



Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

Number	23
Publication Year	2020
Acceptance in OA@INAF	2020-05-18T11:12:55Z
Title	Astrofisica, Cosmologia, Fisica Fondamentale e Fisica del Sistema Solare dallo Spazio: il contributo nazionale
Authors	DELLA CECA, Roberto, Bersanelli, Marco, MESSEROTTI, Mauro
Affiliation of first author	O.A. Brera
Handle	http://hdl.handle.net/20.500.12386/24911 , http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/23

Astrofisica, Cosmologia, Fisica Fondamentale e Fisica del Sistema Solare dallo Spazio: il contributo nazionale

a cura di Roberto Della Ceca (INAF), Marco Bersanelli (Università di Milano) e Mauro Messerotti (INAF)

Il presente documento, di cui gli autori costituiscono il “Board editoriale”, presenta una sintesi delle attività del Paese nell'esplorazione del Sistema Solare e nell'osservazione dell'Universo effettuate dallo Spazio. I dati citati sono estratti principalmente dal Piano Triennale e dal Documento di Vision dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), predisposti attraverso protocolli di consultazione con gli organismi e le articolazioni dell'Ente, e con un ampio coinvolgimento di tutta la comunità di riferimento in campo spaziale (si stima circa 1500 ricercatori fra INAF, che di norma è capofila delle iniziative, e svariati altri Enti di Ricerca e Università).

L'Italia può vantare una lunghissima tradizione in campo spaziale essendo stata, nel lontano 1964, la terza nazione a mettere in orbita un proprio satellite dopo USA ed Unione Sovietica. Da allora la comunità internazionale ha segnato enormi progressi in tutti i campi del settore spaziale, dalle telecomunicazioni all'osservazione della Terra, dall'esplorazione robotica del Sistema Solare all'osservazione dell'Universo lontano. Il nostro Paese, grazie al contributo degli Istituti di Ricerca e delle Università italiane, ha mantenuto e consolidato nel tempo la sua posizione di primissimo ordine nelle missioni scientifiche a livello Europeo e mondiale, spesso ricoprendo posizioni di leadership riconosciute a livello internazionale.

Guardando al futuro, lo spazio si presenta come una frontiera quanto mai irrinunciabile per la nuova generazione di imprese scientifiche di punta nei campi della fisica del sistema solare, dell'astrofisica, della cosmologia e della fisica fondamentale. In questo ambito la comunità scientifica italiana è principalmente sostenuta dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e comprende diverse componenti, di cui l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) rappresenta il principale stakeholder (si veda <http://www.inaf.it/it/brochure-2018-19/SPAZIO-singole-pagine-A5.pdf>), con il contributo determinante di numerose Università e il coinvolgimento significativo dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN, si veda <http://home.infn.it/it/istituto/le-linee-di-ricerca-e-le-commissioni-nazionali/csn2-fisica-delle-astroparticelle>) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Le conseguenti ricadute sull'industria spaziale nazionale sono di grande impatto a medio e lungo termine per l'effetto “volano” legato alle tecnologie sempre più performanti richieste dai nuovi obiettivi scientifici (si veda il recente documento a firma del Presidente del Consiglio dei Ministri del 25 Marzo 2019, “Indirizzi del Governo in materia spaziale e aerospaziale”, reperibile al seguente link: http://presidenza.governo.it/AmministrazioneTrasparente/Organizzazione/ArticolazioneUffici/UfficiDirettaPresidente/UfficiDiretta_CONTE/COMINT/DEL_20190325_aerospazio.pdf

Accesso allo spazio: come?

Nel campo dell'esplorazione e dell'osservazione dell'Universo l'Italia ha consolidato eccellenti capacità su tutta la filiera dei progetti spaziali, dallo sviluppo di strumentazione, alla gestione delle missioni, all'analisi e sfruttamento scientifico dei dati acquisiti.

- Programmi dell'Agenzia Spaziale Europea

L'Italia è uno dei Paesi fondatori dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), con una quota annuale che pone il Paese al terzo posto per contribuzione. L'ESA prevede per statuto un programma scientifico obbligatorio ed uno opzionale, i cui ritorni sia in termini industriali che scientifici per il Paese sono

garantiti da una comunità scientifica (Enti di Ricerca e Università, in stretta collaborazione con ASI) di altissimo profilo. In particolare l'ESA coinvolge le istituzioni scientifiche su base competitiva. A seguito di bandi periodici, le istituzioni e i gruppi di ricerca si auto-organizzano in consorzi internazionali che propongono la strumentazione scientifica da alloggiare a bordo delle missioni, realizzano e qualificano i modelli, e infine elaborano e pubblicano i dati raccolti durante la missione.

Il programma scientifico obbligatorio di ESA al momento in vigore è *Cosmic Vision* (2015-2035) che ha rimpiazzato i programmi *Horizon 2000* (1986-2005) e *Horizon 2000+* (2006-2015). Gli obiettivi principali del programma sono definiti dalle seguenti domande: a) quali sono le condizioni per la formazione dei sistemi planetari e per l'emergere della vita?; b) come funziona il nostro sistema solare?; c) quali sono le leggi fondamentali dell'Universo?; d) come si è originato l'Universo e quali sono i suoi costituenti principali?. Il programma prevede, al momento, tre missioni di classe L (*Large*), 6 missioni di classe M (*Medium*), una missione di classe S (*Small*), una missione di classe F (*Fast*) e diverse collaborazioni bilaterali con altre agenzie nazionali (l'agenzia spaziale americana-NASA, l'agenzia spaziale giapponese-JAXA, l'agenzia spaziale cinese-CNSA, russa-Roscosmos, etc.).

Grazie alla stretta collaborazione e sostegno dell'ASI, la comunità scientifica nazionale oggi detiene un indiscusso primato di partecipazione alle prossime missioni del programma obbligatorio dell'ESA. In quasi tutte le missioni l'Italia ha ruoli significativi (si veda Tabella in Allegato), e in alcuni casi di assoluta leadership, frutto di una grande tradizione sia in campo cosmologico (e.g. Planck), che in quello di astrofisica delle alte energie (e.g. INTEGRAL) che in quello planetologico (e.g. Giotto, Cassini-Huygens, Rosetta).

