

APPENDICE A2

Ricerca Scientifica e Tecnologica

MACRO-AREA 1 : “GALASSIE E COSMOLOGIA”

(D. Bettoni, A. Cimatti, A. Comastri (coordinatore), P. Salucci, L. Spinoglio)

INTRODUZIONE

La Macro-area 1 (MA1) raccoglie circa il 20% dei ricercatori dell'INAF e tale percentuale cresce al 22% se si considerano anche gli associati all'INAF. L'attività di ricerca all'interno della MA1 spazia dalla cosmologia, allo studio delle galassie normali e attive nell'universo locale fino all'analisi degli oggetti più lontani usati come traccianti dell'origine ed evoluzione delle strutture cosmiche. Se valutata in termini di impegno da parte di personale INAF e soprattutto di qualità della produzione scientifica e di impatto internazionale si evince che le ricerche afferenti alla MA1 siano tra quelle maggiormente di punta dell'INAF. Da un'attenta analisi delle pubblicazioni della comunità di MA1 e del loro impatto (es. numero di citazioni), come anche dall'analisi dell'accesso ai grandi telescopi sia da terra che dallo spazio risulta evidente che in questo campo di ricerca sono stati ottenuti risultati di eccellenza e competitività internazionale, sia dal punto di vista osservativo che teorico.

L'ultima decade ha rappresentato una vera e propria rivoluzione negli studi della formazione ed evoluzione dell'Universo e delle strutture cosmiche in esse contenute. Questo è stato possibile grazie sia all'avvento di grandi telescopi (terrestri o spaziali) operanti dal radio al gamma, e quindi a un approccio multi-banda con sensibilità sufficienti a rivelare oggetti ad alto redshift, sia allo sviluppo di simulazioni numeriche capaci di fornire previsioni specifiche e campioni simulati da confrontare con le osservazioni, nonché a importanti sviluppi in campo teorico.

PUNTI DI FORZA E COMPETITIVITÀ

Da un'analisi approfondita dei vari progetti di ricerca presenti all'interno della Macro-area 1 e alla luce di quanto indicato nel Piano a Lungo Termine dell'INAF, si sono individuati i filoni di ricerca portanti in cui la nostra comunità è particolarmente competitiva a livello internazionale e per i quali si suggerisce un consolidamento e potenziamento per il prossimo triennio (2008-2010).

Studi di cosmologia osservativa e teorica : dall'analisi della radiazione di fondo (CMB) ai modelli inflazionari

La cosmologia Italiana è soprattutto rappresentata da un numero di esperimenti (portati a termine o in corso) sulle proprietà della CMB da satellite o da pallone sonda. In questo campo la competenza degli scienziati italiani è riconosciuta in tutto il mondo, i risultati ottenuti sono fondamentali, ed è notevole la quantità e la qualità dei ricercatori coinvolti. Da notare che questi esperimenti hanno ricadute per altri campi di ricerca, per lo sviluppo tecnologico di rilevatori e software, per lo studio di materiali. Non è trascurabile il fatto che questo è uno dei pochi campi dell'astrofisica italiana dove il coordinamento di un numero notevole di persone ha portato a risultati indiscutibili. In questo settore, i prossimi anni saranno decisivi, in quanto esperimenti programmati in tutto il mondo dovrebbero fornirci le informazioni necessarie a rispondere a tutti i temi della cosmologia classica. Da notare anche studi più propriamente teorici che riguardano le varie fasi dell'inflazione, la possibilità di modificazioni nella gravità newtoniana o relatività generale ed alcune linee di ricerca di astroparticelle in cui agiscono studiosi di punta. Una maggiore cooperazione tra progetti ad altissimo redshift e quelli locali sarebbe certamente la strada maestra per un aumento di competitività.

La ricerca e lo studio delle stelle di popolazione III, galassie e Buchi Neri primordiali e il loro ruolo nella reionizzazione dell'Universo

Una delle fasi più importanti della evoluzione cosmica è il passaggio dalle "Dark Ages" (quando l'Universo era costituito da un gas neutro di composizione primordiale) alla formazione dei primi "oggetti" luminosi (stelle di Popolazione III e AGN primordiali) in grado di ionizzare nuovamente l'idrogeno intergalattico con la loro emissione di radiazione ultravioletta. Questa epoca viene chiamata reionizzazione, e viene collocata da recenti osservazioni della polarizzazione del fondo cosmico a microonde (WMAP) nell'intervallo indicativo di redshift $10 < z < 20$. Fino ad ora però, nessun oggetto veramente "primordiale" è stato identificato osservativamente, e le galassie e i quasar più distanti attualmente conosciuti si trovano a $z \sim 6.5 - 6.9$. La nostra comunità è stata fino ad ora molto attiva nel campo di ricerca degli oggetti primordiali utilizzando dati di "survey" ottiche-infrarosse per cercare oggetti con i colori attesi da galassie a $z > 7$, tentando di identificare galassie che ospitano Gamma-ray Bursts a redshift sempre più elevati, studiando gli spettri di assorbimento di quasar ad alto redshift, analizzando il background di radiazione nel vicino infrarosso in termini di emissione non risolta da parte di stelle di Pop III (anche se attualmente ci sono dubbi sulla significatività dello stesso fondo NIR). Tuttavia, l'identificazione diretta di oggetti primordiali non ha dato fino ad ora risultati positivi, e si ritiene che si debbano attendere "survey" profonde su grandi campi effettuate nel vicino infrarosso (es. UKIDSS, VISTA) o JWST per l'identificazione di oggetti (quasar o galassie) a $z > 7$. In attesa di nuovi dati, la comunità italiana è stata attiva nello sviluppo di modelli teorici volti a studiare le proprietà fisiche attese per le stelle di Pop III, la loro IMF, gli effetti dei vari tipi del loro "feedback", a usare le stelle di bassissima metallicità dell'alone della nostra Galassia come "sonde archeologiche" di

stelle primordiali, e ad effettuare previsioni sulla osservabilità di oggetti primordiali e dei loro effetti su IGM in vista di futuri telescopi come LOFAR e JWST.

Formazione ed evoluzione delle strutture su larga scala e del mezzo diffuso

Gli ammassi di galassie contengono una frazione significativa del contenuto barionico dell'Universo suddiviso in una fase "cold" (galassie) e "hot" (mezzo intracluster ICM). Quest'ultima comprende una componente termica, riscaldata a temperature dell'ordine di 10^{7-8} gradi per compressione adiabatica e "shock heating" durante i processi di merging che portano alla formazione degli ammassi, e una non-termica, che comprende campi magnetici ed elettroni relativistici che emettono nella banda radio e hard X. I campi magnetici sono amplificati durante i fenomeni di merging, mentre le particelle relativistiche sono accelerate da turbolenza e shock nel corso degli eventi di "merging". Diverse evidenze sperimentali quali le relazioni di scala (L-T, M-T e S-T) in gruppi e ammassi ricchi e l'assenza di raffreddamento del gas al di sotto di temperature dell'ordine di 1-2 keV indicano inequivocabilmente che la fisica e l'evoluzione dei barioni nella fase calda non sono determinati solo dal potenziale gravitazionale e dal raffreddamento del gas, ma richiedono il contributo da fenomeni astrofisici complessi quali la formazione stellare e i fenomeni di feedback associati a Supernovae e/o AGN. La massa in barioni contenuta in galassie e ammassi a $z < 2$ rappresenta circa la metà della densità di barioni totale stimata recentemente dalle misure di Boomerang e WMAP. I barioni mancanti risiedono molto probabilmente in una fase "warm" (WHIM Warm Hot Intergalactic Medium) associata alla struttura filamentare su larga scala e con temperature tali (10^{5-6} gradi) che ne rendono difficile la rivelazione.

