia Ottica, IR”;
- UTG-2: “Divisione Nazionale Abilitante della Radioastronomia”;
- UTG-3: “Divisione Nazionale Abilitante della Astrofisica delle Alte Energie”;
- UTG-4: “Divisione Nazionale Abilitante della Planetologia ed Esplorazione del Sistema Solare”;

E' inoltre dotata di quattro *Unità Scientifiche Centrali*:

- USC-5: “Astronomia dallo Spazio”;
- USC-6: “Valorizzazione della Ricerca”;
- USC-7: “Gestione Bandi Competitivi”;
- USC-8: “Computing”

La Direzione Scientifica incorpora una propria "*Struttura Tecnica*" e di una “Struttura di Supporto Amministrativo” a supporto delle attività della Direzione Scientifica e delle Unità Tematico Gestionali.

I Ricercatori e Tecnologi dell’INAF afferiscono per libera scelta ad uno dei **Raggruppamenti Scientifici Nazionali (RSN)** tra quelli definiti dal Consiglio di Amministrazione (Delibera 30 del 3 Maggio 2019):

- RSN-1 Galassie e Cosmologia
- RSN-2 Stelle, Popolazioni Stellari e Mezzo Interstellare
- RSN-3 Sole e Sistema Solare
- RSN-4 Astrofisica Relativistica e Particelle
- RSN-5 Tecnologie Avanzate e Strumentazione

Per ogni Struttura di Ricerca è eletta una figura di coordinatore locale per ognuno dei Raggruppamenti Scientifici di rilevanza per la Struttura. Ciascun RSN si dota di un **Comitato Scientifico Nazionale (CSN)** composto dai coordinatori locali. Ciascun CSN elegge il proprio Presidente. I Direttori delle Strutture di Ricerca formano il **Collegio dei Direttori di Struttura**, soggetto collettivo con specifiche funzioni attribuite dalla statuto. Il Collegio dei Direttori di Struttura ed i Comitati Scientifici Nazionali hanno contribuito per le parti di loro competenza alla redazione di questo aggiornamento del Piano Triennale di Attività

2.3.1. Le Strutture di Ricerca, caratteristiche, localizzazione e logistica

L’INAF ha il proprio Quartier Generale a Roma presso la Villa Mellini sulla collina di Monte Mario. Conta inoltre le seguenti sedici strutture distribuite nel territorio nazionale:

- Osservatorio Astronomico di Trieste
- Osservatorio Astronomico di Padova
- Osservatorio Astronomico di Brera (Milano - Merate)
- Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Milano
- Osservatorio Astrofisico di Torino
- Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna
- Istituto di Radioastronomia di Bologna
- Osservatorio Astrofisico di Arcetri (Firenze)
- Osservatorio Astronomico di Cagliari
- Osservatorio Astronomico di Roma
- Istituto di Astrofisica Spaziale e Planetologia di Roma
- Osservatorio Astronomico d’Abruzzo (Teramo)
- Osservatorio Astronomico di Capodimonte (Napoli)
- Osservatorio Astrofisico di Catania
- Osservatorio Astronomico di Palermo

- Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Palermo

In Tabella 2-1 è riportato il personale in servizio presso le varie Strutture di Ricerca alla data del 20 Giugno 2022 per tipologia.

STRUTTURA	TI (I-III)	TI(IV-VIII)	TD (I-III)	TD (IV-VIII)	AR e Borsisti	Totale
IAPS	96	27	11	4	48	186
OAPadova	62	21	7	1	27	118
OASBologna	87	17	5	2	15	126
OATrieste	51	21	4	3	17	96
OACagliari	34	16	4	9	14	77
OARoma	68	25	11	4	26	134
OABrera	56	21	4	1	19	101
IRA	44	38	4	4	7	97
OACatania	43	26	2	1	18	90
OAArcetri	67	17	6	0	27	117
OABruzzo	20	9	1	2	4	36
IASF Pa	22	10	1	0	7	40
OAPalermo	24	14	1	0	7	46
OACapodimonte	54	23	3	1	13	94
IASF Mi	29	9	1	0	8	47
OATorino	50	24	0	2	13	89
Totale	807	318	65	34	229	1494

Tabella 2-1 Distribuzione del Personale presso le Strutture di Ricerca

INAF è un Ente di Ricerca derivante dall'accorpamento degli Osservatori Astronomici, molti dei quali con oltre due secoli di storia, e di alcuni istituti ex CNR. La localizzazione delle sedi è generalmente conseguente alla storia di ciascuna di esse.

Alcune Strutture di ricerca continuano ad avere almeno una tra le proprie sede in edifici di interesse storico. L'Osservatorio di Padova presso la Specola, L'Osservatorio di Brera presso palazzo Brera a Milano, l'Osservatorio di Arcetri sulla collina di Arcetri a Firenze, L'Osservatorio di Capodimonte presso la Reggia di Capodimonte a Napoli e l'Osservatorio di Palermo all'interno del Palazzo dei Normanni a Palermo.

Queste sedi, che non sono di proprietà dell' INAF ma beni demaniali dati in concessione all'Ente per evidenti ragioni storiche, presentano limiti nell'uso degli spazi dovuti ai vincoli storici e mal si prestano alla installazione di laboratori.

Gli Istituti ex-CNR continuano ad essere collocati nelle Aree di Ricerca CNR nelle quali erano inseriti in precedenza. L'Area di Ricerca di Milano (IASF Mi), l'Area di Ricerca di Bologna (IRA-Bo e parte di OAS-Bo), l'Area di Ricerca di Roma Tor Vergata (IAPS) e l'Area di Ricerca di Palermo (IASF Pa). E' in corso il passaggio di proprietà (o lo studio di soluzioni alternative) da CNR a INAF degli spazi occupati dagli istituti nelle aree di ricerca e, a Palermo, INAF auspica la realizzazione di una nuova e più moderna sede che ospiti entrambe le strutture palermitane ed i laboratori in un edificio di propria proprietà

Alcune Strutture sonolocate o hanno almeno una sede nei siti selezionati all'inizio del XX secolo come siti osservativi e nei quali sono (o erano in passato) installati telescopi. E' il caso della sede di Merate (LC) dell'Osservatorio di Brera, della Sede di Pino Torinese dell'Osservatorio di Torino, della Sede di Asiago dell'Osservatorio di Padova, delle sede di Loiano dell'Osservatorio di Bologna, della Sede di Monte Porzio Catone dell'Osservatorio di Roma, della Sede di Campo Imperatore dell'Osservatorio d'Abruzzo, della sede di Serra la Nave, sull'Etna, dell'Osservatorio di Catania. In questi casi i vincoli storici sono ridotti o non presenti ma la accessibilità delle sedi, indubbiamente disagiate, è minore.

2.3.2. Tipi di laboratori e di strumentazione specifica.

L'attività osservativa che è alla base della attività scientifica dell'Ente ha come "laboratori" le infrastrutture osservative (Telescopi, radiotelescopi e rivelatori elettromagnetici di altro genere) sia da terra che da spazio che INAF possiede, opera o a cui ha accesso.

Le infrastrutture di ricerca sono descritte in dettaglio nella sezione 7 di questo documento mentre un documento descrittivo delle caratteristiche dei laboratori INAF (per le attività spaziali) è reperibile al seguente indirizzo: <https://pta.inaf.it>.

2.3.3. Sedi Osservative ed Infrastrutture di Ricerca Nazionali

Le seguenti sedi INAF ospitano correntemente infrastrutture osservative nazionali.

- Osservatorio di Asiago. Cima Ekar Altopiano di Asiago. Telescopio *Copernico* da 1,82 m di diametro inaugurato nel 1973.
- Osservatorio di Loiano: Appennino bolognese tra Bologna e Firenze. Telescopio *Cassini* da 1,52 m di diametro inaugurato nel 1976.
- Stazione Osservativa di Medicina - Bologna - Radiotelescopio Croce del Nord inaugurato nel 1964. Antenna Parabolica da 32 m di diametro inaugurata nel 1984.
- Radiotelescopio SRT (San Basilio - Sud Sardegna). Antenna parabolica da 64 m di diametro.
- Osservatorio di Campo Imperatore (Abruzzo). Stazione attiva dal 1965, dotata del telescopio AZT24 da 1,08 m di diametri installato nel 1997.
- Stazione Osservativa di Noto - Noto (Sr). Antenna parabolica da 32 m di diametro inaugurata nel 1988.
- Osservatorio M.G. Fracastoro - Serra la Nave (Ct). Telescopi robotici e prototipo telescopio Cherenkov ASTRI-Horn d'Arturo.

A questi si aggiunge in Telescopio Nazionale Galileo, descritto in dettaglio in seguito, che pure essendo una Infrastruttura di ricerca nazionale è collocato all' Observatorio del Roque de los Muchachos nell'Isola di La Palma alle Canarie (Spagna).

2.4. Sostenibilità e Programmazione

Come tutti gli altri Enti di Ricerca INAF si avvale di una programmazione pluriennale dinamica che possa fare fronte alle incertezze nei flussi di finanziamento per la ricerca.

Negli anni 2017- 2020 il supporto alla ricerca scientifica svolta negli Enti Pubblici di Ricerca ha subito un importante riduzione dei finanziamenti di base solo in parte compensata da un aumento dei finanziamenti finalizzati a progetto. E' il caso dei finanziamenti premiali, introdotti nel 2011 ed assegnati inizialmente su base competitiva, successivamente in proporzione al Fondo Ordinario degli Enti (FOE) ed infine trasferiti a sostegno delle procedure di stabilizzazione ex decreto 218/2017. Come si può notare nella figura

seguito questo ha comportato per INAF nel corso degli anni 2017-2020 una riduzione di risorse per la ricerca di diversi milioni di euro l'anno.

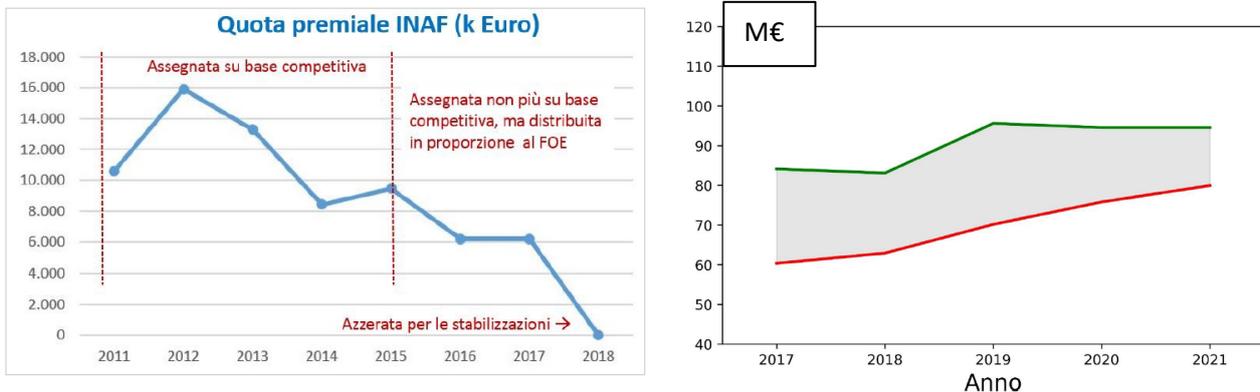


Figura 2-2: Progressiva riduzione dei fondi premiali fino al loro annullamento nel 2018 ed Andamento del FOE complessivo (M€ - curva verde) e delle spese per il personale (curva rossa). Si nota l'assottigliamento del margine per la copertura delle spese generali e di ricerca.

Come descritto in Figura 2-2 il processo di stabilizzazione (decreto 218/2017) pur avendo fornito all'ente valide risorse umane, ha di fatto ridotto la frazione di FOE utilizzabile per le esigenze generali dell'Ente ed il sostegno alla ricerca di base.

INAF opera in aggiunta sulla base di finanziamenti pluriennali per iniziative progettuali specifiche. Tra questi distaccano i finanziamenti ASI (circa 15 M€ in media per anno) che sostengono lo sviluppo, la costruzione e lo sfruttamento scientifico delle missioni che INAF realizza con ASI. Si aggiungono a questi i finanziamenti comunitari (10 M€ in media per anno) che i ricercatori INAF intercettano attraverso bandi competitivi (ERC, H2020 Horizon Europe etc.).

Sono voce a parte i finanziamenti finalizzati attività di ricerca a carattere internazionale a carattere speciale ed a carattere continuativo a valere sul riparto del FOE (15 M€ in media per anno) che sostengono le operazioni delle nostre infrastrutture da terra (descritte in sezione 7 del presente documento).

Il 2021 ha visto un consistente aumento di queste voci di FOE (20.8 M€) con l'aggiunta di un importo di 2.550 M€ a sostegno di "programmi di ricerca fondamentale" ed una rimodulazione degli importi allocati alla strumentazione per l'European Southern Observatory (ESO). Tale sostegno per "programmi di ricerca fondamentale" si prevede venga confermato e possibilmente incrementato nel corso del 2022 e negli anni a seguire.

Si aggiungono infine i finanziamenti strutturali decretati dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri e distribuiti dal MUR o iniziative legislative speciali incluse nelle leggi di bilancio o in leggi specifiche (es. legge di ratifica del trattato internazionale per SKA). Questi hanno ammontare molto variabile e si attestano tra i 5 ed i 20 M€ per anno.

Il 2022 e gli anni successivi vedranno anche la assegnazione e lo svolgimento dei progetti legati al PNRR, con particolare riferimento al Centro Nazionale HPC ed ai programmi legati all'upgrade delle Infrastrutture di ricerca elencate nel Piano Nazionale Infrastrutture di Ricerca (PNIR) in fase di selezione e consolidamento al momento di scrittura di questo PTA.

Dettagli circa i finanziamenti sopra citati per il triennio di riferimento di questo aggiornamento del Piano Triennale sono riportati nella sezione 9 del presente documento.

2.4.1. Pianificazione delle attività di ricerca.

La ricerca in INAF, come si può notare dalle schede progetto (www.pta.inaf.it/schede-progetto), si svolge in progetti dalle più svariate dimensioni (FTE e fondi) e durate (da pochi mesi a decine di anni).

Il regime di pianificazione si sviluppa pertanto su portanti di grande volume e durata, tipicamente investimenti infrastrutturali per la realizzazione di osservatori terrestri e missioni spaziali, sulla quale si innestano attività a carattere scientifico e tecnologico basate sull'utilizzo o sul miglioramento delle infrastrutture esistenti.

Dal 2021 INAF si è dotato di un meccanismo di censimento annuale della progettualità mediante la compilazione (e negli anni successivi l'aggiornamento) di Schede di progetto descriventi tutte le attività che si svolgono all'interno dell'Ente. Le schede contengono informazioni pubbliche ed informazioni accessibili agli organi ed organismi deputati al coordinamento e controllo delle attività.

Come atto propedeutico all'aggiornamento del Piano Triennale i Comitati Scientifici Nazionali (CSN) hanno effettuato delle audizioni pubbliche dei responsabili di alcune delle Schede di progetto più rappresentative allo scopo di rendere edotti i ricercatori e tecnologi delle attività in corso di svolgimento e consentire di definire delle priorità condivise per la programmazione futura.

I dati forniti nelle schede sono infine valutati dalla Direzione Scientifica in termini di sostenibilità a corto, medio e lungo termine. Tale valutazione di sostenibilità consente al Consiglio di Amministrazione di adottare linee di indirizzo programmatiche per la pianificazione delle attività di ricerca.

2.4.2. Controllo dei prodotti delle Attività di Ricerca

Nel 2022 l'INAF ha concluso il processo di sottomissione dei prodotti per la Valutazione della Qualità della Ricerca (VQR) relativa al periodo 2015-2019 da parte dell'Agenzia Nazionale di Valutazione dell'Università e della Ricerca (ANVUR). Per questo esercizio INAF ha accreditato 743 Ricercatori/Tecnologi sottoponendo a valutazione un totale di **2055 prodotti** della ricerca pubblicati nel periodo di riferimento.

In particolare, in accordo alle Tabelle Citazionali pubblicate da ANVUR, oltre il **95%** dei prodotti bibliometrici che sottoposti all'esercizio di valutazione rientra nel **top 35%** della distribuzione cumulativa di frequenza **mondiale** delle citazioni ricevute dalla pubblicazione stessa e ben il **72%** di questi lavori si colloca nel **top 10%** della medesima distribuzione. Dai risultati preliminari aggregati resi disponibili da ANVUR a valle della valutazione, INAF si colloca come terzo Istituto vigilato dal MUR, sia in area Ricerca che Terza Missione, rispetto all'indice quali-quantitativo IRAS che sintetizza sia la qualità che la numerosità dei prodotti della Ricerca sottomessi dagli Istituti. Questo indice è utilizzato dal MUR per l'assegnazione del FFO per le Università e dei fondi premiali per gli EPR.

Nella VQR 2015-2019, l'Istituto ha inoltre sottomesso a valutazione **5 brevetti industriali e 10 prototipi di strumentazione hardware/software** realizzati nell'ambito di collaborazioni di ampio respiro internazionale (SKA, CTA, ESO-VLT, ESO-ELT) e 12 casi di studio relativi all'attività museale dell'Ente, alla didattica ed al Public Engagement.

L'Istituto sta inoltre predisponendo appositi strumenti, basati sui database citazionali Scopus e WoS, che permetteranno un monitoraggio costante degli indici relativi alla produzione scientifica, tra cui il numero di articoli referati pubblicati ogni anno, la loro collocazione mondiale rispetto alle citazioni ricevute, l'impact factor e così via. I primi risultati provenienti da questi strumenti verranno descritti nel prossimo aggiornamento del Piano Triennale di Attività.

2.4.3. Leadership scientifica con record elevato di pubblicazioni

Partendo dall'elenco del personale accreditato per l'esercizio VQR 2015-2019 (appena conclusa ed i cui risultati sono in fase di pubblicazione) inquadrato nel ruolo di ricercatore/ricercatrice e facendo riferimento al database internazionale NASA ADS (specializzato nella bibliografia di articoli prettamente orientati alla fisica ed all'Astrofisica) si può notare come i primi 10 ricercatori dell'Istituto, ordinati in base all'indice di Hirsch (H)¹, possiedano un H superiore a 90. Tre di questi, inoltre, si collocano nella parte più alta della distribuzione con indice H superiore a 100. Il valore mediano dell'indice H della intera distribuzione è 40.

Nel pannello di sinistra della Figura 2-3 si riporta il *boxplot* che illustra l'andamento dell'indice m (rapporto tra indice H di Hirsch e gli anni in attività) in funzione della età anagrafica. Il pannello di destra della figura seguente riporta il *boxplot* che illustra l'andamento dell'indice H in funzione degli stessi *bin* di età.

Nel caso dell'indice m , si evince come la produttività e competitività scientifica dell'Ente, intesa come derivata dell'indice H rispetto al tempo, è sostanzialmente conservata nei vari bin di età eccetto per l'ultimo gruppo, dove un lieve fisiologico calo, funzione della età anagrafica dei ricercatori, è apprezzabile. E' inoltre importante osservare come i ricercatori più giovani, che popolano i primi due bins del plot, dominino il valore assoluto della distribuzione.

Nel caso dell'indice H , anche in questo caso, si conferma un incremento positivo del trend in funzione dell'età con alcuni *outliers* rilevati in ricercatori con meno di 60 anni di età che presentano H index superiore a 80 e, in tre casi, superiore a 100².

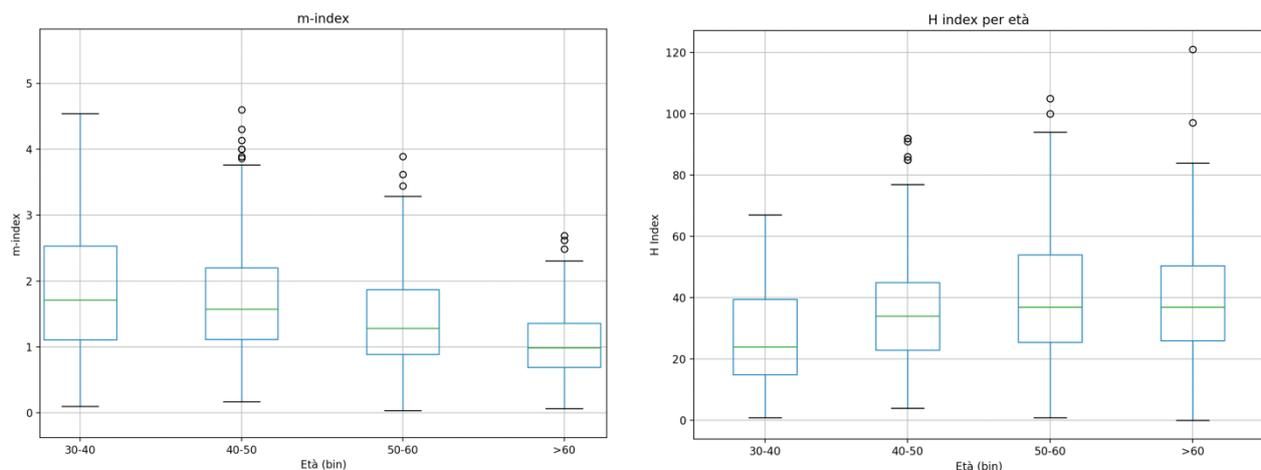


Figura 2-3: Boxplots raffiguranti l'andamento dell'indice m [pannello di sinistra] e l'indice H [pannello di destra] in funzione dell'età degli accreditati INAF all'esercizio VQR 2015-2019. Le box indicano la collocazione del secondo e terzo quartile della distribuzione. Le barre indicano l'intervallo di 1.5 per il range interquartile [simile ad un intervallo 3] i cerchi indicano gli outliers della distribuzione.

¹ L'indice di Hirsch quantifica le prolificità e l'impatto scientifico di un autore sia per numero di pubblicazioni che per numero di citazioni ricevute. Un autore ha un indice H pari ad n se almeno n lavori tra quelli che ha pubblicato sono stati citati almeno n volte ciascuno.

² Fonte dati: ADS-Nasa per la sola collection Astronomy relativa ai ricercatori inquadrati nel ruolo Ricercatore, Primo Ricercatore o Dirigente di Ricerca a tempo determinato ed indeterminato accreditati per l'esercizio VQR 2015-2019.

3. Attività a carattere Internazionale

La ricerca scientifica in campo astronomico ha una dimensione internazionale intrinseca. Le grandi infrastrutture osservative sono installate nei posti più remoti del pianeta e sono costruite ed operate da realtà internazionali. Stessa considerazione può essere fatta per le missioni spaziali.

3.1. Partecipazione a reti ed infrastrutture a carattere internazionale

Si elencano di Seguito le principali reti ed infrastrutture a carattere internazionale a cui INAF partecipa ed a quale titolo. Queste reti operano infrastrutture di ricerca che sono descritte nella sezione 7 di questo documento.

- **European Southern Observatory (ESO).** Organizzazione Internazionale da Trattato fondata nel 1962 a cui l'Italia ha aderito nel 1982 e della quale ad oggi detiene una quota del 11,08%. INAF esprime il rappresentante votante per l'Italia nell'organi di governo della Organizzazione e molte altre figure organizzative a livello tecnico, amministrativo e scientifico. ESO costruisce il più grande telescopio ottico al mondo (ELT) ed opera telescopi e radiotelescopi nei propri osservatori in Cile (la Silla, Paranal, Armazones, Chajnantor).
- **Square Kilometre Array Observatory (SKAO).** Organizzazione Internazionale da Trattato fondata nel 2021 di cui l'Italia è tra i paesi fondatori. INAF esprime il rappresentante votante per l'Italia nell'organo di governo della Organizzazione e molte altre figure organizzative a livello tecnico, amministrativo e scientifico. SKAO costruisce ed opererà il più grande radiotelescopio al mondo con antenne in Sudafrica ed Australia.
- **EVN-VLBI JIV-ERIC.** ERIC fondata come fondazione nel 1993 ed in seguito trasformata in ERIC a cui l'Italia ha aderito nel 2021. INAF esprime il rappresentante votante per l'Italia nell'organi di governo della Organizzazione e molte altre figure organizzative a livello tecnico, amministrativo e scientifico.
- **LOFAR (Futura ERIC).** LOFAR opera un radiotelescopio a sintesi di apertura con stazioni distribuite in tutta Europa (tra breve anche una presso la stazione osservativa di Medicina presso Bologna). E' in atto il processo di costituirsi in ERIC che si ritiene possa completarsi nel 2022.
- **Large Binocular Telescope Corporation (LBTC).** LBTC opera il telescopio binoculare LBT presso Mt Graham in Arizona (USA). Società no-profit di diritto USA è partecipata da INAF per il 25%.
- **Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) gGmbH (futura ERIC).** CTAO (gGmbH) ha svolto e concluso l'attività preparatoria per la costruzione e le seguenti operazioni del telescopio CTA nei due siti prescelti di Paranal in Cile (emisfero sud) e la Palma alle Canarie (emisfero nord). La ERIC, attualmente in corso di formazione e prevista divenire operativa nel 2022, procederà alla costruzione della infrastruttura. INAF ha una partecipazione di circa il 20% nella gGmbH che si rifletterà nella partecipazione dell'Italia nella ERIC.

3.2. Posizionamento dell'Ente in contesti di ricerca internazionali

INAF ha un ruolo diretto o rappresenta l'Italia nella stragrande maggioranza delle infrastrutture di ricerca internazionali accessibili ai ricercatori europei (LBT, JIV-E, LOFAR, MeerKAT+, ESO, SKAO, CTA, ET). Ha inoltre una posizione di leadership riconosciuta in molte missioni spaziali per l'esplorazione del sistema solare o l'osservazione del cosmo in collaborazione con ASI, ESA, NASA, JAXA, CNSA e ROSCOSMOS). I dettagli sono forniti in questo documento nella sezione che descrive i programmi scientifici e le infrastrutture.

4. Attività Scientifica e Risultati

4.1. Attività di Ricerca fondamentale ed applicata

I contributi seguenti sono redatti dai Comitati Scientifici Nazionali a seguito dell'esame delle Schede di Progetto e delle audizioni pubbliche per alcune di esse. La ricerca in INAF è organizzata secondo cinque principali filoni tematici corrispondenti ai Raggruppamenti Scientifici Nazionali definiti nella sezione 2.3 di questo documento. Tuttavia sono molte le trasversalità e sinergie tra vari RSN, caratteristica propria della multidisciplinarietà che caratterizza la ricerca astrofisica.

4.1.1. Raggruppamento Scientifico Nazionale 1 – Galassie e Cosmologia

Comprendere le modalità ed i tempi scala dei processi fisici in gioco, e quale sia la loro importanza relativa a diverse epoche cosmiche e in diversi ambienti, rappresenta una delle sfide principali dell'astrofisica moderna. Questa ricerca include studi osservativi, teorici e computazionali focalizzati sulle diverse componenti dell'Universo, sull'astrofisica dei buchi neri, delle galassie e dei loro sistemi (gruppi e ammassi). Questi studi hanno importanti ricadute anche nell'ambito della formazione stellare, dell'astrofisica delle alte energie o della fisica fondamentale (teorie della gravità e altre interazioni fondamentali).

Le domande fondamentali che RSN1 affronta sono le seguenti:

1. Quali sono i processi fisici che regolano la formazione e l'evoluzione di galassie e nuclei galattici attivi? Come questi processi dipendono dall'epoca cosmica e dalle condizioni ambientali?
2. Qual è la struttura a larga scala dell'Universo a diverse epoche cosmiche? Quali sono i meccanismi fisici che governano le proprietà della materia in queste strutture?
3. Qual è la natura di Materia ed Energia Oscura e come si comporta la gravità su scale cosmologiche? Quale fisica fondamentale determina le condizioni iniziali dell'Universo?

Il paradigma vigente è dominato da un modello cosmologico "di concordanza" che prevede una componente dominante di energia oscura, una significativa componente di materia non barionica di natura tuttora ignota, detta oscura, e solo una piccola componente di materia barionica. Questo modello cosmologico lascia aperte domande basilari sulla natura delle sue componenti oscure e sulle relative implicazioni nel contesto delle teorie di gravità.

Le iniziali fluttuazioni di densità "fotografate" dalla radiazione cosmica di fondo a microonde si amplificano fino a dare origine alle prime strutture a larga scala già visibili nell'epoca della reionizzazione. Col tempo, la gravità porta alla formazione di aggregati di galassie, proto-gruppi e proto-ammassi, fino agli ammassi di galassie, gli oggetti gravitazionalmente legati più massicci dell'Universo. Le proprietà della materia all'interno di questi sistemi sono determinate da meccanismi complessi, e tuttora oggetto di studio, che comprendono il trasporto e la dissipazione di energia associata ai moti della materia su grande scala e il feedback dovuto a galassie e nuclei galattici attivi.

La formazione delle prime stelle e proto-galassie coincide con l'avvio del processo di re-ionizzazione e della sintesi dei metalli che vengono poi espulsi, attraverso venti galattici, nel mezzo interstellare e intergalattico. Buchi neri massicci si formano al centro delle galassie attraverso l'accrescimento del gas circostante. Le ultime fasi dell'evoluzione stellare e l'accrescimento su buchi neri rilasciano enormi quantità di energia nel mezzo interstellare (sotto forma di radiazione, venti, shocks e getti), con ripercussioni importanti sulle proprietà fisiche e strutturali delle galassie. Le interazioni fra galassie e processi di accrescimento di materia possono modificare ulteriormente le proprietà fisiche e dinamiche delle galassie. Il "ciclo barionico" delle galassie è basato su una complessa rete di azioni, reazioni e auto-regolazioni.