La partecipazione attiva dell'Italia nei programmi ESA permette **il coinvolgimento sistematico dell'industria nazionale in programmi tecnologici di punta favorendo ricadute ad ampio raggio e a medio e lungo termine.**

Il piano dell'ESA prevede inoltre un programma scientifico opzionale, a cui i vari stati membri possono decidere di aderire. Attualmente, il più importante è EXOMARS, che ha come principale obiettivo la ricerca di tracce di vita su Marte, a cui l'Italia partecipa come uno dei principali attori e sostenitori.

- Programmi bilaterali con altre agenzie spaziali (NASA, JAXA, CNSA, Roscosmos, etc..)

Il secondo canale attraverso il quale l'Italia partecipa a missioni di esplorazione e osservazione dell'Universo è costituito dalle collaborazioni bilaterali che la nostra agenzia spaziale instaura con agenzie spaziali nazionali di altri Paesi. L'agenzia con cui abbiamo (e abbiamo avuto) il maggior numero di collaborazioni, anche di lunga data, è la NASA. Negli ultimi anni si è tuttavia registrato un incremento di richieste di collaborazione bilaterale da parte di altre importanti agenzie spaziali, in particolare l'agenzia spaziale giapponese JAXA, l'agenzia spaziale cinese CNSA, la neonata agenzia spaziale australiana. Tali richieste dimostrano quanto il nostro Paese sia ormai percepito come un partner affidabile e competente in ambito spaziale, con il quale investire in nuovi progetti comuni.

- Programmi nazionali

Il terzo canale di accesso dell'Italia ai programmi di osservazione ed esplorazione dell'Universo riguarda le missioni spaziali nazionali. Il nostro Paese è stato tra le prime grandi nazioni a sviluppare tecniche di osservazione dallo spazio dei raggi X e gamma, spinto in particolare dalla scuola di Giuseppe "Beppo" Occhialini, Bruno Rossi e Riccardo Giacconi, che ha avuto un impatto straordinario sull'astrofisica delle alte energie a livello mondiale. Il successivo sviluppo in Italia di questa branca dell'astrofisica ha portato all'ideazione, costruzione e messa in opera di missioni spaziali quali BeppoSAX (lanciato nel 1996), in collaborazione con l'agenzia spaziale olandese; ed AGILE (lanciato

nel 2007 e ancora operativo) di concezione, costruzione e operatività completamente italiana, che ha permesso ai ricercatori italiani di acquisire una posizione di leadership in molte missioni che sono state via via realizzate da altre agenzie spaziali (e.g. NASA, ESA) con un importante contributo dell'industria spaziale nazionale.

- Palloni e piattaforme stratosferiche

Per finire, l'Italia vanta una forte tradizione nel settore dei palloni stratosferici per osservazioni astrofisiche, astro-particellari e cosmologiche. Fino al 2010 è rimasta operativa la Base di Lancio Palloni Stratosferici di Trapani-Milo dell'ASI (oggi non più operativa), in grado di sostenere voli convenzionali nel campo dell'astrofisica X, Gamma, infrarossa, millimetrica. Di grande interesse per la comunità italiana sono i voli di lunga durata (fino a un mese), che sfruttano traiettorie circumpolari, come quelli realizzati dalla base antartica di Mc Murdo per l'esperimento Boomerang, che ha ottenuto risultati fondamentali per la cosmologia. Le osservazioni dalla stratosfera sono tuttora di grande attualità in quanto, oltre a conseguire risultati scientifici competitivi, risultano preziose per verificare tecnologie in ambiente estremo per successivi impieghi spaziali. Di notevole interesse è la possibilità di utilizzare piattaforme stratosferiche di nuova concezione (HAP, *high altitude platforms*), operanti per lunghi periodi intorno ai 18-20km, al fine di ottenere precisi obiettivi scientifici, come ad esempio l'osservazione dell'universo primordiale nelle microonde.

I progetti “spaziali” con coinvolgimento nazionale

La durata dei progetti spaziali – dall'emissione dell'*Announcement of Opportunity*, allo sviluppo degli strumenti, al lancio e successive fasi orbitali, all'analisi e sfruttamento scientifico dei dati – è tipicamente più che decennale (circa 30 anni per una missione medio-grande come e.g. Planck). Di conseguenza, in questo momento, vi sono alcune missioni operative da tempo, altre nel pieno del loro sviluppo prima del lancio, altre ancora nelle prime fasi di progettazione. Nell' Appendice riportiamo, in forma tabulare, le principali missioni/esperimenti spaziali che hanno visto, o che prevedono, un contributo nazionale di livello. Ne emerge un quadro di grande fermento, con potenzialità di “leadership” a livello internazionale in pressoché tutti i principali campi di ricerca spaziale. E' essenziale assicurare il supporto necessario per mantenere tale posizione privilegiata negli anni a venire, supporto particolarmente critico in questo momento in quanto è ora in discussione il nuovo piano obbligatorio dell'ESA, *Voyage (2035-2060)*.

Attività di supporto

Space Science Data Center (SSDC). Il centro SSDC è una grande infrastruttura di ricerca istituita nel 2000 dall'ASI dedicata alla gestione Multi-Banda e Multi-Missione degli archivi dati scientifici delle missioni spaziali astronomiche dedicate all'Osservazione e all'Esplorazione dell'Universo di interesse nazionale. L'INAF è l'ente maggiormente coinvolto nella co-gestione del centro, con un importante contributo anche da INFN. Le attività che vengono svolte presso SSDC sono rivolte al supporto nella gestione dei dati scientifici delle missioni spaziali, alla realizzazione del software per lo sfruttamento scientifico di tali missioni durante la loro vita operativa ed infine al mantenimento degli archivi scientifici delle missioni ben oltre il termine della loro vita operativa per il successivo sfruttamento dei dati. Il centro dati SSDC fornisce inoltre servizi software per *data fusion* con dati di archivio e l'analisi scientifica multi-frequenza e multi-messaggero. Fra le varie missioni supportate da SSDC vi sono i satelliti operativi AGILE, Swift, Fermi, NuSTAR, GAIA, AMS, CSES-1, missioni concluse, ma ancora attuali, quali BeppoSAX, Rosat, Herschel, Planck, PAMELA, etc. e missioni per l'esplorazione dei pianeti del Sistema Solare. Numerose sono anche le missioni future in cui SSDC è coinvolto, e.g. Euclid, IXPE, Plato e CHEOPS.

