

Piano Triennale di Attività



L'Astrofisica è Scienza di straordinaria importanza per l'umanità. L'Astrofisica italiana in particolare vive in questi anni un momento di grande sviluppo e di leadership a livello internazionale. Le tecnologie e i metodi di analisi impiegati per lo studio dei fenomeni cosmici si rivelano straordinariamente vicini alla vita di tutti i giorni, dimostrando come l'attività scientifica e in particolare le osservazioni e gli studi astrofisici siano di grande importanza.

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) è l'Ente di Ricerca italiano focalizzato sullo studio dell'Universo e opera sotto l'egida del Ministero dell'Università e Ricerca (MUR). L'INAF è costituito da 16 Strutture di Ricerca, da Sezioni INAF presso diverse Università e dalla Sede Centrale di Monte Mario a Roma. L'Istituto ha circa 1200 unità di personale tra ricercatori, tecnologi e personale tecnico-amministrativo-gestionale e include l'attività di diverse centinaia di giovani ricercatrici e ricercatori a tempo determinato e di personale docente e di ricerca di molte Università italiane e straniere che risulta associato all'INAF. Una comunità molto attiva nei diversi settori dell'Astrofisica contemporanea.

Il Piano Triennale dell'INAF per gli anni 2023-2025 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 2022-2024. Le tematiche scientifiche e tecnologiche dell'INAF si focalizzano in cinque Raggruppamenti Scientifici Nazionali: 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 ricercatrici e ricercatori INAF sono fortemente impegnati su praticamente tutti i fronti dell'Astrofisica moderna operando con strumentazione e dati ottenuti sia da terra che dallo spazio. I contributi fondamentali dell'INAF che si riflettono in questo Piano Triennale si focalizzano sullo studio dei primordi dell'Universo e della cosmologia includendo gli effetti della Materia Oscura e della Energia Oscura, lo studio delle stelle e della loro formazione in galassie, lo studio di oggetti compatti relativistici e delle manifestazioni elettromagnetiche e gravitazionali dei buchi neri, l'analisi di processi estremamente energetici di accelerazione di particelle e raggi cosmici, lo studio del Sole con le sue applicazioni di Space Weather, l'esplorazione del Sistema Solare, la ricerca di esopianeti e la ricerca della vita in ambiti extra-terrestri. Per raggiungere tali scopi in un ambiente internazionale molto competitivo l'INAF è impegnato nello sviluppo innovativo di tecnologie e di metodi di analisi di Big Data all'avanguardia. L'Astrofisica dell'INAF è quindi motore di innovazione continua e di virtuosa interazione del mondo della ricerca con quello dell'industria e della società. Lo testimoniano le decine di importanti progetti scientifici dell'INAF portati avanti con le imprese italiane in prima linea.

L'INAF rappresenta l'Italia in istituzioni internazionali di Astrofisica di enorme rilevanza quali l'ESO, SKA e CTA. Inoltre, l'INAF è coinvolto in ruolo di leadership in numerosi progetti spaziali sviluppati in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana e con molteplici Università e istituzioni nazionali e internazionali. L'INAF collabora proficuamente con tutti i principali Enti di Ricerca italiani (CNR, INFN, INGV).

Il presente Piano Triennale di Attività 2023-2025 include, oltre al testo cartaceo, una sezione importante costituita da **851 Schede di Progetto INAF-2023** che includono tutti i progetti scientifici, tecnologici e di Terza Missione presentati dalla comunità INAF. L'informazione scientifica delle Schede di Progetto INAF-2023 è accessibile via web e costituisce l'ossatura delle attività dell'Ente, che risulta in aumento di circa il 6,6% rispetto al 2022.

I progetti delle Schede INAF sono stati visionati da Commissioni dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali che hanno contribuito alla stesura del PTA. Ne emerge un quadro di attività con una visione co-partecipata e una governance scientifica consolidata. Di notevole importanza a partire dal 2022, e continuato con successo nel 2023, è il finanziamento su scala competitiva nazionale di progetti INAF di "Astrofisica Fondamentale" che enfatizza la creatività scientifica e tecnologica sia individuale che di gruppi di ricerca del personale INAF dando particolare enfasi ai progetti delle giovani ricercatrici e ricercatori.

L'INAF è fortemente impegnato in molteplici progetti di ricerca di terra e dallo spazio in ambito PNRR (Missione 4, "Dalla Ricerca all'Impresa"). Le Schede INAF-2023 riflettono pienamente questo sforzo che coinvolge la comunità INAF e le Strutture di Ricerca in progetti mirati al rafforzamento di infrastrutture nazionali e internazionali di grande rilievo e allo sviluppo rafforzato con le imprese. L'ambizione scientifica e tecnologica dei progetti PNRR dell'INAF e i requisiti sfidanti di tali programmi porteranno a un'importante crescita dell'Ente nel corso dei prossimi anni sia dal punto di vista tecnico-scientifico che amministrativo-gestionale.

L'INAF si rivela quindi Ente di Ricerca in continua crescita: un contributo fondamentale e unico nel suo genere nel panorama internazionale alla conoscenza dell'Universo e al progresso dell'Italia.

Il Presidente INAF
Marco Tavani

INDICE

1. Premessa.....	7
2. L'Ente.....	7
2.1. Nome Descrizione e Finalità	7
2.2. Missione ed affinità con altri Enti nazionali ed internazionali.....	8
2.2.1. Aderenza con il DVS, PNR ed altre roadmaps.....	8
2.2.1.1. Documento di Visione Strategica	8
2.2.1.2. Programma Nazionale delle Ricerca (PNR)	9
2.2.1.3. Roadmap ESFRI.....	10
2.2.1.4. Roadmap ASTRONET	10
2.2.2. Produzione Scientifica dell'Ente.....	10
2.3. Organizzazione dell'Ente.....	13
2.3.1. Le Strutture di Ricerca, caratteristiche, localizzazione e logistica	15
2.3.2. Tipi di laboratori e di strumentazione specifica.....	17
2.3.3. Sedi Osservative ed Infrastrutture di Ricerca Nazionali.....	17
2.4. Sostenibilità e Programmazione.....	18
2.4.1. Pianificazione delle attività di ricerca.....	19
2.4.2. Controllo dei prodotti delle Attività di Ricerca	19
2.4.3. Leadership scientifica con record elevato di pubblicazioni.....	20
3. Attività a carattere Internazionale	21
3.1. Partecipazione a reti ed infrastrutture a carattere internazionale.....	21
3.2. Posizionamento dell'Ente in contesti di ricerca internazionali	21
4. Attività Scientifica e Risultati.....	22
4.1. Attività di Ricerca fondamentale ed applicata.....	22
4.1.1. Raggruppamento Scientifico Nazionale 1 – Galassie e Cosmologia.....	22
4.1.2. Raggruppamento Scientifico Nazionale 2 – Stelle, Popolazioni Stellari e Mezzo Interstellare	25
4.1.3. Raggruppamento Scientifico Nazionale 3 – Sole e Sistema Solare.....	29
4.1.4. Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 – Astrofisica Relativistica e Particelle	32
4.1.5. Raggruppamento Scientifico Nazionale 5 – Tecnologie Avanzate e Strumentazione	35
4.2. Progetti Attivi.....	39
4.2.1. Progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).....	39
4.2.1.1. STILES.....	39
4.2.1.2. CN HPC.....	40
4.2.1.3. NG Croce	42
4.2.1.4. EMM.....	43
4.2.1.5. CTA+	44
5. Attività Esterna e di Servizio alla Comunità.....	47

5.1.	Space Situational Awareness (SSA).....	47
5.1.1.	Space Surveillance and Tracking (SST)	47
5.1.2.	Space Weather (SW)	48
5.2.	Tomografia Muonica dei Vulcani Attivi	49
5.3.	Ricerca per la lotta al COVID-19	49
5.4.	Altre Attività Esterne all'Ente	50
5.4.1.	Rappresentanze in altri Enti di Ricerca o Istituzioni nazionali ed internazionali.....	50
6.	Attività di Terza Missione	51
6.1.	Valorizzazione economica della conoscenza	51
6.2.	Alta Formazione	52
6.3.	Public Engagement.....	52
6.3.1.	Informazione e Comunicazione.....	53
6.3.2.	Divulgazione	54
6.3.3.	Didattica (Education)	55
6.4.	Biblioteche, archivi storici e Musei.....	56
7.	Infrastrutture di Ricerca	58
7.1.	Infrastrutture da Terra.....	58
7.1.1.	Infrastrutture in funzione.....	58
7.1.2.	Infrastrutture in costruzione	60
7.1.3.	Infrastrutture da Spazio.....	62
7.2.	Infrastrutture Informatiche	64
8.	Risorse umane e loro gestione.....	66
8.1.	Dotazione organica.....	67
8.2.	Fabbisogno del Personale e Programmazione	68
8.3.	Politiche di reclutamento nel triennio.....	76
8.3.1.	Azioni previste per il 2023	76
8.3.2.	Assunzioni obbligatorie per il Triennio 2022-2024	79
8.4.	Borse di Studio di pre-dottorato, di PhD e post-doc	80
8.5.	Attività di formazione per il Personale	80
9.	Patrimonio, Bilancio e Fabbisogno di Risorse.....	81
9.1.	Patrimonio	81
9.2.	Bilancio	81
9.2.1.	Stato del bilancio annuale e di previsione.....	81
9.2.2.	Immagine proiettiva dei successivi tre anni	85
9.2.2.1.	Entrate Previste	85
9.2.2.2.	Spese Previste per l'Anno 2023	85
9.2.3.	Rapporto tra le risorse interne ed esterne.....	87
9.3.	Spese per il Personale.....	88
9.4.	Azioni volte al risparmio sulla conduzione dell'Ente.....	89
9.5.	Società Partecipate e Fondazioni	90

10. Elenco degli Allegati in Forma Elettronica.....	91
Lista degli Acronimi.....	92

1. Premessa

L'aggiornamento al Piano Triennale di Attività (PTA) dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) per il triennio 2023-2025 è conforme in formato e contenuti al modello introdotto per la prima volta nell'aggiornamento 2021-2023. 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 frutto di un processo di ricognizione partecipata e di 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. Tali Schede sono confluite in un database che viene aggiornato annualmente nel processo di redazione del PTA. Quest'anno sono state introdotte o aggiornate 851 schede (lo scorso anno erano 798) 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. La parte descrittiva del presente documento deriva dalla sintesi operata dai CSN sul materiale ricevuto in tutte le Schede. Sotto suggerimento del Consiglio Scientifico, una novità introdotta quest'anno è la costituzione di un Gruppo di Lavoro specifico per la redazione del PTA, con rappresentanti dei CSN, che tiene conto dei commenti degli anni precedenti.

Il documento corrente del PTA 2023-2025 risulta aggiornato rispetto al PTA 2022-2024 in diverse parti, di cui le sezioni più rilevanti sono: (1) l'introduzione del Presidente ed Executive Summary; (2) l'aderenza al Piano di Visione Strategica; (3) i programmi e i progetti di ricerca sia di natura scientifica e tecnologica afferenti ai diversi Raggruppamenti Scientifici Nazionali sia progetti di Terza Missione e multi-disciplinari (con relativo aggiornamento di 851 Schede di Progetto INAF disponibili on-line); (4) la descrizione della Unità Scientifica Centrale dedicata al Calcolo, recentemente attivata; (5) l'inserimento nel flusso delle attività dell'Ente dei programmi consolidati del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR); (6) la programmazione del personale e relative tabelle; (7) il prospetto finanziario dell'Ente; (8) 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'INAF è l'Ente pubblico di ricerca tematico, vigilato dal MUR, che si occupa di ricerca di base ed applicata nei settori di astrofisica, astronomia ed esplorazione scientifica del Cosmo e 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, inclusa 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 affine, a livello nazionale, all' INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - pur avendo quest'ultimo un ordinamento giuridico a sé stante) e all'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) essendo tali enti gli unici di tipo monotematico. Invece, 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 lo studio dell'universo e del Sistema Solare, oltre a sistemi a terra per la sorveglianza dello Spazio (detriti spaziali, Near Earth Objects, 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, menzioniamo: in Francia l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU) parte del Centre national de la recherche scientifique (CNRS); in Spagna l'Istituto de Astrofisica de Canarias (IAC) e l'Istituto de Astrofisica de Andalucia (IAA), il primo autonomo ed il secondo parte del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); in Messico Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE); in Australia l'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 (DVS) dell'INAF per il periodo 2019-2029, in corso di validità, è stato pubblicato dal precedente Consiglio Scientifico dell'Ente ed è reperibile al seguente link: <https://pta.inaf.it>

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

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-messaggera
5. L'astrofisica fondamentale

Fornisce inoltre le seguenti raccomandazioni generali:

- Fornire supporto all'astrofisica teorica
- Incoraggiare la creazione e coordinazione di grandi gruppi di ricerca
- Fornire supporto a progetti di "ricerca di base"
- Incoraggiare le partnership interdisciplinari
- Migliorare la cooperazione con 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, che riflette le priorità e raccomandazioni del DVS, ne rappresenta una declinazione operativa per il triennio, aggiornata di anno in anno.

Il PTA, le cui azioni qui riportate riflettono puntualmente tutte le raccomandazioni del DVS, ha anche la funzione di complementare il DVS stesso, 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.

In particolare: (1) nel corso del 2023 si è continuato il supporto per finanziamenti competitivi di ricerca di base di tipo teorico, e proseguito l'esteso programma di finanziamento su base competitiva della ricerca di base in ambito INAF; (2) si sono sostenuti numerosi gruppi di ricerca medio-grandi per affrontare al meglio i grandi programmi internazionali; (3) nel corso del 2023 è continuato il supporto al finanziamento della Ricerca Fondamentale; (4) si sono fortemente incoraggiate le collaborazioni interdisciplinari coinvolgendo altri Enti di Ricerca (quali CNR, INGV, INFN), con particolare riferimento ai grandi progetti del PNRR; (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 (incluso programmi PNRR); (6) si è ulteriormente consolidato il ruolo dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali (RSN) che hanno per la seconda volta eletto i propri rappresentanti nei CSN e che ora partecipano pienamente al processo di visione di tutti i progetti di ricerca dell'Ente.

2.2.1.2. Programma Nazionale della Ricerca (PNR)

Il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) del 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 l'eccellenza in settori specifici della ricerca di 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;

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 coordina a livello nazionale la ricerca in Astrofisica ed esplorazione del Sistema Solare contribuendo per ruolo al coordinamento europeo ed internazionale della stessa. Infine, l'INAF 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. Pertanto, l'INAF adempie alle priorità del PNR 2021-27 qui descritte.

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 (European Strategy Forum on Research Infrastructures) o ne hanno fatto parte in passato. Le infrastrutture ESFRI che vedono l'INAF direttamente coinvolto sono:

- ELT: Extremely Large Telescope
- SKA: Square Kilometre Array
- CTA: Cherenkov Telescope Array

Queste infrastrutture sono anche oggetto di progetti PNRR a guida INAF recentemente approvati: STILES, per il potenziamento di ELT e SKA e CTA+ per il potenziamento di CTA.

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.

INAF si propone come interlocutore privilegiato di INFN per lo studio e la realizzazione dell'Einstein Telescope (ET), rivelatore di onde gravitazionali di prossima generazione. INAF partecipa al progetto PNRR ETIC a guida INFN dedicato allo studio preliminare di ET e sostiene la candidatura della miniera dismessa di Sos Enattos, presso Lula in Sardegna, come sito dell'infrastruttura, lanciata dalla Presidente del Consiglio Giorgia Meloni il 06.06.2023 proprio dalla Sede Centrale INAF a Roma.

INAF partecipa inoltre, attraverso il progetto PNRR KM3Net a guida INFN, al potenziamento del rivelatore di neutrini in costruzione nel mare al largo della Sicilia.

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, ha 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 dei documenti è stata pubblicata quest'anno.

2.2.2. Produzione Scientifica dell'Ente

La produzione scientifica dell'Ente può essere valutata analiticamente mediante rendicontazione dei prodotti della ricerca pubblicati presso le maggiori riviste scientifiche indicizzate a livello mondiale mediante un opportuno database professionale (quale e.g. *Scopus*) in grado di tracciare correttamente numero di prodotti e citazioni in modo omogeneo e comparabile tra diversi settori scientifico-disciplinari (come già avviene, ad esempio, nelle Abilitazioni Scientifiche Nazionali, ASN).

In questo contesto, Scopus può essere consultato mediante query personalizzate al fine di ottenere una fotografia della produzione scientifica dell'Ente nell'ultimo quinquennio. Si riporta, per massima trasparenza e riproducibilità dei dati, la query utilizzata per le sintesi tracciate in questo paragrafo:

AFFIL (inaf) OR AFFIL (iaps) OR AFFIL (ira) OR AFFIL (i.n.a.f.) OR AFFIL (i.r.a.) OR AFFIL (i.a.s.f.) OR AFFIL (i.a.p.s.) OR AFFIL (iasf) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "PHYS") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATH") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MULT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MEDI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CENG") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "IMMU"))

Utilizzando la query riportata sopra, Scopus mostra che INAF ha pubblicato 11.385 prodotti (dati aggiornati a luglio 2023) ripartiti, per anno, secondo quanto illustrato in Figura 1. Essi si riferiscono a pubblicazioni in cui i Ricercatori/Tecnologi INAF oppure gli associati INAF risultino a primo autore oppure co-autori (considerando tutte le affiliazioni disponibili in caso di molteplice affiliazione di un Autore come avviene, ad esempio, per gli associati INAF Universitari).

Documents by year

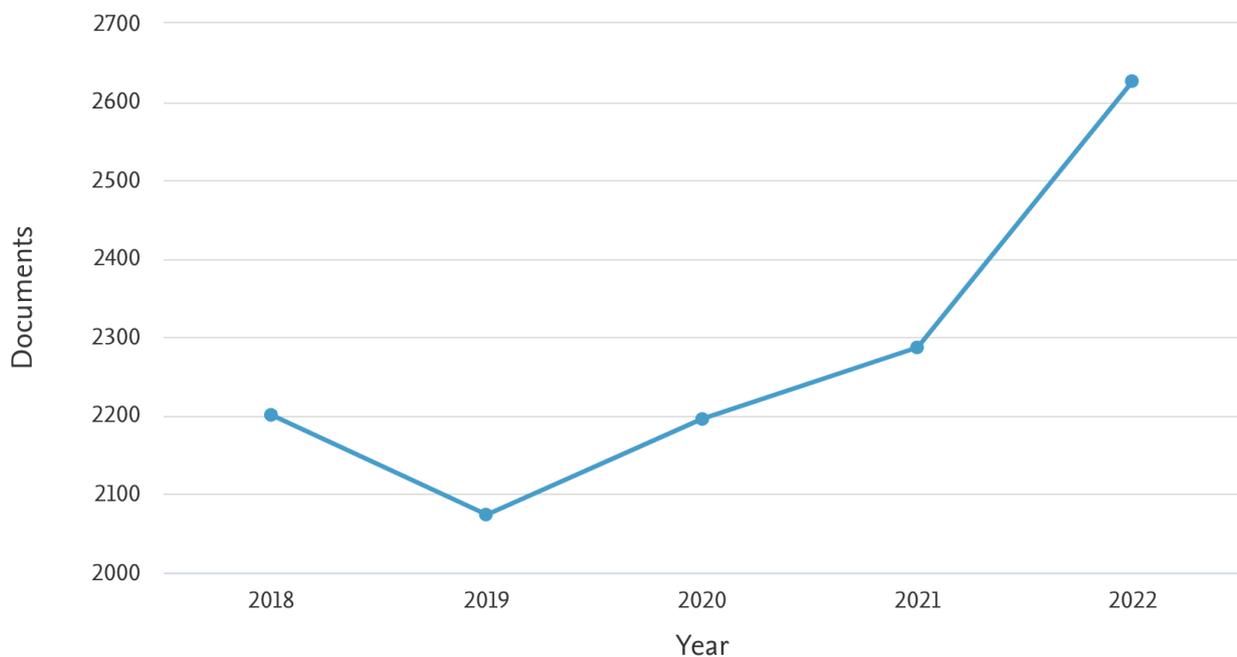


Figura 1 Produzione scientifica dell'Ente nel quinquennio 2018-2022

Di questi, circa l'83% appartiene alla categoria *Articoli sottoposti a revisione tra pari (Peer Reviewed, comprese Lettere e Reviews)* mentre il 14.8% è rappresentato da pubblicazioni in proceedings o atti di congresso (Figura 2). I primi 5 lavori, ordinati in base alle citazioni in ordine decrescente, contano oltre 2500 citazioni accumulate in meno di 5 anni attestandosi all'interno del 99esimo percentile della distribuzione mondiale dei papers, di simile area tematica, censiti in Scopus (*Citation Benchmarking Scopus*®).

In queste pubblicazioni, tutte sottoposti a peer review, i Ricercatori/Tecnologi e associati dell'Istituto compaiono come co-autori mentre, a livello tematico, queste pubblicazioni si riferiscono alle missioni spaziali Planck e Gaia (2), a codici numerici di ampio ambito astrofisico (1) ed alla Fisica delle particelle (2).

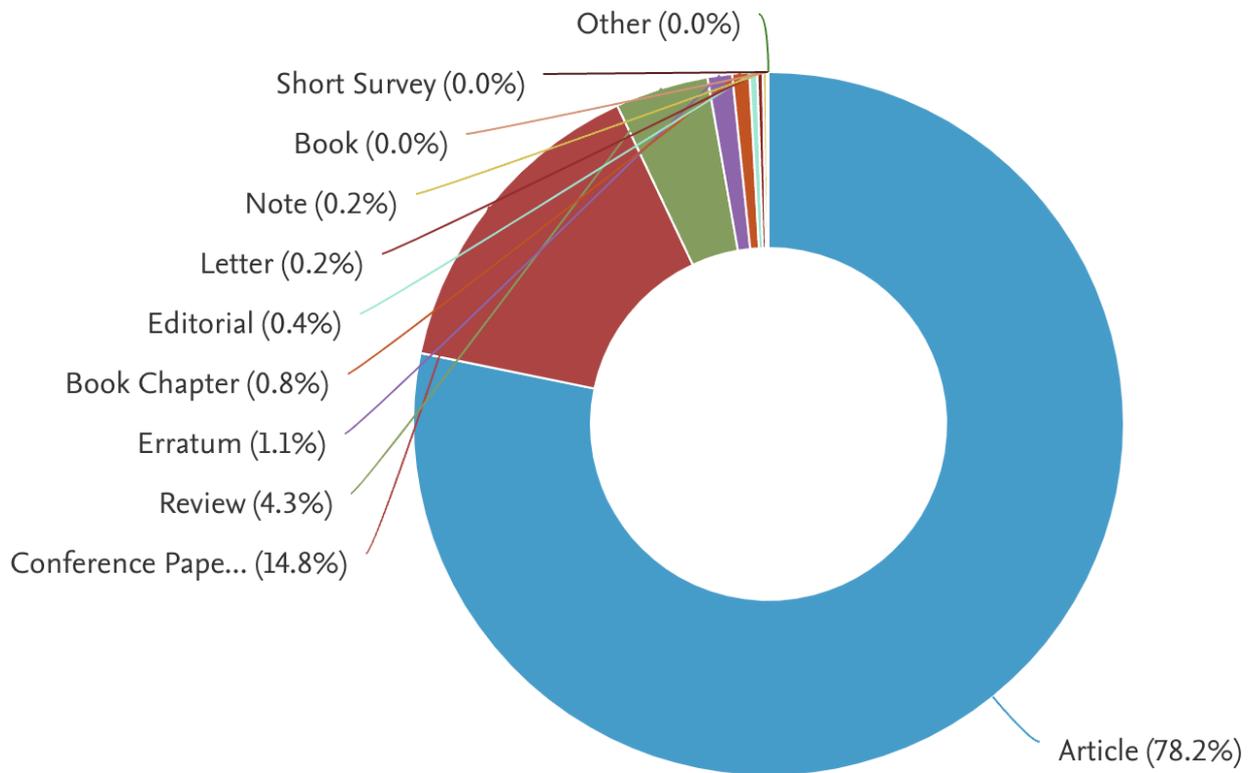


Figura 2 - Distribuzione della produzione scientifica INAF

Per quanto concerne le riviste di riferimento di settore, si riporta in Figura 3 la distribuzione delle pubblicazioni nelle prime 5 riviste che costituiscono la maggioranza della produzione scientifica in INAF.

