



**Dipartimento Strutture
Unità Organizzativa Programmazione**

**ANNESSO AL PIANO TRIENNALE
INAF 2009-2011
SCIENZA DI BASE**

MACROAREA 3.

SOLE E SISTEMA SOLARE

Coordinatori

S. Orsini, D. Spadaro, A. Cellino, F. Berrilli

Coordinamento dei singoli capitoli

Astrofisica Solare e Fisica Interplanetaria:

F. Berrilli, V. Carbone, M. F. Marcucci, D. Spadaro

I pianeti e i corpi minori del sistema solare e di altri sistemi stellari:

M. T. Capria, P. Cerroni, A. Cellino, C. B. Cosmovici, E. Dotto

Astrobiologia:

J. Brucato, Y. Keheyen



Indice

1. ASTROFISICA SOLARE E FISICA INTERPLANETARIA	4
1.1 Introduzione	4
1.2 Astrofisica solare.....	5
1.2.1 Interno del Sole e Dinamo Solare.....	5
1.2.2 Dinamica della fotosfera e cromosfera.....	7
1.2.3 Affioramento del flusso magnetico ed organizzazione sulla superficie del Sole.....	9
1.2.4 Riscaldamento dell'atmosfera solare esterna.....	10
1.2.5 Eventi coronali esplosivi e altri fenomeni legati al plasma	11
1.2.6 Variabilità solare	13
1.3 Fisica eliosferica e interplanetaria.....	13
1.3.1 Il vento solare: meccanismi di accelerazione, turbolenza e riscaldamento	13
1.3.2 Le interazioni fra il Sole e la Terra.....	16
1.3.3 Le interazioni fra il Sole e gli altri pianeti	19
1.3.4 I raggi cosmici nell'eliosfera.....	21
1.3.5 Partecipazione al programma "International Living With a Star" (ILWS)	24
1.4 Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future	25
1.4.1 Highlights.....	25
1.4.2 Tabella sintetica delle partecipazioni a progetti di ricerca	28
1.4.3 Tabella sintetica delle partecipazioni a strumenti a Terra	30
1.4.4 Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali in corso.....	35
1.4.5 Tabella sintetica delle partecipazioni a possibili missioni spaziali	37
2. I PIANETI E I CORPI MINORI DEL SISTEMA SOLARE E DI ALTRI SISTEMI STELLARI	40
2.1 Introduzione: la Planetologia italiana nella prima parte del XXI secolo	40
2.2 Progetti recenti ed attività in corso per lo studio dei pianeti e dei corpi minori.....	41
2.2.1 Modelli dell'origine ed evoluzione di pianeti, satelliti naturali e corpi minori	41
2.2.2 Pianeti interni e la Luna	41
2.2.3 I pianeti esterni	43
2.2.4 I corpi minori del Sistema Solare	44
2.2.5 I pianeti extrasolari. Bioastronomia: ricerca di vita primordiale e intelligente nei pianeti extrasolari	47
2.3 Sviluppi futuri delle ricerche planetologiche in Italia.....	49
2.3.1 Prosecuzione ricerche in corso.....	49



2.3.2	Pianeti interni e la Luna.....	49
2.3.3	I pianeti giganti.....	49
2.3.4	I Corpi Minori	50
2.4	Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future	50
2.4.1	Highlights.....	50
2.4.2	Tabella sintetica dei progetti di ricerca.....	52
2.4.3	Tabella sintetica delle missioni spaziali in corso	53
2.4.4	Tabella sintetica delle strutture osservative a Terra	54
2.4.5	Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali future	55
3.	ASTROBIOLOGIA	56
3.1	Introduzione	56
3.2	Lo scenario internazionale.....	57
3.2.1	Lo scenario negli USA.....	57
3.2.2	Lo scenario in Australia.....	57
3.2.3	Lo scenario Europeo	57
3.3	Ricerche in Italia	58
3.4	Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future	62
3.4.1	Highlights.....	62
3.4.2	Programmi di attività in corso nei prossimi 1-3 anni (ed eventualmente oltre) a livello internazionale.....	63
3.4.3	Tabella sintetica dei progetti di ricerca.....	64
3.4.4	Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali future	65



1. ASTROFISICA SOLARE E FISICA INTERPLANETARIA

1.1 Introduzione

L'obiettivo scientifico delle ricerche di fisica solare, interplanetaria e magnetosferica è la comprensione di quella varietà di fenomeni che rientra sotto la definizione di attività solare e della sua influenza sugli ambienti planetari. Questo campo di indagine, che esplora in dettaglio una ricca serie di processi fisici, importanti anche per il contesto astrofisico più generale, può essere globalmente identificato come lo studio della complessa interazione tra campo magnetico e plasma in un'ampia gamma di condizioni dinamiche.

Il Sole genera, all'interfaccia fra superficie solare e spazio interplanetario, due emissioni distinte:

- emissione elettromagnetica (l'irraggiamento del Sole),
- emissione di plasma (il vento solare)
- emissione particellare (particelle accelerate).

Il campo magnetico generato all'interno del Sole emerge e si organizza in fotosfera, modulando spazialmente e temporalmente l'irraggiamento elettromagnetico della nostra stella, permea tutta l'atmosfera solare, controllandone la struttura fisica e dinamica dalla cromosfera verso l'esterno. A sua volta, il vento solare si espande, trascinando il campo magnetico solare, nell'eliosfera e interagisce con la magnetosfera dei pianeti magnetizzati e perturba l'atmosfera dei pianeti non magnetizzati. In questo scenario, caratterizzato da una serie di ambienti fisici in cui la materia si trova prevalentemente nello stato di plasma, acquistano un ruolo fondamentale i processi che danno vita alla corona solare calda, variabile e ricca di eventi esplosivi, e alla sua espansione nello spazio interplanetario per formare il vento solare magnetizzato e l'eliosfera, all'interno della quale si trovano immersi sia la Terra che i corpi dell'intero Sistema Solare.

L'intera regione solare, che si estende dalla *tachocline*, interfaccia tra la zona convettiva ruotante differenzialmente e l'interno radiativo che ruota uniformemente, alla regione fotosferica, sede dell'*overshooting* convettivo, è coinvolta nei processi fisici che determinano il trasporto di energia e la generazione ed evoluzione del campo magnetico solare. Tali processi sono responsabili della continua ed intensa deposizione di energia a livello cromosferico e coronale e nella conseguente espansione del plasma coronale riscaldato, che fuoriesce dal campo gravitazionale della stella per formare l'eliosfera. La comprensione di tali processi, dalla generazione del campo magnetico al trasporto e alla dissipazione dell'energia in esso contenuta, costituisce tuttora la sfida per la fisica solare, eliosferica e magnetosferica, e implica l'adozione di un quadro unitario per descrivere il sistema atmosfera solare - eliosfera - ambienti planetari, e la sua variabilità.

Gli anni recenti sono stati caratterizzati da un notevole sviluppo delle conoscenze sul Sole e sull'eliosfera, grazie all'utilizzo di nuovi e più efficaci strumenti, sia a terra che dallo spazio. Inoltre, una serie di strumenti dedicati allo studio delle proprietà della ionosfera e della magnetosfera terrestri e delle loro variazioni ha permesso di correlare le alterazioni dell'ambiente circumterrestre, il cui impatto sulle attività umane può essere critico, con le perturbazioni interplanetarie indotte dai fenomeni più energetici dell'attività magnetica solare (brillamenti, protuberanze eruttive, coronal mass ejections), stimolando significativamente gli studi sulla fisica delle relazioni Sole-Terra e della "meteorologia spaziale" (Space Weather).

La comunità scientifica solare, interplanetaria e magnetosferica italiana è attivamente impegnata in questi campi di indagine, utilizzando regolarmente la strumentazione internazionale disponibile sia a terra che dallo spazio, e alla cui realizzazione ha contribuito in modo significativo.

Inoltre la comunità ha a disposizione una serie di infrastrutture osservative dislocate sul territorio nazionale e anche all'estero, costantemente utilizzate per l'osservazione sistematica del Sole lo studio delle relazioni Sole-Terra.



Sulla base dei più recenti risultati e sviluppi, è importante indicare i principali temi di ricerca che si ritiene importante sviluppare nel prossimo triennio, in aderenza con quanto è stato già ampiamente tracciato nel Piano a Lungo Termine e ribadito nei vari aggiornamenti del Piano Triennale dell'INAF, in modo da individuare più esplicitamente la “roadmap” delle attività della comunità scientifica eliofisica e magnetosferica.

Un punto cruciale è quello di contribuire a sviluppare e approfondire il quadro unitario di descrizione del sistema Sole-eliosfera-ambienti planetari, facendo leva su studi, complementari tra loro, che accrescano le informazioni dettagliate sui singoli segmenti nell'ambito di uno scenario unico.

Tale contributo si articolerà secondo le seguenti principali linee di ricerca, discusse sinteticamente nei capitoli successivi:

- interno del Sole e dinamo solare
- dinamica della fotosfera e cromosfera
- emersione ed organizzazione del flusso magnetico sulla superficie del Sole e sorgenti del flusso di materia ed energia verso la corona calda
- fenomeni determinati dalla variabilità solare
- meccanismi di trasporto di materia ed energia nell'atmosfera solare
- dissipazione energetica e riscaldamento dell'atmosfera solare esterna
- vento solare: sorgenti del vento veloce e lento ed espansione nello spazio interplanetario, meccanismi di riscaldamento ed accelerazione
- fenomeni turbolenti in corona e nello spazio interplanetario, processi dispersivi e dissipativi a piccola scala
- processi di trasporto e di accelerazione di particelle in presenza di turbolenza magnetica
- eventi coronali esplosivi e fenomeni di propagazione nel plasma coronale ed eliosferico
- interazioni con l'ambiente terrestre (magnetosfera e ionosfera)
- dinamica della magnetosfera sotto l'azione di diverse perturbazioni interplanetarie
- interazioni con gli altri ambienti planetari

Significativi risultati potranno essere raggiunti in questi campi mediante la combinazione di osservazioni effettuate con strumentazione innovativa, sia spaziale (remote sensing e in situ) che a terra, ad alta risoluzione spaziale, spettrale e temporale e con elevata accuratezza polarimetrica, progettata e realizzata a livello sovranazionale. Ciò è chiaramente espresso nei due recenti documenti “A Science Vision for European Astronomy” e “Infrastructure Roadmap” elaborati dall'organizzazione europea ASTRONET. Inoltre, lo sviluppo parallelo dell'elaborazione teorica e l'ausilio di simulazioni numeriche sempre più dettagliate, darà un contributo rilevante in questo ambito.

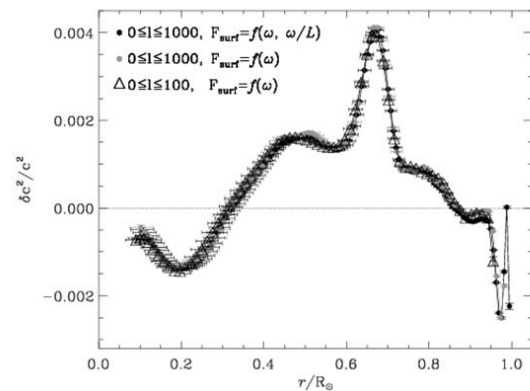
1.2 Astrofisica solare

1.2.1 Interno del Sole e Dinamo Solare

Lo studio dei modi acustici solari ha permesso negli ultimi decenni di ricostruire con estrema accuratezza l'interno della nostra stella: stratificazione, rotazione interna e composizione, fornendo importantissime informazioni sull'evoluzione, costituzione, dinamica ed attività della stella. Fondamentale è stato anche il contributo dell'eliosismologia alla soluzione del problema dei neutrini fornendo una conferma sperimentale al Modello Standard Solare. A fronte di tali successi in campo fisico ed astrofisico, l'eliosismologia non ha esaurito le sue potenzialità suggerendo ulteriori contributi sia nello studio dell'interno solare, sia nella dinamica atmosferica. Astronomi italiani sono da molti anni coinvolti in studi ed osservazioni di oscillazioni solari partecipando direttamente ai maggiori esperimenti eliosismologici. La comunità eliosismologica italiana è una dei 10 membri del network “HELAS”, the European Helio- and Asteroseismology Network.

Studio del nucleo solare: L'esatta struttura del core solare rimane una delle più importanti questioni aperte della fisica solare. Solo i modi-p di basso grado possono sondare il centro del Sole campionandone il nucleo per breve tempo a causa della locale elevata velocità del suono. Dunque i modi-p, al contrario dei modi-g, non sono particolarmente sensibili alle strutture del nucleo del sole. A causa delle piccole ampiezze mostrate dai modi di basso grado in superficie la struttura e la dinamica del nucleo solare non è ancora chiaramente nota. Solo molto di recente, dopo l'analisi di 10 anni di dati collezionati da GOLF, a bordo di SOHO, è stata annunciata la rivelazione di modi-g. La loro esistenza deve essere ancora confermata e molte questioni rimangono aperte: dalla loro origine ed eccitazione, alla probabilità di propagazione alla superficie.

Studio degli strati immediatamente sottostanti alla fotosfera: si deve ricordare che molta dell'incertezza nel modello standard solare deriva dalla scarsa conoscenza della fisica che descrive la superficie. Questo perché vi è una sostanziale difficoltà nel modellare i moti convettivi e le proprietà termodinamiche di questa regione, nel trattare gli effetti di non-adiabaticità, nello spiegare l'eccitazione e lo smorzamento delle oscillazioni. Inoltre, nuove stime nelle abbondanze solari che mostrano una significativa riduzione di C, N, O, e Ne con conseguente variazione dell'opacità negli strati esterni, portano ad una riconsiderazione della struttura del modello solare standard. L'inversione di dati elio-sismologici ha recentemente mostrato che le differenze tra Sole reale e modello aumentano quando si adottano le nuove abbondanze. Solo precise osservazioni di modi di alto grado (grado maggiore di 1000) sono capaci di studiare le regioni immediatamente sottostanti la superficie solare mentre usando solo modi di medio o basso grado non possiamo determinare soluzioni sopra $r = 0.96 R$



Differenza relativa quadrata della velocità del suono tra Sole reale e modello standard. (Di Mauro et al., 2002)

La dinamo solare: l'attività solare è modulata nel tempo secondo il ciclo solare di 22 anni. Questa modulazione riguarda sia l'intensità e complessità del campo magnetico, riflesse esempio nella frequenza dei fenomeni esplosivi quali flares o CME, che le sue caratteristiche topologiche, quali la polarità del campo globale, l'elicità magnetica, la latitudine delle macchie solari, la loro polarità e la migrazione verso l'equatore accompagnata dalla contemporanea migrazione verso i poli del campo diffuso, per indicarne alcune. Il ciclo solare è responsabile della struttura mutevole dell'intera Eliosfera, e dunque dell'interazione Sole-Terra, tramite le particelle solari e il campo magnetico trasportati dal Vento Solare (vedi paragrafi successivi). Il meccanismo che dinamicamente rigenera il campo magnetico dando vita al ciclo solare è la dinamo solare. Esiste un largo consenso riguardo alla natura magneto-idrodinamica di questo fenomeno, dovuto cioè all'induzione magnetica del plasma turbolento nella zona convettiva del Sole, il suo involucro esterno per un terzo del raggio. Tuttavia, l'interazioni tra plasma e campo magnetico è estremamente complessa essendo mediata da onde magnetoidrodinamiche, dalla turbolenza stessa, dalla convezione e da altri moti a grande scala come la circolazione meridiana, la rotazione differenziale, le onde di gravità. La dinamica del plasma solare si svolge dunque su uno straordinario insieme di scale, da quella microscopica a quella globale, e tale complessità ha finora impedito di descrivere i meccanismi dettagliati alla base della dinamo solare, quelli che trasformano l'energia termica e cinetica della zona convettiva in campo magnetico. Una sempre più stretta interazione tra fisica del plasma, teoria, osservazioni e simulazioni numeriche è necessaria per permettere di isolare gli elementi dinamici alla base della dinamo solare. Nuove osservazioni eliosismologiche sono necessarie per capire, ad esempio, la profondità a cui è ancorato il campo magnetico delle macchie, o la modalità di interazione tra vecchi e nuovi campi magnetici emergenti. Questo permetterebbe di caratterizzare meglio la struttura del campo magnetico toroidale globale. L'importanza delle osservazioni nella determinazione delle caratteristiche globali e locali del campo magnetico solare, da introdurre nei modelli di dinamo o da usare come loro *benchmark*, è confermata anche dalle recenti



osservazioni del satellite HINODE che hanno caratterizzato la componente tangenziale del campo magnetico polare. L'interazione tra dinamo a piccola scala e dinamo a grande scala è ancora oggi un altro problema aperto, sia dal punto di vista della teoria che dei modelli e delle simulazioni numeriche.

Capire la dinamo solare è il passo necessario per poter sviluppare quella capacità di previsione del ciclo solare e dell'attività magnetica della nostra stella che, dato l'impatto scientifico e tecnologico estremamente rilevante, attrae sempre più interesse da una vasta comunità di utenti.

1.2.2 *Dinamica della fotosfera e cromosfera*

La fotosfera solare è sede di intensi flussi di plasma associati all'*overshooting* convettivo. Questi sono la causa dell'insorgere di moti di avvezione sulla superficie solare che troviamo associati a differenti scale spaziali e temporali e sono i responsabili dei moti "caotici" dei piedi di diverse strutture magnetiche, anch'esse associate a diverse scale spaziali, che si estendono nell'atmosfera solare. Tali moti sono una possibile sorgente di eccitazione delle onde di Alfvén che, propagandosi attraverso la cromosfera verso la corona, contribuiscono al riscaldamento degli strati superiori dell'atmosfera solare attraverso la dissipazione dell'energia associata alle onde. Inoltre, l'azione della dinamica fotosferica domina i processi alla base del campo magnetico turbolento associato al Sole Quiet. Conoscere l'intensità di questo campo diffuso, certamente uno dei maggiori problemi dell'astrofisica solare e stellare, è di fondamentale interesse per la determinazione del budget magnetico totale della stella, in particolare in relazione ai processi di riscaldamento della cromosfera. L'analisi di dati spettropolarimetrici, da missioni come HINODE o attraverso telescopi a terra (e.g., DST, SST, VTT), ha significativamente contribuito alla comprensione dell'emergere e sparire di concentrazioni di flusso su piccola scala. A tal proposito, recenti osservazioni hanno presentato convincenti evidenze osservative della presenza di piccole arcate, su scala granulare, che uniscono concentrazioni magnetiche di opposta polarità nell'internetwork solare. Tali strutture sono state invocate per modellare la statistica dei *nanoflare* solari. Inoltre, la convezione fotosferica contribuisce alla creazione di campi magnetici intensi, dell'ordine dei kG, osservati nei corridoi intergranulari nella fotosfera del sole quieto previsti da modelli semplificati di PDF del campo magnetico nel Sole Quiet.

Da un punto di vista osservativo le misure spettropolarimetriche sono certamente lo strumento più importante per lo studio e la misura dei campi magnetici presenti nelle regioni di Sole quieto. Nell'ultimo decennio sono state implementate tecniche spettropolarimetriche per l'osservazione di righe sensibili al campo magnetico come le Fe I 630.1 nm e Fe I 630.2 nm. Parallelamente sono state proposte tecniche diagnostiche basate sull'effetto Hanle o sull'uso di righe spettrali il cui *pattern* Zeeman fosse sensibile alla struttura iperfine (HFS). Il formalismo, introdotto da Landi degli Innocenti nel 1975, è stato recentemente applicato alle righe del Mn I 553.8 nm e Mn I 1526.3 nm.

Negli ultimi anni si è anche assistito ad una progressiva rivalutazione del ruolo della cromosfera come fondamentale regione di interfaccia tra la fotosfera, dove la convezione superficiale domina e dirige la strutturazione del campo magnetico, e la corona, dove il campo magnetico determina la strutturazione del plasma in una situazione essenzialmente "force-free". La cromosfera, e in particolare la cosiddetta "*canopy*", ovvero la superficie dove pressione magnetica e cinetica del plasma si equivalgono, appaiono come il luogo ideale per la conversione di onde acustiche e di gravità in onde di tipo magnetico, che si possono quindi propagare lungo le linee di campo verso l'atmosfera più esterna e contribuire al suo mantenimento. Numerosi studi in questo ambito hanno evidenziato la possibilità che le oscillazioni fotosferiche dei 5 minuti, normalmente considerate evenescenti, possano in realtà propagarsi verso gli strati più esterni grazie ad un'azione di 'channeling' dovuta al campo magnetico. Al contrario, la *canopy* sembra inibire la trasmissione di onde acustiche ad alta frequenza e la conseguente formazione di *shocks* anche nel caso di strutture magnetiche a piccola scala spaziale (vedi Fig. 1).

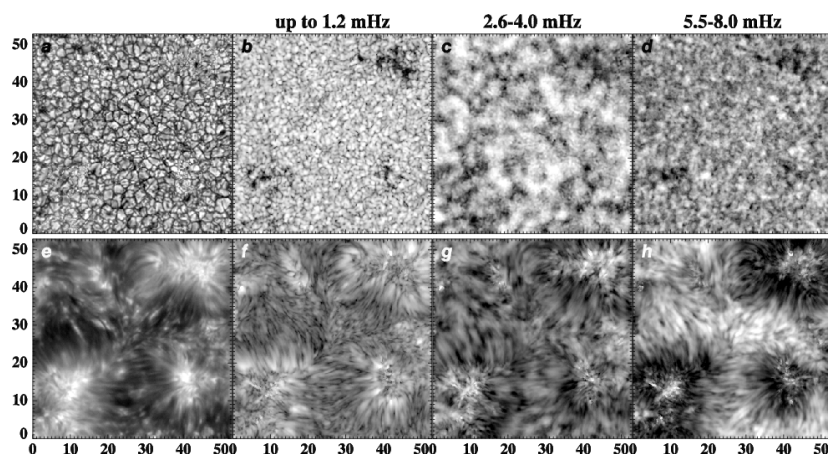


Fig. 1 The area outlines a supergranular cell with quiet granulation in the center and some abnormal granulation at the edges.
(Vecchio et al. 2007)

Questo ultimo aspetto può assumere ulteriore importanza nel dibattito sul riscaldamento cromosferico, considerato che le recenti osservazioni col satellite HINODE mostrano una presenza diffusa di campi magnetici fotosferici su scala granulare in tutto il Sole Quiet. Il campo magnetico cromosferico si sta inoltre rivelando una condizione al contorno necessaria per poter stimare in maniera realistica il campo magnetico coronale (attualmente non misurabile direttamente), a sua volta necessario per definire l'energia disponibile nel caso di flares ed esplosioni coronali. Dal punto di vista osservativo, l'avvento del satellite HINODE ha prodotto importanti risultati nella fisica della fotosfera e della cromosfera. Da terra, gli sviluppi più importanti si sono ottenuti in seguito alla presenza di sistemi avanzati di AO ai principali telescopi, e al funzionamento a regime di strumenti costituiti da interferometri di Fabry-Perot operanti in serie. Questi strumenti sono attualmente gli unici che permettono di soddisfare i requisiti necessari all'osservazione della cromosfera quali l'alta risoluzione spaziale, spettrale e temporale, unita ad estesi campi di vista necessari per tener conto delle connettività introdotte dal campo magnetico. Tra di essi spicca lo strumento italiano IBIS (Interferometric Bidimensional Spectrometer), operante al Dunn Solar Telescope dell'NSO in USA, che si è affermato come uno degli strumenti più versatili per lo studio ad alta risoluzione della dinamica e struttura magnetica della fotosfera e cromosfera. IBIS ha anche permesso di studiare il ruolo che nel trasporto e nella dissipazione di energia è giocato dai processi di turbolenza comprimibile, individuata tramite misure di fluttuazioni di velocità cromosferica. Queste misure mostrano chiaramente l'instaurarsi di un regime di turbolenza completamente sviluppata e la generazione di una regione inerziale dello spettro con conseguente cascata di energia verso le piccole scale. In futuro la possibilità di accedere a misure dirette del tasso di dissipazione dell'energia turbolenta, ottenuta tramite le osservazioni di turbolenza, potrà dare informazioni importantissime sui meccanismi di riscaldamento della cromosfera, probabilmente legate alle piccole scale generate dalla turbolenza, e sul filtraggio delle onde di Alfvén che si propagano in corona. Infine, le osservazioni derivanti possono essere confrontate puntualmente con i risultati di simulazioni numeriche 3-D, HD ed MHD che finalmente cominciano ad includere tutta la regione che si estende dalla parte più esterna della zona di convezione alla bassa corona.

Nel campo degli studi fotosferici e cromosferici la comunità dei fisici solari ha proposto la realizzazione della prima missione eliosferica italiana (ADAHÉLI – *ADvanced Astronomy for HELIophysics*), finanziata dall'ASI per lo studio di fattibilità, ed attualmente in attesa di possibili finanziamenti per la fase B e successive CDEF. In tale ambito, è stato proposto lo strumento ISODY composto da un telescopio gregoriano di 40 cm ed una *suite* di piano focale che comprende: un canale spettropolarimetrico per l'osservazione di righe fotosferiche e cromosferiche a doppio interferometro di Fabry-Perot, un canale *broad-band* ed un sistema di stabilizzazione delle immagini.

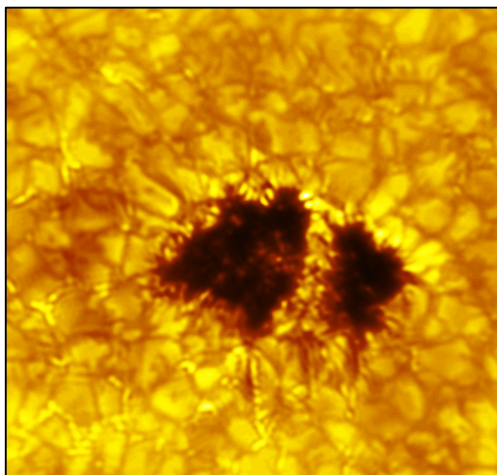
1.2.3 Affioramento del flusso magnetico ed organizzazione sulla superficie del Sole

Abbiamo detto di come la fonte più importante di energia utilizzabile per riscaldare la corona sta nell'energia meccanica generata dai moti di plasma alla sommità della zona di convezione sub-fotosferica, mentre l'interazione con il campo magnetico gioca un ruolo dominante in ogni meccanismo capace di trasportare e dissipare tale energia nella corona. Gli strati inferiori dell'atmosfera, più densi, fungono anche da serbatoio di materia per le regioni più esterne. Lo studio dei fenomeni dinamici e magnetici, fotosferici e cromosferici, porta all'individuazione e caratterizzazione di quei processi fisici capaci di fornire massa ed energia alla corona solare: emersione ed avvezione dei campi magnetici, eccitazione di onde MHD, riconnessioni magnetiche, micro- e nano-brillamenti.

Sulla superficie solare emerge continuamente flusso magnetico, che si distribuisce su diverse scale spaziali: esso può dar luogo alla formazione di regioni attive, di regioni effimere, andare ad aggiungersi al campo intranetwork o distribuirsi su scale ancora più piccole, non ancora risolte con gli attuali strumenti. In questo contesto, una problematica importante riguarda il fatto che non è ancora possibile stabilire, durante le primissime fasi di evoluzione di una regione attiva, se questa avrà una evoluzione completa (con una vita media di $\sim 1 - 2$ mesi), o se essa diffonderà dopo breve tempo (1-7 giorni). Inoltre, non sono stati ancora chiariti i meccanismi che presiedono alla fase di decadimento e di diffusione magnetica delle regioni attive. Allo scopo di dare un contributo alla comprensione di queste problematiche, si rende necessario effettuare una serie di campagne osservative congiunte in cui vengano utilizzati sia strumenti operanti a Terra (IBIS presso il DSR/NSO oppure il Goettingen Fabry-Perot alla VTT a Tenerife o il CRISP presso la SST a La Palma) che strumenti posti su satellite (SOHO-MDI, HINODE, SDO) in modo da avere informazioni sui vari strati dell'atmosfera solare e sulla configurazione magnetica delle regioni osservate.

Inoltre, la comprensione dei predetti fenomeni potrà essere raggiunta studiando l'emersione dei tubi di flusso magnetico dalla zona di convezione verso la superficie solare, attraverso lo sviluppo di simulazioni numeriche 3D MHD, utilizzando degli opportuni codici con procedure di *Adaptive Mesh Refinement*. E' attualmente in fase di sviluppo una serie di simulazioni di shear idrodinamico in un plasma magnetizzato per verificare il processo di intensificazione del campo magnetico e la risalita verso la superficie delle strutture magnetiche risultanti in uno strato convettivo instabile, includendo gli effetti di rotazione, super-adiabaticità e diffusività magnetica.