Il quadro attuale è emerso grazie ad un'intensa attività di ricerca sia sul versante osservativo (in particolare radio e X) che su quello teorico modellistico (sviluppo di codici numerici N-body e idrodinamici) in cui la comunità di ricercatori afferenti all'INAF ha svolto un ruolo di primissimo piano e di grande impatto nel contesto internazionale. Fra le problematiche di maggior interesse e dagli sviluppi più promettenti è opportuno menzionare:

- Le sofisticate simulazioni idrodinamiche per la formazione di ammassi di galassie in grado di trattare, oltre alla materia oscura, il raffreddamento radiativo, la formazione stellare e i fenomeni di feedback e il confronto delle stesse con i risultati osservativi ed in particolare quelli ottenuti mediante spettroscopia X spazialmente risolta (relazioni di scala, profili di temperatura e metallicità, "cool cores").
- Proprietà delle galassie in ammassi mediante osservazioni ottiche e nel vicino infrarosso (es "morphology-density, color-magnitude relations", storia di formazione stellare, etc) e confronto quantitativo con i modelli di formazione della strutture.

- Lo studio dell'evoluzione del contenuto in metalli dell'ICM su di un ampio intervallo di luminosità, redshift e temperature da cui risulta che il contenuto in ferro dell'ICM si mantiene costante su valori dell'ordine di $\sim 1/4$ del valore solare a $0.5 < z < 1.3$ e mostra un aumento significativo a più basso redshift con importanti implicazioni sull'attività di formazione stellare in regioni sovradense quali gli ammassi di galassie.
- La scoperta e lo studio dell'emissione estesa ad energie superiori a 10 keV in alcuni ammassi vicini mediante osservazioni in hard X (BeppoSAX), la determinazione dell'intensità del campo magnetico da osservazioni radio e X, lo sviluppo di modelli teorici ed in particolare dei fenomeni di turbolenza per l'interpretazione dell'emissione non termica in ammassi.
- L'analisi mediante spettroscopia X ad alta risoluzione con Chandra ed XMM di un blazar in outburst ha permesso di rilevare alcuni sistemi in assorbimento dovuti ad ossigeno ionizzato (X-ray forest) da cui è stato possibile per la prima volta stimare la densità barionica nel WHIM che è risultata in pieno accordo con la frazione mancante.

Nel corso degli ultimi anni le competenze scientifiche e la visibilità internazionale dei ricercatori INAF che si occupano di questi filoni di ricerca sono cresciute fino a raggiungere un livello di eccellenza. In questo contesto è opportuno menzionare il ruolo leader svolto da parte della comunità nella definizione degli obiettivi scientifici e configurazione strumentale di un concetto di missione (EDGE) i cui obiettivi scientifici principali includono lo studio degli ammassi e del WHIM. Altrettanto importante il coinvolgimento di diversi scienziati italiani nei programmi che prevedono l'utilizzo di LOFAR per lo studio dell'emissione non-termica

La determinazione della funzione di luminosità e di massa delle galassie, dell'evoluzione della densità di formazione stellare e della metallicità

La storia della evoluzione cosmica delle galassie può essere ottenuta dall'analisi delle funzioni di distribuzione (es. funzioni di luminosità, di formazione stellare e di massa) a diversi redshift derivate dalle moderne "survey" basate su fotometria multi-banda dall'ottico al medio infrarosso, e coadiuvate da spettroscopia ottica e infrarossa profonda. Questo tipo di ricerca è anche molto importante per effettuare confronti dettagliati tra l'evoluzione cosmica osservata e quella prevista dalle moderne simulazioni di formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche (es. Millennium Simulation).

La comunità italiana è stata ed è molto attiva e competitiva in questo campo usando sia dati di "survey" pubbliche (es. HDF-N, HDF-S, NTTDF, GOODS, ...), sia di survey "proprietarie" spettroscopiche come K20 e VVDS. La nostra comunità risulta anche

coinvolta in altre survey che sono attualmente in corso o in fase di partenza e che forniranno risultati nei prossimo triennio (es. COSMOS, SWIRE, GMASS, VST, LBT ...).

Grazie a queste attività sono stati raggiunti risultati di alta competitività a livello internazionale ed è stata accumulata un'estesa esperienza nella fotometria, nella stima di redshift fotometrici e nell'analisi spettroscopica di grandi campioni di galassie deboli a redshift cosmologici. L'esperienza acquisita ha quindi permesso di porre vincoli stringenti, in un ampio intervallo di redshift ($0 < z < 7$), all'evoluzione cosmica delle funzioni di distribuzione. I risultati fino ad ora ottenuti possono essere riassunti come segue:

- l'evoluzione della funzione di luminosità osservata nel vicino infrarosso ("rest-frame" ottico) mostra un'evoluzione in luminosità di ampiezza minore rispetto all'ultravioletto "rest-frame", e una debole evoluzione nella densità in numero di galassie;
- la densità di SFR invece mostra un rapido e forte aumento fino a $z \sim 1-2$, mentre a redshift più elevati sembra stabilizzarsi per poi diminuire a $z > 4$;
- la funzione di massa stellare è caratterizzata da una evoluzione in cui la massa caratteristica (M^*) e la densità delle galassie a massa fissata diminuiscono lentamente fino a $z \sim 0.7$ e più rapidamente a $z > 1$, e con la coda ad alta massa ($M > 10^{11} M_\odot$) dominata da galassie di tipo "early-type" caratterizzate da età evolute (1-3 Gyr) e poca o nulla formazione stellare;
- l'evoluzione complessiva segue l'andamento chiamato "downsizing" in cui le galassie di grande massa formano le stelle prima e più rapidamente delle galassie di massa piccola,
- la metallicità delle galassie è correlata con la loro massa e sembra evolvere in modo differenziale con essa come atteso nello scenario del "downsizing".

Le "survey" più recenti e quelle imminenti stanno anche ponendo (e porranno sempre di più) i primi vincoli stringenti sulla dipendenza delle funzioni di distribuzione non solo dal redshift e dalla massa, ma anche dall'ambiente in cui le galassie si trovano, in modo da tracciare l'evoluzione in un intervallo di densità ambientale che vada dagli ammassi più ricchi fino alle zone meno popolate. Questo è, e sarà possibile, grazie alle moderne "survey" a grande campo (aree di cielo di gradi quadrati) che vedono coinvolta in modo molto attivo la comunità italiana (es. VVDS, COSMOS, VST, LBT,...).

Cosmologia con AGN

Lo studio dei processi di accrescimento su Buchi Neri (BH) nei nuclei attivi ha rivestito, nel corso degli ultimi anni, un ruolo sempre più rilevante in ambito cosmologico. Tale progresso è dovuto da un lato all'enorme mole di dati ottenuti mediante osservazioni

multifrequenza di un grande numero di surveys X, dall' altro alla scoperta che i processi di accrescimento responsabili della crescita ed evoluzione del buco nero centrale influenzano in modo significativo le proprietà strutturali della galassia ospite. L'esistenza di un legame molto stretto (a cui ci si riferisce spesso con il termine co-evoluzione) fra le galassie e i nuclei attivi è basata su alcune recenti evidenze osservative e teoriche quali:

- La scoperta di una correlazione fra la massa del buco nero quiescente presente in diverse (se non tutte) le galassie con "bulge" dell'Universo locale e alcune proprietà fondamentali delle galassie stesse (quali la massa, la luminosità e dispersione di velocità della componente stellare). L'ottimo accordo fra le stime della funzione di massa calcolata per i BH nelle galassie vicine e quella ottenuta dall'integrazione della funzione di luminosità degli AGN portano a concludere che tutte le galassie abbiano attraversato una fase attiva durante la quale il BH ha accresciuto massa in modo efficiente e a tassi presumibilmente vicini al limite di Eddington.
- Grazie a simulazioni N-body e idrodinamiche alquanto sofisticate è stato possibile quantificare la rilevanza dei fenomeni di "feedback" in grado di auto-regolare i processi di accrescimento e di formazione stellare e la loro evoluzione con il tempo cosmico nonché rendere conto di diverse proprietà osservative di AGN e delle loro galassie ospiti su di un ampio intervallo di redshift e luminosità.
- La dipendenza dalla luminosità delle proprietà fisiche ed evolutive degli AGN. La densità spaziale e di energia di oggetti luminosi (quasars) raggiunge un massimo ad alto redshift ($z \sim 2-3$) e decresce rapidamente a bassi redshift, mentre gli oggetti meno luminosi (Seyfert) mostrano un picco di densità a redshift più bassi e una variazione meno marcata con il redshift. Tali andamenti sono, almeno qualitativamente, molto simili a quelli osservati per galassie di grande e piccola massa rispettivamente.