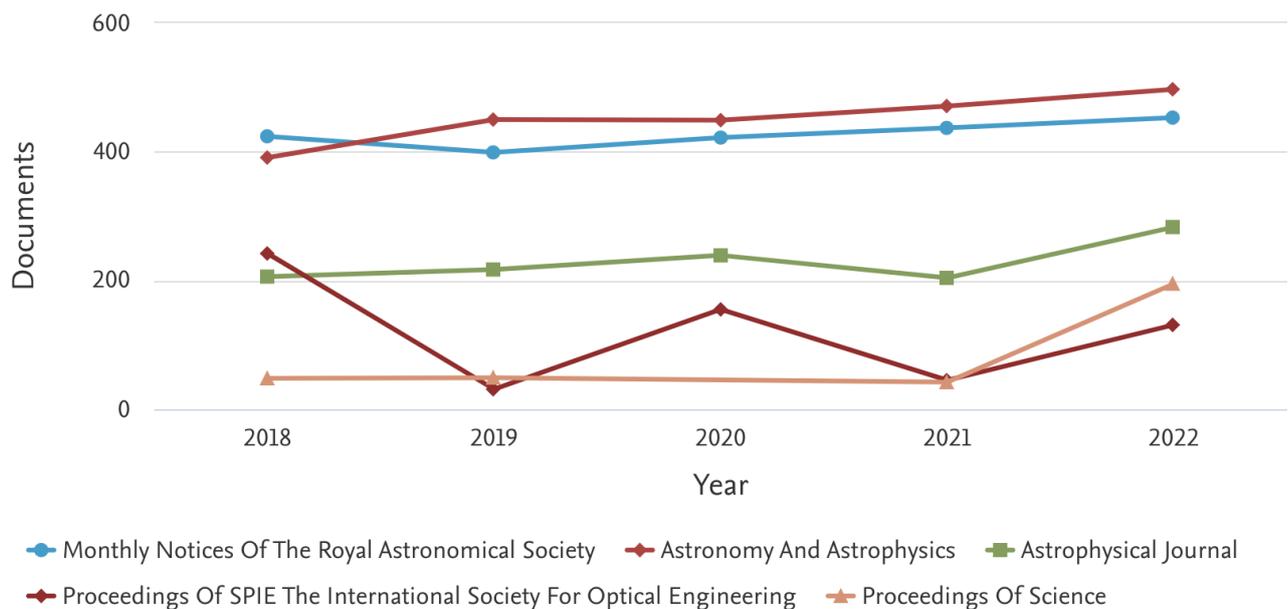


Figura 3 - Distribuzione della produzione scientifica nelle prime 5 riviste

È possibile notare dal grafico riportato che la produzione scientifica dell'Ente è orientata verso le riviste di settore maggiormente quotate quali ad esempio *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS), *Astronomy & Astrophysics* (compresa Letter) ed *Astrophysical Journal* (la quale, al contrario delle riviste precedenti, richiede spese di pubblicazione). Inoltre, per quanto riguarda i proceedings, la maggioranza di essi è pubblicata su riviste e/o atti di convegno di elevata rilevanza internazionale quali, e.g., *Proceedings SPIE*, *Proceedings of Science*.

Infine, INAF ha da sempre mantenuto una solida e costante produzione scientifica orientata alle riviste multidisciplinari caratterizzate da elevatissimo *Impact Factor* (e.g. *Nature*, *Physical Review*) a testimonianza della qualità della Ricerca condotta all'interno dell'Ente.

La Figura 4 testimonia, nel quinquennio 2018-2023, il trend mettendo in evidenza il numero di pubblicazioni dei Ricercatori e Tecnologi dell'Ente su riviste quali *Nature*, *Science* e *Physical Review*.

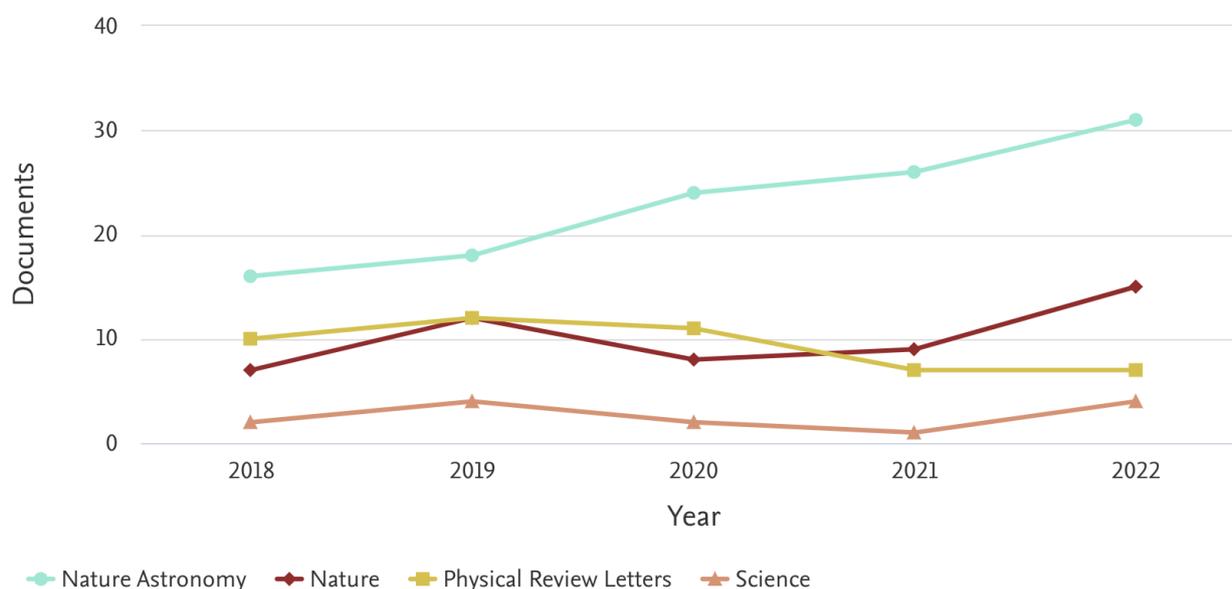


Figura 4 - Numero di pubblicazioni INAF su riviste ad alto impact factor (e.g., *Nature*, *Science*..) nel quinquennio 2018-2022

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. I ricercatori e tecnologi che svolgono le proprie attività nelle Strutture di Ricerca afferiscono a cinque RSN definiti dal Consiglio di Amministrazione.

Lo schema di funzionamento dell'Ente è rappresentato in Figura 5. 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 dalle due direzioni apicali paritetiche **Direzione Generale** e **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 governo 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.

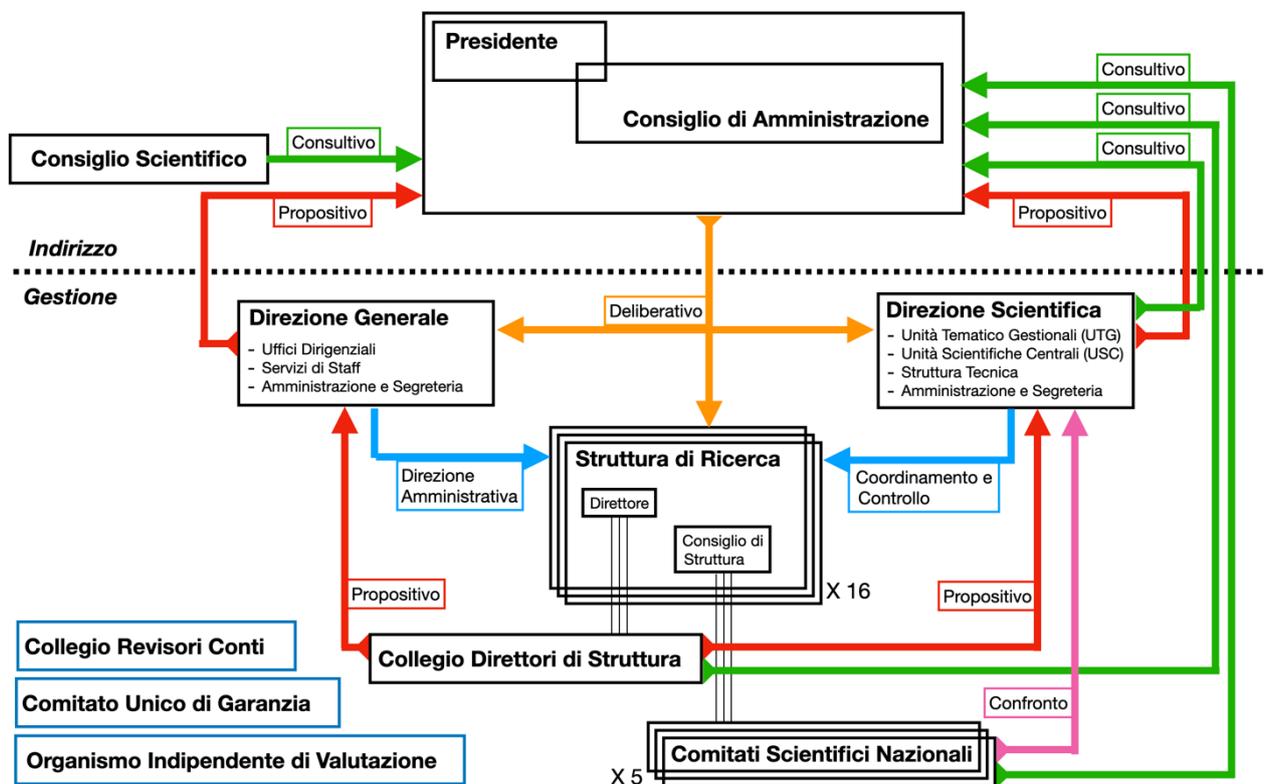


Figura 5 - Schema della Organizzazione dell'INAF

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.

È 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)*.

- 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";

È inoltre dotata di quattro *Unità Scientifiche Centrali (USC)*:

- 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 una "Struttura di Supporto Amministrativo" a sostegno delle attività della Direzione Scientifica e delle UTG.

I Ricercatori e Tecnologi dell'INAF afferiscono, per libera scelta, ad uno degli **RSN**, 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 **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 dallo statuto. Il Collegio dei Direttori di Struttura ed i CSN hanno contribuito per le parti di loro competenza alla redazione di questo aggiornamento del PTA.

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 16 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 1 è riportato il personale in servizio presso le varie Strutture di Ricerca per tipologia (alla data del 3 luglio 2023).

STRUTTURA	TI (I-III)	TI(IV-VIII)	TD (I-III)	TD (IV-VIII)	AR e Borsisti	Totale
IAPS Roma	94	25	14	6	48	187
OARoma	70	25	10	2	27	134
OASBologna	87	18	7	2	12	126
OAArcetri	67	19	9	3	26	124
OAPadova	62	20	9	1	32	124
OABrera	55	20	10	1	16	102
IRA	45	37	5	6	8	101
OATrieste	49	18	5	5	21	98
OACapodimonte	54	24	7	1	11	97
OACatania	45	26	4	1	17	93
OATorino	52	24	1	2	9	88
OACagliari	36	14	3	7	13	73
OAPalermo	26	16	4	1	5	52
IASF Mi	31	9	2	0	6	48
OAAbruzzo	24	9	3	2	2	40
IASF Pa	22	9	1	0	7	39
Totale	819	313	94	40	260	1526

Tabella 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 sedi in edifici di interesse storico. Queste sono 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.

Tali 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). È 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 sono locate, 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. È il caso della sede di Merate (LC) per l'Osservatorio di Brera, della Sede di Pino Torinese per l'Osservatorio di Torino, della Sede di Asiago per l'Osservatorio di Padova, della sede di Loiano per l'Osservatorio di Bologna, della Sede di Monte Porzio Catone per l'Osservatorio di Roma, della Sede di Campo Imperatore per l'Osservatorio d'Abruzzo, della sede di Serra la Nave, sull'Etna, per l'Osservatorio di Catania. In questi casi i vincoli storici sono ridotti o non presenti, ma l'accessibilità delle sedi, indubbiamente disagiate, è minore.

2.3.2. Tipi di laboratori e di strumentazione specifica.

L'attività osservativa, che è alla base dell'impegno scientifico dell'Ente, ha come "laboratori" le infrastrutture osservative (telescopi, radio antenne e rivelatori elettromagnetici di altro genere) sia da terra che dallo 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 (Veneto): 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.
- Sardinia Radio Telescope (San Basilio – Sud Sardegna). Antenna parabolica da 64 m di diametro, inaugurato nel 2013.
- 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 (Siracusa). Antenna parabolica da 32 m di diametro, inaugurata nel 1988.
- Osservatorio M.G. Fracastoro - Serra la Nave (Catania). Telescopi robotici e prototipo telescopio Cherenkov ASTRI-Horn d'Arturo, inaugurato nel 2014.

A questi si aggiunge il Telescopio Nazionale Galileo (TNG), descritto in dettaglio in seguito. Il TNG, pur essendo una Infrastruttura di ricerca nazionale, è collocato all'Osservatorio 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.

Il 2023 conferma l'aumento del FOE, sia Ordinario che Straordinario, iniziato nel 2021 (Figura 6) con l'aggiunta di specifici fondi a sostegno di "programmi di ricerca fondamentale" ed una rimodulazione degli importi allocati alla strumentazione per lo European Southern Observatory (ESO). Tale sostegno per "programmi di ricerca fondamentale", che ha visto un incremento nel corso del 2022, è stato consolidato anche per il 2023 e rappresenta una delle più interessanti novità per la ricerca scientifica in INAF.

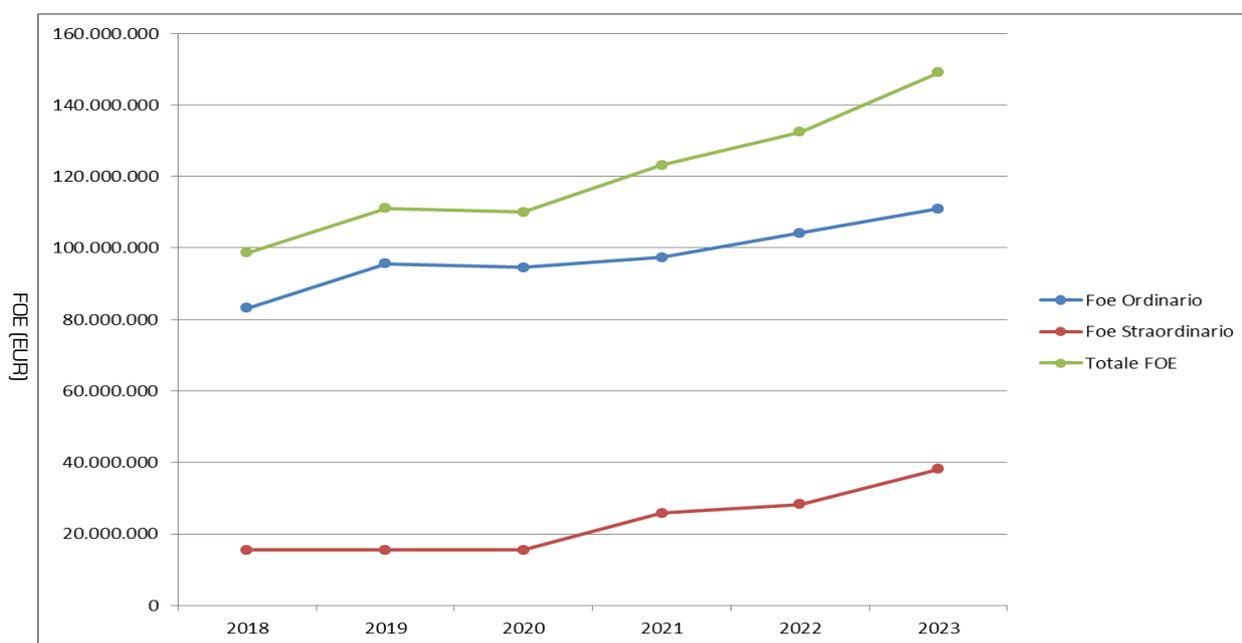


Figura 6 - Andamento FOE 2018-2023

Il FOE Straordinario include attività di ricerca a carattere internazionale, a carattere speciale e a carattere continuativo a valere sul riparto del FOE, e sostiene tutte le operazioni delle nostre infrastrutture da Terra (descritte in Sezione 7 del presente documento).

INAF opera in aggiunta sulla base di finanziamenti pluriennali per iniziative progettuali specifiche. Tra questi, spiccano i finanziamenti ASI (circa 13 M€ in media per anno nel triennio 2020-2022) che sostengono lo sviluppo, la costruzione e lo sfruttamento scientifico delle missioni spaziali che INAF realizza con ASI. Si aggiungono a questi i finanziamenti comunitari (9,5 M€ in media per anno nel triennio 2020-2022) che i ricercatori INAF intercettano attraverso bandi competitivi (ad esempio, ERC, H2020 e Horizon Europe).

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 (ad esempio, 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 2023 e gli anni successivi sono inoltre caratterizzati dall'avvio di tutti i progetti legati al PNRR in cui INAF è coinvolto. In particolare, sono stati avviati i progetti CTA+, STILES, NG-CROCE, EMM e il Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing (HPC) i cui dettagli sono riportati al paragrafo 4.2.1, Capitolo 4.

Dettagli circa i finanziamenti sopra citati per il triennio di riferimento sono riportati nella Sezione 9 del presente documento.

2.4.1. Pianificazione delle attività di ricerca.

Come già accennato nella Premessa, 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 descrittive di 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.

La ricerca in INAF, come si può notare dalle Schede (https://schede.inaf.it/consulta/lista_schede_archivio?anno=2023), 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, le missioni spaziali, sulla quale si innestano attività a carattere scientifico e tecnologico basate sull'utilizzo o sul miglioramento delle infrastrutture esistenti.

Come atto propedeutico all'aggiornamento del PTA, i 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 presentazione 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). INAF ha accreditato 743 Ricercatori/Tecnologi sottoponendo a valutazione un totale di **2055 prodotti** della ricerca pubblicati nel periodo di riferimento.

Dai risultati aggregati resi disponibili da ANVUR, INAF si colloca come terzo Ente vigilato dal MUR, sia in area Ricerca che in area Terza Missione, rispetto all'indice quali-quantitativo IRAS1-3 che sintetizza qualità e numerosità dei prodotti della Ricerca sottoposti dagli Istituti per valutazione comparativa. 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'INAF ha inoltre sottoposto 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 e al Public Engagement.

INAF 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 successivo PTA.

2.4.3. Leadership scientifica con record elevato di pubblicazioni

Partendo dal campione del personale INAF censito da ANVUR per l'esercizio VQR 2015-2019, inquadrato nel ruolo di ricercatore/ricercatrice o associato/a, e facendo riferimento al database internazionale NASA Astrophysics Data System (ADS, specializzato nella bibliografia di articoli di Astronomia ed Astrofisica) si è proceduto all'estrazione della produzione scientifica riassunto nella Figura 7.

In dettaglio, nel pannello di sinistra della Figura 7 si riporta il *boxplot* che illustra l'andamento dell'indice di Hirsch (indice H) in funzione della età anagrafica dei ricercatori/ricercatrice, mentre nel pannello di destra si riporta il *boxplot* relativo all'indice m (espresso come il rapporto tra l'indice H e gli anni in attività) in funzione dei medesimi *bin* di età. Si può notare come i primi 8 ricercatori dell'INAF, ordinati in base all'indice H , possiedano un H superiore a 80. 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 distribuzione è 40.

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 si nota un lieve e fisiologico calo, funzione dell'età anagrafica dei ricercatori. È inoltre importante osservare come i ricercatori più giovani, che popolano i primi due *bin* del plot, dominino il valore assoluto della distribuzione.

Anche per l'indice H 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.

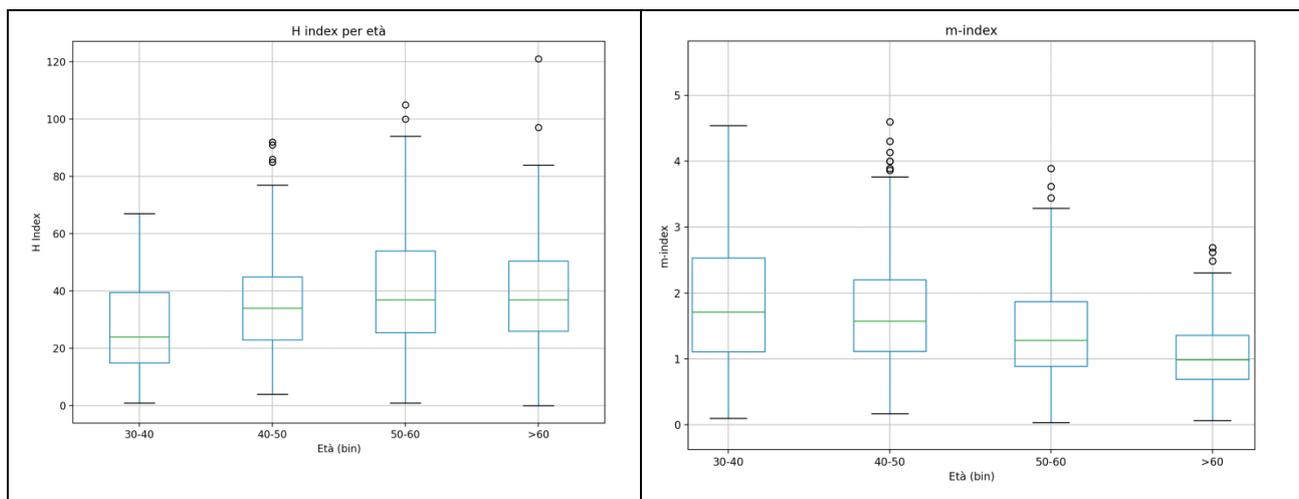


Figura 7 - *Boxplots* raffiguranti l'andamento dell'indice H (pannello di sinistra) e l'indice m (pannello di destra) in funzione dell'età degli accreditati INAF all'esercizio VQR 2015-2019. Le *box* indicano la collocazione del secondo e terzo quartile della distribuzione

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'organo 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'organo di governo della Organizzazione e molte altre figure organizzative a livello tecnico, amministrativo e scientifico.
- **LOFAR (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). Si è appena concluso il processo di costituzione della ERIC che diventerà operativa nel corso del 2023.
- **MeerKAT+.** MeerKAT+ è una estensione con 13 parabole da 15mt di diametro dell'array MeerKAT (64 parabole da 13.5 mt di diametro) operato dal South African Radio Astronomical Observatory (SARAO) nel deserto del Karoo. INAF ha concluso un accordo di collaborazione con SARAO e Max Planck per contribuire alla costruzione e sfruttare scientificamente l'infrastruttura.
- **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 2023, 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

La ricerca in INAF è organizzata secondo cinque principali filoni tematici corrispondenti ai Raggruppamenti Scientifici Nazionali (RSN) definiti nella Sezione 2.3 di questo documento e che verranno illustrati nei paragrafi seguenti, uno per ciascun RSN.

È opportuno sottolineare che quanto verrà descritto in questa Sezione è una sintesi delle tematiche più rilevanti in termini di personale coinvolto e di investimento economico. Tuttavia, non è completamente esaustivo del panorama di tutte le attività condotte dai ricercatori INAF nei relativi raggruppamenti. È infatti importante ricordare la moltitudine di attività di ricerca di base svolte in INAF nei 5 Raggruppamenti che sono meno visibili ma comunque rilevanti ed indispensabili fucine di nuove idee e teorie alla base delle conquiste scientifiche e tecnologiche. È infine importante sottolineare che sono molteplici le trasversalità e sinergie tra vari RSN, dovute alla multidisciplinarietà che caratterizza la ricerca astrofisica.

Nelle varie sezioni qui illustrate sarà possibile apprezzare il ruolo di leadership conquistato negli anni dall'Ente relativamente alle varie tematiche di ricerca affrontate in ciascun settore, alla capacità di consolidare e guidare importanti reti di collaborazione a livello internazionale e della capacità di realizzare strumentazione e sviluppare nuove tecnologie di ampio respiro internazionale.

4.1.1. Raggruppamento Scientifico Nazionale 1 – Galassie e Cosmologia

Comprendere modalità e tempi scala della formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche a diverse epoche e in diversi ambienti rappresenta una delle sfide principali dell'astrofisica moderna. Questa ricerca include studi osservativi, teorici e computazionali che hanno l'obiettivo di rispondere alle seguenti domande:

1. Quali sono i meccanismi 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?

Questi studi hanno importanti ricadute anche nell'ambito della formazione stellare, dell'astrofisica delle alte energie e della fisica fondamentale (come teorie della gravità e generazione di onde gravitazionali), tematiche trattate da RSN2 e RSN4. La cosmologia è descritta da un modello "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.