Negli ultimi anni, la comunità RSN1 di INAF ha partecipato, spesso in ruolo chiave e/o di guida, a importanti survey spettroscopiche di galassie e a un ampio e approfondito lavoro di preparazione per la missione ESA Euclid. Queste attività, basate principalmente sullo studio della distribuzione spaziale delle galassie e degli ammassi di galassie e sullo studio del gas diffuso attraverso dati spettroscopici di media/alta risoluzione, hanno contribuito ad assegnare all'ente un ruolo di leadership nello studio della struttura a larga scala e delle sue implicazioni cosmologiche. In ambito cosmologico, INAF vanta anche un importante coinvolgimento nello sviluppo e successivo sfruttamento scientifico di strumenti dedicati allo studio della radiazione cosmica di fondo, ad esempio con il satellite Planck. Oltre alla stima di parametri cosmologici tramite la caratterizzazione statistica delle perturbazioni primordiali, Planck ha misurato l'effetto Sunyaev-Zeldovich termico dovuto agli ammassi di galassie. Questi studi si inseriscono nell'ambito della roadmap ESA, che ha individuato lo studio dell'Universo primordiale come uno dei temi centrali per le missioni scientifiche di "large-class" per il periodo 2035-2050 (Voyage 2050).

INAF ha inoltre conquistato un ruolo di leadership internazionale nello studio a multi-frequenza degli ammassi di galassie, grazie a varie campagne osservative finalizzate allo studio di pressione, temperatura, densità e metallicità del mezzo intracluster, e dei campi magnetici e delle particelle relativistiche che vi si trovano. Ricercatori INAF sono anche coinvolti nello studio delle altre componenti degli ammassi (le galassie e la materia oscura, e la loro distribuzione tramite profili di massa totale e barionica) attraverso misure di cinematica e lensing, che sono fondamentali per la comprensione dell'evoluzione delle strutture cosmiche e delle proprietà della materia oscura. Tutti questi studi sono affiancati da un grande sforzo teorico e computazionale volto alla modellizzazione dei complessi processi che regolano la dissipazione e trasformazione dell'energia o il ciclo di gas e metalli negli ammassi.

La comunità RSN1 di INAF è infine massicciamente impegnata nello studio dell'origine e dell'evoluzione delle galassie, attraverso l'analisi delle loro componenti stellari, di gas e polvere, dei buchi neri supermassivi nei nuclei galattici.

Sul tema dell'alba cosmica (redshift $z \sim 6-11$), i ricercatori di INAF contribuiscono al censimento (tuttora incompleto) delle popolazioni galattiche, allo studio del processo di reionizzazione dell'Universo, alla ricerca e caratterizzazione dei primi nuclei galattici attivi e dell'ambiente in cui si formano. A redshift intermedi ($z=1-3$), corrispondenti al mezzogiorno cosmico, i diversi meccanismi che regolano la formazione ed evoluzione delle galassie modellano l'Universo che conosciamo. In questo ambito, ricercatori INAF hanno ottenuto risultati fondamentali, sfruttando facilities a tutte le lunghezze d'onda, che hanno permesso di caratterizzare la demografia e le proprietà dei nuclei galattici attivi, la dinamica e le proprietà fisiche del gas circumnucleare, le proprietà delle popolazioni stellari (tasso di formazione stellare, età, chimica), delle polveri calde e fredde e del mezzo interstellare. Per oggetti vicini, numerosi sono stati i progressi resi possibili dall'utilizzo di spettrografi a campo integrale, che permettono di costruire mappe ad alta risoluzione spaziale di diverse regioni delle galassie. La combinazione di osservazioni dedicate a diverse lunghezze d'onda è essenziale per tracciare le diverse componenti coinvolte nel ciclo barionico. Il lavoro dei ricercatori INAF coinvolti in questo campo di ricerca ha portato a importanti risultati sulla variazione spaziale delle proprietà delle popolazioni stellari, sulla formazione ed evoluzione di nubi molecolari, e sulle condizioni fisiche del mezzo interstellare (metallicità, densità e grado di ionizzazione), nonché sull'impatto su queste proprietà dell'interazione con l'ambiente circostante e di outflows di gas generati da stelle o da nuclei galattici attivi. Anche nel contesto dell'evoluzione delle galassie, fondamentale è stato il continuo confronto con complessi modelli teorici che descrivono la formazione e l'evoluzione delle strutture cosmiche. La comunità INAF ricopre, in questo ambito, un ruolo di rilievo in particolare nello sviluppo di simulazioni numeriche, di modellistica semi-analitica di formazione ed evoluzione delle galassie, di modelli di evoluzione spettrofotometrica e chimica di avanguardia, e di modelli di trasporto radiativo.

Nel prossimo triennio importanti progressi sono attesi in tutti i campi di ricerca discussi, grazie a diversi programmi osservativi in corso o in preparazione, a guida o con importante partecipazione di ricercatori INAF, e all'ulteriore sviluppo dei modelli teorici a disposizione.

L'INAF è un partner chiave nella missione ESA Euclid, il cui lancio è previsto per il 2023. Euclid osserverà più di un terzo dell'intero cielo nel visibile e nel vicino infrarosso, con una combinazione senza precedenti di nitidezza, sensibilità ed area. Queste osservazioni saranno combinate con una misura precisa del redshift (informazione spettroscopica) per diverse decine di milioni di galassie. Questo consentirà di mappare la struttura a larga scala dell'Universo e le proprietà di nuclei galattici attivi, galassie ed ammassi di galassie a livelli di dettaglio mai raggiunti prima. INAF è altresì coinvolto in altri progetti in corso o che verranno completati nel prossimo futuro e che saranno determinanti per lo studio della struttura dell'Universo, come la Legacy Survey of Space and Time condotta al Vera C. Rubin Observatory (Rubin-LSST). Nell'ambito dell'evoluzione delle galassie, i ricercatori INAF rivestono ruoli fondamentali in diversi programmi osservativi focalizzati sullo studio delle varie fasi del gas, a diversi redshift e con diversa risoluzione spaziale, per determinare il contributo di accrescimento ed espulsione del gas (inflow e outflow) all'evoluzione delle galassie. In tutti questi ambiti, l'utilizzo di strumenti come ALMA, VLT/MUSE, JVLA, IRAM NOEMA, LBT e di osservazioni ad altissima risoluzione radio anche con le antenne italiane (VLBI Italiano e Internazionale con EVN ed EAVN) è determinante. INAF riveste ruoli importanti in diversi progetti (anche di follow-up) proposti per nuovi spettrografi multi-oggetto e a campo integrale che entreranno in funzione nei prossimi anni come WEAVE, MOONS e 4MOST volti allo studio delle galassie in varie epoche cosmiche. Ricercatori dell'INAF sono alla guida di grandi survey spettroscopiche e fotometriche, che si avvalgono di telescopi da terra e dallo spazio, volte a caratterizzare le proprietà integrate delle galassie e dei buchi neri centrali in funzione dell'ambiente, dall'epoca della reionizzazione fino ad oggi. Campagne spettroscopiche e fotometriche ad alta risoluzione consentiranno studi tomografici del mezzo intergalattico e del lensing forte e debole. In sinergia con osservazioni in banda X basate su Chandra, XMM, Swift ed eROSITA (ed in futuro su ATHENA, missione alla quale INAF partecipa anche in ruoli chiave) e in banda sub-mm (Planck, SPT), questi sforzi osservativi forniranno nuovi vincoli sul budget di massa oscura e barionica dell'Universo, sulla struttura a larga scala, sugli ammassi di galassie e sui nuclei galattici attivi. Nuove survey di ammassi e nuclei galattici attivi, coadiuvate da follow-up in banda radio con JVLA, GMRT, LOFAR, MeerKAT, e ASKAP (precursori di SKA) offriranno un'inedita possibilità di sondare regioni dello spazio dei parametri finora inesplorate. INAF partecipa a LOFAR e MeerKAT e ricercatori INAF ne guidano diversi programmi. La comunità italiana è infine coinvolta nello sfruttamento dei primi dati provenienti dal nuovo James Webb Space Telescope (lanciato a fine 2021), che aprirà una finestra inedita sull'universo giovane e sulla formazione ed evoluzione di galassie e buchi neri. Nell'ambito dello sforzo osservativo sopra discusso, molti ricercatori INAF sono coinvolti nello sviluppo di strumenti e tecniche di estrazione dei parametri fisici dai dati con applicazioni nel campo della big data science e dell'astro-statistica.

Sul fronte dell'astrofisica teorica, gli obiettivi principali della comunità RSN1 di INAF per il prossimo triennio includono: (1) Simulazioni (anche basate su metodi approssimati) a grande scala di modelli alternativi a quello cosmologico standard, allo scopo di identificare le migliori diagnostiche di nuova fisica dalle survey cosmologiche che saranno avviate nei prossimi anni; (2) Modelli della formazione delle galassie e dei buchi neri centrali e della loro interazione con l'ambiente da piccole a grandi scale, dall'epoca di formazione delle prime galassie, da utilizzare per l'interpretazione di dati da strumenti di ultima generazione (JWST, precursori di SKA, ALMA) e predizioni teoriche per strumenti di prossima generazione (SKA, ATHENA, LISA); (3) Sviluppo di codici di simulazioni innovativi, che includano esplicitamente la trattazione di processi fisici e microfisici del gas e del plasma e che sfruttino a pieno la potenza di calcolo ad alte prestazioni (HPC) in previsione delle future infrastrutture di classe "exa-scale".

RSN-1 è inserito in una vasta rete di collaborazioni nazionali e internazionali di eccellenza scientifica. Questo denso network di collaborazioni garantisce uno scambio e una diffusione di conoscenze e di competenze, attraverso un approccio interdisciplinare che include i settori della cosmologia, dell'astrofisica osservativa, delle simulazioni, della fisica spaziale e della fisica delle particelle.

Specificamente per RSN-1, oltre alle numerose collaborazioni con tutte le Università presenti sul territorio italiano (testimoniato dal grande numero di associati INAF presenti nelle Università italiane), si possono menzionare le collaborazioni con l'ASI e l'INFN, e le collaborazioni di particolare rilievo con l'ESA, la NASA, l'ESO, l'Isaac Newton Group of Telescopes (ING) ed il Vera Rubin Observatory. A queste collaborazioni scientifiche si aggiungono collaborazioni con poli industriali (e.g., Thales Alenia Space) e collaborazioni attive con diverse Università e istituti di ricerca esteri.

L'attività dei ricercatori INAF si basa su uno sfruttamento intensivo di infrastrutture di ricerca da terra e da spazio. Si possono menzionare, tra quelle prevalentemente utilizzate, tutti i telescopi dell'ESO (ad esempio VLT, VST, ALMA), TNG, LBT, HST, Chandra, XMM, IRAM, LOFAR, SRT, EVN, MeerKAT, così come le grandi infrastrutture di calcolo. I ricercatori INAF sono anche impegnati nel porre le basi per sfruttare al meglio la prossima generazione di facilities da terra e da spazio, quali MOONS, WEAVE, 4MOST, Rubin-LSST, JWST e Euclid, LOFAR 2.0 e MeerKAT+ nel futuro prossimo; ELT, ATHENA, LiteBIRD, VLBI ad alta frequenza e SKA, nel futuro più lontano.

4.1.2. Raggruppamento Scientifico Nazionale 2 – Stelle, Popolazioni Stellari e Mezzo Interstellare

La comunità INAF ricopre un ruolo di rilievo a livello internazionale nel campo dell'astrofisica stellare, dal punto di vista teorico, osservativo e sperimentale. La varietà delle tematiche affrontate va dallo studio della formazione stellare, dei sistemi planetari extrasolari e dell'evoluzione stellare, fino alle popolazioni stellari della Via Lattea e delle galassie esterne risolvibili in stelle e alla scala delle distanze. L'ampia gamma di scale spaziali coinvolte richiede l'utilizzo di metodologie diversificate e di un approccio multidisciplinare includendo anche l'utilizzo di algoritmi avanzati basati su intelligenza artificiale e reti neurali. Oggi l'INAF ha accesso agli strumenti più sofisticati disponibili e ricopre molti ruoli di leadership, conducendo ricerche di eccellenza con metodologie innovative e ottenendo risultati di grande impatto. I ricercatori dell'Istituto hanno sviluppato un'ampia rete di collaborazioni internazionali e giocano un ruolo chiave nello sviluppo di modelli teorici e nei principali progetti scientifici, osservativi e tecnologici, da terra e dallo spazio, sia in corso, sia programmati per il prossimo futuro che consentiranno di mantenere e consolidare una posizione di eccellenza negli anni a venire.

La formazione stellare coinvolge scale spaziali che vanno dalle dimensioni dei complessi di nubi molecolari all'ambiente intorno alla singola stella e al suo sistema planetario. I ricercatori INAF sono molto attivi sia nell'indagine delle fasi iniziali di condensazione delle nubi che nell'analisi della formazione di oggetti sia di alta che di piccola massa. In tutte queste fasi, gli innovativi studi di astrochimica giocano un ruolo fondamentale. Su grande scala si ricercano le leggi generali della formazione stellare e l'impatto sull'evoluzione della Via Lattea investigando al suo interno la distribuzione dei siti di formazione. Tale approccio, che si avvale dell'uso di vasti dataset del piano Galattico dai raggi X al radio già disponibili o ottenibili o fruibili nel triennio (Chandra, XMM/Newton, Gaia, JWST, Rubin-LSST, Herschel, SRT, GBT, IRAM), fornisce anche un paradigma per la formazione stellare nelle altre galassie. Sulla scala del singolo oggetto, per le fasi iniziali si studieranno le diverse condizioni ambientali che influenzano il processo e il collasso della nube, dalla frammentazione dei filamenti all'insorgere dell'accrescimento sull'oggetto in formazione. Qui l'interferometria ALMA e NOEMA ed in prospettiva SKA, forniranno le proprietà fisiche e chimiche delle nubi che ospitano formazione stellare, e le simulazioni numeriche riprodurranno le varie fasi del collasso. Di particolare importanza in questo contesto sono gli studi di astrochimica, realizzati con osservazioni dedicate, modelli teorici e test di laboratorio. Per le fasi evolutive più avanzate, si analizzerà in dettaglio la regione circumstellare e in particolare il disco protoplanetario ed i fenomeni ad esso associati. Sono qui coinvolte problematiche cruciali come l'accrescimento di materia sulla protostella e la generazione di venti e jet, il trasferimento di momento

angolare nel processo di formazione, l'evoluzione chimica del mezzo, l'effetto dei campi magnetici, il ruolo dei raggi cosmici, la definizione delle condizioni iniziali della formazione planetaria e le prime fasi di aggregazione in planetesimi. L'evoluzione del disco verrà analizzata con studi teorici, e osservativamente con JWST, VLT, Chandra e con survey interferometriche ALMA, che includeranno studi polarimetrici per la ricerca del campo magnetico, SKA per lo studio della parte più interna del disco e VLBI per l'emissione maser. L'accrescimento sulla stella sarà studiato con survey spettroscopiche multi-banda con GIARPS@TNG e MOONS@VLT, mentre lo studio dei jet e dei venti, richiederà spettri e immagini ad alta risoluzione spettrale ed angolare, dal FUV al radio, da ottenere con HST, con telescopi da terra con ottica adattiva come VLT e LBT, e con JWST e ALMA.

La modalità di formazione di un sistema planetario determina le proprietà del prodotto finale, pertanto è importante analizzare il legame tra l'evoluzione dei dischi e le diverse architetture dei sistemi esoplanetari. Occorre quindi ricercare in modo sistematico la frequenza delle diverse configurazioni, le condizioni in cui una certa tipologia di sistema si forma e come si colloca il Sistema Solare in questo contesto. Particolarmente rilevanti per questi studi sono i sistemi planetari giovani che sono il prodotto immediato del processo di formazione. Le tecniche osservative dipendono dalle zone dei sistemi che si vogliono studiare (regioni interne o esterne) e includono fotometria (Cheops, TESS e telescopi da terra), spettroscopia ad alta risoluzione (HARPS-N@TNG, ESPRESSO@VLT e in futuro ANDES@ELT), astrometria (Gaia) e imaging (SHARK@LBT e SPHERE@VLT). Tecniche di analisi combinate forniranno la demografia dei sistemi planetari su tutti gli intervalli di separazione e massa, e le correlazioni con le proprietà delle stelle centrali. Per questi studi è importante l'analisi delle proprietà fisiche e chimiche degli esopianeti dai giganti gassosi ai pianeti rocciosi, la loro struttura interna, le proprietà dell'atmosfera, le condizioni climatiche e gli effetti ambientali, tra cui in particolare l'interazione con la stella. In questo modo si potranno identificare i meccanismi di formazione e evoluzione planetaria e eventuali condizioni di abitabilità e traccianti biologici.

Tali obiettivi richiedono osservazioni diversificate e multi-banda (dai raggi X al mm/IR) da eseguire con i grandi telescopi da Terra (TNG, VLT, LBT, ELT, Vera Rubin Observatory), gli interferometri (ALMA, LOFAR, JVLA, GMRT, ASKAP, MeerKAT, in futuro SKA), le missioni spaziali (Gaia, TESS, Cheops, JWST, HST, Chandra, XMM/Newton e in futuro PLATO, ARIEL e ATHENA). In vari casi questa strumentazione, dedicata completamente o in parte allo studio degli esopianeti, vede un determinante contributo italiano, sia scientifico che tecnologico (CoPI-ship INAF nelle missioni ESA PLATO ed ARIEL). Per l'interpretazione delle osservazioni vengono sviluppati metodi avanzati di analisi dei dati, inclusa l'intelligenza artificiale, e modelli numerici sofisticati integrati da simulazioni ed esperimenti di laboratorio mirati.

Nello studio delle caratteristiche e dell'evoluzione delle stelle, si devono considerare varie tematiche. Per lo studio della struttura interna delle stelle, oltre al contributo dei modelli pulsazionali radiali, un supporto notevole verrà dall'Asterosismologia, come dimostrato dalla analisi dei dati dei satelliti CoRoT, Kepler e TESS e, in futuro, della missione PLATO, per determinare massa, raggio ed età di un campione numericamente consistente di stelle. Le esclusive competenze INAF in ambito di modellistica stellare verranno applicate al mantenimento e aggiornamento dei database stellari teorici che attualmente sono utilizzati per studi di vario tipo dalla comunità.

Agli studi sulle proprietà interne delle stelle si affiancherà quello delle atmosfere stellari, delle magnetosfere e dei fenomeni di attività magnetica, che consentiranno progressi notevoli nello studio dell'interazione tra stella e mezzo circumstellare, ed eventualmente sistemi planetari, nonché dei plasmi magneto-attivi. Analogamente avrà lo studio della rotazione e dell'evoluzione del momento angolare delle stelle.

Nel contesto delle proprietà strutturali delle stelle, si ambisce a una migliore comprensione di processi fisici tuttora poco conosciuti, quali perdita di massa, instabilità convettiva, rotazione, nonché del ruolo del campo

magnetico. In tal senso, uno strumento potente quale l'asterosismologia sta iniziando ad essere sempre più adoperato come strumento d'indagine, anche tramite proposte di nuove missioni spaziali quali HAYDN@ESA. In parallelo si stanno conducendo esperimenti di fisica nucleare ed atomica (presso i laboratori dell'INFN e dell'ENEA), che forniranno gli ingredienti necessari al calcolo dei modelli stellari e di atmosfera, quali le sezioni d'urto delle reazioni nucleari e le proprietà ottiche dei vari elementi chimici.

Lo studio delle fasi finali della vita delle stelle, rilevanti per l'arricchimento chimico del mezzo interstellare, rappresenterà una parte importante dell'attività di ricerca in ambito evolutivo stellare. Osservazioni di stelle di grande massa, fino a circa cento masse solari, e del loro ambiente circumstellare, evidenzieranno la storia della perdita di massa che, a sua volta, influenza l'evoluzione della stella e l'eventuale esplosione di supernova. Per quanto riguarda l'evoluzione di ramo asintotico delle stelle di piccola massa, la ricerca si concentrerà sulla determinazione della composizione chimica del gas e della mineralogia della polvere che esse riversano nel mezzo interstellare (queste stelle sono i principali produttori di polvere nell'Universo), e sulla caratterizzazione della sintesi di elementi pesanti. Per quanto attiene alle esplosioni core-collapse di supernovae, si prevedono significativi passi in avanti nella comprensione di nuovi tipi di esplosioni stellari recentemente scoperte (come le SNe super-luminose), che stanno mettendo a dura prova le nostre conoscenze sulle fasi finali di vita delle stelle di grande massa. Altrettanto rilevante sarà la modellizzazione della nucleosintesi esplosiva, della relativa curva di luce, e dell'interazione con il mezzo circumstellare. A tal riguardo, ci si attende un contributo fondamentale dallo strumento SOXS per ESO-NTT, con PI-ship INAF, dal momento che le interazioni tra il materiale espulso nel corso delle esplosioni stellari e il materiale circumstellare preesistente (visibili come emissione X, UV e radio) sono cruciali per tracciare la storia recente di perdita di massa delle stelle. Infine, importanti novità si aspettano sul fronte dei fenomeni transienti legati all'interazione di stelle in sistemi binari (Novae e SNe di tipo Ia), con importanti implicazioni sulla nucleosintesi galattica nonché sulle future applicazioni cosmologiche.

Le ricerche sulle proprietà delle stelle riceveranno un notevole impulso dalla strumentazione di ultima generazione: il problema dell'assorbimento della radiazione elettromagnetica da polveri interstellari nel piano galattico, di cui risentono le osservazioni nell'ottico, è superabile nelle bande infrarosse e radio, con strumenti quali Chandra, XMM/Newton, eRosita, ASKAP, MeerKAT ed ALMA e, in futuro, JWST e SKA.

Lo studio delle stelle singole è inscindibile da quello dell'ambiente in cui si formano ed evolvono: la Via Lattea, le galassie esterne e loro sottostrutture. In questo ambito, la nostra Galassia, le nubi di Magellano, Andromeda e, più in generale, le galassie risolubili in stelle – e il loro inserimento nel contesto cosmologico – rappresentano il laboratorio ideale per rispondere alle questioni fondamentali sulla storia ed evoluzione dell'Universo che ci circonda.

L'attività di ricerca è ad ampio raggio con una molteplicità di indagini osservative e teoriche e si focalizza sulla caratterizzazione delle proprietà chimiche, morfologiche e dinamiche delle componenti galattiche e del mezzo interstellare, e sulla ricostruzione della loro storia di formazione ed evoluzione. Nella nostra Galassia, in particolare, è possibile per la prima volta individuare, caratterizzare e datare tutti gli eventi che hanno contribuito all'assemblaggio delle sue strutture (sferoide centrale, disco, alone, bracci di spirale). Questi studi sono il paradigma per la verifica locale delle teorie di crescita gerarchica delle galassie in ambito cosmologico e per la comprensione delle proprietà osservative dell'Universo lontano non risolubile in stelle. In questo campo giocano un ruolo fondamentale lo studio dell'origine e dell'evoluzione dei sistemi stellari (ammassi aperti, ammassi globulari, galassie nane, galassie nane ultra-deboli) attraverso l'analisi delle proprietà *chemo-dinamiche* delle popolazioni stellari che li compongono. Particolarmente significativa è la conoscenza dei processi fisici alla base delle variazioni delle abbondanze chimiche, delle proprietà cinematiche ed età delle sotto-popolazioni in ammassi stellari e il loro utilizzo come traccianti della formazione ed evoluzione delle componenti galattiche. Inoltre, l'interpretazione dei dati prodotti necessita di

un adeguato avanzamento dei modelli teorici concernenti la struttura e l'evoluzione stellare e chimica, nonché la dinamica a differenti scale fino a quella galattica, dove si confrontano con simulazioni cosmologiche e con la gravità della relatività generale permettendo di testare anche le teorie ad essa alternative, il ruolo della materia oscura e dell'energia oscura, e aspetti della fisica fondamentale.

In tale contesto, ingrediente importante sono le distanze stellari per tracciare mappe 3D dei sistemi osservati e la calibrazione delle distanze extragalattiche. La scala delle distanze astronomiche è basata su indicatori primari stellari (Cefeidi Classiche, RR Lyrae, Mira) che a loro volta vengono utilizzati per calibrare indicatori secondari, come per esempio le SuperNovae che permettono di raggiungere distanze di interesse cosmologico. Fondamentale è quindi la standardizzazione di questi indicatori primari e la comprensione delle loro proprietà sia attraverso osservazioni fotometriche e spettroscopiche che attraverso modelli pulsazionali teorici in grado di riprodurre le proprietà delle stelle variabili osservate al variare della composizione chimica. Questi studi avranno un impatto sulla comprensione della tensione esistente tra le stime della costante di Hubble basate sulla scala delle distanze e quelle relative all'Universo primordiale e sulla eventuale necessità di modificare il modello cosmologico di riferimento per la formazione e l'evoluzione dell'Universo.

Sarà, inoltre, strategico nei prossimi anni lo sviluppo di metodologie legate alle onde gravitazionali, sia per quanto riguarda la determinazione di distanze e il loro impatto sulla cosmologia, sia per l'applicazione dei modelli di relatività generale implementati per l'analisi dei dati di Gaia a nuovi scenari osservativi come l'antenna gravitazionale astrometrica, volta ad individuare la direzione di origine del segnale gravitazionale tramite le stelle..

Le attività di ricerca nell'ambito dello studio della Via Lattea e degli indicatori di distanza stanno sperimentando una vera e propria rivoluzione grazie all'implementazione di progetti osservativi altamente innovativi e sinergici sia dallo spazio con il telescopio Hubble e la missione Gaia, che continueranno con JWST, Euclid e Nancy Grace Roman Space Telescope , sia per mezzo di survey fotometriche e spettroscopiche da terra con Rubin-LSST, 4MOST, VST, WEAVE, MOONS. In aggiunta, sta entrando nel vivo la fase preparatoria della scienza con ELT e MAVIS@VLT che permetteranno di estendere significativamente in distanza le osservazioni delle popolazioni stellari e delle stelle variabili con implicazioni rilevanti anche nell'ambito della cosmologia.

4.1.3. Raggruppamento Scientifico Nazionale 3 – Sole e Sistema Solare

Il Sole, il Sistema Solare e le tematiche legate alla vita nel nostro sistema planetario sono stati punti di partenza per l'astrofisica e sono un fondamentale riferimento per lo studio dell'Universo in generale.

Il Sole è un laboratorio naturale in cui è possibile studiare in dettaglio fenomeni fisici che, per la loro scala, non sono accessibili alla sperimentazione terrestre e non possono essere investigati su stelle più lontane. Lo studio del Sole contribuisce in modo significativo al miglioramento delle nostre conoscenze dell'Universo e delle leggi fisiche che lo regolano. L'evoluzione e variabilità solare sono fondamentali per capire l'emergere e la sostenibilità della vita sul nostro pianeta e più in generale su altri oggetti del Sistema Solare. Un problema quest'ultimo di grande valenza per l'abitabilità planetaria. Lo sviluppo tecnologico ci rende sempre più vulnerabili ai disturbi che provenendo dal Sole si propagano nello spazio interplanetario fino a colpire il nostro pianeta (ad esempio il vento solare veloce, le eruzioni solari e i fasci di particelle energetiche). Queste problematiche sono oggetto di studio della nascente meteorologia spaziale (Space Weather), che studia l'attività solare e cerca di prevederne gli effetti sulla Terra, dalle aurore polari sino alle tempeste geomagnetiche. La variabilità solare è inoltre responsabile di complesse interazioni tra il Sole ed il mezzo interstellare che portano alla formazione di quelli che sono i confini ultimi del Sistema Solare: **l'Eliosfera**.

Tutti questi ambiti vedono un coinvolgimento significativo della comunità scientifica INAF e l'investimento di risorse volte alla realizzazione di programmi e progetti per la comprensione dei processi fisici che regolano questa parte di Universo.

Lo studio del Sole avviene sia tramite telescopi da terra che dallo spazio: mentre le osservazioni da terra permettono di catturare immagini della superficie solare e della sua bassa atmosfera con elevata risoluzione spaziale e temporale, le osservazioni dallo spazio (nell'EUV e nell'X) permettono di osservare le regioni più esterne dell'atmosfera solare ed in particolare la corona. Oltre all'utilizzo dei telescopi che osservano il Sole "da remoto", è fondamentale disporre anche di osservazioni acquisite "in situ" da diverse sonde che permettono così di esplorare il flusso di particelle solari nello spazio interplanetario.

La comunità scientifica dell'INAF è impegnata in tutte queste tematiche, principalmente tramite il proprio coinvolgimento nella missione spaziale ESA-NASA Solar Orbiter, e attraverso la propria partecipazione alla progettazione e costruzione del nascente telescopio solare europeo EST. A bordo della sonda Solar Orbiter (lanciata a febbraio 2020), il coronografo Metis, realizzato dall'INAF, sta catturando le prime immagini della corona solare mai acquisite contemporaneamente in due diverse bande (nella luce visibile polarizzata, e nell'UV Lyman-alpha). Metis permetterà di individuare le regioni coronali in cui ha origine il vento solare lento e quello veloce, di studiare l'effetto della configurazione del campo magnetico coronale sulle caratteristiche dinamiche delle sorgenti del vento solare, di monitorare l'espansione iniziale dei fenomeni transienti coronali e di individuare il loro ruolo nei processi di accelerazione delle particelle ad alta energia. A bordo di Solar Orbiter inoltre lo strumento SWA, di cui l'INAF ha la leadership, fornisce misure in situ di protoni, elettroni, particelle alfa e ioni minori a risoluzioni temporali mai raggiunte prima nell'Eliosfera interna, fondamentali per individuare i meccanismi fisici alla base del riscaldamento e accelerazione del vento solare. Per comprendere come l'atmosfera solare divenga instabile, rilasciando l'energia durante le eruzioni e i brillamenti solari, l'INAF collabora alla missione Solar-C della JAXA, con contributi NASA e di varie agenzie spaziali europee, per lanciare nel 2027 uno spettrografo con capacità di produrre simultaneamente immagini e spettri del Sole denominato Extreme UltraViolet High-Throughput Spectroscopic Telescope (EUVST).

