

Piano Triennale di Attività

Aggiornamento 2021-2023

[EXECUTIVE SUMMARY](#)

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Ente di Ricerca vigilato dal Ministero della Università e Ricerca (MUR), ha finalità di ricerca fondamentale nel campo dell'Astrofisica e delle sue molteplici applicazioni. Il presente Piano Triennale di Attività (PTA) per il triennio 2021-2023 rappresenta in modo sintetico il quadro dei progetti e programmi di ricerca dell'Ente che sono attualmente svolti e che si prevede di sviluppare nei prossimi anni. Il Piano è pienamente concorde con il Documento di Visione Strategica dell'INAF e con il Piano Nazionale della Ricerca (PNR).

L'Astrofisica moderna offre la possibilità straordinaria di studiare scale fisiche, regimi energetici e condizioni ambientali altrimenti non ottenibili da esperimenti terrestri. Temi principali della ricerca dell'INAF sono la cosmologia, lo studio dei gruppi e degli ammassi di galassie, delle stelle e della produzione degli elementi chimici in processi stellari, del mezzo interstellare, dei pianeti extra-solari e della ricerca della vita al di fuori della Terra, della fisica solare e dell'esplorazione del sistema solare, degli oggetti compatti, quali stelle di neutroni e buchi neri, dell'astrofisica delle alte energie (X e gamma). La conoscenza di natura astrofisica è cruciale per l'avanzamento della fisica fondamentale, ed è fortemente collegata con molteplici discipline scientifiche che includono la chimica, la geofisica, la fisica nucleare, sub-nucleare e dei plasmi, le tecniche computazionali avanzate, l'astrobiologia. Il grande impegno scientifico dell'INAF è corredato da un altrettanto forte sviluppo tecnologico per l'avanzamento continuo di strumentazione per rivelatori operanti sia sulla terra che nello spazio. La strumentazione deve essere sempre più sensibile e ad ampio spettro; è quindi questa un'attività ad alto valore aggiunto che costituisce un vero e proprio motore di innovazione per l'Italia. La grande quantità di dati ottenuta nei programmi osservativi richiede anche un notevole impegno sia in termini di analisi scientifica, che di sviluppo di software e capacità di calcolo sempre crescenti. Studi teorici sono di importanza fondamentale per interpretare i dati provenienti da strumenti che coprono tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico. Ricercatrici e ricercatori dell'INAF operano infatti con strumentazione attiva nelle bande di frequenza dal radio, ottico/infrarosso, UV, X e gamma. Il personale di ricerca INAF è impegnato in tutte queste attività e vanta una produzione scientifica e tecnologica di rilievo, altamente competitiva a livello internazionale come brevemente qui riassunto.

Il documento di Visione Strategica dell'INAF indica come le priorità di lungo termine per l'Ente le seguenti tematiche: (1) la partecipazione alle grandi infrastrutture internazionali del futuro, (2) l'esplorazione del sistema solare, (3) la vita oltre il sistema solare, (4) l'Astrofisica Multi-Messenger, (5) l'Astrofisica Fondamentale. Le attività riportate nel presente PTA e la loro programmazione per il triennio 2021-2023 sono quindi in accordo con tale visione strategica e riflettono le caratteristiche peculiari dell'INAF che vedono un'ampia varietà di programmi scientifici e tecnologici, grandi progetti che convivono con progetti relativamente piccoli ma di grande valore aggiunto, utilizzo di proprie infrastrutture di ricerca accanto alla partecipazione a progetti e infrastrutture internazionali.

I risultati scientifici e tecnologici raggiunti dall'INAF sono di grande rilevanza internazionale come determinato dalla qualità e quantità dei prodotti della ricerca dell'Ente che portano i ricercatori e ricercatrici INAF alle frontiere della conoscenza astrofisica e a scoperte scientifiche fondamentali. A titolo di esempio, si può considerare come indicatore dell'interesse scientifico globale della ricerca INAF il rapporto tra numero di citazioni e numero di pubblicazioni in astrofisica registrati tra il 2015 e il 2019. Tale rapporto risulta essere il 37% per l'INAF, 27% per il Max Planck Institut tedesco, e 15% per il CNRS (Centre national de la recherche scientifique) francese. Si evince quindi che anche globalmente INAF sia in una posizione di eccellenza rispetto ad altri attori europei, come anche dedotto nei settori specifici e negli ambiti particolari in cui INAF opera.

L'INAF è un Ente di Ricerca relativamente giovane costituitosi nel 1999 dall'unione degli Osservatori Astronomici e nel 2003 integrato con gli Istituti del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) specializzati in ricerche di astrofisica spaziale, fisica cosmica e radioastronomia. L'Ente è attualmente organizzato in 16 Strutture di ricerca dislocate su tutto il territorio nazionale con 833 ricercatori e tecnologi, 347 unità di personale Tecnico ed amministrativo, 269 Assegnisti di Ricerca e Borsisti e circa 400 associati da Università italiane e da altri istituti di ricerca nazionali e non, altri enti di ricerca e personale in quiescenza

ma ancora attivo. La comunità INAF è molto viva e partecipa di molteplici attività scientifiche e di divulgazione realizzate su tutto il territorio nazionale.