Sardinia Radio Telescope (SRT). Fra le grandi infrastrutture astronomiche da terra, esistono una serie di asset nazionali con grandi potenzialità anche in campo spaziale, fra i quali i radiotelescopi nazionali della rete VLBI a Bologna e Noto, e il grande radio telescopio della Sardegna SRT che l'INAF, in collaborazione con l'ASI, con la Difesa, e con alcuni Atenei, sta equipaggiando per attività di *Deep Space Network* (DSN) e di *Space Surveillance and Tracking* (SST).

Programmi congiunti spazio-terra. In alcuni casi programmi di osservazioni spaziali (es. Euclid) o da pallone stratosferico (es. LSPE) prevedono come parte integrante della missione che alcune delle osservazioni vengano effettuate da terra, allo scopo di ridurre i costi globali. I costi di queste attività di supporto risultano tipicamente dell'ordine del 10-20% del costo totale della missione e consentono un risparmio globale notevole.

Conclusioni e proposta per il mantenimento della posizione di leadership

I dati riportati in Appendice dimostrano chiaramente la posizione di autorevolezza a livello internazionale della comunità scientifica italiana nel campo dell'esplorazione ed osservazione dell'Universo dallo spazio. Risulta ora essenziale assicurare il necessario sostegno alle attività scientifiche del settore per mantenere e, auspicabilmente, migliorare il ritorno degli investimenti effettuati ogni anno dall'Italia (e.g. attraverso il contributo obbligatorio all'ESA). Tale ritorno è da considerare secondo due coordinate, entrambe essenziali al successo del Programma Nazionale:

- a) Ritorno scientifico: continuare a garantire il perseguimento dei brillanti risultati sin qui ottenuti nel campo dell'astrofisica spaziale;
- b) Ritorno economico: assicurare il giusto ritorno dell'investimento pubblico a livello industriale e dell'indotto del settore spazio.

A tal fine proponiamo di seguito la valutazione delle necessità di risorse finanziarie annuali per l'astrofisica spaziale, suddivisa secondo le sue principali componenti.

A. Costo stimato strumenti italiani (compresi contratti industriali) sulle missioni legate ai programmi scientifici dell'ESA.

Il budget ESA per i programmi scientifici (obbligatori) è di 508 M€/anno, che viene sostanzialmente utilizzato per pagare il management, la realizzazione dello *spacecraft*, il lancio e le operazioni. L'Italia contribuisce a questo budget con una quota parte del 13% (circa 66 M€/anno). Questo budget non include la realizzazione degli strumenti (payload), che sono contributo diretto degli stati membri, il cui costo è stimato essere il ~40% della quota ESA (cioè circa 203 M€/anno). E' la partecipazione a questa componente che assicura il ritorno scientifico e tecnologico avanzato sia alla comunità scientifica che alle industrie nazionali. **La mancata partecipazione allo sviluppo degli strumenti equivarrebbe a pagare lancio e operazioni per il solo beneficio di altre nazioni.** La minima quota parte necessaria per garantire tale ritorno all'Italia deve essere sostanzialmente simile alla stessa quota parte del budget ESA, e quindi il 13% del budget dedicato alla realizzazione del payload, ovvero circa 27 M€/anno. Questa stima è congruente con gli impegni delle partecipazioni italiane alle missioni del ESA Cosmic Vision. Gran parte di queste missioni saranno in fase di implementazione nel prossimo decennio ed è quindi cruciale che ricevano puntualmente il sostegno finanziario previsto.

B. Costo stimato analisi dati prodotti da tali strumenti.

L'altra componente necessaria per garantire il ritorno scientifico sulle missioni ESA è il supporto all'analisi dati delle componenti italiane. Questa voce si distingue tipicamente in una parte legata alle

calibrazioni dello strumento e allo sfruttamento del tempo garantito (B1), ed una dedicata alla comunità di riferimento *at large* (B2). La parte di supporto allo strumento è tipicamente il 10% del costo dello strumento (3 anni di supporto in fase operativa per missioni *Medium* e 5 per missioni *Large*) al punto A, e quindi 2.7 M€/anno; mentre il supporto alla comunità *at large* dipende dalle aree tematiche ma si attesta in media sul 10% del contributo Italiano (2.7 M€/anno).

C. Costo stimato dello sviluppo tecnologico per la realizzazione degli strumenti di cui alla lett. A (compresi contratti industriali).

Il supporto alla Ricerca e Sviluppo (R&D) della tecnologia legata alle missioni al punto A è indispensabile per rendere la strumentazione italiana competitiva in termini di prestazioni scientifiche e sostenere le fasi di consolidamento della *readiness* tecnologica richieste da ESA. Mantenere un alto profilo di sviluppo tecnologico è indispensabile per dare prospettiva al livello competitivo attualmente raggiunto dalla comunità italiana. Tale attività copre tipicamente il 15% del costo dello strumento al punto A (4.0 M€/anno).

D. Costo degli studi teorici per la preparazione dell'analisi dati di cui alla lett. B;

In modo analogo, la competitività italiana nello sfruttamento dei dati richiede un supporto agli studi teorici, stimato in circa il 2% del costo degli strumenti al punto A (0.5Me/anno). Si noti che la stima dei costi per il supporto dell'analisi dati della comunità *at large* (B2), sviluppi tecnologici (C) e teoria (totale 7.0 M€/anno) è congruente con il budget dei contratti dedicati da ASI nel periodo 2007-2010 agli studi di astrofisica delle alte energie, esplorazione sistema solare, e cosmologia e fisica fondamentale, per coprire sostanzialmente le stesse voci (circa 7.5 M€/anno). **Tali studi sono stati fondamentali per permettere alla comunità scientifica, e alle industrie italiane collegate, di conquistare ruoli di leadership in essenzialmente tutte le missioni del *Cosmic Vision* di ESA.** Il loro proseguimento è strategico per mantenere e consolidare tali posizioni, assicurare quella flessibilità d'intervento essenziale per reagire nei tempi richiesti alle inevitabili variabilità del contesto internazionale e per competere con efficacia alle *call* del nuovo piano obbligatorio ESA in discussione, *Voyage* (2035-2060).

E. Costo stimato di strumenti per missioni bilaterali (e.g. NASA, JAXA, CNSA) o nazionali (i.e. tipo BeppoSAX, AGILE), compresi contratti industriali.