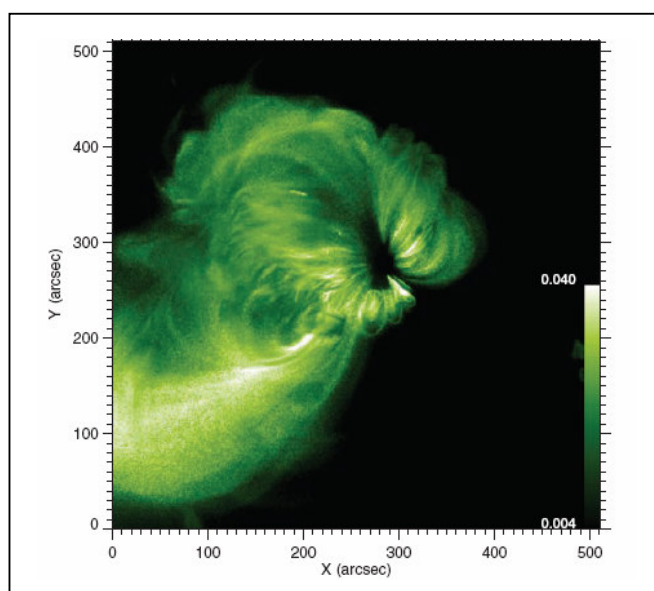
Recentemente è stato messo in evidenza, sia dal punto di vista osservativo che teorico, che l'emersione di flusso magnetico nell'atmosfera solare può dar luogo a fenomeni di riconnessione, a eventi flare o a CMEs, in seguito all'interazione fra diversi sistemi di tubi di flusso. Per quanto riguarda regioni magnetiche più estese, come i pore solari, sono stati osservati e modellati in modo accurato i "light bridge" talvolta presenti nelle regioni centrali "field free".



Light bridge presente all'interno di un pore solare. L'immagine in banda G è stata acquisita nell'ottobre 2008 al canale di OA di IBIS-DST di Sac. Peak (USA). *MOMFBD* restored da D. Del Moro.

1.2.4 Riscaldamento dell'atmosfera solare esterna

Una chiara comprensione dei meccanismi di rilascio di energia a livello coronale richiede di determinare la localizzazione nelle strutture magnetiche coronali e il profilo temporale (costante, impulsivo o graduale) dei processi di dissipazione di energia nel plasma (smorzamento resistivo o viscoso di onde MHD, riscaldamento ohmico da correnti elettriche indotte da variazioni dei campi magnetici, ...), e dei possibili fenomeni di turbolenza ed idrodinamici connessi. Ciò è un problema tuttora aperto, visti gli elevati requisiti strumentali in termini sia di precisione radiometrica che di risoluzione spaziale, temporale e spettrale necessari ad osservare direttamente tali processi, nonostante alcuni interessanti risultati sulla struttura termica a piccola scala e sulla dinamica del plasma nelle regioni attive coronali siano stati recentemente ottenuti mediante il telescopio (XRT) a raggi X (vedi figura sotto) e lo spettrometro nell'ultravioletto estremo (EIS) a bordo della missione spaziale Hinode (SOLAR-B).



Un contributo rilevante alla soluzione di questo problema è dato dallo sviluppo di modelli idrodinamici che includano le varie modalità più convincenti di riscaldamento del plasma, per effettuare simulazioni numeriche delle strutture magnetiche coronali e dell'emissione EUV e X prevista, al fine di un dettagliato confronto con i dati osservativi acquisiti da missioni spaziali (SOHO, TRACE, Hinode e, tra breve, SDO) che possa permettere di discriminare tra i meccanismi di rilascio di energia proposti. Tali studi richiedono lo sviluppo in parallelo di efficaci tecniche di diagnostica spettroscopica e la possibilità di accedere a dati atomici sempre più aggiornati ed accurati. L'Italia mantiene una posizione di leadership in questo campo avendo avuto un ruolo primario nella realizzazione del codice Chianti e avendo contribuito al pacchetto ADAS. Inoltre la comunità è molto attiva nello sviluppo dei modelli idrodinamici di strutture magnetiche coronali e nella loro applicazione alla diagnostica e all'analisi dei dati coronali.

Un altro ingrediente fondamentale in tale contesto è la determinazione della composizione chimica coronale, in particolare l'abbondanza dell'elio, e l'evidenza o meno di possibili differenze tra regioni coronali con diverse configurazioni magnetiche. Risulta inoltre cruciale la possibilità di effettuare una misura diretta dei campi magnetici in corona, visto il loro importante ruolo nei processi di riscaldamento del plasma, sviluppando opportune tecniche spettropolarimetriche nell'ultravioletto, basate sull'effetto Hanle, necessarie a raggiungere finalmente questo obiettivo. La comunità italiana è all'avanguardia in questo campo e un PRIN MIUR è stato recentemente finanziato per lo sviluppo delle ottiche da impiegare con tali tecniche spettropolarimetriche.



Infine, una particolare attenzione va rivolta allo studio delle caratteristiche e dell'emissione globali della corona solare, adottata nel suo insieme come *template* per le corone stellari.

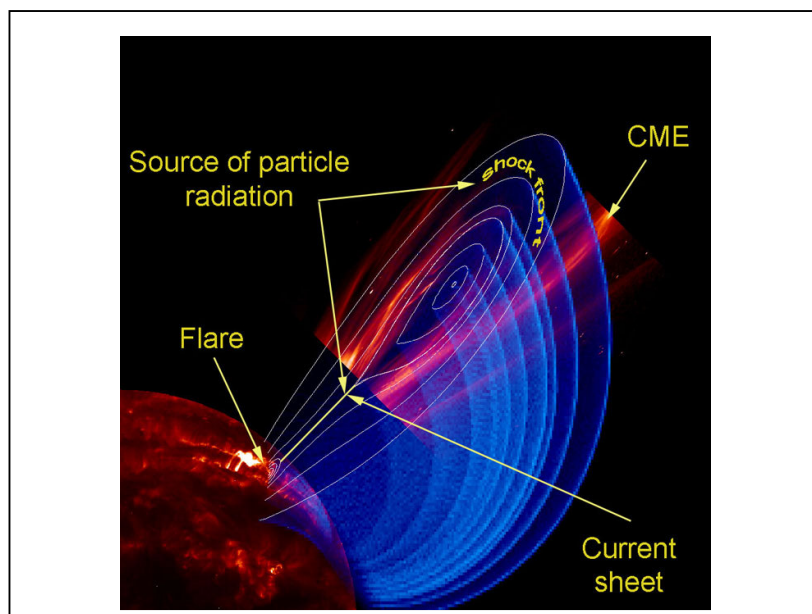
Nel campo degli studi coronali l'Italia ha consolidato negli ultimi decenni una posizione di indiscussa leadership con la realizzazione dello spettrometro UVCS che opera a bordo di SOHO da più di 13 anni in modo eccellente. UVCS ha permesso di aprire un nuovo campo di indagine coronale tramite l'introduzione della spettroscopia ultravioletta della corona estesa che ha portato a risultati fondamentali sia nel campo del riscaldamento coronale che nel campo dell'espansione della corona, con conseguente formazione del vento solare. L'esperienza acquisita con UVCS consente alla comunità italiana di dare un contributo significativo alla problematica scientifica relativa alla corona solare e di svolgere un ruolo propositivo che permette: la realizzazione del coronografo HERSCHEL/SCORE, per le prime misure dell'emissione dell'elio in corona (volo suborbitale NASA LWS nel gennaio 2009), del sistema polarimetrico per il coronografo ultravioletto 'Lyot' della missione SMESE (CNES – Agenzia Spaziale Cinese), per effettuare le prime misure del campo magnetico coronale tramite l'effetto Hanle, e di proporre nell'ambito del SOLAR ORBITER un coronografo per immagini in luce bianca ed UV della corona estesa (misure dell'emissione dell'idrogeno e dell'elio), per lo studio globale e ad alta risoluzione delle regioni sorgente del vento solare e della dinamica dei Coronal Mass Ejections, unitamente ad uno spettrometro EUV ad altissima risoluzione spaziale, per lo studio della regione di transizione e della corona, e ad uno spettrocoronografo EUV, per lo studio della corona estesa a basse distanze eliocentriche. E' anche prevista la partecipazione alla missione ASPIICS (Association de Satellites Pour l'Imagerie et l'Interferometrie de la Couronne Solare), proposta dall'ESA nell'ambito del programma PROBA-3, che prevede la realizzazione di un coronografo occultato esternamente (con lo strumento ottico su un satellite e l'occultazione esterna su un altro satellite a circa 100 m di distanza dal primo) capace di ottenere immagini della corona solare ad alta risoluzione spaziale e spettroscopia bidimensionale in diverse righe di emissione, dalla base della corona fino a 3 raggi solari. Le prestazioni di alcuni prototipi di tale strumentazione coronografica verranno verificate nel corso di apposite campagne programmate in occasione delle prossime eclissi di Sole o mediante lanci su razzo. La comunità solare spaziale italiana inoltre sta studiando il coronografo che volerà a bordo della missione KUAFU (Agenzia Spaziale Cinese) che ha come scopo principale quello di monitorare lo Space Weather e prevederne gli effetti sulla Terra.

1.2.5 Eventi coronali esplosivi e altri fenomeni legati al plasma

Tali ricerche, correlate a quanto esposto nei paragrafi precedenti, hanno come obiettivo primario la comprensione dei vari processi fisici che hanno luogo all'interno delle regioni attive e che innescano instabilità ed eruzione delle strutture magnetiche dell'atmosfera solare con conseguente rilascio di energia e materia nello spazio interplanetario (brillamenti ed eventi simili, eruzione di protuberanze, CMEs). In modo riepilogativo, possiamo individuare le seguenti linee di ricerca in cui si articola questo filone dedicato agli eventi solari più energetici, provocati dall'improvviso rilascio dell'energia immagazzinata nei campi magnetici:

1. processi di riconnessione magnetica coronale nei brillamenti e nelle protuberanze eruttive, mediante osservazioni EUV, X e gamma dallo spazio e simulazioni numeriche degli eventi;
2. modelli numerici e teorici di avvezione dei campi magnetici, riconnessioni magnetiche, micro- e nano-brillamenti in cromosfera e corona, e relativo confronto con le osservazioni;
3. formazione, evoluzione iniziale e propagazione negli strati più interni della corona solare di espulsioni di massa coronale (CMEs), mediante l'utilizzo di strumenti dallo spazio (nel visibile e UV) e di analisi dati di strumentazione radio da terra ad altissima risoluzione temporale;
4. propagazione delle perturbazioni del plasma solare e di fasci di particelle energetiche solari cariche nello spazio interplanetario con la conseguente interazione con i raggi cosmici galattici, che vengono così modulati in grado maggiore, ed il campo magnetico interplanetario; ruolo della turbolenza nel

plasma eliosferico.



Non va dimenticata, inoltre, l'importanza di tali studi per l'astrofisica in generale e per la fisica del plasma. E' possibile osservare sul Sole processi di plasma che non si possono riprodurre in laboratorio né osservare in altri oggetti astrofisici, con un'elevata capacità diagnostica favorita dall'alta risoluzione angolare dei dati acquisiti, che permette di distinguere in corona strutture delle dimensioni di qualche centinaio di chilometri, e in fotosfera di qualche decina di chilometri. Il Sole è pertanto un vero e proprio laboratorio per i fisici del plasma.

Nel prossimo triennio si prevede un forte impegno della comunità nell'approfondimento delle tecniche modellistiche e numeriche applicate alla simulazione degli eventi solari estremi, nonché nello sviluppo delle tecniche diagnostiche utilizzate per l'analisi dei dati acquisiti con strumenti a terra e nello spazio. Sono interessanti, in tal senso, alcuni algoritmi di inversione messi a punto per la determinazione dello spettro di energia degli elettroni dall'analisi di spettri X duri ad alta risoluzione emessi durante brillamenti solari e osservati con il satellite RHESSI. Tale informazione può fornire suggerimenti sui meccanismi di accelerazione e di trasporto di elettroni e ioni durante la fase impulsiva dei brillamenti. Inoltre, significativi risultati sui processi di attivazione dei filamenti possono essere ottenuti dall'analisi del trasporto di elicità magnetica dalla zona convettiva subfotosferica alla corona durante l'emersione ed espansione nell'atmosfera solare dei tubi di flusso magnetico, effettuata mediante l'utilizzo coordinato di dati MDI/SOHO e TRACE.

Importanti informazioni sulle fasi iniziali di propagazione dei CME nella corona esterna saranno acquisite nel futuro, sia mediante il coronografo in luce bianca e UV, proposto e disegnato da un gruppo italiano per il 'payload' della missione SOLAR ORBITER, la cui fase di definizione dovrebbe iniziare entro il prossimo triennio, che con la missione tecnologica dell'ESA ASPIICS, che consiste in un coronografo formato da due satelliti in 'flight formation' (vedi paragrafo precedente), a cui sta iniziando a partecipare la comunità solare ed eliosferica italiana. ASPIICS, in particolare, potrà osservare con risoluzione spaziale altissima in prossimità del bordo solare, permettendo quindi di acquisire informazioni fondamentali sulle primissime fasi di propagazione dei CME nella corona più interna. Appare anche molto interessante la proposta di usare i rivelatori della missione LISA, dedicata allo studio delle onde gravitazionali, per determinare la geometria dei CME. Infine, va ricordato il telescopio per la rivelazione delle particelle solari energetiche proposto per il 'payload' del Solar Orbiter.



1.2.6 Variabilità solare

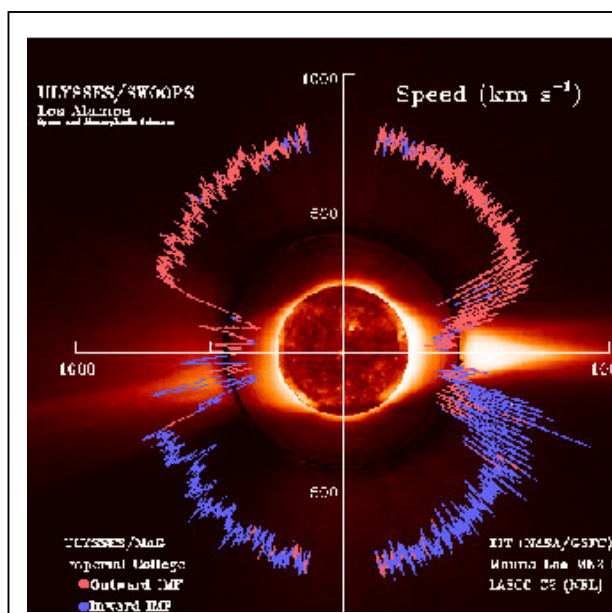
Le misure effettuate dallo spazio dai radiometri HF/NIMBUS, ACRIM/SMM-UARS, VIRGO/SoHO durante gli ultimi tre cicli di attività hanno mostrato che l'irradianza solare totale varia in fase con l'attività magnetica del Sole. Negli corso degli ultimi cinque anni, metodi di ricostruzione dell'irradianza che utilizzano caratteristiche del magnetismo osservato nella fotosfera solare hanno permesso di riprodurre circa il 90% delle variazioni misurate dallo spazio. Progressi significativi sono stati quindi raggiunti nella misura e nella comprensione delle cause che determinano le variazioni dell'emissione del Sole integrata su tutte le lunghezze d'onda fino alla scala temporale del ciclo di attività. Tuttavia misure più recenti hanno indicato che è necessario migliorare le attuali conoscenze della variabilità solare alle scale temporali più lunghe del ciclo solare. In particolare, il valore medio dell'emissione integrata misurato dal bolometri TIM/SORCE nell'attuale fase di minimo è risultato inferiore al valore ottenuto nel 1996, durante il precedente minimo di attività. Inoltre tale valore è anche inferiore dello 0.3% al valore assunto finora per l'emissione integrata del Sole e per la valutazione del bilancio energetico del sistema Sole-Terra. Negli ultimi anni anche le misure esistenti e le conoscenze relative alla variabilità dell'emissione spettrale del Sole sono risultate scarse. In particolare, misure sistematiche dell'irradianza spettrale del Sole su intervalli compresi tra il FUV e l'IR sono disponibili solo per gli ultimi cinque anni dal funzionamento dei rivelatori SCIAMACHY/ENVISAT e SIM/SORCE. I risultati più recenti ottenuti indicano che l'atmosfera solare contribuisce in modo diverso alle variazioni dell'emissione totale della stella, a seconda della regione atmosferica e della banda spettrale considerata. In particolare, l'emissione solare misurata da SIM/SORCE nell'intervallo spettrale del NIR è risultata aumentare nel corso della fase discendente dell'attuale ciclo solare.

Lo studio dei fenomeni che determinano la variabilità solare e l'acquisizione di dati utili a tale studio sono svolti nella sede INAF-Roma, in collaborazione con i gruppi di ricerca delle sedi OACt e OATs, delle università Roma Tor Vergata e della Calabria, dell'INGV-Roma. Lo studio avviene attraverso l'analisi di osservazioni multibanda a disco intero, di misure spettropolarimetriche ad alta risoluzione spaziale, lo sviluppo di simulazioni numeriche del trasporto radiativo in atmosfera non uniforme e dinamica, l'analisi di serie di osservazioni storiche prodotte dalla digitizzazione degli spettroeliogrammi acquisiti nell'ultimo secolo ad Arcetri, Mt Wilson e Kodaikanal.

1.3 Fisica eliosferica e interplanetaria

1.3.1 Il vento solare: meccanismi di accelerazione, turbolenza e riscaldamento

Lo studio della perdita di massa da parte del Sole a causa del vento solare fa leva principalmente sulle osservazioni dallo spazio, sia "remote-sensing", utilizzando strumenti per immagini del disco solare UV e EUV e coronografi in luce bianca e UV, sia tramite misure "in-situ" dei campi caratteristici (velocità, campo magnetico ed elettrico, densità, temperatura). Le misure sono debitamente supportate dall'analisi di modelli teorici e dal confronto con i risultati di simulazioni numeriche ad alta precisione. La comunità italiana è costantemente impegnata in tutte le fasi del suddetto studio, sia nella realizzazione degli strumenti di misura a bordo dei satelliti e dei codici numerici, sia nell'analisi dei dati e nella modellizzazione teorica. La ricerca, che utilizza in massima parte le osservazioni dei satelliti Helios 2, ACE, Voyager, WIND, Ulysses, Geotail, CLUSTER e SOHO (in particolare con lo spettrocoronografo UVCS), si articola secondo vari e complessi aspetti che riguardano lo studio dello spazio interplanetario a differenti scale.



Innanzitutto si è iniziato a determinare la struttura tridimensionale del vento solare a grande scala tramite osservazioni in-situ a differenti latitudini eliosferiche (vedi figura sopra). Questa struttura a grande scala è definita da flussi veloci, che provengono essenzialmente dai poli solari, e da flussi più lenti, localizzati nella regione equatoriale. Una analisi più accurata dovrebbe permettere di caratterizzare quelle regioni equatoriali che sono sorgenti del vento solare lento, mediante lo studio della correlazione tra topologia magnetica, velocità del vento e abbondanze di elementi, in particolare dell'elio, nella corona estesa, al fine di confermare l'ipotesi che il vento lento provenga dalle regioni adiacenti agli streamer coronali e da quelle sovrastanti la cuspide degli streamer. Altre problematiche fisiche relative alla struttura a larga scala riguardano la verifica del meccanismo di riscaldamento ed accelerazione del vento veloce mediante differenti processi fisici tuttora non pienamente chiariti. Si tratta di verificare se effetti fisici quali dissipazione di onde di Alfvén ad alta frequenza per risonanza ione-ciclotrone nei buchi coronali, rappresentino un buon meccanismo fisico. Questo può essere fatto tramite l'osservazione dell'emissione UV da parte di ioni con differente rapporto carica su massa (ad esempio, HeII, OVI e HI); si noti che recenti osservazioni dell'interno e dei bordi di streamer coronali suggeriscono che tale meccanismo potrebbe spiegare anche il riscaldamento e l'accelerazione del vento solare lento.

Sovrapposte alla struttura a grande scala sono osservate fluttuazioni a tutte le scale, fino a frequenze dell'ordine di 100 Hz. La presenza di queste fluttuazioni consente di utilizzare il vento solare come una immensa galleria del vento in cui si possono effettuare misure di turbolenza ad altissimi numeri di Reynolds. Si tratta quindi, ed in parte questo è stato fatto in precedenza, di chiarire il ruolo giocato dalla turbolenza nel plasma eliosferico, e confrontare le osservazioni con i relativi modelli di generazione locale della turbolenza MHD. In questa regione dell'eliosfera si può studiare la turbolenza non omogenea, anisotropa e quasi incompressibile in un plasma naturale, per esempio si può studiare il problema della generazione di strutture coerenti a grande scala e l'accoppiamento di queste strutture con fluttuazioni stocastiche. Il vento solare è stato usato principalmente per studiare la regione inerziale della turbolenza MHD, analizzando la cascata di energia turbolenta ed andando ad analizzare le proprietà statistiche delle strutture coerenti a piccola scala che determinano le proprietà di intermittenza in una turbolenza completamente sviluppata. Utilizzando relazioni teoriche esatte, siamo in grado di misurare il tasso di trasferimento dell'energia turbolenta. Questo è un risultato molto importante perché, seguendo alcune analisi teoriche ed utilizzando queste misure è possibile determinare osservativamente l'evoluzione radiale del tasso di dissipazione dell'energia e confrontare questa quantità con i modelli teorici e le simulazioni numeriche. Inoltre tramite questa quantità è possibile



individuare il ruolo giocato dalla cascata di energia turbolenta nel processo di riscaldamento anomalo del vento solare, e stabilire il budget di energia libera che viene trasportata a piccola scala.

Lo studio della regione ad alta frequenza dello spettro turbolento nel vento solare, ed in particolare l'analisi del ruolo giocato dai processi dissipativi/dispersivi, è una problematica tuttora poco esplorata a causa della difficoltà di ottenere misure sperimentali, che sarà affrontata nei prossimi anni. Il plasma del vento solare è non dissipativo per cui la regione ad alta frequenza è sede di meccanismi fisici legati alla rottura dell'approccio MHD, quali l'effetto Hall-MHD, effetti giro cinetici di raggio di Larmor finiti ed effetti puramente cinetici legati ad interazioni onda-particella. Una problematica molto importante riguarda ancora la presenza di turbolenza elettrostatica ad alta frequenza, in particolare l'analisi delle sue leggi di scala, lo studio dei meccanismi di generazione delle onde e l'analisi del ruolo giocato dalla propagazione di onde di Alfvén cinetiche e wisthler, o nuovi modi di propagazione nei processi dissipativi osservati nelle simulazioni numeriche a causa dei processi di interazione onda-particella. Infine dovrà essere effettuato anche uno studio degli accoppiamenti fra onde di alta frequenza e bisogna chiarire il ruolo della turbolenza debole a piccola scala nel vento solare. Lo studio di tutti questi fenomeni, che sono cruciali per la conoscenza della fisica dei plasmi, può essere effettuato in natura soltanto nel vento solare per la grande varietà di scale caratteristiche, temporali e spaziali, a disposizione.

La turbolenza magnetica nel vento solare influenza in modo decisivo i processi di trasporto di particelle energetiche nello spazio interplanetario. A sua volta, il trasporto influenza i processi di accelerazione come l'accelerazione stocastica e la cosiddetta "diffusive shock acceleration". E' quindi importante capire sotto quali condizioni fisiche si osservano diversi regimi di trasporto nel vento solare, e soprattutto come questi regimi influenzino i processi di accelerazione di particelle. L'analisi dei dati di differenti satelliti ci consente di determinare sperimentalmente i regimi di trasporto, confrontando tali regimi con i livelli di turbolenza magnetica osservati, per stabilire le relazioni causa-effetto. Tale studio, oltre che una importanza di principio, può avere numerose applicazioni al trasporto dei raggi cosmici, al trasporto di particelle energetiche di origine solare nel vento solare e fino alla Terra, ed allo studio dei fasci di ioni accelerati ad energie fino ai 100-150 keV nella coda magnetica terrestre, che continua ad essere un problema non capito. Le recenti osservazioni della missione STEREO, composta da due satelliti identici, ha messo in evidenza, tra l'altro, l'esistenza di getti coronali dotati di alte velocità da circa 100 fino a 700 km/s. Lo studio di questi getti rappresenta un nuovo campo della fisica solare, ed è importante capire quale è l'influenza dei getti sul vento solare, sulla turbolenza osservata, e sul bilancio energetico della corona. E' anche necessario comprendere la relazione tra l'osservazione nell'ultravioletto di onde EIT, l'attività coronale, e le particelle energetiche osservate nello spazio interplanetario.

Le osservazioni coronografiche nell'UV che dovrebbero essere effettuate dal Solar Orbiter, in congiunzione con le misure degli analizzatori di plasma a bordo della stessa missione, coprendo le regioni coronali dal bordo solare fino a $2 R_{\odot}$, sono adatte per investigare la correlazione tra l'abbondanza dell'elio e la topologia del campo magnetico, fondamentale per l'individuazione delle regioni sorgente del vento solare lento. Inoltre possono ottenere misure dell'emissione UV da parte di ioni con differente rapporto carica su massa (ad esempio, HeII, OVI e HI) nei buchi coronali, al fine di verificare l'efficacia del meccanismo di riscaldamento ed accelerazione del vento veloce mediante dissipazione di onde di Alfvén ad alta frequenza per risonanza ione-ciclotrone.

Osservazioni "remote sensing" a più lunghezze d'onda delle regioni polari saranno finalmente disponibili mediante lo spettrometro EUV a bordo del Solar Orbiter: queste permetteranno di studiare l'origine e l'accelerazione iniziale del vento solare nei buchi coronali, in modo da verificare l'ipotesi che il vento solare veloce abbia origine lungo i bordi del network cromosferico, cosicché la struttura magnetica cromosferica gioca un ruolo importante nel processo di accelerazione. Inoltre tramite Solar Orbiter si avrà a disposizione un database di turbolenza che, provenendo dalle regioni polari, si trova nelle condizioni in cui fluttuazioni di velocità e campo magnetico sono strettamente correlati. Queste osservazioni saranno



fondamentali per comprendere il ruolo giocato dalla cascata non lineare di energia nella turbolenza “Alfvénica” e la sua possibile connessione con i processi di riscaldamento del vento solare in queste condizioni particolari.

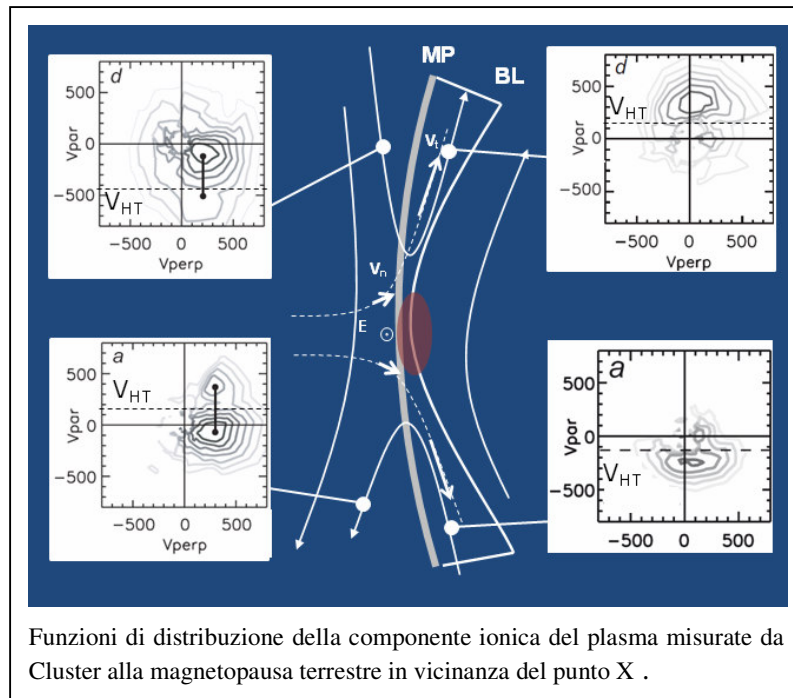
Inoltre, la caratteristica fase di corotazione di Solar-Orbiter permetterà, per la prima volta, di separare effetti temporali da effetti spaziali nel vento solare utilizzando una sola sonda. Osservazioni di imaging saranno combinate con misure in-situ dei parametri di campo magnetico e plasma. In particolare, le misure di vento solare saranno effettuate da una suite di plasma che vede un forte coinvolgimento della comunità nazionale.

1.3.2 Le interazioni fra il Sole e la Terra

L'intero Sistema Solare è contenuto nell'eliosfera, una bolla di plasma che si forma quando il vento solare si espande nel mezzo interstellare locale. L'interazione fra i corpi del Sistema Solare e il vento solare può essere molto diversa a seconda che il corpo sia o non sia magnetizzato, abbia o non abbia l'atmosfera.