L'INAF è anche coinvolta nel nascente telescopio EST che sarà costruito tra il 2026 ed il 2028 alle Canarie ed effettuerà osservazioni spettro-polarimetriche di elevata precisione nell'infrarosso e nell'ultravioletto, che consentiranno di rivelare i meccanismi di trasporto di energia e confinamento in complesse configurazioni magnetiche con ricadute in altri ambienti astrofisici e nel campo della fusione a confinamento magnetico. Queste osservazioni miglioreranno significativamente la nostra comprensione del campo magnetico solare e delle sue relazioni con l'Eliosfera e la Terra.

Mercurio, il pianeta più interno del nostro sistema planetario, è un caso particolarmente rilevante di interazione Sole-pianeti, ed è oggetto di studio della missione BepiColombo. L'orbita di Mercurio, molto vicina al Sole, è interessata dalla curvatura dello spazio-tempo e quindi sono importanti le misure di fisica fondamentale, in particolare per alcuni parametri della Relatività Generale. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e Giapponese (JAXA) hanno lanciato nel 2018 la missione di cornerstone BepiColombo per esplorare Mercurio e il suo ambiente circostante. L'innovazione tecnologica della missione e degli strumenti è particolarmente elevata—data la complessità della missione e l'ostilità dell'ambiente in cui si trova ad operare. La missione è costituita da due moduli e a bordo di quello Europeo (MPO) ci sono 4 strumenti italiani di cui 3 a leadership INAF per studiare la fisica fondamentale e la relatività generale (l'accelerometro ISA), l'ambiente intorno a Mercurio e l'interazione con il vento solare (i due sensori di plasma e due sensori di atomi neutri energetici riuniti nella suite SERENA) e la superficie con SIMBIO-SYS, per la prima volta due camere e uno spettrometro gestiti da un unico team a leadership INAF. Alcune misure che coinvolgono il Sole e la sua attività verranno svolte in collaborazione con la missione Solar Orbiter. Entrambe le missioni

rappresentano delle sfide tecnologiche complesse perché opereranno in un ambiente particolarmente ostile.

Marte è un importante oggetto di studio per la comunità scientifica INAF, essendo l'unico pianeta per il quale al momento si prevede una futura visita dell'uomo, prossima frontiera nello spazio dopo la Luna. Lo studio di Marte raccoglie competenze e conoscenze complementari relative all'atmosfera, alla geologia, al sottosuolo. Inoltre, la presenza di acqua liquida sotto la superficie e l'evidenza che in passato fosse presente anche in superficie rende questo pianeta rilevante dal punto di vista astrobiologico. Il prossimo triennio vedrà molti ricercatori INAF impegnati nello studio di Marte con i dati acquisiti dalle missioni spaziali ad esso dedicate. Infatti, l'INAF partecipa attivamente a diverse missioni in corso: Mars Express (ESA), operativa sin dal 2004, Mars Reconnaissance Orbiter (NASA), ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) e ExoMars 2022 (ESA/ROSCOMOS), con la leadership di alcuni strumenti (la camera CASSIS, gli spettrometri PFS, OMEGA, NOMAD e Ma_MISS, i radar MARSIS e SHARAD, ed il sensore di polvere MicroMED). In particolare, il programma ExoMars è composto dalle missioni: TGO, in orbita dal 2018, ed ExoMars 2022 con piattaforma e rover (la cui data di lancio è al giugno 2022 indefinita a causa della crisi russo-ucraina e la sospensione della collaborazione scientifica di ESA nei confronti di Roscosmos) con strumenti dedicati all'astrobiologia e alla caratterizzazione geologica del sito di atterraggio ed una stazione fissa al suolo con strumenti meteorologici e geofisici. Studierà il sottosuolo, grazie al drill e allo spettrometro interamente sviluppato in Italia, le proprietà della polvere atmosferica in prossimità della superficie e andrà alla ricerca di possibili bio-signatures. Infine, INAF ha una partecipazione scientifica nelle missioni NASA Mars 2020, operativa dal 2021, e NASA/ESA Mars Sample Return, prevista nel 2031.

Giove e il suo sistema di satelliti rappresentano un punto chiave per la comprensione dell'origine e dell'evoluzione di tutto il nostro Sistema Solare ma anche per lo studio degli esopianeti, di cui i pianeti giganti sono considerati un analogo. Inoltre, alcuni dei satelliti di Giove e Saturno hanno un elevatissimo interesse astrobiologico, perché non si può escludere la presenza di vita negli oceani sotto-superficiali, e sono oggetto di specifiche roadmap di esplorazione della NASA. Questo razionale scientifico giustifica lo sforzo tecnologico necessario all'esplorazione di questi corpi. I pianeti esterni del Sistema Solare rappresentano infatti la frontiera più estrema della esplorazione spaziale, e le missioni verso i giganti gassosi rappresentano una vera sfida tecnologica e scientifica, richiedendo un grande coinvolgimento degli istituti e delle agenzie spaziali, e un impegno -anche finanziario - sempre importante. Pertanto, si annoverano in questo campo importanti missioni di classe Large in cui l'INAF è coinvolta. In particolare, Juno è una missione NASA per lo studio di Giove e le sue lune, in orbita dal 2016 e operativa fino al 2025. Ha l'obiettivo di comprenderne l'origine e l'evoluzione, determinare la struttura interna del pianeta e del suo eventuale nucleo solido. A bordo c'è JIRAM, uno spettrometro nel range infrarosso a leadership INAF per lo studio delle Aurore e dell'atmosfera. La missione ESA JUICE raccoglierà il testimone di Juno. Sarà lanciata nell'Aprile del 2023, arriverà a destinazione nel 2031 e, oltre all'osservazione di Giove, ha come obiettivo specifico Ganimede e Europa per caratterizzare le condizioni che possono aver portato alla nascita di ambienti abitabili sui satelliti gioviani ghiacciati. Anche in questo caso ci sono due strumenti in cui INAF ha un ruolo di leadership, la camera JANUS per l'imaging e lo spettrometro MAJIS.

I corpi minori (comete, asteroidi, meteore, oggetti trans-nettuniani) sono una delle chiavi principali nella comprensione dell'origine ed evoluzione del Sistema Solare perché hanno conservato il materiale meno processato e più primordiale nel nostro sistema planetario. La comunità INAF è tradizionalmente molto attiva sia nell'esplorazione dei piccoli corpi con missioni spaziali dedicate (e.g. ESA/Comet Interceptor, NASA/DART-ASI/LICIACube) sia nelle osservazioni da Terra con un expertise e un ruolo di leadership ben riconosciuto a livello internazionale. La missione F Comet Interceptor è stata selezionata dall'ESA a Giugno 2022 e verrà lanciata insieme ad Ariel nel 2029. LICIACube, invece, è stato già lanciato dalla NASA insieme a DART nel 2021 con l'obiettivo di impattare un asteroide nel Settembre 2022 e misurare l'eventuale

deviazione orbitale dell'asteroide bersaglio. Il cubesat è stato interamente realizzato in Italia e il coordinamento scientifico è dell'INAF.

L'attività di RSN3 non si esaurisce nei temi menzionati finora, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti riguardanti la materia presente nello spazio, con lo scopo di comprendere i meccanismi chimico-fisici che ne regolano la formazione ed evoluzione, mediante l'analisi di materiali analoghi e la simulazione dei processi radiativi e particellari. Le ricerche che si svolgono nei sei Laboratori di Astrofisica dell'INAF sebbene richiedano competenze specifiche delle varie tematiche studiate, hanno come denominatore comune la multidisciplinarietà. Questa attività rappresenta un aspetto fondamentale per lo studio delle tematiche che riguardano la chimica organica e il materiale di interesse astrobiologico nel mezzo interstellare e nei sistemi protoplanetari, inclusi i processi che governano l'evoluzione dei pianeti e dei corpi minori, tracciatori della formazione ed evoluzione del nostro Sistema Solare. La ricerca si articola su diversi ambiti che comprendono la simulazione delle condizioni fisico-chimiche sulle superfici di pianeti, asteroidi e comete, gli studi sulla formazione di composti organici complessi, inclusi quelli rilevanti per l'origine della vita, lo studio delle atmosfere, la caratterizzazione di materiali extraterrestri collezionati a Terra (meteoriti e particelle interplanetarie), o riportati a Terra dai programmi spaziali (e.g. OSIRIS-Rex e Hayabusa 2), fino alle tematiche più generali connesse con lo studio delle polveri e dei ghiacci presenti nel mezzo interstellare. La simulazione delle condizioni "inusuali" presenti nello spazio all'interno di un laboratorio terrestre richiede lo sviluppo di strumentazione scientifica sempre più sofisticata con significative ricadute tecnologiche.

L'interpretazione scientifica dell'enorme mole di dati raccolti da osservatori, missioni spaziali ed esperimenti di laboratorio richiede sempre di più lo sviluppo di nuove metodologie di analisi, l'approfondimento di nuove conoscenze teoriche, la realizzazione di simulazioni numeriche e la creazione di nuovi algoritmi per analisi matematiche (e.g. machine learning).

Quanto descritto fin qui è soltanto uno scenario delle tematiche più rilevanti in termini di personale coinvolto, di investimento economico e di impatto scientifico. Tuttavia, non è esaustivo del panorama di tutte le attività condotte dai ricercatori INAF nell'ambito dello studio del Sistema Solare. E' importante ricordare anche la moltitudine di attività di **ricerca di base** svolte in questo ambito, meno visibili ma indispensabile fucina di nuove idee e teorie alla base delle conquiste scientifiche e tecnologiche.

4.1.4. Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 – Astrofisica Relativistica e Particelle

La tematica di riferimento del Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 (RSN4) è l'Astrofisica relativistica e particellare. Le linee di ricerca principali sono: 1) Oggetti compatti galattici ed extragalattici, 2) Esplosioni cosmiche, 3) Astronomia multi-messenger, 4) Esperimenti di fisica fondamentale. Diverse sono le attività del RSN4 interconnesse con quelle di altri raggruppamenti, quali studi cosmologici e sulla materia oscura (RSN1), evoluzione stellare (RSN2), determinazione dei programmi scientifici per missioni spaziali e telescopi da Terra in via di sviluppo (RSN5).

Le finalità del RSN4 riguardano lo studio della materia in condizioni estreme, in termini di alta densità, alta temperatura e alti campi magnetici, lo studio degli effetti della Relatività Generale (GR) in regime di campo forte, gli studi di fisica fondamentale e ricerca di nuova fisica, la comprensione dei meccanismi di accelerazione e trasporto dei raggi cosmici e loro impatto sulla formazione stellare ed evoluzione galattica, lo studio dei processi esplosivi e legame con i sistemi progenitori per la comprensione delle fasi finali dell'evoluzione stellare e lo studio dell'evoluzione delle strutture dell'Universo. In larga parte tali scopi vengono perseguiti principalmente tramite l'osservazione ed interpretazione teorica dell'emissione elettromagnetica proveniente da oggetti compatti a tutte le scale (nane bianche, stelle di neutroni, buchi

neri di massa stellare o supermassivi al centro delle galassie) - sia isolati che in sistemi binari - e delle esplosioni che caratterizzano le fasi finali dell'evoluzione stellare di stelle massive e la coalescenza di oggetti compatti. Sebbene questi oggetti emettono principalmente radiazione di alta energia (raggi X e gamma), un forte impulso alla loro conoscenza è rappresentato da campagne multibanda che includono strumenti sensibili a tutte le lunghezze d'onda (ad es. in banda radio, infrarosso e visibile). Gli ultimi anni hanno anche testimoniato la nascita dell'astronomia multi-messenger, dalla sinergia tra osservazioni di onde gravitazionali (GW), raggi cosmici (CR) e neutrini ed il tradizionale canale elettromagnetico.

INAF è direttamente coinvolto nella ricerca delle controparti elettromagnetiche delle onde gravitazionali misurate dagli interferometri di LIGO, Virgo e KAGRA. Queste osservazioni multi-messenger di eventi di coalescenza tra sistemi binari di stelle di neutroni (NS-NS) e buco nero - stella di neutroni (BH-NS) forniranno dati completamente innovativi per comprendere la fisica degli oggetti compatti, dai processi di emissione relativistica alla determinazione delle masse coinvolte, dall'equazione di stato delle NS alla nucleosintesi degli elementi pesanti solo per citarne alcuni.

Gli oggetti compatti (nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri) sono tra i motori più efficienti per la produzione di radiazione X, sia nelle binarie X, contenenti un oggetto compatto e una stella compagna, che nei Nuclei Galattici Attivi (AGN), galassie contenenti buchi neri supermassicci. Negli oggetti compatti, la conversione di energia gravitazionale in energia radiativa avviene con un tasso di efficienza tra i più alti misurati nell'Universo, tramite il fenomeno di accrescimento di materia circostante. All'accrescimento spesso si associa il fenomeno di produzione di getti radio e venti relativistici. La connessione tra la produzione di getti e venti ed il fenomeno di accrescimento è una delle principali questioni aperte in questo campo. Altre sorgenti in cui vengono rilasciate elevate quantità di energia sono gli eventi esplosivi come novae, supernovae (SN), gamma ray bursts (GRB), tidal disruption events (TDE), fast radio bursts (FRB). Lo studio delle suddette classi di sorgenti e dei processi fisici in gioco viene condotto attraverso la sinergia tra osservazioni e teoria, essenziale per la comprensione dei meccanismi di emissione. L'identificazione dei sistemi progenitori e dei processi di accelerazione e collimazione dei GRB, a partire dalle osservazioni degli shock break-out e del cocoon del getto, così come l'identificazione di eventi di riconnessione magnetica da parte di stelle di neutroni estremamente magnetizzate (magnetar) come possibile origine degli elusivi FRB, sono alcuni esempi recenti del successo di tale strategia. Gli eventi esplosivi si sono rivelati determinanti anche come strumento per testare i modelli cosmologici ed investigare le proprietà chimico/fisiche delle galassie. L'astronomia multi-messenger ha ampliato la nostra conoscenza dei concetti astrofisici fondamentali permettendo di indagare a fondo la fisica degli oggetti compatti, i meccanismi di accelerazione delle particelle ed i processi di nucleosintesi. Ad esempio, l'INAF ha guidato lo studio per la caratterizzazione spettroscopica della sorgente transiente ottica AT2017gfo, risultata essere una kilonova associata all'onda gravitazionale GW170817 e prodotta dalla coalescenza di due stelle di neutroni. Allo stesso tempo, le attività del RSN4 includono la ricerca della materia oscura nella forma particellare mediante la rivelazione dei candidati Weak Interacting Massive Particles (WIMP) e assioni o Axion Like Particles (ALP), la verifica della GR e test di teorie alternative alla gravità. INAF inoltre partecipa attivamente allo sfruttamento scientifico dei dati raccolti da osservatori nazionali ed internazionali attualmente operativi, alla gestione di tali osservatori ed allo sviluppo di strumentazione astronomica per futuri progetti.

Storicamente, INAF ha svolto un ruolo fondamentale in ambito internazionale nello studio delle sorgenti di alta energia (raggi X e gamma). INAF ha partecipato e partecipa alla loro scoperta, all'identificazione e comprensione dei processi fisici in gioco contribuendo allo sfruttamento e al successo di missioni spaziali di varie agenzie, come Swift, Fermi, Agile, INTEGRAL, XMM-Newton e a telescopi da Terra, come MAGIC. I ricercatori dell'INAF afferenti a RSN4 sono particolarmente attivi nel guidare programmi osservativi con telescopi sensibili in tutte le bande dello spettro elettromagnetico e nell'applicare le diverse tecniche di analisi dati, offrono un contributo determinante all'astronomia multi-messenger e sviluppano modelli teorici per l'interpretazione delle osservazioni. I ricercatori INAF sono leader sia in studi statistici di popolazione che in studi di fisica di GRB e AGN (radio-loud e radio-quiet), nonché nello studio delle proprietà strutturali

dei getti, guidano vaste campagne di osservazioni combinate, in radio, IR, X, gamma, sia di AGN (radio-galassie e Seyfert) che di binarie X di piccola massa con stelle di neutroni e buchi neri (LMXB), hanno ottenuto *large programme* osservativi per studiare il centro della nostra Galassia (Sgr A*), effettuano studi sistematici di variabilità, anche veloce, nei raggi X di campioni molto grandi di oggetti, sono leader nello studio di binarie X di alta massa con stelle di neutroni (SFXT e HMXB), contribuiscono alla comprensione della fisica delle nane bianche (variabili cataclismiche e simbiotiche) e sono leader nello sviluppo di modelli teorici/numerici per la descrizione dei sistemi fisici responsabili dell'emissione ad alta energia.

Alcuni dei principali risultati raggiunti negli ultimi anni sono: i) prove visive dirette di buchi neri supermassicci situati al centro della galassia ellittica super gigante M87 ed al centro della Via Lattea, grazie a osservazioni dell'Event Horizon Telescope; ii) l'osservazione di venti relativistici da alcune sorgenti X ultraluminose (ULX), e la scoperta di pulsazioni da alcune di esse, che le identificano come stelle di neutroni rotanti altamente magnetizzate; iii) la scoperta con XMM-Newton di due colonne di gas caldo che si estendono per alcune centinaia di anni luce a partire dalle regioni centrali della Via Lattea; iv) l'inattesa rivelazione delle pulsazioni della Crab pulsar nel gamma (fino 1.5 TeV) con MAGIC che indica come le regioni di emissione debbano trovarsi al di fuori della magnetosfera della stella di neutroni, a differenza di quanto comunemente assunto in precedenza; v) la scoperta delle transizioni di stato risultanti dall'interazione tra magnetosfera e disco di accrescimento di alcune millisecond pulsar, e l'osservazione delle pulsazioni anche in luce visibile; vi) la scoperta di emissione al TeV osservata da MAGIC dal GRB 190114C; vii) l'associazione di FRB con eventi di riconnessione magnetica e emissione di raggi X da parte di una magnetar; viii) l'individuazione in SNR di strutture riconducibili a processi stocastici che si sviluppano durante SNe di tipo core-collapse; ix) la caratterizzazione di break spettrali nei SNR risolti spazialmente alle alte frequenze dai radiotelescopi INAF, importanti per caratterizzare la popolazione di elettroni relativistici e discriminare i contributi di adroni e leptoni in banda gamma; x) la scoperta di emissione gamma transiente nella Crab Nebula, prima evidenza diretta di accelerazione al PeV in una sorgente astrofisica; xi) la prima rivelazione di protoni relativistici in SNR e di propagazione modificata nelle loro vicinanze, con importanti implicazioni ancora da esplorare sull'origine e la propagazione dei CR galattici; xii) la caratterizzazione di spettro e composizione dei CR di energia ultra-alta, la determinazione di limiti stringenti sui neutrini e fotoni cosmogenici e da transienti e l'evidenza definitiva della transizione tra origine galattica ed extragalattica dei CR all'EeV; xiii) la caratterizzazione temporale e spettrale della controparte elettromagnetica di GW170817 grazie al contributo fondamentale dato dal gruppo INAF GRAWITA; xiv) l'associazione tra un neutrino di alta energia rivelato da IceCube ed l'AGN di tipo blazar TXS 0506+056 grazie al satellite Fermi ed i telescopi MAGIC; xv) la rivelazione con IXPE di emissione X polarizzata da una sorgente extragalattica, il blazar Markarian 501, e da diverse sorgenti galattiche, tra cui i due sistemi in accrescimento Cygnus X-1 e Hercules X-1, la magnetar 4U 0142+61, il Resto di Supernova Cas A, e le Pulsar Wind Nebulae Crab e Vela, entrambe rivelate con polarizzazione prossima al massimo teorico.

La comprensione dei fenomeni di alta energia richiede sempre più una caratterizzazione simultanea multi-banda e multi-messenger e lo sviluppo di modelli teorici avanzati per l'interpretazione delle osservazioni. Per questo tipo di ricerca si prevede lo sfruttamento sia di dati di archivio sia di dati ottenuti con strumentazione nazionale e con osservatori internazionali da Terra e dallo spazio, molti dei quali su base competitiva (numerose campagne osservative sono già approvate). Si prevede inoltre l'uso di tecniche di simulazione particle-in-cell (PIC), magnetohydrodynamics (MHD), e l'innovativa tecnica ibrida PIC+MHD, e sintesi dell'emissione multibanda associata per lo studio di processi di accelerazione e interazione non-lineare tra plasma e particelle accelerate (tali tecniche saranno utilizzate, per esempio, per descrivere la dinamica e l'emissione associata alle ultime orbite stabili attorno ad oggetti compatti, l'interazione di eventi esplosivi - novae, SNe, GRB - con il mezzo ambiente, l'accelerazione di particelle nelle hotspot delle radiogalassie e l'accelerazione di raggi cosmici e feedback in shock astrofisici).

Gli obiettivi per il prossimo triennio sono: i) la comprensione dei processi fisici e della geometria dell'accrescimento di materia e dei meccanismi di produzione di getti e/o venti in oggetti compatti galattici

ed extragalattici (binarie X, ULX, TDE, AGN); ii) lo studio e comprensione della natura transiente dei TDE; iii) sfruttamento dell'aumento di sensibilità dei precursori di SKA (e.g. MeerKAT, LOFAR) per la ricerca di pulsar e per la fisica degli AGN; iv) studio dell'interazione tra magnetosfere di stelle di neutroni in sistemi binari e materia in accrescimento a diversi regimi di luminosità; v) comprensione dei meccanismi di accelerazione di particelle attraverso lo studio nel gamma di pulsar, binarie e AGN; vi) comprensione della natura e dell'origine dei FRBs; vii) indagine sulla formazione e struttura di getti relativistici in mergers e collapsar e la caratterizzazione di futuri eventi GRB/SN; viii) studio dei processi esplosivi nelle novae e SNe e loro legami con i sistemi progenitori e con i residui delle esplosioni; ix) indagine su se e come SNR giovani possano accelerare particelle ad energie di 1 PeV e studio di sorgenti alternative per i CR galattici alle energie più alte; x) studio degli aloni gamma al TeV e implicazioni per l'origine e la propagazione dei CR; xi) comprensione dell'accelerazione da shock e da riconnessione magnetica, in regime relativistico e non (GRB, SN, AGN); xii) studio dell'emissione di neutrini da parte di sorgenti variabili ed altamente energetiche (GRB, SNe, Blazar); xiii) ricerca e caratterizzazione delle controparti elettromagnetiche delle GW; xiv) comprensione dei processi di nucleosintesi e dell'origine degli elementi pesanti nell'Universo; xv) studio delle sorgenti dei CR extragalattici e della componente multi-messenger (neutrini e fotoni) nella regione delle energie estreme.

Si prevede di sfruttare le SNe Ia ed i GRB come sonde nello studio dell'Universo fino alle epoche primordiali e per la stima di parametri cosmologici. Inoltre, la costruzione di campioni statisticamente significativi di diversi tipi di oggetti ed accurate previsioni dei modelli sono importanti per lo sviluppo di future missioni spaziali per lo studio dei transienti e per l'ottimizzazione di strumenti/campagne di follow-up multi-lunghezza d'onda. I ricercatori INAF contribuiscono in modo sostanziale alla determinazione dei programmi scientifici per future missioni spaziali (ATHENA, eXTP, HERMES, IXPE, AMEGO, ASTROGAM), telescopi da Terra (ASTRI Mini-Array, CTA, SKA, SWGO) e rivelatori di onde gravitazionali di terza generazione (Einstein Telescope - ET). In particolare, i ricercatori INAF prendono parte concreta ed effettiva, con una propria Research Unit, alla *Collaborazione Einstein Telescope* (costituita da oltre 1200 scienziati) che svilupperà il progetto in tutte le sue fasi, dalla costruzione alle nuove attese scoperte dell'astrofisica multi-messenger che saranno rese possibili dall'eccezionale sensibilità di ET nella misura delle onde gravitazionali. INAF partecipa attivamente alla missione IXPE lanciata il 9 dicembre 2021, satellite NASA per la polarimetria in banda X per cui INAF ha la cruciale Pi-ship del rivelatore di raggi X; Nel prossimo triennio l'INAF parteciperà attivamente a missioni spaziali, nazionali e internazionali. In particolare: HERMES, costellazione di 6 nanosatelliti dell'ASI a Pi-ship INAF che ospitano rivelatori di raggi X; eXTP, satellite X cinese con 4 strumenti a bordo di cui uno a responsabilità INAF (LAD); ATHENA, missione large dell'ESA, il cui strumento WFI è a co-Pi-ship INAF; verranno effettuate misure di fisica fondamentale sfruttando le orbite ellittiche di due satelliti della costellazione Galileo di ESA. INAF sarà inoltre impegnata sia con la costruzione dei telescopi Cherenkov per l'astronomia gamma ASTRI Mini-Array a Tenerife che nello sviluppo dei telescopi SST per il futuro osservatorio Cherenkov internazionale CTA che sarà ulteriormente potenziato da due Large Telescopes finanziati attraverso il programma PNRR. Inoltre, INAF utilizza per applicazioni di astrofisica delle alte energia e nella partecipazione con le antenne di Medicina, Noto e SRT alla e le reti interferometriche intercontinentali dello European VLBI Network e dell'East Asian VLBI Network. Il progetto Pierre Auger manterrà un ruolo rilevante nello studio delle sorgenti dei raggi CR extragalattici e della fisica fondamentale nella regione degli UHECR. Il progetto XENONnT, a cui partecipano ricercatori INAF, manterrà nel triennio la leadership mondiale per la rivelazione diretta delle particelle costituenti la materia oscura. INAF supporta inoltre il progetto Kilometer Cube Neutrino Telescope (KM3NeT), infrastruttura ESFRI, tramite uno specifico progetto (KM3NeTRR) a valere su fondi PNRR, che ha per obiettivi la ricerca di controparti elettromagnetiche delle sorgenti astrofisiche di neutrini, la produzione di survey di potenziali candidati di sorgenti neutriniche e lo sviluppo di modelli di emissione multimessenger di candidati galattici.

Nell'ambito di RSN-4 INAF collabora attivamente con numerose università ed istituti di ricerca nazionali e internazionali sia per progetti teorici e osservativi, che per progetti sperimentali. Di particolare rilievo sono le collaborazioni con: ASI, CEA, CfA, CNRS, ESA, ESO, ICRAR, INFN, ISDC, KASI, MPA, NAOJ, NASA, NLR, RIKEN. Molte unità INAF fanno parte di grandi collaborazioni nazionali (CIBO, ASTRI, GRAWITA) ed

internazionali (AHEAD, CTA consortium, ENGRAVE, Stargate, Rubin-LSST science collaborations, MAGIC Collaboration, LST Consortium).

Specificamente per RSN-4 vengono utilizzati tutti gli strumenti osservativi disponibili in ogni banda dello spettro elettromagnetico sia nazionali (e.g., LBT, REM, SRT, TNG, Osservatori di Asiago e Campo Imperatore, radiotelescopi di Medicina e Noto in modalità *single dish* e VLBI, AGILE) che internazionali (e.g., ALMA, ATCA, Chandra, EVN, eMERLIN, FERMI, HESS, HST, INTEGRAL, LOFAR, MAGIC, LST, MeerKAT, NICER, NTT, NuSTAR, Suzaku, Swift, VLA, VLBA, VLT, XMM-Newton), da terra e dallo spazio. Le unità INAF si avvalgono inoltre di infrastrutture di calcolo ad alta prestazione nazionali (e.g., CINECA, CHIPP, SCAN) ed internazionali (e.g., infrastrutture del consorzio PRACE).

4.1.5. Raggruppamento Scientifico Nazionale 5 – Tecnologie Avanzate e Strumentazione

La ricerca tecnologica in INAF è fortemente multidisciplinare e diversificata. La continua evoluzione nel campo dell'astronomia osservativa, sia da terra che dallo spazio, determina la necessità di costruire strumenti hardware e software sempre più complessi per soddisfare le esigenze dei nuovi esperimenti, che spesso richiedono lo sviluppo di tecnologie e materiali innovativi. Allo stesso tempo le complesse simulazioni numeriche necessarie in fase di progettazione, analisi e interpretazioni dei risultati osservati, pongono ulteriori sfide verso sistemi complessi e innovativi.

Il processo che porta dall'esigenza scientifica alla realizzazione di un "prodotto" attraversa fasi che sono comuni ai diversi settori in cui INAF opera.

INAF sviluppa progetti di ricerca di base e applicata nel settore delle tecnologie astronomiche, sia nei propri laboratori che in collaborazione con l'Industria, le Università ed altri Enti di Ricerca. Poiché le infrastrutture astrofisiche in via di realizzazione sono sempre più onerose e sofisticate, si costituiscono consorzi e organizzazioni che raccolgono il contributo dei tecnologi, ricercatori e tecnici a livello internazionale. Alcuni esempi di grandi infrastrutture internazionali con importante partecipazione INAF sono i telescopi ESO (ELT, VLT, NTT, VST), SKA, CTA e ASTRI Mini-Array per le osservazioni da terra e le missioni spaziali internazionali Cheops, ATHENA, Bepi Colombo, Gaia, Euclid, IXPE, eXTP, PLATO, ARIEL, JUICE e Solar Orbiter.

Numerosi progetti hanno risvolti applicativi diretti anche in altri settori scientifici, incluse ricadute di interesse per la società civile (§Cap. 6) al punto che l'Istituto, tra i propri scopi statutari, ne include la promozione, la diffusione e la valorizzazione, supportando la creazione di spin-off ed il trasferimento tecnologico, in collaborazione con l'industria (dalle piccole e medie imprese ai grandi asset nazionali), anche in linea con alcuni obiettivi del PNRR.

L'impatto dell'attività R&D del personale tecnologico INAF è inoltre testimoniato dai numerosi articoli scientifici pubblicati sulle più prestigiose riviste del settore, nonché presentati a conferenze internazionali. I tecnologi INAF ricoprono incarichi di elevata responsabilità all'interno di comitati scientifici internazionali e come organizzatori di workshop e conferenze.