Il ruolo di leadership dell'Italia nell'astrofisica spaziale è stato ottenuto anche grazie alla capacità autonoma di realizzare missioni utilizzando le sole risorse scientifiche ed industriali del sistema Italia. Esempi fulgidi sono missioni come BeppoSAX o AGILE. E' pertanto strategico mantenere questa capacità, opportunamente adattata all'attuale panorama internazionale nel quale le iniziative nazionali o bilaterali si devono focalizzare su piccole missioni. Il tipico budget di una tale missione si attesta sui 150 M€, di cui la metà da sostenere in Italia. Realisticamente si può prevedere la realizzazione di una piccola missione ogni 10 anni, avendo ipotizzato 1 anno per consolidare un quadro di partnership, 1 anno per la selezione, 2+2+4 anni per assessment, definizione, implementazione. In definitiva si identifica un budget di 7.5 M€/anno.

Il contributo di strumenti italiani a missioni di altre agenzie (e.g. NASA, CNSA) è egualmente cruciale, come testimoniano ad esempio il grande successo dei satelliti SWIFT per l'astrofisica delle alte energie o Cassini-Huygens per l'esplorazione del Sistema Solare. Prendendo come riferimento il programma Explorer della NASA il budget delle *Small e Medium Missions*, si attesta rispettivamente sui 150M\$ e

250M\$, con un tetto massimo per contributi internazionali di circa il 20% del budget, quindi rispettivamente 30M\$ e 50M\$. Ipotizzando un paio di collaborazioni su un tempo scala di 10 anni con un contributo nazionale di circa 30M€ per collaborazione, si arriva a 6M€/anno.

I lanci di palloni stratosferici hanno costi che variano notevolmente a seconda della massa del payload, della durata, del sito, della stagione, nonché dell'operatore del lancio. L'Italia, dallo smantellamento della base di Milo-Trapani, manca di una struttura per lanci da pallone e deve affidarsi a operatori esterni. Un lancio circumpolare ha un costo che si aggira intorno ai 3M€. Assumendo di effettuare in media un lancio ogni 2 anni (includendo eventuali i costi di osservazioni complementari da terra, come nel caso di LSPE) il budget stimato è di 1.5M€/anno.

F: Attività di supporto

Space Science Data Center (SSDC). Per lo svolgimento delle attività tecnico-scientifiche INAF ed INFN sono coinvolti nella gestione del centro tramite specifici Contratti di Ricerca e in seguito con Accordi Attuativi specifici, il cui budget è stimato intorno ad 2.5M€/anno

Contributo alla gestione di SRT: Nel novembre 2007 l'INAF e l'ASI hanno sottoscritto un accordo (tuttora in corso) per la realizzazione e la gestione del Sardinia Radio Telescope (SRT). Oggetto dell'accordo (art. 1) è "(...) il completamento della costruzione, la messa in opera, la gestione operativa, la manutenzione, l'utilizzazione e la valorizzazione del Telescopio SRT come infrastruttura di primario interesse per INAF e come infrastruttura per telecomunicazione interplanetaria, sperimentazione, prestazione di servizi di primario interesse per l'ASI". Il contributo finanziario alla gestione operativa del radiotelescopio (ora in fase operativa) da parte dell'ASI è stimato in 1 M€/anno.

Budget annuale necessario per Astrofisica, Cosmologia. Fisica Fondamentale e Fisica del Sistema Solare dallo Spazio

A. Payload ESA (strumenti)	27.0 M€
B. Analisi dati prodotti da tali strumenti (operazioni, calibrazioni, analisi dati comunità, etc..)	5.4 M€
C. Sviluppo tecnologico strumentazione	4.0 M€
D. Studi teorici per individuazione osservabili	0.5 M€
E. Missioni nazionali e/o bilaterali (compresi palloni stratosferici)	15.0 M€
F. Attività di supporto (SSDC + SRT)	3.5M€
TOTALE	55.4 M€

Innovazione tecnologica, ricadute economiche e... qualità della vita.

La necessità di ottenere prestazioni estreme, tipica dei progetti scientifici spaziali, è spesso fonte di innovazioni tecnologiche di grande portata, con ricadute (a volte inaspettate) a supporto dello sviluppo di diverse aree strategiche quali la salute, la fisica dei materiali, le telecomunicazioni, il monitoraggio dell'ambiente terrestre e dei cambiamenti climatici, lo sviluppo di futuri sistemi di mobilità, le nuove

frontiere in campo energetico, la sicurezza. **La conoscenza delle leggi fondamentali che regolano il nostro universo resta ovviamente il primo obiettivo delle imprese spaziali in campo astrofisico, ma tali ricerche storicamente hanno dimostrato di essere una fonte formidabile di innovazione tecnologiche con enormi impatti industriali e sociali.** In questo processo gli Istituti di Ricerca e le Università Italiane giocano un ruolo di primo piano nello sviluppo e nella armonizzazione delle tecnologie a livello Europeo (*European Space Technology Master Plan, ESA, 2018, p. 24-32*).

Accenniamo qui solo alcuni tra i numerosissimi esempi che si potrebbero fare per corroborare quanto detto sopra: il protocollo WEB, il WIFI, la PET (*positron emission tomography*), la RMN (risonanza magnetica nucleare), etc... (si veda <https://www.iau.org/static/archives/announcements/pdf/ann19022a.pdf>).

Come esempio di applicazioni hardware, si pensi al caso delle tecnologie del millimetrico e sub-millimetrico, le quali hanno portato ad applicazioni cruciali nel medical imaging, nel remote sensing per l'ambiente, nel campo della sicurezza delle biotecnologie, nella sicurezza, nell'ispezione e controllo qualità di materiali, oltre che naturalmente nelle telecomunicazioni (si veda e.g. *ESA Technology for Passive Millimetre and Submillimetre wave Instruments, Ref. TEC-EEA/2009.514/PDM*).