I Raggruppamenti Scientifici Nazionali (RSN), cui il personale di ricerca esprime la propria afferenza, definiscono le aree tematiche dei progetti e dei programmi scientifici e tecnologici dell'Ente e sono strutturati nel modo seguente:

- 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.

Presidente e Consiglio di Amministrazione (CdA) costituiscono i vertici decisionali e di indirizzo dell'INAF. Sono coadiuvati dalla Direzione Generale e dalla Direzione Scientifica che costituiscono le strutture gestionali apicali e che operano rispettivamente nei settori amministrativo e di coordinamento tecnico-programmatico dei programmi di ricerca. Altri organi e organismi dell'Ente sono il Consiglio Scientifico (organo consultivo del Presidente e CdA), il Collegio dei Direttori di Struttura e i Comitati scientifici nazionali (CdD e CSN, organi consultivi del CdA). Questi ultimi sono formati dall'insieme dei coordinatori locali eletti, per ognuno dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali di rilevanza in ciascuna Struttura dell'INAF.

Le attività dell'INAF sono organizzate in settori principali, coordinati e controllati dalla Direzione Scientifica, secondo lo schema seguente:

- infrastrutture nazionali (di proprietà INAF);
- infrastrutture internazionali (con rilevante partecipazione INAF);
- progetti e programmi scientifici e tecnologici (inquadriati nei Raggruppamenti Scientifici Nazionali, RSN);
- Attività di Terza Missione.

Le attività di Terza Missione sono coordinate da uffici della Direzione Scientifica focalizzati sul Trasferimento Tecnologico Musei e Biblioteche, ed uffici di Presidenza che coordinano Comunicazione, Didattica e Divulgazione,

Oltre ad attività di ricerca astrofisica, l'INAF è anche fortemente impegnato con le proprie infrastrutture in progetti multidisciplinari quali la Space Surveillance and Tracking (SST), Space Weather (SW), e progetti di fisica terrestre. Nell'ultimo anno l'INAF ha anche dato un importante contributo alla ricerca legata a metodi di sanificazione e diagnostica del Covid-19 descritti in dettaglio nel PTA.

Nel corso dei primi mesi del 2021 l'INAF ha effettuato una ricognizione di tutti i progetti e programmi scientifici e tecnologici dell'Ente, e ha raccolto il materiale in circa 750 Schede di Progetto elettroniche contenenti un quadro completo delle informazioni scientifiche e programmatiche. Si è pertanto realizzato per la prima volta un censimento co-partecipato delle attività dell'Ente, da una prospettiva diversa dal normale controllo di Gestione affidato alle Direzioni apicali. I Comitati Scientifici Nazionali (CSN) e la Direzione Scientifica hanno esaminato tutte le Schede di loro competenza e hanno contribuito alla redazione del presente Piano Triennale secondo quanto stabilito dallo Statuto, Regolamenti ed atti di indirizzo specifici deliberati dal CdA. Ciò ha rafforzato la condivisione di una prospettiva globale delle attività dell'Ente e una visione fortemente co-partecipata. Una parte rilevante dei programmi più corposi è stata audita in sessioni aperte a tutte le ricercatrici e ricercatori INAF. Informazioni essenziali di tutti i programmi e progetti presentati fanno parte del database pubblico che è parte integrante del presente PTA (<https://pta2123.inaf.it>). Riteniamo che la nuova procedura abbia rafforzato la governance scientifica dell'INAF e si intende ripeterla ogni anno con aggiornamenti e nuovi progetti.

L'INAF è coinvolto in molti progetti (specifici) e programmi (attività di lunga durata) di ricerca in Astrofisica sia a livello nazionale che internazionale. In tutti i casi, la "platea" scientifica dei contributi dell'INAF è determinata dalla comunità mondiale che opera in Astrofisica. L'attività dell'Ente è quindi per sua natura intrinsecamente internazionale, apportando contributi spesso fondamentali e con importantissime scoperte che fanno avanzare la conoscenza dell'Universo a livello globale.

Gli obiettivi strategici dell'INAF sono quindi chiari secondo quanto indicato dal Documento di Visione Strategica e come emerge dall'analisi dei progetti e programmi di ricerca dell'Ente. In seguito, si riassumono le direttrici scientifiche principali e di Terza Missione che vedono l'Ente maggiormente coinvolto. Da tale visione emerge sia il lavoro corrente che quello che vedrà l'INAF impegnato nei prossimi anni. Il triennio 2021-2023 si prevede sarà caratterizzato da una crescita delle attività in praticamente tutti i settori principali. In particolare si prevede una maggiore focalizzazione delle infrastrutture osservative nazionali e dall'aumento dell'impegno specifico e realizzativo dei grandi progetti internazionali in cui l'INAF è coinvolto, sia da terra che dallo spazio. Inoltre, elemento di grande importanza, legato anche a sviluppi in ambito di PNRR, sarà l'incremento e lo sviluppo di capacità di high-performance computing di cui l'INAF è chiamato a dotarsi per affrontare pienamente le sfide scientifiche della prossima decade.