I telescopi e, più in generale, l'insieme dei dispositivi che consentono di raccogliere e misurare la radiazione e informazione multi-messaggero, sono elementi essenziali dell'astrofisica sperimentale osservativa. La tecnologia deve, necessariamente, essere sempre all'avanguardia, per poter rispondere alle domande, sempre più pressanti e capillari, poste dall'analisi dei risultati ottenuti con gli strumenti delle generazioni precedenti. La progettazione e la costruzione di un telescopio o di uno strumento, indipendentemente dall'utilizzo (da terra o dallo spazio) o dalla banda dello spettro elettromagnetico (Gamma, X, UV, Visibile, IR, Radio), richiedono il possesso di numerose e approfondite competenze tecnologiche. Questo ha portato, nel corso degli anni, allo sviluppo di know-how e tecnologie legate, per esempio, ai rivelatori, ai ricevitori,

all'ottica, alla meccanica, all'elettronica, alla metrologia, al software di controllo, alla criogenia. Lo sviluppo di tali tecnologie, inclusa la realizzazione di prototipi, ha trovato il suo alveo naturale negli Istituti e nei laboratori dell'INAF, in alcuni casi raggiungendo livelli di eccellenza internazionale e divenendo punto di riferimento nei rispettivi settori. La capacità di realizzare sistemi all'avanguardia ha consentito ad INAF di ottenere la completa responsabilità, in tutte le fasi di sviluppo e realizzazione, di strumenti (es. SOXS, MORFEO, ANDES, CUBES), di infrastrutture (es. VST, ASTRI Mini-Array) e di intere "filiera" di produzione tecnologica.

INAF, insieme all'industria Italiana, ha una lunga storia nello sviluppo di sistemi di ottica attiva (TNG, VST) e mantiene inalterata una posizione di leadership mondiale nel campo delle Ottiche Adattive (AO). Grazie alla partecipazione italiana al Large Binocular Telescope (LBT), INAF dispone da molti anni di un avanzato laboratorio per sviluppare tecnologie innovative per l'AO. Gran parte della comunità AO di INAF è riunita in ADONI (Laboratorio Nazionale di Ottica Adattiva), che promuove il coordinamento delle attività dei gruppi afferenti, sostenendo la R&D e favorendo il trasferimento tecnologico verso l'industria. ADONI ha permesso di consolidare la leadership dell'ente nell'AO, con risultati che spaziano dagli specchi deformabili di grandi dimensioni alla previsione e alla misura della turbolenza atmosferica, alle molteplici tecniche di correzione delle aberrazioni. Queste tecnologie trovano applicazione anche in settori non convenzionali, come lo sviluppo sperimentale di sistemi laser per Optical Satellite Communications a larga banda, i rivelatori di onde gravitazionali e infine in ambito medico-industriale, in collaborazione con alcune aziende italiane. INAF riveste un ruolo chiave nei maggiori progetti di AO, in particolare per gli attuali strumenti di nuova generazione per LBT, come SOUL (in commissioning per il 4 strumento scientifico asservito) e gli innovativi SHARK-VIS e SHARK-NIR (in fase di commissioning), e per il VLT, come ERIS (in commissioning) e MAVIS (in fase di Preliminary Design). A questi si aggiungono i futuri strumenti per gli Extremely Large Telescopes, quali i sensori di fronte d'onda per il Giant Magellan Telescope, e quelli per ELT (lo specchio adattivo M4, MICADO, il modulo post-focale MORFEO e lo spettrografo ANDES). Altro settore in cui INAF può vantare un ruolo importante è quello della metrologia e della simulazione e misura delle deformazioni strutturali sulle grandi antenne, con competenze in termini di progettazione, installazione e gestione. Questo grazie alle superfici attive realizzate per i tre radiotelescopi italiani (SRT e Noto ne sono già provvisti, la parabola di Medicina la otterrà nel 2023). Un ulteriore campo di ricerca in cui INAF è protagonista è la progettazione, sviluppo e verifica di soluzioni ottico-meccaniche innovative nell'ottico/vicino infrarosso per telescopi da spazio, fondamentali ad esempio per le future missioni dedicate a osservazioni fotometriche/spettroscopiche degli esopianeti (PLATO) e delle loro atmosfere (ARIEL), nonché a misure astrometriche con precisione angolare senza precedenti. L'Istituto detiene anche una posizione di primo piano per quanto riguarda progettazione, sviluppo, test e procurement di sistemi ottici innovativi per coronografi spaziali, come per le missioni SolarOrbiter e PROBA-3, e di coronografi compatti per missioni a propulsione fotonica solare. Parallelamente, INAF offre soluzioni per l'ideazione e realizzazione di ottiche e di dispositivi di rilevazione innovativi per nano-satelliti e cubesat.

INAF ha da tempo acquisito un ruolo di eccellenza nella ricerca, sviluppo e produzione di ottiche per telescopi spaziali X. Se, da una parte, ciò si fonda su tecniche consolidate, dall'altra sono in corso progetti R&D per la messa a punto di soluzioni innovative mirate al miglioramento della risoluzione angolare, dell'efficienza e della leggerezza degli specchi. Questo campo di attività ha ricevuto, negli scorsi decenni, specifici sostegni alla ricerca da parte di ASI e ESA e collaborazioni dirette con la NASA, con rilevanti e significativi spin-off in industria nazionale. INAF è impegnata nel supporto alla realizzazione delle ottiche per il prossimo Osservatorio ESA ATHENA (large mission), in particolare essendo responsabile con specifici contratti ESA delle simulazioni e delle implementazione delle facility di calibrazioni. Inoltre con uno specifico accordo ASI/INAF con NASA, partecipa alla fase di sviluppo della missione LYNX, sottomessa nell'ambito della Decadal survey 2020 per sostituire Chandra, curando con NASA/MSFC lo sviluppo delle shell monolitiche sottili ad alta risoluzione angolare.

Un impegno importante è costituito dalla realizzazione di nuovi rivelatori e di dispositivi e soluzioni correlate, in progetti che spaziano dalla banda radio fino alle alte energie. Questi dispositivi, costituiscono il cuore della strumentazione osservativa di nuova generazione e consentono l'aggiornamento degli strumenti esistenti. Ne sono esempio il design end-to-end di tutti i sottosistemi riceventi di SKA-LOW e, lo sviluppo di ricevitori per ALMA, ma anche la realizzazione di ricevitori criogenici innovativi per i radiotelescopi italiani per portarli a frequenze di osservazione più alte, nonché dotarli di bande più larghe e/o simultanee e di un maggior numero di sensori (lavori che si completeranno nel prossimo biennio). Esempi nel settore delle alte energie sono lo sviluppo di rivelatori in silicio per raggi X, che ha abilitato la partecipazione di INAF con una posizione di leadership alle missioni eXTP ed HERMES, o lo sviluppo di sistemi all'avanguardia legati allo strumento X-IFU della missione ATHENA, quali i rivelatori criogenici per la riduzione del rumore di fondo ed i filtri ultrasottili di grande area. INAF ha inoltre sviluppato tecnologie per la polarimetria X, che hanno permesso di ottenere l'attuale ruolo chiave nella progettazione e realizzazione di strumenti per missioni spaziali quali eXTP e IXPE. Sempre nell'ambito dei dispositivi per missioni spaziali, INAF partecipa con punte di eccellenza alla realizzazione di strumentazione per la planetologia, con osservazioni da remoto (sonde orbitanti attorno a pianeti, comete ed asteroidi) e in situ (strumentazione per l'analisi diretta sulla superficie del pianeta) quali spettrometri e camere per sonde planetarie di cui detiene la leadership in numerose missioni (Par. 5.1.3 - RSN3). Relativamente all'esplorazione lunare sono in itinere molte collaborazioni in progetti NASA ed ESA. Da sottolineare una innovativa lente panoramica bifocale (PANCAM), progettata e brevettata da ricercatori INAF, che è stata recentemente oggetto di uno studio ESA per l'esplorazione dei lava tubes lunari ed il progetto MELODY, che rianalizzerà alcuni dataset pubblici sia della superficie che del sottosuolo lunari mediante nuove tecniche di analisi dati e nuove misure di laboratorio.

Nel campo della progettazione elettronica, il personale dell'ente, sviluppa soluzioni estremamente performanti e robuste, impiegate in diverse tipologie di dispositivi. L'elettronica relativa ai rivelatori o ai sistemi di acquisizione dati risponde a requisiti molto stringenti in termini di rumore, velocità e accuratezza; ne sono esempi l'elettronica di front-end e back-end per rivelatori in silicio per alte energie o la progettazione e realizzazione di back-end per i radiotelescopi (da quelli nazionali a SKA e ai suoi precursori).

INAF sviluppa anche l'elettronica di controllo di strumenti o infrastrutture osservative, come le unità di controllo di strumento (ICU) per Euclid, PLATO, ARIEL e ATHENA, i sistemi di automazione per la strumentazione di ELT e VLT, il controllo per il pointing e il tracking di telescopi (TNG,VST).

Fondamentale è anche il lavoro di progettazione e realizzazione di software di controllo, del firmware, e del software applicativo on-board (ad es. ASW per NISP DPU, Euclid) per il processamento dei dati grezzi, indispensabili per garantire che le modalità osservative rispondano al progredire delle necessità dei ricercatori e che gli strumenti operino con efficienza, acquisendo dati di qualità.

Trasversalmente a tutte le diverse fasi dello sviluppo della strumentazione, è richiesto un importante contributo in termini di ingegnerizzazione. INAF mette in campo le proprie competenze, ad esempio nella progettazione termo-meccanica di sistemi che richiedono elevata stabilità e/o devono affrontare condizioni estreme (temperature criogeniche, sollecitazioni da lancio, ecc.). Il know-how che INAF possiede negli ambiti del System Engineering e della Product Assurance è fondamentale per la partecipazione alla realizzazione di grandi infrastrutture da terra e di missioni spaziali, in quanto consente la corretta gestione dell'interazione tra i diversi sistemi e assicura la qualità della strumentazione prodotta.

Elementi essenziali nei processi di sperimentazione e sviluppo sono i laboratori. Oltre a realizzare e impiegare laboratori per l'esecuzione di esperimenti astrofisici (in particolare per riprodurre le condizioni estreme presenti nello spazio o su altri pianeti), INAF si è dotata di laboratori che consentono di affrontare tutte le fasi dello sviluppo tecnologico, dallo studio teorico/simulativo alla realizzazione e test di prototipi, contribuendo anche ai successivi passaggi (quali assemblaggio, integrazione, calibrazione e qualifica), essenziali per la messa in opera della strumentazione.

Il lavoro di sviluppo non termina con l'entrata in funzione degli strumenti, ma comprende le attività relative alla gestione dei dati raccolti.

La progettazione e realizzazione di un Science Data Segment ha assunto un livello di complessità paragonabile allo sviluppo e alla produzione di uno strumento hardware quali quelli citati precedentemente. Oggi INAF si è affermato come soggetto di eccellenza, conquistando in alcuni casi la responsabilità primaria dell'ideazione e dello sviluppo di tutto il segmento scientifico sia per missioni spaziali che infrastrutture terrestri. Analogamente, INAF si è affermato nella gestione di strumenti in termini di programmazione ed effettuazione delle osservazioni.

La ventennale esperienza acquisita da INAF, con la partecipazione allo sviluppo di missioni spaziali (ricordiamo INTEGRAL, Planck, AGILE, Gaia e Euclid, CHEOPS e PLATO), anche in importanti posizioni di leadership, ha portato all'acquisizione di competenze di primo livello per la progettazione, la realizzazione, lo sviluppo e l'implementazione di segmenti di terra scientifici. Oltre alla scelta di soluzioni hardware specifiche, il procurement ed il mantenimento delle risorse di calcolo e storage, la realizzazione di centri di processamento spazia dalla messa a punto di software di controllo e data quality fino all'analisi dei dati scientifici in tempo reale, passando per il monitoraggio e la calibrazione della risposta strumentale durante le varie fasi (assemblaggio, integrazione e test, commissioning e operazioni). Le attività consistono anche nell'ideazione e implementazione di soluzioni algoritmiche innovative, che vanno dalla modellistica e trattamento del dato grezzo fino al prodotto elaborato e pronto per essere utilizzato negli studi scientifici.

La realizzazione e lo sfruttamento dei risultati delle osservazioni e simulazioni in astrofisica richiedono archivi, cura del dato, calcolo e strumenti di analisi e aggregazione sempre più in linea con i concetti espressi dai paradigmi Big Data, Open Science, e Machine Learning. Questo processo richiede infrastrutture e competenze trasversali alla comunità scientifica e necessita della progettazione e implementazione di nuove piattaforme informatiche, in grado di gestire enormi moli di dati eterogenei, che include anche la re-ingegnerizzazione di strumenti già esistenti. Analogamente le simulazioni numeriche rappresentano uno strumento fondamentale per catturare la complessità dei processi astrofisici che governano l'Universo a tutte le scale. Tali simulazioni e l'astrofisica multi-messaggero, con progetti multi-telescopi, (es. ASTRI Mini-Array, CTA, SKA) e con telescopi spaziali (es. Gaia ed Euclid), tecnologicamente impongono l'utilizzo del calcolo ad alte prestazioni con infrastrutture di tipo Exascale, rispetto alle quali oggi INAF è impegnato nel co-design. L'analisi di grandi volumi di dati necessita di tecnologie per la visualizzazione scientifica e di tecniche di intelligenza artificiale, che per loro natura sono multidisciplinari e coinvolgono numerose attività di ricerca condotte in INAF. A tale proposito, si nota come a partire dal 2022 l'INAF si doterà di una Unità Scientifica Centrale (USC) dedicata al Calcolo sotto l'egida della Direzione Scientifica allo scopo di coordinamento e focalizzazione scientifica e tecnica degli aspetti legati al calcolo e ai Big Data e Machine Learning.

Inoltre, a partire dal 2022 INAF è tra i Soci Fondatori della fondazione denominata: "Centro Nazionale di Ricerca in High-Performance Computing, Big Data and Quantum Computing", uno dei cinque Centri Nazionali previsti dal PNRR. Il Centro sarà leader in specifiche azioni per l'HPC e la Big Data analysis preparando la comunità alla nuova generazione dell'HPC-Exascale e contribuendo al co-design della prima piattaforma HPC a tecnologia europea. INAF collabora con aziende private in settori strategico/economico del Paese interessati agli sviluppi di Machine Learning/Federated learning/Visualizzazione e gestione del Big Data. Sia attraverso il Centro Nazionale che con risorse dedicate, INAF si doterà di un proprio sistema di calcolo HPC e archiviazione di ultima generazione per le crescenti necessità della comunità nazionale e internazionale. INAF sviluppa e partecipa alle attività nazionali, comunitarie e globali atte a rendere il proprio patrimonio di dati e servizi coerenti con gli scenari di Open Science e FAIR-ness; ha assunto e mantiene ruoli di rilievo in varie organizzazioni, quali la International Virtual Observatory Alliance (IVOA), che affrontano

i temi di interoperabilità, fruibilità del dato, standardizzazione di dati e servizi. INAF partecipa altresì ad EOSC (European Open Science Cloud), la rete comunitaria che punta a creare un ambiente Open e FAIR per dati e servizi, attraverso la EOSC Association e la partecipazione alle Task Force lì costituite.

4.2. Progetti Attivi

L'Elenco di tutti i progetti di ricerca attivi correntemente in INAF ed una loro breve descrizione è disponibile al sito www.pta.inaf.it/schede-progetto attraverso le Schede di Progetto INAF. Nel corso del 2022 sono state presentate 750 Schede per progetti di ricerca scientifica e tecnologica afferenti ai 5 Raggruppamenti Scientifici Nazionali. Schede che afferiscono alla Terza Missione (68) e a progetti multi-disciplinari (17) completano il quadro per un totale di 835 Schede di Progetto presentate nel 2022. Le Schede contengono informazioni riguardo alle finalità dei progetti, i gruppi proponenti e FTE impegnate e i fondi a disposizione o proposti. L'insieme delle Schede INAF costituisce un patrimonio di grande importanza per l'Ente.

L'amministrazione INAF, come risultato del lavoro di raccolta di informazione tramite le Schede dispone di informazioni complete riguardo ai progetti, loro finanziamenti e risorse umane coinvolte, che sono disponibili su richiesta per gli organi di governo dell'Ente e per il Ministero Vigilante.

5. Attività Esterna e di Servizio alla Comunità

5.1. Space Situation Awareness (SSA)

5.1.1. Space Surveillance and Tracking (SST)

INAF partecipa attivamente alle attività europee finalizzate a realizzare una rete europea per il monitoraggio di satelliti e oggetti orbitanti che garantisca la sicurezza delle missioni spaziali, dei satelliti operativi e preveda rientri di oggetti a Terra di medie/grandi dimensioni potenzialmente pericolosi.

L'INAF vanta da sempre una posizione di rilievo nel settore dello SSA/SST come naturale estensione delle proprie attività di ricerca nel campo della fisica solare e delle missioni Space Oriented. L'INAF è membro dell'OCIS (Organismo Italiano di Coordinamento ed Indirizzo per SST Space Surveillance and Tracking), di cui fanno parte l'Aeronautica Militare, lo Stato Maggiore della Difesa, l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). L'OCIS, in collaborazione con Germania, Francia, Spagna, Portogallo, Polonia e Romania, (nel 2022 si aggiungeranno Grecia, Austria, Repubblica Ceca, Finlandia, Svezia, Olanda, Lettonia, Ungheria) ha il compito, sfruttando i propri assetti nazionali, di fornire servizi iniziali di SST e di contribuire, alla salvaguardia di infrastrutture, mezzi e servizi spaziali sia europei che nazionali.

Il segmento delle Strutture di Ricerca dell'INAF nell'area bolognese e in quella in Sardegna sono al momento il fulcro dell'attività dell'Ente nel campo di SST, utilizzando il telescopio "Cassini" di 152cm della stazione osservativa di Loiano (Bo), il radiotelescopio "Croce del Nord", presso Medicina (Bo), e il "Sardinia Radio Telescope" (SRT), nelle vicinanze di Cagliari. Per questi tre sensori principali le attività in ambito SST si sono tradotte in importanti progetti di upgrade "dual-use" con specifiche, per gli ultimi due, dettate da utilizzo di "Radar Bistatici", ovvero l'illuminazione del detrito da parte di un emettitore radar e la lettura del riflesso con i radiotelescopi. L'attività operativa per SST è principalmente condotta nell'ambito dei programmi europei H2020 e Copernicus, continuerà poi con il Programma Spazio EU ed Horizon Europe 2021-2027 attraverso l'EU-SST Consortium, in linea con le direttive di indirizzo della Commissione Europea.

I risultati raggiunti sono notevoli in quanto l'Italia, tramite questi 3 sensori, riesce a monitorare l'80% degli oggetti tutt'ora catalogati e anche a contribuire alla scoperta di nuovi oggetti. Contribuisce inoltre ai 3 servizi di sorveglianza strategici che sono Collision Avoidance (prevenzione di collisione tra satelliti operativi e

detriti), Re-entry (monitoraggio di oggetti che rientrano sulla Terra) e Fragmentation (osservazione della propagazione della nube di frammenti che si possono generare a causa di esplosioni di oggetti in orbita).

INAF per il futuro considera anche la possibilità di osservare i NEO (Near Earth Objects) con assetti radio. In tale campo, l'INAF ha guadagnato una notevole esperienza nell'osservazione radar di asteroidi potenzialmente pericolosi per la Terra, partecipando con successo a diverse campagne osservative internazionali. Qui sono stati impiegati due importanti radiotelescopi, come la parabola da 32 metri di Medicina e quella da 64 metri di SRT, per ricevere i deboli echi radar riflessi da asteroidi illuminati dall'antenna di Goldstone (California, USA) della NASA e di Eupatoria (Ucraina).

Per il prossimo triennio l'Ente intende mantenere l'impegno nel settore consolidando le relazioni con altri fornitori di servizi in una logica nazionale ed Europea integrata.

5.1.2. Space Weather (SW)

Lo Space Weather rappresenta per l'INAF un settore promettente a cui dedicare risorse nel prossimo triennio, in accordo con l'evoluzione europea e mondiale della ricerca e delle applicazioni nel campo.

Lo Space Weather è inserito programmaticamente nelle attività delle organizzazioni scientifiche quali la World Meteorological Organisation (WMO) ed il COSPAR, la NOAA, la NASA, l'ESA, la Commissione Europea, le agenzie spaziali, tra le quali l'ASI che ha costituito un Gruppo di Lavoro specifico e svilupperà un centro dati scientifici per lo Space Weather (ASPIS) in collaborazione con INAF, INGV, INFN, CNR e molte realtà scientifiche accademiche.

INAF ha inoltre attivato un accordo quadro per la realizzazione di un servizio duale (civile e militare) per il monitoraggio e la previsione dello Space Weather, coordinato dall'Aeronautica Militare ed in collaborazione con INGV. Tale servizio sarà un tassello operativo di un progetto strategico nazionale per la Sicurezza dello Spazio, ora in preparazione sotto il coordinamento del Ministero della Difesa e la partecipazione del MIT, che vede la partecipazione di tutte le realtà scientifiche italiane attive nel campo insieme a quelle industriali.

Un'azione sinergica per la comunità nazionale che si occupa di Space Weather viene attivamente svolta dall'organizzazione SWICo (Space Weather Italian Community), a cui afferiscono circa duecento ricercatori e tecnologi. In ambito INAF, il coordinamento delle attività relative allo Space Weather viene svolto da un Senior Advisor, coadiuvato da uno Steering Committee formato da quattro membri, nominati dalla Direzione Scientifica.

Nell'ambito della scienza dello Space Weather, l'INAF si occupa di diverse attività di ricerca che coprono un esteso campo di tematiche quali, ad esempio, la Fisica Solare (Solar Weather) ed Eliosferica (Heliospheric Weather) (osservazione e modellistica dei Brillamenti Solari e dell'accelerazione di Particelle Energetiche Solari, delle Coronal Mass Ejection e del Vento Solare), le Relazioni Sole-Terra (Interplanetary Weather) (propagazione di Coronal Mass Ejection e di Particelle Energetiche Solari), gli effetti geomagnetici (Magnetospheric e Geospheric Weather), i disturbi ionosferici e dell'alta atmosfera (Ionospheric Weather) (Aurore e Tempeste Ionosferiche), il Planetary Space Weather (interazioni Vento Solare-Atmosfere Planetarie), la Fisica dei Raggi Cosmici, gli studi degli impatti sui sistemi biologici e su quelli tecnologici (ad es. Interferenze Radio Solari alle comunicazioni satellitari ed alla ricezione dei segnali GPS).

L'INAF svolge tali attività di ricerca attraverso un'ampia partecipazione a diversi progetti in collaborazione con Università (Catania, Firenze, Genova, L'Aquila, Roma2, Roma3, Trieste) ed altri enti nazionali ed internazionali (INGV, ASI, INFN, CNR, ESA).

Per quanto attiene al monitoraggio dello Space Weather, INAF dispone di una rete nazionale di servizi basata su una varietà di assetti, alcuni dei quali operativi da più di cinquant'anni, altri più recenti ed alcuni di

futura attivazione. Attualmente l'INAF contribuisce anche alla SSA Space Weather Service Network della European Space Agency (ESA), in particolare con i dati delle regioni attive solari e loro previsione (INAF-OACT) e con il monitoraggio a terra dei neutroni (INAF-IAPS). Entrambi gli assetti sono anche nodi, rispettivamente, della rete mondiale Global High Resolution H-alpha Network e del Real-Time Database for high-resolution Neutron Monitor measurements (NMDB).

Anche in questo caso per il prossimo triennio l'Ente intende mantenere l'impegno nel settore consolidando le relazioni con altri fornitori di servizi in una logica nazionale ed Europea integrata.

5.2. Tomografia Muonica dei Vulcani Attivi

La predicibilità delle attività eruttive dei vulcani in tutto il mondo, in particolare per quelli esplosivi, ha una grande importanza nei programmi di protezione civile di tutti i Paesi con vulcanismo sviluppato. La muografia, o radiografia/tomografia muonica è una metodologia molto promettente in questo campo. La muografia è una tecnica analoga alla radiografia X, in cui il ruolo dei raggi X viene svolto dai muoni (μ). Queste particelle elementari sono continuamente prodotte negli strati più alti dell'atmosfera in seguito all'interazione di un raggio cosmico primario con i nuclei presenti (azoto, ossigeno). I muoni hanno una vita media abbastanza lunga ed energie molto elevate e quindi, dopo aver raggiunto la Terra, possono attraversare centinaia o anche migliaia di metri di roccia o suolo prima di essere assorbiti. Dalla misura dell'assorbimento di questa radiazione attraverso un volume specifico, è possibile ottenere una mappa bidimensionale della densità della materia attraversata.

Per ottenere un'immagine muografica, si misura direttamente il flusso di muoni che attraversano il volume in oggetto mediante un telescopio, ovvero uno strumento capace di ricostruire la traccia dei muoni all'interno del suo campo di vista, e lo si confronta con il flusso di muoni provenienti dall'atmosfera allo stesso angolo dallo Zenith. La tecnologia proposta da ricercatori INAF deriva da quella utilizzata per i telescopi Cherenkov quali ASTRI Mini-Array e CTA, ed ha il pregio, rispetto ai classici rivelatori di particelle, di essere affetta da un trascurabile rumore di fondo.

Attraverso il progetto MUCH (Muography with Cherenkov) INAF si propone di realizzare la prima radiografia muonica ad alta risoluzione del complesso dei crateri sommitali dell'Etna con luce Cherenkov utilizzando ASTRI-Horn entro il prossimo biennio e successivamente di istituire una rete di monitoraggio del vulcano tramite tomografia muonica con l'utilizzo di più telescopi in un tempo congruo con la disponibilità di finanziamenti specifici.

5.3. Ricerca per la lotta al COVID-19

A partire dalle fasi critiche della pandemia COVID19 (marzo 2020), INAF ha intrapreso una serie di attività di ricerca e sviluppo nella lotta alla diffusione della pandemia, facendo seguito alla sollecitazione del MUR a Università e Enti di Ricerca. Molti membri INAF hanno partecipato a questi studi, coinvolgendo anche Enti esterni e industrie private, in un contesto multidisciplinare.

Lo sviluppo ha riguardato sistemi basati su radiazione UV da usare come presidi sanitari, modelli di stagionalità delle epidemie moderate dall'illuminazione solare, metodi per rilevare la malattia con approcci spettroscopici e ottici, il monitoraggio di persone potenzialmente contagiate in aree e ambienti pubblici e software di utilità.

Diversi risultati rilevanti sono stati già raggiunti e pubblicati su riviste internazionali, con un importante impulso al settore dell'innovazione tecnologica che ha portato anche alla sottomissione di una serie di domande di brevetto. Alcune delle tecnologie sviluppate traggono origine da applicazioni spaziali o

astrofisiche e potranno, a loro volta, essere utilizzate in future missioni spaziali con presenza di astronauti per limitare il rischio di contagio.

Le principali linee di azione riguardano:

- Studi a carattere generale
 - Moderazione stagionale di Covid19 e altre epidemie dovuta all'illuminazione
 - Monitoraggio della radiazione solare UV-A e UV-B
- Metodi di rilevazione del Virus
 - Sviluppo sistemi aspirazione + lab-on-chip per rilevazione virus con PCR, con tecniche derivate da Space science.
 - Sviluppo tecniche spettroscopiche in microonde e visibile per rilevazione dei virus da by-product in campioni organici
 - Sviluppo sistemi monitoraggio spazi per rilevazione persone infette
- Tecniche di Diagnostica
 - Sviluppo sistemi diagnostica ottica/ sw da parametri esterni (pelle, occhi)
- Metodi di Inattivazione del Virus
 - Misure di inattivazione virus SARS-COV-2 con raggi UVC, B, A
 - Sviluppo di apparecchiature e sistemi di inattivazione virus in aria e superfici tramite UVC
 - Sviluppo di sistemi di inattivazione virus a concentrazione Solare
- Modellistica e sviluppo software per tracciamento
 - Progetti Software di utilità sociale nella gestione della Pandemia

5.4. Altre Attività Esterne all'Ente

5.4.1. Rappresentanze in altri Enti di Ricerca o Istituzioni nazionali ed internazionali

Si propongono in Tabella 5-1: Elenco delle rappresentanze coperte da INAF in vari contesti internazionali con indicazione del ruolo e del nominante i principali ruoli di rappresentanza coperti da INAF in seno alle varie organizzazioni internazionali descritte in questo documento. E' indicato il ruolo ed anche chi è preposto alla nomina per quel ruolo.

Organismo	Ruolo	Nominato	Nominante
LBT Board	Directors (2)	Ricercatori e Tecnologi INAF	DS
LBT Executive Board	Member Representative	DS (ex officio) o suo delegato	Presidente INAF
LBT Corporation	Presidente	Uno tra i Direttori in LBTC Board	Board LBTC (elezione)
LBT Financial Comm.	Member	Funzionario INAF o MEF o MUR	Presidente INAF
ESO Council	First Member	Ex-officio Presidente INAF	MAECI
ESO Council	Second Member	Attachè Scientifico Ambasciata Berlino	MAECI
CTA gGmbH Council	Member Representative	Direzione Scientifica	Presidente INAF
CTA gGmbH Council	Advisors	Ricercatori e Tecnologi INAF	Presidente INAF
CTA STAC	Member	Ricercatori e Tecnologi Italiani	Council CTA (elezione)
CTA BGR	Member Representative	A discrezione del MUR	MUR
SKA Org. Board	Science Director	Direzione Scientifica	Presidente INAF
SKA Org. Board	Voting Director	Presidente INAF (ex officio) o suo delegato	Presidente INAF
SKAO Council	Member Representative	Presidente INAF	MAECI
SKAO Council	Advisors	Ricercatori e Tecnologi Italiani	Presidente INAF
FGG (TNG) Patronato	Presidente	Presidente INAF (ex officio)	Atto Notarile FGG
FGG (TNG) Patronato	Membri Ex-Officio	DG (ex officio) DS (ex officio)	Atto Notarile FGG
FGG (TNG) Patronato	Membri	Ricercatori, Tecnologi e Funzionari INAF e dei Ministeri (MEF. MUR).	CdA INAF su proposta del Presidente

ESA SPC	Advisor Scientifico	Direzione Scientifica	Presidente ASI su proposta Presidente INAF
LOFAR Board	Member	Ricercatori e Tecnologi INAF	Presidente INAF
MeerKAT+ Board	Member	Direzione Scientifica	Presidente INAF
JIVE-EVN Board	Member	Ricercatori e Tecnologi INAF	MUR
Paritetico ASI	Membri	Ricercatori e Tecnologi INAF	Presidente INAF

Tabella 5-1: Elenco delle rappresentanze coperte da INAF in vari contesti internazionali con indicazione del ruolo e del nominante

6. Attività di Terza Missione

6.1. Valorizzazione economica della conoscenza

La valorizzazione della ricerca è una delle missioni istituzionali dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, per il quale viene intesa come un costante processo di capitalizzazione, a favore della Collettività, dell'incremento di *tecnologie abilitanti* (key enabling technologies) che vengono a generarsi dalle attività di R&D per la ricerca Astrofisica.