Nel caso della Terra, a causa dell'interazione fra il vento solare e il campo geomagnetico si forma la magnetosfera terrestre. La magnetosfera è una regione assai complessa dove domina il campo geomagnetico, percorsa da diversi sistemi di correnti elettriche, alcuni dei quali si chiudono nella ionosfera, e che ha al suo interno differenti popolazioni di plasma. Esistono diversi processi di fisica del plasma attraverso i quali si attua il trasporto di energia e massa dal vento solare alla magnetosfera; il processo più importante in questo senso sembra essere quello della riconnessione magnetica fra le linee del campo geomagnetico e le linee del campo magnetico interplanetario. In effetti, la convezione del plasma nella ionosfera polare è proprio causata dai processi di interazione fra vento solare e magnetosfera che si verificano alla magnetopausa, la superficie di separazione fra la magnetosfera e il vento solare. La magnetosfera terrestre è, dunque, un sistema estremamente dinamico che risponde ad eventi generati sul Sole e trasmessi all'orbita terrestre. I principali effetti sulla magnetosfera sono dovuti a strutture di vento solare, quali le Interplanetary Coronal Mass Ejection (ICME) e le Corotating Interaction Region (CIR), e consistono in notevoli cambiamenti nelle popolazioni di plasma e nei sistemi di correnti magnetosferiche e ionosferiche. Le tempeste e le sottotempeste magnetosferiche sono i segni più evidenti dell'interazione vento solare-magnetosfera e sono accompagnate da una vasta fenomenologia aurorale. Anche le pulsazioni magnetiche ULF (Ultra-Low-Frequency, 1 mHz – 1 Hz) sono il risultato di diversi processi dovuti alla penetrazione di energia del vento solare; le pulsazioni a frequenze di pochi mHz sono interpretate come oscillazioni compressive della cavità magnetosferica generate da variazioni della pressione dinamica del vento solare, mentre le pulsazioni di frequenza più alta sono associate allo sviluppo di sottotempeste, se osservate sul lato notte, o alla penetrazione di onde upstream nel settore mattina. La piena comprensione dei meccanismi di trasferimento di energia e massa dal vento solare alla magnetosfera, l'identificazione dei processi attraverso i quali l'energia trasferita viene rilasciata, talvolta in maniera impulsiva, nella magnetosfera e, più in generale, la conoscenza dei modi di risposta del sistema magnetosfera-ionosfera alle sollecitazioni del vento solare sono alcuni tra i più importanti traguardi nella fisica delle relazioni Sole-Terra, il cui raggiungimento impegna fortemente la comunità scientifica internazionale ed italiana. Per la ricerca in questo campo sono essenziali: le misure di campi elettrici e magnetici, delle funzioni di distribuzione delle particelle cariche e del flusso di atomi neutri energetici (ENA) fornite dalle missioni spaziali, come **CLUSTER**, **Double Star**, **ACE**, **Geotail**, **IMAGE**; le osservazioni delle aurore da Terra e dallo spazio, in particolare, la comunità italiana è impegnata nel mantenimento degli osservatori **ITACA**² nell'emisfero boreale e nella acquisizione di immagini aurorali presso la stazione antartica Mario Zucchelli; la misura della convezione ionosferica in entrambi gli emisferi fornita dalla rete internazionale di radar **SuperDARN**, alla quale partecipa anche la comunità italiana; le misure di variazioni del campo magnetico sulla superficie terrestre, in particolare con la gestione italiana degli stazioni geomagnetiche a Baia Terranova e Dome C, in Antartide, e della rete di magnetometri **SEGMA** in Sud Europa.

Negli ultimi anni la ricerca italiana ha prodotto risultati molto interessanti in quest'ambito.



Molti risultati hanno riguardato il processo della *riconnessione magnetica*. Dal punto di vista delle osservazioni *in situ* l'analisi dei dati della missione Cluster ha rivelato la complessa struttura della regione di separazione e le caratteristiche cinetiche del plasma in prossimità del punto X. Inoltre uno studio statistico sui dati della sonda Double Star ha evidenziato come le osservazioni fossero a favore del modello *component merging*. Questo studio statistico, insieme al il lavoro di Pu et al. (Geophys. Res. Lett., 2007), chiarisce, dunque, una questione dibattuta fin dagli anni '80. Riguardo agli effetti su scala globale della riconnessione, i dati dei radar ionosferici della catena SuperDARN e delle telecamere aurorali del progetto ITACA² hanno permesso di evidenziare la configurazione globale

della riconnessione alla magnetopausa quando il campo magnetico interplanetario è caratterizzato da un intensa componente B_y o è diretto verso Nord. Oltre a ciò, in uno studio prettamente teorico svolto in collaborazione con colleghi dell'ISC-CNR, è stato sviluppato un modello di riconnessione di Sweet-Parker con l'inclusione di una struttura frattale della regione di diffusione, che permette di superare il problema della bassa velocità di riconnessione tipica del modello di Sweet-Parker per plasmi con alto numero di Reynolds.

Per quanto concerne, invece, l'importanza della *turbolenza* alfvénica del vento solare nel sistema Sole-Terra, è stato condotto uno studio statistico che ha mostrato come le fluttuazioni alfvéniche, che caratterizzano i periodi di alta velocità al minimo solare, risultino efficaci nell'accoppiamento vento solare-magnetosfera e come al massimo solare, invece, giochino un ruolo le strutture dominate da un eccesso di energia magnetica. Poi, riguardo alla comprensione della dinamica su grande scala temporale del sistema magnetosfera terrestre in risposta alle perturbazioni del vento solare si è mostrato come tale dinamica sia completamente assimilabile a quella di un sistema stazionario lontano dall'equilibrio, e come soddisfi le condizioni di simmetria imposte dal Teorema di Fluttuazione di Gallavotti-Cohen.

In relazione alle *pulsazioni geomagnetiche*, l'analisi delle misure di SEGMA durante la prima campagna coordinata dal programma internazionale CAWSES, ha evidenziato una significativa attività di pulsazioni Pc3 (22-100 mHz) correlata con onde generate nel vento solare a monte del fronte d'urto. L'arrivo di un ICME ha provocato una tempesta geomagnetica durante la quale sono state inoltre osservate pulsazioni Pc5 (1-7 mHz) a frequenze discrete. L'analisi ha permesso di identificare le frequenze di risonanza delle linee del campo geomagnetico e di dedurre le variazioni della densità equatoriale della plasmasfera ($1.7 < L < 1.8$) nel corso della tempesta. L'analisi di una serie di eventi di pulsazioni di bassa frequenza ($f \sim 1-10$ mHz) ha evidenziato una corrispondenza tra pulsazioni osservate a frequenze discrete e fluttuazioni del campo magnetosferico e della densità nel vento solare, in termini di frequenza, innesco e durata. Questo indica che le pulsazioni possono essere direttamente innescate dalle fluttuazioni del vento solare; d'altra parte, la ripetuta occorrenza delle pulsazioni nelle stesse bande di frequenza ed evidenti fenomeni di amplificazione suggeriscono la possibilità di un ulteriore contributo dovuto all'innesco di risonanze della cavità magnetosferica. Inoltre, è stato monitorato l'andamento della frequenza di risonanza (f_R) di tre diverse linee di campo ($L = 1.61, 1.71, 1.83$) durante il periodo 2001-2004. Tale studio ha mostrato che variazioni temporali in f_R , che riflettono variazioni nella densità di massa in plasmasfera, seguono le variazioni dell'irradianza



solare EUV (monitorata dall'indice di attività solare $F_{10.7}$) con un ritardo di circa 1-2 giorni. Il ritardo osservato è stato attribuito a due possibili cause: (1) ritardo nella risposta della concentrazione dell'ossigeno atomico a variazioni dell'irradianza solare, (2) diffusione degli ioni ed elettroni lungo i tubi di flusso.

Anche per quanto riguarda la ricerca più strettamente connessa alla Meteorologia Spaziale il contributo italiano è stato notevole. Si sono infatti sviluppati degli algoritmi basati sull'uso delle reti neurali che permettono la previsione degli indici geomagnetici Dst ed AE a partire dai parametri di plasma misurati ad L1 dalla sonda ACE. Tali previsioni sono rese pubbliche nell'ambito del progetto GIFINT (Geomagnetic Indices Forecasting and Ionospheric Nowcasting Tools), frutto di una collaborazione con l'INGV, il NOA di Atene, e il CCRL di Didcot.

Nei prossimi anni i ricercatori italiani continueranno a essere impegnati nella ricerca su queste tematiche. A proposito del coinvolgimento dei ricercatori nei grandi progetti e nelle missioni in atto o future viene di seguito descritta l'attività prevista.

La partecipazione al progetto SuperDARN continuerà con la gestione del radar di Kerguelen e con la realizzazione di due nuovi radar presso la base di Concordia in Antartide. Per il radar di Kerguelen si prevede di raddoppiare la capacità osservativa (uso di due frequenze di sondaggio contemporaneamente – modalità STEREO). L'installazione dei radar di Concordia dovrebbe avvenire durante la campagna antartica 2009-2010.

Per quanto riguarda la rete SEGMA nei prossimi anni si intende ottimizzarla effettuando una serie di campagne di misure per una sua possibile estensione a sud (Lampedusa) e ad ovest (Sardegna).

Inoltre vogliamo qui sottolineare che la magnetosfera terrestre è un laboratorio per lo studio della dinamica dei plasmi spaziali e che nello spazio intorno alla Terra si possono fare misure *in situ* riguardanti processi fondamentali di fisica dei plasmi, che hanno rilevanza anche in altri ambiti astrofisici, quali per esempio la formazione degli *shock*, la riconnessione magnetica e la turbolenza. A questo proposito, la missione Cluster, per la quale è stata richiesta recentemente l'estensione fino al 2012, è stata ed ancora è una missione innovativa che ha permesso effettivi progressi nell'ambito della fisica del plasma. Nondimeno, i succitati processi hanno la caratteristica di avere effetti su grandi porzioni di spazio dipendendo, però, dai campi elettromagnetici e dal comportamento delle particelle a scale spaziali e temporali molto più piccole. E' dunque fondamentale esplorare e quantificare l'accoppiamento simultaneo multi-scala in questi processi per capirne compiutamente la fisica. Tre sono le scale fisiche fondamentali: la scala fluida o MHD, la scala cinetica dei protoni e la scala cinetica degli elettroni. A tal riguardo, i ricercatori italiani partecipano alla definizione della missione **Cross-Scale** per la Cosmic Vision dell'ESA; tale missione, passata alla fase A, si propone lo studio dei processi fondamentali di fisica del plasma con osservazioni simultanee *in-situ* dalle scale MHD sino alle scale cinetiche tramite l'utilizzo di una flotta di almeno 7 satelliti. L'IFSI è Lead-Institute in Italia per la partecipazione nazionale a Cross-Scale ed ha contribuito attivamente alla definizione del PDD della missione. Il gruppo di Fisica del Plasma dell'IFSI propone lo studio di un "Common Payload Processor" allo scopo di gestire i vari strumenti che faranno parte della "suite" di plasma prevista sui satelliti di Cross Scale e partecipa agli studi relativi agli strumenti di ioni ed elettroni.

Invece, relativamente allo studio della dinamica globale della magnetosfera, uno strumento per l'ENA *imaging* nella magnetosfera terrestre è stato proposto per la missione ASI **ADAHÉLI**.

Infine, come abbiamo visto, al di là dell'importanza intrinseca, lo studio delle suddette tematiche scientifiche riveste particolare rilevanza nell'ambito della *Meteorologia Spaziale*, che ha acquistato nuova importanza negli ultimi anni anche a causa del rinnovato interesse delle maggiori agenzie spaziali per l'esplorazione umana dello spazio. A tal riguardo è bene notare che è allo studio la missione cino-canadese-europea **KuaFu**, che vede anche la partecipazione italiana, composta da un satellite al punto Lagrangiano L1 e da due satelliti in orbita polare per il monitoraggio continuo delle regioni aurorali. Questa è la prima missione con lo scopo di osservare l'emergere delle perturbazioni sul sole, il loro trasporto nello spazio interplanetario e la fenomenologia che producono nello spazio intorno alla Terra.



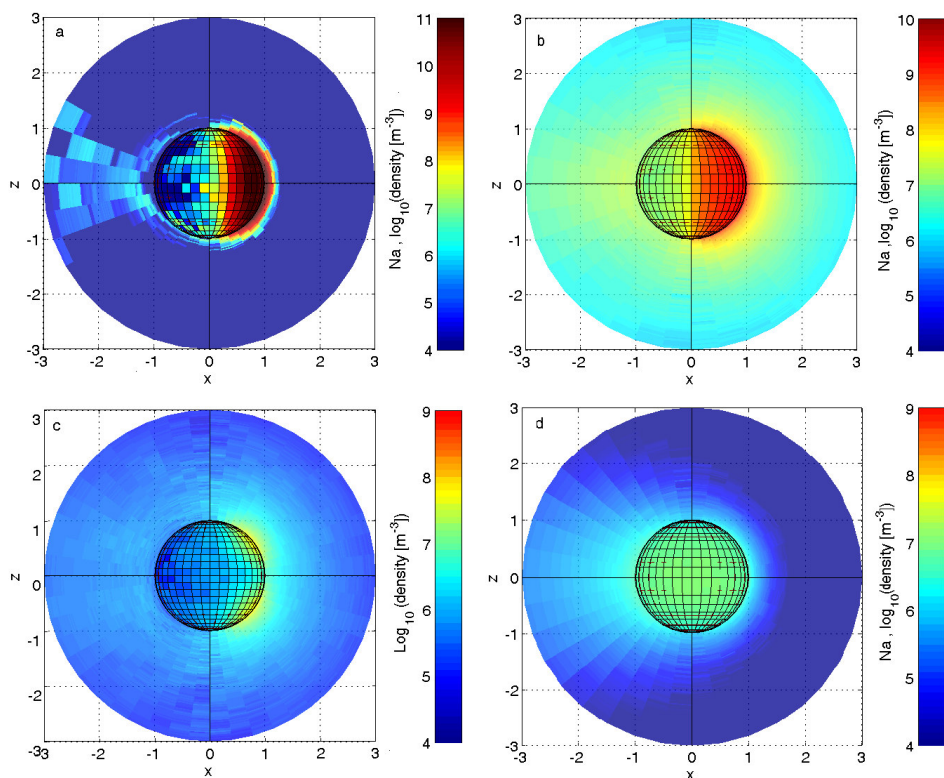
1.3.3 Le interazioni fra il Sole e gli altri pianeti

Corpi provvisti di campo magnetico interno

Per quanto riguarda l'interazione fra il vento solare e gli altri pianeti, una situazione analoga a quella descritta nel caso della Terra si ha per tutti i pianeti con un campo magnetico intrinseco. La magnetosfera di Mercurio, per esempio, dal punto di vista morfologico, sembra essere molto simile a quella terrestre. D'altro canto esistono anche differenze fondamentali che, opportunamente descritte e studiate nel dettaglio, potrebbero rivelarsi molto utili per la comprensione di come avvenga il trasporto di energia, quantità di moto e massa attraverso la magnetopausa e dei processi che danno origine alle tempeste e sotto-tempeste magnetiche. Le differenze fra la magnetosfera della Terra e di Mercurio si riducono essenzialmente al rapporto fra la scala spaziale tipica della magnetosfera e i raggi di girazione dei protoni e degli elettroni, alle differenti condizioni del vento solare a 0.3 - 0.5 AU ($B \sim 50$ nT, basso numero di Mach alfvénico del vento solare), e, soprattutto, alla probabile assenza di una ionosfera su Mercurio. In questo caso la superficie del pianeta è direttamente esposta al vento solare, oltre che alla radiazione solare ultravioletta, ai raggi cosmici e all'impatto di micro meteoriti e diversi processi quali il desorption termico e lo sputtering di ioni e fotoni che insieme contribuiscono alla formazione dell'esosfera. Il raggiungimento di una dettagliata conoscenza dei processi di generazione dell'esosfera di Mercurio e della sua complessa interazione con il vento solare è un obiettivo primario della ricerca internazionale sul quale è fortemente impegnata anche la comunità italiana. Si sta a questo scopo preparando una missione importantissima per lo studio di Mercurio ed in particolare della sua magnetosfera, **Bepi Colombo** (ESA/JAXA), che prevede due satelliti orbitanti a diverse distanze dal pianeta: il Mercury Planetary Orbiter (MPO), principalmente rivolto a studi planetari, il quale caratterizzerà anche l'ambiente circostante il pianeta, e il Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO), principalmente rivolto a studi magnetosferici.

La partecipazione italiana a questa missione è rilevante: i ricercatori dell'IFSI, infatti, partecipano con ruolo primario (PI Institute) all'esperimento internazionale **SERENA** (Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundances) a bordo dell'MPO per lo studio di particelle neutre e cariche nell'ambiente Mercuriano. Tale esperimento comprende due sensori di atomi neutri (ELENA e STROFIO), e due unità per particelle cariche (PICAM e MIPA). L'IFSI, come istituto PI, consegnerà l'unità **ELENA** (Emitted Low-Energy Neutral Atoms) e il System Control Unit; si occuperà, inoltre, delle attività di assemblaggio, integrazione e verifica. Lo strumento ELENA, sarà dedicato alla misura della componente energetica del gas neutro dell'esosfera (Sputtered High Energy Atoms – SHEA-) principalmente generata dall'interazione del plasma con la superficie planetaria per ion-sputtering, ed in tal modo otterrà un 'imaging' delle regioni di precipitazione del plasma, fondamentale per meglio comprendere le interazioni suddette.

L'attività di ricerca che accompagna questo progetto è rivolta a simulazioni dell'ambiente di Mercurio comprendente modelli magnetosferici, esosferici e modelli di processi di rilascio superficiale. In particolare, è stato sviluppato un modello empirico-analitico della magnetosfera di Mercurio che include la riconnessione magnetica con la componente x del campo magnetico interplanetario. E' stato sviluppato un modello numerico 3D a "singola particella" dell'esosfera Mercuriana capace di simulare densità e distribuzione in energia di varie componenti. Esso include anche un modulo di simulazione di plasma che fornisce le informazioni necessarie per i processi guidati dalle precipitazioni del plasma verso la superficie. Oltre al processo di ion-sputtering sono stati inclusi i processi: di vaporizzazione da micro-meteoriti (MIV), di thermal desorption (TD), e due diversi modelli per simulare la photon-stimulated desorption (PSD) (vedi figura). E' stata effettuata, inoltre, l'analisi di diverse altezze scala per diverse specie e diversi processi di generazione. Infine, si stanno sviluppando modelli di simulazione delle prestazioni di ELENA, in particolare per simulare il segnale atteso dallo strumento lungo l'orbita, partendo dai flussi e fornendo i count-rate aspettati, così come un tool per la simulazione rapida delle prestazioni e la ricerca dei valori ottimali di design.



Modelli dell'esosfera di Mercurio ottenuti considerando separatamente i diversi processi di rilascio noti: (a) TD, (b) PSD, (c) ion-sputtering e (d) MIV (da Mura et al., 2007). L'asse x è la congiungente Mercurio-Sole (con il Sole sulla destra) e l'asse z è perpendicolare al piano dell'eclittica; le unità sono in raggi mercuriani (R_M); la misura è in $\log(10)$ della densità.

Affiancata a queste attività, nel 2006 è cominciata una campagna osservativa internazionale (IMW – International Mercury Watch) che coordina osservazioni contemporanee da diversi telescopi in diverse zone del pianeta, in cui sono coinvolti IFSI-Rm e OAPd, utilizzando, fino al 2006, il TNG. Inoltre, dal 2007 si è avviata l'osservazione di Mercurio per periodi più ampi (7-15 giorni consecutivi) utilizzando il telescopio Franco-Italiano THEMIS localizzato alle Isole Canarie (Spagna) ed è prevista attività osservativa anche nei prossimi anni allo scopo di monitorare le variazioni dell'esosfera di Mercurio su lunghe scale temporali (dell'ordine del ciclo solare), per fornire un database di studio dei processi di formazione e perdita così come un utilissimo confronto alle osservazioni *in situ* che saranno ottenute da BepiColombo.

Sempre nell'ambito della missione Bepi-Colombo, l'IFSI-Rm partecipa allo sviluppo di uno strumento per la misura della funzione di distribuzione degli elettroni che sarà a bordo del MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) e allo strumento SIXS (vedi 1.3.5). La comunità dell'IFSI, quindi, è stata e sarà impegnata in un'intensa attività di coordinamento nazionale e internazionale, di modellistica e di sviluppo e progettazione dei sensori per questa missione.

L'IFSI è anche coinvolto, all'interno del programma Cosmic Vision, nella missione EJSM che prevede un orbiter Europeo per lo studio della luna gioviana Ganimede, particolarmente interessante per il fatto di essere l'unico satellite ad avere un campo magnetico intrinseco. Per lo studio dell'interazione del plasma della magnetosfera di Giove con Ganimede attraverso il suo campo magnetico, l'IFSI partecipa alla



definizione dei requisiti del payload, in particolare del sensore di atomi neutri energetici (parte del plasma package).

Corpi privi di campo magnetico interno

Nel caso di pianeti, come Marte e Venere, che non posseggono un campo magnetico intrinseco, ma sono provvisti di atmosfera, è la ionosfera del pianeta ad ostacolare il flusso del vento solare, che porta con sé il sempre mutevole campo magnetico interplanetario, e anche in questo caso si ha la formazione di un'onda d'urto. Il vento solare, però, può interagire direttamente con l'atmosfera del pianeta, che non è più protetta dalla magnetosfera. In particolare, attraverso i processi di fotoionizzazione, di ionizzazione per impatto e di scambio di carica gli atomi neutri o le molecole dell'atmosfera si trasformano in ioni che poi vengono catturati dal vento solare (pick up ions). D'altra parte, il processo di scambio di carica può generare anche atomi neutri energetici che possono essere utilizzati per visualizzare in maniera globale la regione di interazione fra il vento solare e l'esosfera del pianeta. L'interazione del vento solare con le comete è simile a quella appena descritta. Se, invece, consideriamo la Luna o gli asteroidi, si ha che il vento solare incide direttamente sulla loro superficie senza che il suo flusso sia distorto dalla loro presenza.

I ricercatori italiani studiano gli ambienti di Marte e Venere grazie all'analisi dei dati raccolti dagli strumenti ASPERA-3 e ASPERA-4 a bordo di MARS-EXPRESS e VENUS-EXPRESS.

Inoltre lo strumento RAMON (analizzatore di particelle neutre) è stato selezionato per la fase A per la missione MARCO POLO, del programma Cosmic Vision dell'ESA, diretta ad un Near-Earth Object (NEO). Proprio in relazione a questa missione sono iniziati studi di ion sputtering e simulazione di segnale ENA da un NEO. E' poi opportuno menzionare che altri strumenti ENA per lo studio delle esosfere e dei processi di interazione plasma-superfici, sono stati proposti all'interno del programma Cosmic Vision per missioni dirette a: Titano, Encelado e Saturno (TSSM), Giove, Europa e Ganimede (EJSM), e la missione ASI diretta alla Luna (MAGIA).

Strettamente connessa all'attività di ricerca suddetta e di notevole rilevanza per quest'ultima è l'attività di laboratorio relativa alla camera di plasma e alla piccola camera da vuoto situate all'IFSI di Roma. E' stata, infatti, ultimata la riattivazione della "grande camera a plasma IFSI" che rende disponibile una facility sperimentale per studi di fisica del plasma per applicazioni alle ionosfere e magnetosfere della Terra e di altri pianeti del sistema solare.

Gli obiettivi scientifici sono duplici in quanto focalizzati sia alla definizione e realizzazione di esperimenti di plasma di interesse propriamente teorico come ad esempio studi di turbolenza nel plasma, che tecnologici come la verifica della funzionalità e conformità alle specifiche di progetto di payload realizzati per operare a bordo di satelliti (sensori di particelle, sorgenti di plasma, propulsori ionici ed in generale componenti per uso spaziale esposti ad un plasma ambiente). La camera infatti genera un plasma di tipo ionosferico, con controllo vettoriale del campo magnetico ambiente e con regolazione del moto di insieme del fascio ionico tale da simulare il moto relativo tra il payload sotto test ed il plasma ambiente riproducendo le regioni di compressione e rarefazione del plasma (effetto ram/wake).

1.3.4 I raggi cosmici nell'eliosfera

Lo spazio interplanetario è pervaso, oltre che dalla radiazione corpuscolare di particelle termiche proveniente dal Sole, da un'altra popolazione di particelle energetiche denominate raggi cosmici. Essi sono costituiti principalmente da ioni con energie fino a $E \sim 10^{21}$ - 10^{22} eV. A. I raggi cosmici primari provengono in parte da sorgenti galattiche o extra-galattiche ed in parte dal Sole. Il vento solare impedisce ai raggi cosmici galattici di bassa energia di penetrare nell'eliosfera più interna, riducendo così il flusso di raggi cosmici man mano che si procede verso il Sole. Ne risulta un gradiente di densità radiale, eliocentrico e positivo in funzione della distanza dal Sole. In più, i fenomeni d'attività solare producono una modulazione temporale del flusso di raggi cosmici galattici (almeno fino a energie di ~ 150 GeV) misurato in un punto fisso dello spazio. Ne consegue una variazione di 11 anni nell'intensità dei raggi cosmici che è anticorrelata

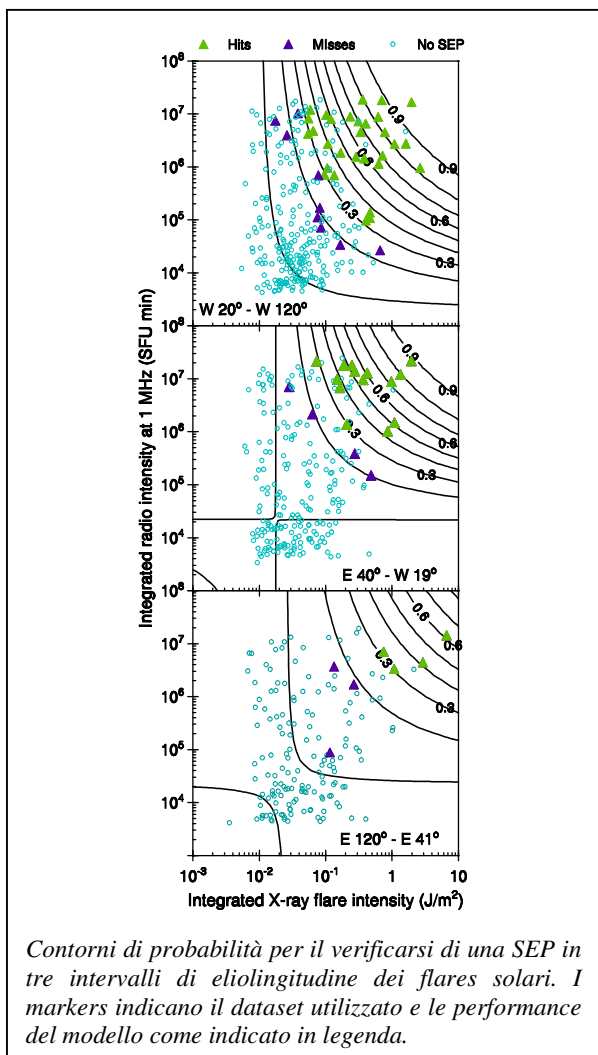
all'attività solare. Lo studio delle variazioni di flusso dei raggi cosmici e delle loro anisotropie direzionali è pertanto di fondamentale importanza per ottenere informazioni sulla variabilità solare e sulla struttura a larga scala delle perturbazioni del vento solare e sulla loro trasmissione in tutta l'eliosfera. Per lo studio delle variazioni su lunghe scale temporali (secolari e multisecolari) è necessario ricorrere ai cosiddetti proxy, costituiti dai radionuclidi prodotti durante le interazioni nucleari dei raggi cosmici con gli elementi delle atmosfere planetarie (e.g. Terra), nelle superfici dei pianeti e loro satelliti e nelle meteoriti.

Si definiscono eventi di particelle energetiche solari (SEPs dall'inglese Solar Energetic Particles), o anche raggi cosmici solari, i flussi transienti di particelle sopratermiche che vengono sporadicamente emesse dal Sole (fino a energie relativistiche ≤ 50 GeV) in concomitanza ai fenomeni esplosivi solari, quali brillamenti, CMEs e distacco di filamenti. Tali particelle si propagano nello spazio interplanetario e sono rivelabili come eventi discreti nel flusso misurato da strumenti a bordo di satelliti e sonde spaziali o a terra quando raggiungono energie relativistiche (si parla in tal caso di "ground level enhancements", GLEs). Questi flussi sono altamente direzionali e quindi anisotropi. Pertanto, le SEPs portano informazioni tramite i loro spettri di energia, stati di ionizzazione, abbondanze di elementi e isotopi, sulle proprietà del plasma alla sorgente nonché sui meccanismi fisici responsabili della loro accelerazione. Lo studio degli eventi di SEPs osservati nello spazio interplanetario è quindi direttamente connesso a tematiche quali l'accelerazione/generazione e trasporto delle SEPs, di estrema rilevanza scientifica sia per la comprensione dei fenomeni fisici coinvolti (accelerazione stocastica, onde d'urto, meccanismi di Fermi, riconnessione magnetica), sia dei

fenomeni solari associati (regioni attive, flares, filamenti, CMEs, riconfigurazione magnetica della corona solare). In generale, tramite i raggi cosmici, si possono studiare: processi di accelerazione di particelle sul Sole (flares e/o onde d'urto coronali); propagazione nella corona e l'iniezione di particelle nelle linee del campo magnetico interplanetario che connettono il Sole all'osservatore; propagazione attraverso lo spazio interplanetario, includendo l'accelerazione alle onde d'urto interplanetarie, la generazione di onde di Alfvén e l'interazione onda-particella nelle vicinanze di shocks; la diffusione, il focusing adiabatico e la decelerazione adiabatica.