E' importante notare come tale crescita faccia anche emergere delle criticità che dovranno essere affrontate nel prossimo triennio. Prima fra tutte, la progressiva erosione del FOE degli ultimi anni che si spera di superare con ulteriori contributi MUR. Altro aspetto molto importante per l'INAF è la possibilità di poter contare di fondi continuativi nel tempo da dedicare alla ricerca fondamentale e di R&S non necessariamente legata a grandi progetti. E' questo un punto molto rilevante che dovrà avere risoluzione nell'ambito delle risorse ordinarie e aggiuntive messe a disposizione dal MUR per le attività di terra e dall'ASI per le attività spaziali. Infine, il reclutamento di giovani ricercatrici e ricercatori come di tecnologiche e tecnologi deve proseguire con equilibrio tra l'immissione in ruolo di personale già attivo nell'Ente e di personale da reclutare con concorsi aperti. L'amministrazione delle Strutture richiede un rafforzamento di personale per affrontare un'attività in crescita. Nuove competenze, sia amministrative che tecnologiche dovranno essere acquisite nel sistema INAF per potenziare le Strutture e i programmi di ricerca che richiedono sempre maggiore incisività ed efficienza gestionale. E' questo un punto sul quale INAF si vede impegnato con altri Enti di Ricerca per poter ottimizzare le normative riguardo alla capacità di reclutamento oltre che ad avere risorse specifiche per tale scopo.

Si riassume di seguito il quadro delle attività scientifiche e tecnologiche dell'Ente e loro prospettive suddivise per grandi linee di ricerca rappresentate dalle tematiche dei Raggruppamenti Scientifici Nazionali dell'INAF. E' opportuno qui ribadire la notevole permeabilità tra gli RSN, da un lato conseguenza della natura intrinsecamente interdisciplinare della ricerca astrofisica, e dall'altro conseguenza della trasversalità di utilizzo scientifico di buona parte delle infrastrutture.

La comprensione dell'evoluzione dell'Universo dal Big Bang fino all'epoca attuale è una delle sfide fondamentali dell'astrofisica moderna (vedi Sez. 4.1.1 per maggiori dettagli). I ricercatori afferenti a RSN-1 si occupano di studi osservativi, teorici e computazionali focalizzati sulle diverse componenti dell'Universo, sull'astrofisica dei buchi neri, delle galassie e dei loro sistemi (gruppi e ammassi), con importanti ricadute anche nell'ambito della formazione stellare, dell'astrofisica delle alte energie o della fisica fondamentale (teorie della gravità e altre interazioni fondamentali). INAF, attraverso la comunità RSN1, ha acquisito un ruolo di leadership nello studio della struttura a larga scala e delle sue implicazioni cosmologiche, grazie alla partecipazione in ruoli chiave e/o di guida, a importanti survey spettroscopiche di galassie e a un ampio e approfondito lavoro di preparazione per la missione ESA Euclid (lancio previsto per il 2022). Inoltre, in ambito cosmologico, INAF vanta un importante coinvolgimento in studi della radiazione cosmica, e.g. attraverso il satellite Planck. 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 large-class per il periodo 2035-2050 (Voyage 2050).

INAF ha ruolo di leadership nello studio a multi-frequenza degli ammassi di galassie che coinvolge l'utilizzo di molteplici infrastrutture osservative internazionali dal radio, ottico/IR e alte energie. È molto rilevante anche la modellizzazione teorica dei complessi processi fisici che contribuiscono alla dissipazione di energia e al ciclo del gas e dei metalli negli ammassi di galassie. Altro campo di indagine importante per l'INAF è lo studio dell'origine ed evoluzione delle galassie a partire dalla cosiddetta *alba cosmica*, ovvero l'epoca immediatamente precedente la formazione delle prime stelle e delle prime galassie, con le prime popolazioni galattiche e primi nuclei attivi che contribuiscono alla re-ionizzazione dell'Universo, fino ad arrivare a distanze (e pertanto età) intermedie ed infine all'epoca attuale. Tali studi hanno chiarito aspetti importanti delle popolazioni stellari e della loro evoluzione, la formazione stellare, l'evoluzione della metallicità e grado di ionizzazione, oltre che la generazione ed effetti degli outflows di gas generati da stelle e nuclei galattici attivi.

INAF guida diverse survey spettroscopiche con telescopi e strumentazione di ultima generazione a cui ha accesso. Infrastrutture di radioastronomia sono utilizzate in questi studi come anche strumentazione nella banda X accessibile dallo spazio. L'attività teorica comprende simulazioni cosmologiche su larga scala influenzata da modelli standard e non di Materia Oscura e Energia Oscura, modelli di formazione delle galassie e dei nuclei attivi contenenti buchi neri super-massivi, modelli di magnetoidrodinamica per lo studio delle strutture cosmiche e ammassi di galassie. Tale attività sfrutta, quindi, il confronto con i dati provenienti da numerose infrastrutture osservative nazionali e internazionali ed è proiettata verso l'utilizzo di centri di calcolo ad alta prestazione di prossima generazione per i quali l'INAF si prevede sia coinvolto in misura sempre maggiore.