Le iniziali fluttuazioni di densità, "fotografate" dalla radiazione cosmica di fondo a microonde, danno origine per instabilità gravitazionale alle prime stelle, galassie e aggregati di galassie, con l'avvio del processo di re-ionizzazione del mezzo intergalattico e della sintesi dei metalli che vengono poi diffusi nel mezzo circostante. Le proprietà della materia all'interno di questi sistemi sono regolate da una complessa rete di meccanismi fisici. Questi processi definiscono una serie di azioni, reazioni ed auto-regolazioni che agiscono sulla distribuzione della materia e determinano il "ciclo dei barioni", ovvero lo scambio di materia ed energia tra le diverse componenti galattiche (gas freddo, gas caldo, stelle) e il mezzo circum- e inter-galattico. Le interazioni tra galassie, come pure la presenza in esse di buchi neri supermassicci, hanno ripercussioni importanti sulla loro storia evolutiva.

In questo contesto generale i ricercatori INAF hanno raggiunto risultati di particolare rilievo nei seguenti ambiti:

- la caratterizzazione delle prime galassie e dei buchi neri massicci nell'Universo giovane tramite osservazioni multibanda, anche con l'ausilio di lenti gravitazionali;
- la stima sempre più precisa delle proprietà delle galassie, quali la capacità di formare stelle e le abbondanze chimiche, a diverse epoche cosmiche grazie a campagne spettroscopiche profonde;
- il tracciamento dell'epoca di formazione e l'evoluzione dei (proto-)ammassi di galassie e come questi modifichino le proprietà delle galassie stesse al loro interno;
- il test dei modelli cosmologici e dell'evoluzione delle strutture, tramite l'osservazione della materia diffusa in ammassi e filamenti e la demografia di galassie di bassa luminosità.

La comunità RSN1 di INAF è massicciamente impegnata nello studio della formazione e dell'evoluzione delle galassie, attraverso l'analisi delle loro componenti stellari, di gas e polvere, e dei buchi neri supermassicci nei nuclei galattici. Sul tema dell'alba cosmica (redshift $z > 6$), i ricercatori 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. L'identificazione delle prime sorgenti luminose avviene spesso attraverso l'utilizzo di lenti gravitazionali e telescopi di ultima generazione. A redshift intermedi e bassi le survey fotometriche e spettroscopiche profonde forniscono a modelli e studi teorici una solida base per comprendere i meccanismi fisici che determinano le proprietà delle galassie quali le abbondanze chimiche, l'età, il contenuto di gas freddo e polvere, il tasso di formazione stellare. La presenza di nuclei galattici attivi ha un forte impatto sull'evoluzione delle galassie e del mezzo circum-galattico ed inter-stellare attraverso la produzione di getti radio e venti galattici. L'ambiente ed i processi di fusione tra galassie incidono sulla durata della fase in cui queste formano stelle e sulla transizione verso la fase di quiescenza. Questi effetti sono esaminati attraverso il confronto della componente stellare e gassosa di campioni selezionati in regioni con diversa densità e con la mappatura della dinamica interna delle galassie. Per oggetti vicini, numerosi sono stati i progressi resi possibili dall'utilizzo di spettrografi a campo integrale e di interferometri nel sub/millimetrico che permettono di costruire mappe ad alta risoluzione spaziale dal centro alle regioni più periferiche delle galassie. 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 e dinamiche del mezzo interstellare (metallicità, densità e grado di ionizzazione). In questo contesto, si innestano anche gli studi di galassie con bassissima brillantezza superficiale, che vedono un impegno rilevante della nostra comunità, con posizioni di leadership in survey odierne e future. Innovativi ed estesi programmi osservativi, sia in riga che in continuo, alle diverse lunghezze d'onda (dal radio ai raggi X) hanno permesso di far emergere una chiara leadership di INAF nello studio delle proprietà fisiche e cinematiche del gas circum-nucleare, dell'accrescimento (massa del buco nero, output radiativo e produzione di getti radio), ed evoluzione dei nuclei galattici attivi, attraverso anche la ricerca di coppie di AGN nelle fasi finali di fusione tra galassie.

INAF ha inoltre conquistato un ruolo di leadership internazionale nello studio multi-frequenza degli ammassi di galassie. Nell'ultimo decennio la comunità italiana si è distinta per i risultati sui proto-ammassi di galassie ad alto redshift, dei loro discendenti a basso redshift, e della transizione tra i primi e i secondi, con lo scopo di studiare i processi fisici in atto nell'evoluzione delle galassie in ambiente denso e sulla formazione e crescita delle strutture. Diverse sono le campagne osservative guidate da ricercatori INAF, tra cui citiamo, oltre a quelle nel visibile e vicino infrarosso, quelle nei raggi X, finalizzate a studiare la componente termica degli ammassi in termini di pressione, temperatura, densità e metallicità del mezzo intracluster. Di particolare rilievo sono anche gli studi condotti sulla componente non termica (campi magnetici e particelle relativistiche) con radiotelescopi di ultima generazione. I ricercatori INAF sono coinvolti nello studio della distribuzione delle galassie e della materia oscura in ammasso tramite misure dei profili di massa totale e barionica, cinematica, e lensing, fondamentali per la comprensione dell'evoluzione delle strutture cosmiche e delle proprietà della materia oscura.

Negli ultimi anni, la comunità RSN1 di INAF ha partecipato, spesso in ruoli guida o chiave, a importanti survey spettroscopiche di galassie e ad un ampio e approfondito lavoro di preparazione per missioni future nel visibile e vicino infrarosso. 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 nelle microonde. Le anisotropie in intensità e polarizzazione sondano le condizioni iniziali dell'Universo, tra cui le proprietà statistiche delle perturbazioni primordiali, i primi campi magnetici, l'epoca della reionizzazione, la crescita della struttura su larga scala attraverso il lensing gravitazionale e l'effetto termico Sunyaev-Zeldovich negli 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).

Al fine di interpretare i risultati appena descritti, l'attività osservativa è affiancata da un grande sforzo teorico e computazionale della nostra comunità, volto alla modellizzazione dei complessi processi astrofisici in atto nelle sorgenti celesti oggetto di studio. Il fine ultimo è caratterizzare la popolazione di galassie fino ai redshift più elevati accessibili dall'attuale strumentazione, provare l'affidabilità di modelli cosmologici anche attraverso l'osservazione dell'Universo vicino, studiare la fotoionizzazione del gas da attività stellare e nucleare e la crescita dei buchi neri supermassicci nelle galassie, comprendere i processi che regolano la dissipazione e trasformazione dell'energia e il ciclo barionico nelle galassie e negli ammassi. La comunità INAF ricopre, in questo ambito, un ruolo di rilievo nello sviluppo di simulazioni numeriche, modelli teorici, spettrofotometrici, chimici e di trasporto radiativo.

Guardando al futuro, le attività che coinvolgono il nostro ente prevedono l'utilizzo di nuovi strumenti all'avanguardia. L'INAF è un partner chiave nella missione ESA Euclid, il cui lancio è avvenuto il 1° luglio 2023. Euclid osserverà più di un terzo dell'intero cielo nel visibile e nel vicino infrarosso, con una combinazione senza precedenti di risoluzione spaziale, sensibilità ed area. Queste osservazioni saranno combinate con una misura spettroscopica del redshift per diverse decine di milioni di galassie. Ciò consentirà di mappare la struttura a larga scala dell'Universo, misurare la storia dell'espansione e studiare la natura dell'energia oscura, della materia oscura e della gravità su scala cosmologica, realizzare un censimento senza precedenti dei nuclei galattici attivi, delle galassie fino a quelle più diffuse, e degli ammassi di galassie. L'Italia è inoltre uno dei sei paesi fondatori dell'Osservatorio SKA, che gestirà il radiotelescopio più avanzato mai concepito, in grado di rivoluzionare la nostra conoscenza dell'Universo, grazie ad una risoluzione e sensibilità senza precedenti. L'INAF è fortemente coinvolto nello sviluppo dello strumento e nelle attività preparatorie con i suoi precursori e pathfinders (come LOFAR(2.0), MeerKAT(+), ASKAP). Questi strumenti, assieme ad osservazioni in banda X basate su Chandra, XMM-Newton, Swift ed eROSITA (ed in futuro su XRISM e su Athena, missione alla quale INAF partecipa in ruoli chiave) e in banda sub-mm (ALMA, Planck, e LiteBIRD, missione in cui INAF ricopre un ruolo determinante), 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 sondando regioni dello spazio dei parametri e dell'evoluzione cosmica finora inesplorate. Inoltre, in sinergia con Euclid, essi consentiranno studi tomografici del mezzo intergalattico e del lensing forte e debole.

La comunità italiana è stata coinvolta fin da subito nello sfruttamento dei primi dati su campi extragalattici ottenuti con JWST. Il nostro ente è altresì coinvolto in altri progetti in corso che saranno determinanti per lo studio della struttura dell'Universo, come Rubin-LSST, importante anche per tracciare la variabilità di sorgenti come i nuclei galattici attivi. INAF riveste ruoli importanti in diversi progetti proposti per nuovi spettrografi multi-oggetto e a campo integrale (WEAVE, 4MOST, MOONS, MAVIS) e nello sviluppo di strumentazione di nuova generazione per ELT (MICADO, ANDES, MOSAIC, HARMONI), volti allo studio delle galassie a diversi redshift e con diversa risoluzione spaziale. Nell'ambito dello sforzo osservativo sopra discusso, molti ricercatori INAF sono anche coinvolti nello sviluppo di innovative 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 includono: (1) simulazioni 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 di formazione delle galassie e dei buchi neri centrali e della loro interazione con l'ambiente da piccole a grandi scale, a

partire dall'epoca di formazione delle prime galassie, da utilizzare per l'interpretazione di dati da strumenti di ultima generazione (JWST, precursori e pathfinders di SKA, ALMA) e predizioni teoriche per strumenti di prossima generazione (ELT, SKA, Athena, LISA); (3) sviluppo di codici di simulazioni innovativi, che includono esplicitamente la trattazione di processi fisici e microfisici del gas e del plasma e che sfruttano a pieno la potenza di calcolo ad alte prestazioni (HPC) in previsione delle future infrastrutture di classe "exascale".

RSN1 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 RSN1, 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 ESO, l'Isaac Newton Group of Telescopes (ING) ed il Vera Rubin Observatory, ESA, NASA, JAXA. 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.

I ricercatori INAF rivestono ruoli fondamentali in diversi programmi osservativi che si avvalgono di telescopi sia da Terra che dallo Spazio. Si possono menzionare, tra quelli prevalentemente utilizzati, tutti i telescopi dell'ESO (VLT, VST, ALMA), LBT, TNG, i telescopi spaziali HST, JWST, i satelliti per osservazioni a raggi X XMM-Newton, Chandra, Swift, eROSITA e NuSTAR, e i radiotelescopi SRT, IRAM, NOEMA, precursori e pathfinder di SKA (GMRT, LOFAR, JVLA, MeerKAT, ASKAP, ...), molti dei quali sfruttano la tecnica di osservazione VLBI per raggiungere altissime risoluzioni spaziali.

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

RSN2 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 comprende lo studio della formazione stellare e planetaria, del mezzo interstellare, dei sistemi planetari extrasolari e dell'evoluzione stellare, delle popolazioni stellari della Via Lattea e delle galassie esterne risolvibili in stelle, della Galassia nel suo insieme, dell'Universo vicino e la determinazione delle distanze cosmiche. L'ampia gamma di scale spaziali coinvolte richiede l'utilizzo di metodologie diversificate e di un approccio multidisciplinare che includono tecniche astrometriche e di analisi dati sempre più avanzate, la costruzione e il mantenimento di cataloghi di riferimento sinergici, nonché software per simulazioni numeriche complesse, algoritmi avanzati di intelligenza artificiale e reti neurali.

Oggi, INAF ha accesso e contribuisce a costruire gli strumenti più sofisticati e ricopre molti ruoli di leadership, conducendo ricerche di eccellenza con metodologie innovative e ottenendo risultati di grande impatto. I ricercatori RSN2 hanno realizzato un'ampia rete di collaborazioni nazionali e internazionali ed esercitano 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.

Lo studio della **Formazione Stellare e Planetaria** nella nostra Galassia 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 sia nell'analisi della formazione di oggetti dalle nane brune fino a stelle di grande massa. L'esame della distribuzione e delle proprietà fisiche a tutte le scale menzionate fornirà un paradigma per la formazione stellare anche nelle altre galassie. Tale approccio necessita dell'utilizzo di osservazioni multibanda sinergiche dai raggi X al radio già disponibili o fruibili nel prossimo triennio (Chandra, XMM-Newton, Gaia, Rubin-LSST, TNG, VLT, VLTI, LBT, HST, JWST, Herschel, ALMA, SRT, GBT, IRAM, NOEMA, VLA, VLBA, EVN, HSA). In particolare, lo studio della formazione stellare trarrà grande vantaggio dalla nuova strumentazione

a guida o con partecipazione dell'INAF (SHARK@LBT, SoXS@NTT, MOONS@VLT, ERIS@VLT, MeerKAT, nuovi ricevitori SRT).

Per le primissime fasi della formazione stellare si studieranno le diverse condizioni ambientali che favoriscono il processo di frammentazione della nube e dei suoi filamenti fino alla formazione di oggetti pre- e proto- stellari in accrescimento gravitazionale. Le loro proprietà fisico-chimiche verranno indagate analizzando i dati degli interferometri presenti e futuri (SKA e ngVLA) che guideranno lo sviluppo di modelli teorici, anche avvalendosi di simulazioni numeriche. In tale contesto, grazie a grandi programmi osservativi dedicati, a modelli teorici e a test di laboratorio, hanno avuto grande impulso gli studi di astrochimica inorganica e organica, includenti anche l'effetto del campo magnetico e della propagazione dei raggi cosmici.

Per le fasi evolutive che vanno dalla protostella all'ingresso nella sequenza principale, si analizzeranno la formazione, l'evoluzione e la dispersione del disco circumstellare fino alla formazione dei pianeti. In dettaglio, i processi coinvolti sono il trasferimento del momento angolare, le modalità di accrescimento di materia sulla protostella, la generazione e l'evoluzione astrochimica di venti e getti, l'evoluzione chimica del mezzo circumstellare, l'effetto dei campi magnetici e della radiazione ultravioletta (UV) ed X, la definizione delle condizioni iniziali della formazione dei pianeti e di come queste ne determinano le caratteristiche chimiche, fisiche, dinamiche e il possibile sviluppo della vita (connessione con le attività svolte in RSN3). Si condurranno studi teorici, simulazioni magneto-idrodinamiche e programmi osservativi multibanda da Terra e dallo Spazio, che includeranno studi di emissione maser e polarimetria. L'accrescimento sulla stella sarà studiato con survey fotometriche e spettroscopiche multi-banda, mentre lo studio dei getti e dei venti richiederà spettri e immagini ad alta risoluzione spettrale ed angolare, dall'X al radio.

L'analisi delle popolazioni stellari giovani, sia concentrate in regioni di formazione stellare e ammassi sia disperse nel campo Galattico, consentirà di studiare l'effetto dell'ambiente sul processo di formazione stellare e planetaria.

Nello studio dei **pianeti extrasolari e dei sistemi esoplanetari** occorre ricercare la frequenza delle diverse architetture planetarie, le condizioni in cui una certa tipologia di sistema si forma e come si colloca il Sistema Solare in questo contesto. Particolarmente rilevanti sono i sistemi 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 (sia dallo Spazio, con Cheops e TESS, sia da Terra con telescopi di classe 1-2m e in futuro con la missione spaziale PLATO con Co-PI INAF); spettroscopia ad alta risoluzione (HARPS-N@TNG, GIANO-B@TNG, ESPRESSO@VLT e in futuro ANDES@ELT); astrometria (Gaia); imaging (SHARK@LBT, SPHERE@VLT, JWST e HST); microlensing (Rubin-LSST, Euclid, Roman); interferometria radio (LOFAR, VLA, GMRT, ASKAP, MeerKAT, e in futuro SKA) e osservazioni X (Chandra, XMM-Newton ed in futuro Athena). Lo strumento LOCNES@TNG (PI-ship INAF) permetterà di perfezionare i metodi per correggere gli effetti dell'attività magnetica e della convezione sulle misure di velocità radiale e sugli spettri delle atmosfere esoplanetarie. Con i prossimi dati di Gaia verrà prodotto, a guida INAF, il primo censimento completo del cielo con migliaia di pianeti attesi per l'analisi demografica delle regioni intermedie dei sistemi planetari. Tecniche di analisi combinate forniranno la chiave per comprendere la demografia dei sistemi planetari su tutti gli intervalli di separazione spaziale e massa, come anche le correlazioni con le proprietà delle stelle centrali. Per questi studi è importante l'implementazione di codici numerici e approcci analitici, lo sviluppo di modellistiche sofisticate e simulazioni atmosferiche, magnetiche, climatiche e di formazione planetaria. Ciò permetterà l'analisi delle proprietà fisiche e chimiche degli esopianeti, della loro struttura interna, delle proprietà dell'atmosfera, degli stati climatici e degli effetti ambientali, tra cui, in particolare, le interazioni con la stella e i dischi circumstellari nei sistemi in formazione. In questo modo si potranno identificare i meccanismi di formazione ed evoluzione planetaria, le eventuali condizioni di abitabilità e i traccianti biologici da evidenziare negli spettri in trasmissione, riflessione e/o emissione. Particolarmente rilevanti sono le misure di massa e raggio dei pianeti ottenute con serie temporali di velocità radiali e fotometria di transiti da Terra e dallo Spazio, anche in preparazione alle nuove missioni spaziali che ne caratterizzeranno composizione chimica, struttura e dinamica atmosferica (ad esempio

ARIEL con Co-PI INAF, il cui lancio è previsto nel 2029). In questo contesto, è di grande importanza la sinergia tra osservazioni spettroscopiche a media risoluzione dallo Spazio (JWST) e quelle ad alta risoluzione da Terra (HARPS-N e GIANO-B@TNG o CRIRES@VLT).

Per l'interpretazione di tali osservazioni vengono sviluppati metodi avanzati di analisi dei dati, inclusa l'intelligenza artificiale, e modelli numerici d'avanguardia integrati da simulazioni ed esperimenti di laboratorio dedicati.

Nello studio delle caratteristiche e della **struttura ed evoluzione delle stelle** si affronteranno varie tematiche. Per l'analisi della struttura interna delle stelle, oltre al contributo dei modelli pulsazionali radiali, un supporto notevole viene dall'asterosismologia, come dimostrato dall'esame dei dati dei satelliti CoRoT, Kepler e TESS, nonché, in futuro, dalle missioni PLATO e, auspicabilmente, HAYDN, che permetteranno di determinare massa, raggio ed età di un campione numericamente consistente di stelle di campo ed in ammassi, quantità cruciali per la calibrazione della modellistica stellare. Le competenze di eccellenza INAF in ambito di modellistica stellare verranno applicate al mantenimento, aggiornamento ed estensione dei database stellari teorici, che attualmente sono utilizzati per ricerche di vario tipo dalla comunità.

Agli studi sulle proprietà interne delle stelle si affiancheranno quelli delle atmosfere stellari, delle magnetosfere e dei fenomeni di attività magnetica, consentendo progressi notevoli nello studio di sistemi binari interagenti e nelle indagini dell'interazione tra stella e mezzo circumstellare, e di eventuali sistemi planetari, nonché dei plasmi magneto-attivi. Analogo impatto avrà lo studio della rotazione e dell'evoluzione del momento angolare delle stelle.

Nel contesto delle proprietà strutturali stellari, si ambisce ad una migliore comprensione di processi fisici tuttora poco conosciuti, quali perdita di massa, instabilità convettiva, rotazione, nonché del ruolo del campo magnetico e delle sue instabilità, dalla pre-sequenza sino alle fasi finali (nane bianche e stelle di neutroni). In parallelo, si sta procedendo alla realizzazione di un laboratorio di spettroscopia di plasmi magnetizzati e 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 degli elementi chimici ad altissimo stato di ionizzazione.

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 in stretta connessione con le attività sviluppate in RSN4. 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 massa piccola e intermedia, 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.

L'osservazione e l'analisi spettrofotometrica delle esplosioni sono fondamentali per comprendere le ultime fasi dell'evoluzione stellare delle stelle di grande massa, per le quali un contributo rilevante verrà dallo strumento SOXS per ESO-NTT (PI-ship INAF), prossimamente operativo ed a leadership italiana, specificamente progettato per seguire eventi transienti molto rapidamente e con alta efficienza. La continua scoperta di nuove classi di transienti (rari, deboli, superluminosi, veloci), che sarà ulteriormente incentivata dalle future survey sinottiche come Rubin-LSST, rappresenta una sfida per le nostre conoscenze attuali. Sarà infatti determinante collegare le stelle progenitrici alle relative classi di transienti e studiare, sia dal punto di vista teorico che osservativo, i loro parametri fisici che influenzano l'esplosione e la nucleosintesi esplosiva, senza trascurare lo studio della correlazione con le proprietà della galassia ospite. Studi innovativi su fenomeni transienti e di variabilità legati all'interazione di stelle in sistemi binari (Novae, Sne di tipo Ia e kilonovae) daranno un contributo importante alla conoscenza dell'evoluzione chimica della Galassia e alla scala delle distanze cosmiche. Infine, nuove cruciali informazioni circa le proprietà dell'era di reionizzazione sono attese dalla ricerca delle esplosioni di Sne legate alla popolazione III e predette dai modelli teorici.

Le ricerche sulle proprietà delle stelle in tutte le loro fasi evolutive 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 X, infrarosse e radio con strumenti quali Chandra, XMM-Newton, eRosita, JWST, ASKAP, MeerKAT e ALMA e, in futuro, Euclid, Roman telescope 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 le loro sottostrutture**. In questo ambito, la nostra Galassia, le nubi di Magellano, Andromeda e, più in generale, le galassie risolubili in stelle, rappresentano il laboratorio ideale per rispondere alle questioni fondamentali sulla storia ed evoluzione dell'Universo che ci circonda anche in un contesto cosmologico. L'attività di ricerca è ad ampio raggio con una molteplicità di indagini sia teoriche (modelli e simulazioni) sia osservative, possibili grazie ai dati delle più avanzate infrastrutture astronomiche internazionali spettroscopiche, fotometriche e astrometriche. Oggetto di studio, in questo contesto, sono la caratterizzazione delle proprietà chimiche, morfologiche e dinamiche delle componenti galattiche e del mezzo interstellare, e della ricostruzione della loro storia di formazione ed evoluzione. Nella nostra Galassia, grazie soprattutto ai risultati della missione Gaia, è possibile per la prima volta individuare, caratterizzare e datare tutti gli eventi che hanno contribuito alla formazione delle sue strutture (sferoide centrale, disco spesso, disco sottile, alone, bracci di spirale, warp). Questi studi sono cruciali per la verifica locale del modello di crescita gerarchica delle galassie in ambito cosmologico e la comprensione delle proprietà osservative dell'Universo lontano non risolubile in stelle. In questo campo giocano un ruolo fondamentale lo studio dell'origine dei sistemi stellari (ammassi aperti, ammassi globulari, galassie nane, galassie nane ultra-deboli) e della loro evoluzione, anche in relazione alle interazioni con la Via Lattea (evidenziate dall'osservazione di *stream* e *relics*) 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 e dell'età delle sotto-popolazioni in ammassi stellari e il loro utilizzo come traccianti della formazione ed evoluzione delle componenti galattiche. 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. Alla scala della Galassia, tali modelli si confrontano con simulazioni cosmologiche e con la gravità della relatività generale, permettendo di testare teorie ad essa alternative, il ruolo della materia oscura e dell'energia oscura, oltre che diversi aspetti di fisica fondamentale in sinergia con le ricerche condotte nei Raggruppamenti Scientifici Nazionali 1, 3 e 4. In particolare, in sinergia con le attività di RSN4, nei prossimi anni, sarà strategica la trasversalità delle metodologie multi-messenger legate alle onde gravitazionali per la localizzazione dell'emissione e per la successiva caratterizzazione dei processi fisico-chimici (e loro evoluzione) delle esplosioni stellari a esse legate, come pure l'attuazione di nuovi scenari osservativi quali l'antenna astrometrica per individuare le sorgenti gravitazionali. Inoltre, grazie ai telescopi spaziali, sarà possibile connettere la fisica di formazione degli ammassi osservati nell'Universo Locale con quella degli ammassi a redshift cosmologici (in connessione con le attività del RSN1). In tale contesto, ingrediente importante è la determinazione delle distanze stellari per tracciare mappe 3D dei sistemi osservati e per la calibrazione delle distanze extragalattiche.