Inoltre, lo studio dei raggi cosmici è di primario interesse nell'ambito dello "Space Weather", dato il loro impatto sulle missioni spaziali e la contaminazione degli strumenti a bordo. Infatti, gli eventi di SEPs sono la sorgente delle perturbazioni più forti che investono tutta l'eliosfera, che compromettono le operazioni di sonde spaziali e satelliti, l'elettronica degli strumenti e costituiscono una minaccia di radiazione per gli astronauti e gli equipaggi degli aerei in rotte polari. Inoltre, le SEPs hanno un effetto notevole nell'atmosfera terrestre causando sia diminuzione di ozono e variazioni delle componenti minori, sia assorbimento delle onde radio ad alta frequenza e quindi malfunzionamenti delle comunicazioni radio a lunga distanza e sistemi radar.

Infine, i raggi cosmici influenzano fortemente gli ambienti planetari, tramite l'interazione con le magnetosfere planetarie e con i nuclei dell'atmosfera





quando essa è presente, o direttamente con la superficie, producendo emissione di radiazione .

La comunità italiana ha apportato un notevole contributo allo sviluppo delle suddette problematiche scientifiche, sia per quanto riguarda gli studi teorici/analisi dati che l'attività sperimentale. Lo studio delle variazioni d'intensità nella radiazione cosmica (S.V.I.R.CO.), mediante l'uso di misure continue della componente nucleonica registrata al suolo, viene effettuato tramite l'Osservatorio S.V.I.R.CO., ove è presente un "neutron monitor 20-NM-64", a Roma (42° N – 13° E), che è l'unico che raccoglie dati in Italia dal 1957 in modo ininterrotto. Questo rivelatore, fa parte della rete mondiale per la rivelazione della radiazione cosmica. A tale rete L'IFSI-Rm collabora anche con la co-gestione di altri siti osservativi: LARC (dal 1991: 6-NM-64, Antartide: 62° S – 30° 1E, in collaborazione con la Università del Cile, via l'Istituto Nazionale Antartico Cileno ed il PNRA), ESO (dal 1998: 6-NM-64, Israele: 33° N – 36° E, in collaborazione con il centro RAGGI COSMICI/AGENZIA SPAZIALE di Israele e l'Università di Roma Tre) ed il rivelatore installato presso Los Cerrillos (6-NM-64, Cile: 34° S – 290° E, sempre in collaborazione con l'Università del Cile e di Roma Tre, via l'Istituto Nazionale Antartico Cileno ed il PNRA).

Fra i principali risultati scientifici ottenuti dal gruppo "raggi cosmici" dell'IFSI-Rm, si evidenziano i seguenti:

- Elaborazione di un modello per la previsione delle SEPs, in conseguenza a studi delle relazioni fra SEPs e parametri solari. Esso è basato su informazioni derivate da parametri solari (fluenza dei raggi X molli durante un flare, fluenza dell'emissione radio a ~ 1 MHz, longitudine del flare) e, tramite la tecnica della regressione logistica, fornisce un "warning" dopo 10 min dal massimo di un flare di classe $\geq M2$. Tale modello è stato realizzato in collaborazione con il centro di eccellenza Air Force Research Laboratory (Hanscom, USA), nell'ambito dell'azione europea COST 724, per essere utilizzato in tempo reale ai fini dello Space Weather. Le prestazioni di tale modello sono risultate superiori a quelle fornite dalle altre tecniche competitive automatizzate.
- Sviluppo del tema dell'accelerazione e trasporto delle SEPs tramite simulazioni di un evento di SEPs (13 Settembre 2000), effettuate per la prima volta simultaneamente per 19 canali di energia fino a 440 MeV, per derivare l'evoluzione dei fattori di iniezione di particelle accelerate allo shock interplanetario associato all'evento di SEPs e ottenere informazioni sulla efficienza.
- Sviluppo e applicazioni dei modelli magnetosferici del campo magnetico terrestre nel contesto della fisica dei raggi cosmici.
- Analisi dell'impatto delle SEP sulla chimica dell'atmosfera polare terrestre di dati satellitari. In particolar modo la disponibilità dei dati dello strumento MLS del satellite EOS AURA ed i concomitanti eventi SEP del 2005 hanno permesso per la prima volta di valutare sperimentalmente l'impatto dei cicli catalitici di distruzione dell' O_3 legati agli HOx. Inoltre dettagliate analisi hanno chiaramente evidenziato come l'influenza delle SEP sulla atmosfera sia profondamente connessa al periodo in cui si verifica l'evento.

Gli sviluppi futuri, prevedono, compatibilmente alla disponibilità di personale, la prosecuzione degli studi relativi all'interazione dei raggi cosmici con l'ambiente terrestre e di Mercurio, nonché l'analisi delle variazioni dei flussi delle SEPs in funzione della distanza radiale dal Sole e quella longitudinale rispetto alle sorgenti solari, insieme ai necessari studi complementari sulle sorgenti solari e le intercalibrazioni fra i diversi strumenti di misura delle SEPs. E' anche prevista la continuazione delle indagini sul trasporto delle SEPs nell'eliosfera e sulle variazioni e anisotropie dei raggi cosmici galattici, nonché il possibile loro utilizzo per lo Space Weather. Si continuerà a collaborare attivamente con il team finlandese dell'Università di Helsinki, per lo sviluppo dello strumento SIXS (Solar Intensity X-ray and particle Spectrometer) a bordo di BepiColombo/Mercury Planetary Orbiter. Gli altri progetti di ricerca in cui il suddetto gruppo di ricerca è coinvolto sono: ESS2 dell'ASI, COST, IHY/CIP 57, PNRA.



Il gruppo di Cosmogeofisica (IFSI-To), che conduce la sua attività di ricerca sperimentale presso la Stazione di Ricerca sotterranea (-70 m H₂O equivalente) del Monte dei Cappuccini di Torino, si occupa dello studio delle meteoriti cadute negli ultimi secoli. Scopo di tali ricerche è la determinazione delle variazioni del flusso di raggi cosmici e la ricostruzione dell'attività solare nel passato. Presso la suddetta Stazione di Ricerca sono stati messi a punto spettrometri γ (HPGe+NaI) di alta risoluzione e basso fondo, che permettono di misurare la bassissima attività del ^{44}Ti (qualche conteggio al giorno), prodotto nell'interazione dei raggi cosmici con le meteoriti. Questo tipo di misura, introdotta dal gruppo di Cosmogeofisica, permette di ovviare ai limiti delle misure dell'attività di radionuclidi prodotti in atmosfera ed in seguito accumulati in archivi terrestri datati, legati all'influenza di variazioni climatiche in grado di modificare l'originario segnale solare e di renderne quindi difficile l'estrazione.

Recentemente è stato messo a punto un nuovo sistema, costituito da un rivelatore al Ge di grande massa (~3 kg), alta efficienza relativa (~150%), circondato da un rivelatore NaI di ~90 kg, insieme a nuovi sistemi di coincidenza (per rimuovere l'interferenza dovuta all'attività γ naturale) e di acquisizione multiparametrica per una maggiore flessibilità nella scelta delle finestre di coincidenza. Utilizzando questi spettrometri, sono state finora studiate 21 meteoriti. I più recenti risultati ottenuti sono stati: i) l'evidenza di un trend decrescente dell'attività del ^{44}Ti , che rivela una diminuzione del flusso dei raggi cosmici nello spazio interplanetario (1-3 AU) di circa 43% negli ultimi 235 anni; ii) sovrapposta a questo trend, un'oscillazione secolare dell'attività del ^{44}Ti in fase con il ciclo solare di Gleissberg. E' stato inoltre recentemente dimostrato che le misure di ^{44}Ti possono essere utilizzate come test per le ricostruzioni dell'attività solare ottenute da vari modelli.

Utilizzando il nuovo spettrometro recentemente messo a punto, si possono affrontare i seguenti obiettivi:

- determinare l'ampiezza del ciclo secolare con maggior accuratezza, misurando meteoriti cadute intorno al 1900 e al 1950;
- ottenere informazioni sull'attività solare prima del 1800 ed in particolare durante il Maunder minimum, misurando meteoriti la cui attività assai ridotta risultava impossibile da misurare con lo spettrometro precedentemente utilizzato.

Inoltre, al fine di migliorare il modello da noi proposto per spiegare le misure effettuate, intendiamo calcolare il rateo di produzione di ^{44}Ti nelle meteoriti per bassi valori del parametro di modulazione. Questo permetterà di verificare l'extrapolazione del rateo di produzione usata in precedenza.

I risultati ottenuti hanno riscosso notevole apprezzamento anche in ambito internazionale; l'interesse che tali ricerche hanno suscitato si è anche concretizzato a partire dal 2005 nella collaborazione con il gruppo del Prof. S.K.Solanki, direttore del Max Planck Institute di Katlenburg-Lindau (Germania), che è stata formalizzata mediante un accordo fra il suddetto Istituto, l'IFSI-To ed il Dipartimento di Fisica Generale dell'Università di Torino. Inoltre molto costruttiva fin dall'inizio di questi studi è stata la stretta collaborazione con il Physical Research Laboratory di Ahmedabad (India) che continua tuttora.

1.3.5 Partecipazione al programma “International Living With a Star” (ILWS)

Le attività precedentemente descritte trovano la loro naturale collocazione nell'ambito del programma ILWS. Infatti, il programma è inteso a “*stimolare, rafforzare, coordinare la ricerca spaziale per la comprensione dei processi del sistema integrato Sole – Terra*”.

La Comunità italiana ha contribuito notevolmente a questo programma, partecipando alla realizzazione di fondamentali missioni spaziali come SOHO, TRACE, CLUSTER, Ulysses, Double Star e RHESSI.

La partecipazione italiana continua con l'importante contributo che si sta dando per la preparazione della missione Bepi Colombo.



Sempre in quest'ambito, si vuole inoltre completare la fase realizzativa del programma Herschel/SCORE. Connesso a tale programma è lo studio sperimentale delle ottiche per un prototipo di spettrocoronografo ad immagini; il prototipo verrà lanciato con un successivo volo sub-orbitale in collaborazione con la NASA.

Ancora come un contributo italiano a ILWS, va considerata la partecipazione alla realizzazione della strumentazione di due nuove missioni spaziali, SMESE e ASPIICS, che hanno obiettivi condivisi dalla comunità italiana (es. misura del campo magnetico coronale). È anche prevista la partecipazione ad altre missioni nell'ambito dell'ILWS: Hinode (SOLAR-B, per cui sarà consentito un accesso di prima mano ai dati e la messa a punto di un database locale, soprattutto grazie al contributo dato dal gruppo di Palermo alla calibrazione dello strumento XRT), STEREO, Solar Dynamics Observatory (SDO).

Inoltre, un grande impegno riguarda la definizione degli obiettivi scientifici e della strumentazione da proporre per le future missioni di ILWS, in particolare SOLAR ORBITER.

All'interno dello stesso programma ILWS e di programmi correlati (es. COST ES0803, Space Weather), particolare rilevanza riveste il network italiano per le osservazioni da terra di fenomeni riguardanti il Sole e le Relazioni Sole-Terra (SINERGIES) che comprende:

1. il Trieste Solar Radio System (TSRS), presso la sede di Basovizza dell'OATs;
2. il Precision Solar Photometric Telescope (PSPT), presso l'OARm, a Monteporzio;
3. l'osservatorio per i raggi cosmici S.V.I.R.CO. e il Laboratorio di Fisica Terrestre, presso l'Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario di Roma;
4. il VAMOS (Velocity And Magnetic Observations of the Sun), presso l'OACn;
5. la barra equatoriale solare, presso l'OACt;
6. la torre solare, presso l'OAAr.
7. la rete di stazioni magnetometriche SEGMA (South European GeoMagnetic Array), dedicata alla misurazione delle variazioni e delle fluttuazioni del campo geomagnetico;
8. le stazioni magnetometriche in Antartide (Terranova Bay e Dome-C), per la misura del campo geomagnetico ad alte latitudini;
9. la rete di radar per lo studio dello stato dinamico del sistema magnetosfera-ionosfera (SuperDARN), in Antartide;
10. l'osservatorio aurorale in Antartide dotato di strumentazione per l'osservazione nel visibile (All-Sky Camera) dei fenomeni connessi alle aurore polari;
11. i due osservatori automatici di attività aurorale ad alta latitudine nell'emisfero Nord (ITACA²), alle isole Svalbard e in Groenlandia, entrambi dotati di All-Sky Camera.

La situazione attuale degli strumenti nazionali per l'osservazione del Sole e lo studio delle relazioni Sole-Terra evidenzia, dunque, la grande capacità che ha la comunità italiana di apportare notevoli progressi nel campo dello studio dei fenomeni complessi che hanno luogo sul Sole, nell'eliosfera e nella ionosfera e magnetosfera della Terra. In quest'ambito va ricordata l'importante partecipazione della comunità italiana alle attività per l'*International Heliophysical Year* svoltosi durante il 2008.

Infine, particolare riferimento merita il progetto per un telescopio solare per test di *seeing* alla base di Dome-C di Concordia-Astro.

1.4 Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future

1.4.1 Highlights

- Studio dei modi-g. Origine, eccitazione e probabilità di propagazione alla superficie per l'indagine del nucleo del Sole



- Osservazioni di modi-p di alto grado per lo studio delle regioni sottostanti la superficie solare
- Interazione tra dinamo locale e dinamo globale per lo studio del magnetismo solare a piccola e grande scala
- Dinamica della convezione solare in condizioni di intensa inibizione magnetica (macchia e pori)
- Origine, emersione ed evoluzione del campo magnetico solare in condizioni di sole quieto ed attivo: interazione con i campi di convezione turbolenta
- Studio dei processi di riconnessione, di eventi flare o CME in seguito all'interazione fra diversi sistemi di tubi di flusso
- Trasmissione di onde acustiche e di gravità, anche in condizione di sole quieto, per il contributo ai processi di trasporto di materia ed energia nell'atmosfera solare
- Dissipazione energetica e riscaldamento dell'atmosfera solare esterna
- Caratterizzazione delle regioni sorgente e dei meccanismi di accelerazione del vento solare veloce e lento
- Accelerazione iniziale ed espansione nella corona interna di CME
- Generazione/accelerazione delle particelle energetiche solari (SEPs).
- Correlazione tra eventi di SEPs e fenomeni transienti solari.
- Studio della variabilità del Sole Quietto nel tempo
- Studio della variabilità spettrale e tra i diversi cicli di attività
- Studio delle onde di Alfvén in cromosfera ed accelerazione del vento solare
- Studio della modulazione solare dei raggi cosmici
- Comprensione dei meccanismi di generazione della cascata turbolenta nella cromosfera, misura diretta dell'energia dissipata e descrizione del riscaldamento come conseguenza dei processi di dissipazione dell'energia turbolenta
- Comprensione dei processi che caratterizzano la turbolenza a tutte le scale nel vento solare, comprensione della generazione della regione ad alta frequenza nello spettro, analisi dei processi dispersivi/dissipativi e riscaldamento del vento solare
- Comprensione dei processi di trasporto e di accelerazione di particelle in presenza di turbolenza magnetica
- Comprensione del ruolo della turbolenza MHD nell'accoppiamento vento solare-magnetosfera terrestre.
- Formazione e interazione di onde d'urto non collisionali
- Comprensione dei meccanismi di trasferimento di energia e massa dal vento solare alla magnetosfera che hanno luogo alla magnetopausa terrestre.
- Studio dell'attività geomagnetica dovuta all'interazione tra la magnetosfera terrestre e strutture del vento solare come fasci corotanti e ICME (Interplanetary Coronal Mass Ejections).
- Comprensione della generazione e propagazione di onde ULF (1 mHz – 1 Hz) nella magnetosfera in relazione alle condizioni di vento solare.
- Studio della “complessità”, delle proprietà di non equilibrio e modellizzazione, tramite *neural network*, della dinamica della magnetosfera terrestre in risposta alle variazioni dei parametri del vento solare
- Evoluzione globale delle popolazioni di plasma della magnetosfera terrestre interna durante le tempeste magnetiche
- Monitoraggio remoto della densità del plasma magnetosferico attraverso la determinazione della frequenza di risonanza delle linee del campo geomagnetico.
- Effetti dell'interazione vento solare magnetosfera sulla convezione ionosferica polare e modellizzazione del potenziale elettrico globale nella ionosfera.



- Effetti nell'ambiente terrestre associati ad eventi di particelle solari energetiche. (e.g. variabilità delle componenti minori dell'atmosfera terrestre).
- Raggiungimento di una dettagliata conoscenza dei processi di generazione dell'esosfera di Mercurio e della sua complessa interazione con il vento solare.
- Azione del Sole sugli ambienti planetari.
- Sviluppo di sensori ENA per la missione BepiColombo e per altre missioni future.

1.4.2 Tabella sintetica delle partecipazioni a progetti di ricerca

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
ESS (Esplorazione e Sistema Solare)	inizio 1.6.2007; attualmente in corso	Studio del sole, della fotosfera e della corona, e delle interazioni con i pianeti e Studio di tutti gli oggetti che costituiscono il Sistema Planetario, quali i pianeti ed i loro satelliti, i corpi minori, il mezzo interplanetario.	Le tecniche che saranno utilizzate per l'esecuzione del progetto sono molteplici e vanno dalla modellistica, all'analisi e interpretazione dati, alla messa a punto di facilities nazionali ove sia possibile realizzare misure di laboratorio in condizioni controllate, alle osservazioni da terra e dallo spazio.			OATo, IFSI, OACn, OACt, OATs, OAPa, OAAr, OARm, UNI Firenze, UNI Calabria, UNITOV, UNI L'Aquila, UNI Padova, UNI Urbino, UNI PA, CNR – Ist. Nazionale per la Fisica della Materia	ASI	La scadenza del programma è fissata al 1 giugno 2010 (durata 36 mesi)
Attività Scientifica per l' Analisi Dati Sole e Plasma	Inizio progetto (Kick Off) da stabilire (probabilmente nel 2009)	L'obiettivo del progetto consiste nel massimizzare il ritorno scientifico delle partecipazioni ASI alle missioni elio fisiche nell'ambito del programma ILWS SOHO, HINODE, STEREO, TRACE, SDO, ULYSSES, CLUSTER, DOUBLE STAR, e al programma Indici Geomagnetici, GIFINT e nella pianificazione di ulteriori osservazioni.	L'esecuzione del progetto si basa su un'attività prettamente scientifica, sullo sviluppo di cataloghi sempre più sofisticati per l'accesso a moli di dati che ormai coprono più di un ciclo di attività solare e sulla gestione evolutiva degli archivi di SOHO e di Cluster.			OATo, OACn, OACt, OATs, OAPa, OAAr, OARm, IFSI, UNI Firenze, UNI Calabria, UNI Padova, UNITOV, UNI PA	ASI	Kick Off + 30 mesi
EAST European Association for Solar Telescopes	inizio 2007; attualmente in corso	Scopo di EAST e' di assicurare l'accesso agli astronomi solari europei alle facility osservative da Terra ad elevata risoluzione localizzate nel mondo. Al fine di raggiungere tale obiettivo EASY progetterà, costruirà ed opererà il telescopio di futura generazione EST (European Solar Telescope) nelle isole Canarie.		IAC, KIS, UU, THEMIS, INAF, MPG, RSAS, UPS, QUB, UCL, MSSL, OBS, PARIS	INAF (che rappresenta tutti gli istituti INAF ed universitari coinvolti nella collaborazione)	OAAr, OARm, OACt, OATs UNICAL Univ CT UniToV UniAQ	INAF UE-OPTICON	L'attività dell'associazione continuerà nel prossimo triennio

PRIN MIUR 2007: Ottiche spettropolari metriche innovative per la diagnostica di campi magnetici solari	Inizio: novembre 2008 Attualmente in corso	Studio su componenti ottici innovativi per la determinazione dei campi magnetici nella corona solare	Verranno determinate le caratteristiche ottiche degli strumenti adibiti alla misura dei campi magnetici solari mediante effetto Hanle			Univ. FI (coordina), OATo	MIUR Cofinanziamento: Univ. FI INAF	L'attività del progetto verrà svolta nei prossimi due anni
SOLAIRE (Solar Atmospheric and Interplanetary Research) Research Training Network (RTN) co-finanziato dall'EU nell'ambito FP-6	inizio 1.6.2007; attualmente in corso	Studio della struttura e interazione degli strati dell'atmosfera solare: Emersione di flusso magnetico dall'interno del Sole alla corona ; Connettività magnetica attraverso gli strati dell'atmosfera solare ed estrapolazioni di campo magnetico; Riconnessione magnetica; Brillamenti solari; Coronal Mass Ejections e dinamica interplanetaria	Il progetto prevede un approccio multidisciplinare – Applicazione di tecniche numeriche di programmazione parallela; Applicazione di metodi analitici di alto livello; Confronto dei risultati ottenuti con osservazioni fotosferiche, cromosferiche e coronali.	Istituto de Astrofisica de Canarias (istituto coordinator) ES; University of St. Andrews UK; Katholieke Universiteit Leuven B; Max-Planck Institut fuer Sonnensystemforschung D; Niels Bohr Institute, University of Copenhagen DK; Universitet i Oslo N; Observatoire de Paris, Meudon F; Ruhr-Universitat Bochum D; University of Glasgow UK; Università di Catania I; Utrecht University NL; Eotvos University Budapest HU; Fluid Gravity Engineering Ltd UK		Dipartimento di Fisica e Astronomia, Sezione Astrofisica, dell'Università di Catania (i partecipanti sono associati INAF) e astronomi dell'OACt	EU – programma quadro FP-6	La scadenza del programma è fissata al 31 maggio 2011 (durata 48 mesi)

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
---------------	--------------------	-------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------	-----------------------------	---------------------------------	----------------------------

1.4.3 Tabella sintetica delle partecipazioni a strumenti a Terra

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
IBIS a Sac Peak (NSO, USA)	IBIS (Interferometric Bldimensional Spectrometer), e' progettato per acquisire immagini monocromatiche e della superficie solare con alta risoluzione spettrale, spaziale e temporale, e' stato installato a Giugno 2003 al Dunn Solar Telescope (DST) del National Solar Observatory (NSO; USA - NM).	Lo strumento e' indicato per lo studio di processi altamente dinamici nella fotosfera e cromosfera del sole. In particolare studio delle condizioni fisiche dell'atmosfera solare, dinamica dei processi convettivi ed oscillatori, emersione ed evoluzione di regioni magnetiche.	E' composto da due canali per imaging spettrale. Il sistema spettroscopico a banda stretta (~5pm) e' composto da due interferometri di fabry-Perot in montatura classica. Sono possibili anche osservazioni in luce polarizzata per indagini spettropolarimetriche della fotosfera e cromosfera.	IBIS e' uno strumento costruito presso INAF - Arcetri, assieme a Dip di Astronomia e Scienza dello Spazio Univ di Firenze e il Dip. di Fisica dell'Uni. di Roma "Tor Vergata". Collaborazione con Sac Peak/NSO	OAAr, OARm, OACt, IFSI Università: FI, Tor Vergata, Calabria, Catania	OAAr, OARm, OACt Università: FI, Tor Vergata, Calabria, Catania	INAF, MIUR, MAE	PRIN INAF: solo osservativo fino al 2009
EST European Solar telescope	E' un progetto pan-europeo iniziato nel Febbraio 2008. Attualmente è nella fase di studio di fattibilità.	EST sarà ottimizzato per lo studio dell'accoppiamento magnetico tra la fotosfera profonda e la cromosfera. Questo permetterà lo studio dell'interazione tra campo magnetico solare e dinamica del plasma solare a diverse scale spaziali e temporali. the thermal, dynamic and magnetic properties of the plasma over many scale heights,	Telescopio solare della classe dei 4-metri da realizzarsi nelle isole Canarie. Permetterà l'osservazione spettrale e spettropolarimetrica simultanea attraverso strumenti per imaging a diverse lunghezze d'onda E' previsto un canale per MCAO.	IAC, KIS, UU, THEMIS, UTOV, INAF, MPG, RSAS, UPS, QUB, UCL-MSSL, AIASCR, AISAS, GranTeCA, ObsParis.	L'Italia ha una partecipazione importante con la responsabilità di WP e sWP. In particolare INAF coordina: WP10000 Data Acq sWP 7100 BB imag. UToV coordina: sWP5300HeatStop La partecipazione industriale e' di SRS.	OAAr, IFSI, OARm, OACt, OATs UniAQ UNICAL Univ CT Uni FI UniToV	EU-FP7 Cofinanziamento del personale partecipante attraverso mesi uomo.	Finanziamento EU-FP7 triennale 2008-2011

SuperDARN	Terminata manutenzione radar Kerguelen. Finanziata l'installazione di due nuovi radar a Dome C, in Antartide.	SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) è una rete di radar HF che studiano la ionosfera terrestre e, in particolare, la convezione del plasma ionosferico nelle regioni aurorali e polari. I radar lavorano in modo continuo e sincronizzato, in entrambi gli emisferi, fornendo una mappa della convezione polare in real-time.	I radar sfruttano la diffusione coerente delle irregolarità ionosferiche nello spettro di frequenze HF (8-20 MHz), e misurano la velocità di convezione dal loro spostamento Doppler. Attraverso una scansione lungo 16 direzioni azimutali ogni radar copre un campo di vista di circa 52° e lungo ogni direzione è possibile selezionare circa 70 "porte", fino a una distanza di 3000 km dal sito del radar.	Giappone: Solar-Terrestrial Environment Lab. ,Nat. Inst. of Polar Research, Communications Res. Lab. ; USA : Geophys. Inst., UAF, JHU/APL, Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Dartmouth College; Univ. of Saskatchewan (Canada), CNRS/LPCE (France), IFSI-INAF (Italy), UK: Univ. of Leicester , B.A.S., Univ. of Natal (Rep. of South Africa), Australia: La Trobe Univ., Univ. of Newcastle	L'Italia partecipa insieme ai francesi del LPCE/CNRS alla gestione del radar di Kerguelen (emisfero Sud) e parteciperà all'installazione e alla gestione di due nuovi radar alla base antartica Concordia.	IFSI	PNRA	La rete continuerà a fare misure per il prossimo triennio. E' prevista l'installazione e del radar a Dome C nella campagna antartica 2009-2010.
SEGMA (South Europe GeoMagnetic Array)	Acquisizione continua dei dati.	Misura continua delle variazioni del campo geomagnetico a bassa latitudine per monitorare le regioni magnetosferiche e interne (in particolare si può determinare la densità dove non sono disponibili i dati da satellite).	4 stazioni equipaziate in latitudine (Nagycenk, 42.8°N, Castello Tesino 40.8°N, Ranchio 38.3°N, L'Aquila 36.3°N) equipaggiate con magnetometri triassiali fluxgate (sensibilità 10 pT, campionamento 1 sec.).SEGMA fa parte della rete ULTIMA (Ultra Large Terrestrial International Magnetic Array), un consorzio internazionale che promuove attività scientifiche in ambito magnetosferico, ionosferico e atmosferico	Un. L'Aquila				L'acquisizione e dei dati continuerà per il prossimo triennio. Si intende inoltre si intende ottimizzare la rete ed effettuare campagne di misure per una sua possibile estensione a sud (Lampedusa) e ad ovest (Sardegna).
Osservatori Geomagnetici in Antartide	Acquisizione continua dei dati.	Misura continua delle variazioni del campo geomagnetico ad alta latitudine per monitorare le regioni di confine dove si verifica il trasferimento di energia dal vento solare alla magnetosfera.	2 stazioni a Baia di Terranova (80.0°S) e a Dome C (88.8°S) equipaggiate con magnetometri triassiali ad induzione (sensibilità 10 pT, campionamento 1 sec.)					L'acquisizione e dei dati continuerà per il prossimo triennio.
ITACA2	Progetto di ricerca nell'ambito del PNRA, supportato da fondi PEA2003, PEA2004 e PEA2006.	Osservazione continuativa dell'attività aurorale ad alta latitudine, per lo studio dell'interazione vento solare-magnetosfera e dei processi di riconnessione magnetica.	Il sistema è composto da 2 osservatori dotati di <i>all-sky camera</i> digitali che registrano automaticamente l'emissione aurorale nelle tre lunghezze d'onda 427.8, 557.7 e 630.0 nm.	IFSI-Rm FMI-Space (Finlandia)	Le due stazioni di ITACA2 rappresentano i due punti di osservazione più a nord del network internazionale MIRACLE, guidato da FMI-Space (Finlandia)	IFSI	PNRA	ITACA2 è una struttura osservativa "permanente" ed attualmente non è previsto un termine del progetto.
SVIRCO (Studio Variazioni Intensità Raggi)	Acquisizione continua dei dati in tempo reale.	Studio delle variazioni d'intensità nella radiazione cosmica	Neutron monitor 20-NM-64 localizzato a Roma (42N - 13E). Rigidità magnetica del sito osservativo ~	IFSI-Rm, UNIRoma3	L'Italia gestisce l'Osservatorio per la rete mondiale di rivelatori terrestri di raggi	IFSI-Rm	Fondi INAF	L'acquisizione e dei dati continuerà per il prossimo