I fenomeni brevemente riassunti poc'anzi costituiscono molto probabilmente diverse manifestazioni di un processo fisico fondamentale responsabile della formazione e co-evoluzione di BH e Galassie e che, al momento, è quasi del tutto sconosciuto.

La determinazione dei processi fisici alla base della formazione ed evoluzione di AGN e del loro ruolo nel contesto più ampio della formazione ed evoluzione delle galassie rappresenta una sfida impegnativa per la ricerca astrofisica e viene perseguita dai più importanti gruppi di ricerca nel panorama internazionale, fra i quali alcuni gruppi all'interno di INAF che hanno raggiunto nel corso degli ultimi anni una competenza e una visibilità internazionale di valore assoluto. Fra le problematiche oggetto di intensa attività è opportuno menzionare:

- Il censo della popolazione di AGN oscurati mediante surveys X sia profonde che di grande area in banda hard X (5-10 keV e 2-10 keV; con i satelliti BeppoSAX, ASCA, Chandra e XMM), al fine di ottenere una copertura uniforme del piano

- redshift-luminosità e di ridurre al minimo gli effetti di selezione dovuti all'oscuramento, e i relativi programmi di osservazioni multifrequenza (in particolare nell'ottico e vicino infrarosso) per determinare l'evoluzione della funzione di luminosità e in particolare della componente oscurata in funzione della luminosità e del redshift.
- La determinazione della distribuzione di energia spettrale e della luminosità bolometrica nucleare per campioni di AGN selezionati in diverse bande dello spettro elettromagnetico (radio, infrarosso, ottico e X).
- La separazione attraverso spettroscopia MIR/FIR e modelli di fotoionizzazione della componente di AGN dalla componente di starburst nelle galassie di Seyfert locali con lo scopo di determinare la funzione di luminosità dovuta ad accrescimento e quella dovuta a formazione stellare e fornire il punto di zero da confrontare con i risultati delle survey cosmologiche.
- Lo sviluppo di modelli teorico/interpretativi atti a ricondurre in un quadro coerente e consistente con le osservazioni le varie fasi evolutive degli AGN.
- I modelli di sintesi dei fondi cosmici, in particolare nella banda X come strumento per indagare l'evoluzione dei processi di accrescimento, la distribuzione del gas circumnucleare responsabile dell'oscuramento e la determinazione della funzione di massa dei SMBH.

Nel settore che riguarda più da vicino le survey hard X è importante notare il ruolo chiave svolto da BeppoSAX. La possibilità di indirizzare il programma di osservazioni scientifiche e di usufruire, fin dalle prime fasi della missione, di una vasta mole di dati ha reso possibile formare e far crescere una comunità che ha poi avuto modo di affermarsi anche in campo internazionale e di partecipare a pieno titolo ai grandi consorzi internazionali che utilizzano i grandi telescopi da terra e dallo spazio per survey multifrequenza di AGN (e.g. Chandra Deep Fields e COSMOS). La stessa comunità sta perseguendo ed espandendo gli obiettivi scientifici descritti poc'anzi fornendo un supporto attivo e qualificato alla definizione del caso scientifico di missioni future (Simbol-X e XEUS). Va infine ricordato che la competizione internazionale in questo settore è molto forte e che in assenza di un adeguato supporto istituzionale e finanziario è pressoché impossibile assumere la leadership di grandi progetti internazionali.

La struttura, la dinamica e le relazioni di scala delle galassie

Lo studio delle galassie nell'universo locale è come un grande laboratorio per comprendere i processi fisici che su questa scala sono avvenuti durante la storia dell'Universo. È di basilare importanza, nell'osservazione e analisi dei dati, riuscire a distinguere le proprietà che risalgono direttamente alle epoche di formazione delle galassie da quelle dovute all'evoluzione o all'ambiente in cui esse si sono formate. Le

galassie infatti si trovano in ambienti molto diversi, da alte densità (ammassi) a densità molto basse (campo): nelle strutture fisicamente legate e dense le interazioni sono frequenti, mentre nelle strutture meno dense o nel campo le interazioni sono più rare, ma potrebbero al tempo stesso essere più efficaci a causa delle basse velocità relative. Uno dei campi in cui la ricerca astronomica italiana ha una tradizione consolidata è quello dello studio della struttura, della dinamica e delle relazioni di scala delle galassie. Per apprezzarne l'importanza, basti pensare al notevole impatto che negli ultimi anni hanno avuto gli studi di dinamica e di fotometria di galassie, cruciali per la comprensione dei meccanismi di merging tra galassie. In particolare possiamo ricordare alcuni risultati significativi ottenuti negli ultimi anni:

- Lo studio e la comprensione delle galassie ha ricevuto un grande impulso dall'analisi di dati provenienti da grandi *survey*, in particolare le *survey* SDSS e 2dFGRS che hanno permesso di studiare per la prima volta centinaia di migliaia di galassie in una regione statisticamente significativa dell'Universo locale. In particolare con l'analisi dei dati SDSS è stata dimostrata quantitativamente la natura bimodale della distribuzione delle proprietà delle galassie. Questa bimodalità indica che la formazione ed evoluzione di galassie di grande e piccola massa seguono processi fondamentalmente differenti
- La recente scoperta della relazione tra la dispersione di velocità stellare centrale (σ) e la velocità circolare (V) a grande distanza dal centro in galassie ellittiche e spirali si è aggiunta alla ben nota relazione tra la massa del buco nero centrale (BH) e la dispersione di velocità vicino al nucleo. Se la V riflette la massa dell'alone oscuro e σ quella del BH supermassiccio (SMBH), allora la relazione V - σ può essere interpretata come la relazione tra la massa dell'alone di materia oscura e la massa del SMBH.
- Lo sviluppo di modelli idrodinamici che simulano il *merging* di due o più galassie ha mostrato come le forze mareali trascinino grandi quantità di gas verso il centro stimolando processi di attività e fornendo materiale al BH centrale.

In Italia gli studi menzionati sopra e, più in generale, l'attività di studio delle galassie nell'universo locale hanno avuto e continuano a trarre un grande vantaggio dalla stretta collaborazione fra ricercatori con elevate competenze osservative, teoriche e sperimentali. Questo è testimoniato dalla presenza e dal notevole contributo della comunità italiana in grandi progetti internazionali. Nell'assegnazione di tempo di osservazione internazionale ai telescopi che lavorano nelle lunghezze d'onda dall'ottico al radio (Spitzer, IRAM, APEX, HST, VLT, VLA, VLBI) i ricercatori italiani vantano un elevato successo delle loro richieste e nell'approvazione dei loro progetti. Un eguale successo hanno avuto le ricerche basate sulla spettroscopia a bassa, media e alta risoluzione, sia ottica che infrarossa (VLT) che con altri telescopi orbitanti (Chandra, XMM, Galex). La comunità scientifica italiana è inoltre coinvolta in diversi programmi che prevedono l'utilizzo di ALMA e HERSCHEL.