La scala delle distanze cosmiche 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 di tipo Ia 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 sia attraverso modelli pulsazionali teorici in grado di riprodurre le proprietà delle stelle variabili osservate al variare della composizione chimica. Questi studi stanno avendo un forte impatto e sono imprescindibili per la comprensione della tensione esistente tra le stime della costante di Hubble locale basate sulla scala delle distanze e quelle relative all'Universo primordiale basate su misure del fondo cosmico di microonde (RSN1). Tale tensione potrebbe comportare la necessità di modificare il modello cosmologico di riferimento per la formazione e l'evoluzione dell'Universo.

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 (astrometrici, fotometrici e spettroscopici) altamente innovativi e sinergici sia dallo Spazio con Gaia, HST e JWST, che continueranno con Euclid e Roman, sia da Terra con Rubin-LSST, 4MOST, VST, WEAVE,

MOONS, con un importante coinvolgimento INAF anche in termini di PI-ship. 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 all'origine ed evoluzione della vita nel nostro sistema planetario e oltre sono stati punti di partenza per l'astrofisica e sono un fondamentale riferimento per lo studio dell'Universo in generale. In questo campo i mezzi di indagine sono storicamente stati e tuttora sono, forse più che in altre branche dell'astrofisica, vari e caratterizzati da un'elevata interdisciplinarietà, includendo osservazioni da remoto e "in situ", astronomia multimessaggera e misure di laboratorio.

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 oggetti astrofisici più lontani. Lo studio del Sole contribuisce in modo significativo al miglioramento delle nostre conoscenze dell'Universo e delle leggi fisiche che lo regolano. Inoltre, tra le finalità principali della tematica, c'è lo studio dei fenomeni transienti e della variabilità solare a varie scale temporali e spaziali. Questi aspetti sono fondamentali per lo studio della formazione e dinamica dell'eliosfera, la regione influenzata dal Sole fino ai limiti del mezzo interstellare. Queste problematiche sono anche essenziali per capire l'emergere e la sostenibilità della vita sulla Terra e più in generale su altri oggetti del Sistema Solare. Inoltre, sono oggetto di studio della meteorologia spaziale (Space Weather), un settore in rapido sviluppo e di notevole interesse internazionale, che studia l'attività solare allo scopo di prevederne gli effetti sulla Terra.

Lo stato dell'arte dello studio del Sole e dell'eliosfera comprende sia osservazioni che modelli e simulazioni di complessità e realismo crescenti. I dati osservativi vengono ottenuti utilizzando strumentazione sia da Terra che dallo Spazio. Mentre le osservazioni da Terra permettono di catturare immagini dalla superficie solare fino alla corona interna con elevata risoluzione spaziale e temporale, le osservazioni dallo Spazio permettono di osservare una regione più ampia dello spettro elettromagnetico e regioni più esterne dell'atmosfera solare, 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, avvalendosi di un approccio multimessaggero, che ha radici profonde nella storia delle osservazioni del Sole.

Tra gli obiettivi principali della ricerca attuale c'è il raggiungimento di una visione tridimensionale, pancromatica, e multi-sito dei fenomeni osservati sul Sole e nel mezzo interplanetario, fino alle magnetosfere dei pianeti. Lo standard della ricerca moderna comprende, infatti, l'uso simultaneo di vari strumenti per ottenere una visione globale del sistema Sole-eliosfera. Inoltre, l'uso di simulazioni e modelli teorici è sempre più un ingrediente fondamentale nell'interpretazione dei complessi fenomeni osservati. L'obiettivo di gran parte della moderna ricerca eliosferica è di integrare ulteriormente sofisticati strumenti teorici e numerici nell'analisi di complesse e variegate moli di dati, ma anche nelle stesse operazioni delle missioni spaziali e della strumentazione da Terra, per esempio per ottenere previsioni affidabili rilevanti per lo Space Weather.

Relativamente alle collaborazioni e alla strumentazione attualmente in uso, l'INAF è impegnato in particolare nella missione ESA-NASA Solar Orbiter, e nello sviluppo di nuova strumentazione, sia da Terra che dallo Spazio. A bordo della sonda Solar Orbiter (lanciata a febbraio 2020), il coronografo Metis, realizzato dall'INAF, ha prodotto le prime immagini della corona solare mai acquisite contemporaneamente in due diverse bande (nella luce visibile polarizzata, e nell'ultravioletto). Arrivando ad osservare il Sole a meno di un terzo della distanza Terra-Sole, Metis è in grado di individuare le regioni coronali in cui ha origine il vento solare lento e quello veloce, di studiare gli effetti delle diverse configurazioni del campo magnetico coronale, di monitorare l'espansione dei fenomeni transienti coronali e di determinare il loro ruolo nei processi di

accelerazione delle particelle ad alta energia. Sempre a bordo di Solar Orbiter, lo strumento SWA, di cui l'INAF condivide 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. Infine, tra gli strumenti di Solar Orbiter, l'INAF ha contribuito allo sviluppo del software di analisi e interpretazione di STIX, un telescopio che osserva il Sole ai raggi X.

Per i progetti in sviluppo o futuri, l'INAF collabora alla missione SOLAR-C della JAXA, con contributi NASA e di altre agenzie spaziali europee, che prevede il lancio nel 2028 di uno spettrografo con capacità di produrre simultaneamente immagini e spettri del Sole, l'Extreme Ultraviolet High-Throughput Spectroscopic Telescope (EUVST). L'INAF inoltre collabora allo sviluppo della missione MUSE della NASA, il cui lancio è previsto per il 2027, uno spettrografo progettato con un innovativo sistema a fenditure multiple per osservazioni nell'estremo UV ad alta cadenza e su un ampio campo di vista della corona solare, con obiettivi complementari e sinergici con SOLAR-C/EUVST. L'INAF, ha anche contribuito allo sviluppo della missione PROBA-3 dell'ESA, che sarà lanciata nel 2024, e contribuirà in maniera molto rilevante all'attività osservativa per l'intera durata della missione (2 anni) e all'analisi dei dati del coronografo SPIICS. Inoltre, l'INAF partecipa allo sviluppo del progetto Coronal Diagnostics Experiment (CODEX) della NASA, la cui installazione sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) è prevista nel 2024, con responsabilità delle calibrazioni a Terra presso la "INAF Optical Payload SYSTEM - (OPSYS)" ospitata presso ALTEC - Torino e un contributo alla fase operativa una volta a bordo della ISS. L'INAF è infine coinvolto nello sviluppo dello EST, la cui prima luce è prevista nel 2029 alle Canarie. Con uno specchio primario di 4.2 m, le osservazioni spettro-polarimetriche di elevata precisione nell'infrarosso e nell'ultravioletto consentiranno di rivelare i meccanismi di trasporto di energia e confinamento in complesse configurazioni magnetiche nell'atmosfera solare, con ricadute in altri ambienti astrofisici e nel campo della fusione a confinamento magnetico. L'INAF gestisce e sviluppa inoltre vari telescopi e strumenti che osservano il Sole dal visibile al radio. L'insieme di tali strumenti costituisce una rete utilizzabile per il monitoraggio dell'attività del Sole nell'ottica dello Space Weather.

Mercurio, il pianeta più interno del nostro sistema planetario, è un caso particolarmente rilevante di interazione Sole-pianeti. L'orbita di Mercurio, molto vicina al Sole, è particolarmente influenzata dalla curvatura relativistica dello Spazio-tempo e quindi sono importanti le misure di fisica fondamentale, in particolare per determinare alcuni parametri della Relatività Generale. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e Giapponese (JAXA) hanno lanciato nel 2018 la missione 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. Questi ultimi studiano la fisica fondamentale e la relatività generale con l'accelerometro ISA, l'ambiente intorno a Mercurio e l'interazione con il vento solare con i due sensori di plasma e due sensori di atomi neutri energetici riuniti nella suite SERENA e la superficie con SIMBIO-SYS, uno strumento costituito per la prima volta da due fotocamere (una stereo ed una ad alta risoluzione) 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.

La Luna, il satellite naturale della Terra, è attualmente oggetto di grande interesse da parte della comunità scientifica e tecnologica internazionale. L'INAF è coinvolto in numerosi progetti che hanno come scopo la progettazione e realizzazione di strumentazione scientifica per analizzare e caratterizzare l'ambiente lunare sia in vista di future missioni di esplorazione umana sia per una migliore comprensione dei processi che hanno guidato la formazione e l'evoluzione della Luna.

Marte è un oggetto di studio rilevante per la comunità scientifica INAF. È l'unico pianeta attualmente indicato per una futura esplorazione umana, prossima frontiera spaziale dopo la Luna. Lo studio di Marte coinvolge competenze complementari relative all'atmosfera, alla geologia e al sottosuolo. La presenza di acqua liquida

sotto la superficie e l'indicazione che in passato questa ci fosse anche in superficie rendono Marte un pianeta interessante dal punto di vista astrobiologico. Nel prossimo triennio, numerosi ricercatori dell'INAF saranno impegnati nello studio di Marte utilizzando i dati raccolti dalle missioni spaziali dedicate al pianeta. L'INAF partecipa infatti a diverse missioni in corso, tra cui Mars Express (ESA) che è operativa sin dal 2004, Mars Reconnaissance Orbiter (NASA), ed ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO). L'INAF ha anche una leadership in alcuni strumenti come la fotocamera CASSIS, gli spettrometri PFS, OMEGA, NOMAD e Ma_MISS, il radar MARSIS e il sensore di polvere MicroMED. Inoltre, l'INAF è anche coinvolta in Exomars 2022, il cui lancio è attualmente previsto per il 2028. Infine, l'INAF partecipa scientificamente alle missioni NASA Mars 2020, che è operativa dal 2021, e NASA/ESA Mars Sample Return, prevista per il 2031.

Giove e il suo sistema di satelliti rappresentano un punto chiave per la comprensione dell'origine e dell'evoluzione di tutto il Sistema Solare ma anche per lo studio degli esopianeti, ed in particolare i giganti, di cui Giove è considerato un analogo. Inoltre, alcuni dei satelliti di Giove e Saturno hanno un elevatissimo interesse astrobiologico, in quanto non si può escludere la presenza di vita negli oceani sotto-superficiali, e sono oggetto di specifiche strategie 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 nell'infrarosso a leadership INAF per lo studio delle Aurore e dell'atmosfera. La missione ESA JUICE raccoglierà il testimone di Juno. È stata lanciata il 14 aprile 2023, arriverà a destinazione nel 2031 e, oltre all'osservazione di Giove, ha come obiettivo specifico Ganimede, Europa e Callisto 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 l'INAF ha un ruolo di leadership, la fotocamera JANUS per l'imaging e lo spettrometro MAJIS.

I piccoli corpi del Sistema Solare (asteroidi, comete, oggetti trans-nettuniani) ne conservano il materiale meno alterato, più primordiale; il loro studio è dunque fondamentale per comprendere i diversi processi di formazione ed evoluzione del nostro sistema planetario. La comunità INAF possiede delle grandi competenze e un ruolo di leadership ben riconosciuti a livello internazionale (in particolare a valle del coordinamento del progetto europeo H2020 NEOROCKS, 2020-2023) nell'ambito delle osservazioni da Terra dei piccoli corpi con diverse infrastrutture nazionali ed internazionali (ad es., LBT, TNG, VST, ESO), nonché delle meteore che penetrano nell'atmosfera terrestre (con il progetto PRISMA). L'INAF è anche fortemente coinvolto in diverse missioni dedicate all'esplorazione spaziale dei piccoli corpi, e nel 2022 è stato protagonista con il CubeSat ASI LICIAcube, interamente realizzato in Italia con coordinamento scientifico INAF, nell'ambito della missione di "difesa planetaria" NASA DART che ha modificato l'orbita relativa dell'asteroide binario Didymos. L'analisi dei dati raccolti proseguirà nel prossimo triennio, che vedrà anche lo sviluppo della missione ESA Hera (che sarà lanciata nel 2024 e raggiungerà Didymos nel 2026), a cui l'INAF partecipa tramite un'importante collaborazione scientifica e lo strumento VISTA. Altra missione ESA con forte coinvolgimento dell'INAF (con vari strumenti a bordo) è Comet Interceptor, che verrà lanciata nel 2029 insieme alla missione Ariel e che per la prima volta visiterà una cometa dinamicamente nuova o un corpo interstellare.

L'attività di RSN3 ha anche 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, dei satelliti e dei corpi minori, tracciatori della formazione ed evoluzione del Sistema Solare. La ricerca si articola su diversi ambiti che comprendono la simulazione delle condizioni fisico-chimiche sulle superfici di pianeti, satelliti, 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).

4.1.4. Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 – Astrofisica Relativistica e Particelle

Descrizione dell'Area di Specializzazione – La tematica di riferimento del Raggruppamento Scientifico Nazionale 4 (RSN4) è l'Astrofisica relativistica e delle particelle. Le linee di ricerca principali sono: 1) Oggetti compatti galattici ed extragalattici, 2) Esplosioni cosmiche, 3) Astronomia multi-messaggera, 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 ed esperimenti di fisica fondamentale con stelle (RSN2), studio dei meccanismi di accelerazione di particelle nel mezzo interplanetario (RSN3), determinazione degli obiettivi scientifici per missioni spaziali e telescopi da Terra in via di sviluppo (RSN5).

Finalità e stato dell'Arte della Ricerca – Le finalità del RSN4 riguardano lo studio della materia in condizioni estreme, in termini di alta densità, alta temperatura e forti campi magnetici e gravitazionali, condizioni quindi che non è possibile riprodurre in laboratorio e che permettono la comprensione delle sorgenti celesti e dei fenomeni che costituiscono il cosiddetto "Universo Violento". Sebbene questi fenomeni producano principalmente radiazione di alta energia (raggi X e gamma), la loro comprensione dettagliata necessita di campagne osservative multibanda (ad es. radio, infrarosso, visibile e ultravioletto) e multi-messaggera (onde gravitazionali, neutrini e raggi cosmici) utilizzando strumenti sia da Terra che nello Spazio. Lo studio dell'Universo Violento permette anche di testare gli effetti della Relatività Generale (GR) in campo forte, di effettuare studi di fisica fondamentale e la ricerca di nuova fisica.

Grandi masse concentrate in dimensioni molto ridotte e, quindi, densità e gravità superficiali estreme si trovano negli oggetti compatti, ovvero nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri di massa stellare, che sono il prodotto finale della vita di una stella, oppure nei buchi neri di milioni/miliardi di masse solari che si trovano nei nuclei delle galassie (AGN, Active Galactic Nuclei). I forti campi gravitazionali determinano fenomeni di accrescimento della materia circostante ed espulsione di una parte di essa attraverso getti e venti osservati in diverse bande dello spettro elettromagnetico. Il quadro generale in merito alla fisica degli oggetti compatti, consolidatosi nell'ultimo ventennio grazie ad osservazioni multibanda da Terra e dallo Spazio, lascia ancora molti problemi aperti: come sono connesse la materia in accrescimento e quella espulsa? Quali sono i meccanismi di lancio dei getti e dei venti? Quali sono le geometrie dei plasmi in accrescimento e la configurazione dei campi magnetici in questi oggetti estremi?

Stelle di neutroni e buchi neri di massa stellare si formano, in generale, in seguito ad esplosioni di stelle massicce (supernove) che in particolari condizioni, danno origine a potentissimi lampi gamma della durata tipica di decine di secondi (gamma-ray burst, GRB). GRB di durata più breve (minore di 2 secondi) sono invece prodotti dalla coalescenza di due oggetti compatti, di cui almeno uno è una stella di neutroni. Questi sistemi sono anche emettitori di onde gravitazionali (GW) ad alta frequenza, osservabili con gli interferometri LIGO, Virgo e KAGRA. È stata proprio l'associazione tra il segnale GW 170817 e il GRB 170817° a dimostrare che la coalescenza di due stelle di neutroni è in grado di produrre un GRB corto. Inoltre, lo stesso evento ha anche dimostrato che questi sistemi sono i progenitori di un altro fenomeno esplosivo chiamato kilonova (osservato in banda ottica e infrarossa), responsabile della nucleosintesi degli

elementi pesanti nell'Universo. Il contributo dei ricercatori INAF, con osservazioni multibanda e studi teorici, è stato fondamentale in queste scoperte che hanno dimostrato le potenzialità dell'astronomia multi-messaggera e suscitato nuove domande sui progenitori dei GRB sia lunghi che corti. Domande riguardanti la struttura e i meccanismi di accelerazione ed emissione dei getti relativistici prodotti in tali contesti, hanno anche fatto emergere la necessità urgente di modelli teorici più avanzati e simulazioni numeriche più realistiche, in connessione con la ricerca in ambito evolutivo stellare svolta in RSN2.

I resti di supernova sono ritenuti i principali responsabili della produzione dei raggi cosmici galattici, ovvero elettroni e nuclei atomici di alta energia che permeano la Galassia e l'alone magnetico che la circonda. Tuttavia, la comprensione dei meccanismi di accelerazione ed in particolare come si riescano a raggiungere le massime energie osservate, rimangono problemi aperti. Da notare, inoltre, che i raggi cosmici hanno un notevole impatto su vari processi astrofisici, come la formazione stellare, attraverso la ionizzazione delle nubi molecolari, e l'evoluzione galattica, attraverso la generazione di venti su grande scala. Queste tematiche solo recentemente sono state affrontate dalla comunità RSN4 dell'INAF, ma promettono di avere una notevole ricaduta su altre aree dell'astrofisica.

Infine, 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 sperimentale della GR e test di teorie alternative alla gravità.

Risultati raggiunti - Storicamente, INAF ha svolto un ruolo fondamentale in ambito internazionale nello studio delle sorgenti di alta energia [raggi X e gamma]. INAF partecipa alla scoperta di queste sorgenti cosmiche, all'identificazione e comprensione dei processi fisici in gioco contribuendo allo sfruttamento e al successo di missioni spaziali di varie agenzie, come Swift e Fermi (NASA), AGILE (ASI), INTEGRAL e XMM-Newton (ESA) e a telescopi gamma da Terra, come MAGIC e LST. Questo è possibile anche attraverso programmi osservativi con telescopi sensibili in tutte le bande dello spettro elettromagnetico, l'applicazione di diverse tecniche di analisi dati e lo sviluppo di modelli teorici per l'interpretazione delle osservazioni. Questa esperienza è la base dei successi e del contributo determinante di INAF nell'astronomia multi-messaggera.

Ricercatori INAF sono leader nello studio delle sorgenti ultra-luminose ai raggi X (ULX) osservate in altre galassie. Essi hanno infatti scoperto che alcune di esse sono stelle di neutroni che accrescono materia da stelle massicce e che venti ultra-veloci vengono lanciati da questi sistemi. Allo stesso modo, hanno dato contributi determinanti alla comprensione delle stelle di neutroni isolate e in quelle in accrescimento con periodi di rotazione molto veloci (millisecond pulsar). Per esempio, di recente, è stato stabilito un collegamento tra le stelle di neutroni fortemente magnetizzate (magnetar) e i fast radio burst (FRB), veloci lampi radio la cui origine è ancora sconosciuta e che rappresentano una delle più grandi ed affascinanti sfide dell'astrofisica degli ultimi anni.

Nell'ambito delle esplosioni cosmiche, un evento eccezionale che ha visto coinvolti molti ricercatori INAF, sia nelle osservazioni a tutte le lunghezze d'onda che nella loro interpretazione teorica, è il GRB 221009A, chiamato "BOAT", ovvero *brightest of all time* (il più brillante di tutti i tempi). Questo evento è talmente raro (ci si aspetta un evento così luminoso e vicino solo una volta ogni 10000 anni) che è stato oggetto di una conferenza stampa internazionale. Tra le tante peculiarità del GRB BOAT ricordiamo che in questa esplosione sono stati anche prodotti fotoni gamma di altissima energia (Tera-elettronvolt, TeV) mai osservati in un GRB, che per attraversare l'Universo senza essere assorbiti potrebbero richiedere l'esistenza di particelle esotiche come le ALP.

È un ricercatore INAF il PI Italiano della missione NASA IXPE, co-finanziata dall'ASI, il cui polarimetro X a bordo sta fornendo informazioni cruciali nell'ambito della fisica degli oggetti compatti a tutte le scale. In meno di due anni di osservazioni, questa tecnica ha permesso, per esempio, di fornire delle risposte sulla geometria della materia in accrescimento sui buchi neri, sul meccanismo di emissione di getti fortemente relativistici in particolari AGN (blazar) e sulla struttura del campo magnetico nelle nebulose da pulsar e nei resti di Supernova, mostrando, ad esempio, che un campo magnetico molto ordinato non preclude l'accelerazione di particelle, come generalmente assunto fino ad oggi. I risultati di IXPE sono stati pubblicati in riviste scientifiche ad alto impatto, incluse Nature e Science.

La recente scoperta di diverse sorgenti galattiche di raggi gamma di energia oltre i 100 TeV da parte dell'osservatorio LHAASO segna l'inizio di una nuova era per l'astronomia gamma e rappresenta una svolta

nel contesto della ricerca dell'origine dei raggi cosmici alle più alte energie. L'INAF è coinvolto in tale ricerca con studi sia teorici che osservativi. I modelli teorici hanno evidenziato come le sorgenti Galattiche più promettenti, i cosiddetti "PeVatroni", in grado di accelerare particelle fino alle energie del Peta-elettronvolt (PeV), siano i resti di Supernova, le nebulose da pulsar e gli ammassi stellari. Per le sorgenti extra-galattiche, responsabili invece dei raggi cosmici oltre i 100 PeV, sono stati condotti studi approfonditi su galassie starburst e AGN. Tali studi sfruttano in modo particolare le osservazioni dei telescopi Cherenkov, e potranno ricevere ulteriore impulso da futuri osservatori come CTA e ASTRI Mini-Array che permetteranno una precisa identificazione delle sorgenti LHAASO e forniranno importanti informazioni sulla loro emissione e morfologia.

Risultati fondamentali sono stati raggiunti di recente da ricercatori INAF anche nello sviluppo di nuovi osservatori per l'astronomia delle alte energie. Transient High-Energy Sky and Early Universe Surveyor (THESEUS), un concetto di missione multi-strumento per lo studio dei GRB e di altre transienti in banda X e infrarossa a PI INAF, è uno dei cinque progetti selezionati dall'agenzia spaziale europea, ESA, per uno studio di Fase-0 come candidato per le missioni di taglia media (M7). ASTRI Mini-Array è un progetto INAF che prevede la costruzione di 9 telescopi Cherenkov per l'astronomia gamma da Terra che osserverà i fenomeni tra i più energetici dell'Universo (1-100 TeV). Il primo telescopio dell'array è stato installato quest'anno presso l'Osservatorio del Teide nell'isola di Tenerife (Canarie) ed insieme ad altri due saranno operativi entro il 2025. HERMES-TP è una costellazione di 6 nanosatelliti con a bordo dei rivelatori di raggi X dedicati al monitoraggio dei GRB e, in generale, delle controparti elettromagnetiche delle GW. Finanziato da ASI e da un programma H2020, lo scorso anno ha completato lo sviluppo di un primo rivelatore che sarà lanciato nel Novembre 2023 sul nano-satellite SPIRIT dell'agenzia spaziale australiana.

Obiettivi per il triennio - Per il raggiungimento degli obiettivi della ricerca affrontata dalla comunità RSN4 è importante lo sfruttamento sia di dati di archivio sia di dati ottenuti su base competitiva con osservatori da Terra e dallo Spazio. Ricercatori INAF ottengono annualmente tempo osservativo con numerose facilities a tutte le lunghezze d'onda per lo studio di nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri, resti di Supernova, ULX, AGN, GRB e altri oggetti transienti che popolano il cielo ai raggi X e gamma. Team di teorici a guida INAF utilizzano tecniche di simulazione particle-in-cell (PIC), magnetohydrodynamics (MHD), e l'innovativa tecnica ibrida PIC+MHD, per lo studio di processi di accelerazione e interazione non-lineare tra plasma e particelle accelerate.

Nel prossimo triennio un gran numero di ricercatori INAF di RSN4 saranno coinvolti direttamente nelle diverse attività legate alla ricerca e caratterizzazione delle controparti elettromagnetiche delle GW, sia dal punto di vista osservativo con campagne dedicate dal radio al TeV, sia da quello teorico/interpretativo. Queste attività sono riprese nel Maggio del 2023 col nuovo periodo di presa dati (O4) degli interferometri LIGO, a cui si aggiungerà in seguito anche Virgo, per una durata complessiva di 20 mesi. Alla fine del 2023 è inoltre previsto il lancio del satellite XRISM, sviluppato dall'agenzia spaziale giapponese (JAXA) in collaborazione con NASA e ESA, che effettuerà osservazioni ad altissima risoluzione spettrale che daranno un contributo fondamentale allo studio dei venti ionizzati in oggetti compatti in accrescimento, fornendone una stima del flusso di massa e di energia. Nell'autunno del 2023 la NASA aprirà a tutta la comunità la possibilità di ottenere tempo osservativo con il satellite IXPE, favorendo un ancor maggiore coinvolgimento dei ricercatori INAF che contribuiranno a dare risposte sulle geometrie dei sistemi in accrescimento, sui campi magnetici nelle stelle di neutroni e sulla fisica dei getti. I ricercatori INAF contribuiscono in modo sostanziale alla determinazione dei programmi scientifici per future missioni spaziali, telescopi da Terra, e rivelatori di onde gravitazionali.