Cosmici) Osservatorio e Mini ret		breve, medio e lungo termine dal luglio 1957.	6 GV		cosmici			ciclo di attività solare.
LARC (Laboratori o Antartico per i Raggi Cosmici)	Acquisizione continua dei dati.	Studio delle variazioni d'intensità nella radiazione cosmica a breve, medio e lungo termine dal 1991.	Neutron monitor 6-NM-64 Cilen + 3-NM-64 italiano localizzati Antartide: 62S - 301E. Rigidità magnetica del sito osservativo ~ 3 GV	IFSI-Rm, Università del Cile	L'Italia coordina l'attività per la rete mondiale di rivelatori terrestri di raggi cosmici.	IFSI-Rm	PNRA, Istituto Nazionale Antartico Cileno, UChile	L'acquisizion e dei dati continuerà per il prossimo ciclo di attività solare.
ESO (Emilio Segre Observatory)	Acquisizione continua dei dati in tempo reale.	Studio delle variazioni d'intensità nella radiazione cosmica a breve, medio e lungo termine dal 1998.	Neutron monitor 6-NM-64 localizzato in Israele: 33N - 36E. Rigidità magnetica del sito osservativo ~ 11 GV	IFSI-Rm, UNIRoma3, UNITelAviv	L'Italia partecipa alla gestione del dell'Osservatorio.	IFSI-Rm, UNIRoma3	Fondi INAF per mantenime nto esportazion e strumenti, Fondi UNITelAvi v per la gestione ordinaria	L'acquisizion e dei dati continuerà per il prossimo ciclo di attività solare.
OLC (Osservatori o Los Cerrillos)	Acquisizione continua dei dati.	Studio delle variazioni d'intensità nella radiazione cosmica a breve, medio e lungo termine dal 2000.	Neutron monitor 6-NM-64 localizzato in Cile: 34S - 290E. Rigidità magnetica del sito osservativo ~ 11 GV	IFSI-Rm, UNICHile, UNIRoma3	L'Italia coordina l'attività per la rete mondiale di rivelatori terrestri di raggi cosmici.	IFSI-Rm, UNIRoma3	Fondi PNRA per mantenime nto esportazion e strumenti, Fondi UNICHile per la gestione ordinaria	L'acquisizion e dei dati continuerà per il prossimo ciclo di attività solare.
TSRS	Acquisizione continua dei dati e loro elaborazione	Il TSRS (Trieste Solar Radio System) ottiene misure radiopolarimetri che dell'intero disco solare ad elevatissima risoluzione temporale (1 ms), simultaneament e nelle 6 frequenze di osservazione e nei due modi di polarizzazione circolare	2 radiopolarimetri multicanale operanti, rispettivamente, - nella banda metrica (antenna parabolica da 10 m) alle frequenze 237, 327, 408 e 610 MHz - nella banda decimetrica (antenna parabolica da 3 m) alle frequenze 1420 e 2695 MHz			OATs	ASI, INAF	dei dati continuerà per il prossimo triennio
PSPT	Acquisizione continua dei dati e loro elaborazione	il PSPT (Precision Solar Photometric Telescope) acquisisce immagini giornaliere in intensità dell'intero disco solare relative alla base della fotosfera e alla bassa cromosfera, utilizzate per studi inerenti - i meccanismi che determinano le variazioni dell'emissione solare totale e spetttrale alle brevi e lunghe scale temporali; - le proprietà	Apertura: 15 cm doppio, 5 cm specchio attivo Filtri interferenziali: Ca II K 393.3±0.25 nm, Blue 409.6±0.25nm, Red 607.2±0.50, G-band 430.7±1.2 nm, Green 535.7±0.50 nm, Ca II K 393.4±0.10 nm. Rivelatore: Camera Xedar, rivelatore CCD Thomson TH7899M Dimensioni CCD: 2048 x 2048 pixel Range dinamico: 12 bit (4 frames/s) Spare: Camera Apogee ALTA			OARm	MIUR, ASI, Regione Lazio, INAF	dei dati continuerà per il prossimo triennio

		fotometriche e di evoluzione delle regioni magnetiche;- l'inter-calibrazione e l'analisi di serie storiche di spettroeliogrammi nella riga Ca II K e immagini solari in luce bianca, ai fini della determinazione di un possibile contributo dell'attività solare ai cambiamenti climatici - le proprietà della supergranulazione	U9000, rivelatore CCD KODAK KAF 09000 Dimensioni CCD: 3056x3056 pixel Range dinamico: 16 bit (1MHz) – 12 bit (5MHz) Scala spaziale: 2 arcsec/pixel Accuratezza fotometrica: migliore di 0.5% pixel					
VAMOS	Acquisizione dati e loro elaborazione Attività di laboratorio per sviluppo celle a vapori di potassio	Il VAMOS (Velocity And Magnetic Observations of the Sun) è un filtro solare a banda stretta basato sulla tecnologia del filtro Magneto-Ottico (MOF) e su analizzatori di luce polarizzata a cristalli liquidi, in grado di acquisire a cadenza video e quasi simultaneamente e immagini dell'intero disco solare in intensità, velocità e campo magnetico longitudinale. Serie temporali di immagini in intensità e velocità con cadenza di 1 minuto e durata di alcuni giorni sono adoperate per lo studio delle oscillazioni solari (Eliosismologia) e della dinamica dell'atmosfera solare attraverso l'analisi di Fourier dei due segnali e delle loro correlazione	Diametro: 2.5 cm campo di vista: full disk risoluzione spaziale: 4 arcsec/pixel sensore: video CCD (768x512) lunghezza d'onda: 769.9nm (MOF con celle a vapori di sodio) banda passante: ~30 mAng con alta trasmissione (fino a ~50%) osservabili: intensità, velocità Doppler, campo magnetico longitudinale			OACni	MIUR, ASI, INAF	L'acquisizione dei dati, limitata a specifiche campagne osservative, continuerà per il prossimo triennio
Barra Equatoriale Solare	Acquisizione continua dei dati e loro elaborazione	Attualmente la barra equatoriale movimentata tre telescopi in grado di acquisire giornalmente	1. rifrattore Cook - diametro/focale: 150/2230 mm - scopo: osservazioni visuali in luce integrata della fotosfera; 2. rifrattore diametro/focale:			OACt	ASI, INAF	L'acquisizione dei dati continuerà per il prossimo triennio

		immagini in intensità dell'intero disco solare relative alla fotosfera e alla cromosfera. Le osservazioni forniscono un'estesa quantità di dati relativi a gruppi di macchie, facole, filamenti, protuberanze e brillamenti. In particolare, danno informazioni su posizione, morfologia, ed evoluzione temporale delle facole cromosferiche, dei filamenti e protuberanze, nonché sui livelli di energia emessa durante i brillamenti solari osservati	150/2300 mm, dotazione: filtro Zeiss H α , banda passante 0.25 - 0.5 Å, spostamento del centro della banda regolabile di ± 1 Å; camera con CCD E2V da 2048 x 2048 pixel e range dinamico di 16 bit) per l'osservazione della cromosfera; 3. rifrattore diametro/focale: 150/2300 mm dotazione: un filtro Halle H α . Entrambi i rifrattori per le osservazioni H α sono dotati di lenti asferiche, montate su supporti con 5 gradi di libertà i cui spostamenti micrometrici sono controllati elettronicamente, per una messa a fuoco degli strumenti più rapida e precisa.					
--	--	---	--	--	--	--	--	--

1.4.4 Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali in corso

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
CIS per CLUSTER	La missione è in corso	La missione Cluster (flotta di quattro satelliti) studia in maniera tridimensionale i processi di fisica del plasma. CIS fornisce le funzioni di distribuzione tridimensionali per H ⁺ , He ⁺ , He ⁺⁺ , O ⁺ .	2 Analizzatori elettrostatici (HIA, Hot Ion Analyzer e CODIF, Composition and Distribution Function Analyzer) di tipo top-hat più un analizzatore tempo del volo.	CESR-CNRS (France), University of New Hampshire (USA), MPE (Germany), MPS (Germany), University of California Berkeley (USA), University of Washington (USA), Swedish Institute of Space Physics - Kiruna (Sweden)	L'IFSI ha partecipato al disegno e allo sviluppo dell'analizzatore (HIA) e svolge l'analisi dati	IFSI	ASI	Richiesta l'estensione fino al 2012
ASPERA-3 per ESA/MEX	La missione è in corso	Studio dell'ambiente di Marte e interazioni tra vento solare e atmosfera marziana tramite osservazione di particelle neutre e cariche	Pacchetto costituito da due sensori per la misura di neutri energetici, un sensori di ioni ed un rivelatore di elettroni.	IRF (Svezia), SwRI (USA), IFSI (It), RAL (UK), FMI (Finlandia), CESR (Fr), UniBe (Svizzera)	L'Italia partecipa alla visualizzazione in "near real time" e all'analisi dei dati	IFSI	ASI,	Richiesta l'estensione fino al 2012
ASPERA-4 per ESA/MEX	La missione è in corso	Studio dell'ambiente di Venere e interazioni tra vento solare e atmosfera di Venere tramite osservazione di particelle neutre e cariche	Pacchetto costituito da due sensori per la misura di neutri energetici, un sensori di ioni ed un rivelatore di elettroni.	IRF (Svezia), SwRI (USA), IFSI (It), RAL (UK), FMI (Finlandia), CESR (Fr), UniBe (Svizzera)	L'Italia partecipa alla visualizzazione in "near real time" e all'analisi dei dati	IFSI	ASI,	Richiesta l'estensione fino al 2012
HERSCHEL-SCORE (Sounding-rocket Coronagraphic Experiment)	Selezionato dalla NASA nel 2003 Integrazione e pre-flight tests completati nel 2008	Osservazione delle emissioni coronali nelle bande dell'EUV (HeII 30 nm) e UV (HI 122 nm) e nella larga banda visibile polarizzata per determinazione densità e velocità di elio, idrogeno ed elettroni coronali	UVCI (UV & Visible-light Coronagraphic Imager) è un coronografo multibanda occultato esternamente. Il disegno ottico è il prototipo del coronografo, METIS proposto per lo ESA Solar Orbiter	NRL (USA) nel ruolo di Lead Institute del programma HERSCHEL, INAF-OATo, Univ. di Firenze e Pavia (I), responsabili di UVCI/SCORE IAS (F), responsabile di HeCor	Il consorzio italiano, guidato da OATo è responsabile per il disegno, produzione, integrazione e calibrazione della struttura, ottica telescopio e polarizzatore, e detector per la banda nel visibile dell'UVCI/SCORE	OATo (Lead Institute), Dip. Astronomia e Scienza Spazio Univ. di Firenze e Dip. Eletttronica Univ. Pavia	ASI, MIUR, INAF	Lancio: marzo 2009 Fase di calibrazione post-volo entro il 2009
SERENA per ESA/BepiColombo/MPO	Inizio fase C. PDR superato positivamente a Dicembre 2008.	Studio dell'ambiente di Mercurio (esosfera, magnetosfera e interazioni con la superficie) tramite	Consorzio internazionale per la realizzazione di due sensori per la misura di neutri termici ed energetici e due sensori di ioni di origine planetaria e	IFSI (It) (PI Institute), SwRI (USA), IRF (Svezia), IWF (Austria)	L'IFSI è responsabile principale dell'intero progetto. Inoltre, produrrà in collaborazione con il CNR, il sensore di neutri energetici,	IFSI (lead Institute), CNR/IFN, CNR/ISC	ASI	Fase CD 2009-2014 Fase cruise and operations 2014-2021

		osservazione di particelle neutre e cariche	di vento solare.	FMI, (Finlandia), CNR/IFN (It), CNR/ISC (It), CESR (Fr), GSFC ISAS, UniBe, JHU/APL, SAO, NOA, IKI, IPSL, KFKI, MPS, CSSAR, University of Ireland, ESA/ESTEC	la System Control Unit dell'intero esperimento. Per tali attività si avvale della collaborazione di una PMI italiana: AMDL srl			
SIXS per ESA/BepiCo lombo/MPO	Inizio fase C. PDR superato positivamente a Dicembre 2008.	Monitoraggio dell'emissione di SEPs e raggi X solari.	Rivelatori per la misura di spettri di raggi X nella banda di energia 1- 20 keV, e spettri di protoni ed elettroni rispettivamente nei range di energia 1-30 MeV e 0.1-3 MeV.	University of Leicester (UK), University of Helsinki (Finland), Barcelona University, AFRL-Hanscom (USA), IFSI (Italy)	L'IFSI collabora agli studi scientifici	IFSI	ASI	Fase CD 2009-2014 Fase cruise and operations 2014-2021
MEA per ESA/BepiCo lombo/MMO	Inizio fase C. PDR superato positivamente a Dicembre 2008.	Studio della magnetosfera di Mercurio	Analizzatore elettrostatico toroidale per la misura delle funzione di distribuzione tridimensionali degli elettroni.	Kyoto Univ., STEL/Nagoya Univ., Tokyo Inst. Tech., Tohoku Univ., Univ. Tokyo, NIPR, NiCT,CETP-IPSL, CNRS (France), MSSL/UCL (UK), IFSI (Italy), Charles Univ., IAP (Czech), BIRA-IASB (Belgium), MPS (Germany), Univ. Bern (Switzerland), Boston Univ. (USA), National Central Univ. (Taiwan)	L'IFSI collabora alla realizzazione dello strumento	IFSI	ASI	Fase CD 2009-2014 Fase cruise and operations 2014-2021

1.4.5 Tabella sintetica delle partecipazioni a possibili missioni spaziali

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
SWA per ESA/Solar Orbiter	Proposta all'ESA (2008) in fase di valutazione	misure in-situ del vento solare allo scopo di indagare la fisica che governa i principali processi di accelerazione e riscaldamento del plasma coronale	pacchetto di plasma costituito da un analizzatore per protoni ed alfa, un analizzatore per elettroni, un analizzatore per ioni minori ed una DPU che gestisce tutta la suite di plasma	MSSL-UCL (UK) nel ruolo di Lead-Institute, CESR(Fr), SWRI(USA), UNIMI(USA), INAF-IFSI(It)	Il ruolo dell'Italia è quello di progettare e fornire la DPU di tutta la suite di plasma, nonché quello di contribuire al disegno dell'analizzatore di protoni ed alfa	-IFSI (lead Institute), Dpt. Fisica Univ. L'Aquila, Dpt. Fisica Univ. Calabria	ASI	Fase di pre lancio 2008-2016 Fase di post-lancio 2016-2022
METIS per ESA/Solar Orbiter	Proposta all'ESA (2008) in fase di valutazione	Osservazione delle emissioni coronali nelle bande dell'EUV (HeII 30 nm) e UV (HI 122 nm) e nella larga banda visibile polarizzata per determinazione densità e velocità di elio, idrogeno ed elettroni coronali	METIS è un coronografo multibanda occultato esternamente. Il disegno ottico è adattato dal prototipo UVCI/SCORE per osservazioni coronali dal Solar Orbiter da 0.25 a 0.35 AU.	INAF-OATo, Lead Institute Univ. Padova, Firenze, INAF - OAcT, Naval Research Laboratory, (USA) Max-Planck-Institute fuer Sonnensystemforschung, (D) Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, (F)	Il consorzio internazionale è guidato da OATo. Il contributo italiano consiste nel disegno del coronografo e nella produzione, integrazione e calibrazione della struttura del telescopio, e del polarizzatore per la banda nel visibile di METIS	OATo, (program management) Univ. Padova, Firenze, INAF - OAcT	ASI	Fase di pre lancio 2009-2017 Fase di post-lancio 2017-2023
ESA/Marco Polo (model payload RAMON)	A settembre 2008 l'ESA ha valutato positivamente la proposta di studio sottomessa a seguito della Call for Payload Study Consortia for MarcoPolo " emessa il 5 Maggio 2008, includendo RAMON nel model payload della missione	Studio dei processi di erosione e analisi a distanza delle caratteristiche della superficie di un Near Earth Object	Strumento costituito da due sensori di particelle neutre termiche ed energetiche rilasciate dalla superficie del NEO.	IFSI (It) (PI Institute), SWRI (USA), UniBe (Svizzera) CNR/IFN (It), CNR/ISC (It), OARm (It), CESR (Fr), FMI (Finlandia)	L'IFSI è responsabile principale del progetto. Inoltre, produrrà in collaborazione con il CNR e OARm, il sensore di neutri energetici, la System Control Unit dell'intero esperimento. Per tali attività si avvale della collaborazione di una PMI italiana: AMDL srl	IFSI (lead Institute), AMDL, CNR/IFN, CNR/ISC, OARm	ASI	Lo studio di fase (A) termina a luglio 2009
ESA /Cross-Scale (model payload CPP)	A settembre 2008 l'ESA ha valutato positivamente la proposta di studio contenuta nella lettera di interesse sottomessa a seguito della Call for Payload Study Consortia for Cross-Scale " emessa il 5 Maggio 2008	La CPP fa parte di un pacchetto di plasma che ha lo scopo di studiare i processi di accoppiamento fra le diverse scale fisiche nei plasmi spaziali	gestione della totalità degli strumenti di plasma della missione sui singoli satelliti allo scopo di ottimizzare le risorse.	IFSI(It) nel ruolo di lead-institute, MSSL-UCL (UK), CESR(Fr)	Il ruolo dell'Italia è quello di progettare e fornire la DPU di tutta la suite di plasma su ogni singolo satellite, nonché quello di contribuire al disegno dell'analizzatore di protoni ed alfa	IFSI (lead Institute), Dpt. Fisica Univ. L'Aquila, Dpt. Fisica Univ. Calabria	ASI	Lo studio di fase (A) termina a luglio 2009

ASI /MAGIA (Strumento ALENA) per	La fase A della missione è stata già finanziata dall'ASI. E' stata presentata la proposta di finanziamento per le fasi successive (BCDEF). ALENA è nel model payload.	Studio dei processi di erosione e analisi dell'interazione del vento solare con la superficie lunare	Strumento per il rilevamento degli atomi neutri energetici rilasciati dalla superficie lunare	IFSI (It) (PI Institute), CNR/IFN (It), CNR/ISC (It)	L'IFSI è responsabile dello strumento che sarà prodotto in collaborazione con il CNR. Per tali attività si avvale della collaborazione di una PMI italiana: AMDL srl	IFSI (lead Institute), AMDL, CNR/IFN, CNR/ISC	ASI	All'inizio del 2009 la missione sarà valutata le fasi BCDEF. Il lancio è previsto per il 2012.
ESA /JGO-Laplace (Model payload PLP/ENA)	Il gruppo di studio della missione Large ha presentato una proposta di missione congiunta con NASA/EJSM. PLP è nel model payload	Studio dei processi di erosione della superficie e analisi dell'interazione del plasma magnetosferico gioviano con Ganimede attraverso il suo campo magnetico interno.	Il sensore ENA, per il rilevamento degli atomi neutri energetici rilasciati dalla superficie di Ganimede, fa parte del package di plasma	IRF (Svezia), IFSI (It)	L'IFSI partecipa alla definizione dei requisiti del payload in particolare per l'unità ENA.	IFSI		All'inizio del 2009 la missione sarà valutata per la fase A
ASPICS per ESA Poba-3 (Association de Satellites Pour l'Imagerie et l'Interferometrie de la Couronne Solare)	Proposta « Startiger » all'ESA per sviluppo di tecnologie chiave in fase di valutazione (2009)	Immagini della corona solare ad alta risoluzione spaziale e spettroscopia bidimensionale in diverse righe di emissione, dalla base della corona fino a 3 raggi solari.	coronografo occultato esternamente con il telescopio su un satellite e l'occultatore esterno su un altro satellite a circa 100 m di distanza dal primo	Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, (F) Centre Spatial de Liège (B) INAF-OATo, Univ. Padova Firenze, (I) Univ. Athens e National Observatory of Athens (Greece)	Il consorzio italiano è responsabile per lo sviluppo di un polarimetro a cristalli liquidi sintonizzabile alle righe d'emissione coronali nel visibile, lo studio di sistemi d'apodizzazione della diffrazione dall'occultatore.	OATo, Univ. Padova Firenze,	ESA, ASI	Pre-fase A (2009)

ADAHIELI (ADvanced Astronomy for HELlophy sics)	La fase A della missione è stata già finanziata dall'ASI. E' stata presentata la proposta di finanziamento per le fasi successive (BCDEF) ISODY e MIOS sono due strumenti di vaseline del payload scientifico.	L'esperimento è una piccola missione ASI. E' il primo esperimento ASI totalmente dedicato all'eliofisica in particolare allo studio della dinamica fotosferica e cromosferica solare per mezzo di imaging spettropolari metrico. Intende anche studiare i meccanismi di trasporto di energia nelle regioni cromosferiche e solari ed i flare solari nella regione del mm. Studio della circolazione del plasma magnetosferico o terrestre e scambio energetico tra magnetosfera ed atmosfera.	ISODY: Suite di piano focale composta da un canale spettrale a banda stretta, uno a banda larga ed un sistema di stabilizzazione dell'immagine. Il sistema a banda stretta è composto da due interferometri di Fabry-Perot. MIOS: Radiometro operante nella regione del mm per lo studio dei flare solari Trumenti opzionali: NPA: Strumento composto da due unità di rivelatori ENA DIMMI-2h : Strumento composto da due canali a doppio filtro Magneto-Ottico MOF. Imaging in due righe solari EUV : Extreme UV Imager	UToV (PI), UFI e UPG (Co-PI). IFSI, IASF, FI, CNR/INOA, CNR/ISC, Univ. del Maryland, JPL, Univ.Hawaii ed Oulu. AMDL, Galileo Avionica, Thales Alenia	Il PI scientifico è dell'Università di Roma Tor Vergata, mentre Prime industriale è Carlo Gavazzi Space. Del team di ADAHELI fanno parte circa 50 ricercatori italiani di diverse sedi universitarie, INAF e CNR. Team industriale: CGS, Galileo Avionica, Thales Alenia, AMDL, Telespazio, ALTRAN L'IFSI è responsabile dello strumento che sarà prodotto in collaborazione con il CNR. Per tali attività si avvale della collaborazione di una PMI italiana: AMDL srl	UToV (PI), UFI e UPG (Co-PI) UCAL, UAQ, UCT, URM1, UMI, IFSI, IASF, OAcT, OARm, FI, CNR/INOA, CNR/ISC	ASI	All'inizio del 2009 la missione sarà valutata le fasi B e CDEF. Il lancio è previsto per il 2012.
---	--	--	--	--	---	---	------------	---



2. I PIANETI E I CORPI MINORI DEL SISTEMA SOLARE E DI ALTRI SISTEMI STELLARI

2.1 Introduzione: la Planetologia italiana nella prima parte del XXI secolo

Lo studio dei corpi planetari vive attualmente uno dei periodi più entusiasmanti della sua storia. Da un lato, la scoperta di 335 sistemi planetari extrasolari ha ampliato le frontiere della moderna astrofisica costringendo la comunità scientifica a ripensare al Sistema Solare come a un caso peculiare all'interno di una varietà molto ampia di possibili soluzioni.

Tale scoperta ha dato vita ad una nuova scienza multidisciplinare, la bioastronomia, che ha come scopo precipuo lo studio dell'origine, dell'evoluzione e dell'espansione della vita nell'Universo. Allo stesso tempo, lo studio storicamente più tradizionale dei pianeti e dei corpi minori del Sistema Solare è in piena fioritura, potendo trarre profitto dal miglioramento delle tecniche di indagine, sia da terra che dallo spazio. Ingenti risorse umane e finanziarie sono dedicate allo studio dei problemi ancora aperti che vanno dalla ricerca dell'acqua e della vita in altri corpi del Sistema Solare ed Extrasolare, alle tecniche di scoperta e di monitoraggio degli oggetti che possono avere collisioni catastrofiche col nostro pianeta, per andare fino allo studio degli indizi che abbiamo a disposizione riguardo ai processi di formazione del nostro sistema planetario, visti anche in un contesto astrofisico più ampio di formazione stellare ed evoluzione chimica della Galassia. Recentemente, nell'ambito dell'Unione Astronomica Internazionale, si è sviluppato un aspro dibattito legato alla revisione di alcune nozioni fondamentali, quali la definizione stessa del significato della parola "pianeta", con il declassamento di Plutone e l'introduzione della nuova classe dei "nano-pianeti". Non meno attuale e interessante è lo studio dei piccoli corpi su orbite caotiche che possono impattare in tempi più o meno lunghi il nostro pianeta, con conseguenze gravi per la civiltà umana e la biosfera più in generale, un tema che periodicamente attrae l'attenzione dei grandi mezzi di comunicazione di massa.

Nel contesto internazionale degli studi planetologici, l'Italia svolge da anni un ruolo di primissimo piano, grazie all'impegno di una comunità scientifica attiva e dinamica, che ha saputo ritagliarsi spazi da protagonista in attività che vanno dalla pura ricerca teorica di base alla osservazione remota da terra e dallo spazio, agli esperimenti di laboratorio, fino alla costruzione di strumenti essenziali che hanno volato e stanno volando a bordo delle principali missioni spaziali di esplorazione planetaria.

E' infatti importante notare che l'attività planetologica quale essa si sta sviluppando in questi anni utilizza il settore di esplorazione spaziale come uno strumento di primaria importanza per ottenere dati e conoscenze essenziali per ogni tentativo di interpretazione, analisi e modellizzazione dei corpi planetari. L'attività spaziale è in molti casi fortemente caratterizzante in termini di immagine, con la partecipazione a missioni in cui l'Italia riveste spesso un ruolo di primo piano, essendo in molti casi responsabile del concepimento di queste stesse missioni e dello sviluppo e della costruzione di strumenti di bordo essenziali. Queste attività sono per loro natura finanziate principalmente dall'Agenzia Spaziale Italiana e/o dall'ESA. D'altra parte, il coinvolgimento in attività spaziali è da considerarsi anche come l'ovvio sviluppo di attività di ricerca di base, sia teoriche che osservative e di laboratorio, che trovano nell'INAF la sorgente naturale di finanziamento, e che sono il risultato e l'espressione di una lunga tradizione storica che ha portato l'Italia ad esprimere in epoca moderna molti dei maggiori specialisti mondiali in campo planetologico. Il consolidamento di questa tradizione è uno dei compiti importanti cui l'INAF è chiamata a fare fronte in questo inizio di XXI secolo, in un momento di grande fioritura della planetologia in generale, ma di conseguenza anche di grande competizione internazionale.

Le attività in cui è attualmente coinvolta la comunità scientifica italiana vengono qui di seguito raggruppate in un piccolo numero di tematiche fondamentali. Visto che, come spiegato in precedenza, la comunità italiana è fortemente impegnata sia negli studi più tradizionali sia nei più recenti sviluppi, e si presenta, in questo ambito, sia in veste di fruitore di dati provenienti da missioni spaziali, sia in veste di



promotore e realizzatore di missioni e/o di specifici strumenti a bordo di sonde interplanetarie, si è deciso di evidenziare nelle tematiche fondamentali classiche di tipo “scientifico” quali siano le linee di ricerca che includano anche un coinvolgimento tecnologico nelle missioni, con responsabilità specifiche ben individuate.

2.2 Progetti recenti ed attività in corso per lo studio dei pianeti e dei corpi minori

2.2.1 Modelli dell'origine ed evoluzione di pianeti, satelliti naturali e corpi minori

La formazione del sistema solare è uno degli argomenti più complessi delle scienze planetarie. Infatti, benché le osservazioni forniscano informazioni dirette sullo stato attuale dei corpi che lo compongono, è molto complesso solo da esse risalire al processo che è stato necessario per generarli. Ancor più difficile è stabilire quali siano le relazioni genetiche tra i pianeti e la stella centrale e tra i pianeti e la materia diffusa, ancor presente sia nel sistema solare che al di fuori di esso e che ha sicuramente avuto un ruolo importante nel processo di formazione.

I gruppi di Planetologia dello IASF e IFSI di Roma portano avanti fin dagli anni '70 un lavoro pionieristico rivolto allo studio delle origini dei diversi corpi del sistema solare e dei processi principali che hanno determinato la loro evoluzione e complessiva differenziazione; tali studi di carattere teorico sono affiancati dallo sviluppo di modelli numerici. Il gruppo romano ha da tempo una reputazione di eccellenza in campo internazionale in questo ambito come attestato da collaborazioni internazionali significative e da una notevole produzione scientifica.

In particolare si sviluppano:

- Modelli di origine ed evoluzione dei pianeti terrestri
- Modelli di formazione dei pianeti giganti
- Modelli di evoluzione dei corpi primordiali (planetesimi)
- Modelli di evoluzione di comete e oggetti della Kuiper Belt

2.2.2 Pianeti interni e la Luna

Gli studi di planetologia comparata cercano di spiegare ed interpretare la grande varietà di proprietà fisiche e di habitat ambientali esibita dai pianeti interni del Sistema Solare. Il comune denominatore di tutti gli studi per questo settore è la comprensione della struttura fisica e della storia evolutiva dei pianeti di tipo terrestre, definiti come quei pianeti composti principalmente di roccia e metalli, e caratterizzati da densità relativamente alte, rotazione lenta, superfici solide, nessun anello e pochi satelliti. Tra questi si annoverano Mercurio, Venere, Terra e Marte e ai fini di quanto discusso in questo documento includeremo tra questi corpi anche la nostra Luna. Molti progetti portati avanti in questo ambito si avvalgono a questo fine dei dati prodotti da missioni spaziali in corso (MARS-EXPRESS, VENUS-EXPRESS), o si preparano ad analizzare informazioni che verranno fornite da missioni programmate per il prossimo futuro (BepiColombo, ExoMars).