Come esempio di ricaduta inaspettata di attività spaziali menzioniamo il codice di analisi dati sviluppato per la correzione delle ottiche del telescopio spaziale Hubble, il quale è stato recentemente usato per l'analisi di immagini mammografiche, rivelando l'insorgere di cellule tumorali con un dettaglio ed una nitidezza mai raggiunti prima, consentendo una diagnostica più rapida ed efficace

(si veda <https://www.nasa.gov/feature/goddard/image-processing-techniques-detect-cancer-earlier>)

È quindi chiaro che l'astrofisica spaziale riveste oggi un ruolo strategico a livello internazionale di valore incommensurabile. Con l'Astrofisica sviluppiamo nuove tecnologie che possono trovare applicazioni nella vita di tutti i giorni (si veda e.g. la brochure "INAF e la tecnologia" reperibile al seguente link <http://www.inaf.it/it/brochure-2018-19/IMPAGINATO-tecnologie-20181201.pdf>, o la brochure INFN <http://home.infn.it/it/brochure>), e che quindi rivestono un valore commerciale potenzialmente immenso. Gli Enti di Ricerca e le Università italiane ne sono consapevoli. INAFed INFN, in particolare, progettano e utilizzano ogni giorno gli strumenti più all'avanguardia, e hanno sempre considerato lo sviluppo di tecnologie innovative un tema di assoluta priorità. A tal fine si sono dotate negli anni di uffici preposti all'innovazione e al successivo trasferimento tecnologico (e.g. <http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/direzione-scientifica/relazioni-industriali>;

<https://web.infn.it/TechTransfer/index.php/it/>) verso aziende nazionali già esistenti sul mercato. I gruppi impegnati nella ricerca spaziale hanno supportato la nascita di *start-up* ad alto contenuto tecnologico che valorizzano l'alta formazione e il Dottorato di Ricerca, favorendo così ricadute economiche ad ampio raggio e a medio e lungo termine.

APPENDICE

di

Astrofisica, Cosmologia, Fisica Fondamentale e Fisica del Sistema Solare dallo Spazio: il contributo nazionale

a cura di Roberto Della Ceca (INAF), Marco Bersanelli (Universita' di Milano) e Mauro Messerotti (INAF)

MISSIONI IN FASE POST-OPERATIVA

Missione	Lancio (fine fase crociera)	Fine fase Operativa (fine fase post-operat. o estensione)	Area Scient.	Ente/ Programma	Strumento/ esperimento /attività a Piship nazionale	Target scientifico / NOTE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Cassini- Huygens/ Orbiter + Lander	10/1997 (07/2004)	09/2017	FSS	NASA+ESA +ASI	ASI ha fornito antenna e quattro strumenti (un paio a guida di istituti confluiti nell'INAF).	Pianeta Saturno + atterraggio su Titano del lander Huygens
BOOM- RanG	1998	2015	AC	ASI	Collaborazione internazionale in cui l'Italia ha ruolo primario. A guida UniRoma "Sapienza"	Serie di palloni stratosferici per lo studio del fondo cosmico nelle microonde.
Rosetta/ Orbiter + Lander (SSDC)	03/2004 (08/2014)	09/2016 (12/2019)	FSS	ESA/ Missione "Cornestone" programma Horizon2000	Quattro strumenti italiani: a guida (INAF, UNI/ Napoli, UNI/ Padova, Politecnico Milano)	Cometa 67P/ Churyumov- Gerasimenko. + atterraggio su cometa.
Venus - Express	11/2005 (04/2006)	12/2014 (06/2016)	FSS	ESA	Due strumenti a guida INAF + importante partecipazione INAF ad un terzo strumento.	Prima missione ESA al pianeta Venere
Pamela (SSDC)	06/2006	2016	FF	ASI/ Programma RIM(Russian - Italian- Missions)	L'INFN ha fornito lo strumento PAMELA installato a bordo del satellite russo RESURS DK1	Studio dei raggi cosmici, di materia "esotica" e di antinuclei.
Herschel (SSDC)	05/2009	06/2013 (12/2017)	AC	ESA/ Missione "Cornestone" programma Horizon2000	Ricercatori/tecnologi INAF sono stati parte dei consorzi dei tre strumenti di piano focale a seguito di contributi tecnologici e scientifici di rilievo.	Primo oss. spaziale ESA per osserv. nel submillimetrico e nel lontano infrarosso (70- 500 μm).
Planck (SSDC)	05/2009	10/2013 (12/2017)	AC	ESA/	Uno strumento a guida INAF. INAF ha	Osservazione ad alta precisione

				Missione “Cornestone” programma Horizon2000	inoltre avuto la responsabilità di uno dei centri di analisi dati. Contributi fondamentali anche da Università di Milano, Roma (“la Sapienza”, Tor Vergata), Padova, Ferrara, e la SISSA	del fondo cosmico di microonde, che ha un ruolo unico nella cosmologia e nella fisica fondamentale. Parametri cosmologici, proprietà dei neutrini, dark matter, lensing gravitazionale, effetto SZ, astrofisica galattica ed extragalattica.
DAWN (SSDC)	11/2007 (03/2015)	12/2018 (06/2020)	FSS	NASA/ programma Discovery	Uno strumento a guida INAF. Partecipazione al team scientifico e al segmento da terra.	Studio degli asteroidi Vesta e Cerere
LISA Path- Finder	12/2015	06/2017	FF	ESA/ Precursore tecnologico missione LISA	Missione a guida italiana (Università di Trento). Contributo importante anche da INFN.	Verificare la possibilità di rivelare onde gravitazionali dallo spazio.
Olimpo (SSDC)	07/2018	07/2018	AC	ASI	Programma italiano a guida UniRoma “La Sapienza”.	Missione lunga durata su pallone stratosferico per studio effetto SZ in ammassi di galassie e fondo cosmico diffuso.