OBIETTIVI E PRIORITÀ

Per il triennio 2008-2010 riteniamo che le linee di ricerca di più alta priorità della MA1 si possono identificare in quattro grandi aree: a) l'universo primordiale; b) la formazione ed evoluzione dei sistemi di galassie; c) la formazione ed evoluzione delle galassie e la loro interazione con l'ambiente; d) lo studio della formazione ed evoluzione degli AGN. Nel seguito, per ciascuno di questi filoni, verranno indicati principali obiettivi e priorità.

Cosmologia e Universo primordiale

Nei prossimi anni lo sviluppo teorico della cosmologia e della storia dei primi istanti dell'Universo troverà seria possibilità di conferma da risultati osservativi. Gli obiettivi scientifici principali da perseguire nei prossimi anni per quanto concerne gli studi cosmologici pertanto includono:

- Lo studio dei modelli inflazionari, con particolare riguardo alla natura della "Dark Energy" e alla sua interazione con la "Dark Matter".
- Lo studio dell'evoluzione dello spettro delle perturbazioni dalla superficie di ultimo scattering fino all'epoca presente.
- Studi di lensing gravitazionale mirati a vincolare la natura ed evoluzione della "Dark Energy".
- Attività preparatoria all'analisi dei dati CMB attesi dalle prossime missioni ed in particolare da "Planck".
- La risoluzione dei picchi nello spettro di potenza associata alle oscillazioni barioniche sulla distribuzione di Dark Matter.
- La Polarizzazione della CMB e la stima dei parametri cosmologici e di altre informazioni astrofisiche collegate a queste misure (foreground galattico, sorgenti extragalattiche, stime di ionizzazione dell' IGM).
- I gamma-ray bursts e la loro rilevanza nella determinazione dei parametri cosmologici.

Formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche: gruppi e ammassi di galassie

Una delle questioni fondamentali dell'astrofisica moderna è la comprensione dei meccanismi di formazione delle strutture cosmiche. In questo contesto lo studio multifrequenza e modellistico degli ammassi di galassie rappresenta uno strumento ideale per meglio comprendere le complesse relazioni fra materia oscura e barionica con importanti conseguenze per gli scenari cosmologici. In particolare progressi

significativi sono attesi dallo studio dettagliato attraverso osservazioni sia da terra che dallo spazio e simulazioni idrodinamiche ad alta risoluzione (da effettuarsi in centri di super-calcolo) delle proprietà fisiche dei gruppi e ammassi di galassie locali e ad alto redshift, con approfondita analisi dello stato termo-dinamico dei barioni freddi (stelle) e caldi (gas) in relazione alla materia oscura diffusa.

Si ritengono di alta priorità per il triennio 2008-2010 le seguenti attività :

- L'analisi dell'evoluzione col tempo cosmico delle proprietà termiche del gas attraverso le leggi di scala, con dirette implicazioni all'uso di strutture virializzate come stimatori cosmologici (vedi survey X e Sunyaev-Zeldovich SZ), nonché delle proprietà e della dinamica della componente stellare.
- Lo studio dell'interazione fra AGN, galassie e mezzo diffuso e in particolare degli effetti di "feedback" e dell'origine delle particelle relativistiche e dei campi magnetici in ammassi.
- Lo studio, mediante simulazioni N-body e idrodinamiche, dei processi che portano all'accrescimento dei barioni in aloni di materia oscura di masse superiori a 10^{13} masse solari; la storia e le modalità dell'arricchimento metallico del plasma caldo e della sua connessione con le proprietà dei barioni diffusi presenti nell'IGM a $2 < z < 6$, a seguito della re-ionizzazione a $z > 6$.
- La stima della massa totale e della sua distribuzione attraverso il lensing gravitazionale, l'equilibrio idrostatico col plasma, e la cinematica delle galassie per consentire l'utilizzo delle strutture virializzate quali stimatori cosmologici.

Formazione ed evoluzione delle Galassie

Nello studio della formazione ed evoluzione delle galassie e della natura della materia oscura, "primo motore" di questi processi, è di basilare importanza distinguere proprietà che risalgono direttamente alle epoche di formazione delle galassie da quelle dovute all'evoluzione o all'ambiente in cui esse si sono formate e da quelle intrinseche alle proprietà della materia oscura.

Per accrescere la competitività della nostra comunità in questi campi, si ritiene che le iniziative strategiche di alta priorità nei prossimi tre anni (e oltre) siano:

- Studio dei primi oggetti luminosi (stelle di Popolazione III, $z > 7-10$), per mezzo di simulazioni in grado di prevedere la formazione di questi oggetti e gli effetti sul mezzo intergalattico (reionizzazione) e di fornire previsioni utili a pianificare le osservazioni dei telescopi di prossima generazione (es. LOFAR, ELT, JWST).
- Studio della formazione ed evoluzione delle galassie in funzione del redshift e

dell'ambiente per mezzo di survey multi-banda da terra e dallo spazio per studiare l'evoluzione delle principali proprietà globali (luminosità, massa, SFR, metallicità).

- Studio dettagliato e spazialmente risolto di galassie a basso ed alto redshift e dei loro processi fisici: la formazione stellare, l'aggregazione della massa e la distribuzione interna della materia, l'evoluzione chimica, il merging, la dinamica, il feedback e l'origine della relazione fra massa del Black Hole e del Bulge. Questo tipo di attività sarà svolta ad esempio con spettroscopia "integral field", ottica adattiva, dati multi-banda per lo studio delle SED (Spectral Energy Distribution).
- Studio multibanda delle proprietà delle galassie normali ed attive e degli ammassi nell'Universo locale per fornire il punto zero locale per gli studi cosmologici e per meglio comprendere le proprietà della loro componente barionica e soprattutto di quella oscura, nonché l'interazione fra queste.
- Un aspetto cruciale per investigare l'evoluzione delle galassie e degli AGN è quello della metallicità. Recenti studi hanno mostrato che la correlazione tra massa e metallicità (M-Z) osservata nelle galassie a $z=0$ è già presente a redshift elevati (fino a $z>1-2$). Nel prossimo triennio ci si attende un forte sviluppo in questo settore che consentirà di vincolare l'evoluzione della relazione M-Z fino ad alto redshift ($z>3$).

Nota: Le linee di ricerca che riguardano lo studio delle galassie ed in particolare la formazione ed evoluzione della componente stellare sono sviluppate in modo esteso e complementare dalla Macro-area 2.

Formazione ed evoluzione degli AGN

L'ampio filone di ricerca che riguarda lo studio della fisica della formazione ed evoluzione di "supermassive black holes" in nuclei galattici attivi (AGN), nel più ampio contesto delle ricerche che riguardano la formazione ed evoluzione delle strutture (galassie e ammassi di galassie), è oggetto di un'intensa attività sia di tipo osservativo che teorico/ modellistico in ambito INAF.

I progetti di maggior rilevanza, i cui obiettivi scientifici sono da perseguire nel triennio 2008-2010 con la più alta priorità, sono riassunti schematicamente come segue:

- *Fisica ed evoluzione di AGN da surveys multi-frequenza e backgrounds cosmici.* Gli studi sono finalizzati ad ottenere una stima affidabile della demografia e dell'evoluzione cosmologica di AGN: l'approccio multi-frequenza sia da terra (VLA, ESO-VLT ed in prospettiva LBT, VST) che dallo spazio (Spitzer, HST, XMM, Chandra ed in prospettiva Herschel e Simbol-X) risulta fondamentale poiché l'emissione dovuta a processi di accrescimento è spesso oscurata da gas

e polveri circumnucleari. Scopo principale di queste ricerche è di campionare la popolazione di AGN oscurati riducendo al minimo gli effetti di selezione, nonché di stimare la dipendenza dell'oscuramento nucleare da altri parametri fisici quali la luminosità e il redshift. I modelli di sintesi di popolazione dei backgrounds (X e infrarosso) costituiscono inoltre un ingrediente fondamentale per lo studio della funzione di massa dei Supermassive Black Holes.