E' opportuno notare che alcune delle tematiche studiate in questo settore, come la ricerca dell'acqua su Marte, o la ricerca dei crateri da impatto sulla superficie terrestre, sono argomenti di ricerca di grande impatto mediatico.

- **Studio di Marte.** La partecipazione dell'INAF allo studio di Marte avviene avvalendosi dei dati prodotti da due missioni spaziali in corso, gli orbiter Mars Express dell'ESA e Mars Reconnaissance Orbiter della NASA, e si prepara a svilupparsi in futuro traendo vantaggio da un'altra missione in fase di studio, ExoMars dell'ESA, la quale conterà di un lander e di un rover. La partecipazione italiana in Mars Express è importante: due strumenti di bordo su sette sono sviluppati in Italia, e l'Italia partecipa ai team scientifici dei rimanenti strumenti. La missione Mars Express sta fornendo dati di eccezionale qualità, ed è stata estesa fino al 2011, con un probabile prolungamento finale fino al 2017.

In Mars Reconnaissance Orbiter la partecipazione italiana comprende la realizzazione del radar sottosuperficiale SHARAD, uno strumento fondamentale per investigare la presenza di acqua nel

sottosuolo. Questa missione ha concluso la sua durata nominale all'inizio di dicembre 2008, ma è stata estesa per un altro anno marziano (circa due anni terrestri), per cui anche in questo caso vanno avanti le attività di analisi ed interpretazione dei dati ottenuti, che sono essenziali per migliorare la comprensione della storia e dell'evoluzione di Marte, e per esplorare la possibilità che il pianeta possa, almeno in passato, avere ospitato la vita.

- **Studio di Venere.** Lo studio di Venere per mezzo di osservazioni remote è resa notoriamente difficile dalla densa atmosfera che circonda il pianeta, ma la missione Venus Express dell'ESA sta fornendo attualmente nuove ed insostituibili opportunità di investigazione, e sta portando ad enormi progressi nella comprensione di questo pianeta. Gli studi riguardano la composizione chimica e la fisica dell'atmosfera e della superficie nonché della loro interazione, e dell'interazione dell'atmosfera con lo spazio esterno ed il vento solare. Il lavoro sperimentale e teorico di modellistica in supporto all'interpretazione dei dati di Venus Express è focalizzato sul trasferimento radiativo atmosferico per la determinazione della temperatura dalle bande di assorbimento della CO₂ e della composizione in atmosfera profonda fino alla superficie. In laboratorio vengono eseguite misure di trasmittanza della CO₂ alle condizioni estreme di Venere, ottenendo dati che servono per validare o raffinare il modello di trasferimento radiativo. Con la missione Venus Express l'ESA ha assunto un ruolo di leadership a livello mondiale nell'esplorazione di Venere, e questo è particolarmente vero per l'Italia, che ha fornito alcuni degli strumenti di bordo fondamentali per questa missione.
- **Studio di Mercurio.** Pur essendo estremamente interessante sotto molti punti di vista, Mercurio è uno dei pianeti meno studiati del Sistema Solare perché è difficile da osservare da Terra e perché è stato raggiunto una sola volta da una missione spaziale, Mariner (NASA) nel 1979. Per questi motivi l'ESA ha progettato la missione cornerstone BepiColombo, che verrà lanciata nel 2013. Questa missione, composta in realtà da due sonde di cui una costruita dall'Agenzia Spaziale giapponese, studierà Mercurio, la sua esosfera e la sua magnetosfera, e dovrebbe produrre una vera rivoluzione nella nostra comprensione di questo pianeta e della sua evoluzione e interazione con il resto del Sistema Solare. La partecipazione italiana (e quindi INAF) a questa missione è imponente: sono ben 4 gli strumenti a PI italiano, tra cui SIMBIOSYS (camere stereo e ad alta risoluzione e spettrometro), ISA (accelerometro), MORE (radio science), SERENA (esperimenti per lo studio dell'esosfera).

Questa missione ha stimolato vari programmi di osservazione e studio teorico di Mercurio. Una importante e qualificata collaborazione tra diversi gruppi italiani (OAPd, OACn e OACt, IASF-Rm, IFSI-Rm,) porta avanti da tempo studi all'avanguardia nel campo del rilevamento delle sottili esosfere di Mercurio e della Luna per mezzo di osservazioni remote. L'OAPd ha messo a punto, per la prima volta, un modello dinamico per stimare il flusso di micrometeoriti su Mercurio, evidenziando l'importanza degli impatti di micrometeoriti per la formazione dell'esosfera. Dal 2007 si è avviata l'osservazione di Mercurio per periodi ampi (7-15 giorni consecutivi) allo scopo di monitorare le variazioni dell'esosfera di Mercurio su lunghe scale temporali (dell'ordine del ciclo solare) per fornire un database di studio dei processi di formazione e rilascio. Lo studio della presenza di sodio diffuso nell'esosfera di Mercurio, mediante osservazioni compiute prevalentemente al TNG, al THEMIS ed all'ESO, si inserisce in un filone di ricerca di assoluto valore internazionale, che costituisce la premessa ai futuri studi *in situ* da compiersi nell'ambito della imminente missione ESA Bepi-Colombo.

- **Studio della Luna.** Per quanto riguarda la Luna, oltre agli studi volti a caratterizzare la presenza di una tenue esosfera mediante osservazioni remote, sono in fase di studio i dati ottenuti dalla missione SMART. La comunità nazionale ha inoltre risposto ad un bando per Piccole Missioni italiane emanato dall'ASI nell'ottobre 2007 con uno studio di missione lunare MAGIA (Missione Altimetrica Gravimetrica geochimica Italiana lunAre), a dimostrazione dell'interesse che lo studio del nostro satellite riveste per la comunità italiana.



- **Geodesia terrestre.** Il gruppo dell'IRA-Bologna porta avanti da tempo attività di geodesia mediante osservazioni in VLBI, nell'ambito di importanti collaborazioni internazionali. A questo si affiancano anche attività di studio della deformazione crostale e geodinamica dell'Antartide, mediante misure GPS.
- **Fenomeni di craterizzazione.** Il gruppo dell'OATo è impegnato in un programma di studio dei fenomeni transienti in atmosfera e di craterizzazione al suolo mediante osservazioni dallo spazio ed *in situ*. La parte spaziale del progetto è consistita finora nell'utilizzo di una camera per l'osservazione di fenomeni transienti nelle atmosfere e sulle superfici planetarie, per la quale si studiano ora applicazioni nell'ambito di missioni spaziali future. Il complemento di queste attività è lo studio *in situ* di luoghi della superficie terrestre in cui sono presenti sospetti crateri da impatto. Spedizioni sono state effettuate in anni recenti nel deserto libico, mentre altre sono in programma nel prossimo triennio. Lo scopo principale è di raccogliere campioni di rocce da analizzare in laboratorio per evidenziare eventuali metamorfismi da impatto.

2.2.3 I pianeti esterni

Le attività scientifiche attualmente portate avanti nell'ambito dello studio dei pianeti giganti sono in stretta relazione con i risultati delle più recenti missioni spaziali di esplorazione.

- **Studio di Saturno e delle sue lune.** Lo studio di Saturno e del suo sistema di satelliti ed anelli con particolare riguardo al satellite Titano, si avvale naturalmente dei dati ottenuti *in situ* dalla missione Cassini-Huygens. Questa missione, partita nell'Ottobre 1997, dopo sette anni ha raggiunto il sistema di Saturno e nel Giugno 2004 con il fly-by di Phoebe sono iniziate le osservazioni del Sistema di Saturno, obiettivo scientifico primario della missione. Il 1 luglio 2004 è avvenuto con successo l'inserimento in orbita attorno a Saturno e l'inizio del Tour orbitale; la missione nominale è terminata nel luglio 2008 con il suo straordinario carico di scoperte, ma è immediatamente partita una fase di missione estesa approvata dalla NASA per il periodo agosto 2008 – agosto 2010, volta principalmente a proseguire l'esplorazione del sistema di Saturno e dei suoi anelli, con particolare attenzione allo studio di Encelado e degli altri satelliti ghiacciati, e della superficie e della atmosfera di Titano. La partecipazione italiana alla missione Cassini-Huygens è importante e qualificata, e permette quindi l'accesso ad una enorme quantità di dati ottenuti dagli strumenti di bordo, tre dei quali sono di fabbricazione italiana. Nel corso della missione lo spettrometro VIMS, uno degli strumenti a responsabilità italiana, si è rivelato uno degli strumenti chiave della missione Cassini in grado di determinare la composizione degli anelli e dell'atmosfera di Saturno, nonché di determinare variazioni locali della composizione superficiale dei satelliti di Saturno e di metterle in relazioni con la presenza di strutture geologiche superficiali. Grazie a VIMS ad esempio è stato possibile identificare nella struttura detta "tiger stripes" di Encelado la regione associata all'attività endogena di questo satellite, una delle principali scoperte del Tour nominale della missione Cassini. Nel corso della missione estesa sono previsti 7 ulteriori incontri con Encelado nell'arco di tempo tra il 2008 ed il 2010 per i quali le capacità di *imaging* spettrale fornita da VIMS saranno fondamentali. Anche per quello che riguarda lo studio degli anelli di Saturno e dell'atmosfera di Saturno e di Titano il gruppo italiano che fa capo all'INAF (IASF ed IFSI) partecipa all'analisi dei dati essendo coinvolto nei *working groups* tematici dedicati a questi particolari aspetti della ricerca.

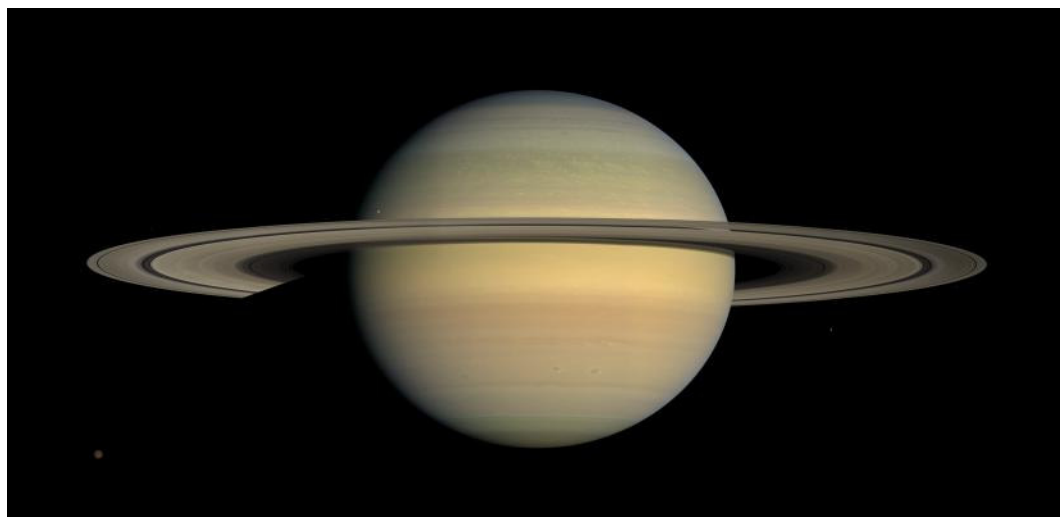


Figura 1 Mosaico di immagini di Saturno riprese dalla camera di Cassini nel Luglio 2008.

- **Giove e l'origine dei pianeti giganti.** Per quanto riguarda gli studi dell'origine di Giove e degli altri giganti gassosi, si tratta dell'applicazione a questi pianeti dei modelli di formazione planetaria portati avanti all'IASF-Rm, già descritti in precedenza. In questo caso, gli studi si avvalgono della possibilità di esaminare in tempo reale i dati prodotti dalla sonda Cassini riguardo a Saturno ed al suo sistema di satelliti, nell'ambito tipico degli studi di planetologia comparata. Per quanto riguarda più specificamente lo studio di Giove, la comunità italiana è impegnata nello sviluppo di uno degli strumenti di bordo della missione Juno, la prossima missione New Frontiers della NASA con obiettivo Giove. La missione, che sarà lanciata nell'agosto 2011, ha come scopo lo studio dell'interno di Giove, l'osservazione delle Aurore, e lo studio delle abbondanze molecolari nella atmosfera di Giove, nell'ambito di un progetto internazionale con collaborazioni che implicano scambio USA e collaborazioni scientifiche con partners statunitensi e di altri paesi europei. La missione è attualmente alla fine della fase B.

2.2.4 I corpi minori del Sistema Solare

Da molti anni la comunità italiana porta avanti programmi di ricerca teorica ed osservativa di avanguardia, ed ha contribuito in modo determinante a definire molti dei paradigmi oggi accettati per l'interpretazione dei dati che abbiamo a disposizione riguardo ai corpi minori del Sistema Solare, una categoria ampia ed eterogenea di oggetti che vanno dagli asteroidi alle comete, dagli oggetti Trans-nettuniani alla polvere interplanetaria. Il ruolo importante della comunità italiana nel contesto internazionale è oggettivamente verificabile sulla base di un'analisi dei lavori scientifici *peer-reviewed* pubblicati sulle principali riviste scientifiche, al numero di citazioni e al fatto che, per quanto riguarda almeno la comunità che si occupa dei corpi minori del Sistema Solare, negli ultimi trienni un numero elevato di ricercatori italiani sono stati chiamati a ricoprire il ruolo di Presidente delle Commissioni che l'Unione Astronomica Internazionale dedica alle tematiche dei corpi minori (Commissioni 15 e 20, principalmente) e di Chair delle analoghe commissioni presso il COSPAR (Committee for Space Research). Negli ultimi anni, l'attività si è sviluppata lungo molteplici direzioni che possono essere riassunte nei seguenti punti:

- **Studio teorico ed osservativo delle proprietà fisiche degli asteroidi.** Per questo argomento, si può parlare di una vera e propria "scuola italiana". I gruppi dell'OATo e dell'Università di Pisa sono stati pionieri negli studi teorici del fenomeno di evoluzione collisionale, il principale processo di evoluzione della popolazione asteroidale, e portano avanti studi mirati a comprendere molte proprietà

collettive ed individuali degli asteroidi (inventario generale, distribuzione di massa, forme, proprietà rotazionali) in termini di fenomeni collisionali. Questi studi sono fortemente sinergici con osservazioni con diverse tecniche da terra e dallo spazio portate avanti da diversi gruppi, tra cui quelli degli OATo, OAPd, OARm e Università di Torino, Padova e Roma. Obiettivo di questa attività di ricerca è la caratterizzazione fisica dei corpi minori del Sistema Solare mediante la modellizzazione e l'interpretazione di dati ottenuti a varie lunghezze d'onda, dal visibile al lontano infrarosso. Si tratta di ricerche che stanno producendo in questi anni importanti risultati pubblicati sulle maggiori riviste del settore, e che costituiscono un complemento essenziale ai postulati teorici riguardanti le proprietà, la struttura e la composizione del materiale che costituiva la proto-nebula alle varie distanze dal Sole e che ha dato origine ai corpi del Sistema Solare. Le attività comprendono anche la prosecuzione delle prime osservazioni VLTI di asteroidi e osservazioni nell'IR termico dallo spazio. Lo studio fisico degli asteroidi *near-Earth*, è perseguito principalmente dal gruppo di Padova con la produzione e l'ampliamento continuo di un *data-base* di osservazioni, ottenute prevalentemente al TNG ed all'ESO, che costituisce una delle risorse più importanti in ambito internazionale. Il gruppo dell'OARm ha conquistato una posizione di leader a livello internazionale nella caratterizzazione della composizione superficiale degli oggetti a partire da osservazioni spettroscopiche condotte nell'IR termico prima con il telescopio spaziale ISO e più recentemente con Spitzer. Il gruppo di Torino ha inoltre impresso un forte sviluppo agli studi di polarimetria, mediante campagne di osservazione in Argentina (usando un fotopolarimetro costruito in sede) e al VLT dell'ESO.

Per quanto riguarda gli studi e l'analisi dei dati che verranno ottenuti nel prossimo futuro mediante attività spaziali, la missione NASA DAWN, che ha tra i suoi strumenti uno spettrometro a immagine con PI italiano (IFSI-Rm), riveste una grande importanza per la comunità italiana. La missione, lanciata nel settembre 2007, arriverà a Vesta nel 2011 e a Cerere nel 2015 anni dopo. L'esplorazione di questi due massicci asteroidi farà notevolmente progredire le conoscenze sulla formazione ed evoluzione del sistema solare. Vesta e Cerere hanno infatti seguito percorsi evolutivi molto diversi: Vesta è un corpo differenziato mentre Cerere, più grande, è invece indifferenziato e probabilmente contiene del ghiaccio. Anche in questo caso il lavoro sulla missione implica un notevole lavoro teorico (modellistica dell'evoluzione di Vesta e Cerere, craterizzazione ecc.) e osservativo (osservazione di asteroidi differenziati, IASF-Rm).

Bisogna poi ricordare che la missione ESA Rosetta (vedi più sotto) ha appena compiuto un flyby dell'asteroide Steins (settembre 2008), e si appresta a compiere un flyby dell'asteroide Lutetia nel 2010. I dati di Steins sono ancora in corso di analisi, ma tra i risultati preliminari si possono già citare la mappa termica della superficie e l'identificazione dei suoi componenti superficiali.

Il gruppo di Torino è impegnato con responsabilità importanti nella preparazione della riduzione dei dati che verranno ottenuti dalla missione spaziale GAIA, uno della missioni *cornerstone* dell'ESA, il cui lancio è previsto per la fine del 2011. In quest'ambito, il gruppo torinese ha la responsabilità dello sviluppo del software di riduzione dati per quanto riguarda il CCD Processing, l'ottenimento delle proprietà fisiche dei corpi minori del Sistema Solare, e lo studio dei pianeti extrasolari. Il coinvolgimento in questa missione è di grande importanza, dato che questa missione è in grado di ottenere dati sui parametri fisici e dinamici della popolazione asteroidale in quantità e con accuratezze che non hanno precedenti, e può potenzialmente provocare una vera rivoluzione nelle attuali conoscenze sui corpi minori del sistema Solare, in primo luogo per quanto riguarda gli asteroidi.

- **Studi dinamici di asteroidi e comete.** L'Italia ospita alcuni dei gruppi più attivi a livello internazionale in questo campo. Le attività, portate avanti all'Università di Pisa e allo IASF-Rm, includono (1) la dinamica dei *near-Earth objects* (monitoraggio impatti, calcolo degli elementi orbitali osculatori, teoria e pratica della deflessione, strategie osservative di *survey* profonde); (2) il calcolo degli elementi orbitali propri degli asteroidi; (3) lo studio dell'evoluzione orbitale delle comete; (4) lo studio dell'evoluzione ed identificazione di sciame di meteoroidi. Presso l'Università di Pisa è attivo



uno dei due principali servizi mondiali (il secondo è presso il JPL della NASA) per il calcolo orbitale degli oggetti di nuova scoperta, e della determinazione delle probabilità di impatto degli oggetti potenzialmente pericolosi. E' attivo anche un servizio di calcolo degli elementi orbitali propri, essenziale per l'identificazione delle famiglie dinamiche di asteroidi. Dal punto di vista osservativo vengono effettuate osservazioni utilizzando i telescopi dell'ESO, il TNG e lo Schmidt di Campo Imperatore.

- **Studio delle proprietà fisiche delle comete e degli oggetti trans-nettuniani.** Parallelamente agli studi delle proprietà fisiche degli asteroidi, la comunità planetologica italiana è da tempo protagonista nello studio delle proprietà fisiche delle comete (gruppi dello IASF-Rm e degli OAAr, OAPd e OACn) e degli oggetti trans-nettuniani (OARm, OAPd). Gli studi comprendono sia l'elaborazione di modelli teorici, sia l'esecuzione di campagne di osservazione da Terra, all'ESO e al TNG. L'attività di ricerca in campo cometario è anche stimolata dalla missione spaziale Rosetta. Questa importante missione, lanciata nel marzo 2004, raggiungerà e seguirà, studiandola in dettaglio, la cometa Churyumov-Gerasimenko (2014). Della missione fa anche parte un lander che verrà rilasciato sulla superficie. Una parte importante della comunità italiana partecipa a questa missione, che ha fra l'altro due strumenti di bordo a PI italiano (spettrometro a immagine VIRTIS e analizzatore di polvere GIADA), e partecipazioni italiane consistenti ad altri esperimenti (ad esempio la camera OSIRIS). Il lavoro sugli strumenti è accompagnato da un notevole lavoro teorico, in preparazione dell'analisi dei dati, e da campagne osservative dei target della missione (la cometa Churyumov-Gerasimenko, e gli asteroidi Steins e Lutetia).

Nel campo dello studio degli oggetti trans-nettuniani, che presenta forti legami con gli studi delle comete, i gruppi di Padova e Roma sono fortemente attivi nel campo delle osservazioni spettroscopiche e fotometriche, eseguite nell'ambito di collaborazioni internazionali sia all'ESO che al TNG. Il gruppo dell'OARm è attualmente coinvolto in un ampio programma di osservazione di oggetti trans-nettuniani con il telescopio spaziale Herschel.

L'IASF di Roma e gli OAPd e OACn stanno conducendo un programma di osservazioni spettroscopiche ad altissima risoluzione di comete, con lo scopo di studiare in dettaglio le righe identificate e non identificate presenti nelle atmosfere cometarie. Gli stessi gruppi stanno conducendo un programma osservativo di comete a grande distanza dal Sole, quando cioè dovrebbero essere inattive o quasi.

- **Studio degli "space debris".** I gruppi di ISTI-CNR di Pisa e IRA-Noto portano avanti un'importante attività di identificazione di "space debris" in orbita intorno alla Terra, utilizzando prevalentemente calcoli numerici (Pisa) ed osservazioni radar-VLBI (Noto).
- **Studio di particelle di polvere in ambienti astrofisici.** Lo studio delle particelle di polvere è oggetto di diverse attività sperimentali portate avanti dall'Università di Lecce e dagli OACn e OACt, che operano in sinergia. La ricerca è fortemente interdisciplinare, trattando polveri presenti sulle superfici e nelle atmosfere planetarie, sulle comete, negli anelli planetari. In particolare, si effettuano analisi di laboratorio di polveri interplanetarie raccolte in stratosfera (con palloni ed aerei ad alta quota mediante lo strumento DUSTER sviluppato a Napoli), dalla Stazione Spaziale Internazionale, dalla stazione spaziale MIR e dalla missione Stardust. Le tecniche di laboratorio utilizzate includono la spettroscopia IR Raman, e la microscopia elettronica. Vari gruppi sono inoltre coinvolti nella realizzazione e nel futuro sfruttamento dei dati prodotti da strumenti per varie missioni spaziali in corso e future, in particolare quelle marziane, con il gruppo di OACn che è responsabile dell'esperimento MEDUSA per la missione Exo-MARS, e Rosetta per quanto riguarda le comete, per la quale il gruppo di OACn è responsabile dell'esperimento GIADA, per lo studio delle proprietà fisiche, dinamiche e di abbondanza delle polveri emesse dal nucleo cometario.

Il Consorzio ETNA (Extra-Terrestrial Nanomaterials Analysis) è stato creato per promuovere lo scambio di conoscenze scientifiche e strumentali tra i diversi istituti di ricerca interdisciplinare, allo



scopo di studiare materiali planetari extraterrestri. L'ETNA coinvolge cinque gruppi di ricerca tra Università ("La Sapienza" di Roma e "Tor Vergata" di Roma) ed Istituti di Ricerca (ISM-CNR, IFSI-Rm, OAT), le cui conoscenze a riguardo e le strumentazioni sono complementari. L'obiettivo principale del Consorzio è lo sviluppo, l'implementazione e l'applicazione di nuove tecnologie analitiche per lo studio di materiale extraterrestre in laboratorio, in particolare quello proveniente da missioni spaziali. Nell'ambito dell'attività di ETNA, l'IFSI di Roma sta coordinando un progetto biennale (PRIN-INAF), che studia il ruolo della trasformazione delle fasi del Fe nei processi di Space Weathering. Attualmente sono analizzati campioni di condriti ordinarie, che sono molto probabilmente frammenti di asteroidi di classe S e sono ricchi di fasi di Fe, attraverso lo stato dell'arte delle tecniche analitiche di imaging, quali l'AFM e lo SNOM, allo scopo di cercare nanofasi di Fe. Per caratterizzare i campioni ricchi di nanofasi di Fe e studiare l'arrossamento degli spettri, si fa invece ricorso alla spettroscopia a riflettanza bidirezionale nella regione spettrale del Visibile-NIR.

- **Studio dei fenomeni di "Space Weathering".** Lo studio della progressiva modifica delle proprietà ottiche di materiali esposte all'irraggiamento del vento solare e a microimpatti con polvere interplanetaria è condotto con attività di laboratorio portate avanti all'OACt in collaborazione con altri gruppi italiani (Uni. Lecce, OACn, IASF-Rm). Si tratta di attività che stanno producendo in questi anni importanti risultati pubblicati sulle maggiori riviste del settore, e che sono molto utili come naturale complemento ed estensione dei risultati osservativi riguardanti le proprietà spettroscopiche di asteroidi e comete.

2.2.5 I pianeti extrasolari. Bioastronomia: ricerca di vita primordiale e intelligente nei pianeti extrasolari

La Bioastronomia è la nuova scienza multidisciplinare che studia l'origine, l'evoluzione e l'espansione della vita nell'Universo. Essa si differenzia dall'astrobiologia in quanto la ricerca avviene principalmente tramite osservazioni astronomiche dalla Terra e dallo spazio e include nel suo programma il progetto SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence). Tutti i pianeti del sistema solare con i loro satelliti, tranne Plutone, sono stati esplorati negli ultimi 50 anni dalle sonde automatiche terrestri e si può dire con certezza che non vi è traccia di vita evoluta e intelligente. Si è alla ricerca di possibile vita primordiale su Marte e forse anche sul satellite di Giove Europa, ove si pensa che nel sottosuolo vi sia un oceano di acqua liquida.

Pertanto per essere sicuri di non essere soli in questo Universo due sono le possibilità alla nostra portata tecnologica:

- 1) cercare tramite osservazioni al telescopio altri pianeti al di fuori del sistema solare e una volta trovati investigarne spettroscopicamente l'atmosfera per verificare se essi siano abitabili, vale a dire se le loro condizioni fisico-chimiche possano permettere lo sviluppo della vita.
- 2) Ascoltare con i più grandi radiotelescopi segnali dallo spazio che possano essere qualificati come intelligenti (progetto SETI).

A partire dal 1995, utilizzando differenti sofisticate tecnologie da Terra e dallo Spazio, gli astronomi sono stati in grado di scoprire ben 335 pianeti extrasolari giganti (situazione a Gennaio del 2009), vale a dire di tipo gioviano o Nettuniano, quindi con consistente massa gravitazionale. Infatti la tecnologia che ha dato più frutti è quella detta del "Doppler radiale" che si basa sul fatto che un pianeta gigante ruotando intorno ad una stella ne perturba il campo gravitazionale inducendo un'oscillazione (wobbling) che può essere misurata da Terra. Dalla sinusoide che si ottiene dallo spettro si è in grado di determinare la massa del pianeta, il suo periodo di rivoluzione intorno alla stella, la sua distanza da essa e la sua eccentricità, ma nessuna informazione ci è fornita circa la composizione chimica dell'atmosfera. Un altro metodo detto dei "transiti" sfrutta il passaggio del pianeta di fronte alla stella lungo la nostra visuale. Durante tale transito si osserva un'attenuazione seppur molto debole della luce stellare da cui si possono stabilire le caratteristiche fisiche del pianeta.

In seguito alla scoperta da noi fatta da un gruppo italiano durante l'impatto della cometa Shoemaker/Levy 9 con Giove della linea di emissione MASER dell'acqua, si è pensato di usare questa linea come mezzo di diagnostica per la ricerca di acqua nei pianeti extrasolari. E' così nato il progetto ITASEL (Italian Search for Extraterrestrial Life) con lo scopo precipuo della ricerca di molecole prebiotiche in pianeti extrasolari e nelle comete oltre che a partecipare al progetto internazionale del SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence).

Usando lo spettrometro multicanale (MSPEC0) e recentemente il più sofisticato spettrometro SPECTRA-1 accoppiati al radiotelescopio da 32 metri di Medicina (BO) si sono investigati, a partire dal 1999, 32 sistemi planetari.



Fig.1 : I radiotelescopi di Medicina (Bologna) : la Croce del Nord e la parabola da 32 metri

Si sono scelti "targets" dove erano stati già scoperti pianeti extrasolari o sistemi ove era prevista una alta concentrazione di comete in orbita e capaci di bombardare i pianeti circostanti.