Gli asset di ricerca scientifica dell'INAF nei quali vengono a crearsi le maggiori occasioni per sviluppi tecnologici innovativi, sono prevalentemente quelli che necessitano dello sviluppo e costruzione di payload scientifici per le missioni spaziali e di sottosistemi e strumentazioni per le grandi infrastrutture osservative da terra, world-class come lo European Extremely Large Telescope, l'Osservatorio Square Kilometre Array, l'Osservatorio Cherenkov Telescope Array. Da questi ambiziosi ambiti di ricerca sono attese significative innovazioni nei prossimi anni.

Sulla base degli sviluppi tecnologici attualmente in corso nell'Istituto, nel prossimo triennio, i segmenti tecnologici sui quali saranno indirizzate le principali azioni di valorizzazione saranno:

- supercalcolo e big data;
- integrazione e controllo di sistemi di sistemi derivante dalle tecnologie di array
- applicazioni per la diagnostica, a bassissima invasività, di materiale biologico delle tecnologie utilizzate per osservazioni dell'Universo nello spettro elettromagnetico;
- sviluppo di tecnologie per la decontaminazione di ambienti ad alto rischio biologico partendo dalle tecnologie di emissione di radiazione elettromagnetica per finalità astronomiche;
- applicazioni di tecnologie di rilevatori utilizzati per la rivelazione di fattori ambientali ad alto rischio biologico, chimico e fisico;
- adattamento alla diagnostica medica per immagini, delle tecniche utilizzate per l'elaborazione ed il processing delle immagini astronomiche;
- sviluppi industriali della opto-meccanica di grande precisione di derivazione aerospaziale;
- diagnostica di sicurezza ed applicazioni geologiche e per l'analisi del territorio di apparati strumentali basati su rivelatori muonici.

In considerazione dell'importanza per INAF della valorizzazione della ricerca, le azioni che ci si propone di sviluppare per questo specifico aspetto della missione istituzionale dell'Ente, sono prevalentemente orientate al potenziamento delle capacità trasferimento alla società delle conoscenze generate dall'Istituto, per tutte le possibili esigenze provenienti dalla società.

In particolare si intende procedere a:

- incrementare la velocità di catalogazione e aggiornamento delle capacità tecnologiche prodotte dall'Istituto e semplificazione della codifica di identificazione;
- incrementare, anche attraverso lo sviluppo della piattaforme multimediale INAFINNOVA, il numero di occasioni di confronto e contatto con le varie componenti della società civile, con particolare

- riferimento al mondo industriale ed alle scuole di ogni ordine e grado con modalità, semplici ed efficaci, di accesso al nostro know-how, sia esso scientifico, tecnologico, storico-culturale e didattico;
- facilitare la cultura dell'innovazione all'interno dell'Ente distribuendo presso le varie Strutture di Ricerca segmenti dei processi di governance dell'innovazione sotto la coordinazione delle articolazioni organizzative centrali.

6.2. 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, Firenze 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, GSSI- L'Aquila, Ferrara, 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. Recentemente INAF ha aperto proprie sezioni presso l'Università del Salento (Delibera 42/2019), l'Università di Tor Vergata (delibera 77/2019), l'Università della Calabria (Delibera 79/2019), l'Università di Genova (Delibera 34/2021) e l'Università di Camerino (Delibera 53/2021).

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. Di particolare rilevanza sono le convenzioni per l'apertura di borse di dottorato in cooperazione tra Atenei e strutture di Ricerca INAF. INAF finanzia mediamente tra 15 e 20 borse per ciclo a valere su iniziative dedicate o su progetti di ricerca.

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. Ricercatori e tecnologi dell'INAF svolgono 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.

Per il prossimo triennio l'Ente intende continuare a contribuire all'alta formazione nei settori di competenza fornendo docenza alle Università convenzionate pre-dottorale, dottorale e post-dottorale. Intende inoltre continuare a sostenere finanziariamente il numero più alto possibile di curricula dottorali presso le Università convenzionate nei limiti delle possibilità di bilancio.

6.3. Public Engagement

L'esplorazione del Sistema Solare e lo studio dell'Universo, a tutte le lunghezze d'onda, da terra e dallo spazio, costituiscono oggi una disciplina strategica per il futuro dell'Umanità. La diffusione delle conoscenze in questo campo, costituisce uno dei principali fattori che contribuiscono al progresso, di cui la popolazione deve essere consapevole. L'Astronomia inoltre, è una delle scienze che più attrae i media e il grande pubblico. Per la curiosità e il fascino che suscita nei giovani in particolare, l'Astronomia rappresenta anche 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. Recenti esperienze in vari paesi, tra cui l'Italia, mostrano anche come essa possa rappresentare un efficace terreno di dialogo fra persone di culture diverse, essendo il cosmo patrimonio comune riconosciuto. L'astronomia rappresenta infine, per ragioni simili a quanto appena detto, un eccellente strumento di inclusione sociale.

L'INAF persegue i suoi obiettivi in questo settore attraverso la coordinazione della Struttura di Presidenza per la Comunicazione che sovrintende la rete di ricercatori e tecnologi professionisti per quel che riguarda le attività di Public Engagement, presenti nelle diverse sedi INAF. La Struttura di Presidenza formula indirizzi utili ad armonizzare le attività con la realizzazione di eventi, visite guidate, e produzione di materiale da offrire alla società e in generale al pubblico e alle scolaresche.

Nel medio termine, e in continuità con il triennio precedente, si intende continuare a operare con i seguenti obiettivi:

- promuovere e sovrintendere un'immagine unitaria dell'INAF a livello nazionale capitalizzando anche le numerose iniziative di diffusione delle conoscenze astronomiche a livello locale;
- stabilire un dialogo sempre più efficace con i cittadini, attraverso una intensa presenza sia nei media di uso comune (compresi i social network) sia territoriale, al di là del terreno puramente scientifico;
- promuovere la consapevolezza dell'importanza della cultura scientifica e del metodo che la produce incentivando anche il pensiero critico e fornendo un modello di metodo e di analisi e gestione della complessità;
- rafforzare le collaborazioni internazionali nel settore del Public Engagement;
- fornire indirizzi per 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 2021-2023, si intende dare seguito al rafforzamento del Network di professionisti della diffusione scientifica nelle sedi INAF che lavorano nel tessuto sociale locale e, dall'altra il coinvolgimento di INAF in programmi di respiro europeo da presentare in risposta alle specifiche call del programma UE. Nel seguito indichiamo gli obiettivi specifici legati alle attività di Public Engagement, suddivisi in tre pilastri fondamentali: attività di informazione e comunicazione con e nei media, attività di divulgazione dedicate a segmenti di pubblico generico e attività di didattica dedicate al mondo della scuola.

6.3.1. Informazione e Comunicazione

L'ufficio stampa dell'INAF, in base agli indirizzi del Presidente, seleziona, filtra e veicola il flusso delle informazioni provenienti dalle Strutture di Ricerca INAF verso gli organi di informazione. L'attività dell'Ufficio Stampa è indirizzata principalmente ai mass media, i suoi principali interlocutori: quotidiani, radio, tv, riviste, siti web, blog, ecc. in grado di raggiungere precisi e circoscritti target di utenza, in particolare nell'ambito delle scienze che studiano l'universo, così come il pubblico in generale. L'ufficio stampa INAF si basa su criteri di correttezza nell'informazione contribuendo a costruire la buona immagine di INAF, riconosciuto come fonte attendibile e autorevole di informazioni nel settore dell'Astronomia e dell'Astrofisica. L'ufficio stampa INAF realizza inoltre conferenze stampa, prodotti di comunicazione istituzionale, come brochure e report, e supporta l'ideazione di allestimenti per spazi in eventi pubblici istituzionali dove è coinvolto l'Ente. La produzione di comunicati stampa si è assestata sopra i 70 l'anno, le interviste di ricercatrici e ricercatori INAF ai media nazionali e locali sono superiori alle 100/anno e gli articoli su carta stampata e web contenenti la parola "INAF" sono oltre 9000 ogni anno. Solo l'evento legato alla conferenza stampa sulla prima foto del buco nero nel centro della Via Lattea realizzata dalla collaborazione Event Horizon Telescope, organizzata e coordinata dall'Ufficio Stampa INAF il 12 maggio 2022, ha prodotto la realizzazione di oltre 200 articoli in cui viene citato INAF, è stato seguito in diretta da RaiNews 24, TGR Leonardo e rilanciato sui portali web di ANSA, La Repubblica e INFN. Sono state inoltre realizzate molte interviste video e audio che sono state pubblicate su varie reti TV e radio, sia nazionali che locali.

La Testata *Media INAF* è la testata giornalistica registrata dell'INAF, con una redazione distribuita su varie Strutture di Ricerca formata in gran parte da giornalisti. *Media INAF* è un quotidiano *online* a tutti gli effetti e sceglie argomenti e taglio degli articoli ad ampio respiro e con lettrici e lettori come unici referenti,

raccontando i successi nel settore ma anche le cose che non vanno. Dal 2010 al giugno 2022 *Media Inaf* ha prodotto oltre 11.200 news, oltre 2.700 servizi video, centinaia di interviste e due newsletter a settimana (che raggiungono oltre 6mila iscritti). E ha un pubblico che attualmente si sta assestando attorno ai 150mila lettori unici mensili (fonte: Google Analytics). *Media INAF* ha una presenza pluriennale nei maggiori social networks. A giugno 2022 *Media INAF* ha registrato oltre 95mila *followers* su Facebook, oltre 13mila su Twitter, circa 12mila su Instagram e 44mila iscritti al canale YouTube *MediaInaf Tv*, che con i suoi 16 milioni di visualizzazioni si pone attualmente al primo posto fra quelli di tutti gli enti di ricerca.

6.3.2. Divulgazione (Public Engagement)

L'INAF partecipa e sostiene le attività culturali dei territori sui quali insiste e di quelli limitrofi, aderendo e promuovendo iniziative basate sul dialogo e sul confronto, anche grazie a una delle sue caratteristiche più importanti: la multidisciplinarietà.

Esiste un coordinamento nazionale efficace delle attività svolte nelle 17 sedi, suddiviso sia per aree territoriali che per aree tematiche quali, solo per fare alcuni esempi, la didattica innovativa, l'inclusione o l'utilizzo delle tecnologie emergenti – AR e VR – per il public engagement.

Centri visita, planetari, laboratori e strutture osservative. INAF offre al pubblico e alle scuole la possibilità di visitare e conoscere da vicino la maggior parte delle sue strutture, sia di ricerca che osservative. Molte di queste sono dotate anche di planetari, percorsi museali estesi strutturati (descritti di seguito nella parte dedicata ai musei e archivi storici) e spazi per laboratori didattici progettati da esperti in comunicazione e didattica. Vi sono due importanti centri visite, il primo è il centro "M. Ceccarelli" dei Radiotelescopi di Medicina (BO), il secondo è il Parco Astronomico di Monte Porzio Catone (Astrolab, LightLab, MPT, Sale Storiche), nel quale quest'anno si è realizzato un teatro olografico, un palco in grado di generare immagini olografiche di grandi dimensioni: fino a 4x2.5 metri di superficie visiva. Esso consente la proiezione di video 3D, di manipolare immagini 3D e di generare ologrammi di persone a grandezza naturale. Grazie a questa sua ultima peculiarità permette collegamenti in olopresenza, l'interlocutore in remoto compare in ologramma, in diretta, sul palco di fianco ad un eventuale interlocutore in presenza o può rivolgersi al pubblico come fosse realmente sul palco.

A queste si aggiungono le visite alla Torre Solare e alla Torre del Primo Meridiano d'Italia di Monte Mario, e ad altri laboratori nelle strutture INAF su tutto il territorio nazionale. INAF offre inoltre numerosi percorsi di esplorazione virtuale sia del proprio patrimonio storico museale (es Museo di Capodimonte) sia di strumenti osservativi e osservatori (es tour virtuale dei radiotelescopi di San Basilio e di Medicina o video 360 della Specola di Padova). I tour virtuali sono raccolti nel portale Polvere di Stelle - www.beniculturali.inaf.it/ - e nel Magazine mensile nonché Archivio didattico EduINAF - edu.inaf.it/ .

Festival della Scienza. L'INAF partecipa ai principali festival culturali sul territorio, proponendosi come interlocutore autorevole e operatore di dialogo: dal Festival della Scienza di Genova al Festival delle Scienze di Roma, da Futuro Remoto di Napoli al Bergamoscienza al Festival della filosofia di Foligno, a quello dell'astronomia di Macerata, all'Earth Day di Roma. Senza trascurare le realtà più piccole ma interessanti, come il Festival dell'Astronomia di Castellaro Lagusello (MN) , giunto alla sua seconda edizione, www.astronomiacastellaro.oapd.inaf.it/ che ha visto anche quest'anno un grandissimo successo di pubblico e che si pone come format per portare l'astrofisica nei piccoli borghi disseminati in tutta Italia dove non sono presenti Atenei o centri di ricerca ma dove è alta la domanda da parte della cittadinanza.

Format Internazionali. INAF sostiene anche tutte quelle attività promosse da giovani e che si poggiano su format internazionali di successo e di grande richiamo, come Pint of Science, Famelab, TeDX, 5x15 Italia, che aumentano consistentemente il numero di proposte ed il volume di pubblico raggiunto. Nel prossimo

futuro si aggiungeranno attività di *citizen science*, che permettono al cittadino un maggiore coinvolgimento, producendo nel contempo risultati utili ai ricercatori.

Notte Europea dei Ricercatori. Ogni anno, in ciascuna delle città nella quali ha sedi, l'INAF aderisce alla Notte Europea dei Ricercatori, in rete con Università, Enti di ricerca e associazioni senza fine di lucro. Il pubblico raggiunto in questo evento particolare è dell'ordine del migliaio di persone per ciascuna delle sedi che partecipano. In questo contesto si registra un ampio coinvolgimento di tutto il personale INAF di ricerca per la progettazione e la realizzazione delle attività di public engagement.

Associazione ApeNET. Da quest'anno, 2022, INAF è socio fondatore dell'Associazione "Rete italiana degli Atenei ed Enti di Ricerca per il Public Engagement - ApeNet", insieme a quarantuno Enti tra Università, Politecnici, Scuole Superiori ed Enti di Ricerca. Siglata la sua costituzione a Torino l'8 aprile 2022 la Rete ha lo scopo di consolidare e rendere visibile il ruolo che Atenei ed Enti di Ricerca rivestono nel dare forma a proposte e progetti, che fanno riferimento a un concetto di Public Engagement come insieme di valori e azioni istituzionali dirette a generare crescita sociale, culturale ed economica.

6.3.3. Didattica (Education)

La specificità dell'astrofisica consente di essere un efficace tema di insegnamento multidisciplinare di grandi potenzialità, in grado di dialogare con ogni altro genere di insegnamento previsto nei vari livelli di scolarizzazione. L'interesse e la curiosità suscitati dall'astronomia permettono innumerevoli applicazioni didattiche anche in un'ottica altamente inclusiva e permettono anche di aderire a diversi punti dell'Agenda 2030.

Portale EduINAF, edu.inaf.it Attivo dal 2016 e registrato nel 2020 come testata giornalistica mensile gratuita, EduINAF è un punto di riferimento per l'approfondimento sulla didattica e divulgazione dell'Astrofisica. Il portale è anche il punto di accesso alle risorse e iniziative didattiche che INAF mette a disposizione della scuola, dove studenti e docenti possono trovare anche corsi di formazione online, concorsi per le scuole e contenuti innovativi come le dirette de "Il Cielo in salotto", serate osservative in streaming a cui partecipano in diretta telescopi INAF da tutta Italia. Gli oltre 20 mila utenti unici mensili dell'ultimo anno dimostrano l'interesse per EduINAF, che offre anche un punto di contatto con astroEDU, la piattaforma internazionale della IAU (International Astronomical Union) dove vengono pubblicate e distribuite attività didattiche certificate da un doppio processo di review pedagogico.

Percorsi e laboratori didattici e divulgativi per l'inclusione. I ricercatori INAF hanno lavorato molto negli ultimi anni alla progettazione di attività e percorsi didattici e divulgativi che incoraggino e favoriscano l'inclusione e l'equità nei diversi contesti educativi e di accesso alla cultura scientifica. INAF è impegnata, nello studio e nella progettazione di percorsi educativi centrati sulla persona e mirati allo sviluppo di tutte le principali competenze individuali, basati sulle metodologie costruzioniste e di apprendimento cooperativo. Promuoviamo l'uso dell'Astrofisica e delle Scienze dello Spazio per incoraggiare e supportare l'autodeterminazione dei giovani, indipendentemente dal genere, dallo stato sociale e dalla cultura d'origine, fornendo loro nuovi punti di vista e nuove prospettive di coinvolgimento e partecipazione alla cultura scientifica e ai processi di formazione della conoscenza, in modo da aiutarli a ottenere e mantenere il completo controllo sulle loro decisioni e sulle loro stesse vite. Tra i numerosi progetti per la fascia di età 8-12 anni *Astrokids* e *Martina Tremenda* (in collaborazione con Spacescoop www.spacescoop.org Universe Awareness www.unawe.org). Si aggiungono attività per le disabilità sensoriali, ad esempio "A touch of the Universe" della IAU, ed altre iniziative dedicate alla dislessia e ai disturbi dello spettro autistico.

Interazione culturale. INAF promuove la universalità della astronomia tra le culture attraverso iniziative verso i migranti (teatro Kamishibai ad Arcetri) ed accordi con associazioni culturali e religiose (es. Il centro

Islamico Culturale d'Italia presso la Grande Moschea di Roma). Non sono dimenticate altre barriere sociali e culturali come le carceri con iniziative di miglioramento della dignità personale e partecipazione sociale (*Inspiring Stars* nel carcere di Rebibbia ed accordi formali con case Circondariali e Riformatori a Firenze e Cagliari).

IAU-Centre for Children and the Mediterranean. Nel dicembre 2019, l'IAU ha fondato l'*Office of Astronomy for Education* (OAE), con lo scopo di rafforzare le STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) nelle scuole di ogni ordine e grado attraverso l'utilizzo dell'astronomia. L'OAE è un ufficio diffuso: i quartieri generali sono stati assegnati a Heidelberg, mentre sono stati riconosciuti alcuni Centri con deleghe specifiche e alcuni Nodi, con compiti regionali.

L'INAF, alla guida di un network formato da ASI, Università di Tor Vergata Roma e SAlt, ospita, coordina e finanzia lo IAU Office of Astronomy for Education Center Italy (OAE-I), un ufficio internazionale che ha delega alle scuole primarie di tutti i paesi membri IAU e alle scuole di ogni ordine e grado per quanto riguarda il bacino del Mediterraneo. OAE-I cura astroEDU, piattaforma educativa della IAU.

OAE-I opera a livello internazionale, promuovendo corsi di formazione con assegnazione di grant; concorsi per la produzione di materiale per le scuole; attività di comunicazione istituzionale, come nel caso della presenza presso l'EXPO di Dubai. OAE-I ha stabilito un processo di cooperazione e di co-progettazione su larga scala, che ha portato a una serie di workshop di co-formazione STEAM-Med, il primo dei quali si tiene a Lampedusa nel luglio 2022.

PCTO. INAF è erogatrice presso le Strutture di ricerca di servizi PCTO, la nuova formulazione della Alternanza Scuola Lavoro. Nell'ultimo censimento effettuato delle attività, sono risultati un totale di una sessantina di diversi progetti realizzati da INAF nel corso dell'anno scolastico, che hanno coinvolto circa 1.000 studenti provenienti da oltre 100 scuole distribuite su tutto il territorio italiano

Olimpiadi Italiane di astronomia e Settimana dell'Astronomia. Le Olimpiadi Italiane di Astronomia sono bandite dal Ministero dell'Istruzione - Dipartimento per il sistema educativo di istruzione e formazione - Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici, la Valutazione e l'internazionalizzazione del Sistema Nazionale di Istruzione e organizzate dalla Società Astronomica Italiana (SAIt) in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF). L'elenco degli studenti vincitori è inserito nell'Albo Nazionale delle Eccellenze. Le Olimpiadi Italiane di Astronomia sono riconosciute dalle International Astronomical Olympiad, che organizzerà a Matera la finale internazionale 2022 (attualmente prevista per il prossimo ottobre).

La Settimana dell'Astronomia, promossa da MI, è organizzata dalla SAIt in collaborazione con l'INAF

Formazione professionale per docenti di scuola primaria e secondaria. I ricercatori e tecnologi dell'INAF partecipano anche ad attività di formazione professionale continua rivolte all'aggiornamento di personale docente della scuola primaria e secondaria, sia online che in presenza.

Nel prossimo triennio l'Ente continuerà sulle linee tracciate negli scorsi anni che si sono rivelate efficaci e di impatto per il Public Engagement nel settore della Astronomia e dell'Astrofisica.

6.4. Biblioteche, archivi storici e Musei

Dal 2017 la Direzione Scientifica di INAF si è dotata di una Sezione "Servizi per Biblioteche Musei e Terza Missione" con lo scopo di coordinare le attività e i progetti relativi alle biblioteche, gli archivi storici e i musei.

Per quanto riguarda le biblioteche, l'obiettivo principale di tale Sezione riguarda l'implementazione delle strategie connesse per rendere possibile a tutto il personale dell'Ente l'accesso alle risorse informative correnti. Su questo fronte è da sottolineare la convenzione 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. Inoltre nel corso del 2018 è stato progettato e realizzato il repository ad accesso aperto delle pubblicazioni scientifiche dell'INAF, OA@INAF openaccess.inaf.it, ed il relativo Ufficio Open Access con lo scopo di raccogliere, conservare e diffondere i prodotti della ricerca finanziata con fondi pubblici, secondo i canoni europei sull'Accesso Aperto. Il repository è diventato operativo nel corso del 2019 ed attualmente conserva la produzione scientifica dell'ente a partire dal 2015. All'interno di esso è stata creata a partire dal 1 gennaio 2019 un'unica serie "INAF Technical Reports" che raccoglie tutti i rapporti tecnici prodotti dalle strutture INAF a cui viene attribuito un DOI e un handle per l'identificazione univoca del prodotto. Sono stati inoltre recuperati i rapporti tecnici pregressi prodotti dalle singole strutture a partire dall'anno 1968.

La Sezione si occupa inoltre delle iniziative nazionali di conservazione, tutela, valorizzazione e fruizione del patrimonio storico di ambito bibliotecario, archivistico e museale. 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 archivistico è costituito da oltre tre milioni di documenti, tra cui 122 serie di fondi archivistici degli astronomi italiani. 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 impegna INAF 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.

A questo scopo è stato realizzato *Polvere di Stelle*, 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, continuamente implementato e aggiornato sia per la parte dei dati patrimoniali che per l'informazione delle attività di valorizzazione e fruizione. Il Portale è uno strumento informatico interattivo che consente agli studiosi ricerche simultanee sulle differenti tipologie di materiale che costituiscono le collezioni storico-scientifiche dell'INAF. 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.

Per quanto riguarda il materiale bibliografico, si sta ultimando la catalogazione di tutti i libri antichi e di pregio ed è attualmente in fase di conclusione il Catalogo degli incunaboli e delle Cinquecentine posseduti dalle Biblioteche degli Osservatori dell'INAF. È già stata effettuata la digitalizzazione di alcuni volumi rari degli Osservatori di Capodimonte, Roma, Brera, Padova, Palermo, Torino e la digitalizzazione di importanti fondi archivistici quali le osservazioni solari di Pietro Tacchini conservate presso l'Osservatorio di Catania, una parte dei registri meteorologici più antichi di Padova e le scansioni delle osservazioni solari di Angelo Secchi conservate all'Osservatorio di Roma. Tali testi e documenti sono consultabili nella teca digitale del portale dei beni culturali. Ai fini della conservazione, presso IA2 dell'Osservatorio di Trieste è stato creato il repository nazionale delle copie digitali sia ad alta risoluzione (600 DPI, TIFF) sia per la consultazione su web.

Nel 2022 è stato finanziato da parte del MUR (contributi annuali L. 6/2000 "Iniziativa per la diffusione della cultura scientifica") il progetto "Touch-Sky : alla scoperta del cielo con gli atlanti del passato e i satelliti del futuro" che, insieme alle attività proposte dal PRIN INAF "Cosmic Pages : sketching the sky in the modern era", intende valorizzare gli atlanti astronomici posseduti dalle biblioteche INAF, attraverso la loro digitalizzazione e la realizzazione di una mostra virtuale, e permetterne il loro utilizzo ai fini delle attività comunicative nelle scuole e nei centri educativi presenti in realtà disagiate ("punti luce") di "Save the Children".

A partire dal 2019, grazie ad un accordo con l'Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane (ICCU) del Ministero per i Beni Culturali e le Attività Culturali, le collezioni storiche digitali di INAF sono disponibili anche all'interno del portale Internet Culturale. Cataloghi e collezioni digitali delle biblioteche italiane, che a sua volta mette a disposizione i dati nel contesto di CulturalItalia e, a livello internazionale, sul portale Europea. L'adesione a Internet Culturale permette quindi ad un vasto pubblico di poter conoscere il patrimonio storico INAF. Le collezioni scientifiche dell'INAF sono dislocate su tutto il territorio nazionale e alcune di esse sono permanentemente esposte in musei strutturati, e quindi fruibili dal pubblico.

Nonostante le difficoltà legate all'emergenza sanitaria nel corso del 2022 si sono riaperti comunque alcuni spazi museali in modo continuativo (Padova, Brera) ed altri in particolari occasioni. Per il prossimo triennio l'Ente intende riportare i livelli di fruizione del proprio patrimonio storico-museale a livelli pre-pandemici oltre che continuare nella predisposizione di sistemi di fruizione virtuale e remota e nella implementazione di quelli già esistenti.

Tra il 2021 e il 2022 alcuni beni delle collezioni storiche INAF sono stati prestati, a testimonianza del loro indiscusso valore storico-scientifico, per importanti mostre, come "*La Scienza di Roma. Passato, presente e futuro di una città*" (Roma, dal 11/10/2021 al 27/02/2022) *Misurare la Terra* (Roma, dal 09/10/2021 al 09/01/2022), "*La Biblioteca di Dante*" (Roma, dal 07/10/2021 al 16/01/2022), *Farnese* (Parma, 18/03/2022-31/07/2022) e "*Tanz auf dem Vulkan*" (Monaco di Baviera, 01/10/2022-29/01/2023).

Inoltre, con delib. n.81/2021 INAF ha sottoscritto un accordo quadro quadriennale con la Direzione Generale Educazione, Ricerca e Istituti culturali del Ministero della Cultura per l'avvio di forme di collaborazione tecnico/scientifica stabili aventi ad oggetto la conoscenza, la documentazione e la valorizzazione del patrimonio storico astronomico.

7. Infrastrutture di Ricerca

INAF costruisce, opera ed utilizza infrastrutture osservative da terra e da spazio, queste ultime in collaborazione con l'ASI ed altre rilevanti agenzie spaziali nel mondo.

Una descrizione completa di tutti i programmi a carattere infrastrutturale è consultabile al sito <https://pta.inaf.it> Di seguito elenchiamo le infrastrutture di maggiore rilevanza scientifica e quelle che sono direttamente finanziate e controllate da INAF.

7.1. Infrastrutture da Terra

7.1.1. Infrastrutture in funzione

SRT ed Antenne VLBI: SRT è un radiotelescopio single-dish con superficie attiva di 64 m di diametro sito in località San Basilio in Sardegna. Costruito da INAF in collaborazione con ASI e gestito dalla sede INAF di Cagliari, si è unito alle antenne da 32 m gestite da INAF presso Medicina (Bo) e Noto (Sr) nelle osservazioni coordinate Italiane ed Europe del VLBI (Very Large Baseline Interferometer). Il funzionamento di SRT e delle antenne VLBI è finanziato dal MUR come progetto a valenza internazionale (4.0 M€)/anno). E' in corso un importante potenziamento di SRT finanziato dal MUR attraverso l'iniziativa PON (PIRO1_00010 - 18.5 M€) che consentirà a partire dal 2023 di operare il radiotelescopio ad alta frequenza (100 GHz) aprendo nuovi orizzonti di sfruttamento scientifico. Sempre grazie al PON, anche Medicina si sta dotando di superficie attiva, quindi entro il 2023 tutta la rete VLBI italiana potrà osservare fino a 100 GHz.



Telescopio Nazionale Galileo (TNG)



Sardinia Radio Telescope (SRT)

TNG. TNG è un Telescopio Ottico-Infrarosso da 3.6 m di diametro sito presso l'Osservatorio del Roque de los Muchacos, isola di **La Palma**, Canarie Spagna. Infrastruttura gestita interamente da INAF attraverso la *Fundación Galileo Galilei Fundación Canaria*, e finanziata dal MUR come progetto a valenza internazionale (2.9 ME€/anno). La infrastruttura è internazionalmente riconosciuta all'avanguardia assoluta nella ricerca dei pianeti extrasolari e contribuisce fattivamente alla ricerca multiwavelength e multimessenger delle sorgenti transienti. Nel 2022 verrà rinegoziato l'accordo con la Università di Ginevra che l'utilizzo dello spettrografo HARPS installato al TNG dal 2011.