- *Studio della fisica degli AGN radio loud e radio quiet mediante osservazioni multi-frequenza.* Questo tema comprende diverse linee di ricerca che si propongono con metodologie e osservazioni differenti (i.e. alta risoluzione spaziale e spettrale, variabilità, polarizzazione) di stimare i parametri fisici fondamentali del fenomeno AGN ed in particolare: la massa del SMBH mediante tecniche di osservazione ad alta risoluzione spaziale da terra (VLBI ed SRT, VLT e LBT) e dallo spazio (HST); i rapporti di Eddington; il modello unificato; l'origine dei getti relativistici e la loro interazione con il mezzo circostante; la produzione e il riprocessamento della radiazione primaria dal mezzo (gas e polvere) circumnucleare.
- *Sistemi di assorbimento in quasars.* Si propone lo studio della fisica del mezzo intergalattico (quasars, galassie primordiali e background UV), dei rapporti di abbondanze e della formazione di polveri e metalli ad alto redshift (sistemi DLA). Particolari studi di questi sistemi possono anche essere usati come test di fisica di base (variabilità della costante di struttura fine)

Nota: Diversi aspetti delle linee di ricerca che utilizzano gli AGN per studi di cosmologia ed in particolare quelli che riguardano l'emissione ad alta energia, sono sviluppati in modo esteso e complementare dalla Macro-area 4.

RACCOMANDAZIONI SPECIFICHE PER PROGETTI TECNOLOGICI E STRUMENTALI

In aggiunta alle priorità scientifiche identificate nella sezione precedente, nel seguito si formulano alcune raccomandazioni di carattere più generale e strategico, nell'ambito dei progetti e della strumentazione in via di sviluppo, atte a garantire il conseguimento degli obiettivi precedentemente discussi:

- Supporto per la preparazione allo sfruttamento scientifico delle survey cosmologiche e dei Key Projects, che saranno effettuati con il telescopio spaziale infrarosso Herschel e al pieno utilizzo dei dati di Planck.
- Sostenere e sviluppare con tempi e modi competitivi i piani scientifici per l'uso di LBT e VST e dei loro strumenti di prima generazione (LBC, LUCIFER, MODS, OmegaCam), con il coinvolgimento di tutta la comunità nazionale.

- Sostenere e sviluppare le linee di ricerca che utilizzano il VLBI millimetrico e gli strumenti di seconda generazione di LBT ed in particolare l'interferometria infrarossa.
- Coinvolgimento nelle attività preparatorie legate a "facilities" in fase di costruzione, come ALMA e JWST. Si dovrebbe ad esempio prevedere un forte impegno sia dal punto di vista della formazione che da quello dell'acquisizione delle competenze necessarie alla comunità per permettere l'utilizzo di ALMA (operativo nel 2010) e su tempi scala più lunghi di JWST.
- Seguire con attenzione lo sviluppo di progetti internazionali, anche nell'ambito della *Cosmic Vision* dell'ESA, come B-POL, DUNE, ELT, ESI-SPICA, FIRI, SKA, VSOP2, LOFAR, XEUS, Simbol-X, EDGE, anche per valutarne il possibile coinvolgimento italiano, in modo da permettere a scienziati italiani di partecipare, con un ruolo preminente ai grandi progetti internazionali per le prossime decadi.
- Sostenere e sviluppare le attività di tipo teorico e di simulazione che necessitano di ingenti risorse di calcolo e quindi dell'accesso a supercalcolatori .

E' importante sottolineare che i risultati raggiunti fino ad ora in questo settore sono stati ottenuti grazie ad un flusso di finanziamenti interni (INAF) ed esterni (ASI e PRIN-MiUR) abbastanza stabile nel corso degli anni. Tale supporto ha permesso ai membri della comunità afferenti alla MA1 di sviluppare in modo autonomo linee di ricerca di grande impatto e di inserirsi a pieno titolo in grandi progetti internazionali. Le note carenze del finanziamento alla ricerca di base e di quella connessa ai grandi progetti nazionali ed internazionali ed in particolare l'impossibilità di una programmazione a medio e lungo termine pregiudicano la possibilità di mantenere l'alto livello di competitività internazionale finora raggiunto. Un flusso di finanziamenti adeguato e soprattutto stabile nel prossimo triennio rappresenta quindi una condizione imprescindibile per mantenere gli standard di eccellenza faticosamente conquistati nel corso degli anni.

MACRO-AREA 2: “STELLE, POPOLAZIONI STELLARI E MEZZO INTERSTELLARE” (F. Leone, M. Limongi, S. Randich, A. Tornambè, M. Tosi (coordinatore))

INTRODUZIONE

Il 28% dei ricercatori INAF afferisce alla Macro-area 2. Questa area di ricerca si configura pertanto come la più rappresentata all'interno dell'Ente. La percentuale di rappresentatività diviene leggermente minore quando si considerano anche gli Associati all'INAF. Nei filoni di ricerca pertinenti la Macro-area 2 (popolazioni e ammassi stellari galattici ed extragalattici, struttura ed evoluzione stellare, formazione stellare, mezzo interstellare galattico ed extragalattico, pianeti extra-solari) i ricercatori INAF sono tradizionalmente molto attivi, ricoprendo ruoli trainanti anche in contesto internazionale. All'indiscussa supremazia della ricerca italiana nel settore dell'evoluzione stellare, acquisita da almeno trent'anni e da allora perfino aumentata, e in quelli degli ammassi globulari e dell'evoluzione chimica delle galassie, si sono aggiunti negli ultimi dieci-quindici anni i successi nel campo degli studi sulle popolazioni stellari risolte, sui processi di formazione stellare e, più recentemente, le ottime prospettive sulla ricerca di pianeti extra-solari.

FILONI DI RICERCA DI PUNTA

Il successo e l'impatto internazionale dei progetti di ricerca sono valutabili in base a vari parametri: le citazioni alle loro pubblicazioni, gli inviti a congressi internazionali, i finanziamenti nazionali o sovra-nazionali ottenuti, il tempo assegnato per osservazioni ad ambiti telescopi internazionali e stranieri, oltre che nazionali. L'analisi di questi elementi di valutazione ci ha permesso di individuare nello **studio della formazione ed evoluzione della componente luminosa primaria dell'Universo (stelle) e della sua complessa interazione con il mezzo interstellare** il filone di ricerca della Macro-area 2 per il quale successo attuale e prospettive future suggeriscono un potenziamento nel triennio 2008-2010. Questo risultato è in sintonia con quanto indicato nel Piano a Lungo Termine dell'INAF. Il filone in questione si divide in alcuni sotto-filoni principali, di cui descriviamo brevemente lo stato attuale della ricerca in ambito INAF e lo sviluppo che ci si aspetta nel prossimo triennio.

La nascita delle stelle e dei pianeti

Capire come nascono le stelle è uno dei principali problemi dell'astrofisica moderna, cui è legata la comprensione del meccanismo con cui si formano i pianeti e della fisica che regola le galassie e la loro evoluzione. Il filone di ricerca sullo studio di mezzo interstellare e formazione stellare (FS), costituisce a livello italiano un settore

molto giovane; ciò nonostante, esso vede coinvolta una frazione significativa dei ricercatori afferenti alla Macro-area 2 e rappresenta uno dei settori chiave in cui investire negli anni futuri. Di estrema rilevanza è da considerarsi la partecipazione da parte di gruppi italiani a progetti internazionali di grande importanza come ALMA e Herschel e a *Research & Training Networks* finanziati dalla EU.