Lo studio delle stelle, della loro formazione ed evoluzione, delle popolazioni stellari nella nostra Galassia e i suoi satelliti, della cosiddetta archeologia Galattica e dei pianeti extra-solari sono temi fondamentali dell'astrofisica moderna e di grande interesse e partecipazione in INAF (RSN-2). Tali tematiche sono affrontate sia dal punto di vista osservativo che dal punto di vista dell'analisi teorica. Fondamentale lo sfruttamento dei dati provenienti da tutte le principali infrastrutture internazionali e in particolare, negli ultimi anni, le numerose survey a guida (o partecipazione importante) INAF. La formazione stellare a partire da nubi molecolari in forte interazione con l'ambiente galattico circostante è uno dei temi più rilevanti attualmente e nei prossimi anni. Si vuole capire nel dettaglio come da nubi diffuse di gas e polvere si formino strutture via via più compatte, con una chimica molecolare sempre più complessa, fino a protostelle circondate da dischi protoplanetari. Questi processi sono influenzati dai campi magnetici, dall'accrescimento di materia sulla protostella, dall'espulsione di venti e jets, dall'evoluzione del disco, dal feedback sull'ambiente. Nei prossimi tre anni questi aspetti saranno analizzati, oltre che con studi teorici analitici e numerici, con osservazioni multibanda con interferometri e telescopi ad alta performance sia da terra che dallo spazio. Le osservazioni saranno accompagnate da studi teorici di astrochimica e formazione planetaria, e dall'attività preparatoria per gli strumenti di prossima generazione (come Ariel, ELT, SKA).

La modellistica stellare è tematica tradizionalmente di grande interesse INAF e si arricchisce di sviluppi continui dal punto di vista teorico e osservativo. L'evoluzione della stella a partire da massa e metallicità viene integrata in base agli effetti della rotazione, dei campi magnetici, e delle sezioni d'urto nucleari che sono costantemente aggiornate. Tali studi sono fondamentali per comprendere l'evoluzione chimica della Galassia e la formazione degli elementi chimici sia all'interno delle stelle che nei fenomeni catastrofici che portano alle esplosioni stellari (Novae e Supernovae). Oltre a studi teorici, INAF beneficerà dei dati ottenibili con lo strumento SOXS per NTT-ESO strumento di prossima operatività a leadership italiana.

La comunità INAF è da sempre molto attiva nello studio della storia di formazione della nostra Galassia, della sua struttura (sferoide centrale, disco, alone e bracci a spirale) e della sua evoluzione, in termini di modelli sia gerarchici di formazione delle galassie, sia avanzati sul fronte delle teorie della gravità. Ingredienti fondamentali sono l'analisi delle proprietà chimico-dinamiche delle popolazioni stellari e di quelle delle sue galassie satelliti e degli ammassi aperti e globulari e il confronto con le predizioni cosmologiche per galassie simili a quelle del Gruppo Locale compresa la Via Lattea. Nell'ultimo decennio queste ricerche, stanno vivendo un avanzamento senza precedenti grazie a progetti osservativi innovativi sia da terra che dallo

spazio (si pensi anche solo all'impatto della missione Gaia, ai dati delle survey spettroscopiche da terra e al futuro contributo delle survey WEAVE e Rubin-LSST). Altrettanto cruciale in questo contesto la possibilità di avere distanze stellari sempre più precise per tracciare mappe stellari 3D dei sistemi osservati e per migliorare la calibrazione di indicatori di distanza primari come le stelle variabili pulsanti, alla base della scala delle distanze extragalattiche e contribuire in modo significativo alla stima locale della costante di Hubble, la cui tensione con le misure e le determinazioni relative all'Universo primordiale rappresenta uno dei problemi più dibattuti degli ultimi anni. Infine, sistemi eso-planetari (al di fuori del Sistema Solare) rivestono sempre maggiore importanza e sono oggetto di numerosi studi che vedono INAF in posizione di leadership.

Gli eso-pianeti si identificano grazie alle perturbazioni gravitazionali della stella centrale, a tecniche di imaging e tramite i "transiti" sulla stella centrale stessa. Oggi le indagini sulle atmosfere planetarie rappresentano la nuova frontiera. Una molteplicità di strumentazione sia da terra che dallo spazio è accessibile alle ricercatrici e ai ricercatori INAF. Questa include spettroscopi di ultima generazione estremamente stabili e accurati, fotometri di grande precisione, interferometri e strumentazione a immagine. Questi strumenti sono già disponibili o in fase di sviluppo e coprono un grande intervallo di lunghezza d'onda, dalla banda radio alla banda X. La tematica degli eso-pianeti sta diventando sempre più rilevante e strategica, e l'INAF è molto focalizzato sull'argomento per i prossimi anni. Il miglioramento continuo della strumentazione atta all'identificazione per imaging, fotometria e spettroscopia, di cui INAF è indubbio protagonista, può portare a individuare pianeti "abitabili" ed a determinare la composizione chimica delle atmosfere gassose che si possono rapportare a quelle della Terra. HIRES all'ELT, SKA da terra e JWST, PLATO, Ariel e Athena dallo spazio permetteranno di fare un balzo in avanti nella identificazione dei sistemi planetari vicini, nella caratterizzazione delle proprietà fisiche dei sistemi e dei pianeti - architetture dei sistemi, struttura interna e proprietà delle atmosfere dei pianeti - nello studio delle fasi di formazione e di evoluzione. In PLATO, Ariel e Athena peraltro INAF ha posizioni di coPI-ship. L'INAF è anche fortemente coinvolto nella ricerca di firme spettrali di elementi biotici in atmosfere eso-planetarie. L'Astrofisica si arricchisce quindi in questi anni di un altro tema di importanza fondamentale per l'umanità: la ricerca di pianeti abitabili al di fuori della Terra. Come vedremo è questo un aspetto importante della ricerca che vede in INAF la sinergia tra tematiche proprie dell'Osservazione dell'Universo e quelle dell'esplorazione del nostro Sistema Solare.