LBT. LBT è un telescopio Ottico-Infrarosso binoculare con due specchi dal diametro di 8.4 m ciascuno (il più grande telescopio ottico correntemente in uso sul pianeta) sito presso il Mount Graham International Observatory in Arizona (USA). LBT è operato da INAF che ne possiede il 25% in associazione con partners statunitensi (50%) e tedeschi (25%) attraverso una società no-profit di diritto USA (LBT Corporation) ed è finanziato dal MUR come progetto a valenza internazionale (3.2 ME€/anno). LBT è riconosciuto all'avanguardia per le tecnologie di ottica adattiva che incorpora e per le capacità uniche al mondo di spettropolarimetria ad alta risoluzione. Nel corso del 2022 verranno installati ad LBT i nuovi strumenti SHARK-VIS e SHARK-NIS di realizzazione INAF che consentiranno di fare coronografia di pianeti extra-solari con quello che rimane, sino all'avvio di ELT, il telescopio più grande del mondo

VST. Il VST (VLT Survey Telescope) è un telescopio da 2.6 m di diametro installato all'Osservatorio del Paranal dell'ESO. VST è progettato per le survey del cielo in luce visibile con la camera a campo largo OmegaCAM che ne costituisce il principale strumento. Di realizzazione italiana e proprietà INAF il VST tornerà sotto il pieno controllo dell'Ente nel 2022 alla scadenza dell'accordo decennale con ESO per il suo utilizzo. INAF dovrà pertanto aprire prossimamente una trattativa con ESO su questo e definire un piano di gestione e sviluppo di VST.



Large Binocular Telescope (LBT)



VLT Survey Telescope (VST)

Telescopi ESO: L'Organizzazione Europea per l'Astronomia nell'Emisfero Australe (ESO) è una organizzazione internazionale da trattato (IGO) fondata nel 1962 ed alla quale l'Italia ha aderito nel 1982. L'ESO gestisce decine di telescopi dall'infrarosso al millimetrico nei tre osservatori di La Silla, Paranal e Chajnantor siti sulle Ande cilene. Tra questi, sono di grande importanza il Very Large Telescope (VLT – Paranal) e l'Atacama Large Millimetric Array (ALMA – Chajnantor). L'Italia ha una partecipazione di circa il 14% in ESO sostenuta dal MAECI. Il membro votante nel Council ESO è il Presidente dell'INAF. I ricercatori italiani ottengono tempo osservativo presso l'infrastruttura attraverso un meccanismo di assegnazione competitiva. L'ESO permette più di 50 configurazioni osservative possibili delle quali 12 utilizzabili simultaneamente. Tale quantità e varietà di possibilità ha contribuito nelle ultime decadi alla indiscussa leadership europea nella astrofisica osservativa.



Very Large Telescope (VLT)



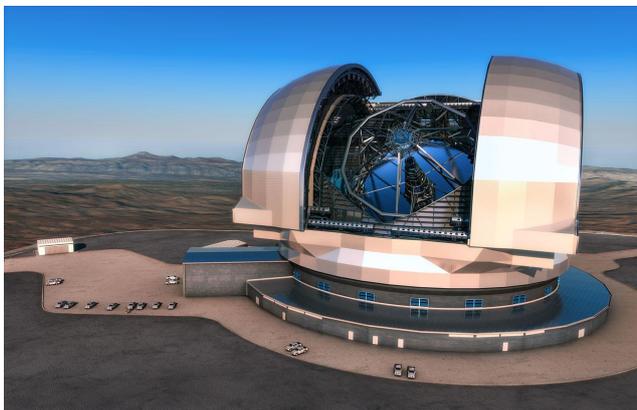
Atacama Large Millimetric Array (ALMA)

7.1.2. Infrastrutture in costruzione

ELT: L'ESO nel 2012 ha avviato la costruzione dell' Extremely Large Telescope (ELT) a Cerro Armazones nel deserto di Atacama in Chile. ELT vedrà la prima luce nel 2027 e sarà il telescopio ottico-infrarosso più grande mai costruito al mondo. ELT è finanziato attraverso un contributo straordinario ad ESO sostenuto in passato dal MUR come progetto a valenza internazionale e dal 2021 dal MAECI come parte integrante della quota di partecipazione ad ESO. La costruzione della struttura meccanica e della cupola è stata assegnata ad un consorzio di imprese italiane (commessa di circa 400 M€). Il cuore tecnologico del telescopio, lo specchio adattivo M4, è costruito da un consorzio di imprese italiane coordinate con tecnologia proprietaria sviluppata nei laboratori dell'INAF. INAF costruisce inoltre strumentazione scientifica all'avanguardia come il modulo adattivo MORFEO ed in prospettiva lo spettrografo ad alta risoluzione per la ricerca di pianeti extrasolari ANDES

ASTRI Mini-Array: Il Telescopio Cherenkov ASTRI è frutto di una tecnologia innovativa interamente italiana il cui sviluppo è stato finanziato nel 2010 nell'ambito dei progetti Bandiera del MIUR. Il primo prototipo funzionante è installato presso l'Osservatorio di Serra la Nave alle pendici dell'Etna (dedicato a Guido Horn

D'Arturo). Una serie di 9 telescopi, denominata ASTRI Mini-Array, è in corso di installazione nell' isola di Tenerife, Canarie. Il Mini-array sarà operativo dalla fine del 2022 e promette di fornire risultati rivoluzionari nel campo della astrofisica delle altissime energie (>100 TeV) inclusa la identificazione per la prima volta di sorgenti di Pevatroni. Il Mini-Array è finanziato da un intervento specifico iscritto nella legge di Bilancio 2015 mentre la sua installazione ed operazioni è sostenuta dal MUR attraverso il fondo infrastrutturale (DM 450/2019).



Extremely Large Telescope (ELT)

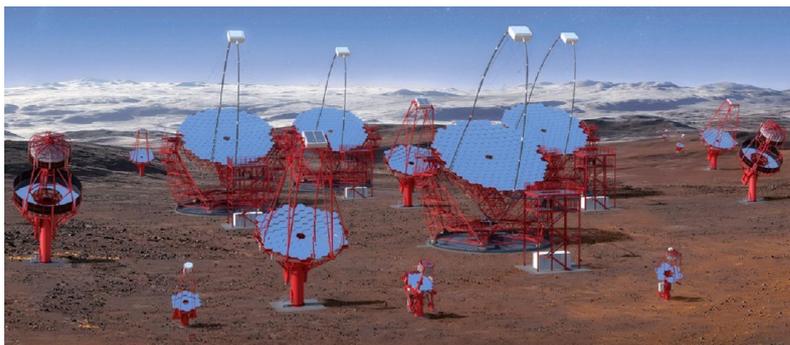


ASTRI Horn d'Arturo

CTA: CTA è un progetto che vede coinvolti paesi e ricercatori di tutto il mondo per la realizzazione di due grandi osservatori astronomici, uno nell'emisfero nord nell'isola di La Palma, isole Canarie, ed uno nell'emisfero sud presso Cerro Paranal nel deserto di Atacama in Cile. CTA studierà l'Universo attraverso i raggi gamma di alta energia (TeraElettronVolt) rivelati mediante l'effetto Cherenkov. Ciascun osservatorio ospiterà un numero di telescopi Cherenkov (20 al nord e 90 al sud) di dimensioni variabili: grandi (LST - diametro 23 m), medi (MST - diametro 12 m) e piccoli (SST - diametro 4 m) dal momento che la possibilità di osservare fotoni gamma ad energie diverse dipende dalla dimensione del telescopio. La tecnologia per gli SST sarà italiana, sviluppata e collaudata con il telescopio ASTRI-Horn d'Arturo e con il Mini-Array in fase di installazione a Tenerife. CTA è correntemente gestito da una società no-profit di diritto tedesco (gGmbH) ed è in corso la negoziazione, presieduta del MUR, per la realizzazione della CTA-ERIC che avrà sede a Bologna presso la sede INAF. CTA è sostenuto dal MUR attraverso fondi infrastrutturali (DM 450/2019).



Large Size Telescope (LST)



Cherenkov Telescope Array (CTA)

SKA e Precursori: SKA è il più grande Radio-Interferometro al mondo correntemente in costruzione in due siti nell'emisfero sud: nel deserto del Karoo in Sudafrica (antenne a frequenza media) e nel deserto di Murchison in Western Australia (antenne a bassa frequenza). L'Osservatorio SKA (SKAO) si è costituito come una organizzazione inter-governativa da trattato (IGO) a seguito di una negoziazione internazionale a presidenza italiana (MIUR-MAECI) il 12 Marzo 2019.

A seguito dei processi di ratifica nei parlamenti dei paesi membri la IGO-SKAO, che ha sede a Jodrell Bank in UK, è divenuta operativa all'inizio di Febbraio del 2021. L'Italia contribuisce a SKAO attraverso il MUR con 120 M€ in 10 anni stabiliti dalla legge di ratifica del trattato internazionale. Diverse delle nuove tecnologie incorporate nel telescopio sono state sviluppate da INAF in collaborazione con l'industria italiana, in particolare il settore di campo delle antenne a frequenza media ed il disegno analogico-digitale della antenna log-periodica a bassa frequenza.

Gli studi e la prototipazione sono stati finanziati del MUR con un intervento specifico iscritto nella legge di Bilancio 2015 e successivamente dai fondi infrastrutturali del MUR (DM 450/2019). I fondi infrastrutturali hanno finanziato anche la partecipazione ai precursori di SKA MeerKAT+ e LOFAR e finanzieranno l'acquisizione delle risorse di calcolo necessarie per il trattamento avanzato dei dati di SKA. La scienza di SKA spazierà dalla ricerca di pianeti extrasolari abitabili all'universo primordiale con particolare attenzione ai campi gravitazionali forti ed al magnetismo cosmico



MeerKAT Radiotelescope



Aperture Array Verification System 2.0 (AAVS2.0)

7.1.3. Infrastrutture da Spazio

L'INAF è il principale partner dell'ASI per la ricerca astrofisica legata all'osservazione dell'Universo e per lo studio del sistema solare. L'Ente ha una collaborazione storica e consolidata con ASI per il disegno, la realizzazione e lo sfruttamento scientifico di missioni spaziali e di strumentazione per satelliti. Di seguito le collaborazioni più rilevanti.

Satelliti Nazionali:

- **AGILE.** Missione spaziale dell'ASI tutta italiana dedicata all'astrofisica delle alte energie X e gamma. INAF è il principale Ente che ha sviluppato lo strumento (in collaborazione con INFN) e ne gestisce la produzione scientifica.
- **HERMES.** Costellazione di nano satelliti in fase di sviluppo e dedicata allo studio dei lampi gamma e delle controparti delle onde gravitazionali. INAF è responsabile dello sviluppo, implementazione e test del payload.

Partecipazioni a missioni spaziali europee (ESA):

- **ATHENA.** Missione di classe "Large" in fase di sviluppo. Partecipazione INAF: sistema di anticoincidenza criogenica, filtri termici ed ottici, Instrument Control Unit.
- **ARIEL.** Missione di classe "Medium" in fase di sviluppo e dedicata allo studio degli esopianeti. Partecipazione INAF: telescopio, elettronica di bordo, contributo al Ground Segment.

- **Cheops.** Missione di classe "Small" lanciata nel dicembre 2019 e dedicata allo studio degli esopianeti. Partecipazione INAF: progetto ottico del telescopio, contributo su specchi ed elettronica di bordo.
- **Comet-Interceptor.** Missione di classe "Fast" in fase di sviluppo. Partecipazione INAF: responsabilità strumento DISC e contributo sulla testata ottica dello strumento EnVisS.
- **Euclid.** Missione di classe "Medium" in fase di sviluppo e dedicata allo studio della energia e della materia oscura. Partecipazione INAF: Data processing Unit e SW applicativo di bordo, GRISM Unit, contributo al Ground Segment.
- **Gaia.** Missione "Cornerstone" lanciata nel dicembre 2013 e dedicata all'astronomia. Partecipazione INAF: contributo al Ground Segment, calibrazioni, contributo fondamentale all'analisi dei dati a terra.
- **Integral.** Missione di classe "Medium" di astrofisica gamma lanciata nell'ottobre 2002. Partecipazione INAF: responsabilità dello strumento IBIS e contributi agli strumenti SPI e Jem-X.
- **JUICE.** Missione di classe "Large" in fase di sviluppo e dedicata allo studio del sistema Giove. Partecipazione INAF: strumenti JANUS, MAJIS, RIME e 3GM
- **Mars-Express.** Missione "Flexible" lanciata nel giugno 2003 e prima missione europea verso Marte. Partecipazione INAF: contributi agli strumenti ASPERA, MARSIS, OMEGA e PFS.
- **PLATO.** Missione di classe "Medium" in fase di sviluppo e dedicata allo studio degli esopianeti. Partecipazione INAF: coordinamento Camera System, fornitura di 26 Telescope Optical Units e della Instrument Control Unit.
- **Solar Orbiter.** Missione di classe "Medium" lanciata nel febbraio 2020 e dedicata allo studio del Sole e dell'Eliosfera. Partecipazione INAF: strumento METIS e digital processing Unit per lo strumento SWA.
- **XMM:** Missione "Cornerstone" di Astrofisica X in fase operativa. Partecipazione INAF: sviluppo dei 3 strumenti di EPIC.
- **PROBA 3:** Prima missione dimostrativa delle tecnologie per volo in formazione con lancio previsto nel 2022. Partecipazione INAF: metrologia e filtri alta risoluzione.
- **THESEUS:** Missione M per l'osservazione in X di transienti non selezionata per la call M5 ed ora in corsa per la call M7.

Partecipazioni a missioni spaziali extra-europee

- **Fermi.** Missione della NASA lanciata nel giugno 2008 e dedicata all'astrofisica gamma. Partecipazione INAF: contributo all'interpretazione dei dati scientifici.
- **IXPE.** Missione NASA di classe "Smex" lanciata a dicembre 2021 e dedicata alla polarimetria X. Partecipazione INAF: responsabilità scientifica del polarimetro e contributo al Ground Segment.
- **JUNO.** Missione della NASA lanciata nell'agosto 2011 e dedicata allo studio del campo magnetico di Giove. Partecipazione INAF: responsabilità scientifica dello strumento JIRAM e contributo al Ground Segment.
- **Bepi Colombo.** Missione "Cornerstone" ESA-JAXA lanciata nell'ottobre 2018 in viaggio verso Mercurio. Partecipazione INAF: strumenti ISA, SERENA e SIMBIO-SYS.
- **Swift.** Missione NASA di classe "Midex" lanciata nel novembre 2004 e dedicata allo studio dei lampi gamma. Partecipazione INAF: responsabilità delle ottiche dello strumento XRT, contributo al Ground Segment ed all'analisi dei dati scientifici.
- **MRO:** Missione NASA per studio dell'atmosfera, superficie e sottosuolo di Marte in fase operativa. Partecipazione INAF: sviluppo dello strumento Sharad.
- **Hayabusa2:** Missione della JAXA di sample return da asteroidi in fase operativa. Partecipazione INAF: calibrazione ed analisi dati scientifici.
- **OSIRIS-REx:** Missione della NASA di sample return da asteroide con materiale organico in fase operativa. Partecipazione INAF: osservazione da Terra del target.

- **ExoMars 2016:** Missione ESA-Roscosmos (Trace Gas Orbiter) in fase operativa dedicata allo studio dei gas in traccia nell'atmosfera di Marte. Partecipazione INAF: leadership degli strumenti NOMAD e CASSIS.
- **ExoMars 2022:** Missione ESA-Roscosmos e dedicata allo studio dell'ambiente e sottosuperficie di Marte ed alla ricerca di vita. Partecipazione INAF: leadership degli strumenti Ma_Miss e Micromed e numerose partecipazioni ad altri strumenti. Il lancio previsto inizialmente nel 2022 a causa delle ripercussioni della guerra in Ucraina ha subito un ritardo non ancora quantificato.
- **CSES-2:** Missione della CSNA di Space Weather e studio accoppiamento Litosfera-Magnetosfera in fase di sviluppo e con lancio previsto nel 2022. Partecipazione INAF: sviluppo dello strumento di campo elettrico EFD-02.
- **eXTP:** Missione della CAS di Astrofisica X in fase di sviluppo e con lancio previsto nel 2027. Partecipazione INAF: sviluppo dello Strumento LAD e partecipazione allo sviluppo dello Strumento WFM.
- **Solar-C_EUVST:** Missione della JAXA per analisi spettrale del Sole nell'estremo UV in fase di sviluppo e con lancio previsto nel 2025. Partecipazione INAF: sviluppo del sistema di fenditure dello spettrografo.
- **LiteBIRD:** Missione della JAXA per studio della polarizzazione B-mode del fondo cosmico in fase di sviluppo e con lancio previsto nel 2027. Partecipazione INAF: calibrazioni e scienza.
- **PROSPECT:** Missione ESA/NASA per lo studio delle risorse lunari. Partecipazione INAF: Calibrazione degli strumenti e team scientifico.
- **DART/LICIACube:** Missione NASA-ASI di difesa planetaria attiva da potenziali minacce da asteroidi lanciata a novembre 2021. Partecipazione INAF: responsabilità scientifica del microsat.
- **Tianwen2:** Missione della CNSA cinese di sample return dall'asteroide Kamo'oalewa in fase di sviluppo. Partecipazione INAF: responsabilità dei due strumenti VISTA1 e VISTA2.
- **COSI:** Missione NASA di classe "SMEX" dedicata all'astrofisica gamma nel regime Compton. Partecipazione INAF: scienza, simulazioni di strumento e SW di analisi dati.

La descrizione della partecipazione scientifica e tecnologica dell'INAF alle missioni sopra elencate ed a tutte le altre non citate è descritta nel dettaglio nel citato repository dei progetti <https://pta.inaf.it>.

7.2. Infrastrutture Informatiche

La ricerca scientifica nel campo dell'Astrofisica necessita di un accesso ad infrastrutture informatiche per la produzione del dato scientifico, la sua archiviazione e la sua interpretazione. Con il crescere del volume di dati prodotto dalle nuove infrastrutture osservative, le esigenze relative alle infrastrutture informatiche sono progressivamente aumentate. L'Ente ha dato origine nel 2020 ad un processo di analisi, poi continuato nel 2021 e 2022, del proprio posizionamento nel contesto nazionale ed internazionale in relazione alle infrastrutture informatiche. La conclusione di questo processo, consentirà di programmare in una prospettiva di medio-lungo termine il necessario adeguamento degli investimenti in risorse umane e materiali per far fronte alle esigenze che si valuta emergeranno in questi tempi scala. A tal fine, è rilevante notare la costituzione nel 2022 della Unità Scientifica Centrale dedicata al Calcolo sotto l'egida della Direzione Scientifica INAF che avrà ruolo di coordinamento delle risorse di calcolo dell'Ente.

L'INAF ha in essere collaborazioni nazionali ed internazionali orientate allo sviluppo di infrastrutture di calcolo e data-storage a supporto delle infrastrutture osservative correntemente operate (es. ALMA, SRT, VLBI, VST, Gaia e LBT) ed in preparazione per quelle future (es. Euclid, CTA e SKA). INAF partecipa inoltre a iniziative e comunità internazionali che operano nel campo della gestione, della fruibilità e del calcolo associato ai dati quali l'IVOA, EGI, EOOSC, ICDI (in discussione a partire dal 2022) ed altre iniziative internazionali, allo scopo di perseguire i concetti di FAIR-ness, Open Access e contribuire alla crescita del calcolo su infrastrutture di classe exascale. La visione programmatica per il futuro si coniuga con il presente

nel quale INAF già offre adeguato supporto nell'ambito delle infrastrutture di rete, quelle di calcolo e quelle d'archivio.

Infrastrutture di Rete. La rete portante per le infrastrutture INAF è il GARR (Gestione Ampliamento Reti della Ricerca), di cui INAF è diventato socio nel 2021, che garantisce i flussi necessari alle infrastrutture di ricerca che possono dover essere superiori ai 10 Gbit/s. Le reti della ricerca internazionali e quella nazionale GARR assolvono a questa funzione fornendo le dorsali ad altissima velocità (fino a 2 Tbit/s) verso i poli e le risorse scientifiche, garantendo al contempo il collegamento verso Internet commerciale. E' cruciale anche il collegamento tra le Strutture di Ricerca ed i punti di accesso (PoP) del GARR che sono realizzate con collegamenti in fibra ottica (fibra diretta - dark-fiber) che consentono di raggiungere bande da 1 a 40 Gbit/s a seconda degli apparati attivi adottati. Tutte le Strutture di Ricerca hanno ad oggi un collegamento a 1 Gbit/s e si sta progressivamente procedendo alla estensione della rete a 10 Gbit/s.

Infrastrutture di Calcolo. INAF tramite la Unità Scientifica Centrale dedicata al Calcolo che si attiverà nel corso del 2022 si doterà di una infrastruttura di calcolo centralizzata che dialoghi con infrastrutture locali dedicate a progetti di ricerca specifici. L'opportunità di dotarsi di tale infrastruttura, e le caratteristiche di questa, sono elementi sottoposti alla valutazione della Unità di Calcolo INAF. I progetti ed i gruppi di ricerca hanno sviluppato nel corso del tempo proprie infrastrutture per specifiche esigenze (es. centro dati Euclid, il DPCT Italiano di Gaia, l' ALMA Regional Center, il data center "di prossimità" di LOFAR). 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 ad un centinaio che offrono servizi a progetti Nazionali ed Internazionali. Le esigenze di calcolo in INAF sono ad oggi soddisfatte attraverso un MoU (2017-2020 esteso a tutto il 2021 e 2022) con il CINECA per l'acquisizione di un numero adeguato di ore di calcolo e relative competenze di supporto oltre che al ricorso a clouds commerciali quando necessario. Inoltre, nel periodo 2021-2022 INAF ha reso operativo ed offerto alla propria comunità le risorse di calcolo messe a disposizione dalla propria e-infrastructure PLEIADI per calcolo HPC/HTC per un totale di 50 milioni di core/hrs su oltre 7000 cores. Sempre nel 2022, INAF vedrà la sua partecipazione nell'ambito del Centro Nazionale di Calcolo (relativo al PNRR) e procederà alla realizzazione di una nuova Unità Scientifica Centrale (USC) sotto la direzione della DS per il calcolo ed i servizi. Infine, a seguito di una prima valutazione delle esigenze future, con particolare riferimento alla possibilità di ospitare uno SKA Regional Centre (SRC) in Italia, INAF inoltre ha aderito alla associazione Big Data che promuove l'installazione di infrastrutture di calcolo presso il "Tecnopolo" di Bologna ricavato nei locali della ex Manifattura Tabacchi.

Infrastrutture di Archiviazione. Per l'INAF il concetto di "data curation e preservation" è di importanza fondamentale data la unicità ed irripetibilità del dato derivante da una osservazione astronomica. Per questo INAF si è dotato del Centro Italiano Archivi Astronomici-IA2. Il Centro dati gestisce i dati raw e scientifici dei maggiori telescopi terrestri dell'INAF ottici e radio 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 Archival Distributed Infrastructure), 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.

Nell'ambito della partecipazione italiana al consorzio DPAC (ESA), grazie al contratto con l'ASI, l'INAF ha la responsabilità scientifica dell'archivio dei dati della Missione Gaia presso ALTEC (DPCT). Il data center italiano di Gaia costituisce non solo una risorsa INAF con valenza di archivio, ma anche uno strumento per lo sfruttamento scientifico ottimale dei dati. L'INAF partecipa insieme ad INFN e ad ASI alla conduzione dello SSC (Space Science Data Center) un centro dati per le missioni spaziali per l'esplorazione e l'osservazione dell'Universo. SSC rappresenta un unicum nel suo genere fornendo supporto alla comunità astronomica dalla gestione delle missioni fino allo sfruttamento scientifico dei dati ben oltre la vita operativa degli strumenti in un contesto multifrequenza ed ora multimessaggero.

8. Risorse umane e loro gestione

La descrizione dettagliata della gestione delle risorse umane in INAF è contenuta in un documento specifico reperibile presso il seguente indirizzo <https://pta.inaf.it> che forma parte integrante di questo aggiornamento del piano triennale.

Questa sezione è redatta in conformità al Piano Integrato di Attività ed Organizzazione (PIAO) approvato dal consiglio di Amministrazione con delibera 33 del 28 Aprile 2022. Le attività qui riportate si intendono pertanto riferite alla data di chiusura della redazione del PIAO:

8.1. Dotazione Organica

La Dotazione Organica dello "*Istituto Nazionale di Astrofisica*", alla data del **31 dicembre 2021**, è pari a **1.214 unità**.

La predetta Dotazione Organica (distribuzione rappresentata in Tabella 8-1 è tuttora caratterizzata dalla presenza di personale inquadrato nelle categorie e nelle aree funzionali proprie del sistema di classificazione del comparto universitario, ovvero di personale inquadrato nella Categoria delle "*Elevate Professionalità*" (EP), ruolo ad esaurimento, nonché dalla presenza di personale inquadrato nella qualifica di "*astronomo*", in regime di diritto pubblico, che non ha esercitato il diritto di opzione ai fini della equiparazione nei profili e nei livelli professionali propri del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione.

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

Profilo	Livello	Dotazione Organica	Personale in servizio a tempo indeterminato al 31-12-2021	Personale in servizio a tempo determinato al 31-12-2021
Dirigente Amministrativo di Prima Fascia				
Dirigente Amministrativo di Seconda Fascia		2	2	
Dirigente di Ricerca	I	54	40	2
Primo Ricercatore	II	130	83	2
Ricercatore	III	215	317	29
Dirigente Tecnologo	I	9	0	3
Primo Tecnologo	II	26	41	
Tecnologo	III	127	200	20
Astronomo Ordinario		15	10	
Astronomo Associato		40	31	
Ricercatore Astronomo		115	95	

Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	IV	128	103	
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	V	58	39	
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	VI	43	31	17
Operatore Tecnico	VI	57	40	
Operatore Tecnico	VII	13	7	
Operatore Tecnico	VIII	9	10	3
Funzionario di Amministrazione	IV	29	30	
Funzionario di Amministrazione	V	19	15	4
Collaboratore di Amministrazione	V	58	45	
Collaboratore di Amministrazione	VI	16	11	1
Collaboratore di Amministrazione	VII	23	9	5
Operatore di Amministrazione	VII	16	14	
Operatore di amministrazione	VIII	5	3	
Elevate professionalità (ruolo ad esaurimento)		7	1	
Totale		1214	1177	86

Tabella 8-1: Distribuzione per ruoli del personale INAF

Al riguardo, è, altresì, opportuno rammentare che la tabella di equiparazione tra le qualifiche proprie del ruolo degli **"astronomi"** ed i profili e i livelli professionali del **"personale di ricerca"** previsti dal sistema di classificazione del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione, come definita dal Contratto Collettivo Nazionale Integrativo del 18 gennaio 2008, stabilisce la corrispondenza:

- tra la qualifica di **"Astronomo Ordinario/Straordinario"** e quella di **"Dirigente di Ricerca"**
- tra la qualifica di **"Astronomo Associato"** e quella di **"Primo Ricercatore"**
- tra la qualifica di **"Ricercatore Astronomo"** e quella di **"Ricercatore"**.

Al fine di promuovere la ricerca e di offrire ai giovani occasioni di crescita curriculare e professionale, lo **"Istituto Nazionale di Astrofisica"** si avvale anche di altro personale, non strutturato, costituito prevalentemente da titolari di assegni per lo svolgimento di attività di ricerca, titolari di borse di studio e da titolari di borse di studio per l'accesso e la frequenza di Corsi di Dottorato di Ricerca (dottorandi). La distribuzione di questo personale è rappresentata in Tabella 8-2.

Altro Personale	Personale in servizio al 31-12-2021 impiegato in attività di ricerca	Personale in servizio al 31-12-2021 NON impiegato in attività di ricerca
Altri Incarichi di Ricerca (a titolo gratuito)	24	
Titolari di assegni per lo svolgimento di attività di ricerca	219	
Titolari di borse di studio	30	
Titolari di contratti di collaborazione coordinata e continuativa		
Dipendenti in posizione di comando		1
Titolari di borse di studio per l'accesso e la frequenza di Corsi di Dottorato di Ricerca		
Personale Associato proveniente dalle Università		
Totale	273	1

Tabella 8-2: Distribuzione di altre forme contrattuali in INAF.

8.2. Fabbisogno del Personale e Programmazione

Con la Determina Direttoriale del 21 giugno 2021, numero 97, è stata costituita una "**Commissione Istruttoria**" con il compito di definire, nell'ambito del "**Piano di Attività dello Istituto Nazionale di Astrofisica per il Triennio 2021-2023**" e seguenti, una ipotesi di "**fabbisogno**" di personale tecnico ed amministrativo con inquadramento nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l'ottavo. Inoltre tutti i Direttori delle "**Struttura di Ricerca**", il Direttore Generale e il Direttore Scientifico hanno predisposto apposite tabelle al fine di individuare il "**fabbisogno**" complessivo di personale, con specifico riguardo a tutti i profili e livelli professionali di inquadramento.

La "**Tabella**" di seguito riportata (Tabella 8-3) rappresenta quindi il fabbisogno complessivo di personale dello "**Istituto Nazionale di Astrofisica**" per il Triennio 2022-2024 come risulta dalla predetta ricognizione.