Le stelle nascono dal collasso dei nuclei densi delle nubi molecolari giganti. Mentre esiste un quadro abbastanza rappresentativo per la formazione di stelle singole di massa piccola e intermedia (minore di circa 8 Mo), resta ancora da comprendere il quadro complessivo relativo alla nascita delle stelle di alta massa. Manca anche una teoria sulle prime fasi di FS e su come si frammentino le nubi e si origini la funzione di massa iniziale (IMF). Uno sviluppo delle conoscenze in questo campo implica lo studio delle condizioni iniziali in cui avverrà la FS e delle regioni in cui essa è attiva, delle proto-stelle, dei dischi proto-planetari, delle stelle giovani e delle loro proprietà. Indispensabile è anche la caratterizzazione di due quantità fondamentali in contesto Galattico ed extra-galattico: la storia di formazione stellare e l'IMF.

All'interno di questo vasto filone si sviluppano diverse linee di ricerca specifiche nelle quali i diversi gruppi italiani hanno acquisito altissima visibilità, e in molti casi leadership, internazionale. Ad alcuni campi di consolidata tradizione italiana, quali lo studio della formazione di stelle di grande massa o il calcolo di modelli evolutivi di pre-sequenza, si sono affiancate linee di ricerca più nuove, ma in rapido sviluppo. Menzioniamo per esempio il notevole impatto di studi chimici e fisici di nuclei densi in nubi molecolari o, più in generale, di studi del mezzo interstellare in regioni di formazione stellare, che risultano cruciali per la comprensione delle condizioni iniziali del processo di formazione di stelle di piccola e grande massa. Altrettanto importanti sono i lavori su accrescimento e getti da nane brune che hanno permesso di porre importanti vincoli sulla loro formazione e di concludere che il meccanismo di formazione è analogo a quello delle stelle di tipo solare; di notevole successo sono gli studi teorici del processo di collasso gravitazionale e del ruolo del campo magnetico, nonché le ricerche volte a caratterizzare popolazioni stellari giovani.

Come obiettivi più specifici di cui si auspica la continuazione ed il potenziamento nel triennio 2008-10 menzioniamo:

- studi delle proprietà morfologiche, chimiche, fisiche e dinamiche delle nubi molecolari in cui si formano stelle di grande e piccola massa, inclusi i possibili effetti della radiazione X da parte di stelle già formate;
- studi osservativi, teorici e di laboratorio della polvere nella materia interstellare diffusa e densa e nei nuclei protostellari;
- studi di proto-stelle e delle loro proprietà;
- studi delle proprietà dei dischi circumstellari/proto-planetari;

- studi di getti stellari, del loro impatto sulla formazione della stella, dei flussi di materiale molecolare associati ai getti, e della chimica e fisica degli shocks prodotti all'interno dei flussi e nel mezzo circostante;
- studi di accrescimento protostellare in stelle (di grande e piccola massa) e nane brune.

Gli studi menzionati sopra e, più in generale, l'attività di studio del mezzo interstellare e formazione stellare traggono vantaggio dalla stretta collaborazione fra elevate competenze osservative, teoriche e sperimentali. Si nota anche la presenza ed il notevole contributo della comunità italiana in grandi progetti internazionali. L'utilizzo di telescopi dall'IR al mm (Spitzer, IRAM, APEX, JCMT, CSO, VLA), di interferometria millimetrica e infrarossa (PdBI, VLTI, e LBT in futuro) e di osservazioni ottiche ad alta risoluzione spaziale (HST) è cruciale per questi studi ed i ricercatori italiani vantano un significativo successo nelle richieste di tempo di osservazione. Di altrettanta importanza risultano anche la spettroscopia a bassa, media e alta risoluzione ottica e infrarossa con strumentazione VLT e osservazioni X (Chandra e XMM). Il coinvolgimento in ALMA e HERSCHEL è molto forte **e si auspica che nel triennio 2008-10 a tale coinvolgimento venga fornito un adeguato supporto, sia in termini finanziari, che in termini di personale.** Si auspica anche la formazione di ricercatori in grado di utilizzare al meglio tali telescopi quando questi entreranno in funzione. Si nota infine come il settore della formazione stellare e mezzo interstellare sia scarsamente rappresentato a livello universitario. Di conseguenza, da una parte la formazione di giovani leve in questo filone è carente, dall'altra l'accesso a finanziamenti di tipo PRIN-MiUR è più difficoltoso.

Strutture Stellari, Evoluzione Teorica e Nucleosintesi Stellare

La comunità scientifica nazionale vanta un'attività antica e consolidata nel settore della strutturistica stellare e dell'evoluzione stellare teorica nonché nell'applicazione dei loro prodotti (e.g. isocrone, diagrammi sintetici, sintesi di popolazioni) ad innumerevoli altri settori dell'astrofisica a tutti i redshift. Il **livello di eccellenza raggiunto e consolidato da ormai qualche decennio** in campo internazionale ha permesso un susseguirsi di avanzamenti significativi della conoscenza in questo settore specifico, in quelli collaterali (e.g. fisica nucleare) ed in quelli cui i risultati si applicano. Il calcolo di tutte le fasi evolutive avanzate e terminali è stato perfezionato nell'ultimo decennio: pulsazioni termiche nelle stelle in fase di AGB con networks nucleari estesi fino al Pb, fasi evolutive avanzate di stelle massicce fino alla rottura dell'idrostaticità con networks nucleari estesi fino al Mo, sequenze di raffreddamento di nane bianche in fase di liquefazione e cristallizzazione.

La capacità di produrre modelli stellari teorici in un ampio spettro di masse e composizioni chimiche iniziali, a partire dalle prime fasi di contrazione in equilibrio idrostatico, seguendo tutte le fasi di combustione nucleare quiescente ed esplosiva, **va**

ulteriormente consolidata nel prossimo triennio, eventualmente considerando anche aspetti come rotazione e diffusione, e va continuato il lavoro di aggiornamento ogni qualvolta i progressi della fisica di base o della numerica lo richiedano. Un aspetto fondamentale, questo, per mantenere in efficienza uno strumento interpretativo ineguagliabile sia per le popolazioni stellari risolte che per quelle ad alti redshift. Che questo sia un *must* appare chiaro anche dalle altre tematiche che si suggerisce di sviluppare durante il triennio 2008-10. Un aspetto complementare riguarda gli avanzamenti nel campo della nucleosintesi stellare, settore nel quale da qualche anno è sorta una forte collaborazione con gruppi nazionali e esteri che si occupano delle misure di sezioni d'urto di interesse astrofisico, sia in superficie che underground (e.g., in Italia, progetti LUNA, LUNA2). Le nuove determinazioni di alcune reazioni nucleari chiave a energie tipiche degli interni stellari stanno garantendo una nuova ed interessante lettura delle osservazioni. Appare opportuno raccomandare che collaborazioni del tipo ora citato vadano ulteriormente favorite nel triennio.