MISSIONI IN FASE OPERATIVA

Missione	Lancio (fine fase crociera)	Fine Fase operativa (Fine Fase post-oper. o possibile estens.)	Area Scient.	Ente/ Programma	Strumento/ esperimento /attività a PIsip nazionale	Target scientifico / NOTE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
HST	1990	12/2019 (n.d.)	AC	NASA + ESA/ Programma Flagship- class missions	Contributi scientifici importanti di numerosi scienziati italiani (da istituti pre-INAF ed Università).	Osservazione e studio dell’Universo nella banda ottica/vicino infrarosso

Chandra (SSDC)	07/1999	12/2019 (n.d.)	AE	NASA/ Programma Flagship-class missions	Contributo importante di scienziati italiani (INAF, Uni) durante gli anni + attiv.INAF per filtri.	Osservazione e studio dell'Universo alle energie X (0.5-10 keV).
XMM-Newton	12/1999	12/2020 (12/2022)	AE	ESA/ Missione "cornerston" programma Horizon2000	Contributo INAF determinante nella costruzione camere EPIC e fabbricazione degli specchi X.	Osservazione e studio dell'Universo alle energie X (0.5-10 keV).
Integral	10/2002	12/2019 (12/2021)	AE	ESA/ Missione programma Horizon2000	Uno strumento a guida INAF + diversi altri contributi nazionali di rilievo.	Osservazione e studio dell'Universo ad energie X- γ (10keV-10MeV)
Mars-Express (SSDC)	06/2003 (12/2003)	12/2020 (12/2022)	FSS	ESA/ Missione programma New Horizon	Cinque strumenti a rilevante partecip. italiana, di cui due a guida INAF.	Prima missione ESA al Pianeta Rosso.
SWIFT (SSDC)	11/2004	12/2020 (12/2022)	AE	NASA+ASI +UK/ Miss. classe MIDEX NASA ASI fornisce l'utilizzo della stazione di Malindi.	INAF ha fornito le ottiche X, il supporto alla loro integrazione e calibrazione, ha contribuito al software di analisi dati ed ha garantito una partecipazione qualificata al team scientifico.	Osservatorio multi-banda per localizzazione e studio γ -Ray Burst e per astrofisica di sorgenti transienti in generale.
MRO (SSDC)	08/2005 (02/2006)	12/2020 (12/2022)	FSS	NASA +ASI	Uno strumento a guida italiana (Univ. La Sapienza, Roma)	Esplorazione di Marte
AGILE (SSDC)	04/2007	12/2019 (12/2020)	AE	ASI/ AGILE nasce nel 1997 in seguito a un bando ASI per piccole missioni scientifiche.	Missione completam. italiana sotto egida ASI. A guida INAF con contributi da INFN, Università (Trieste, Roma Tor Vergata e Sapienza) e diverse industrie nazionali di settore.	Osservazione e studio dell'Universo ad energie X duri e γ (20 keV- 30GeV).
Fermi (SSDC)	06/2008	12/2019 n.d.	AE	NASA + importanti contributi da Italia, Giappone, Germania, Francia e Svezia	INFN ha partecipato alla costruzione del Tracker e contribuito al software di analisi dati. INAF contribuisce ad interpretazione astrofisica dei dati.	Osservazione e studio dell'Universo ad energie γ (30MeV- 300GeV).
AMS02 (SSDC)	05/2011	2024	FF	NASA + ASI/ Esperimento a bordo della Staz.Spaziale Internazion. (ISS).	L'Italia è primo contributore (25% del totale) ASI e INFN sono responsabili della realizzazione dei principali strumenti.	Studiare i raggi cosmici in cerca di tracce di antimateria e materia oscura.

JUNO (SSDC in corso definiz.)	08/2011 (07/2016)	06/2021 (06/2023)	FSS	NASA + ASI 2 ^d missione programma NewFrontiers	Due strumenti: uno a guida INAF ed uno a guida Università di Roma, La Sapienza.	Studio di Giove
NuStar (SSDC)	08/2011	12/2019 n.d.	AE	NASA + ASI Programma Small Explorers	Base Malindi (ASI) per le comunicazioni col satellite. Software per la riduzione dati, calibrazione strumen. e studio del fondo strumentale/ cosmico (ASI ed INAF).	Osservazione e studio dell'Universo ad alte energie X (7 keV- 70keV).
LARES	02/2012	n.d.	FF	ASI	Missione interamente nazionale a guida Università del Salento.	Misura effetto di trascinamento dei sistemi inerziali, generato da corpi massivi rotanti, previsto da Relat. Generale.
GAIA (SSDC)	12/2013	12/2020 06/2024)	AC	ESA/ programma Horizon2000	INAF contribuisce alla gestione del Data Processing Center (DPAC) e alla realizzazione delle pipeline di analisi e calibrazione dei dati. In Italia di uno dei sei DPAC.	Misurare le proprietà astrometriche (pos. angolari, distanze e vel.) e spettro-fotometriche di $\approx 1,5$ Miliardi di oggetti.
Hayabusa2	12/2014 (06/2018)	2020	FSS	JAXA	Importante partecipazione di INAF all'analisi e sfruttamento scientifico dei dati.	Sonda automatica. Raggiungere l'asteroide 162173 Ryugu e prelevare dei campioni da riportare a Terra.
CALET (SSDC)	08/2015	08/2020	FF	JAXA+ ASI+NASA/ Esperimento a bordo della Staz. Spaziale Internazion.	Univ. Siena capofila collab. italiana, che coinvolge Università Pisa, Firenze, Padova Tor Vergata e CNR (IFAC).	Ricerca e studio di materia oscura, spettri dei nuclei di origine cosmica fino alle alte energie.
DAMPE (SSDC)	12/2015	2021	FF	CAS (CINA)	Disegno, realizzazione e verifica rivelatore di tracce al silicio. Verifiche di funzionamento dell'intero apparato (INFN, Università: Perugia, Bari, Lecce).	Studiare con grande precisione la direzione di arrivo dei raggi cosmici di alta energia e le specie nucleari che li compongono. Ricerca di dark matter.
OSIRIS-REX	11/2016	12/2023 (12/2025)	FSS	NASA/ programma New Frontiers	Sostegno scientifico di INAF a sviluppo della strumentazione e interpret. dei dati.	Riportare a Terra frammento asteroide Bennu 1999RQ36

EXO-MARS 2016 Orbiter + lander (SSDC)	03/2016 (10/2016)	12/2022 (12/2024)	FSS	ESA + Roscosmos/ Programma opzionale ESA	Italia principale contributore (oltre il 30% del programma) Quattro strumenti: tre a guida INAF, uno a guida Uni.Padova. INAF Co-PI di altri due strumenti.	Studio di Marte e dei suoi satelliti. Ricerca di forme di vita su Marte.
CSES-01 Limadou (SSDC)	02/2018	02/2023	FSS	CAS (CINA)	Realizzazione di un rivelatore particelle energetiche e collaborazione negli altri strumenti. Cooperazione nazionale tra INFN (capofila italiana), INAF, INGV, IFAC/CNR, Univ. Tor Vergata, Bologna, Perugia, Trento, UniNettuno.	Studio di fenomeni di tipo elettromagnetico, ionosferico e magnetosferico che si pensa si possano associare ai terremoti.
Bepi-Colombo (SSDC in corso di definiz.)	10/2018 (10/2025)	12/2026 (12/2027)	FSS	ESA+ JAXA Missione cornerstone programma Horizon2000+	Contributo italiano significativo: quattro strumenti (tre a guida INAF e uno a guida Univ. La Sapienza)	Studio pianeta Mercurio + validare previsioni Relat. Generale