Anno	IV-VIII	III livello		II livello		I livello	
2022	25 + 9 funzionari	26		8		12	
		18 Ric	8 Tec	5 Ric	3 Tec	10 Ric	2 Tec
2023	20	13		7		5	
		10 Ric	3 Tec	4 Ric	3 Tec	3 Ric	2 Tec
2024	20	13		7		5	

Anno	Numero e Profilo	Costo medio	Copertura finanziaria
2022	9 Funzionari di Amministrazione, Quinto Livello professionale	460.000	Le risorse finanziarie per la copertura di questi posti sono state già reperite e accantonate prima della emanazione del " Bando di Concorso " (la procedura concorsuale dovrebbe essere avviata a giugno con l'espletamento della prova di preselezione), e risultano, pertanto, già allocate nei pertinenti Capitoli di Spesa del Bilancio Annuale di Previsione per l'Esercizio Finanziario 2022 .
2022	25 Collaboratori di Amministrazione/ Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca, Settimo/Sesto Livello Professionale (il numero delle unità di personale potrà variare, in diminuzione, nel caso in cui la Commissione Istruttoria all'uopo costituita dovesse modificare i Profili, inserendo, a titolo esemplificativo, anche un certo numero di Funzionari di Amministrazione, Quinto Livello professionale)	1.000.000	Le risorse finanziarie per la copertura di questi posti (stimando, presuntivamente, l'assunzione in servizio dei vincitori delle procedure concorsuali con decorrenza dal 1° luglio 2022), sono pari a 500.000 euro . Esse provengono dal " turn over " derivante, nell'anno 2022 , dalle cessazioni dal servizio, a seguito di collocamento in stato di quiescenza, del personale tecnico-amministrativo e del personale tecnologo e di ricerca e sono già state allocate nei pertinenti Capitoli di Spesa del Bilancio Annuale di Previsione per l'Esercizio Finanziario 2022 .
2022	18 Ricercatori, Terzo Livello Professionale	1.040.000	Le risorse finanziarie per la copertura di questi posti provengono dai Decreti Ministeriali del 29 ottobre 2020, numero 802, e del 19 maggio 2021, numero 614
2022	8 Tecnologi, Terzo Livello Professionale	448.000	Le risorse finanziarie per la copertura di questi posti provengono dai Decreti Ministeriali del 29 ottobre 2020, numero 802, e del 19 maggio 2021, numero 614
2022	5 Primi Ricercatori, Secondo Livello Professionale	420.000	
2022	3 Primi Tecnologi, Secondo Livello Professionale	255.000	
2022	10 Dirigenti di Ricerca, Primo Livello Professionale	1.125.000	
2022	2 Dirigenti di Tecnologi, Primo Livello Professionale	230.000	
2023	20 Funzionari di Amministrazione/Collaboratori di Amministrazione /Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca, Quinto/Settimo/Sesto Livello Professionale	900.000	Le risorse finanziarie per la copertura di questi posti provengono dal " turn over " derivante, nell'anno 2023 , dalle cessazioni dal servizio, a seguito di collocamento in stato di quiescenza, del personale tecnico-amministrativo e del personale tecnologo e di ricerca, per un importo che dovrebbe ammontare, a regime, a circa un milione e trecentomila euro , e dall'utilizzo di una quota parte della integrazione della " assegnazione ordinaria " che dovrebbe essere attribuita all'Ente in attuazione delle disposizioni normative contenute nell'articolo 1, comma 310, lettera a), della Legge 30 dicembre 2021, numero 234, pari a circa un milione e cinquecentomila euro .
2023	10 Ricercatori, Terzo Livello Professionale	575.000	
2023	3 Tecnologi, Terzo Livello Professionale	165.000	
2023	4 Primi Ricercatori, Secondo Livello Professionale	335.000	
2023	3 Primi Tecnologi, Secondo Livello Professionale	255.000	
2023	3 Dirigenti di Ricerca, Primo Livello Professionale	340.000	
2023	2 Dirigenti Tecnologi, Primo Livello Professionale	230.000	
2024	20 Funzionari di Amministrazione/Collaboratori di Amministrazione /Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca, Quinto/Settimo/Sesto Livello Professionale	900.000	

2024	13 Ricercatori/Tecnologi, Terzo Livello Professionale	740.000	collocamento in stato di quiescenza, del personale tecnico-amministrativo e del personale tecnologo e di ricerca, per un importo che dovrebbe ammontare, a regime, a circa un milione e trecentomila euro , e dall'utilizzo di una quota parte della integrazione della " assegnazione ordinaria " che dovrebbe essere attribuita all'Ente in attuazione delle disposizioni normative contenute nell'articolo 1, comma 310, lettera a), della Legge 30 dicembre 2021, numero 234, pari a circa un milione e cinquecentomila euro .
2024	7 Primi Ricercatori/Primi Tecnologi, Secondo Livello Professionale	590.000	
2024	5 Dirigenti di Ricerca/Dirigenti Tecnologi, Primo Livello Professionale	570.000	

**Per il personale in livelli superiori a quello di ingresso il costo si riferisce al costo medio di una nuova unità di personale, quindi in caso di progressione di personale già dipendente dell'ente a questi livelli la spesa effettiva sarebbe decisamente inferiore a quella indicata.*

Tabella 8-3: Fabbisogno complessivo di personale per l'INAF

In relazione al fabbisogno è sicuramente utile e interessante vedere l'andamento dei diversi profili professionali negli anni precedenti (Figura 8-1). Si nota chiaramente come all'immissione in ruolo di quasi 200 Ricercatori e Tecnologi di III Livello nell'ultimo triennio, non siano seguite, in misura proporzionale, le progressioni di carriera al II e al I Livello; ciò ha comportato uno sbilanciamento ancora maggiore fra i tre livelli professionali. E' altrettanto evidente, con riferimento al personale di supporto, il drastico calo nel numero di unità di personale in servizio, nonostante il sensibile incremento delle spese di personale imputabile, in gran parte, al notevole aumento del numero di unità di personale tecnologo e di ricerca.

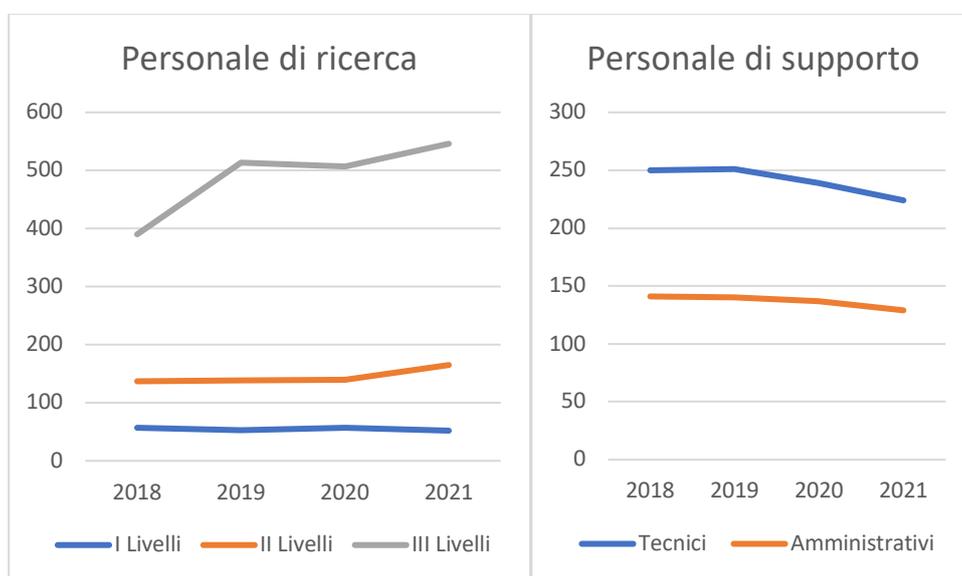


Figura 8-1: Andamento della consistenza numerica dei vari profili professionali in INAF negli anni precedenti (include anche il personale Astronomo nel relativo inquadramento).

Con riferimento al fabbisogno di personale a tempo determinato mentre i contratti in essere sono strettamente monitorati, non è possibile ottenere una previsione precisa per il futuro. Essendo infatti questa tipologia di personale direttamente legata allo svolgimento di futuri progetti di innovazione e di ricerca scientifica e tecnologica non è possibile prevedere, con certezza, il livello di partecipazione dell'Ente a tali progetti per i prossimi due anni. Sicuramente si prevede, per i prossimi anni, un incremento delle attività dell'Ente, con conseguente, fisiologico aumento del personale con rapporto di lavoro a tempo determinato, ma la reale quantificazione di tale incremento è soggetta a troppe variabili e, quindi, qualsiasi tentativo in tal senso sarebbe poco affidabile. Allo stesso tempo è prevista la prosecuzione del processo di stabilizzazione, per cui alcune delle unità di personale con rapporto di lavoro a tempo determinato saranno inserite nei ruoli del personale a tempo indeterminato dell'Ente. Per le motivazioni innanzi esposte, la programmazione del reclutamento di personale con rapporto di lavoro a tempo determinato per gli anni 2022 e 2023 è stata mantenuta costante rispetto al personale in servizio nell'anno 2021 con il medesimo rapporto di lavoro.

Con riferimento, infine, alla voce "altro personale", ovvero ai titolari di assegni per lo svolgimento di attività di ricerca e ad altri collaboratori, a vario titolo, si prevede, tenendo conto anche dell'andamento degli anni precedenti, un modesto incremento, nella misura percentuale che può variare dal 5 al 10 %.

A TEMPO DETERMINATO	Lv	2022		2023		2024	
		Nr.	Costo	Nr.	Costo	Nr.	Costo
Dirigente Amministrativo di Prima Fascia							
Dirigente Amministrativo di Seconda Fascia							
Dirigente di Ricerca	I	2	225.533	2	225.533	2	225.533
Primo Ricercatore	II	2	168.699	2	168.699	2	168.699
Ricercatore	III	29	1.677.628	29	1.677.628	29	1.677.628
Dirigente Tecnologo	I	3	345.066	3	345.066	3	345.066
Primo Tecnologo	II						
Tecnologo	III	20	1.120.900	20	1.120.900	20	1.120.900
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca.	IV						
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca.	V						
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca.	VI	17	766.398	17	766.398	17	766.398
Operatore Tecnico	VI						
Operatore Tecnico	VII						
Operatore Tecnico	VII I	3	110.961	3	110.961	3	110.961
Funzionario di Amministrazione	IV						
Funzionario di Amministrazione	V	4	204.333	4	204.333	4	204.333
Collaboratore di Amministrazione	V						
Collaboratore di Amministrazione	VI	1	45.670	1	45.670	1	45.670
Collaboratore di Amministrazione	VII	5	204.108	5	204.108	5	204.108
Operatore di Amministrazione	VII						
Operatore di Amministrazione	VII I						
Totale personale a tempo determinato		86	4.869.296	86	4.869.296	86	4.869.296
Altro Personale							
Altri Incarichi di Ricerca (a titolo gratuito)		32		35		35	
Titolari di assegni per lo svolgimento di attività di ricerca		227		260		300	
Titolari di borse di studio		34		40		45	

Titolari di contratti di collaborazione coordinata e continuativa		/		/		/	
Titolari di borse di studio per l'accesso e la frequenza di Corsi di Dottorato di Ricerca		203		210		220	
Totale Generale		582		631		686	4.869.296

Tabella 8-4: Fabbisogno del personale a Tempo Determinato a valere sui progetti.

8.3. Politiche di reclutamento nel triennio

8.3.1. Azioni previste per il 2022

Nel corso del 2022 sono previste le seguenti azioni (Tabella 8-5) riguardanti il personale a Tempo Indeterminato:

Numero e Profilo	Assunzione	Note
9 Funzionari di Amministrazione, Quinto Livello Professionale	16 Dicembre 2022	Procedura concorsuale in itinere (la prova di preselezione è programmata per il 7 giugno 2022).
25 Collaboratori di Amministrazione/ Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca, Settimo/Sesto Livello Professionale (il numero delle unità di personale potrà variare, in diminuzione, nel caso in cui la Commissione Istruttoria all'uopo costituita dovesse modificare i Profili, inserendo, a titolo esemplificativo, anche un certo numero di Funzionari di Amministrazione, Quinto Livello Professionale)	16 Dicembre 2022	La Commissione Istruttoria all'uopo costituita dovrà, innanzitutto, individuare, entro la fine del mese di maggio, i Profili e i Livelli Professionali delle 25 posizioni e ripartire le stesse tra la " Amministrazione Centrale " e le " Strutture di Ricerca ". Successivamente dovranno essere indette le procedure concorsuali.
18 Ricercatori, Terzo Livello Professionale	1° novembre 2022	Bando di concorso in fase di predisposizione (verrà emanato e pubblicato entro la seconda decade del mese di maggio).
8 Tecnologi, Terzo Livello Professionale	1° novembre 2022	Bando di concorso in fase di predisposizione (verrà emanato e pubblicato entro la seconda decade del mese di maggio).
5 Primi Ricercatori, Secondo Livello Professionale	1° novembre 2022	Il Consiglio di Amministrazione, su proposta del Direttore Scientifico, dovrà, innanzitutto, individuare le " macroaree tematiche " e le " articolarioni " delle 5 posizioni, Successivamente dovranno essere indette le procedure concorsuali.
3 Primi Tecnologi, Secondo Livello Professionale	19 aprile 2022	Considerando il " budget " disponibile, pari ad Euro 255.000,00 , verranno assunte in servizio, con la predetta decorrenza, 8 unità di personale, mediante lo scorrimento di una " graduatoria finale di merito " in corso di

		validità legale di una procedura concorsuale “ <i>aperta</i> ” già conclusa.
10 Dirigenti di Ricerca, Primo Livello Professionale	1° novembre 2022	Il Consiglio di Amministrazione, su proposta del Direttore Scientifico, dovrà, innanzitutto, individuare le “ <i>macroaree tematiche</i> ” e le “ <i>articolazioni</i> ” delle 10 posizioni, Successivamente dovranno essere indette le procedure concorsuali.
2 Dirigenti Tecnologi, Primo Livello Professionale	1° novembre 2022	Il Consiglio di Amministrazione, su proposta del Direttore Scientifico, dovrà, innanzitutto, individuare i “ <i>settori tecnologici</i> ” e le “ <i>articolazioni</i> ” delle 2 posizioni, Successivamente dovranno essere indette le procedure concorsuali.

Tabella 8-5: Azione di reclutamento del personale previste per il 2022.

8.3.2. Azioni previste per il 2023-2024

Negli anni 2023-2024, oltre alla conclusione delle procedure che dovrebbero essere avviate nel corso dell’anno 2022, come riepilogate nel Sottoparagrafo precedente, si prevedono:

1. eventuali nuove stabilizzazioni, ai sensi dell’articolo 20, comma 2, del Decreto Legislativo 20 maggio 2017, numero 75, e successive modifiche ed integrazioni, riservate al personale in possesso dei requisiti richiesti dalla legge alla data del 31 dicembre 2021 e subordinate, comunque, alla assegnazione di fondi ministeriali specificatamente destinati a tale scopo;
2. nuove progressioni di carriera del personale tecnologo e di ricerca ai sensi dell’articolo 15 del “Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del Personale del Comparto delle Istituzioni e degli Enti di Ricerca e Sperimentazione per il Quadriennio Normativo 2002-2005 ed il Biennio Economico 2002-2003”, sottoscritto il 7 aprile 2006 (da finanziare);
3. quantificazione, costituzione e certificazione del “Fondo” previsto dall’articolo 90 del “Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro del personale non dirigente del Comparto Istruzione e Ricerca per il Triennio Normativo 2016-2018”, sottoscritto il 19 aprile 2018, definizione del numero di posizioni da coprire ai fini della attivazione delle progressioni di carriera del personale inquadrato nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l’ottavo per le annualità 2022, 2023 e 2024 e adozione degli atti conseguenti;
4. assunzioni di personale inquadrato nei profili e nei livelli professionali compresi tra il primo e il terzo mediante l’utilizzo delle risorse all’uopo destinate, al fine di coprire le posizioni ritenute prioritarie nel “fabbisogno di personale a tempo indeterminato” (vedi Paragrafo 3.3.2);
5. assunzioni di personale inquadrato nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l’ottavo mediante l’utilizzo delle risorse all’uopo destinate, al fine di coprire le posizioni ritenute prioritarie nel “fabbisogno di personale a tempo indeterminato” (vedi Paragrafo 3.3.2);
6. assunzioni obbligatorie previste nel triennio di riferimento (vedi paragrafo successivo);
7. progressioni ai sensi dell’articolo 22, comma 15, del Decreto Legislativo del 25 maggio 2017, numero 75, come modificato e integrato dall’articolo 1, comma 1 ter, del Decreto-legge del 30 dicembre 2019, numero 162, convertito, con modificazioni, dalla Legge 28 febbraio 2020, numero 8 (numero da definire).

8.3.3. Assunzioni obbligatorie per il Triennio 2022-2024

Di seguito sono riportate le assunzioni obbligatorie ai sensi dell'articolo 18 della Legge 12 marzo 1999, numero 68 per il triennio di riferimento.

Posizioni di IV-VIII Livello: Assunzioni obbligatorie ai sensi dell'articolo 1 della Legge 12 marzo 1999, numero 68						
POSIZIONI	2022	Costo medio annuo lordo	2023	Costo medio annuo lordo	2024	Costo medio annuo lordo
Funzionario di Amministrazione, Quinto Livello Professionale	3	153.250	3	153.250		
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca, Sesto Livello Professionale	5	228.352	5	228.352		
Collaboratore di Amministrazione, Settimo Livello Professionale	5	204.107	3	122.464		
Operatore di Amministrazione/Tecnico Ottavo Livello Professionale	3	110.962	4	147.950	3	110.962
Totale	16	696.671	15	652.016	3	110.962
Gran Totale: 34*						

* Tre unità di personale, che rientrano nella categoria dei soggetti disabili, sono state assunte presso l'Istituto di Radioastronomia di Bologna, lo Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Milano e l'Osservatorio Astronomico di Palermo nel mese di giugno del corrente anno e, pertanto, il numero totale delle "scoperture" alla data di approvazione del seguente Piano è pari a 37.

Tabella 8-6: Assunzioni Obbligatorie nel triennio 2022-2024 (Articolo 1 Legge 12 marzo 1999, numero 68)

Posizioni di IV-VIII livello: Assunzioni obbligatorie ai sensi dell'articolo 18 della Legge 12 marzo 1999, numero 68						
POSIZIONI	2022	Costo medio annuo lordo	2023	Costo medio annuo lordo	2024	Costo medio annuo lordo
Funzionario di Amministrazione, Quinto Livello Professionale	1	51.083	-	-	-	-
Operatore di Amministrazione/Tecnico, Ottavo Livello Professionale	1	36.987	4	147.950	2	73.975
Totale	2	88.070	4	147.950	2	73.975
Gran Totale: 8						

Tabella 8-7: Assunzioni Obbligatorie nel triennio 2022-2024 (Articolo 18 Legge 12 marzo 1999, numero 68)

8.4. Borse di Studio di pre-dottorato, di PhD e post-doc

Il regolamento per il reclutamento di personale con contratti a tempo determinato presso INAF prevede, come per gli altri Enti di Ricerca, la possibilità di proporre Borse di Studio, Borse di Dottorato (in collaborazione con un ateneo) ed Assegni di Ricerca che in sostanza costituiscono nel sistema italiano l'equivalente della Borsa Post-Dottorale.

INAF si avvale di tutte queste possibilità caricando gli oneri sui progetti di ricerca. In aggiunta INAF contribuisce, con risorse proprie non derivanti da progetti, un numero di borse per ogni Ciclo di Dottorato ad Atenei singoli o consorziati in scuole con in quali INAF stipula convenzioni. Il numero di queste borse varia da ciclo a ciclo a seconda delle disponibilità di bilanci dell'anno di ingresso di riferimento.

Il numero di borse pre-dottorali, borse PhD ed Assegni di ricerca correntemente attivi e previsti per il prossimo triennio sono riportati in Tabella 8-4.

8.5. Attività di formazione per il Personale

Una analisi delle attività di formazione dell'INAF è riportata nel documento "risorse umane e bilancio" reperibile al sito www.pta.inaf.it e che forma parte integrante di questo aggiornamento del PTA.

9. Patrimonio, Bilancio e Fabbisogno di Risorse

9.1. Patrimonio

Una analisi dello stato patrimoniale dell'INAF è riportata nel documento "risorse umane e bilancio" reperibile al sito www.pta.inaf.it e che forma parte integrante di questo aggiornamento del PTA.

9.2. Bilancio

9.2.1. Stato del bilancio annuale e di previsione

Riepilogo delle entrate accertate a Preventivo e a Consuntivo nel Triennio 2020-2022:

Entrate ordinarie	Preventivo 2020	Consuntivo 2020	Preventivo 2021	Consuntivo 2021	Preventivo 2022
		Previsione definitiva		Previsione definitiva	
Entrate provenienti dal Ministero della Università e della Ricerca a seguito di riparto del Fondo di Funzionamento Ordinario	95.604.946,00	94.572.966,00	94.572.966,00	97.345.998,00	97.345.998,00
Altre assegnazioni ministeriale	25.450.000,00	23.529.505,39	24.450.000,00	46.606.696,00	44.198.087,00
Assegnazioni provenienti da altri Ministeri (MAECI, MEF)	0,00	4.522,49	0,00	252.829,50	0,00
Entrate provenienti dalla Agenzia Spaziale Italiana	8.467.220,25	15.561.508,83	3.965.755,00	12.370.506,17	3.308.143,99
Entrate provenienti dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e da Altri Enti di	0,00	76.960,30	0,00	1.188.098,07	0,00

Ricerca					
Entrate provenienti dalla Unione Europea.	678.484,94	12.019.994,27	190.091,87	6.284.038,77	490.958,66
Entrate provenienti da Organismi Internazionali	0,00	226.400,00	0,00	61.562,22	35.000,00
Entrate provenienti da altri Enti Pubblici (Università, Istituto Nazionale della Previdenza Sociale, etc.)	0,00	162.342,02	0,00	118.845,53	0,00
Entrate provenienti da Enti privati (Imprese, Istituzioni Sociali Private, etc.)	0,00	205.518,16	0,00	17.960,00	0,00
Entrate provenienti da Enti territoriali e locali (Regioni, Comuni, etc.)	54.681,86	701.560,21	0,00	820.622,12	0,00
Prestazioni di servizi e vendita di pubblicazioni e altri beni	0,00	302.625,00	313.577,25	1.234.354,64	138.000,00
Altre entrate, restituzioni, recuperi e rimborsi diversi	0,00	482.820,28	170.222,16	787.484,26	136.516,96
Totale entrate al netto delle partite di giro	130.255.333,05	147.846.722,95	123.662.612,28	167.088.995,28	145.652.704,61

Tabella 9-1: Entrate accertate a Preventivo e Consuntivo nel Triennio 2020-2022

Dettaglio delle uscite relativo all'esercizio finanziario 2021 distinte per conti di secondo livello (importi espressi in euro):

Conti di secondo livello	Previsioni iniziali	Variazioni	Previsioni definitive	Somme impegnate	Somme pagate in c/competenza	Somme impegnate rimaste da pagare	Diff. % somme impegnate - previsioni iniziali	"INCIDENZA DELLA SPESA" % IMPEGNATO SUL TOTALE (escluse uscite per conto terzi e partite di giro)
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro		
1.01. Redditi da lavoro Dipendente	109.989.932,47	17.564.003,84	127.553.936,31	78.205.719,34	75.918.371,45	2.287.347,89	-28,90%	53,85%
1.02. Imposte e tasse a carico dell'Ente	6.574.487,56	474.192,73	7.048.680,29	4.932.468,58	4.241.496,28	690.972,30	-24,98%	3,40%
1.03. Acquisto di beni e servizi	66.047.101,22	11.274.343,97	77.321.445,19	19.185.341,52	13.068.775,15	6.116.566,37	-70,95%	13,21%
1.04. Trasferimenti correnti	55.279.041,86	21.148.793,87	76.427.835,73	31.054.102,91	30.396.553,19	657.549,72	-43,82%	21,38%
1.07. Interessi passivi	135.752,74	0,00	135.752,74	135.752,74	135.752,74	0,00	0,00%	0,09%
1.09. Rimborsi e poste correttive delle entrate	382.378,46	-36.706,79	345.671,67	222.573,10	208.633,91	13.939,19	-41,79%	0,15%
1.10. Altre spese correnti	8.697.527,00	-60.935,59	8.636.591,41	257.564,29	255.355,29	2.209,00	-97,04%	0,18%
1. Totale spese correnti	247.106.221,31	50.363.692,03	297.469.913,34	133.993.522,48	124.224.938,01	9.768.584,47	-45,77%	92,26%
2.02. Investimenti fissi lordi e acquisto di terreni	22.967.758,45	2.793.381,37	25.761.139,82	11.029.244,90	4.484.165,85	6.545.079,05	-51,98%	7,59%
2. Spese in conto capitale	22.967.758,45	2.793.381,37	25.761.139,82	11.029.244,90	4.484.165,85	6.545.079,05	-51,98%	7,59%
3.01. Acquisizioni di attività finanziarie	205.000,00	0,00	205.000,00	0,00	0,00	0,00	-100,00%	0,00%
3. Spese per incremento attività finanziarie	205.000,00	0,00	205.000,00	0,00	0,00	0,00	-100,00%	0,00%
4.03. Rimborso mutui e altri finanziamenti a medio e a lungo termine	213.568,60	0,00	213.568,60	213.568,60	213.568,60	0,00	0,00%	0,15%
4. Rimborso Prestiti	213.568,60	0,00	213.568,60	213.568,60	213.568,60	0,00	0,00%	0,15%
TOTALE USCITE al netto delle uscite per conto terzi e partite di giro	270.492.548,36	53.157.073,40	323.649.621,76	145.236.335,98	128.922.672,46	16.313.663,52	-46,31%	100,00%
7.01. Uscite per partite di giro	29.573.000,00	9.566.415,50	39.139.415,50	39.139.415,50	23.997.378,16	15.142.037,34		
7.02. Uscite per conto terzi	0,00	775,00	775,00	775,00	0,00	775,00		
Totale uscite per conto terzi e partite di giro	29.573.000,00	9.567.190,50	39.140.190,50	39.140.190,50	23.997.378,16	15.142.812,34		
TOTALE GENERALE DELLE USCITE	300.065.548,36	62.724.263,90	362.789.812,26	184.376.526,48	152.920.050,62	31.456.475,86		

Tabella 9-2: Dettaglio delle uscite relativo all'esercizio finanziario 2021 distinte per conti di secondo livello.

Centri di Responsabilità Amministrativa	Somme impegnate	Somme pagate in c/competenza	Somme impegnate rimaste da pagare
0.00. Staff Direzione Generale	119.207,92	90.724,09	28.483,83
0.01. Ufficio I	72.588.074,04	69.883.660,45	2.704.413,59
0.02. Ufficio II	2.746.142,45	2.240.879,93	505.262,52
0.03. Uffici di Presidenza	148.404,20	103.565,96	44.838,24
0.04. Direzione Scientifica	20.060.227,68	20.030.473,34	29.754,34
1. Strutture di Ricerca	49.574.279,69	36.573.368,69	13.000.911,00
Totale (al netto delle uscite per conto terzi e partite di giro)	145.236.335,98	128.922.672,46	16.313.663,52
Uscite per conto terzi e partite di giro	39.140.190,50	23.997.378,16	15.142.812,34
Totale Generale	184.376.526,48	152.920.050,62	31.456.475,86

Tabella 9-3: Suddivisione delle Uscite per Centro di responsabilità Amministrativa

9.2.2. Record dei tre anni precedenti

Nella Figura 9-1 si riportano la situazione delle entrate accertate nel periodo 2017-2021 (distinte in assegnazioni ordinarie e in fondi destinati alla ricerca) mentre in Figura 9-2 vi è il dettaglio entrate accertate "U.E." e "ASI" nel medesimo periodo.

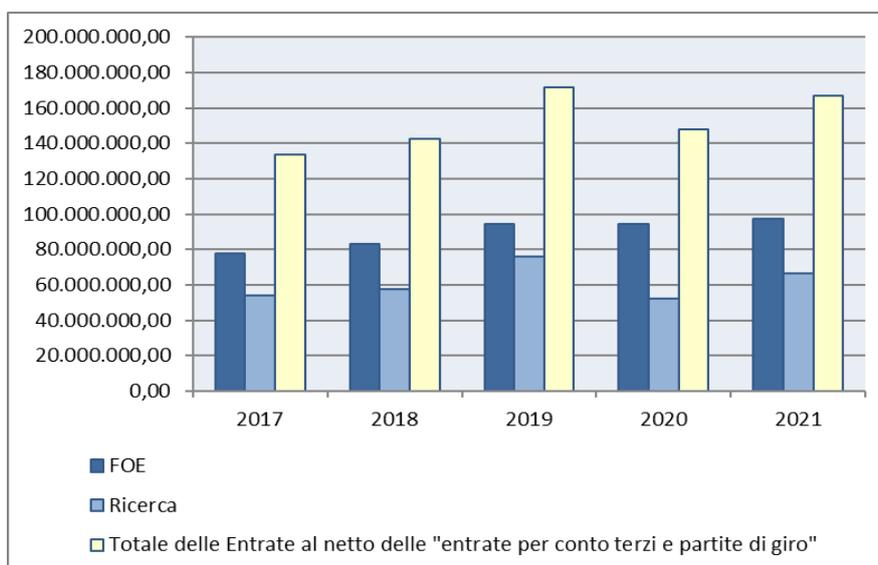


Figura 9-1: Situazione delle entrate accertate nel periodo 2017-2021.