In particolare, di recente l'Italia si è candidata ad ospitare in Sardegna il sito per Einstein Telescope (ET), un interferometro di terza generazione dall'eccezionale sensibilità nella misura delle GW. Ricercatori INAF partecipano con una propria unità di ricerca alla collaborazione ET, contribuendo allo sviluppo del caso scientifico multi-messaggero e alle sinergie e strategie di coordinamento di ET con osservatori elettromagnetici. Oltre alle future missioni THESEUS e Hermes, nel prossimo triennio la comunità INAF di RSN4 sarà anche impegnata nel progetto eXTP, satellite cinese in banda X con 4 strumenti a bordo di cui uno a responsabilità INAF (LAD) e Athena, missione *large* proposta all'ESA, il cui strumento X-IFU è a co-PI-ship INAF. Per quanto riguarda la fisica fondamentale, l'ASI ha finanziato con un premio il progetto G4S_2.0 che si propone di ottenere una serie di misure tra cui il redshift gravitazionale e vincoli a teorie

alternative della gravitazione, sfruttando le orbite ellittiche di due satelliti della costellazione Galileo di ESA. La comunità dell'astronomia gamma in INAF sarà inoltre impegnata con le calibrazioni e prime osservazioni di ASTRI Mini-Array, oltre che con lo sviluppo di parte della tecnologia per il futuro osservatorio internazionale per l'astronomia con i telescopi Cherenkov (CTA). La comunità di radioastronomia di RSN4 partecipa con le antenne di Medicina, Noto e SRT alle 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 cosmici extragalattici di più alta energia. Il progetto XENONnT, a cui partecipano ricercatori INAF, manterrà nel triennio la leadership mondiale per la rivelazione diretta delle particelle costituenti la materia oscura.

Collaborazioni nazionali ed internazionali di particolare rilievo - 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, ICAR, INFN, ISDC, KASI, MPA, NAOJ, NASA, NLR, RIKEN. Molte unità INAF fanno parte di grandi collaborazioni nazionali (ASTRI, GRAWITA) ed internazionali (AHEAD, CTA consortium, ENGRAVE, MAGIC Collaboration, LST Consortium).

Strutture di ricerca da terra e da spazio prevalentemente utilizzate - Specificamente per RSN-4 vengono utilizzati tutti gli strumenti osservativi disponibili in ogni banda dello spettro elettromagnetico sia nazionali (e.g., VST, LBT, REM, TNG, Osservatori di Asiago e Campo Imperatore, radiotelescopi di Medicina, Noto ed SRT in modalità *single dish* e VLBI, il satellite AGILE) che internazionali (e.g., ALMA, ATCA, Chandra, EVN, eMERLIN, Fermi, HESS, HST, INTEGRAL, IXPE, LOFAR, LBT, LST, MAGIC, 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, PLEIADI, SCAN) ed internazionali (e.g., infrastrutture del consorzio PRACE ed EuroHPC).

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 dell'INAF è testimoniato dai numerosi articoli scientifici pubblicati sulle più prestigiose riviste del settore, nonché presentati a conferenze internazionali. Il personale tecnologico INAF ricopre inoltre 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 l'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, 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 ottica introdotta dall'atmosfera, 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, specchi primari attivi per telescopi spaziali, 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, gli innovativi SHARK-VIS e SHARK-NIR (in fase di commissioning), e per il VLT, come MAVIS (in fase di Final 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'ultravioletto, nel visibile e nel 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 e allo studio tramite spettroscopia per immagini dell'atmosfera solare (MUSE). 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 Solar Orbiter 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. Queste piattaforme, grazie ad attività in cui INAF ha un ruolo di leadership, sempre più spesso vengono utilizzate come dimostratori per consentire l'ulteriore sviluppo di tecnologie innovative.

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 dell'implementazione delle facility di calibrazione BEaTriX e VERT-X. 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 ulteriore 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 nelle missioni HERMES ed eXTP, o lo sviluppo di sistemi all'avanguardia legati allo strumento XIFU della missione Athena, quali i rivelatori criogenici per la riduzione del rumore di fondo ed i filtri ultrasottili di grande area. INAF sviluppa inoltre tecnologie innovative per la polarimetria X, che hanno ad esempio permesso di ottenere l'attuale ruolo chiave nella progettazione e realizzazione di strumenti per missioni spaziali quali eXTP, IXPE e CUSP. 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. 4.1.3 - 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 anche 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 e i sistemi di controllo Real Time mediante HPC 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. La rete di laboratori e infrastrutture dedicate alla realizzazione e caratterizzazione di strumentazione astronomica verrà potenziata grazie agli investimenti previsti dal PNRR (Sezione 4.2.1).

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

La progettazione e realizzazione di uno 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 ed 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. Analogamente, per gli strumenti da Terra i ricercatori dell'INAF sono impegnati nello sviluppo di tools e software per l'analisi dei dati di imaging e spettroscopia nel contesto della strumentazione di ultima generazione.

L'astrofisica multi-messenger, 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 per i quali si fa ricorso ai paradigmi della Data Science. Questa disciplina scientifica mira ad estrarre informazioni dall'immensa quantità di dati grezzi prodotta dalle strumentazioni di ultima generazione e affronta i problemi astrofisici facendo ricorso sia ad algoritmi computazionali classici che a metodologie di frontiera proprie dell'intelligenza artificiale quali: Big Data, Data Mining, Computer Vision e Machine Learning. Questo processo richiede infrastrutture e competenze trasversali alla comunità scientifica e necessita di progettazione e implementazione di nuove piattaforme informatiche, in grado di gestire enormi moli di dati eterogenei, che include anche la reingegnerizzazione 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 su infrastrutture di tipo Exascale, per cui RSN5 sviluppa sia gli algoritmi che le tecnologie in co-design con le aziende private del settore. 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.

Le attività di ricerca tecnologica collegate al computing e alla gestione e analisi dei dati astronomici si svolgeranno, nei prossimi tre anni, anche in sinergia con le attività del "Centro Nazionale di Ricerca in High-Performance Computing, Big Data and Quantum Computing" avviato nell'ambito del PNRR.

INAF infine 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 EOOSC 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 https://schede.inaf.it/consulta/lista_schede_archivio?anno=2023 attraverso le Schede di Progetto INAF. Nel corso del 2023 sono state presentate 851 Schede per progetti di ricerca scientifica e tecnologica afferenti ai 5 Raggruppamenti Scientifici Nazionali. 79 Schede afferiscono alla Terza Missione e 49 a progetti multi-disciplinari (più RSN indicati). 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.

4.2.1 Progetti del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

4.2.1.1 STILES

STILES è un programma finanziato dal Programma Nazionale di Resistenza e Resilienza (PNRR) che mira a rafforzare la leadership italiana nell'esplorazione dell'Universo sviluppando laboratori e strumenti per i due più grandi telescopi terrestri dei prossimi decenni: l'European Extremely Large Telescope (ELT) e lo Square Kilometer Array (SKA).

Il programma STILES è coordinato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) in collaborazione con 7 Università italiane ed enti di ricerca internazionali.

Gli obiettivi di STILES includono:

- **Aggiornamento diretto delle capacità osservative di ELT e SKA**, grazie alla costruzione di strumentazione per ELT e SKA e per i rispettivi precursori VLT/LBT e MeerKAT.
- **Investimenti in tecnologia dell'informazione**, acquisendo infrastrutture HW e SW fondamentali per lo sviluppo di nuovi strumenti e l'analisi dei loro dati. Tra queste figurano un centro di calcolo ad alte prestazioni e strumenti software basati sull'apprendimento automatico per l'analisi dei dati, nonché una Concurrent Design Facility e altre infrastrutture per lo sviluppo di strumenti.
- **Sviluppo di laboratori per lo studio delle condizioni "eso-atmosferiche"**, che ci permetteranno di studiare stati fisici che non sono mai stati osservati sulla Terra, offrendoci vantaggi cruciali nella comprensione e nell'interpretazione dei dati degli strumenti ELT.
- **Sviluppo di esperimenti e laboratori di R&D**. L'obiettivo è investire nei nostri laboratori per inventare ed esplorare nuove tecnologie in diversi campi (ottica adattiva, rivelatori ottici e ricevitori radio) e applicarle al settore astronomico.
- **Infrastrutture nazionali per verifica di strumentazione**. Verrà realizzata una rete di strutture in grado di fornire servizi generali (come la progettazione e la produzione opto-meccanica) e strutture polivalenti per la caratterizzazione di strumenti e metodi. Queste strutture coordinate saranno a disposizione di tutti i gruppi tecnologici italiani e internazionali.
- **Un programma scientifico ed educativo unico**. L'ultimo pilastro del nostro programma è un programma coordinato di dottorati e un programma post-dottorato a livello nazionale esplicitamente incentrato sulla scienza con ELT, SKA e le loro sinergie, volto a promuovere la carriera di giovani astronomi.

Il finanziamento complessivo di STILES ammonta a 65.420.560€ (che diventano 69.999.999 con le spese generali). La divisione dei costi nelle varie tipologie di intervento è riportata in Tabella 2.

COSTS (€) ENTIRE PROJECT			
	Costs included in the request for funding		
	To be located within the eight southern Regions	To be located outside the eight southern Regions	Total requested grant
a. Fixed term personnel specifically hired for the project	1.621.960,00	2.505.180,00	4.127.140,00
b. Scientific instrumentation and technological equipment, software licenses and patent	26.519.000,00	29.063.532,00	55.582.532,00
c. Open Access, Trans National Access, FAIR principle implementation	85.000,00	36.000,00	121.000,00
d. Civil infrastructures and related systems	2.367.446,00	2.344.000,00	4.711.446,00
e. Indirect costs, including running costs	2.156.042,20	2.423.396,80	4.579.439,00
f. Training activities	207.200,00	671.242,00	878.442,00
Total	32.956.648,20	37.043.350,80	69.999.999,00

Tabella 2 - Divisione dei costi progetto STILES

4.2.1.2 CN HPC

Il Centro Nazionale (CN) HPC, Big Data e Quantum computing è uno dei cinque centri nazionali istituiti per il PNRR. È principalmente dedicato a diverse aree strategiche per lo sviluppo del paese per simulazioni, calcolo e alte prestazioni ed analisi dei dati. Il principale obiettivo per INAF è lo sviluppo di tecnologie di calcolo innovative per l'Astrofisica per la prossima generazione di infrastrutture Exascale per i più importanti progetti di osservazione e osservatori: SKA, LOFAR2.0, Meerkat+, Euclid, Gaia, CTA, ASTRI, SWGO, LSST, ELT and HPC Theory ecc.

Il CN è strutturato secondo il modello hub - spoke ed è gestito dalla fondazione ICSC. INAF è tra i soggetti fondatori del Centro e Spoke Leader di Spoke 3 Astrophysics and Cosmos Observation, ed affiliato in Spoke 1 Future HPC & Big Data, Spoke 2 Fundamental Physics and Space Economy (Spoke co-Leader) e Spoke 10 Quantum Computing (Figura 8)

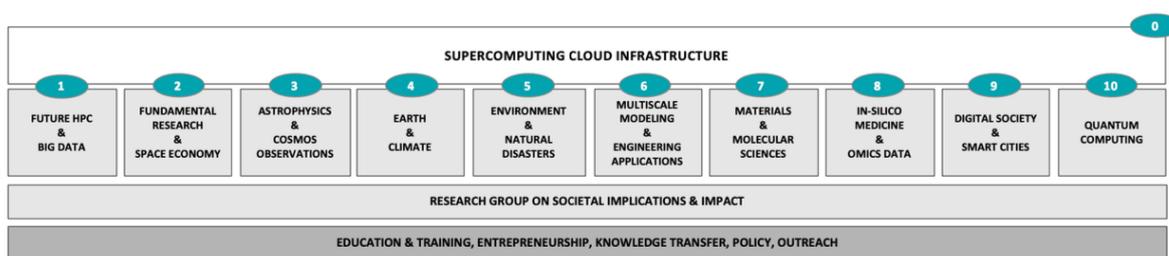


Figura 8 - CN HPC - Struttura del modello Hub and Spoke

Il CN avrà infrastrutture HPC collegate a Leonardo al Tecnopolo e in altre sedi nazionali. I principali obiettivi di INAF sono lo sfruttamento di soluzioni all'avanguardia nella riscrittura e adeguamento di software di analisi (con machine learning e visualizzazione) e simulazioni per HPC e Big Data e Quantum Computing nelle seguenti principali area di ricerca dell'INAF: Cosmologia; Stelle e Galassie; Fisica spaziale (Terra, Solare e Planetaria); Radioastronomia; Astrofisica osservativa e time domain; Astrofisica delle alte energie, fondo cosmico a microonde; Struttura su larga scala, ammassi e galassie; astrofisica multi messaggero;

Nel programma sono coinvolte tutte le strutture INAF con circa 50 unità di personale staff (Ricercatori e Tecnologi) e circa 45 nuove unità di personale: 33 Tecnologi/Ricercatori a Tempo Determinato, 4 Assegnista di Ricerca e 8 PhD sul programma.

Il Budget complessivo di INAF per la partecipazione al Centro Nazionale è di circa 10 Milioni di euro (Tabella 3), in parte distribuito sulle sedi per il pagamento degli oneri connessi alle nuove figure reclutati. Sono inoltre previste attivazioni di 6 progetti in collaborazione con le aziende su tematiche di interesse comune dell'ente e delle stesse aziende. Le aziende coinvolte con INAF sono Banca Intesa Sanpaolo, Sogei, UnipolSai, Leonardo, Thales Alenia Space Italia, ENI e IFAB.

Milestones del Progetto	Data Scadenza	TOTALE Euro
M4	Aprile 2023	€ 519,139.00
M6	Agosto 2023	€ 565,806.60
M7	Febbraio 2024	€ 2,032,748.71
M8	Giugno 2024	€ 1,764,873.67
M9	Ottobre 2024	€ 1,761,833.47
M10	Agosto 2025	€ 3,198,939.58
Totale		€ 9,843,341.02

Tabella 3 - CN HPC dettaglio finanziamenti

Come richiesto dalla partecipazione al Centro Nazionale il 40% circa delle risorse è destinato alle regioni del sud.

I principali deliverables e milestone da raggiungere riguardano i seguenti obiettivi.

- **HPC Codes Enabling and Optimization:** selezione dei codici che richiedono grandi risorse computazionali per affrontare le sfide dei grandi esperimenti del prossimo futuro. Le azioni previste sono la riprogettazione, la re implementazione e l'ottimizzazione dei codici al fine di sfruttare efficacemente le soluzioni HPC all'avanguardia, compresi gli acceleratori e le architetture alternative (ad esempio GPU e architetture ARM).
- **Progettazione di algoritmi, metodologie e codici innovativi verso Exascale e oltre:** identificazione degli algoritmi e metodologie innovativi con la capacità di sfruttare le architetture exascale e post exascale.

- **Big Data Analysis, Machine Learning e Visualizzazione** con l'applicazione di tecniche avanzate di Intelligenza Artificiale applicate a grandi volumi di dati astrofisici, facilitando la convergenza (calcolo eterogeneo) di strumenti HPC, HTC, HPDA e Cloud e sfruttando piattaforme Exascale.
- **Big Data Management, Storage and Archiving:** partendo dalla best practice e framework già implementati per gestire dati e software con principi FAIR e Open Science e sviluppare framework innovativi in grado di soddisfare la Big Data Challenge.

4.2.1.3 NG Croce

Next Generation – Croce del Nord (NG-CROCE) prevede l'aggiornamento del radiotelescopio “Croce del Nord” di Medicina (BO) e la parabola di 32 metri di diametro di Noto (SR) per lo studio dei Fast Radio Burst e il monitoraggio dei detriti spaziali. Il progetto è coordinato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) in collaborazione con il Politecnico di Milano e include i seguenti obiettivi:

- **ristrutturazione e messa in operatività del ramo Est-Ovest del radiotelescopio Croce del Nord** di Medicina, sia per obiettivi scientifici che per la partecipazione alla rete europea di monitoraggio dei detriti spaziali;
- **installazione a Medicina di un nuovo centro di calcolo** per la ricerca scientifica sui Fast Radio Burst (FRB) e il monitoraggio dei detriti spaziali;
- **installazione** di un nuovo ricevitore in banda P sulla parabola di Noto e di un nuovo strumento di *back-end* per svolgere osservazioni interferometriche insieme alla Croce del Nord e al Sardinia Radio Telescope;
- **costruzione di un'antenna trasmittente** per il monitoraggio dei detriti spaziali, da installare su un sedime militare, alla stessa longitudine della Croce del Nord;
- **installazione di due impianti fotovoltaici** da 250 kW e 75 kW, rispettivamente nelle stazioni radioastronomiche di Medicina e Noto, per il sostentamento energetico delle stesse. In questo modo sarà possibile ridurre i consumi energetici, produrre energie sostenibili ed eliminare i sistemi di riscaldamento a combustibili fossili, dando avvio, di fatto, a un processo di transizione energetica;
- **partecipazione alla realizzazione di CHORD**, un nuovo radiotelescopio canadese per la ricerca di fenomeni transienti e FRB.

Per raggiungere gli obiettivi descritti finora, le attività sono divise in sei Working Package (WP):

- **WP1** – Management;
- **WP 2** – Upgrade della Croce del Nord;
- **WP 3** – Antenna trasmittente;
- **WP 4** – Upgrade del radiotelescopio di Noto;
- **WP 5** – Tools;
- **WP 6** – FRB enabling.

Questo progetto è finanziato dall'Unione Europea e approvato dal Ministero dell'Università a seguito dell'Avviso Pubblico n. 3624 del 28 dicembre 2021, per la presentazione di proposte progettuali per “Rafforzamento e creazione di Infrastrutture di Ricerca”, da finanziare nell'ambito del “Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza” (“PNRR”), “Missione 4”, denominata “Istruzione e Ricerca”, “Componente 2”, denominata “Dalla Ricerca alla Impresa”, “Linea di Investimento 3.1”, “Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione” con un contributo complessivo di 18.952.289,40€.

Al progetto collaborano diverse professionalità del Politecnico di Milano (PoliMi) e di tre sedi dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF): l'Istituto di Radioastronomia di Bologna (IRA), l'Osservatorio Astronomico di Arcetri (OA-Arcetri) e l'Osservatorio Astronomico di Cagliari (OA-Cagliari).

4.2.1.4 EMM

Earth Moon Mars (EMM) è un progetto finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) per favorire lo sfruttamento scientifico della Luna in Italia. Si basa sull'idea di utilizzare la Luna come sito privilegiato per osservare la Terra e l'Universo e, allo stesso tempo, supportare le attività che prepareranno l'esplorazione umana di Marte.

EMM (Proposta: IRO000038) è finanziato dall'Unione Europea e approvato dal Ministero dell'Università a seguito dell' Avviso pubblico n. 3264 del 28/12/2021 per la presentazione di proposte progettuali per "Rafforzamento e creazione di Infrastrutture di Ricerca" da finanziare nell'ambito del PNRR Missione 4, "Istruzione e Ricerca" – Componente 2, "Dalla ricerca all'impresa" – Linea di investimento 3.1, "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione", con un contributo complessivo di 29.999.819€, di cui 5,899,773.03 € per INAF.

EMM è coordinato dall'INAF in collaborazione con l'ASI e il CNR.

Gli obiettivi principali di EMM sono:

- **la creazione di una nuova infrastruttura per le comunicazioni tra Terra Luna e Marte** (SRT/DSN);
- **esplorare la capacità della Luna come laboratorio di ricerca** polivalente dedicato alla scienza della Terra e dell'Universo dalla Luna;
- **svolgere attività di R&S** per sviluppare strumenti innovativi per l'osservazione della Terra e dell'Universo, da ospitare sull'infrastruttura lunare
- **un passo avanti verso Marte**, ovvero a) creare una rete di esperti nell'analisi dei dati e dei modelli teorici che seguano un approccio interdisciplinare per migliorare la nostra conoscenza dell'atmosfera terrestre e planetaria, condividendo le proprie competenze nei rispettivi campi; b) combinare insiemi di dati provenienti da diverse strumentazioni con informazioni complementari;
- **formare una nuova generazione di scienziati e ingegneri**, dando loro la possibilità di guidare le rivoluzioni scientifiche che queste infrastrutture renderanno possibili;
- **stabilire un network tra gli istituti di ricerca e le industrie italiane**, al fine di potenziarne le sinergie e ottimizzare l'allocazione delle risorse a livello nazionale.

Gli obiettivi saranno raggiunti attraverso l'implementazione di diverse nuove infrastrutture:

- **Infrastruttura SRT**

SRT è un radiotelescopio parabolico completamente orientabile di 64 m di diametro, situato in Sardegna, in grado di operare con alta efficienza nella gamma di frequenza 0,3-116 GHz. Uno studio per l'implementazione completa in tutte le bande di frequenza per le comunicazioni Deep Space e Near Earth permetterà a SRT di rafforzare il suo ruolo nel DSN e nel panorama internazionale. Questo studio porterà alla progettazione e implementazione di servizi di comunicazione Deep Space in conformità con le interfacce e pratiche internazionali. Verrà implementata la piena capacità di ricezione dell'antenna attraverso l'aggiornamento dell'attuale configurazione ottica e una catena di ricezione criogenica a basso rumore a doppia polarizzazione nelle bande X, K e Ka.

- **Infrastruttura Lunare**

Uno degli obiettivi più ambiziosi è la progettazione di un'infrastruttura lunare come laboratorio di ricerca multipurpose. Il sistema sarà focalizzato sull'alloggiamento degli strumenti proposti e sulla loro operabilità con il segmento terrestre (SRT). La base sarà modulare, permettendo di aggiungere altri strumenti successivamente.

Strumentazione per l'Infrastruttura Lunare

In questo progetto si propone lo sviluppo di dieci strumenti per colmare lacune nella conoscenza scientifica e creare un osservatorio multidisciplinare italiano sulla Luna. Gli strumenti proposti sono basati su tecnologie e/o patrimoni spaziali in cui l'Italia ha un ruolo di leadership internazionale. Gli strumenti da sviluppare a vari livelli TRL sono:

- LEM-X: un All Sky Monitor che opera in un'ampia gamma di energie, da 2 keV a 1 MeV su tutto il cielo, per monitorare i transienti in X/gamma. Resp. INAF-IAPS.
- LUNAPOL: un polarimetro per il rilevamento della polarizzazione interstellare. Resp. UniSapienza/INAF_IAPS.
- Due strumenti per l'osservazione della Terra: LETO, che include uno spettro-radiometro a trasformata di Fourier (LETO-FTS) e uno studio di fattibilità per un imager (LETO-IMG); e MaTEO, uno studio di fattibilità di un radiometro subTHz per osservazioni basate sulla Luna. Resp. CNR.
- Sei strumenti per monitorare le caratteristiche e l'ambiente lunare: la camera pancromatica PANCAM (INAF-OAPD), il sismografo LISS (INAF-IAPS), MUAM: un dispositivo ottico compatto ed efficiente per la determinazione dell'irradianza solare diretta e dell'albedo nelle tre bande UV, UV-A, UV-B e UV-C (INAF-OAS), due sistemi complementari per lo studio della polvere in sospensione sulla superficie lunare: LD GRIDS (INAF-OACN) e DEC (INAF-IAPS) e il sensore SXR per monitorare l'emissione di raggi X dai brillamenti solari, rilevante sia dal punto di vista scientifico che per lo space weather (INAF-OATO).

Inoltre, si punta anche a costruire un'infrastruttura per lo studio dell'atmosfera di Terra e Marte in grado di colmare le lacune attuali nelle capacità di modellazione di misurazioni indirette delle atmosfere terrestri e planetarie in Italia.

Le strutture INAF coinvolte nel progetto sono:

- l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte (OACN), Napoli
- l'Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali di Roma (IAPS), Roma
- L'Osservatorio Astronomico di Padova (OAPD), Padova
- L'Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna (OAS), Bologna
- L'Osservatorio Astrofisico di Torino (OATO), Torino

4.2.1.5 CTA+

CTA+ è un programma PNRR-IR per il potenziamento del sito SUD di CTA. Il programma CTA+ è coordinato dall'INAF, prevede una importante partecipazione dell'INFN e di 6 Università italiane ed è svolto in collaborazione con altri enti di ricerca internazionali già coinvolti in CTA.