Con vari gruppi nazionali che hanno raggiunto un livello di assoluta eccellenza, **bisogna sostenere nel triennio 2008-10** la possibilità di studiare le proprietà evolutive delle stelle al variare della massa e della composizione chimica e la capacità di costruire griglie di modelli da utilizzare per l'interpretazione delle singole stelle e delle proprietà dei sistemi stellari, dagli ammassi stellari alle galassie, con conseguente impatto in altri settori dell'astrofisica, come la cosmologia. Fra le linee specifiche di ricerca giova ricordare quelle rivolte all'interpretazione dei sistemi stellari (ammassi stellari e galassie) basate su osservazioni fotometriche che hanno beneficiato della disponibilità di telescopi sempre più potenti, sia da terra che dallo spazio. Citiamo fra tutte la possibilità oramai raggiunta di osservare la sequenza di nane bianche negli ammassi globulari con buona completezza. Il confronto tra queste osservazioni e le isocrone teoriche di nane bianche rappresenta un potente strumento per la datazione degli ammassi stellari che va sicuramente esteso e perfezionato. La disponibilità di previsioni teoriche relative alla composizione chimica del materiale espulso da stelle di masse differenti ha dato vita a studi di ambienti astrofisici che presentano segni minimi di processamento chimico stellare, cioè ambienti inquinati da una o poche stelle: stelle estremamente povere di metalli dell'alone e stelle di ammassi globulari che presentano anomalie isotopiche. Questi studi, in cui eccellono alcuni gruppi della comunità nazionale, vanno ulteriormente perseguiti in quanto rappresentano un test fondamentale non solo per le previsioni teoriche sopra menzionate, ma anche una preziosa informazione sui processi di formazione e sull'evoluzione della Galassia e degli ammassi globulari. Parallelamente, lo studio (teorico ed osservativo) della popolazione ed evoluzione dei sistemi binari, non solo come test dei modelli stellari, ma anche rivolto al loro comportamento multispettrale che fornisce la chiave per la comprensione fisica di questi sistemi, si sta rapidamente espandendo grazie anche agli ottimi risultati dell'interferometria. Il calcolo dell'evoluzione numerica dettagliata per i sistemi binari interagenti ha importanti applicazioni nella comprensione di eventi esplosivi (in particolare supernovae) e dei fenomeni di emissione di radiazione in campi dello spettro elettromagnetico dal radio all'infrarosso e ai raggi X.

Questa varietà, e al tempo stesso complementarietà, delle varie competenze è sicuramente un punto di forza della comunità stellare italiana. Benché esista una discreta interazione tra i gruppi teorici e quelli osservativi, si rileva l'opportunità di incrementare l'efficienza e la competitività a livello internazionale della nostra comunità attraverso una maggiore collaborazione in alcuni settori specifici. **Il mantenimento della leadership internazionale già acquisita in questo settore consentirà una posizione di privilegio quando si passerà all'interpretazione dei dati delle nuove strumentazioni, in particolare quelli di ALMA e GAIA.**

Atmosfere stellari e Campi Magnetici

Nel contesto internazionale, **la ricerca italiana è stata fondamentale per evidenziare - dal punto di vista teorico ed osservativo - le implicazioni dei campi magnetici nell'intero diagramma HR.** Ad essi si attribuiscono l'emissione radio non termica delle stelle più calde, i jet delle stelle giovani, l'attività di tipo solare delle stelle di tipo spettrale avanzato e la periodica emissione X delle nane bianche. Molti fenomeni di variabilità stellare e la peculiare interazione di alcuni sistemi binari, come le cataclismiche, sono considerati manifestazioni di campi magnetici che emergono dalla superficie dando origine alle magnetosfere. I campi magnetici sono fondamentali anche per la struttura ed evoluzione delle stelle essendo in grado di modificare i moti di massa, alterando la frazione di massa del nucleo stellare e la profondità delle regioni convettive. Ignorare i campi magnetici può portare a grossolani errori nella determinazione dei parametri stellari. Enorme è lo sforzo in itinere per studiare gli effetti dei campi magnetici negli strati più esterni delle stelle e per risalire alla loro struttura ed origine. Non solo sono stati messi a punto sofisticati codici numerici per il calcolo di modelli di atmosfera, di trasporto radiativo e per la risoluzione di problemi di magneto-idrodinamica ma sono state create le strutture necessarie (COMETA, convenzione INAF-CINECA) per il loro utilizzo. Dal punto di vista strumentale, la comunità italiana che lavora in questo campo partecipa con ruolo non marginale ai programmi internazionali per la realizzazione della più moderna strumentazione nell'X (Simbol-X), ottico+NIR (XSHOOTER). Mentre dal punto di vista osservativo la comunità italiana trae vantaggio dall'integrazione di dati ottenuti con strumentazione molto diversa, che va dai satelliti X, alla spettropolarimetria ad altissima risoluzione, al VLBI.

Nel prossimo triennio si auspica la continuazione dello studio delle atmosfere stellari con particolare enfasi sul ruolo dei campi magnetici, un adeguato sfruttamento della nuova generazione di spettrografi ad alta risoluzione nel NIR (come CRIRES al VLT), con corrispondente estensione dei codici numerici per il calcolo di modelli atmosferici e trasporto radiativo, una maggiore attenzione ai modelli di dinamo stellare. In proporzione alle dimensioni della comunità, il numero di ricercatori con queste competenze appare limitato. A fronte di una strumentazione da terra, esistente o in corso di realizzazione, adeguata allo studio delle atmosfere stellari, si valuta negativamente la mancanza di strumentazione per lo studio della regione ultravioletta.

Supernovae e GRB dal punto di vista stellare

Nel settore SNe e GRB la comunità nazionale vanta una posizione leader in collaborazioni internazionali osservative e teoriche (ottiene con continuità una grande mole di dati che elabora ed analizza, ha evidenziato la multi-parametricità delle SNe Ia, ha dato un fortissimo contributo alla determinazione dei tassi di SNe, all'evidenziazione di parametri osservativi d'importanza per le SNe II, allo sviluppo di modellizzazione d'avanguardia statica e dinamica dei progenitori e delle esplosioni, alle osservazioni e modellizzazione di GRBs associati a SNe, alla identificazione di eventi oscurati nell'ottico, allo studio dettagliato di singoli eventi). Tutto ciò con risultati originali di conclamato riconoscimento internazionale. Rammentiamo a titolo esemplificativo i contributi alla determinazione di H_0 , alla misura dei tassi di SNe ai diversi redshifts e per diverso tipo di galassia ospite, alla determinazione delle costanti cosmologiche Ω_m ed Ω_Λ , alla interpretazione della fisica dei processi esplosivi e pre-esplosivi.

Nel triennio si auspica un maggior dialogo ed una più forte interazione coordinata tra tutte le componenti nazionali della ricerca del settore. Questa azione, già intrapresa da qualche anno, ha funzionato a fasi alterne ma è l'unica via che può portare ad un avanzamento significativo della conoscenza di questi eventi ed al consolidamento della visibilità internazionale. Vanno perseguiti sia obiettivi teorici sia obiettivi conseguibili con approccio prevalentemente osservativo, nonché, ovviamente, la sintesi delle due linee. **Un primo obiettivo consiste nel consolidare e razionalizzare la partecipazione a collaborazioni internazionali e nazionali che nelle attuali difficoltà economiche sembra costituire l'unica via per produrre dati di assoluto livello internazionale.** Tuttavia per mantenere le posizioni raggiunte questa comunità scientifica sente urgente la necessità di uno strumento spettrofotometrico dedicato.

Tra i diversi **obiettivi scientifici perseguibili nel triennio 2008-2010** evidenziamo:

- studiare i parametri osservativi delle SNe Ia per comprenderne il grado di deviazione dalla mono-parametricità ai vari redshift ai fini di un loro uso affidabile come indicatori di distanza;
- consolidare la relazione tra le distanze ricavate con le SNe Ia e gli altri metodi di analisi;
- approfondire e verificare (anche a diverse lunghezze d'onda) la correlazione tra le morfologie della curva di luce, le masse di involucro espulso e la massa di ^{56}Ni prodotta nelle SNe II;
- sviluppare la trattazione dell'esplosione delle SNe core-collapse ed la modellizzazione dell'esplosione delle SNe Ia;
- sviluppare la trattazione idrostatica dei progenitori delle SNe termonucleari secondo modelli a rotazione differenziale e curarne la parte dinamica fino a

produrre previsioni teoriche accurate (curve di luce, spettri, nucleosintesi) che consentano una diagnostica appropriata dei dati osservativi;

- studiare la correlazione tra SNe e GRB con riguardo anche alle SNe Ib/c con, ma anche senza, GRB;
- studiare l'evoluzione della frequenza delle SNe II+Ib/c dall'universo locale fino a $z=1-1.5$ per ricostruire la storia della formazione stellare lungo la maggior parte della vita dell'universo, sfruttando l'opportunità offerta da nuovi strumenti alla cui costruzione ed installazione si contribuisce attivamente.