Il Sole e il nostro Sistema Solare costituiscono un punto di riferimento essenziale per lo studio dell'Universo. Il loro studio si basa sullo sviluppo tecnologico di sempre più nuove infrastrutture e di strumentazione da Terra e dallo spazio, quest'ultima realizzata con il supporto dell'ASI. Il nostro Sole, per la sua vicinanza alla Terra, costituisce la stella di riferimento per la quale è possibile studiare con elevatissima risoluzione spaziale, spettrale e temporale fenomeni fisici altrimenti inaccessibili. Applicando tecniche osservative e modelli all'avanguardia è possibile conoscere sia la sua struttura interna che i processi fisici che coinvolgono la sua atmosfera. INAF, in particolare, è coinvolto nel monitoraggio dell'attività solare per investigare i processi fisici che presiedono all'emersione ed evoluzione del campo magnetico e le cause che determinano l'instabilità magnetica alla base delle eruzioni solari. Individuare con anticipo questi fenomeni che potrebbero avere un impatto potenzialmente pericoloso sulla Terra (ad esempio blackout e danni alla strumentazione elettronica in alta quota) costituisce una parte importante dell'attività denominata di "Space Weather", che impegna INAF a livello internazionale con varie infrastrutture. INAF è fortemente impegnato anche nella missione spaziale ESA-NASA Solar Orbiter ed ha contribuito alla progettazione del nascente telescopio solare europeo EST. Nei prossimi anni si prevede uno sfruttamento scientifico dei dati di Solar Orbiter finalizzati allo studio delle proprietà e dei meccanismi di accelerazione del vento solare.

L'interazione Sole-pianeti è particolarmente rilevante nel caso di Mercurio, il pianeta più vicino al Sole. Mercurio riveste anche un ruolo fondamentale, vista la sua elevata densità, per la comprensione dei meccanismi di formazione planetaria all'interno del nostro sistema solare. Entrambe le problematiche saranno oggetto di studio della missione BepiColombo attualmente in fase di crociera verso Mercurio. INAF è leader di diversi strumenti a bordo di BepiColombo: la suite SERENA (Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundances) dedicata allo studio del plasma e della tenue atmosfera con misure in-situ, la

suite SIMBIO-SYS (Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory SYStem) per lo studio della superficie attraverso misure di Remote Sensing nel visibile e vicino infrarosso, e lo strumento ISA (Italian Spring Accelerometer) per il supporto allo studio degli effetti della Relatività Generale."

Marte è un altro pianeta di grande interesse sul quale ultimamente si concentrano gli sforzi esplorativi di diverse agenzie spaziali. "Lo studio di Marte vede coinvolto l'INAF in prima linea con molta strumentazione a bordo delle principali missioni esplorative. La complessità e ampiezza delle tematiche di studio richiedono competenze multidisciplinari che includono la geologia, lo studio dell'atmosfera e l'indagine del sottosuolo. La presenza di acqua nel sottosuolo di Marte è in accordo con l'ipotesi che l'acqua fosse presente in superficie in una fase iniziale dell'evoluzione del pianeta, concetto importante che fa di Marte un pianeta rilevante anche dal punto di vista astrobiologico. INAF è coinvolto in molteplici attività per lo studio dell'atmosfera e del suolo marziano nell'ambito di diverse missioni ESA e NASA già operative o che lo saranno nei prossimi anni. È da menzionare la partecipazione ad entrambi i progetti ExoMars dell'ESA con due strumenti a Co-PIship INAF a bordo del Trace Gas Orbiter (TGO) della Missione ExoMars 2016 operativa dal 2020: la camera CASSIS (Colour and Stereo Surface Imaging System) e lo spettrometro NOMAD (Nadir and Occultation for Mars Discovery). Inoltre a bordo di ExoMars 2022 sono presenti due strumenti a PI-ship INAF: MICROMED sulla Surface Platform un sensore dedicato ad analizzare la polvere presente nell'atmosfera marziana in prossimità della superficie del pianeta, e Ma_MISS (Mars Multispectral Imager for Subsurface Studies), uno spettrometro miniaturizzato, integrato nel trapano del Rover, che potrà osservare la composizione del sottosuolo di Marte fino ad una profondità di 2 metri. Si prevede inoltre che INAF sia coinvolto scientificamente e tecnicamente nella missione NASA-ESA Mars Sample Return prevista nel 2031."

Giove e i suoi satelliti sono ora al centro dello studio dei giganti gassosi, dopo Saturno, oggetto della missione Cassini conclusasi qualche anno fa. INAF partecipa alla missione attualmente operativa Juno della NASA con la leadership dello spettrometro infrarosso JIRAM per lo studio di aurore e dell'atmosfera gioviana. INAF partecipa inoltre alla missione dell'ESA JUICE, che sarà lanciata nel 2022 e oltre allo studio di Giove userà le sue camere e lo spettrometro nel visibile e nell'infrarosso per studiare i satelliti gioviani Ganimede ed Europa, e cercare condizioni potenzialmente biotiche negli oceani che potrebbero esistere sotto la loro superficie.