L'Osservatorio CTA è elencato tra le Infrastrutture di Ricerca (IR) a più alta priorità nazionale, coerentemente con il forte coinvolgimento internazionale finanziario, politico, tecnico e scientifico, nonché per l'ubicazione dei suoi headquarters in Italia. Purtroppo, per restrizioni finanziarie, la comunità internazionale non era riuscita ancora a coprire tutti i costi della costruzione di CTA originariamente pianificati ed il progetto è stato costretto a definire una "configurazione Alpha" che, per il sito sud in Cile, non include nessuno dei 4 telescopi di grandi dimensioni (LST) originariamente previsti, ed avrà un numero ridotto di telescopi di piccole dimensioni (SST) rispetto alla sua baseline originale. Non è sorprendente quindi leggere nello statuto stesso dell'ERIC CTAO che il ripristino dei telescopi LST e l'aumento di telescopi SST sono le due priorità assolute del progetto per il sito sud perché volti a **garantire il recupero di una parte importante della scienza accessibile dal sito sud, ossia quella legata alla fisica dei transienti, delle sorgenti multi-messenger, e delle sorgenti extragalattiche.**

Per le suddette ragioni la proposta CTA+ è volta a fornire i tanto desiderati telescopi aggiuntivi, in particolare **2 LST e 5 SST da posizionare nel sito di CTA-S**. Per massimizzare inoltre il ritorno scientifico consentito da CTA+, sono stati proposti ulteriori miglioramenti quali i) **il potenziamento di IRs a guida INAF**, ossia degli Osservatori VST, TNG e delle tre antenne radio italiane VLBI, per la loro ottimizzazione ad effettuare i follow-up elettromagnetici (Ottici/IR/radio) delle sorgenti CTA, ii) **il potenziamento della ricerca e sviluppo per futuri rivelatori per CTA**, iii) la realizzazione di un **prototipo end-to-end per l'interferometria ad intensità**

ottica e iv) il potenziamento della formazione e supporto scientifico al programma CTA+ e alla sede degli Headquarters a Bologna.

Per raggiungere i suoi obiettivi, il programma CTA+ è suddiviso nei seguenti Work Package (WP):
Il Programma CTA+ prevede le seguenti attività:

WP1100: Program Management

WP1200 : Realizzazione di 2 telescopi LST inclusivi di: Struttura meccanica, Specchi, Camera, Integrazione, Fondamenta/infrastruttura

WP1300 : Realizzazione di 5 telescopi SST inclusivi di: Struttura meccanica, Specchi, Camera, Integrazione, Fondamenta/infrastruttura

WP1400: Potenziamento di Osservatori INAF con nuova strumentazione per aumentarne le capacità di follow-up elettromagnetico sorgenti CTA:

- **Polarimetro VST**
- **TNG fast Opt/IR photometer.**
- **Italian VLBI network upgrade fast repointing mode**
- **“spin off” prototipo: Stellar Intensity Interferometer ASTRI-MA**

WP1500: Ricerca e Sviluppo per tecnologie per futuro CTA:

- Water Cherenkov
- RPC
- SiPM

WP1600: Science:

- Potenziamento scientifico con CTA+
- Divulgazione e comunicazione
- Potenziamento HQ di CTA+

Costi

I costi massimi previsti per ogni attività, nelle more della definizione del finanziamento complessivo al termine della procedura di valutazione, sono elencati in Tabella 4:

COSTS (€) ENTIRE PROJECT			
	Costs included in the request for funding		
	To be located within the eight southern Regions	To be located outside the eight southern Regions	Total requested grant
a. Fixed term personnel specifically hired for the project	1.593.480,60	5.147.710,41	6.741.191,01
b. Scientific instrumentation and technological equipment, software licenses and patent	38.802.506,57	19.089.560,20	57.892.066,77
c. Open Access, Trans National Access, FAIR principle implementation	0,00	15.000,00	15.000,00
d. Civil infrastructures and related systems	504.417,40	715.554,70	1.219.972,10
e. Indirect costs, including running costs	2.763.379,22	1.883.001,73	4.646.380,95
f. Training activities	234.999,00	727.931,00	962.930,00
Total	43.898.782,79	27.578.758,04	71.477.540,83

Attività per Ente	Costi in Euro
INAF	55,923,275.88
UNIBO	359,509.72
INFN	12,675,343.57
UNIBA	162,282.00
POLIBA	1,563,865.67
UNISI	431,506.69
UNIPA	361,757.30

Tabella 4 - Dettaglio finanziamenti CTA+

Piano delle attività:

Le attività del Progetto sono divise nelle fasi principali riportate in Tabella 5 - Piano delle attività di CTA+, coerentemente con le condizioni stabilite dal bando MUR. La tabella riporta le fasi generali del progetto in mesi dal Kick-Off (KO) avvenuto il 01/01/2023.

Fase	Inizio	Fine
Disegno e progettazione	KO	KO+6
Bandi e assegnazione delle gare	KO+7	KO+12
Realizzazione dei telescopi e MAIT	KO+13	KO+24
Verifica	KO+25	KO+30

Tabella 5 - Piano delle attività di CTA+

5. Attività Esterna e di Servizio alla Comunità

5.1. Space Situational 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 il monitoraggio dei 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, Romania, Grecia, Austria, Repubblica Ceca, Finlandia, Svezia, Olanda, Lettonia e 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 Sarda sono al momento il fulcro dell'attività dell'Ente nel campo di SST, utilizzando il telescopio ottico "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, Copernicus, 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 tuttora 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 Evpatoria (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 (ASPI) 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) nonché l'applicazione di metodiche sviluppate in Astrofisica per studi sui cambiamenti climatici (Climate Change).

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 delle differenze 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 ed 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.

Si è ritenuto opportuno continuare le linee di ricerca più promettenti anche ad emergenza pandemica conclusa, allargandone l'applicabilità ad altri virus o altri agenti patogeni in generale.

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 6 l'elenco delle rappresentanze coperte da INAF in vari contesti internazionali con indicazione del ruolo e del nominante ed i principali ruoli di rappresentanza coperti da INAF in seno alle varie organizzazioni internazionali descritte in questo documento. Si riporta 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	Funziario 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 6 - 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;
- 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.

Si è, altresì, intenzionati ad incrementare le occasioni di dialogo strutturato con il mondo produttivo, così come definito dall'articolo 43 del Regolamento INAF per la *"Gestione, Tutela e Valorizzazione della Proprietà Intellettuale e per la Incentivazione della Innovazione"*, con particolare riferimento all'utilizzo dello strumento del *"Knowledge Exchange Workshop"* che consente l'*engagement* del mondo industriale, quale stakeholder dell'Ente, su tematiche di carattere scientifico e tecnologico in una prospettiva di sinergia strategica ed al contempo, consente al personale di ricerca di comprendere lo stato dell'arte ed i trends tecnologici dei settori produttivi investiti dalla ricerche in campo astrofisico.

Si procederà quindi a rendere strutturale la sessione aperta alle aziende dell'evento ricorrente denominato "Giornate INAF" nonché ad un avere dei panel tematici permanenti che consentano lo scambio, aperto e trasparente, di informazioni circa l'evoluzione delle innovazioni tecnologiche, rafforzato dalle intensificazioni delle attività di business intelligence disseminate anche attraverso una rivisitazione del portale tematico INAF Innova, nell'ottica di fornire alla comunità scientifica di riferimento un outlook informativo sul mondo dell'innovazione tecnologica.

6.2. Alta Formazione

Il numero complessivo di ricercatori appartenenti ad Università o ad altri Enti e associati all'INAF è di circa 520 unità, di cui circa 350 appartenenti ad Università italiane ed estere. 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, Salento, Calabria, e Palermo. Recentemente, INAF ha aperto proprie sezioni presso 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.

A partire dal 2022 ed anche nel 2023 INAF ha partecipato ad alcuni Dottorati Nazionali, a) Dottorato Nazionale in Scienze Planetarie (Università di Trento - 1 borsa), b) Dottorato Nazionale in Scienze Polari (Università Ca' Foscari di Venezia - 1 borsa) e c) Dottorato Nazionale in Tecnologie per la fisica fondamentale (Università di Padova - 6 borse).

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 il coordinamento 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 2023-2025, 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 2023 *Media Inaf* ha prodotto circa 12.000 news e 3.000 servizi video, centinaia di interviste e due newsletter a settimana (che raggiungono oltre 6.500 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 2023 *Media INAF* ha registrato oltre 100mila *followers* su Facebook, 14mila su

Twitter, 13mila su Instagram e 47mila iscritti al canale YouTube *Medialnaf Tv*, che con i suoi 18 milioni di visualizzazioni si pone attualmente al primo posto fra quelli di tutti gli enti di ricerca.

6.3.2. Divulgazione

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.

Nel corso dell'ultimo anno scolastico 2022/2023 abbiamo raggiunto complessivamente oltre **85 mila visitatori unici in presenza**. Considerando che è stata solo da Maggio 2023 decretata la fine della pandemia, l'obiettivo per il prossimo triennio è di aumentare il numero di visitatori.

Molte sedi INAF 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 è in funzione 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.

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 Festival della Comunicazione di Camogli, dal Festival della Scienza di Cagliari all'Earth Day di Roma. Senza trascurare le realtà più piccole ma molto interessanti, come il Festival dell'Astronomia di Castellaro Lagusello (MN) , giunto alla sua terza 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, 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. Dal 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.

Nel corso dell'ultimo anno scolastico 2022/23 abbiamo raggiunto oltre **1.400 classi singole** in tutta Italia con le attività nelle scuole e nei festival della scienza, a cui aggiungere **oltre 137.000 (137 mila) studenti di scuole di ogni ordine e grado** attraverso concorsi, gare dell'Astronomia, coinvolgimento nelle nostre dirette EduINAF, e altre attività dove non si partecipa con la classe ma a gruppi o singolarmente.

EduINAF, edu.inaf.it rivista online registrata 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 25 mila utenti unici mensili dimostrano l'interesse per EduINAF, che offre anche un punto di contatto con astroEDU, la piattaforma internazionale della IAU (International Astronomical Union), nella sua versione in italiano, 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 incoraggiano e favoriscono 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 e 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 delegato 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 è tenuto a Lampedusa nel luglio 2022 e il secondo si è tenuto dal 21 al 27 giugno 2023 a Ifrane, in Marocco presso la Al Akhawayn University.

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.

Campionati Italiani di astronomia e Settimana dell'Astronomia. I Campionati Italiani di Astronomia sono bandite dal Ministero dell'Istruzione e del Merito -MIM- 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. I Campionati Italiani di Astronomia sono riconosciuti dalle International Astronomical Olympiad, che ha organizzato a Matera la finale internazionale 2022 e che organizzerà in Cina in ottobre la finale internazionale 2023.

La Settimana dell'Astronomia, promossa da Milano, 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 https://openaccess.inaf.it](https://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 garantire la tutela e la salvaguardia, ma anche a sostenerne la valorizzazione e la conoscenza critica attraverso appropriati studi e 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 Europeana. 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

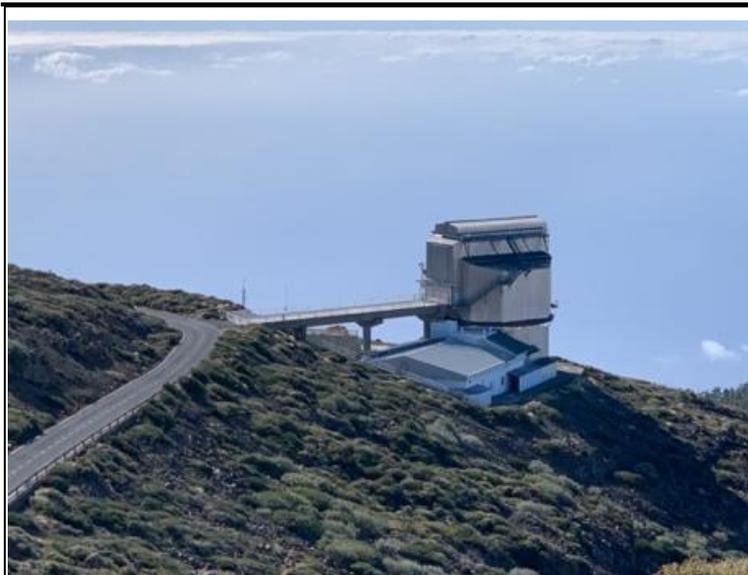
INAF costruisce, opera ed utilizza infrastrutture osservative da Terra e da Spazio, queste ultime in collaborazione con l'ASI ed altre rilevanti agenzie spaziali nel mondo.

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 dell'INAF con superficie attiva di 64 m di diametro sito in località San Basilio in Sardegna. È stato realizzato da INAF con contributi del MUR, della Regione Sardegna e dell'ASI. Oltre ad essere uno strumento innovativo per applicazioni single-dish opera anche, insieme alle antenne da 32 m presso Medicina (Bo) e Noto (Sr), nelle rete italiana ed europea del VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Il funzionamento di SRT e delle antenne VLBI è finanziato dal MUR come progetto a valenza internazionale (4.0 M€/anno). È in fase di finalizzazione un importante potenziamento di SRT finanziato dal MUR attraverso l'iniziativa PON (PIRO1_00010 - 18.7 M€) che consentirà a partire dal 2024 di operare il radiotelescopio ad alta frequenza (fino a 100 GHz) aprendo nuovi orizzonti di sfruttamento scientifico. Sempre grazie al PON si stanno equipaggiando con ricevitori ad alta frequenza anche l'antenna di Noto e quella di Medicina, presto dotata anche di superficie attiva. Quindi a partire dal 2024 tutta la rete VLBI italiana potrà osservare fino a 100 GHz.



Telescopio Nazionale Galileo (TNG)

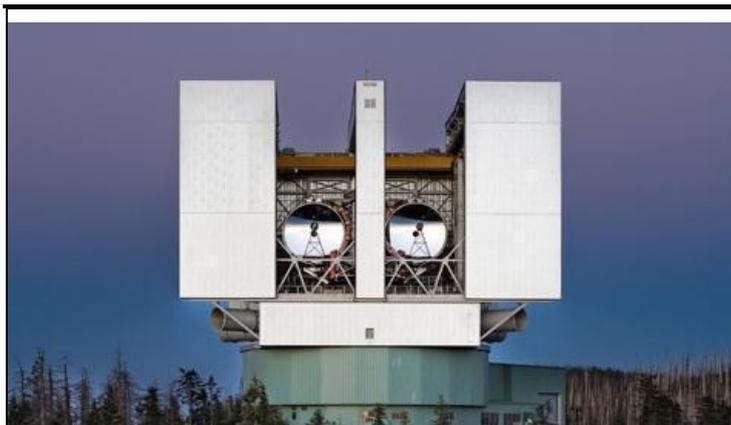


Sardinia Radio Telescope (SRT)

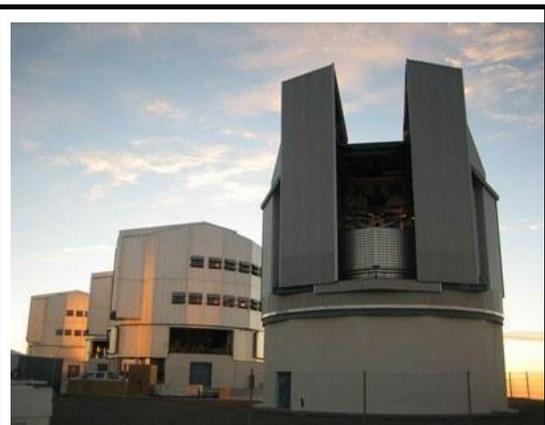
TNG è un Telescopio Ottico-Infrarosso da 3.6 m di diametro sito presso l'Osservatorio del Roque de los Muchachos, isola di La Palma, Canarie (Spagna). Infrastruttura gestita interamente da INAF attraverso la *Fundación Galileo Galilei Fundación Canaria*, e finanziata dal MUR come progetto a valenza internazionale (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. È stato aggiornato l'accordo con l'Università di Ginevra per l'utilizzo dello spettrografo ad alta risoluzione HARPS-N fino al 2038. Il TNG è inoltre coinvolto nei progetti PNRR CTA+ e STILES per la costruzione di un fotometro veloce e di un laser-comb VIS-NIR

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. Sono in corso di installazione a 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 (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 è tornato sotto il pieno controllo dell'Ente dal 1°ottobre 2022, alla scadenza dell'accordo decennale con ESO per il suo utilizzo. Per la sua gestione l'Ente ha creato un apposito centro, denominato "Centro di Coordinamento per VST", il cui coordinatore è la Dr.ssa Enrica Iodice



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)



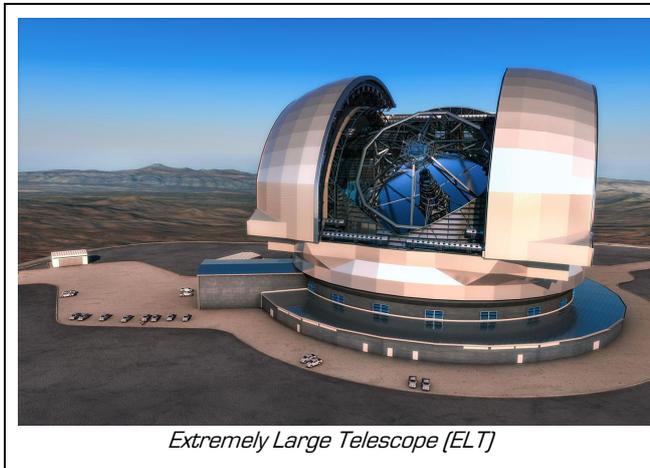
Atacama Large Millimetric Array (ALMA)

7.1.2. Infrastrutture in costruzione

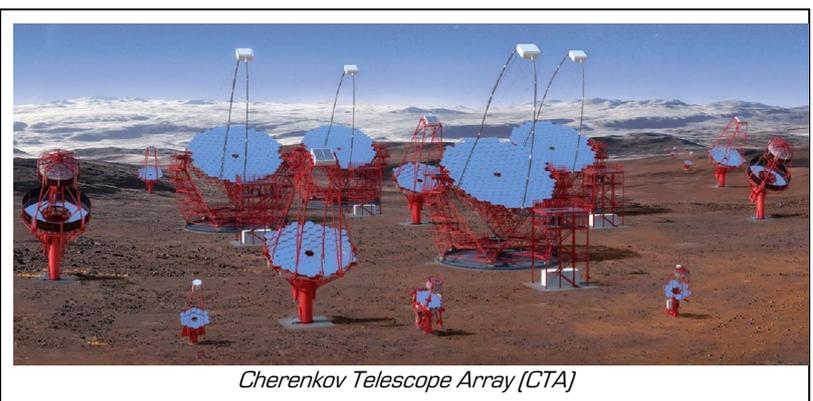
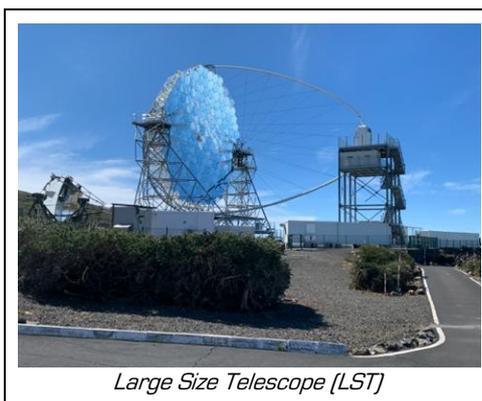
ELT (Extremely Large Telescope): l'ESO nel 2012 ha avviato la costruzione dell'ELT a Cerro Armazones nel deserto di Atacama in Chile. ELT vedrà la prima luce nel 2028 e sarà il telescopio ottico-infrarosso più grande mai costruito al mondo. ELT è finanziato attraverso un contributo straordinario ad ESO 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 nove telescopi, denominata ASTRI Mini-Array, è in corso di installazione nell' isola di

Tenerife, Canarie. Il Mini-array sarà operativo dalla fine del 2024 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).



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 altissima energia (TeV) rivelati mediante l'effetto Cherenkov. Ciascun osservatorio ospiterà un numero di telescopi Cherenkov (13 al nord ed oltre 50 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 sua trasformazione nella CTAO-ERIC che avrà sede a Bologna presso la sede dell'INAF-OAS. CTA è sostenuto dal MUR attraverso fondi infrastrutturali (DM 450/2019).

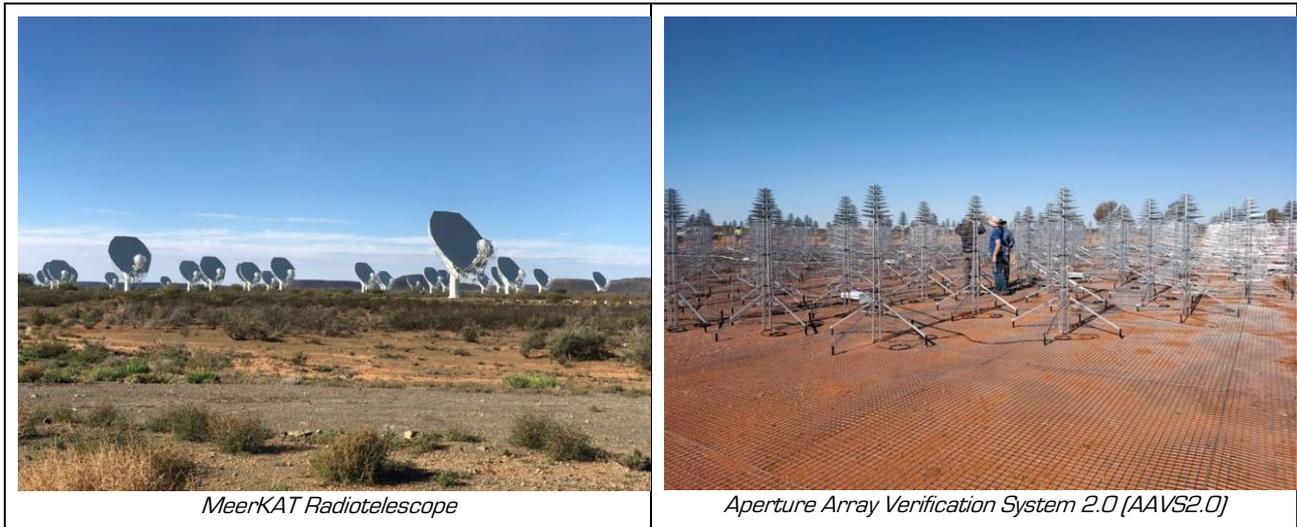


SKA e Precursori: SKA è il più grande radiointerferometro al mondo correntemente in costruzione in due siti nell'emisfero sud: nel deserto del Karoo in Sudafrica (antenne a frequenza media) e nel deserto di Murchison in Western Australia (antenne a bassa frequenza). L'Osservatorio SKA (SKAO) si è costituito 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 selettore di campo (Feed Indexer) 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 dal 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. Inoltre, andranno a finanziare 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 in corso più rilevanti relative a missioni spaziali nazionali ed internazionali.

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.
- **ABCS (AstroBio CubeSat):** Cubesat dell'ASI dedicato alla rivelazione di biomolecole organiche al di fuori della Terra e lanciato nel luglio 2022. Partecipazione INAF: responsabilità dello sviluppo, implementazione e test dello strumento scientifico.

Partecipazioni a missioni spaziali europee (ESA):

- **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.
- **ATHENA.** Missione di classe "Large" in fase di sviluppo. Partecipazione INAF: sistema di anticoincidenza criogenica, filtri termici ed ottici, Instrument Control Unit, facility di calibrazione ottica dei singoli moduli e del mirror assembly integrato, simulazioni delle performance ottiche
- **CALICO:** Missione di classe "Medium" (candidata M7 in fase 0) di studio dell'ambiente planetario di Cerere con lancio previsto nel 2037. Partecipazione INAF: scienza e responsabilità sensore di polveri e volatili.