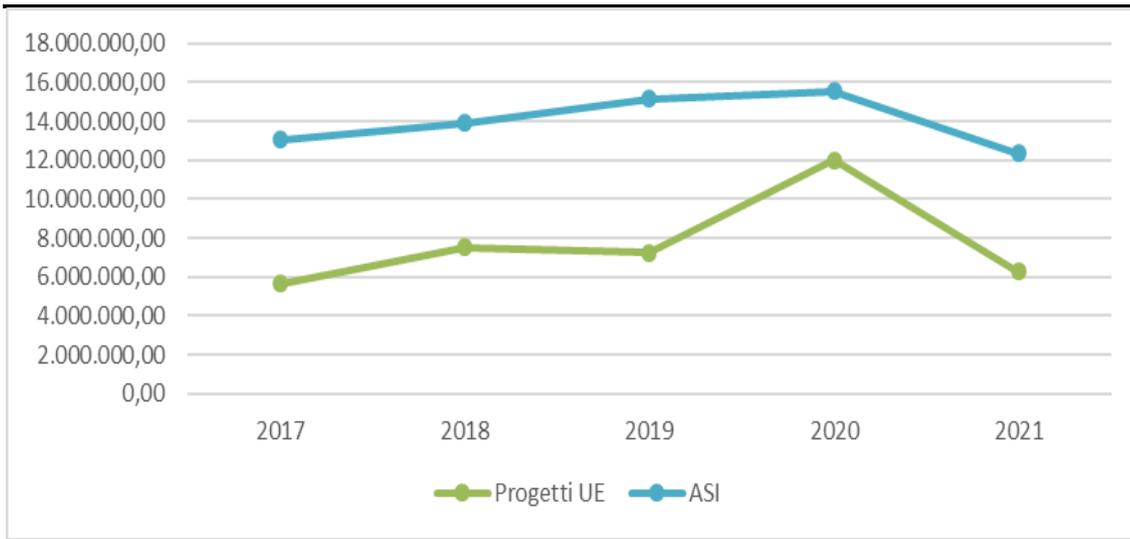


Figura 9-2: Situazione delle entrate ASI e UE nel periodo 2017-2021.

9.2.3. Immagine proiettiva dei successivi tre anni.

9.2.3.1. Entrate Previste

Con il Decreto del Ministro della Università e della Ricerca del 16 luglio 2021, numero di protocollo 844, è stato ripartito, tra gli "Enti" e le "Istituzioni" di "Sperimentazione" e di "Ricerca", il "Fondo Ordinari" per l'anno 2021.

Le risorse assegnate allo "Istituto Nazionale di Astrofisica" ammontano complessivamente ad € **118.145.998,00**, così articolato:

- "Assegnazione ordinaria": € **97.345.998,00**;
- "Attività di ricerca a valenza internazionale": € **15.050.000,00**;
- "Progettualità di carattere straordinario": € **2.900.000,00**;
- "Progettualità di carattere continuativo": € **2.850.000,00**.

L'articolo 2 del Decreto del Ministro della Università e della Ricerca del 16 luglio 2021, numero 844, come innanzi richiamato, stabilisce che, ai fini della "...elaborazione dei rispettivi bilanci di previsione per gli anni 2022 e 2023, gli Enti potranno considerare quale riferimento il 100% dell'ammontare dell'assegnazione complessiva indicata nelle rispettive tabelle per il corrente esercizio, salvo eventuali riduzioni apportate per effetto di disposizioni normative di contenimento della spesa pubblica e per diversa assegnazione disposta con il Decreto di ripartizione dell'anno di riferimento...".

Pertanto, nel "**Bilancio Annuale di Previsione per l'Esercizio Finanziario 2022**" è stato iscritto, a titolo di "**assegnazione ordinaria**", uno stanziamento pari a quello dell'anno 2021, che ammonta ad € **97.345.998,00**. La predetta "**assegnazione ordinaria**" ha, peraltro, subito, rispetto a quella dell'Esercizio Finanziario 2020, che ammontava ad € **94.572.966,00**, un discreto incremento, pari ad € **2.773.032,00**.

Per quanto riguarda, invece, le "**Attività di Ricerca a Valenza Internazionale**", l'assegnazione prevista dal predetto Decreto Ministeriale, che ammonta complessivamente ad € **15.050.000,00**, comprende:

- a) un finanziamento di € **5.350.000,00**, destinato a contribuire alla realizzazione di strumentazione per l' "**Extremely Large Telescope**" ("**E-ELT**"), ovvero del "**Telescopio Ottico-Infrarosso Adattivo**" più grande al mondo, con trentanove metri di diametro, che è in fase di costruzione a Cerro Armazones (Cile), a cura della "**European Organisation for Astronomical Research in the**

- Southern Hemisphere* ("**ESO**"), e che dovrebbe essere completato nell'arco di un quinquennio, con un costo totale di circa **un miliardo di euro**;
- b) un finanziamento di **€ 4.000.000,00**, destinato alla gestione della rete di radiotelescopi dell'INAF comprendente il "**Sardinia Radio Telescope**" ("**SRT**"), uno dei più grandi "**Radiotelescopi Europei**", realizzato nel Comune di San Basilio, in Provincia di Cagliari, che:
- ha un valore, in conto capitale, di circa **sessanta milioni di euro**;
 - costituisce, insieme ai Radiotelescopi di Medicina, sito in Provincia di Bologna, e di Noto, sito in Provincia di Siracusa, lo "**Array Italiano**" per la "**Interferometria a Base Molto Ampia**", ovvero la "**Very Long Baseline Interferometry**" ("**VLBI**");
 - rappresenta una "**facility internazionale**" di altissimo profilo;
- c) un finanziamento di **€ 3.000.000,00**, destinato alla gestione della partecipazione INAF al "**Large Binocular Telescope**" ("**LBT**"), ovvero di un "**Telescopio Binoculare Ottico ed Infrarosso**", sito nello "**Osservatorio del Monte Graham**", in Arizona (Stati Uniti di America), che, al momento, è il "**Telescopio Adattivo a Specchi Monolitici**" più grande del mondo, con un valore, in conto capitale, di circa **duecentoventi milioni di euro**;
- d) un finanziamento di **€ 2.700.000,00**, a titolo di contributo per la partecipazione dell'Ente alle iniziative promosse dallo "**European Southern Observatory**" ("**ESO**") ed, in particolare, per la realizzazione del "**Programma**" denominato "**Strumentazione ESO**", che è "...*diretto a finanziare la costruzione di apposite "strumentazioni scientifiche", nonché la realizzazione delle necessarie tecnologie abilitanti, e la eventuale prototipazione delle stesse presso le infrastrutture osservative accessibili allo "Istituto Nazionale di Astrofisica"*...".
- e) l'assegnazione relativa alle "**Progettualità di Carattere Straordinario**", che ammonta ad **€ 2.900.000,00**, comprende il finanziamento destinato alla gestione delle "**Strutture**" e delle "**Infrastrutture**" del "**Telescopio Nazionale Galileo**", sito in Spagna, nell'isola di La Palma, e gestito dalla "**Fundación Galileo Galilei, Fundación Canaria**" ("**FGG**").
- f) l'assegnazione relativa alle "**Progettualità di carattere continuativo**" che comprende sia il finanziamento destinato alla realizzazione del Progetto dal titolo "**Space Weather - Campus Unical**", per un importo di **€ 300.000,00**, che il finanziamento destinato alla realizzazione del Progetto dal titolo "**Astrofisica di Eccellenza**", per un importo di **€ 2.550.000,00**.

In particolare, il Progetto dal titolo "**Astrofisica di Eccellenza**" è destinato allo sviluppo di metodologie scientifiche e di tecnologie abilitanti per il ritorno scientifico degli ingenti investimenti previsti dal Paese ai fini della costruzione delle grandi infrastrutture internazionali terrestri e spaziali e per garantire la loro piena operatività...".

9.2.3.2. Spese Previste per l'Anno 2022

Le spese previste per l'anno 2022 sono state quantificate sulla "**base storica**" degli ultimi anni, che si riferisce, specificatamente, al funzionamento delle "**Strutture di Ricerca**" e ai fondi gestiti dalla "**Amministrazione Centrale**", con particolare riguardo ai contributi destinati alla realizzazione e/o alla gestione delle grandi infrastrutture internazionali, che consentono ai ricercatori dell'Ente di accedere alle "**osservazioni**", che sono 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 negli altri capitoli del presente "**Piano Triennale**".

Nella seguente "**Tabella**" (Tabella 9-4) riportiamo le spese calcolate con le modalità innanzi specificate, che si riferiscono al triennio precedente a quello di riferimento del presente "**Piano Triennale**".

Costo sostenuti per le infrastrutture di ricerca internazionale nel triennio precedente a questo piano triennale			
	2019	2020	2021
E-ELT*	6.300.000	6.600.000	0
LBT	3.000.000	3.000.000	3.200.000
TNG	2.700.000	2.700.000	2.900.000
SRT e VLBI	4.500.000	4.500.000	4.000.000
SKA	5.000.000	5.000.000	15.000.000
ASTRI Mini Array	1.000.000	1.000.000	1.700.000
CTA	1.500.000	1.500.000	1.500.000

Tabella 9-4: Spese per infrastrutture sostenute per il triennio precedente

Costo previsto per le infrastrutture di ricerca internazionale nel triennio di riferimento			
	2022	2023	2024
LBT	3.000.000	3.000.000	3.000.000
TNG	2.900.000	3.000.000	3.000.000
SRT e VLBI	4.000.000	4.000.000	4.000.000
SKA	15.000.000	15.000.000	15.000.000
ASTRI Mini Array	700.000	700.000	700.000
CTA	8.000.000	14.000.000	16.000.000

*A partire dal 2021 i costi di E-ELT sono coperti dal MAECI. Il relativo contributo MUR è quindi finalizzato allo sviluppo di strumentazione e programmi scientifici per E-ELT ed i suoi precursori.

Tabella 9-5: Costo previsto per le infrastrutture per il triennio di riferimento

Investimenti in ricerca libera e bandi competitivi interni per il triennio di riferimento			
	2022	2023	2024
Distribuzione fondi ricerca alle Strutture	1.600.000	1.800.000	2.000.000
Bandi per la ricerca fondamentale (*)	7.000.000	7.000.000	7.000.000
INAF Astrophysics Fellowships	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Assegni di Ricerca Nazionali	400.000	400.000	400.000
Bandi per il trasferimento tecnologico	250.000	250.000	250.000
Totale	3.650.000	3.650.000	3.650.000

(*) Fondi ottenuti dal FOE di programmi a carattere continuativo, avanzi di bilancio, e programmi PNR.

Tabella 9-6: Investimenti in Ricerca Libera e Bandi Interni.

9.2.4. Rapporto tra le risorse interne ed esterne

Il rapporto tra risorse interne e risorse esterne viene definito considerando come "**risorse interne**" il "**Fondo Ordinario**" che il Ministero della Università e della Ricerca ripartisce e assegna agli Enti di Ricerca e come "**risorse esterne**" tutte le altre entrate proprie dell'Ente, tra le quali rientrano le assegnazioni ministeriali destinate alle attività di ricerca a valenza internazionale, alle progettualità a carattere straordinario e alle progettualità a carattere continuativo e le entrate provenienti da altri Enti di Ricerca e dalla Unione Europea.

Il predetto rapporto si riferisce alle risorse accertate nell'ultimo triennio, sia a Preventivo che a Consuntivo. L'analisi dei dati che scaturiscono dalla definizione del rapporto tra risorse interne e risorse esterne, come riportati nella " **Tabella**" (Tabella 9-7) all'uopo predisposta e di seguito riportata, è fonte di spunti di riflessione molto interessanti:

	Risorse Interne	Risorse Esterne	Entrate Complessive	Rapporto Risorse Interne / Entrate Complessive (%)
Preventivo 2019	83.107.736	30.376.668	113.484.404	73%
Consuntivo 2019	89.944.176	81.867.306	171.811.482	52%
Preventivo 2020	95.604.946	34.650.387	130.255.333	73%
Consuntivo 2020	94.572.966	53.273.757	147.846.723	64%
Preventivo 2021	94.572.966	29.089.646	123.662.612	76%
Consuntivo 2021	97.345.998	69.742.997	167.088.995	58%
Preventivo 2022	97.345.998	48.306.707	145.652.705	67%

Tabella 9-7: Rapporto tra risorse interne ed entrate complessive.

INAF conferma la sua capacità di attrarre numerose risorse esterne. Questo aspetto è abbastanza costante in fase di redazione del preventivo, in cui circa un quarto dei fondi INAF provengono sistematicamente da fonti diverse rispetto al Fondo Ordinario, e si accentua nell'analisi del consuntivo dimostrando gli ottimi risultati dell'ente nel garantirsi entrate non certe, spesso legate a bandi competitivi e quindi non preventivabili,

9.3. Spese per il Personale

Di seguito le tabelle riassuntive relative alle spese di personale per il triennio 2019-2021:

	Spese effettive, dirette e indirette, sostenute per il personale, con riferimento al periodo compreso tra il 1° gennaio 2019 e il 31 dicembre 2021		
	2019	2020	2021
Spesa complessiva sostenuta per il personale con rapporto di lavoro a tempo indeterminato *	70.163.773	71.362.025	71.741.050
Spesa complessiva sostenuta per il personale con rapporto di lavoro a tempo determinato *	4.556.458	5.486.352	5.450.977
Altre spese di personale**	10.294.265	9.478.258	9.644.066
Totale	85.014.496	86.326.635	86.836.093

* la spesa comprende la quota di "Trattamento di Fine Rapporto" di competenza dell'anno, oneri e costi accessori (con esclusione di sussidi e buoni pasto).

**Le altre spese di personale includono tutto il personale non strutturato (ad es. AdR e Borse di studio), i compensi degli organi, i sussidi ed i buoni pasto.

Tabella 9-8: Spese sostenute per il Personale nel triennio precedente.

Indicatore di cui all'articolo 9, comma 2, e comma 6, lettera b), del Decreto Legislativo 25 novembre 2016, numero 218	
Media delle entrate complessive nel Triennio 2019-2021	€ 162.248.906
Spesa complessiva sostenuta alla data del 31 dicembre 2021 per il personale con rapporto di lavoro sia a tempo indeterminato che a tempo determinato con oneri che gravano su fondi esterni	€ 77.192.027
Rapporto tra le spese complessive di personale e la media delle entrate nel Triennio 2017-2019	47,6%
Spesa complessiva sostenuta per tutto il personale alla data del 31 dicembre 2019	€ 86.836.093
Rapporto tra la spesa complessiva di tutto il personale e la media delle entrate nel triennio 2017-2019	53,5%

Tabella 9-9: Indicatori dei rapporti di spesa.

9.4. Azioni volte al risparmio sulla conduzione dell'Ente.

La Direzione Generale dello "**Istituto Nazionale di Astrofisica**", pur nel contesto di politiche gestionali improntate al massimo rigore ed alla razionalizzazione della spesa, si prefigge, unitamente alla Direzione Scientifica, lo scopo di agevolare la realizzazione di risultati di eccellenza nel campo dell'innovazione e della ricerca scientifica e tecnologica.

In particolare, sotto il profilo gestionale, la Direzione Generale intende ulteriormente implementare il "**Piano di Razionalizzazione**" delle risorse umane, finanziarie, logistiche e strumentali attualmente disponibili al fine di ottimizzare il loro uso, potenziare, a tutti i livelli, la sinergia con le "**Strutture di Ricerca**" e migliorare, sia sotto il profilo qualitativo che sotto il profilo quantitativo, il supporto allo svolgimento delle loro attività istituzionali.

A tal fine, verranno ulteriormente consolidate e sviluppate le attività di revisione dei processi di programmazione e quelle proprie del "**controllo di gestione**", finalizzate alla analisi dei costi e all'uso ottimale delle risorse disponibili, che hanno già consentito, attraverso una radicale riforma sia dei criteri che delle metodologie di redazione dei documenti contabili, con particolare riguardo ai bilanci preventivi e consuntivi, di monitorare l'andamento delle spese correnti e delle spese di personale, di individuare le criticità, con specifico riferimento sia alla fase di previsione delle spese che alla dinamica di formazione degli avanzi di amministrazione e alla loro gestione, e di adottare le necessarie misure correttive, al fine di realizzare importanti economie e di recuperare, quindi, ulteriori risorse da destinare al finanziamento delle attività scientifiche, tecnologiche e di ricerca, delle attività finalizzate alla innovazione e al trasferimento tecnologico e delle attività di divulgazione.

Analoga attività è stata intrapresa anche dalla Direzione Scientifica, con specifico riguardo alla gestione dei progetti di ricerca, sia nazionali che internazionali, al fine di produrre economie da destinare, in particolare, al finanziamento della ricerca di base.

Assume notevole rilievo, per le finalità innanzi specificate, anche il "**Programma Biennale degli acquisti di Forniture e Servizi**" dello "**Istituto Nazionale di Astrofisica**", adottato già da alcuni anni e che dovrebbe garantire, in futuro, notevoli economie di spesa, soprattutto attraverso l'acquisizione centralizzata di forniture di beni e servizi che sono funzionali all'intero Ente.

In particolare, la Direzione Generale, tenendo conto della natura e delle caratteristiche tecniche e merceologiche dei beni e dei servizi che ne formano oggetto e di tutte le altre informazioni utili allo scopo, individuerà, con il supporto della "**Struttura Stabile di Supporto Strategico agli Organi di Governo e di Supporto Tecnico ai Direttori delle Strutture di Ricerca e ai Responsabili Unici dei Procedimenti**", gli affidamenti che, riguardando categorie omogenee di beni e servizi, sono suscettibili di accorpamento, almeno su base regionale.

In effetti, l'attivazione del predetto processo, assolutamente indispensabile oltre che virtuoso, produrrà una serie di effetti molto positivi, consentendo, tra l'altro, di:

- a) non violare il divieto di frazionamento degli appalti, espressamente previsto dall'articolo 35, comma 6, del Decreto Legislativo 18 aprile 2016, numero 50, e successive modifiche ed integrazioni;
- b) garantire una gestione delle procedure di gara più organica e razionale;
- c) realizzare possibili economie di spesa;
- d) perseguire, in generale, le finalità proprie del predetto documento programmatico, che si traducono, sostanzialmente, nella trasparenza, nella efficienza e nella funzionalità della azione amministrativa,

Per quanto concerne, inoltre, le attività amministrative, sono stati attivati numerosi procedimenti di informatizzazione, anch'essi finalizzati a razionalizzare l'uso delle risorse disponibili, tra i quali rivestono fondamentale importanza:

- 1) la creazione di un archivio unico per la gestione del personale;
- 2) l'attivazione delle procedure di gestione del patrimonio e di implementazione dei relativi inventari, finalizzate ad assicurare il censimento dell'intero patrimonio dell'Ente, sia mobiliare che immobiliare;
- 3) l'acquisizione di un sistema unico di rilevazione delle presenze in servizio del personale di ruolo;
- 4) l'acquisizione di un nuovo sistema di protocollazione, fascicolazione ed archiviazione di atti e documenti amministrativi.

E' intenzione, inoltre, sia della Direzione Generale che della Direzione Scientifica rivedere i rispettivi assetti organizzativi secondo la logica propria dei procedimenti, delle procedure e dei processi, che consentirebbe, tra l'altro, di evitare la duplicazione di articolazioni organizzative e di garantire, conseguentemente, un utilizzo più organico e razionale delle risorse umane, finanziarie e strumentali attualmente disponibili.

Le due Direzioni Apicali intendono, infine, avviare, nel prossimo futuro, in armonia, peraltro, con il recente contesto normativo di riferimento, il processo di "**dematerializzazione**" dell'attività amministrativa, che dovrebbe, anch'esso, produrre, in un'ottica di risparmio delle predette risorse, notevoli effetti benefici.

10. Società Partecipate e Fondazioni

L'Elenco completo delle Società Partecipate e Fondazioni a cui INAF aderisce è scaricabile dal sito <https://pta.inaf.it>. Il documento forma parte integrante di questo aggiornamento del Piano Triennale di Attività.

11. Elenco degli Allegati in Forma Elettronica

I seguenti documenti, che formano parte integrante del presente PTA, sono scaricabili al sito <https://pta.inaf.it>.

- Statuto dell'INAF

- Documento di Visione Strategica dell'INAF
- Rapporto sulle Apparecchiature e Strumenti INAF utilizzabili per programmi spaziali
- Rapporto sulla partecipazione INAF a progetti spaziali di rilevanza internazionale
- PIAO
- Elenco delle Società Partecipate e Fondazioni
- Schede di Progetto per il triennio 2022-2023
- Executive Summary PTA 2022-2024

1. Lista degli Acronimi

4MOST	4Metre Multi Object Spectrograph Telescope	DPAC	Data Processing and Analysis Consortium
ADONI	ADaptive Optics National laboratory of Italy	DPI	Dot Per Index
ADS	Astrophysics Data System	DVS	Documento di Visione Strategica
AGILE	Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero	ELT	Extremely Large Telescope
AGN	Active Galactic Nuclei	eMERLIN	Multi-Element Radio Linked Interferometer Network
AHEAD	integrated Activities in the High Energy Astrophysics Domain	ENEA	Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'Energia e lo sviluppo economico sostenibile
ALMA	Atacama Large Millimetric Array	ENGRAVE	Electromagnetic counterparts of gravitational wave sources at the Very Large Telescope
ALP	Axion Like Particle	EOOSC	European Open Science Cloud
AMEGO	All-sky Medium Energy Gamma-ray Observatory	ERC	European Research Council
ANDES	Armazones high Dispersion Echelle Spectrograph	ERIC	European Research Infrastructure Consortium
ANVUR	Agenzia Nazionale per la Valutazione dell'Università de della Ricerca	ERIS	Enhanced Resolution Imager and Spectrograph
AO	Adaptive Optics	ESA	European Space Agency
ARIEL	Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey	ESFRI	European Strategic Forum on Research Infrastructure
ASKAP	Australian SKA Pathfinder	ESO	European Southern Observatory
ASI	Agenzia Spaziale Italiana	ESPRESSO	Echelle SPECTrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations
ASPIIS	ASI SPace-weathe InfraStructure	EST	European Solar Telescope
ASTRI	Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana	ET	Einstein Telescope
ATCA	Australia Telescope Compact Array	EU	European Union
ATHENA	Advanced Telescope for High Energy Astrophysics	EUV	Extreme Ultra Violet
ATNF	Australian Telescope National Facility	EVN	European VLBI Network
BGR	Board of Government Representatives	eXTP	enhanced X-ray Timing and Polarimetry
CARE	Coordinamento per l'Accesso alle Risorse Elettroniche	FOE	Fondo Ordinario degli Enti
CASSIS	Colour and Stereo Surface Imaging System	FGG	Fundacion Galileo Galilei
CdA	Consiglio di Amministrazione	FRB	Fast Radio Burst
CdD	Collegio dei Direttori	FTE	Full Time Equivalent
CEA	Commissariat a l'energie atomique	FUV	Far Ultra Violet
CfA	Centre for Astrophysics	GARR	Gestione Ampliamento Rete Ricerca
CHEOPS	Characterising ExOPlanet Satellite	GBT	Green Bank Telescope
CHIPP	Calcolo HTC in INAF - Progetto Pilota	gGmbH	gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung
CINECA	Consorzio Interuniversitario per il Calcolo	GMT	Giant Magellan Telescope
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche	GMRT	Giant Metrewave Radio Telescope
CNRS	Centre national de la recherche scientifique	GRAWITA	GRAvitational Wave INAF TeAm
CNSA	China National Space Agency	GRB	Gamma Ray Burst
CoRoT	Convection Rotation at Transits planetaire	GPS	Global Positioning System
COSPAR	Committee on Space Research	GUI	Grafic User Interface
CPTF	Council Preparation Task Force	GW	Gravita
CPU	Central Processing Unit	HARPS	High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher
CRUI	Conferenza dei Rettori delle Università Italiane	HERMES	High Energy Rapid Modular Ensemble of Satellites
CSES-2	China Seismo-Electromagnetic Satellite 2	HESS	High Energy Stereoscopic System
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	ANDES	High Resolution Spectrograph
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	HMXB	High Mass X-ray Binary
CSN	Comitato Scientifico Nazionale	HPC	High Performance Computing
CTA	Cherenkov Telescope Array	HST	Hubble Space Telescope
CTAO	Cherenkov Telescope Array Observatory	IAC	Instituto de Astrofisica de Canarias IAA
CUBES	Cassegrain U-band Efficient Spectrograph	IAU	International Astronomical Union
DART	Double Asteroid Redirection Test	ICCD	Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
DOI	Digital Object Identifier	ICCU	Istituto Centrale per il Catalogo Unico
		ICRAR	International Centre for Radio Astronomy Research
		ICU	Instrument Control Unit
		IGO	Inter-Governmental Organisation
		INAF	Istituto Nazionale di Astrofisica
		INAOE	Instituto Nacional de Astrofisica, Óptica y Electrónica
		INFN	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
		ING	Isaac Newton Group of Telescopes

INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	MUCH	Muography with Cherenkov
INSU	l'Institut national des sciences de l'Univers	MUR	Ministero della Università e della Ricerca
INTEGRAL	INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory	NADIR	New Archival Distributed
IR	InfraRosso	InfrasctructuRe	
IRAM	Institut de Radioastronomie Millimetrique	NAOJ	National Astronomical Observatory of Japan
IVOA	International Virgo Observatory Alliance	NASA	National Air and Space Administration
IXPE	Imaging X-ray Polarimetry Explorer	NCTN	Numero di Catalogo Generale
JAXA	Japan Aerospace eXploration Agency	NEO	Near Earth Object
JIRAM	Jovian InfraRed Auroral Mapper	NICER	Neutron-star Interior Composition
JIVE	Joint Institute for VLBI ERIC	ExpropeR	
JUICE	Jupiter Icy Moons Explorer	NIR	Near Infra Red
JVLA	Jansky Very Large Array	NLR	Netherland Aerospace Centre
JWST	James Webb Space Telescope	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
KAGRA	Kamioka Gravitational Wave Detector	NOMAD	Nadir and Occultation for Mars Discovery
KASI	Korean Astronomy and Space-science Institute	NTT	New Technology Telescope
LAD	Large Area Detector	NuSTAR	Nuclear Spectroscopic Telescope Array
LBT	Large Binocular Telescope	OA	Open Access
LBTC	Large Binocular Telescope Corporation	OAE	Office for Astronomy Outreach
LICIACube	Light Italian Cubesat for Imaging of Asteroids	OMEGA	Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glacies et l'Activité
LIGO	Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory	OSIRIS-REx	Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer
LISA	Laser Interferometer Space Antenna	PANCAMPANoramic CAMera	
LiteBIRD (Lite (Light) satellite for the studies of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection		PeV	Peta Elettron Volt
LMXB	Low Mass X-ray Binary	PI	Principal Investigator
LOFAR	Low Frequency Aperture Array	PIC	Particle in Cell
Rubin-LSST	Vera C. Rubin Observatory Large Synoptic Survey Telescope	PFS	Planetary Fourier Spectrometer
LST	Large Scale Telescope	PLATO	Planetary Transits and Oscillations of Stars
MAECI	Ministero degli Affari Esteri e Cooperazione Internazionale	PNR	Piano Nazionale della Ricerca
MAGIC	Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov	PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
MAJIS	Moons and Jupiter Imaging Spectrometer	PON	Programma Operativo Nazionale
Ma_MISS	Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies	PRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
MARSIS	Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding	PROBA	PRoject for OnBoard Autonomy
MAVIS	MCAO Assisted Visible Imager and Spectrograph	PROSPECT	Package for Resource Observation and in-Situ Prospecting for Exploration, Commercial exploitation and Transportation
MeerKATExtended	Karoo Astronomical Telescope	PTA	Pianto Triennale di Attività
MeerKAT+	Further Extended Karoo Astronomical Telescope	R&D	Research & Development
MHD	Magneto Hydro Dynamics	R&S	Ricerca e Sviluppo
MIc	Ministro della Cultura	REM	Rapid Eye Mount
MICADO	Multi-AO Imaging Camera for Deep Observations	RSN	Raggruppamento Scientifico Nazionale
MIT	Massachusetts Institute of Technology	SAIt	Società Astronomica Italiana
MoU	Memorandum of Understanding	SAO	Smithsonian Astrophysical Observatory
MORFEO	Multi-Conjugated Adaptive Optics RelaY	SDGs	Sustainable Development Goals
MPA	Max Planck Institute for Astrophysics	SERENA	Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundances
MPG	Max Planck Gesellschaft	SFXT	Supergiant Fast X-ray Transient
MPO	Mercury Planetary Orbiter	SHARAD SHAlloW RADar	
MRO	Mars Reconnaissance Orbiter	SKA	Square Kilometre Array
MST	Midium Size Telescope	SKAO	Square Kilometre Array Observatory
		SIMBIO-SYS	Spectrometer and Imagers for MPO
		Bepicolombo Integrated Observatory SYSstem	
		SNR	Supernova Remnant
		SOUL	Single-conjugated adaptive Optics
		Upgrade for Lbt	
		SOXS	Son of X-Shooter
		SPC	Science Programme Committee

SPHERE	Spectro-Polarimetric	High-contrast	Exoplanet
REsearch			
SSA	Space Situation Awareness		
SSDC	Space Science Data Center		
SRT	Sardinia Radio Telescope		
SST	Space Surveillance and Tracking		
STAC	Science and Technology Advisory		
Committee			
STEAM	Science, Technology, Engineering, Arts		
and Mathematics			
SW	Space Weather		
SWA	Solar Wind Analyser		
SWIco	Space Weather Italian Community		
TDE	Tidal Disruption Event		
TESS	Transiting Exoplanets Survey Satellite		
TeV	Tera Elettron Volt		
TGO	Trace Gas Orbiter		
TNG	Telescopio Nazionale Galileo		
UHECR	Ultra Higg Energy Cosmic Ray		
ULX	Ultraluminous X-ray source		
USC	Unità Scientifica Centrale		
UTG	Unità Tematico Gestionale		
UV	Ultra Violetto		
VLBA	Very Long Baseline Array		
VLBI	Very Long Baseline Interferometer		
VLT	Very Large Telescope		
VO	Virtual Observatory		
VQR	Valutazione della Qualità della Ricerca		
VST	VLT Survey Telescope		
WEAVE	William	Herschel telescope	Enhanced Area
Velocity Explorer			
WIMP	Weakly Interacting Massive Particle		
WMO	World Metereological Organisation		
WoS	Web of Science		
X-IFU	X Integral Field Unit		
XMM	X-ray Multimirror Mission		