MISSIONI IN PREPARAZIONE

Missione	Lancio previsto (fine fase crociera)	Fine fase Operativa (fine fase post-operat. o estensione)	Area Scient.	Ente/ Programma	Strumento/ esperimento /attività a PIship nazionale	Target scientifico / NOTE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
CHEOPS (SSDC)	10/2019	12/2022 (12/2024)	ExPla	ESA/ 1 ^a missione classe S programma Cosmic Vision	Fornitura del telescopio ideato e progettato da INAF. Rilevante partecipazione INAF alle attiv. scientifiche.	Follow-up di stelle con pianeti già noti per misurare i transiti con fotometria ad alta precisione.
Solar Orbiter	02/2020 (12/2021)	02/2026 (12/2030)	FSS	ESA/ 1 ^a missione Classe M programma Cosmic Vision	Uno strumento a guida INAF + altro strumento a co-guida INAF	Studio del Sole, dei poli solari e dello spazio immediatamente circostante.
Exomars - 2020	06/2020 (12/2020)	12/2021 (12/2023)	FSS	ESA + Roscosmos Programma opzionale ESA	Italia principale contributore (oltre il 30% del programma). Due	Studio di Marte e dei suoi satelliti. Ricerca di forme di vita su Marte

					strumenti a guida INAF. Il DRILL, elemento caratterizzante della missione, è sviluppato e costruito in Italia. (responsabile Politecnico Milano)	
Proba3	12/2020	12/2022 (12/2023)	FSS	ESA/ 1 ^a missione dimostrativa ESA delle tecnologie per formazione in volo di satelliti	L'INAF è capofila del contributo italiano: sistema di sensori per metrologia in volo e filtri alta risoluzione.	Il "payload" scientifico è un coronografo solare.
LARES2	2020	n.d.	FF	ASI	Missione interamente nazionale a guida Università del Salento.	Misura effetto di trascinamento dei sistemi inerziali, generato da corpi massivi rotanti, previsto da Relat. Generale.
IXPE (SSDC)	04/2021	04/2023 (12/2024)	AE	NASA+ ASI Missione classe SMEX della NASA	INAF e INFN guidano la partecipazione italiana. Principale contributo: realizzazione e calibrazione dei rivelatori sensibili alla posizione	Studio sorgenti celesti mediante l'uso della polarimetria in banda X.
Euclid (SSDC)	06/2022	06/2027 (06/2029)	AC	ESA/ 2 ^a missione classe M programma Cosmic Vision	INAF guida il coordinamento del segmento di terra della missione, che avrà il compito di analizzare la gran mole di dati provenienti del satellite e fornire i prodotti finali pronti per lo sfruttamento scientifico.	Mappatura accurata di un vasto campione di galassie. Studio di Energia Oscura, Materia Oscura e possibili deviazioni dalla Relativ. Generale
CSES-02 (SSDC in corso definiz.)	2021	2026	FSS	CAS (CINA)/	Realizzazione di due strumenti, uno a guida INAF ed uno a guida INFN.	Studio di fenomeni di tipo elettromagnetico, ionosferico e magnetosferico che si pensa si possano associare ai terremoti.
JUICE	06/2022 (06/2030)	12/2033 (12/2035)	FSS	ESA/	4 strumenti a guida o co-guida italiana	Studiare il sistema Giove e, in

(SSDC in corso definiz.)				1 ^a missione classe L program. Cosmic Vision	(INAF, Univ.Parthenope, La Sapienza, Trento)	particolare, le tre maggiori lune ghiacciate (Europa, Ganimede e Callisto).
JWST (SSDC)	2022	12/2029 (12/2030)	AC	NASA + ESA+ CSA (Canada)	Contributi scientifici fondamentali di scienziati italiani (INAF ed Univ.).	Osservazione e studio Universo nel medio e vicino infrarosso (da 0.6 a 28 μ m).
Plato (SSDC)	10/2026	10/2030 (12/2034)	ExPla	ESA/ 3 ^a missione classe M programma Cosmic Vision	INAF ha progettato i telescopi e contribuisce in maniera rilevante alle attività di preparazione scientifica e a quelle concernenti il segmento di terra	Definire un catalogo di pianeti extrasolari con massa, dimensione ed età misurate con grande precisione, compresi pianeti di tipo terrestre in orbita nelle regioni abitabili delle stelle di tipo solare.
LSPE (SSDC)	2021	2023	AC	ASI/	Due strumenti complementari a guida Italiana (Univ. La Sapienza, Univ. Milano Statale). Sono coinvolte INAF, INFN, CNR, Univ.: Milano-Bicocca, SISSA, Padova, Ferrara.	Missura su pallone stratosferico combinata a telescopio ground-based. Misura ad alta sensibilità della polarizzazione della radiazione di fondo cosmico a microonde a grandi scale angolari.

MISSIONI IN FASE DI STUDIO

Missione	Lancio previsto (fine fase crociera)	Fine fase Operativa (fine fase post-operat. o estensione)	Area Scient.	Ente/ Programma	Strumento/ esperimento /attività a PIsip nazionale	Target scientifico / NOTE
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
HERD	2020	2025	AE	CAS(Cina)/ Esperim. a bordo della stazione spaziale cinese.	Importanti e rilevanti contributi europei coordinati dall'Italia con Uni. Perugia ed INFN in prima fila.	Studio dei raggi cosmici (spettro, composizione). Osserv. e studio cielo γ . Ricerca di materia oscura.
GAPS	2020-2021	n.d.		NASA	Interesse e della comunità nazionale (INFN, Università) a guida Uni. Trieste.	Esperimento da pallone per la ricerca di anti-deuterio, anti-protoni nei raggi