L'INAF è coinvolto anche nelle attività dedicate ai corpi minori (comete, asteroidi e meteore) rilevanti per lo studio di materiale primordiale del nostro Sistema planetario sia con missioni spaziali ESA e NASA che con osservazioni da Terra. Altrettanto importante è l'attività di laboratorio che rappresenta un aspetto fondamentale nello studio delle tematiche che riguardano le condizioni fisico-chimiche sulle superfici di pianeti, asteroidi e comete, la formazione di composti organici complessi inclusi quelli rilevanti per l'origine della vita. Include anche la caratterizzazione di atmosfere planetarie e di materiali extraterrestri, fino agli aspetti più generali connessi con lo studio delle polveri e dei ghiacci presenti nel mezzo interstellare da cui sistemi planetari come il nostro hanno origine.

L'Astrofisica delle Alte Energie (RSN-4) è altro tema di grande rilevanza per l'INAF, anche per la tradizione pluridecennale di studi e missioni spaziali dedicate. Lo studio della materia nelle condizioni estreme che si trovano dentro e nelle vicinanze dei resti dell'evoluzione stellare (oggetti compatti relativistici: nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri) è collegato ai fenomeni più energetici del nostro Universo che emettono radiazione nella banda X e gamma. INAF è coinvolto in numerosi programmi osservativi e teorici di studio di sorgenti di alta energia, sia galattiche che extra-galattiche. Gli oggetti compatti galattici possono manifestarsi o singolarmente (per esempio radio-pulsar singole rappresentate da stelle di neutroni magnetizzate e ruotanti) o in sistemi binari in cui una stella compagna trasferisce materia sull'oggetto compatto. Il fenomeno dell'accrescimento di materia su nane bianche, stelle di neutroni o buchi neri di piccola massa è osservato in centinaia di sorgenti X galattiche che vengono studiate dalla comunità INAF delle alte energie con dati provenienti praticamente da tutte le missioni spaziali attualmente operative con strumentazione X e gamma ai quali si sono aggiunti di recente anche i telescopi Cherenkov da terra.

Riassumendo una grande quantità di risultati ottenuti di recente si possono menzionare: l'osservazione di sorgenti X superluminose in galassie vicine, la rivelazione di pulsazioni della Crab pulsar fino a energie del TeV, la scoperta di flare gamma dalla Crab Nebula, la scoperta di pulsar al millisecondo che fanno transizioni tra un regime alimentato dalla rotazione del campo magnetico e uno stato alimentato dall'accrescimento di materia, la scoperta di impulsi radio fortissimi (Fast Radio Burst) prodotti da stelle di neutroni molto magnetizzate (magnetar), l'individuazione di accelerazione adronica in Resti di Supernovae. In ambito extragalattico, lo studio dei nuclei galattici attivi (AGN) contenenti buchi neri super-massivi in accrescimento è stato uno dei temi fondamentali di interesse per la comunità INAF nel corso di diversi decenni, come anche la rivelazione dei lampi gamma cosmici (GRB). Ultimamente sono stati ottenuti diversi risultati importanti quali l'imaging radio del buco nero super-massivo M87 ottenuto con l'Event Horizon Telescope, la caratterizzazione di accelerazione di particelle ed emissione gamma in getti relativistici degli AGN, la rivelazione di emissione X e ottica e radio ritardata dalla sorgente di onde gravitazionali GW 170817 interpretata come coalescenza di due stelle di neutroni. INAF è proiettato nei prossimi anni ad intraprendere un cammino di eccellenza nelle osservazioni da terra e dallo spazio delle sorgenti delle onde gravitazionali ed a collaborare allo sviluppo del progetto Einstein Telescope.

Nel prossimo triennio la comunità INAF delle alte energie continuerà i programmi teorici e osservativi a multi-frequenza per lo studio di sorgenti X e gamma sia galattiche che extragalattiche. Una delle focalizzazioni sarà la comprensione dei fenomeni di accelerazione leptonica e adronica nei sistemi compatti, in Resti di Supernova, GRB e AGN sia in getti che in sistemi quasi-isotropi. Il fenomeno della riconnessione magnetica sta acquistando sempre maggiore importanza nel comprendere meccanismi rapidi di accelerazione impulsiva, e si possono prevedere diversi sviluppi che legano l'astrofisica delle alte energie e la fisica dei plasmi, sia teorica che osservativa. Una serie di nuovi esperimenti è in fase di realizzazione nei prossimi anni sia da terra (ASTRI Mini-Array sotto egida INAF a Tenerife, CTA Nord a La Palma, CTA Sud in Cile) che dallo spazio (Hermes, Athena, eXTP). Il polarimetro X a bordo di IXPE è di manifattura italiana con contributo essenziale dell'INAF e sarà operativo a bordo della missione della NASA a fine 2021.