I risultati finora ottenuti hanno mostrato deboli segnali provenienti da 5 sistemi stellari, segnali che devono essere convalidati perché non continui nel tempo. Questi segnali possono provenire sia da pianeti bombardati da sciame di comete che da pianeti la cui atmosfera sia in grado di emettere la radiazione MASER in seguito a pompaggio fotonico della stella. Tali misure sono molto difficili, data la distanza dei pianeti (10-100 anni luce) e a causa del lungo tempo di integrazione necessario (10-100 ore). Con il nuovo strumento SPECTRA-1 e con il nuovo ricevitore a 22 GHz in fase di finalizzazione si spera non solo di confermare le possibili identificazioni, ma di ampliare la ricerca su tutti i sistemi planetari finora scoperti.

Per quello che riguarda invece la ricerca di civiltà tecnologicamente evolute si partecipa al programma SETI, un programma internazionale che coinvolge gli USA, l'Australia, l'Italia e l'Argentina. E' un programma basato su sofisticatissime tecnologie radio che permettono di ascoltare segnali provenienti dal cosmo con milioni di canali a banda stretta. Sono coinvolti i più grandi radiotelescopi del mondo fra cui il 300 metri di Arecibo, e i due radiotelescopi di Medicina, quello mobile da 32 metri e quello fisso detto "Croce del Nord".

Un segnale intelligente che provenisse dallo spazio si distinguerebbe da quelli naturali presenti sia nella nostra ionosfera che in tutta la Galassia grazie all'effetto Doppler (spostamento verso il rosso o verso il blu della riga di emissione dovuto alla velocità relativa dell'oggetto rispetto a noi). Mentre la ricerca di vita primordiale è una ricerca con alta probabilità di successo grazie alle tecnologie sempre più evolute che



permettano l'esame chimico dei sistemi extrasolari sia da Terra che dallo spazio, la ricerca di vita intelligente richiede oltre alla tecnologia una buona dose di fortuna: è come cercare un ago in un miliardo di pagliai.

2.3 *Sviluppi futuri delle ricerche planetologiche in Italia*

2.3.1 *Prosecuzione ricerche in corso*

Tutti i filoni di ricerca descritti nella Sezione 2.2 sono da considerare strategici per la comunità italiana, e continueranno ad essere perseguiti sviluppando ed estendendo le ricerche attualmente in corso. Questo vale in particolar modo per tutte le attività di ricerca di base elencate in precedenza (modelli planetari, analisi dei risultati delle missioni recenti ed in corso, studi delle proprietà fisiche e dell'evoluzione dei corpi minori, ecc.). Per quanto riguarda soprattutto le attività nel segmento spaziale, alcuni sviluppi prevedibili o già certi sono elencati nei punti successivi.

2.3.2 *Pianeti interni e la Luna*

- **Studio di Marte.** Le attività saranno legate al prolungamento delle missioni Mars Express e Mars Reconnaissance Orbiter, e allo sviluppo della missione ExoMars. Per la missione ESA ExoMars, l'INAF partecipa al più alto livello di responsabilità con il compito di realizzare lo Spettrometro Ma-Miss ad immagini (IASF-Rm) e il microscopio MIMA (IFSI-Rm). Inoltre, l'INAF fornirà l'esperimento MEDUSA (OACn) per lo studio delle proprietà fisiche, dinamiche e di abbondanza delle polveri e dell'abbondanza di composti volatili (es.: vapore d'acqua) in atmosfera di Marte (sviluppo del breadboard dello strumento) e partecipa alla realizzazione di un dosimetro (Univ. Perugia). Altre varie collaborazioni a livello di Co-I porteranno utili partecipazioni scientifiche in preparazione dell'analisi dei dati.
- **Mercurio e Luna.** Per quanto riguarda Mercurio, il futuro prevede il lavoro di realizzazione degli strumenti di bordo per la missione BepiColombo come specificato nella Sezione 2.2.2. Per quanto riguarda la Luna, il futuro può venire dalla missione MAGIA, nel caso in cui venga selezionata dall'ASI al termine degli studi di fase A. Secondo il suo attuale disegno questa missione dovrebbe consistere di un lunar orbiter ed un sottomissile; l'obiettivo è determinare il campo di gravità lunare con precisione superiore allo stato dell'arte attuale, e l'esecuzione di alcuni esperimenti di fisica fondamentale durante il trasferimento e in orbita lunare. Nel febbraio 2008 MAGIA è stata selezionata tra le 5 missioni finanziate per uno studio di Fase A. Alla fine di tale studio due missioni verranno prescelte e saranno finanziate per lo sviluppo.

2.3.3 *I pianeti giganti*

- **Saturno e le sue lune.** L'immediato futuro è legato al prolungamento della missione Cassini già approvato dalla NASA fino ad agosto 2010 e previsto fino al 2017. Nel corso della missione estesa verranno portati avanti per VIMS lo studio dei satelliti ghiacciati e di Encelado, lo studio di Titano, sia per quello che riguarda la sua superficie che per quello che riguarda la sua atmosfera, con particolare attenzione alle sinergie con il radar e lo studio di Saturno, della sua atmosfera e del suo sistema di anelli.
- **Giove.** Qui, il futuro immediato è rappresentato dalla missione Juno, come spiegato in Sezione 2.2.3.
- **OPM (Outer Planet Mission)** Nell'ambito del programma ESA CosmicVision 2015-2025 sono state selezionate due missioni ai sistemi dei pianeti giganti, una a Titano ed Encelado e una al sistema di Giove. Gli studi per le due missioni sono stati portati avanti congiuntamente dall'ESA e dalla NASA, che all'inizio del 2009 sceglieranno quale tra le due missioni portare avanti. Vari ricercatori dell'INAF hanno fatto parte dei Science Definition Team di queste missioni. La comunità italiana è estremamente interessata alla missione OPM, che avrà negli anni prossimi un ruolo paragonabile a quello di Cassini, e proporrà senz'altro vari esperimenti: è prevedibile che nel prossimo biennio buona



parte della comunità sarà occupata a rispondere agli Announcement for Opportunities sia NASA che ESA della missione che sarà stata selezionata.

2.3.4 *I Corpi Minori*

- **Nuove missioni spaziali e surveys di nuova generazione.** A parte il fatto che alcune delle ricerche, sia teoriche che osservative, attualmente portate avanti continueranno ad avere un'importanza molto rilevante nei prossimi anni, si può facilmente prevedere che il futuro degli studi planetologici nel campo dello studio dei corpi minori del Sistema Solare sarà molto legato ad alcune missioni spaziali, in primo luogo Rosetta, DAWN, Gaia e possibilmente Marco Polo. Con la preparazione di Gaia e con l'entrata in funzione di alcune delle survey del cielo di nuova generazione mediante strumenti basati a Terra, come Pan-STARRS, si sta entrando in un'era qualitativamente nuova, che sarà caratterizzata da una quantità inaudita di nuovi dati, che verranno prodotti ad un ritmo impossibile per le strutture osservative tradizionali. La comunità italiana si prepara per continuare a ricoprire un ruolo da protagonista, in particolare attrezzandosi a gestire i flussi di dati che stanno iniziando ad arrivare da Rosetta (flybys di Steins e Lutetia) e Pan-STARRS, e continuando ad avere ruoli di responsabilità importante nell'ambito di Gaia. Nel prossimo futuro si attende anche un'intensa attività di osservazioni fotometriche che saranno effettuate dal gruppo di Catania mediante una nuova camera CCD di recente installazione.
- **Marco Polo** Gli OARm, OAAr, OACn, OAPd, e l'IASF e l'IFSI sono attivamente coinvolti nello studio della missione Marco Polo, selezionata nel 2007 nell'ambito del programma ESA CosmicVision 2015-2025. Questa missione è dedicata allo studio di un near-Earth primitivo ed effettuerà il prelievo e ritorno a Terra di un campione preso dalla sua superficie. Nel caso di un'approvazione definitiva di Marco Polo avremmo una missione spaziale progettata e fortemente voluta da una parte considerevole della comunità italiana, che ricoprirebbe quindi un ruolo determinante nel lavoro di preparazione, e nel successivo sfruttamento dei risultati della missione. Ricercatori degli OARm e OAAr sono membri del Scientific Study Team nominato dall'ESA per l'Assessment Study della missione. Gli OACn, OAPd, l'IASF e l'IFSI sono ampiamente coinvolti nel progetto, per quanto riguarda lo sviluppo degli strumenti da collocare a bordo della sonda. Almeno 4 strumenti a PI o co-PI italiano sono stati selezionati dall'ESA per la fase A. L'OAAr svolge un ruolo fondamentale in una collaborazione internazionale per la messa a punto delle analisi da effettuare sui campioni riportati a Terra. L'OARm sta coordinando una campagna internazionale di osservazione dei near-Earth che hanno caratteristiche dinamiche tali da risultare accessibili dalla Terra con una sonda spaziale e che sono pertanto potenziali obiettivi della missione.

2.4 *Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future*

2.4.1 *Highlights*

Venere

1. Dinamica della mesosfera (attraverso la mappatura del moto delle nubi), studio dei campi termici e del bilancio energetico, circolazione nella termosfera, indagine delle emissioni non-LTE e di fenomeni di chimica dell'atmosfera ad esse associati.
2. Mappatura sistematica dell'emissione termica della superficie, volta alla possibile rivelazione di un vulcanismo ancora attivo.

Marte

3. Identificazione e studio di tracce di metano nell'atmosfera.

4. Struttura geologica della superficie sotto le calotte marziane.

5. Emissioni dell'ozono nelle zone sub-polari e polari marziane e distribuzione di temperatura nelle zone notturne del pianeta, producendo mappe termiche sinottiche. Mappa del ghiaccio di acqua nella atmosfera, sia in funzione della latitudine che dell'angolo zenitale solare.

Pianeti gioviani e satelliti

6. Si è scoperta un'analogia tra il satellite Phoebe e gli oggetti della cintura di Kuiper che ha non solo confermato che Phoebe stessa è un oggetto catturato, ma ha permesso anche di definirne la zona di provenienza.

7. Si sono identificate le relazioni tra l'attività crio-vulcanica localizzata nelle regioni polari di Encelado e l'anello E.

8. Strutture geologiche di varia natura su Titano, che vanno dai laghi polari costituiti di metano od etano, ai vulcani identificati tramite la presenza di potenziali emissioni a strutture di natura fluviale.

9. Complessi modelli idrodinamici in grado di simulare le fasi di accrescimento di Giove e Saturno; si è stabilito che il tempo scala di accrescimento del gas su un nucleo solido è inferiore a 10^4 anni.

Corpi Minori

10. Studio dettagliato degli oggetti che costituiscono i targets dalla sonda Rosetta (cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko e asteroidi Steins e Lutetia) sulla base dei dati inviati dalla sonda.

11. Contributo alla costituzione della banca dati della NASA sulle particelle raccolte dalla sonda STARDUST e partecipazione allo studio della polvere extraterrestre.

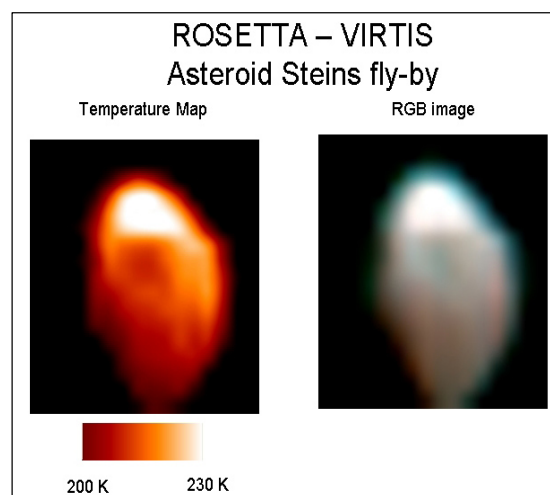
12. Simulazioni della craterizzazione di Vesta e Cerere a seguito del processo di mobilitazione dei planetesimi per affetto dell'accrescimento di Giove e Saturno, in preparazione alle osservazioni in situ della sonda DAWN.

13. Studi fisici di oggetti vicini alla Terra potenziali impattori e obiettivi di missioni spaziali, in sinergia con gli studi dinamici dell'evoluzione orbitale di questi oggetti e il monitoraggio di possibili impatti..

14. Studi fisici dei corpi minori del Sistema Solare per mezzo di osservazioni remote da Terra e dallo spazio (Spitzer, HST, in futuro Gaia): asteroidi di fascia principale, Troiani, Centauri, e oggetti trans-nettuniani. Analisi dell'evoluzione collisionale e dinamica degli oggetti della cintura asteroidale.

15. Studi delle polveri, di meteoriti e dei fenomeni di space-weathering.

16. Studi di Bioastronomia per la ricerca di vita primordiale in pianeti extrasolari.



2.4.2 Tabella sintetica dei progetti di ricerca

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
Origine ed evoluzione di pianeti, satelliti e planetesimi	In corso			IASF-Rm, IFSI-Rm				
Studi fisici teorici ed osservativi dei corpi minori	In corso	Caratterizzazione fisica dei corpi minori (asteroidi, comete, oggetti Trans-Nettuniani). Comprensione della loro origine ed evoluzione, e dei processi dinamici e fisici che l'hanno determinata.	Sinergia di studi di carattere teorico, osservativo e sperimentale (esperimenti di laboratorio)	OATo, OAPd, OARm, OAAr, OACt, OACn, Università di Torino, Padova, Roma, Firenze, Napoli, Catania, Lecce, IASF-Rm			INAF, ASI	Indefinito: si tratta di una ricerca di ampio respiro e multidisciplinare che va avanti con successo da molti anni e per sua natura è destinata ad essere portata avanti finché resteranno interrogativi irrisolti.
Studi dinamici e previsione impatti	In corso	Comprensione della dinamica dei piccoli corpi, inclusi gli effetti non gravitazionali legati all'emissione termica, calcolo delle orbite da poche osservazioni, identificazione degli oggetti pericolosi e delle probabilità di impatto con la Terra	Comprende servizi offerti alla comunità degli osservatori di oggetti <i>near-Earth</i>	Università di Pisa e IASF-Rm				Indefinito. Attività legata alla scoperta degli oggetti che possono entrare in collisione con la Terra.
Studi delle polveri nel Sistema Solare	In corso							
Studio di Marte	In corso			IASF e IFSI				
Studio dei pianeti interni (Mercurio, Venere) e della Luna	In corso							
Studio dei pianeti esterni	In corso							
Ricerca di vita primordiale e intelligente nei pianeti extrasolari	In corso	Servendosi di spettrometri veloci ad alta risoluzione applicati ai radiotelescopi di Medicina e Noto si cercano molecole prebiotiche ed in particolare la linea MASER dell'acqua a	Sviluppo di raffinate e innovative tecnologie di spettrometria radio da applicare a grandi radiotelescopi onde rivelare debolissimi segnali sommersi in un forte	IFSI IRA ASI JIVE (NL)			ASI	Piano quinquennale

		22 GHz nelle atmosfere di pianeti extrasolari.	rumore di fondo					
--	--	--	-----------------	--	--	--	--	--

2.4.3 Tabella sintetica delle missioni spaziali in corso

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
Gaia	In corso	Determinazione delle principali proprietà fisiche degli asteroidi	Sviluppo di codici numerici per la riduzione dati della missione Gaia. Responsabilità diretta nelle attività di <i>CCD processing</i> e di analisi dei dati per la determinazione delle proprietà fisiche degli asteroidi.	ESA	INAF, ASI	Osserv. di Torino	ASI	Fino al 2016 (pubblicazione finale dei dati Gaia e dei risultati).
Cassini-Huygens	In corso	Esplorazione del sistema di Saturno	Spettrometro visibile ed infrarosso VIMS		ASI, INAF, Dipartimento Ingegneria Università Roma La Sapienza, Dipartimento Ingegneria università di Padova	IASF, IFSI	ASI	Fine della missione estesa nel 2017
Rosetta	In corso; lanciata nel marzo 2004	Studio dettagliato di una cometa	La sonda aggancerà la cometa e la seguirà fino al suo perielio; un lander scenderà sulla superficie	ESA	2 strumenti a PI italiano, forte partecipazione ad altri strumenti	IASF, IFSI, OACn, OAPd	ASI	Fino al 2015
DAWN	In corso; lanciata il 27/09/2007	Studio di Vesta e Cerere	DAWN entrerà in orbita intorno a Vesta e Cerere e li studierà in dettaglio	NASA	1 esperimento a PI italiano	IFSI, IASF	ASI	Arrivo a Cerere nel 2015
Juno	In corso; lancio nel 2011	Studio di Giove e della sua magnetosfera	Missione NASA della serie New Frontiers	NASA	1 esperimento a PI italiano	IFSI, IASF	ASI	Fino al 2017
BepiColombo	In corso; lancio nel 2013	Studio di Mercurio, della sua esosfera e magnetosfera	2 sonde, una ESA per lo studio del pianeta e una JAXA per lo studio di esosfera e magnetosfera	ESA, JAXA	4 esperimenti a PI italiano	OAPd, OACn, IASF, IFSI, Univ. La Sapienza di Roma	ASI	Fine missione nominale 2020, possibile missione estesa 2021

Mars Express	In corso, attualmente in fase di missione estesa	Studio di Marte	La prima missione interplanetaria dell'ESA, ha lo scopo di studiare la storia dell'acqua su Marte	ESA	2 esperimenti a PI italiano (INAF, Università di Roma "La Sapienza"), 2 partecipazioni hardware (INAF), 1 partecipazione scientifica (Università di Chieti)	IFSI, IASF, IRSPS, Dipartimento INFOCOM	ASI	Il finanziamento ASI copre il triennio 2009-2011, ma continuerà se la missione verrà estesa oltre quel periodo
Mars Reconnaissance Orbiter	In corso, estesa fino al 2010	Studio di Marte	Missione di preparazione all'esplorazione robotica e umana in situ, farà da relay per future missioni landed	NASA	1 facility instrument fornito dall'ASI con leadership scientifica dell'Università di Roma "La Sapienza"	IFSI, IRSPS, Dipartimento INFOCOM	ASI	Il finanziamento ASI copre il triennio 2009-2011, ma continuerà se la missione verrà estesa oltre quel periodo
Venus Express	In corso, attualmente in fase di missione estesa	Studio di Venere ed in particolare della superficie, dell'atmosfera, della loro interazione e dell'interazione dell'atmosfera con lo spazio esterno e il vento solare.	Studio del pianeta Venere mediante una suite di strumenti a bordo di un orbiter.	ESA, ASI, NASA ed istituti da oltre 10 diverse nazioni nel mondo	2 esperimenti a PI italiano piu' un'importante partecipazione su un altro.	IASF-Roma, IFSI-Roma, Università di Padova, Napoli, Lecce, L'Aquila, Pescara	INAF, ASI	Lancio 9 Novembre 2005, attualmente in missione estesa ed ulteriore richiesta di estensione già inoltrata almeno fino alla fine del 2011.

2.4.4 Tabella sintetica delle strutture osservative a Terra

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
CASLEO (Complejo Astronomico El Leoncito)	In corso	Studi di polarimetrici degli asteroidi	Si basa su dati ottenuti mediante il fotopolarimetro in cinque colori sviluppato dall'OATo	OATo			INAF	Prossimo triennio, poi si vedrà se lo strumento sarà ancora operativo.

2.4.5 Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali future

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
MarcoPolo	In corso	Analisi a terra di un campione di materiale proveniente da un near-Earth object primitivo	Responsabilità diretta nelle attività di studio di fase A. Studio di strumenti collocabili a bordo.	ESA, Observatoire de Paris	INAF	OARm, OAAr, OACn, OAPd, IASF, IFSI	ASI, INAF	<i>Programma ESA Cosmic-Vision</i>
OUP	In corso	Studio di Titano ed Encelado oppure di Giove ed Europa	Nel febbraio 2009 si avrà la scelta tra le due opzioni. OUP sarà una missione congiunta ESA/NASA	NASA, ESA	Ricercatori IASF e IFSI nel Joint Science Definition Team. In seguito agli AO, studio e proposta di esperimenti	IASF, IFSI	ASI	<i>Programma ESA Cosmic-Vision</i>
MAGIA	Studio Fase A	Studio della geofisica e geodesia lunare	Orbiter e sottomobile		Missione italiana		ASI	



3. ASTROBIOLOGIA

3.1 *Introduzione*

L'origine, l'evoluzione e la distribuzione della vita nell'Universo è uno dei temi scientifici che negli ultimi anni sta riscontrando un interesse crescente in ambito nazionale e internazionale. L'astrobiologia ha lo scopo di accrescere le conoscenze nell'ambito di discipline fino ad ora considerate appartenenti ad aree distinte che negli ultimi anni sono state fatte convergere sinergicamente con lo scopo di raggiungere nuovi obiettivi scientifici. Lo studio della nascita della vita sulla Terra e la ricerca di forme di vita extraterrestre sono argomenti che, oltre ad esercitare un grande fascino sul pubblico, rappresentano soprattutto un importante indirizzo che la scienza attuale vuole intraprendere per cercare risposte a domande che da sempre accompagnano l'uomo. I traguardi, oltre a soddisfare obiettivi di crescita civile, apriranno nuovi orizzonti della ricerca in campo biologico, genetico, chimico e astrofisico stimolando, altresì, lo sviluppo tecnologico connesso.

La presenza della vita sulla Terra è direttamente correlata sia all'origine ed evoluzione del Sistema Solare che alle condizioni iniziali presenti nella nube molecolare interstellare dalla quale il nostro pianeta ha avuto origine. La vita, così com'è conosciuta sulla Terra, è originata da complesse reazioni basate sulla chimica del carbonio, probabile risultato della interazione di molecole organiche e materiale inerte. Un contributo dato allo studio dei processi elementari che avvengono nello spazio e che possono aver dato luogo alla formazione della vita sulla Terra o in altri ambienti spaziali è basato sullo studio dei meccanismi chimico-fisici di sintesi e di evoluzione della materia organica nello spazio guidata dalle interazioni con fotoni e particelle energetiche in presenza di minerali con funzioni catalitiche. Quindi è interessante poter individuare i percorsi chimici che il materiale organico segue nel mezzo interstellare, la sua successiva evoluzione nei dischi protoplanetari e, in fine, come questo è incorporato nella formazione degli oggetti del Sistema Solare. Le più recenti teorie sull'origine dei sistemi viventi individuano nella comparsa di un polimero autoreplicante, capace di trasmettere l'informazione genetica in esso contenuta e di andare incontro ad un processo evolutivo di tipo Darwiniano, il punto di transizione tra la chimica prebiotica e l'origine della vita vero e proprio. Uno dei problemi fondamentali che si pongono nello studio dell'evoluzione prebiotica è il mantenimento dell'informazione genetica delle molecole autoreplicanti in assenza di sistemi enzimatici efficienti. Per quanto riguarda la sintesi e la disponibilità dei precursori, numerosi gruppi di ricerca stanno dimostrando il ruolo fondamentale svolto da oggetti cosmici come la polvere cosmica, le micrometeoriti e le meteoriti nella formazione, mantenimento e insemminazione della Terra primordiale con i composti organici necessari per la sintesi delle più importanti macromolecole biologiche (aminoacidi, basi nucleotidiche, zuccheri). Dal punto di vista della protezione di queste molecole nei confronti della degradazione ambientale, studi condotti in ambiti diversi dall'astrofisica all'ecologia molecolare, hanno individuato il ruolo primario svolto dalle particelle minerali nella protezione contro la degradazione da radiazione UV, raggi cosmici e temperature elevate.

Un altro aspetto che acquista, in questo scenario, un'importanza sempre più rilevante è lo studio dei meccanismi di trasporto e protezione del materiale biotico e degli organismi viventi come spore batteriche sulla superficie terrestre o di altri pianeti, come ad esempio Marte, attraverso impatti meteoritici e di grani cometari. Le Comete sono, infatti, i corpi più primordiali del sistema solare e il loro studio può fornire informazioni preziose sulla formazione del sistema solare stesso. Esse possono aver giocato un ruolo essenziale per la formazione della vita sulla Terra, depositando circa 4 miliardi di anni fa' la materia organica dalla quale si è poi formata la vita. In effetti, si calcola che in quel periodo un enorme bombardamento cometario abbia depositato sulla Terra primordiale circa 10^{16} - 10^{18} kg di carbonio. Per questa ragione lo studio della materia organica presente nelle comete è uno dei filoni di ricerca interessanti visti anche i



successi della sonda NASA Stardust. Un altro aspetto importante riguarda lo studio dell'abitabilità galattica, ovvero stabilire un nesso tra le condizioni fisico/chimiche in una determinata regione di una galassia e la probabilità che in tale regione possano nascere e svilupparsi forme di vita del tipo che conosciamo. In questo tipo di studi è fondamentale mappare spazialmente le proprietà chimico/fisiche di una galassia in diversi momenti della sua storia evolutiva e conoscere il tasso di formazione planetaria nella Galassia,

Oggi nel mondo la ricerca astrobiologica è una disciplina attiva che sta ottenendo risultati scientifici importanti che rispecchiano l'impegno sia economico che programmatico preso dai vari stati. Di seguito sono presentati i vari scenari internazionali di maggiore importanza per la ricerca.

3.2 Lo scenario internazionale

3.2.1 Lo scenario negli USA

Particolare rilievo assume la posizione dell'agenzia spaziale statunitense (NASA) che tra i propri programmi di esplorazione spaziale include l'astrobiologia. La ricerca è prevalentemente indirizzata a tracciare i percorsi evolutivi che i principali elementi biogenetici (C, H, N, O, P, S) hanno intrapreso dall'origine dell'Universo fino allo sviluppo di sistemi viventi e ai loro precursori. L'indagine è stata suddivisa in tre aree principali: l'evoluzione cosmica dei composti biogenetici; l'evoluzione prebiotica; i primi stadi evolutivi della vita e l'evoluzione della vita avanzata. A causa della oggettiva natura interdisciplinare nel 1998 è stato creato il **NASA Astrobiology institute (NAI)**. Ente, attraverso il quale, la NASA finanzia la ricerca nel campo dell'astrobiologia. Oggi il NAI è costituito da **16 gruppi di ricerca statunitensi** che raccolgono circa **700 ricercatori** provenienti da circa **150 istituti di ricerca**. Ha, inoltre, la *partnership* con **organizzazioni internazionali** di astrobiologia. Obiettivo principale del NAI è condurre ricerche eccellenti ed innovative in astrobiologia, ponendo l'accento sul lavoro in cooperazione. Sono stati creati, a questo proposito, gruppi con infrastrutture cooperative "*Focus Groups*" (Marte, Ecogenoma, Missione verso la Terra primitiva, Evogenoma, Europa, Astromateriali, Titano, Virus, Conseguenze biologiche degli impatti) che attraverso progetti di finanziamento proposti al NAI, stimolano nuove aree di ricerca, promuovono collaborazioni a grande distanza, e contribuiscono alle missioni spaziali di astrobiologia. A tutt'oggi più di 650 pubblicazioni sono state finanziate da NAI di cui 45 sulle riviste *Science*, *Nature* e *PNAS*.

3.2.2 Lo scenario in Australia

Il **Centro di Astrobiologia Australiano (ACA)**, fondato nel 2001, raccoglie gruppi di ricercatori coinvolti in ricerche interdisciplinari che hanno come obiettivo lo studio della formazione ed evoluzione della vita sulla Terra e la possibile presenza in altre regioni del Sistema Solare o in altri sistemi planetari. La ACA, facendo leva sulle potenzialità scientifiche locali e sulla peculiare caratteristica geologica della propria nazione, ha centrato la propria attenzione sull'aspetto microbico dell'astrobiologia.

3.2.3 Lo scenario Europeo

In Spagna il **Centro de Astrobiologia (CAB)**, situato a Madrid, ha come principali campi di interesse: L'osservazione e l'analisi dei fenomeni astrobiologici e la creazione di modelli che ne danno una spiegazione scientifica; la ricerca teorica sull'origine della vita e le tecnologie di supporto. Il centro conta più di 64 ricercatori ed ingegneri ed è associato al NAI.

In Inghilterra è stato creato di recente lo **United Kingdom Astrobiology Forum and Network (UKAF)** costituito da un comitato del British National Space Centre (Forum) che promuove l'Astrobiologia nel Regno Unito ed un Network per promuovere lo scambio di conoscenze all'interno della comunità scientifica. L'UKAF è affiliato al NAI.



Nell'ambito del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) è stato creato il gruppo di ricerca esobiologica (**Groupement de Recherche en Exobiologie, GDR**) che promuove lo sviluppo dell'esobiologia sia in Francia che in ambito internazionale. Il GDR è finanziato dal CNRS e dal CNES, l'agenzia spaziale francese. E' composto da 50 laboratori e comprende un Consiglio Scientifico formato da 16 scienziati appartenenti a diversi campi di ricerca. Il GDR ha come tematiche principali: lo studio della vita terrestre passata e presente; l'origine della vita terrestre; l'esobiologia nel Sistema Solare e nel mezzo interstellare; la vita nell'Universo e gli aspetti epistemologici dell'astrobiologia.