						cosmici. Ricerca di materia oscura.
DART	06/2021	10/2022	EFSS	NASA/ a bordo LICIACube, che si separerà dalla sonda per documentare effetti impatto.	Il Paese contribuisce con il cubesat LICIACube, a guida ASI con contributi INAF, PoliMI e Univ. Bologna	Sonda robotica per studiare l'effetto cinetico di impatto di un proiettile su un asteroide per motivi di difesa planetaria.
Sky-Hopper	2021-2022	n.d.	AC	Agenzia Spaziale Australiana/ + Diversi partner europei	Notevole interesse e partecipazione scientifica nazionale (a guida INAF) visto i target scientifici.	Piccolo telescopio infrarosso da mettere in orbita con un satellite della categoria CubeSat. Goal scient. principali: pianeti extrasolari, gal.ad alto-z, controparti di GW.
HERMES (SSDC in corso definiz.)	2022	n.d.	AE	ASI/ + Commiss. Europea	Collaboraz. internazionale a guida INAF. Oltre ad INAF: Uni.Cagliari, PoliMI, Univ.: Trieste, Udine, Ferrara, Napoli Fed. II.	Costellazione di nano-satelliti (per ora 6) equipaggiati con rivelatori X ad alta tecnologia di piccole dimensioni. Dedicata osservaz. Gamma Ray Burst, transienti e astrofisica "multi-messenger".
MMX	2024	2028	EFSS	JAXA/ Con contributi da NASA, ESA e CNES	Notevole interesse della comunità nazionale (con INAF capofila). Poss.utilizzo di SRT per comunicazioni	Sonda robotica con compito principale di riportare a Terra il primo campione roccioso di Phobos, la luna maggiore di Marte.
eXTP (SSDC in corso definiz.)	2025	2030	AE	CAS (cina)/ In discussion possibile contributo ESA alla missione.	Sviluppata fino ora da un consorzio di istituti cinesi ed europei (questi ultimi a guida INAF). Determinante contributo di INAF alla missione.	Osservazione dell'Universo ad energie X (0.5-30 keV), per lo studio di materia e fisica in condizioni estreme di densità e gravità
WFIRST	2025	2030	AC	NASA/ Definito contributo ESA alla missione.	Interesse della comunità nazionale con INAF in prima fila.	Osservazione e studio dell'Universo nella banda Ottica/infrarossa
SOLARC - EUVST	2025	2027	EFSS	JAXA/ + NASA + consorzio europeo.	Notevole interesse nazionale (hardware + supporto scient.) a guida INAF. Coinvolgimenti UniPD, CNR	Telescopio Solare UV. Selezionata dalla JAXA per fase A; l'eventuale selezione definitiva

				Possibile coinvolg. ESA se approvata.		avverrà a inizio 2020.
Comet - Interceptor	2026-2028	2031-2033		ESA/ 1 ^a missione classe F program. Cosmic Vision.	UnPhartenope Co-PI della missione. INAF Co-PI di due strumenti	Incontro ravvicin. con una cometa proveniente dal Sistema Solare più esterno o di un oggetto interstellare (tipo Oumuamua).
ARIEL (SSDC in corso definiz.)	04/2028	04/2032 (04/2034)	ExPla	ESA/ 4 ^a missione classe M programma Cosmic Vision	INAF co- guida la missione ed ha un ruolo scientifico di primo piano. Contributi da Uni. Firenze, Roma “La Sapienza” e IFN(CNR)	Studierà aspetti fondamentali sugli eso-pianeti (costituzione, formazione, evoluzione), misurando le propr. fisiche e chimiche delle loro atmosfere
LiteBIRD (SSDC in corso definiz.)	2028	2032	AC	JAXA/ In discussione contributi alla missione da ESA, NASA, CSA.	Notevole interesse e competenze della comunità cosmologica nazionale (Università, INFN, INAF) che vanta il successo della missione Planck.	Misura dei modi B di polarizzazione del fondo cosmico alle microonde al fine di validare i modelli di inflazione.
ATHENA (SSDC in corso definiz.)	06/2031	06/2035 (12/2037)	AE	ESA + NASA/ 2 ^a missione classe L programma Cosmic Vision	INAF co-guida lo sviluppo dello strumento principale. Notevole il contributo scientifico e l'interesse della comunità nazionale di riferimento (INAF, università, CNR e INFN)	Prossimo grande osservatorio per osservazione e studio Universo alle energie X (0.5-10 keV). Lo strumento principale aprirà una nuova finestra osservativa, la spettroscopia X ad altissima risoluzione spettrale con imaging
ESA-M5 (SSDC in corso definiz.)	2032	2037		ESA/ 5 ^a missione classe M programma Cosmic Vision. Selezione finale nel 2021	INAF guida la missione THESEUS ed ha un forte interesse e partecipazione in SPICA. Univ. Trento partecipa a EnVision	Tre missioni in competizione: SPICA (astronomia infrarossa), THESEUS (studio universo transiente) e EnVision (studio di Venere)
LISA (SSDC in corso definiz.)	2034	2039	AC	ESA/ 3 ^a missione classe L programma Cosmic Vision	Rilevante il contributo e l'interesse nazionale con Univ. Trento e INFN in prima fila	Primo osservatorio spaziale per onde gravitazionali.

ESA-M7	2035	2040		ESA/ 6 ^a missione classe M programma Cosmic Vision.	Come per le scorse call ci si aspetta un notevole interesse e partecipazione (con successo) della comunità nazionale.	ESA-M6 è stata cancellata da ESA per motivi di budget.
--------	------	------	--	---	--	---

Legenda:

- Colonna 1: Missione. Con la sigla SSDC in parentesi vengono indicate le missioni supportate in una qualche maniera dal centro Space Science Data Center (SSDC)
- Colonna 2: Data di lancio. In parentesi la fine della fase di crociera per le missioni di planetologia;
- Colonna 3: Fine fase operativa della missione. In parentesi la fine della fase post-operativa o possibile estensione fase operativa;
- Colonna 4: Area scientifica. AC=Astrofisica e Cosmologia –
 AE=Astrofisica delle Alte Energie –
 FSS= Fisica del Sistema Solare (Eliofisica, Planetologia, Space weather)
 ExPla = Pianeti Extra-Solari –
 FF= Fisica Fondamentale dallo Spazio;
- Colonna 5: Ente o Enti responsabili della missione ed eventuale programma scientifico;
- Colonna 6: Strumento e/o esperimento e/o attività a responsabilità nazionale.
- Colonna 7: Target scientifico principale ed eventuali note.