La ricerca tecnologica svolge un ruolo molto importante in INAF e sostiene i programmi osservativi praticamente in tutti i settori in cui l'Ente è scientificamente impegnato (RSN5). I rivelatori nelle bande di energia radio, ottico-IR e X-gamma devono essere sempre più sensibili e capaci di operare in condizioni sempre più estreme. Inoltre, la crescente mole di dati e le necessità di analisi dati sempre più sofisticata rendono le capacità di gestione dati e di calcolo assolutamente cruciali per l'INAF del futuro. L'innovazione è quindi alla base degli sviluppi tecnologici dell'INAF: rivelatori sempre nuovi con soluzioni tecniche in grado di poter adattare gli strumenti a condizioni particolari sia da terra che dallo spazio. L'impatto delle attività INAF di Ricerca e Sviluppo è testimoniato dalla quantità di progetti tecnologici svolti e dalle pubblicazioni. Nel corso degli anni INAF ha sviluppato una serie notevole di tecnologie legate alle ottiche di telescopi, alla meccanica, all'elettronica, alla metrologia, al software di controllo e alla criogenia. Gli strumenti del futuro sono progettati e sviluppati a livello prototipale in diversi contesti sia da terra (ERIS e MAVIS ed a Pi-ship italiana CUBES, SOXS, MAORY e HIRES) che dallo spazio. L'eccellenza italiana nell'ottica adattiva ha permesso di consolidare nel corso degli anni una leadership indiscussa nella realizzazione di telescopi ottici di ultima generazione. INAF è direttamente coinvolto nella realizzazione del più grande telescopio del mondo (ELT, di circa 40 m di diametro) che sarà installato dall'ESO in Cile nei prossimi anni. Il Laboratorio Nazionale di Ottica Adattiva (ADONI) ha permesso uno sviluppo efficiente di specchi deformabili e di applicazioni per i grandi telescopi e strumenti per LBT, VLT, GMT oltre che per ELT. Non è da meno lo sviluppo tecnologico nel settore della radio-astronomia in particolare per le antenne e digitalizzazione del segnale a bassa frequenza che hanno consentito ad INAF una posizione di leadership progetti SKA-LOW ed il suo precursore LOFAR e lo sviluppo del software di controllo per antenne paraboliche a frequenza più alta che ha collocato INAF e l'Italia in posizioni di rilievo in SKA-MID e nei suoi precursori MeerKAT e MeerKAT+.

Il settore spaziale beneficia dello sviluppo di sistemi ottico-meccanici innovativi per future missioni (PLATO e Ariel) oltre che di coronografi in uso su Solar Orbiter e Proba-3. Nuovi spettrometri per sonde planetarie e rivelatori innovativi sono realizzati in ambito dell'esplorazione del Sistema Solare. La strumentazione per la rivelazione X e gamma continua a essere sviluppata da INAF con grande vigore ed efficienza riconosciuta

dalle agenzie spaziali principali e applicata in numerosi esperimenti. Tale sviluppo porta alla realizzazione di nuovi rivelatori di concezione innovativa dalla banda radio a quella delle alte energie con numerose applicazioni tecnologiche acquisite dalle industrie del settore e con un'importante applicabilità a progetti di natura terrestre e non solo astronomica. La crescita della capacità tecnologica nella realizzazione dei rivelatori dovrà necessariamente accompagnarsi ad un consolidamento delle capacità di processamento ed analisi dei dati potenziando l'accesso alle risorse di calcolo. Nei prossimi anni si prevede che INAF rafforzi alcune competenze e capacità infrastrutturali che dovranno includere: calcolo di alta prestazione a livello di Tier-1 centralizzato e Tier-2 locali, gestione ingegneristica di progetti e controllo di qualità, incremento delle attività di sistema.

L'INAF è anche impegnato in diverse attività che recentemente sono cresciute in rilevanza quali la Space Situation Awareness (SSA). Le infrastrutture nazionali quali i radiotelescopi di Medicina (Croce del Nord), e San Basilio (SRT) e telescopi ottici di media grandezza gestiti da INAF stanno dando contributi molto importanti allo Space Surveillance and Tracking (SST). Tale attività è eseguita sia a livello nazionale che in collaborazione con strutture europee per il monitoraggio e dei detriti spaziali. Anche le osservazioni dei Near Earth Objects rientrano nel novero dei progetti di SSA che INAF svilupperà nei prossimi anni.

Lo Space Weather (SW), il monitoraggio dell'attività solare per la individuazione di eventi solari impulsivi che possono potenzialmente alterare il sistema magnetosferico terrestre con conseguenze a livello del mare, è una delle attività sviluppate da diverse infrastrutture dell'INAF. Questo programma richiede grande attenzione nei prossimi anni, e sarà oggetto di una particolare focalizzazione da parte dell'Ente per renderla il più possibile operativa anche come contributo alla rete internazionale che si occupa di di SW.

L'esplorazione lunare è uno dei sei temi di interesse nazionale descritti nel PNR 2021-2027 nella articolazione "Esplorazione e osservazione dell'Universo" ed è un obiettivo di massima rilevanza a livello delle grandi agenzie internazionali. L'INAF guida una attività di coordinamento nazionale per la definizione di una Roadmap italiana alla esplorazione lunare che tiene conto degli obiettivi scientifici (scienza **della** Luna e scienza **dalla** Luna) di interesse della comunità italiana, della strumentazione spaziale a guida italiana proposta per raggiungere tali obiettivi e che descriva le competenze e le facilities di laboratorio distribuite sul territorio nazionale che verranno messe a disposizione per l'analisi di campioni lunari prelevati in situ e riportati a Terra.