- **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 dell'energia e della materia oscura e con lancio effettuato il 1° luglio 2023. 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 principalmente allo studio, al censimento e alla cartografia della Galassia tramite misure astrometriche. Partecipazione INAF: contributo al Ground Segment, calibrazioni, contributo fondamentale all'analisi dei dati a Terra.
- **HAYDN:** Missione di classe "Medium" (candidata M7 in fase O) dedicata all'Astrosismologia in campi stellari densi con lancio previsto nel 2037. Partecipazione INAF: design ottico e realizzazione telescopio, scienza e selezione dei target.
- **HERA:** Missione di Planetary Defense con lancio previsto ottobre 2024. Partecipazione INAF: scienza e responsabilità sensore di polvere.
- **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" lanciata nell'aprile 2023 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.
- **M-MATISSE:** Missione di classe "Medium" (candidata M7 in fase O) dedicata allo studio delle interazioni tra magnetosfera, ionosfera, termosfera di Marte con lancio previsto nel 2037. Partecipazione INAF: responsabilità della Data Processing Unit dei sensori di particelle.
- **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.
- **PROBA 3:** Prima missione dimostrativa delle tecnologie per volo in formazione con lancio previsto nel 2022. Partecipazione INAF: metrologia e filtri alta risoluzione.
- **PLASMA OBSERVATORY:** Missione di classe "Medium" (candidata M7 in fase O) dedicata allo studio dei processi di energizzazione nella magnetosfera con misure a multi scala con lancio previsto nel 2037. Partecipazione INAF: PI-ship; responsabilità Particle Processing Unit e Ion Mass Spectrometer.
- **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.
- **THESEUS:** Missione di classe "Medium" (candidata M7 in fase O) di Astrofisica delle Alte Energie, Astrofisica multi-messenger e Cosmologia con lancio previsto nel 2037. Partecipazione INAF: PI-ship; responsabilità XSGS e del telescopio infrarosso, scienza.
- **XMM:** Missione "Cornerstone" di Astrofisica X in fase operativa. Partecipazione INAF: scienza, sviluppo dei tre strumenti di EPIC.

Partecipazioni a missioni spaziali extra-europee

- **BEPI COLOMBO.** Missione "Cornerstone" ESA-JAXA lanciata nell'ottobre 2018 in viaggio verso Mercurio. Partecipazione INAF: strumenti ISA, SERENA e SIMBIO-SYS.
- **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.

- **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:** Missione ESA e dedicata allo studio dell'ambiente e sottosuperficie di Marte ed alla ricerca di vita il cui lancio è previsto nel 2028. Partecipazione INAF: leadership dello strumento Ma_Miss e numerose partecipazioni ad altri strumenti. Per quanto riguarda lo strumento Micromed, sempre a leadership italiana, è in fase di studio una sua possibile riallocazione.
- **CSES-2:** Missione della CSNA di Space Weather e studio accoppiamento Litosfera-Magnetosfera in fase di sviluppo e con lancio previsto tra fine 2023 ed inizio 2024. 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 2029. Partecipazione INAF: sviluppo dello Strumento LAD e partecipazione allo sviluppo dello Strumento WFM e al design delle ottiche dei telescopi focalizzanti SFA e PFA.
- **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.
- **STAR-X:** Missione Midex della NASA dedicata all'astrofisica X e UV in fase di studio con lancio previsto nel 2028. Partecipazione INAF: scienza, simulazioni, definizione algoritmi di rivelazione di transienti ed ottimizzazione delle strategie osservative.
- **MUSE:** Missione medium class explorer della NASA dedicata all'Eliofisica ed allo Space Weather e con lancio previsto nel 2027. Partecipazione INAF: scienza, specchi per Imager EUV, specchio primario per lo spettrografo, filtri ottici.
- **MAX:** Missione degli Emirati Arabi Uniti dedicata all'esplorazione della fascia principale di asteroidi e con lancio previsto nel 2028. Partecipazione INAF: sviluppo dello spettrometro I/R MIST-A.
- **MANTIS:** Missione CubeSat della NASA per spettroscopia stellare, con lancio previsto nel 2026. Partecipazione INAF: scienza, sistema ottico per telescopio EUV.

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 della prima fase di questo processo ha portato alla 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. In particolare l'obiettivo da perseguire sul medio termine è la creazione di un *ecosistema di calcolo* per INAF, capace di sostenere, per le prossime decadi, l'elevata competitività dei membri di INAF nell'agone internazionale della ricerca.

L'INAF ha in essere collaborazioni nazionali e 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, EOSC, ICDI e 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. Iniziative nell'ambito PNRR, come il progetto TeRABIT (avviatosi nel 2023) determineranno un ulteriore salto di qualità nella rete della ricerca nazionale. È 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 almeno ad 1 Gbit/s e si sta progressivamente procedendo alla estensione della rete a 10 Gbit/s.

Infrastrutture di Calcolo. I progetti e i gruppi di ricerca all'interno di INAF 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, ecc). 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 dimensioni limitate, ma che offrono servizi a progetti Nazionali ed Internazionali e sono talora supportati da un elevatissimo livello di expertise.

Oltre a stimolare le sinergie fra tutte queste realtà locali, favorendone la crescita e la conoscenza reciproca all'interno dell'Ente, l'USC-Computing si è attivata per dotare INAF di una infrastruttura di calcolo centralizzata di medio livello, che permetta di condurre ricerche, progettazioni e analisi dati altrimenti non supportabili a livello di infrastrutture locali e/o si presti per testare la scalabilità di codici in vista del loro utilizzo su sistemi di calcolo di valenza mondiale (Tier-1 o Tier-0).

Già a partire dal 2022, INAF ha regolarmente offerto alla propria comunità, tramite bandi competitivi periodici, le risorse di calcolo della propria e-infrastruttura PLEIADI per il calcolo HPC/HTC, basata su quasi 60 Milioni di core/hour distribuiti su oltre 7000 core, con nodi da 128 o 256 GB di RAM e 12 nodi dotati di GPU. Le esigenze di calcolo sono attualmente completate da altre due fonti: da un lato attraverso un MoU con il CINECA (siglato inizialmente per il periodo 2017-2020 e poi esteso dal 2021 a quasi tutto il 2023) per l'acquisizione di un numero adeguato di ore di calcolo (9.4 Milioni di core/hour nel biennio 2022-2023) e relative competenze di supporto, e in secondo luogo tramite il ricorso a clouds commerciali allorquando necessario. Dal Marzo 2023 è in linea anche l'infrastruttura di calcolo asservita a SRT e finanziata sul PON 2028, che comprende 14 nodi di calcolo con 512 GB di RAM (di cui 6 nodi con 2 GPU NVIDIA A40), rete Infiniband, 2 nodi di storage scratch e 2 nodi di storage long term.

INAF, in linea con le prospettive della summenzionata USC-Computing, sta inoltre finalizzando l'acquisizione di un nuovo sistema (temporaneamente battezzato Tier-3), che doterà l'Ente nel 2024 di significative capacità aggiuntive di calcolo (dell'ordine di 1.5 Petaflop/s) e di un sistema di storage e di archiviazione all'avanguardia, potenzialmente espandibile a 100 PB, che potenzierà l'esistente infrastruttura (vedere

sotto) e costituirà il nucleo del sistema di archiviazione asservito al polo italiano dei Centri Regionali di Calcolo di SKA, che sarà guidato da INAF. Il Tier-3 sarà installato negli spazi del CINECA presso il “Tecnopolo” di Bologna ricavato nei locali della ex Manifattura Tabacchi.

Ulteriori capacità di calcolo (dell’ordine di circa 4 Petaflop/s e sempre localizzate presso il “Tecnopolo”) saranno a disposizione non esclusiva di INAF a partire dal 2024 nel quadro della sua partecipazione al Centro Nazionale di Ricerca ICSC in «High Performance Computing, Big Data and Quantum Computing», un progetto triennale (2023-2026) nel contesto PNRR di portata strategica per l’Italia e nella quale INAF è protagonista in 4 diversi ambiti: leader nello Spoke 3 “*Astrophysics and Cosmos Observations*”, co-leader nello Spoke 2 “*Fundamental Research and Space Economy*”, nonché partecipante agli Spoke «*Future Computing e Big Data*» e «*Quantum Computing*». Di là dalle infrastrutture hardware, il Centro Nazionale di Ricerca ICSC offre ad INAF la possibilità senza precedenti di investire in modo significativo sulla formazione e sul capitale umano nel campo dell’innovazione digitale, delle sue applicazioni all’astrofisica, e del trasferimento di conoscenza dalle e verso le imprese. Sono infatti 74 le annualità di personale a Tempo Determinato o studenti di Dottorato che INAF arruolerà grazie ai finanziamenti di ICSC.

Infrastrutture di Archivio. 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, in banda ottica 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), permette la loro pubblicazione tramite le classiche GUI (Graphical User Interface) o tramite i servizi del VO (Virtual Observatory), fornisce servizi di supporto (Workflow management Systems, Twiki, DOI, preservazione, accesso home utente) e science gateway (connessione degli strumenti di analisi agli archivi e viceversa – Data Flow – Connessione con Servizi), segue gli sviluppi delle politiche di Open Access, oltre naturalmente a fornire la possibilità di hosting di archivi vecchi o nuovi che necessitano di una infrastruttura adeguata. In effetti, per la prima volta nel 2023, sotto gli auspici della USC-Computing, spazi di preservazione di dati a lungo termine sono stati messi a disposizione della comunità INAF anche tramite bandi competitivi. Come anticipato, l’avvento del Tier-3 (vedi sopra) fornirà ulteriore impulso a tutte queste attività.

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 preziosa 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 nelle prossime decadi alla conduzione dello SSCDC (Space Science Data Center), un centro dati per le missioni spaziali per l’esplorazione e l’osservazione dell’Universo. SSCDC 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 anche multi-messaggero.

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 19 del 31 Marzo 2023. Le attività qui riportate si intendono pertanto riferite alla data di chiusura della redazione del PIAO:.

8.1. Dotazione organica

La Dotazione Organica dell'INAF, alla data del **31 dicembre 2022**, è pari a **1.214 unità**.

La predetta Dotazione Organica (Tabella 7) 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 31-12-2022	Personale in servizio a tempo determinato al 31-12-2022
Dirigente Amministrativo di Prima Fascia				
Dirigente Amministrativo di Seconda Fascia		2	2	
Dirigente di Ricerca	I	54	52	1
Primo Ricercatore	II	130	82	1
Ricercatore	III	215	373	40
Dirigente Tecnologo	I	9	0	5
Primo Tecnologo	II	26	49	1
Tecnologo	III	127	195	28
Astronomo Ordinario		15	5	
Astronomo Associato		40	18	
Ricercatore Astronomo		115	54	
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	IV	128	97	
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	V	58	38	
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca	VI	43	35	16
Operatore Tecnico	VI	57	40	
Operatore Tecnico	VII	13	7	
Operatore Tecnico	VIII	9	11	3
Funzionario di Amministrazione	IV	29	30	
Funzionario di Amministrazione	V	19	15	8
Collaboratore di Amministrazione	V	58	44	
Collaboratore di Amministrazione	VI	16	11	3
Collaboratore di Amministrazione	VII	23	9	6
Operatore di Amministrazione	VII	16	12	
Operatore di amministrazione	VIII	5	3	
Elevate professionalità (ruolo ad esaurimento)		7	1	
Totale		1214	1183	113

Tabella 7 - Dotazione organica del personale alla data del 31 Dicembre 2022

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/Strordinario**" 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, l'INAF 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.

Altro Personale	Personale in servizio al 31-12-2022 impiegato in attività di ricerca	Personale in servizio al 31-12-2022 NON impiegato in attività di ricerca
Altri Incarichi di Ricerca (a titolo gratuito)	41	
Titolari di assegni per lo svolgimento di attività di ricerca	231	
Titolari di borse di studio	27	
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	299	1

Tabella 8 - Distribuzione di altre forme contrattuali in INAF.

8.2. Fabbisogno del Personale e Programmazione

Con la Delibera del 29 dicembre 2022, numero 127, il Consiglio di Amministrazione ha approvato il "Bilancio Annuale di Previsione" dell'INAF per l'Esercizio Finanziario 2023, con tutta la relativa documentazione, ivi comprese la "Relazione Tecnica", come predisposta dal "Direttore Generale", e la "Relazione Programmatica", come predisposta dal "Presidente".

Nel Capitolo 6 "Le diverse implicazioni che riguardano l'Istituto Nazionale di Astrofisica", Sezione 6.2 "Risorse Umane", della predetta "Relazione Tecnica", come predisposta dal "Direttore Generale", e, in particolare:

- a) nel Paragrafo 6.2.2.3. "Assunzioni di unità di personale con inquadramento sia nei profili e nei livelli professionali compresi tra il primo e il terzo che nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l'ottavo programmate nell'anno 2023";
- b) nel Paragrafo 6.2.2.4. "Stabilizzazioni del personale precario";
- c) nel Paragrafo 6.2.2.5. "Assunzioni obbligatorie previste negli anni 2023, 2024 e 2025";
- d) nel Paragrafo 6.2.2.6. "Progressioni economiche e di carriera del personale inquadrato nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l'ottavo e progressioni di carriera del personale inquadrato nei profili e nei livelli professionali compresi tra il primo e il terzo";

- e) nel Paragrafo 6.2.2.8. “Programmi e Progetti ammessi a finanziamento a valere sulle risorse destinate alla realizzazione del “Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza”: assunzioni di personale con rapporto di lavoro a tempo determinato per lo svolgimento di attività amministrative e contabili”;
- f) nel Paragrafo 6.2.2.10 “Prospetto riassuntivo delle spese di personale”, sono state individuate e definite, in modo dettagliato per l’anno 2023 e in modo indicativo per gli anni 2024 e 2025, sia le politiche di reclutamento di personale che le risorse che garantiscono la relativa copertura finanziaria.

La Tabella 9 di seguito riportata rappresenta il fabbisogno complessivo di personale con rapporto di lavoro a tempo indeterminato dell’Istituto per il Triennio 2023-2025, che è stato definito dal Consiglio di Amministrazione, nel dettaglio, con riferimento all’anno 2023, e in modo assolutamente indicativo, con riferimento agli anni 2024 e 2025.

Anno	Livelli IV-VIII	III Livello	II Livello	I Livello
2023	20+20	20	7	5
2024	20	13	7	5
2025	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 . Le predette risorse 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 dall'utilizzo di una quota parte della integrazione della "assegnazione ordinaria" che è stata 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 quattro milioni 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/Collabo- ratori 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 2024 , 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 è stata 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 quattro milioni e cinquecentomila euro
2024	13 Ricercatori/Tecnologi, Terzo Livello Professionale	€ 740.000	
2024	7 Primi Ricercatori/Primi Tecnologi, Secondo Livello Professionale	€ 590.000	
2024	5 Dirigenti di Ricerca/Dirigenti Tecnologi, Primo Livello Professionale	€ 570.000	

Tabella 9 - Fabbisogno complessivo di personale per l'INAF

*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.

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 in corso la prosecuzione del processo di stabilizzazione, per cui alcune delle unità di personale con rapporto di lavoro a tempo determinato potrebbero essere 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 2023 e 2024 è stata mantenuta costante rispetto al personale in servizio nell'anno 2022 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	VIII	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	VIII						
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		22 7		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		20 3		210		220	
Totale Generale		58 2		631		686	4.869.296

Tabella 10 - Fabbisogno del personale a Tempo Determinato a valere sui progetti.

Inoltre nel triennio di riferimento, sarà particolarmente consistente il numero delle unità di personale da reclutare con rapporto di lavoro a tempo determinato e con inquadramento nei profili e nei livelli professionali compresi sia tra il primo e il terzo che tra il quarto e l'ottavo, in quanto l'Ente partecipa, a vario titolo, a numerosi Progetti, presentati unitamente ad altri Enti Pubblici di Ricerca, Istituzioni Universitarie e Soggetti Pubblici e Privati, per l'accesso ai finanziamenti previsti dal "Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza".

Nel prospetto riportato in Tabella 11 sono elencate e specificate le figure professionali che verranno reclutate dalle Strutture di Ricerca, con rapporto di lavoro a tempo determinato e con inquadramento nei profili e nei livelli professionali compresi tra il quarto e l'ottavo, per lo svolgimento delle attività amministrative, contabili e di supporto tecnico-giuridico ai Programmi e ai Progetti ammessi a finanziamento a valere sulle risorse destinate alla realizzazione del **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza**.

Struttura	Funzionari V Livello	Collaboratori VII Livello	Dettagli
OAS Bologna	4	1	Funzionari di Amministrazione: 2 per il procurement, 1 per il Personale e 1 per Bilancio/Rendiconti; Collaboratori di Amministrazione: 1 per il procurement
IRA Bologna	7	0	3 per il procurement, 2 per rendicontazione/bilancio, 2 per il personale
OA Brera	1	1	1 Collaboratore di Amministrazione per reporting/rendicontazione + 1 Funzionario di Amministrazione per il bilancio
OA Torino	3	1	3 Funzionari di Amministrazione: procurement, rendicontazione, personale; 1 Collaboratore di Amministrazione
OA Padova	3	2	Funzionari di Amministrazione: 2 di supporto all'attuale responsabile acquisti nella gestione delle gare d'appalto, 1 Funzionario (RPA) da affiancare al RUP tecnico scientifico per le gare d'appalto; Collaboratori di Amministrazione: 1 per l'ufficio personale e 1 per l'ufficio contabilità (dei 2 funzionari 1 potrebbe essere reclutato mediante scorrimento di graduatorie concorsuali e 1 ai sensi dell'articolo 11 del Regolamento del Personale)
OA Trieste	2	0	1 per la rendicontazione e 1 per il procurement
OA Arcetri	2	1	1 Funzionario di Amministrazione per il procurement; 1 Funzionario di Amministrazione per il personale; 1 Collaboratore di Amministrazione per la rendicontazione
OA Roma	3	4	1 Funzionario di Amministrazione per il procurement, 1 Funzionario di Amministrazione per il personale, 1 Funzionario di Amministrazione per rendicontazione/bilancio, 2 Collaboratori di Amministrazione per il procurement, 1 Collaboratore di Amministrazione per il personale, 1 Collaboratore di Amministrazione per rendicontazione/bilancio
IAPS Roma	1	0	1 Funzionario di Amministrazione per il bilancio
OA Abruzzo	2	0	1 per il procurement e il supporto giuridico legale e 1 per la rendicontazione

OA Capodimonte	1	2	1 Funzionario di Amministrazione per il procurement, 1 Collaboratore di Amministrazione per la ragioneria e 1 Collaboratore di Amministrazione per il personale
OA Catania	4	2	3 Funzionari di Amministrazione per il procurement, 1 Funzionario di Amministrazione per il personale, 2 Collaboratori di Amministrazione per la rendicontazione e il supporto al procurement.
OA Palermo	1	2	1 Funzionario di Amministrazione per la rendicontazione, 1 Collaboratore di Amministrazione per il procurement, 1 Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca per il supporto informatico
OA Cagliari	1	3	1 Funzionario di Amministrazione per il procurement, 1 Collaboratore di Amministrazione per la rendicontazione, 2 Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca per l'ufficio tecnico
	35	19	

Tabella 11 - Prospetto figure professionali a tempo determinato per lo svolgimento di attività amministrative, contabili e di supporto tecnico-giuridico relativamente ai programmi ammessi in ambito PNRR.

8.3. Politiche di reclutamento nel triennio

8.3.1. Azioni previste per il 2023

Nel corso del 2023 sono previste le seguenti azioni (Tabella 12) riguardanti il personale a Tempo Indeterminato:

Numero e Profilo	Note
<p>9 Funzionari di Amministrazione, Quinto Livello Professionale, da assumere con procedura concorsuale <i>“aperta”</i>,</p>	<p>La procedura concorsuale è stata conclusa alla fine dello scorso anno.</p> <p>Con la Determina Direttoriale del 16 dicembre 2022, numero 114, sono stati approvati gli atti del concorso, ivi compresa la <i>“graduatoria finale di merito”</i>.</p> <p>Con la Determina Direttoriale del 17 gennaio 2023, numero 5, sono stati assunti, con decorrenza dal 16 febbraio 2023, i vincitori della procedura concorsuale e sono state formalmente assegnate i predetti vincitori le <i>“Sedi di Servizio”</i>.</p>
<p>14 Funzionari di Amministrazione, 16 Collaboratori Tecnici degli Enti di Ricerca e 7 Collaboratori di Amministrazione, da assumere mediante l'attivazione di procedure concorsuali <i>“aperte”</i>, lo scorrimento delle <i>“graduatorie finali di merito”</i> in corso di validità legale di procedure concorsuali <i>“aperte”</i>, espletate anche da altre amministrazioni pubbliche, e l'attivazione di procedure concorsuali <i>“riservate”</i>, ai sensi dell'articolo 22, comma, 15, del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, numero 75, e successive modifiche e integrazioni</p>	<p>Le procedure previste per il reclutamento di queste unità di personale verranno attivate nell'anno 2023.</p>

<p>18 Ricercatori, Terzo Livello Professionale, da assumere con procedura concorsuale "<i>aperta</i>"</p>	<p>La procedura concorsuale è stata conclusa.</p> <p>Con la Determina Direttoriale del 7 marzo 2023, numero 24:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) sono stati approvati gli atti delle singole procedure di selezione, ivi comprese le relative "<i>graduatorie finali di merito</i>"; b) i predetti vincitori sono stati assunti in servizio con decorrenza dal 16 marzo 2023; c) agli stessi vincitori sono state formalmente assegnate le "<i>Sedi di Servizio</i>".
<p>12 Tecnologi, Terzo Livello Professionale, di cui 8 da assumere mediante l'attivazione di procedure concorsuali "<i>aperte</i>" e 4 mediante l'attivazione di procedura concorsuale "<i>riservata</i>", ai sensi dell'articolo 22, comma, 15, del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, numero 75, e successive modifiche e integrazioni</p>	<p>La procedura concorsuale "<i>aperta</i>" per il reclutamento di 8 Tecnologi, Terzo Livello Professionale, è stata conclusa.</p> <p>Con la Determina Direttoriale del 7 marzo 2023, numero 25:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) sono stati approvati gli atti delle singole procedure di selezione, ivi comprese le relative "<i>graduatorie finali di merito</i>"; b) i predetti vincitori sono stati assunti in servizio con decorrenza dal 16 marzo 2023; c) agli stessi vincitori sono state formalmente assegnate le "<i>Sedi di Servizio</i>". <p>La procedura concorsuale "<i>riservata</i>" per il reclutamento di 4 Tecnologi, Terzo Livello Professionale, è stata attivata, ai sensi dell'articolo 22, comma, 15, del Decreto Legislativo 25 maggio 2017, numero 75, e successive modifiche e integrazioni, con la Determina Direttoriale del 30 dicembre 2022, numero 122, come rettificata dalla Determina Direttoriale del 13 marzo 2023, numero 27, ed è ancora in fase di espletamento.</p>

<p>5 Primi Ricercatori, Secondo Livello Professionale, da assumere con procedura concorsuale "<i>aperta</i>"</p>	<p>La procedura concorsuale "<i>aperta</i>" è stata attivata con la Determina Direttoriale del 25 gennaio 2023, numero 8, e verrà espletata nel corso dell'anno 2023.</p>
<p>8 Dirigenti di Ricerca, Primo Livello Professionale, da assumere mediante l'attivazione di una procedura concorsuale "<i>aperta</i>"</p>	<p>La procedura concorsuale "<i>aperta</i>" è stata attivata con la Determina Direttoriale del 25 gennaio 2023, numero 9, e verrà espletata nel corso dell'anno 2023.</p>
<p>2 Dirigenti Tecnologi, Primo Livello Professionale, da assumere con procedura concorsuale "<i>aperta</i>"</p>	<p>La procedura concorsuale "<i>aperta</i>" è stata attivata con la Determina Direttoriale del 25 gennaio 2023, numero 7, e verrà espletata nel corso dell'anno 2023.</p>

Tabella 12 - Azione di reclutamento del personale previste per il 2023

8.3.2. Assunzioni obbligatorie per il Triennio 2022-2024

Di seguito sono riportate in Tabella 13 e in Tabella 14 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	2023	Costo medio annuo lordo	2024	Costo medio annuo lordo	2025	Costo medio annuo lordo
Funzionario di Amministrazione, Quinto Livello Professionale	5	255.416	3	153.250		
Collaboratore Tecnico degli Enti di Ricerca, Sesto Livello Professionale	4	182.682	5	228.352		
Collaboratore di Amministrazione, Settimo Livello Professionale	5	204.107	3	122.464		
Operatore di Amministrazione/Tecnico Ottavo Livello Professionale	6	221.925	4	147.950	4	147.950
Totale	20	864.130	15	652.016	4	147.950
Gran Totale: 39						

Tabella 13 - Assunzioni Obbligatorie nel triennio 2022-2024 (Articolo 1 Legge 12 marzo 1999, numero 68)

POSIZIONI	2023	Costo medio annuo lordo	2024	Costo medio annuo lordo	2025	Costo medio annuo lordo
Funzionario di Amministrazione, Quinto Livello Professionale	1	51.083				
Operatore di Amministrazione/Tecnico Ottavo Livello Professionale	5	184.937	1	36.987	1	36.987
Totale	6	236.020	1	36.987	1	36.987
Gran Totale: 8						

Tabella 14 - 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 10.