Lo **European Exo/Astrobiology Network Association (EANA)**, creato nel 2001, coordina i diversi centri europei di eccellenza in astro/esobiologia e i vari campi di interesse organizzati precedentemente in paleontologia, geologia, fisica dell'atmosfera, fisica planetaria e fisica stellare dal settembre 2002 è affiliato al NAI.

Gli scopi di EANA sono quelli di coordinare i ricercatori e le strutture a livello europeo per ottenere i seguenti obiettivi:

- ◆ Promuovere la collaborazione tra i ricercatori europei e legare i vari programmi di ricerca.
- ◆ Finanziare lo scambio di ricercatori e di strumenti tra i laboratori.
- ◆ Formare nuovi giovani ricercatori.
- ◆ Creare un sito web dove creare un database di competenze e risorse tecniche per evitare duplicazione degli sforzi e per ottimizzare la distribuzione delle risorse.
- ◆ Promuovere l'astro/esobiologia nelle agenzie europee ed in campo politico.
- ◆ Promuovere la ricerca sugli estremofili.
- ◆ Interfacciare EANA con gli istituti europei (es. ESA, Commissione Europea)
- ◆ Promuovere l'interesse pubblico ed educare la nuova generazione di futuri scienziati.

EANA è amministrato da un Consiglio Esecutivo formato da membri che rappresentano i 12 paesi europei attivi nel campo: Austria, Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Portogallo, Spagna, Svezia, Svizzera, Olanda e Regno Unito.

3.3 Ricerche in Italia

Sebbene l'astrobiologia in Italia sia ancora in una fase iniziale, ha già mostrato di poter raccogliere gli interessi della comunità scientifica distribuita su tutto il territorio italiano e in continua crescita. La comunità scientifica italiana ha evidenziato la capacità di sviluppare linee di ricerca unitari basate su competenze e conoscenze appartenenti a diversi ambiti culturali come ad esempio la biologia, la genetica, la chimica e l'astrofisica.

La ricerca astrobiologica in Italia si fonda su alcune considerazioni di base. Tenuto conto che la formazione di un polimero primordiale "nucleic-acid like", qualunque esso sia stato, deve aver richiesto alcune specifiche condizioni tra cui la sintesi e la disponibilità dei suoi precursori (i nucleotidi), la loro riunione in molecole sempre più grandi (polinucleotidi), la loro protezione contro la degradazione da parte della radiazione cosmica e UV assicurando così la persistenza delle prime molecole genetiche in un ambiente in continuo cambiamento. **Lo studio di qualunque possibile scenario evolutivo della materia organica nello spazio necessita l'individuazione e la simulazione in laboratorio delle condizioni e dei processi fisico-chimici presenti nei vari ambienti spaziali** dove è possibile l'innescare di reazioni chimiche che possano dar luogo alla formazione di molecole prebiotiche a partire da molecole semplici od alla loro distruzione. In particolare, vengono individuati come processi energetici coinvolti nella sintesi e degradazione di composti prebiotici quelli termici e quelli dovuti ad irraggiamento da particelle e da fotoni.

Si stanno conducendo presso **Università di Firenze Dipartimento di Biologia Evoluzionistica e presso il Dipartimento di Astronomia e Scienze dello Spazio** studi molecolari sul processo di adsorbimento di basi nucleotidiche (A,C,T, U), nucleotidi, oligonucleotidi e ribozimi, su fillosilicati argillosi (Figura 1),

condriti carbonacee (meteorite di Murchison) e analoghi di polvere cosmica (CDA) con successive analisi delle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei complessi ottenuti, e studio della capacità protettiva esercitata dalle matrici minerali, sui costituenti adsorbiti, nei confronti della radiazione UV e delle elevate temperature. Inoltre, si sta elaborando un modello matematico di dinamica evolutiva di un semplice ribozima, in presenza di due differenti ambienti minerali con complessità crescente: i) spazio bi-dimensionale suddiviso in un set di “sotto-spazi” più piccoli (“cavità”) non comunicanti fra loro; e ii) spazio bi-dimensionale con due diversi tipi di “cavità”, capaci di riflettere le differenze esistenti fra la superficie e la parte interna del minerale in esame.

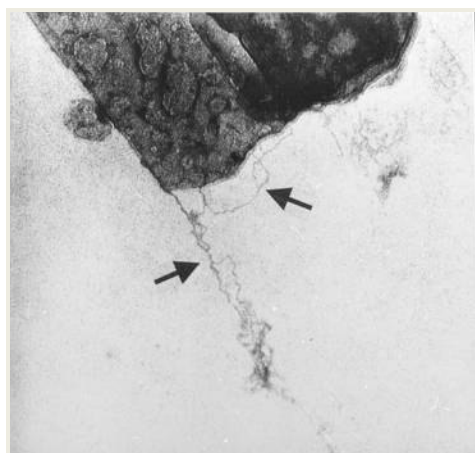


Figura 1. La persistenza e l'attività biologica del materiale genetico (indicato con le frecce), al di fuori di un contesto cellulare, è notevolmente favorita dalla sua interazione con alcuni componenti fondamentali degli ambienti naturali come le argille. Questo ha aperto nuovi scenari nello studio dell'origine dell'informazione genetica in epoca prebiotica e quindi dell'origine della vita sulla Terra (Franchi et al. 1999).

Un ulteriore aspetto del problema, parallelo al precedente e sviluppato in maniera indipendente dall'**Università di Padova** e dall'**OAPd**, è la sopravvivenza all'epoca attuale di forme di vita o dei loro precursori che possano essersi formati in ambienti planetari oggi alterati dall'evoluzione. Aniché simulare gli ambienti della vita nelle condizioni primordiali, attualmente non più presenti e comunque difficili da individuare e riprodurre, alcuni studi si pongono il problema pratico se sia possibile o no trovare oggi forme di vita sopravvissute in nicchie ecologiche su pianeti come Marte o Europa, le cui condizioni ambientali sono notevolmente diverse da quelle presunte per l'origine della vita.

Dal 2004 il gruppo **dell'OAPa** ha intrapreso uno studio degli effetti della radiazione X soffice di tipo stellare su molecole organiche quali DNA e amino acidi (Figura 2). Parallelamente alla suddetta attività sperimentale, presso INAF-OAPa, è in fase di completamento una nuova sezione del laboratorio XACT (X-ray Astronomy Calibration and Testing), una camera UHV (Ultra High Vacuum) che sarà dedicata all'Astrobiologia. Il laboratorio di Astrobiologia mira principalmente allo studio del ruolo della radiazione X ed UV da stelle di tipo solare giovane nella sintesi di molecole organiche complesse nello spazio, basilari per l'origine della vita sulla Terra.

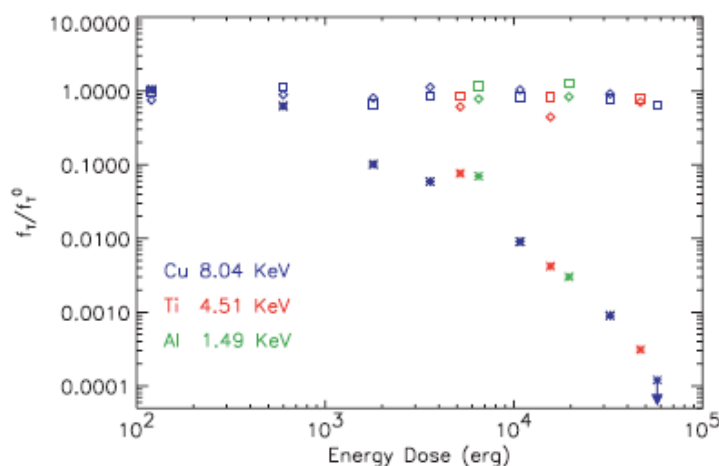


Figura 2. Rapporto delle frazioni di DNA irradiato f_T rispetto a quello non irradiato f_T^0 in funzione della dose di raggi X. Gli asterischi si riferiscono al DNA libero, i diamanti al DNA adsorbito su kaolinite ed i quadrati per DNA adsorbito su montmorillonite. I colori blu, rosso e verde si riferiscono, rispettivamente, a raggi X di energia 8.04, 4.51, 1.49 keV (Ciaravella et al. 2004).

Il "Laboratorio di Astrofisica Sperimentale" (**LASp dell'OACT**) è attivo da più di venticinque anni. Il gruppo è impegnato in una ricerca interdisciplinare sullo studio degli effetti prodotti dalle interazioni di ioni veloci (10-400 keV) e fotoni ultravioletti (Lyman- α 121.6 nm=10.2 eV) con bersagli di interesse astrofisico. Lo scopo è di studiare sperimentalmente le modificazioni chimico-fisiche di bersagli solidi (silicati, materiali carboniosi, ghiacci) bombardati con fasci ionici energetici e/o con fotoni ultravioletti. In particolare il processamento energetico porta alla formazione di molecole organiche complesse (forse simili ai mattoni che portati sulla Terra primitiva hanno contribuito all'evoluzione biologica) e di specie ossidanti d'interesse per l'astrobiologia. La filosofia degli esperimenti è di preparare bersagli di materiale posto a temperature criogeniche e di studiarne le proprietà spettroscopiche prima, durante e dopo l'irraggiamento con ioni veloci. Il LASp è, pertanto, dotato, di sistemi di camere ad alto vuoto, apparecchiature per la deposizione di gas condensati a bassa temperatura, un acceleratore di ioni, lampade Lyman- α , vari spettrometri nell'intervallo spettrale UV-VIS-IR.

Gli studi condotti presso l'OATs di abitabilità galattica sono mirati a stabilire un nesso tra le condizioni fisico/chimiche in una determinata regione di una galassia e la probabilità che in tale regione possano nascere e svilupparsi forme di vita del tipo che conosciamo. In questo tipo di studi è fondamentale mappare spazialmente le proprietà chimico/fisiche di una galassia in diversi momenti della sua storia evolutiva. Scopo della presente ricerca è quello di produrre mappe evolutive di questo tipo per una galassia come la nostra, con particolare attenzione alle proprietà che hanno rilevanza astrobiologica. Un esempio, è la mappa evolutiva della metallicità, cui si vuol far corrispondere una mappa di probabilità di formazione di pianeti abitabili. Altro esempio è la mappa evolutiva del tasso di esplosione di supernove, da cui mappare una probabilità di distruzione di una biosfera. Allo scopo di produrre tali mappe spazio-temporali ci avvarrà, per la prima volta in questo tipo di ricerca, di simulazioni N-body SPH di galassie, ottenute con il codice GADGET-2, in cui abbiamo recentemente implementato un modello di evoluzione chimica (Tornatore et al. 2007, MNRAS, 382, 1050). Nell'ambito di questo lavoro si utilizzerà una metodologia originale mirata ad aumentare la risoluzione della simulazione mantenendo il tempo di calcolo non eccessivamente elevato. La conoscenza del tasso di formazione planetaria, e della sua evoluzione spaziale e temporale nella Galassia, è fondamentale per gli studi di abitabilità. L'efficienza della formazione di pianeti sembra dipendere dalla metallicità stellare, ma le evidenze osservative in tal senso coprono un rango di metallicità relativamente modesto, grossomodo un ordine di grandezza attorno al livello di metallicità solare. Scopo della ricerca è



gettar luce sull'efficienza di formazione planetaria a metallicità più basse, tipiche dei primi stadi di evoluzione chimica galattica. Poichè la presenza di polvere è fondamentale nei processi di formazione planetaria si cercherà innanzitutto di stabilire il legame tra polvere e metallicità in ambienti interstellari poco evoluti chimicamente, quali sono per esempio i sistemi *damped Lyman alpha* (DLA). Nostri precedenti studi suggeriscono la presenza di un crollo della frazione di ferro in polvere a metallicità inferiori a circa 1/30 del livello solare (Vladilo 2004, A&A, 421, 479). Si vuole cercare di capire se sotto questa soglia di metallicità vi sia una corrispondente crollo nell'efficienza di formazione di pianeti rocciosi, di particolare interesse astrobiologico, e applicare quindi i risultati a studi di abitabilità galattica.

Si è visto che la polvere cosmica ha un ruolo importante nella formazione di composti molecolari fondamentali per la chimica prebiotica attiva nelle prime fasi evolutive della Terra. Tra le varie teorie di chimica prebiotica attive sulla Terra nelle prime fasi evolutive (sintesi di Miller-Urey e Fisher-Tropsch) un ruolo importante è dato dalla sintesi nello spazio ed il trasporto sulla superficie terrestre di materia organica di origine extraterrestre. Si stima che 10^7 - 10^9 kg per anno di carbonio contenuto in composti organici sia caduto sulla Terra nel primo miliardo di anni di vita sotto forma di particelle di polvere interplanetaria (IDPs). Questi grani di polvere ed i composti molecolari possono essere presenti nello spazio in regioni molto diverse tra loro, con temperature variabili da pochi a migliaia di gradi kelvin ed in condizioni di forte irraggiamento di radiazioni ionizzanti e fotoni UV. A causa della bassa efficienza di sintesi di molecole complesse in fase gassosa, si stanno conducendo studi presso l'**OAAr** e il **Dipartimento di Astronomia e Scienze dello Spazio** di processi di formazione di macro molecole a temperature criogeniche su superficie di grani di polvere con composizione chimica e morfologia simile a quella osservata nelle IDPs condritiche e porose.

Le Comete sono i corpi più primordiali del sistema solare e il loro studio può dare informazioni preziose sulla formazione del sistema solare stesso. Esse possono aver giocato un ruolo essenziale per la formazione della vita sulla Terra, depositando circa 4 miliardi di anni fa' la materia organica dalla quale si è poi formata la vita. In effetti si calcola che in quel periodo un enorme bombardamento cometario abbia depositato sulla Terra primordiale circa 10^{16} - 10^{18} kg di carbonio. Per questa ragione lo studio della materia organica in comete è uno dei filoni di ricerca più interessanti che si sta conducendo presso l'**OAAr**. Lo studio spettroscopico nel radio (sub-mm) e nel vicino-IR dell'emissione cometaria ha rivelato una grande quantità di molecole organiche. Tuttavia questo tipo di osservazione diventa sempre più difficile con l'aumentare della complessità della molecola, e, come rivelato per la prima volta dalla sonda Giotto alla cometa 1P/Halley, circa il 50% della materia organica può essere sotto forma di grani. Importante notare che piccoli grani possono raggiungere la superficie terrestre senza un eccessivo riscaldamento (che potrebbe distruggerli) in quanto vengono frenati dolcemente nell'alta atmosfera. Questi grani sono estremamente difficili da rivelare spettroscopicamente perchè la loro emissione è mescolata e coperta dall'emissione dei grani refrattari (silicati). Il nostro gruppo ha messo a punto una tecnica per rivelare ed identificare grani che sublimano sotto l'effetto della radiazione solare, presumibilmente grani organici o silicati coperti da materiale organico. Al momento circa 5 comete hanno mostrato la presenza di questi grani e attraverso un modello di scattering di radiazione solare si potuto avere indicazioni che questi sono organici. Per i prossimi anni si vuole continuare a ripetere questo tipo di osservazioni su più comete possibili, in modo da cercare possibili correlazioni con altre caratteristiche delle comete, quali ad esempio origine.

Il gruppo del **CNR-ISMN di Roma** studia i vari aspetti della chiralità utilizzando metodologie avanzate per la caratterizzazione e rivelazione di tali molecole. Quasi tutti i processi biologici coinvolgono molecole chirali di appropriata forma e configurazione che presentano specifici gruppi funzionali in posizioni adatte. Le loro interazioni con specifici recettori dissimetrici è la base del riconoscimento chirale e della biocatalisi. Fin dall'inizio dei processi evuzionistici, i processi vitali si basano sulla specificità biologica dovuta al fatto che le biomolecole "comunicano" tramite interazioni non covalenti. Complessi ione-molecola diastereomerici non covalenti prodotti in fase gassosa sono modelli ideali per studiare il riconoscimento chirale in assenza dell'effetto complicante del solvente e del controione. In molecole chirali, la specificità delle interazioni porta ad una pronunciata enantioselettività. Tale peculiarità è utile per sviluppare



metodologie in grado di produrre molecole chirali di elevata purezza e progettare sistemi in grado di svolgere una ben definita attività biologica. Gli studi spettroscopici sono condotti in fascio supersonico mediante una complessa apparecchiatura realizzata presso l'Università "La Sapienza" di Roma. Queste misure permettono di definire il ruolo della microsolvatazione anche chirale nella dinamica ed energetica dei processi. Progettiamo di identificare *in situ* la composizione ed ogni arricchimento enantiomerico nelle molecole organiche presenti sia in meteoriti trovati sulla Terra sia da materiali provenienti dai diversi viaggi spaziali ove possibile. Il successo di questi esperimenti consentirebbe di ottenere informazioni dirette sulle primissime fasi di vita nel Sistema Solare (CNR-ISMN).

Come noto, a livello nazionale l'unico programma operativo per la ricerca di eventuali segnali radio "artificiali" (Seti-Italia), provenienti da civiltà extraterrestri in possesso della opportuna tecnologia, è in corso presso la **Stazione Radioastronomica di Medicina (Bo) dell'IRA**. Tale ricerca viene portata avanti sfruttando una metodologia osservativa piggy-back che permette osservazioni continue per 24 ore al giorno. A tale scopo si usa il sistema Serendip IV, spettrometro che offre una risoluzione spettrale di 0.67 Hz (24.000.000 di canali su una banda di 16 MHz) fornito dall'Università di Berkeley, collegato all'antenna parabolica di 32 m di diametro. Il Serendip opera in parallelo alle osservazioni in corso senza perturbarle ed allo stesso tempo, oltre alla ricerca di segnali artificiali di origine extraterrestre, effettua un monitoraggio continuo delle interferenze radio che costituiscono uno dei problemi più pressanti della radioastronomia moderna. Il programma Seti-Italia è formalmente partito nel 1998 ed è stato fondamentale nella acquisizione di conoscenze tecnologiche per la progettazione e costruzione di spettrometri digitali in real time ad alta risoluzione allo stato dell'arte per spettroscopia.

La distribuzione di materiale organico sulla Terra per mezzo di particelle di polvere di origine cometaria ed asteroidale richiede sia la capacità di poter raccogliere questo materiale per una successiva analisi in laboratorio, che poter condurre osservazioni astronomiche in service con tempo garantito per gli oggetti progenitori nuovi o a supporto di missioni spaziali verso asteroidi e comete.

3.4 Highlights, progetti, missioni spaziali in corso e opportunità future

3.4.1 Highlights

Sulla base di quanto detto l'attività italiana in astrobiologia può essere riassunta in:

- A. Studio delle condizioni chimiche e fisiche presenti durante l'evoluzione prebiotica indotte dai processi energetici come: la temperatura, l'irraggiamento con ioni veloci ed elettroni, l'irraggiamento con fotoni ultravioletti e raggi X.
- B. Analisi di processi di sintesi e di degradazione di molecole prebiotiche in presenza di catalizzatori inorganici e loro ruolo nella selettività e specificità delle trasformazioni.
- C. Realizzazione di esperimenti di simulazione di ambienti planetari per l'identificazione di condizioni favorevoli alla sopravvivenza e al trasporto di spore batteriche.
- D. Studio e analisi molecolari dei processi di adsorbimento e di protezione di basi nucleotidiche (A,C,T, U), nucleotidi, oligonucleotidi e ribozimi, su fillosilicati argillosi (montmorillonite), condriti carbonacee (meteorite di Murchison) e analoghi di polvere cosmica.
- E. Tecniche per la rivelazione e identificazione di grani organici che sublimano sotto l'effetto della radiazione solare.
- F. Studio della chiralità.
- G. Simulazioni di galassie come strumento diagnostico per la mappatura di zone abitabili.
- H. Formazione di polvere e pianeti a basse metallicità e implicazioni per studi di abitabilità galattica.



3.4.2 Programmi di attività in corso nei prossimi 1-3 anni (ed eventualmente oltre) a livello internazionale

Nell'ambito del programma Cosmic-Vision dell'ESA è stato selezionato lo studio di missione "Marco-Polo". Obiettivo della missione è la raccolta e il ritorno a terra di un campione della superficie di un oggetto primitivo appartenente alla classe dei Near-Earth Object (comete estinte o asteroidi di classe P, D o C). In particolare. La missione si propone di studiare, attraverso l'analisi in laboratorio del materiale raccolto:

- Qual è la natura e l'origine dei composti organici su un NEO;
- Come il materiale organico presente nei NEO può fornire informazioni sull'origine delle molecole necessarie alla vita.
- Qual è il ruolo degli impatti di NEO nell'origine della vita sulla Terra.

Più di 450 ricercatori di tutto il mondo sostengono la missione Marco-Polo con un diretto coinvolgimento della comunità scientifica italiana e dell'INAF.

3.4.3 Tabella sintetica dei progetti di ricerca

Nome progetto	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento o prevista	Impegno temporale previsto
LISA - Laboratori o Italiano di Simulazione e Ambienti	Attivo dal 2007. Esperimenti italiani e stranieri già svolti. Un nuovo simulatore in costruzione per esperimenti lunghi.	Stabilire la sopravvivenza all'epoca attuale di spore e molecole biotiche in ambienti planetari estremi, tra cui Marte.	Due simulatori in grado di ospitare da 1 a 6 celle di 250 cc ciascuna con campioni esposti a condizioni estreme di bassa pressione, temperatura, atmosfera e radiazione UV.	Dip. Astronomia; Dip. Istologia, Microbiologia, Biotecnologie Mediche; Padova; Centro Studi e Attività Spaziali; OAPd, Coll. German Aerospace Center, Cologne	Università di Padova, INAF	Università di Padova (2 Dipartimenti e CISAS), INAF Padova	Università e fondi dai laboratori esteri per utilizzo attrezzature.	2 anni.
ESS (Esplorazione Sistema Solare)	inizio 1.6.2007; attualmente in corso	Ricerca di segni di vita nel Sistema Solare.	In particolare il progetto si articola in studi di laboratorio prebiotici, di chiralità, di origine ed evoluzione di sistemi autoreplicanti, di sistemi semi-sintetici, ambientali. Inoltre include uno studio tecnologico per la rilevazione di biomolecole.			OAAr, OACt, OACn, UNI Firenze, UNI Roma, UNI Viterbo CNR Roma, UNI Perugia	ASI	La scadenza del programma è fissata al 1 giugno 2010 (durata 36 mesi)
Astrobiology of Icy Worlds: Habitability, Survivability, and Detectability	Approvato dalla NASA. Che finanzia i gruppi statunitensi.	1. Investigate the Habitability of liquid water environments in icy worlds 2. Investigate the Survivability of biological compounds under simulated icy world surface conditions 3. Investigate the Detectability of life and biological materials on the surface of icy worlds 4. Develop a Path to Flight for astrobiology instrumentation	Interdisciplinarietà Osservazioni Esperimenti di Lab Modelli Nuove tecnologie	JPL CALTECH NASA AMES U. Seattle	Attività sperimentale in laboratorio	OACt	Nessuna per i gruppi europei	6 mesi/uomo/yr
PRIN-INAF	In corso	Survival of prebiotic compounds in the very intense X and EUV radiation field of Young Sun		OAPa(PI), IASF-Pa, OACn			INAF	

3.4.4 Tabella sintetica delle partecipazioni a missioni spaziali future

Nome Missione	Stato del progetto	Scopo scientifico	Caratteristiche principali	Principali Istituti coinvolti	Partecipazione italiana	Istituti italiani coinvolti	Fonte di finanziamento prevista	Impegno temporale previsto
Marco Polo	Studio Fase A	Missione di sample return da un asteroide primitivo o cometa estinta		450 ricercatori da tutto il mondo	OAAr, OARm, OACt, OACn, OAPd, OATo, IFSI	Maggiori Università	ESA ASI	
FEBO – Facility for Exobiology and Observations	Studio Fase A	studi di esobiologia per esposizione ad ambiente spaziale	Esperimenti su ISS		OAPa, ISMNP, OAAr, Viterbo, Roma (PI), OACn, Univ. Univ.		ASI - Kayser IT	



Indice Analitico

A

ACE; 13; 16; 18
 ACRIM/SMM-UARS; 13
 ADAHELI; 8; 18; 39
*Affioramento del flusso magnetico ed organizzazione sulla
 superficie del Sole*; 9
 ASPERA-3; 21; 35
 ASPERA-4; 21; 35
 SPIICS; 11; 12; 25; 38

B

Baia Terranova; 16
 barra equatoriale solare; 25
Bepi Colombo; 19; 24
 BepiColombo; 20; 23; 27; 35; 36; 41; 42; 49; 53

C

Cassini-Huygens; 43; 53
 CAWSES; 17
 CLUSTER; 13; 16; 24; 28; 35
 COST; 23; 25
 COST 724; 23
Cross-Scale; 18; 37

D

DAWN; 45; 50; 51; 53
 Dome C; 16; 31
Double Star; 16; 17; 24
 DST; 7; 9; 30
 Dunn Solar Telescope; 8; 30
 DUSTER; 46

E

EIS; 10
 EJSM; 20; 21; 38
 ELENA; 19
 EOS AURA; 23
 ESA; 11; 12; 18; 19; 21; 35; 36; 37; 38; 40; 41; 42; 45; 49; 50; 53;
 54; 55; 58; 63; 65
 ESO; 23; 32; 42; 45; 46
 ESS2; 23
ExoMars; 41; 49

G

GAIA; 45
 Geotail; 13; 16
 GIADA; 46
 GOLF; 6

H

HELAS; 5
 Helios 2; 13
 HERSCHEL/SCORE; 11
 HF/NIMBUS; 13

Hinode; 7; 8; 9; 28

I

IASF; 39; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 49; 50; 52; 53; 54; 55; 64
 IBIS; 8; 9; 30
 IFSI; 18; 19; 20; 21; 23; 24; 28; 30; 31; 32; 35; 36; 37; 38; 39; 41;
 42; 43; 45; 49; 50; 52; 53; 54; 55; 65
IMAGE; 16
IRA; 43; 46; 52; 62
 ISA; 42
 ISODY; 8; 39
ITACA²; 16; 17; 25; 31

J

Juno; 44; 49; 53

K

KuaFu; 18
 KUAFU; 11

L

LARC; 23; 32
LA_{Sp}; 60

M

MAGIA; 21; 38; 42; 49; 55
 MARCO POLO; 21
 Mariner; 42
Mars Express; 41; 49; 54
Mars Reconnaissance Orbiter; 41; 49; 54
 MARS-EXPRESS; 21
 Medicina; 48; 52; 62
 MEDUSA; 46; 49
 MIPA; 19
 MMO; 19; 20; 36
 MORE; 42
 MPO; 19; 35; 36
 MSPEC0; 48

N

NASA; 11; 25; 35; 38; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 49; 51; 53; 54; 55;
 57; 64
 NSO; 8; 9; 30

O

OAAr; 25; 28; 30; 46; 50; 52; 55; 61; 64; 65
 OACn; 25; 28; 42; 46; 47; 49; 50; 52; 53; 55; 64; 65
 OACt; 13; 25; 28; 29; 30; 33; 37; 39; 42; 46; 47; 52; 60; 64; 65
OAPa; 28; 59; 64; 65
 OAPd; 20; 42; 45; 46; 50; 52; 53; 55; 59; 64; 65
 OARm; 25; 28; 30; 32; 37; 39; 45; 46; 50; 52; 55; 65
 OATo; 28; 29; 35; 37; 38; 43; 44; 52; 54; 65
 OATs; 13; 25; 28; 30; 32; 60
OPM; 49
 OSIRIS; 46



P

Pan-STARRS; 50
Phoebe; 43; 51
PICAM; 19
PNRA; 23; 31; 32
PROBA-3; 11
PSPT; 25; 32

R

RAMON; 21; 37
RHESSI; 12; 24
Rosetta; 45; 46; 50; 51; 53

S

S.V.I.R.CO.; 23
SCIAMACHY/ENVISAT; 13
SDO; 9; 10; 25; 28
SEGMA; 16; 17; 18; 25; 31
SERENA; 19; 35; 42
SETI; 47; 48
SHARAD; 41
SIMBIOSYS; 42
SIXS; 20; 23; 36
SMART; 42
SMESE; 11; 25
SOHO; 6; 9; 10; 11; 12; 13; 24; 28
Solar Orbiter; 12; 15; 35; 37
SOLAR ORBITER; 11; 25
SOLAR-B; 10
SPECTRA-1; 48
SST; 7; 9
Stardust; 46; 57
stazione antartica Mario Zucchelli; 16
STEREO; 15; 18; 28

STROFIO; 19
SuperDARN; 16; 17; 18; 25; 31

T

THEMIS; 20; 28; 30; 42
TIM/SORCE; 13
TNG; 20; 42; 45; 46
TRACE; 10; 12; 24; 28
TSRS; 25; 32
TSSM; 21

U

Ulysses; 13; 24
UVCS; 11; 13

V

VAMOS; 25; 33
Venus Express; 42; 54
VENUS-EXPRESS; 21
VIMS; 43; 49; 53
VIRGO/SoHO; 13
VIRTIS; 46
VLBI; 43; 46
VLT; 45
Voyager; 13
VTT; 7; 9

W

WIND; 13

X

XACT; 59