E' interessante notare come ultimamente l'INAF abbia dato contributi anche per la lotta alla pandemia da Covid-19, che includono, tra gli altri, lo sviluppo di nuovi sistemi innovativi di inattivazione del virus con raggi UV e il monitoraggio di aerosol in spazi chiusi. Si prevede che nel 2021 e 2022 tale attività continui e permetta di consolidare procedure e prototipi che possano essere utili per il contenimento e la prevenzione di questa pandemia.

Le attività di Terza Missione sono molto rilevanti per un Ente come INAF e comprendono Trasferimento Tecnologico, Comunicazione, Didattica e Divulgazione, Musei e Biblioteche. INAF pone particolare attenzione all'inquadramento delle attività tecnologiche dell'Ente in un ambito di trasferimento "dalla Ricerca all'Impresa" che coinvolge ricercatori dell'INAF e aziende in un contesto di forte collaborazione e sviluppo congiunto di tecnologie. È importante notare come anche la "propensione del Brevetto" stia aumentando notevolmente tra il personale di ricerca dell'INAF, come dimostrato dal numero crescente di brevetti depositati dall'Ente nel corso del 2020-inizio-2021. L'ufficio Comunicazione dell'INAF cura i rapporti con le istituzioni e con i media per ciò che riguarda l'annuncio pubblico di tutte le attività scientifiche rilevanti dell'Ente suddivise in Ufficio Stampa e Media INAF (testata giornalistica di successo che opera *on-line* sui social media e su internet con oltre 90.000 iscritti).

Veicolare i grandi temi dell'Astronomia e dell'Astrofisica al pubblico è compito dell'Ufficio Divulgazione che svolge da anni questo compito con sempre più numerose iniziative (mostre permanenti e temporanee, installazioni, laboratori itineranti, partecipazione a eventi e Festival culturali). L'INAF riconosce l'importanza di tale attività e si può prevedere un incremento di progetti di Divulgazione dell'Ente nei prossimi anni. La

Didattica nelle scuole (dalle elementari ai licei) fino ad arrivare a seminari e corsi di Astrofisica nelle università è anch'essa di importanza fondamentale per l'INAF. Una serie di progetti specifici sono in corso per poter potenziare ancora di più le iniziative didattiche per un numero di fruitori sempre più ampio contribuendo ad innalzare il livello di cultura scientifica dalla popolazione italiana inferiore alla media degli altri paesi Europei. Tra le varie iniziative è da notare la recente partecipazione dell'INAF al progetto della International Astronomical Union (IAU) dedicato alla didattica dell'Astrofisica a livello mondiale (IAU-Office of Astronomy for Education che avrà a partire dal 2021 un ufficio in Italia).

Di notevole importanza è il patrimonio storico e museale che l'INAF può vantare grazie alla storia plurisecolare degli Osservatori Astronomici italiani. L'INAF è impegnato nella tutela e nella sempre crescente apertura al pubblico delle sue Biblioteche storiche e dei Musei Astronomici che arricchiscono molte delle Strutture dell'Ente. Diversi progetti sono in corso per migliorare e sviluppare la presentazione del materiale ed è importante sottolineare come l'INAF abbia in programma delle collaborazioni specifiche con il Ministero della Cultura (MiC) riguardo a iniziative di restauro di apparati museali e di libri antichi come anche di incremento di attività che inseriscano l'Astronomia e l'Astrofisica sempre di più nel panorama delle iniziative culturali del nostro Paese. Una serie importante di riaperture di Musei Astronomici e di nuovi progetti di Divulgazione legati anche al patrimonio storico sono previsti per il prossimo triennio.

In conclusione, l'INAF è un Ente solidamente all'avanguardia nella ricerca astrofisica e proiettato verso un futuro a medio e lungo termine ricco di opportunità scientifiche e tecnologiche. L'Ente assolve pienamente le sue caratteristiche nazionali nella valorizzazione di Strutture di ricerca e infrastrutture che sono ben radicate nel tessuto produttivo e culturale di tutto il nostro Paese. Il prossimo triennio 2021-2022 vedrà l'INAF impegnato alla frontiera della conoscenza astrofisica con una serie di nuovi progetti e infrastrutture sia da terra che dallo spazio che cominceranno a produrre dati scientifici di grande importanza.

Nel frattempo, altri grandi progetti internazionali con l'INAF in prima fila vedranno avanzare il loro sviluppo che si concretizzerà a fine decennio. La ricerca fondamentale di ricercatrici, ricercatori, tecnologhe e tecnologi sarà rafforzata e valorizzata. La crescita dell'INAF sia in termini di risultati scientifici e tecnologici che di capitale umano e di efficienza di amministrazione costituisce un valore aggiunto del sistema ricerca dell'Italia. La considerazione e il supporto istituzionale da parte del Ministero dell'Università e Ricerca saranno fondamentali per i nostri successi presenti e futuri.