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 <https://pta.inaf.it> e che forma parte integrante di questo aggiornamento del PTA.

9. Patrimonio, Bilancio e Fabbisogno di Risorse

9.1. Patrimonio

Un'analisi dello stato patrimoniale dell'INAF è riportata nel documento "risorse umane e bilancio" reperibile al sito <https://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 in Tabella 15 delle entrate accertate negli ultimi cinque anni (importi espressi in euro) e in Figura 9 grafico della situazione delle entrate accertate negli ultimi cinque anni

ANNO ACCERTAMENTO	TRASFERIMENTI CORRENTI					ALTRE ENTRATE (extratributarie - in conto capitale - da riduzione di attività finanziarie)	TOTALE DELLE ENTRATE al netto delle "entrate per conto terzi e partite di giro"
	ASSEGNAZIONE ORDINARIA COMPLESSIVA MUR	ALTRE ENTRATE PER LA RICERCA		INPS [ex-INPDAP (TFR/TFS)]	CNR (TFR/TFS)		
		Altri Contributi MUR per la Ricerca	Altre Entrate (ASI, UE e altri)				
2018	83.107.736,00	31.249.365,27	26.442.607,15	0,00	210.193,95	1.249.416,40	142.259.318,77
2019	94.535.474,00	52.264.600,50	23.478.531,32	0,00	289.111,97	1.243.764,48	171.811.482,27
2020	94.572.966,00	23.529.505,39	28.908.193,34	50.612,94	0,00	785.445,28	147.846.722,95
2021	97.345.998,00	46.606.696,00	20.036.090,31	0,00	1.078.372,07	2.021.838,90	167.088.995,28
2022	104.126.795,00	79.554.027,71	29.601.059,70	0,00	1.677.741,43	1.876.951,50	216.836.575,34

Tabella 15 - Entrate accertate 2018-2022

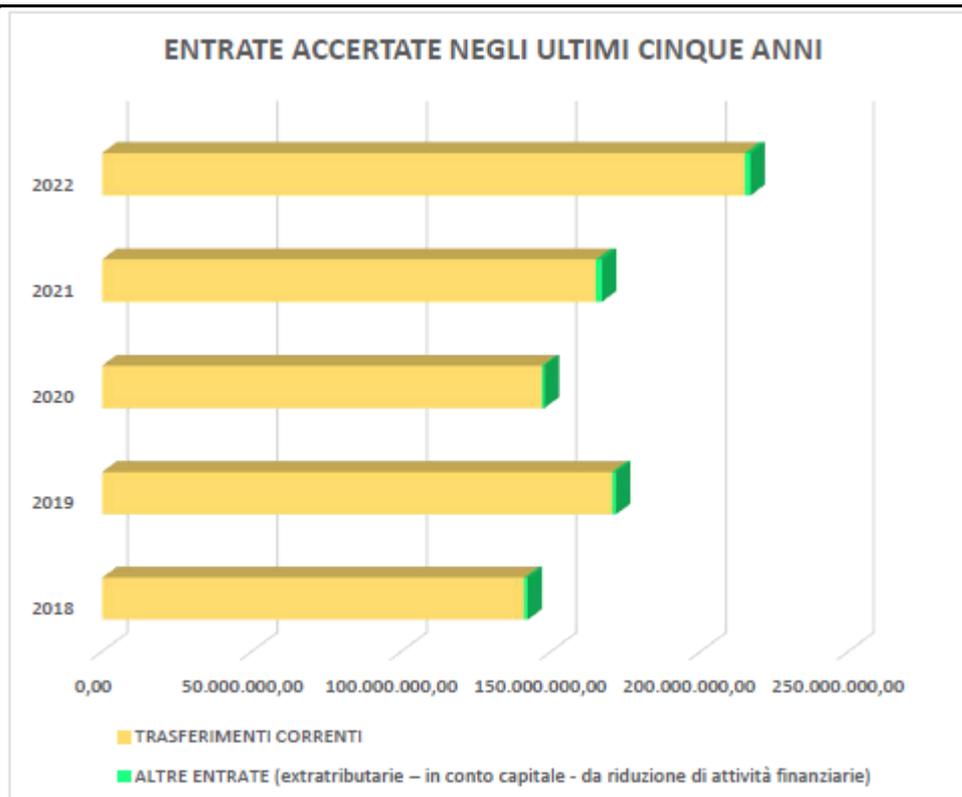


Figura 9 - situazione delle entrate accertate negli ultimi cinque anni

Come si rileva dal prospetto all'uopo predisposto, la maggior parte delle "entrate" è costituita da finanziamenti concessi e/o erogati dal "Ministero dell'Università e della Ricerca" (ex "MIUR"). È necessario, comunque, precisare che, sebbene una buona parte delle risorse finanziarie che alimentano le "entrate" dell'Ente provenga ancora da soggetti pubblici, l'entità dei finanziamenti esterni, che i soggetti privati destinano, prevalentemente, alla realizzazione di "Programmi" e "Progetti" di "Ricerca" e di "Innovazione", ha registrato, negli ultimi tempi, un sensibile incremento.

Questo è un indice significativo del livello di eccellenza raggiunto dallo "Istituto Nazionale di Astrofisica". È, peraltro, importante sottolineare che i finanziamenti esterni destinati alla realizzazione di "Programmi" e "Progetti" di "Ricerca" e di "Innovazione" richiedono, nella maggior parte dei casi, un contestuale impegno economico dell'Ente, nella forma del cofinanziamento e/o della anticipazione di fondi.

Un approfondimento merita anche la gestione dei finanziamenti che provengono dalla "Unione Europea" ("U.E.") e dalla "Agenzia Spaziale Italiana" ("ASI"), che rappresentano uno dei maggiori canali di "entrata" dell'Ente. Con particolare riferimento alle iniziative promosse dalla "Unione Europea", è necessario sottolineare che sono stati consolidati e sviluppati, nel tempo, i rapporti con soggetti qualificati, sia pubblici che privati, che operano nel settore, garantendo alle "Strutture di Ricerca" dell'Ente il necessario supporto ai fini della presentazione e/o della partecipazione a numerosi "Programmi" e "Progetti" di "Ricerca" e di "Innovazione". Nell'anno 2020 è stato registrato un rilevante incremento dei finanziamenti provenienti dalla "Unione Europea", pari a circa dodici milioni di euro, mentre nell'anno 2021 le entrate imputabili ai predetti finanziamenti si sono attestate sui livelli degli anni precedenti al 2020 e hanno, pertanto, registrato un prevedibile calo. Nell'anno 2022 le predette entrate sono state pari a circa dieci milioni di euro. Negli anni 2019 e 2020 l'importo complessivo dei finanziamenti che la "Agenzia Spaziale Italiana" ha, invece, destinato alla realizzazione di "Progetti" presentati da ricercatori e tecnologi dell'Istituto Nazionale di Astrofisica ha superato i quindici milioni di euro, registrando, rispetto agli anni precedenti, un sensibile incremento. Nell'anno 2021 l'importo complessivo dei predetti finanziamenti è stato, invece, di poco superiore ai dodici milioni di euro. Nell'anno 2022 l'importo complessivo dei finanziamenti erogati dalla "Agenzia Spaziale Italiana" è stato di poco inferiore agli undici milioni di euro.

Il dettaglio delle uscite relativo all'esercizio finanziario 2022 distinte per conti di secondo livello (importi espressi in euro) è riportato in Tabella 16 e Tabella 17

Conti	Previsioni iniziali	Variazioni	Previsioni definitive	Somme impegnate	Somme pagate in c/competenza	Somme impegnate rimaste da pagare	Diff. % somme impegnate - previsioni iniziali	Diff. % somme impegnate - previsioni definitive	"INCIDENZA DELLA SPESA" % impegnato sul totale (escluse uscite per conto terzi e partite di giro)
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro			
1. Spese correnti									
1.01 Redditi da lavoro dipendente	122.667.996,46	17.482.336,01	140.150.332,47	85.207.726,33	81.967.859,49	3.239.866,84	-30,54%	-39,20%	51,7514%
1.02 imposte e tasse a carico dell'ente	6.744.675,69	522.541,73	7.267.217,42	5.518.757,38	4.464.598,37	1.054.159,01	-18,18%	-24,06%	3,3518%
1.03 Acquisto di beni e servizi	81.072.637,20	13.038.397,48	94.111.034,68	28.990.380,90	18.166.572,79	10.823.808,11	-64,24%	-69,20%	17,6075%
1.04 Trasferimenti correnti	64.720.301,72	12.974.971,84	77.695.273,56	33.877.197,72	33.280.060,12	597.137,60	-47,66%	-56,40%	20,5755%
1.07 Interessi passivi	125.530,36	0,00	125.530,36	125.530,36	125.530,36	0,00	0,00%	0,00%	0,0762%
1.09 Rimborse e poste correttive delle entrate	497.840,20	26.381,12	524.221,32	110.871,12	110.871,12	0,00	-77,73%	-78,85%	0,0673%
1.10 Altre spese correnti	20.462.300,61	8.316.353,27	28.778.653,88	169.293,71	169.293,71	0,00	-99,17%	-99,41%	0,1028%
Totale 1. Spese correnti	296.291.282,24	52.360.981,45	348.652.263,69	153.999.757,52	138.284.785,96	15.714.971,56	-48,02%	-55,83%	93,5326%
2. Spese in conto capitale									
2.02 Investimenti fissi lordi e acquisto di terreni	20.526.970,68	26.261.452,71	46.788.423,39	10.424.716,80	3.981.190,75	6.443.526,05	-49,21%	-77,72%	6,3315%
Totale 2. Spese in conto capitale	20.526.970,68	26.261.452,71	46.788.423,39	10.424.716,80	3.981.190,75	6.443.526,05	-49,21%	-77,72%	6,3315%
3. Spese per incremento attività finanziarie									
3.01 Acquisizioni di attività finanziarie	205.000,00	0,00	205.000,00	0,00	0,00	0,00	-100,00%	-100,00%	0,0000%
Totale 3. Spese per incremento attività finanziarie	205.000,00	0,00	205.000,00	0,00	0,00	0,00	-100,00%	-100,00%	0,0000%
4. Rimborsamento prestiti									
4.03 Rimborsamento mutui e altri finanziamenti a medio lungo termine	223.790,98	0,00	223.790,98	223.790,58	223.790,58	0,00	0,00%	0,00%	0,1359%
Totale 4. Rimborsamento prestiti	223.790,98	0,00	223.790,98	223.790,58	223.790,58	0,00	0,00%	0,00%	0,1359%
TOTALE DELLE USCITE AL NETTO DELLE "USCITE PER CONTO TERZI E PARTITE DI GIRO"	317.247.043,90	78.622.434,16	395.869.478,06	164.648.264,90	142.489.767,29	22.158.497,61	-48,10%	-58,41%	100,0000%

Tabella 16 - Dettaglio delle uscite relativo all'esercizio finanziario 2022 distinte per conti di secondo livello.

Centri di Responsabilità Amministrativa	Somme impegnate	Somme pagate in c/competenza	Somme impegnate rimaste da pagare	% somme pagate in conto competenza/ somme impegnate
0.00. Staff Direzione Generale	143.900,65	83.824,38	60.076,27	58,25%
0.01. Ufficio I	80.145.373,68	76.434.727,81	3.710.645,87	95,37%
0.02. Ufficio II	2.315.211,34	2.040.510,89	274.700,45	88,13%
0.03. Uffici di Presidenza	232.276,66	139.540,28	92.736,38	60,08%
0.04. Direzione Scientifica	24.437.253,99	21.826.225,58	2.611.028,41	89,32%
1. Strutture di Ricerca	57.374.248,58	41.964.938,35	15.409.310,23	73,14%
Totale (al netto delle uscite per conto terzi e partite di giro)	164.648.264,90	142.489.767,29	22.158.497,61	86,54%
Uscite per conto terzi e partite di giro	32.874.749,88	25.991.258,90	6.883.490,98	
TOTALE GENERALE	197.523.014,78	168.481.026,19	29.041.988,59	

Tabella 17 - Suddivisione delle Uscite per Centro di responsabilità Amministrativa

9.2.2. Immagine proiettiva dei successivi tre anni.

9.2.2.1. Entrate Previste

Con il Decreto del Ministro della Università e della Ricerca del 21 giugno 2022, numero di protocollo 571, è stato ripartito, tra gli "Enti" e le "Istituzioni" di "Sperimentazione" e di "Ricerca", il "Fondo Ordinario" per l'anno 2022. Allo "Istituto Nazionale di Astrofisica" è stato assegnato, per l'anno 2022, un "Fondo Ordinario" che ammonta complessivamente ad € 132.426.795,00 ed è così articolato:

- ☑ "Assegnazione ordinaria": € 104.126.795,00;
- ☑ "Attività di ricerca a valenza internazionale": € 15.050.000,00;
- ☑ "Progettualità di carattere straordinario": € 2.900.000,00;
- ☑ "Progettualità di carattere continuativo": € 10.350.000,00.

9.2.2.2. Spese Previste per l'Anno 2023

Le spese previste per l'anno 2023 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**".

In Tabella 18, Tabella 19 e Tabella 20 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			
	2020	2021	2022
E-ELT*	6.600.000	0	0
LBT	3.000.000	3.200.000	3.000.000
TNG	2.700.000	2.900.000	2.900.000
SRT e VLBI	4.500.000	4.000.000	4.000.000
SKA	5.000.000	15.000.000	15.000.000
ASTRI Mini Array	1.000.000	1.700.000	700.000
CTA	1.500.000	1.500.000	8.000.000

Tabella 18 - Spese per infrastrutture sostenute per il triennio precedente

Costo previsto per le infrastrutture di ricerca internazionale nel triennio di riferimento			
	2023	2024	2025
LBT	3.000.000	3.000.000	3.000.000
TNG	3.000.000	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	14.000.000	16.000.000	16.000.000

Tabella 19 - Costo previsto per le infrastrutture per il triennio di riferimento

**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.*

Investimenti in ricerca libera e bandi competitivi interni per il triennio di riferimento			
	2023	2024	2025
Distribuzione fondi ricerca alle Strutture	1.800.000	2.000.000	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	10.450.000	10.450.000	10.450.000

Tabella 20 - Investimenti in Ricerca Libera e Bandi Interni.

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

9.2.3. 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 in Tabella 21 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%
Consuntivo 2022	104.126.795	104.526.026*	208.652.821*	50%
Preventivo 2023	104.126.795	61.784.259*	165.911.054*	63%

Tabella 21 - Rapporto tra risorse interne ed entrate complessive.

*i valori riportati non includono le entrate relative ai progetti PNRR

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 in Tabella 22 e Tabella 23 si riporta il riassunto relativo alle spese di personale per il triennio 2020-2022:

Spese effettive, dirette e indirette, sostenute per il personale, con riferimento al periodo compreso tra il 1° gennaio 2020 e il 31 dicembre 2022			
	2020	2021	2022
Spesa complessiva sostenuta per il personale con rapporto di lavoro a tempo indeterminato*	71.362.025	71.741.050	79.696.223
Spesa complessiva sostenuta per il personale con rapporto di lavoro a tempo determinato*	5.486.352	5.450.977	5.051.592
Altre spese di personale**	9.478.258	9.644.066	10.201.012
Totale	86.326.635	86.836.093	94.948.827

Tabella 22 - Spese sostenute per il Personale nel triennio precedente.

* 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.

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 2020-2022 (al netto del PNRR)	€ 174.529.513
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	€ 79.696.223
Rapporto tra le spese complessive di personale e la media delle entrate nel Triennio 2017-2019	45,7%
Spesa complessiva sostenuta per tutto il personale alla data del 31 dicembre 2019	€ 94.948.827
Rapporto tra la spesa complessiva di tutto il personale e la media delle entrate nel triennio 2017-2019	54,4%

Tabella 23 - 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:

- 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;
- garantire una gestione delle procedure di gara più organica e razionale;
- realizzare possibili economie di spesa;
- 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:

- la creazione di un archivio unico per la gestione del personale;
- 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;
- l'acquisizione di un sistema unico di rilevazione delle presenze in servizio del personale di ruolo;
- l'acquisizione di un nuovo sistema di protocollazione, fascicolazione ed archiviazione di atti e documenti amministrativi.

È 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.

9.5. 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.

10. 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 2023-2024
- Executive Summary PTA 2023-2024

Lista degli Acronimi

4MOST	4Metre Multi Object Spectrograph Telescope
ADONI	ADaptive Optics National laboratory of Italy
ADS	Astrophysics Data System
AGILE	Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero
AGN	Active Galactic Nuclei
AHEAD	integrated Activities in the High Energy Astrophysics Domain
ALMA	Atacama Large Millimetric Array
ALP	Axion Like Particle
AMEGO	All-sky Medium Energy Gamma-ray Observatory
ANDES	ArmazoNes high Dispersion Echelle Spectrograph
ANVUR	Agenzia Nazionale per la Valutazione dell'Università de della Ricerca
AO	Adaptive Optics
ARIEL	Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey
ASKAP	Australian SKA Pathfinder
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
ASPI	ASI SPace-weathe InfraStructure
ASTRI	Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana
ATCA	Australia Telescope Compact Array
ATHENA	Advanced Telescope for High Energy Astrophysics
ATNF	Australian Telescope National Facility
BGR	Board of Government Representatives
CARE	Coordinamento per l'Accesso alle Risorse Elettroniche
CASSIS	Colour and Stereo Surface Imaging System
CdA	Consiglio di Amministrazione
CdD	Collegio dei Direttori
CEA	Commissariat a l'energie atomique
CfA	Centre for Astrophysics
CHEOPS	Characterising ExOPlanet Satellite
CHIPP	Calcolo HTC in INAF – Progetto Pilota
CINECA	Consorzio Interuniversitario per il Calcolo
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNSA	China National Space Agency
CoRoT	Convection Rotation at Transits planetaire
COSPAR	Committee on Space Research
CPTF	Council Preparation Task Force
CPU	Central Processing Unit
CRUI	Conferenza dei Rettori delle Università Italiane
CSES-2	China Seismo-Electromagnetic Satellite 2
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Cientificas
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
CSN	Comitato Scientifico Nazionale
CTA	Cherenkov Telescope Array
CTAO	Cherenkov Telescope Array Observatory
CUBES	Cassegrain U-band Efficient Spectrograph
DART	Double Asteroid Redirection Test
DOI	Digital Object Identifier
DPAC	Data Processing and Analysis Consortium
DPI	Dot Per Index
DVS	Documento di Visione Strategica
ELT	Extremely Large Telescope
eMERLIN	Multi-Element Radio Linked Interferometer Network
ENEA	Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'Energia e lo sviluppo economico sostenibile
ENGRAVE	Electromagnetic counterparts of gravitational wave sources at the Very Large Telescope
EOSC	European Open Science Cloud
EPR	Enti Pubblici di Ricerca
ERC	European Research Council
ERIC	European Research Infrastructure Consortium
ERIS	Enhanced Resolution Imager and Spectrograph
ESA	European Space Agency
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ESO	European Southern Observatory
ESPRESSO	Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations

EST	European Solar Telescope
ET	Einstein Telescope
EU	European Union
EUV	Extreme Ultra Violet
EVN	European VLBI Network
eXTP	enhanced X-ray Timing and Polarimetry
FOE	Fondo Ordinario degli Enti
FGG	Fundacion Galileo Galilei
FRB	Fast Radio Burst
FTE	Full Time Equivalent
FUV	Far Ultra Violet
GARR	Gestione Ampliamento Rete Ricerca
GBT	Green Bank Telescope
gGmbH	gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GMT	Giant Magellan Telescope
GMRT	Giant Metrewave Radio Telescope
GRAWITA	GRAvitational Wave INAF TeAm
GRB	Gamma Ray Burst
GPS	Global Positioning System
GUI	Grafic User Interface
GW	Gravita
HARPS	High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher
HERMES	High Energy Rapid Modular Ensemble of Satellites
HESS	High Energy Stereoscopic System
ANDES	High Resolution Spectrograph
HMXB	High Mass X-ray Binary
HPC	High Performance Computing
HST	Hubble Space Telescope
IAC	Instituto de Astrofisica de Canarias IAA
IAU	International Astronomical Union
ICCD	Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
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
INSU	l'Institut national des sciences de l'Univers
INTEGRAL	INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory
IR	InfraRosso
IRAM	Institut de Radioastronomie Millimetrique
IVOA	International Virgo Observatory Alliance
IXPE	Imaging X-ray Polarimetry Explorer
JAXA	Japan Aerospace eXploration Agency
JIRAM	Jovian InfraRed Auroral Mapper
JIVE	Joint Institute for VLBI ERIC
JUICE	Jupiter Icy Moons Explorer
JVLA	Jansky Very Large Array
JWST	James Webb Space Telescope
KAGRA	Kamioka Gravitational Wave Detector
KASI	Korean Astronomy and Space-science Institute
LAD	Large Area Detector
LBT	Large Binocular Telescope
LBTC	Large Binocular Telescope Corporation
LICIACube	Light Italian Cubesat for Imaging of Asteroids
LIGO	Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory
LISA	Laser Interferometer Space Antenna
LiteBIRD	Lite (Light) satellite for the studies of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection
LMXB	Low Mass X-ray Binary
LOFAR	Low Frequency Aperture Array
Rubin-LSST	Vera C. Rubin Observatory Large Synoptic Survey Telescope
LST	Large Scale Telescope
MAECI	Ministero degli Affari Esteri e Cooperazione Internazionale

MAGIC	Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov
MAJIS	Moons and Jupiter Imaging Spectrometer
Ma_MISS	Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies
MARSIS	Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding
MAVIS	MCAO Assisted Visible Imager and Spectrograph
MeerKAT	Extended Karoo Astronomical Telescope
MeerKAT+	Further Extended Karoo Astronomical Telescope
MHD	Magneto Hydro Dynamics
MiC	Ministro della Cultura
MICADO	Multi-AO Imaging Camera for Deep Observations
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MoU	Memorandum of Understanding
MORFEO	Multi-Conjugated Adaptive Optics RelaY
MPA	Max Planck Institute for Astrophysics
MPG	Max Planck Gesellschaft
MPO	Mercury Planetary Orbiter
MRO	Mars Reconnaissance Orbiter
MST	Midium Size Telescope
MUCH	Muography with Cherenkov
MUR	Ministero della Università e della Ricerca
NADIR	New Archival Distributed InfrastructuRe
NAOJ	National Astronomical Observatory of Japan
NASA	National Air and Space Administration
NCTN	Numero di Catalogo Generale
NEO	Near Earth Object
NICER	Neutron-star Interior Composition ExproreR
NIR	Near Infra Red
NLR	Netherland Aerospace Centre
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOMAD	Nadir and Occultation for Mars Discovery
NTT	New Technology Telescope
NuSTAR	Nuclear Spectroscopic Telescope Array
OA	Open Access
OAE	Office for Astronomy Outreach
OMEGA	Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaciers et l'Actività
OSIRIS-REX	Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer
PANCAM	PANoramic CAMera
PeV	Peta elettronvolt
PI	Principal Investigator
PIC	Particle in Cell
PFS	Planetary Fourier Spectrometer
PLATO	Planetary Transits and Oscillations of Stars
PNR	Piano Nazionale della Ricerca
PNRR	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
PON	Programma Operativo Nazionale
PRACE	Partnership for Advanced Computing in Europe
PROBA	PRoject for OnBoard Autonomy
PROSPECT	Package for Resource Observation and in-Situ Prospecting for Exploration, Commercial exploitation and Transportation
PTA	Pianto Triennale di Attività
R&D	Research & Development
R&S	Ricerca e Sviluppo
REM	Rapid Eye Mount
RSN	Raggruppamento Scientifico Nazionale
SAIt	Società Astronomica Italiana
SAO	Smithsonian Astrophysical Observatory
SDGs	Sustainable Development Goals
SERENA	Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundances
SFXT	Supergiant Fast X-ray Transient
SHARAD	SHAllow RADar
SKA	Square Kilometre Array
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
THESEUS	Transient High-Energy Sky and Early Universe Surveyor
TDE	Tidal Disruption Event
TESS	Transiting Exoplanets Survey Satellite
TeV	Tera elettronvolt
TGO	Trace Gas Orbiter
TNG	Telescopio Nazionale Galileo
UHECR	Ultra High 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 Meteorological Organisation
WoS	Web of Science
X-IFU	X Integral Field Unit
XMM	X-ray Multimirror Mission