Ammassi stellari

Molte delle ricerche rivolte agli ammassi stellari, associazioni, e regioni di formazione stellare vedono coinvolti **gruppi italiani che hanno raggiunto da molti anni livelli di eccellenza internazionale**. I ricercatori italiani sono ancora molto attivi e competitivi negli studi più tradizionali rivolti agli ammassi (sia globulari che aperti) come strumenti di indagine dell'evoluzione delle stelle e delle loro proprietà, dalle fasi di pre-sequenza principale fino alle ultime fasi evolutive. In parallelo a tali attività, negli ultimi anni si sono sviluppate in modo significativo anche linee di ricerca più nuove. Si auspica per il prossimo triennio sia la continuazione delle ricerche più tradizionali, sia supporto e potenziamento di quelle più nuove.

In particolare, per quanto riguarda **gli ammassi globulari (AG)**, fra le problematiche più attuali in cui diversi gruppi italiani hanno spesso la leadership internazionale menzioniamo:

- la determinazione della loro età (assoluta e relativa);
- l'esistenza di popolazioni non semplici all'interno di uno stesso AG e la presenza di anomalie chimiche: l'indagine di tali problematiche, affrontata sia dal punto di vista osservativo, che da quello teorico, ha come obiettivo ultimo la comprensione della formazione e primissima evoluzione degli AG;
- l'uso degli AG come traccianti delle popolazioni di bulge e alone Galattici;
- l'indagine della morfologia del braccio orizzontale (HB) e la determinazione del cosiddetto secondo parametro;
- la ricerca di binarie, in particolare fra i membri di HB;
- lo studio dell'evoluzione dinamica degli AG e delle interazioni stellari che danno luogo alla creazione di oggetti peculiari non spiegabili con i modelli stellari standard, quali "blue stragglers", "millisecond pulsars", variabili cataclismiche. Dal

successo degli ultimi mesi ci si aspetta che studi in questo campo forniscano risultati di massimo impatto nel prossimo triennio.

Nel contesto degli **ammassi aperti** (AA) menzioniamo:

- determinazione e caratterizzazione della funzione di massa iniziale (IMF), con particolare riferimento al regime delle piccole masse/substellare, la verifica della universalità della IMF o, viceversa, dipendenza da ambiente circostante, metallicità, etc.;
- determinazione dell'età e/o dispersione in età di AA giovani con l'obiettivo principale di determinare la durata del processo di formazione stellare all'interno delle nubi molecolari;
- determinazione di età di AA antichi e, in particolare, l'analisi delle sequenze di raffreddamento delle nane bianche;
- utilizzo di AA come traccianti del gradiente radiale di metallicità nel disco con l'obiettivo di porre vincoli sui meccanismi di formazione del disco e sulla storia di formazione stellare durante le prime fasi evolutive del disco Galattico;
- misure di moti propri e orbite di stelle in AA;
- uso di AA come traccianti della struttura delle parti esterne del disco Galattico;
- caratterizzazione delle popolazioni stellari in associazioni e ammassi; in particolare lo studio dei processi fisici fondamentali quali accrescimento protostellare, evoluzione dei dischi circumstellari, attività magnetica, evoluzione del momento angolare, meccanismi di mixing interno, proprietà pulsazionali;
- identificazione e caratterizzazione di stelle binarie in regioni di formazione stellare che costituiscono vincoli unici per i modelli evolutivi di pre-sequenza.

Sia i filoni di ricerca più tradizionali, che quelli più nuovi si avvalgono delle sinergie fra i diversi gruppi e, in particolare, dell'interazione fra i gruppi teorici ed osservativi e di collaborazioni all'interno di progetti internazionali. Il supporto osservativo a tali ricerche proviene dall'utilizzo di strumentazione di punta da terra (VLT, Keck, TNG, ESO 2.2m, CFHT) e dallo spazio (Chandra, XMM, HST, Spitzer). In particolare, **survey fotometriche multibanda e spettroscopia multi-oggetto (FLAMES@VLT) risultano essenziali**. Si nota il forte coinvolgimento nella preparazione di X-SHOOTER e GAIA. **Si auspica una rapida entrata in funzione di VST**, strumento importante per gli studi degli ammassi. La determinazione di abbondanze chimiche (di tutti gli elementi) riveste un ruolo molto importante nella maggior parte delle ricerche sopra citate. Pur notando che il numero di giovani ricercatori con esperienza di spettroscopia ad alta risoluzione ed

analisi chimica è cresciuto rispetto a qualche anno fa, si fa presente sia come la maggior parte di questi giovani siano inquadrati in posizioni precarie, sia la quasi totale assenza di corsi universitari o scuole rivolte alla formazione di competenze specifiche in questo campo. **Sanare queste mancanze è cruciale per sfruttare al meglio l'utilizzo di strumentazione moderna e per mantenere l'alto livello di competitività raggiunto.**

Struttura e formazione della nostra galassia e dei suoi satelliti

I ricercatori italiani vantano una **tradizione di eccellenza di risultati e di metodologie innovative nello studio fotometrico, astrometrico e spettroscopico delle popolazioni stellari risolte**. Fra le varie tematiche inerenti questo campo di ricerca, alcune sono al momento di grande risonanza per gli importanti risvolti sulla comprensione sia della struttura e formazione della nostra galassia che della cosmologia. Il successo su grande scala dei modelli di formazione gerarchica delle galassie ha favorito l'ideazione di un vasto numero di progetti osservativi mirati all'individuazione delle tracce residue dei fenomeni di accrescimento che avrebbero formato la Galassia, dallo studio spettroscopico delle stelle delle diverse componenti strutturali (disco sottile, disco spesso, alone e bulge) all'astrometria e derivazione di estrema precisione dei moti propri di stelle e sistemi stellari, alla ricerca fotometrica delle scie (streams) lasciate dai satelliti via via catturati dalla Galassia, allo studio delle galassie vicine come possibili esempi di come dovevano essere i satelliti a suo tempo catturati. Questi studi su grande scala stanno consentendo di rivelare un numero crescente di sistemi stellari catturati dalla Via Lattea e le anomalie chimiche di alcuni ammassi globulari (come ω Centauri) suggeriscono che anche alcuni di essi possano essere stati originariamente delle galassie nane distrutte durante la cattura da parte della Galassia. Tuttavia, i diagrammi colore-magnitudine, la nucleo-cosmocronologia e le abbondanze chimiche derivate da vasti progetti osservativi su stelle di ammasso e di campo nell'alone, nel bulge e nel disco della Galassia hanno dimostrato che mentre il disco si è andato formando nel tempo, più per acquisizione di materiale gassoso che di sistemi stellari, sia il bulge che l'alone si sono formati in epoche remote e che i fenomeni di accrescimento, per quanto numerosi, devono aver avuto un ruolo solo secondario nella formazione della Galassia. Il confronto fra le caratteristiche chimiche delle stelle di alone con quelle delle galassie nane vicine dimostra inconfutabilmente che l'alone della Via Lattea non può essere il risultato dell'aggregazione di quei sistemi dalle caratteristiche così diverse.

Oltre alle informazioni sulla formazione della Galassia, questi studi stanno fornendo preziose indicazioni anche su altri importanti aspetti: ad esempio, lo studio delle stelle più povere di metalli dell'alone sta fornendo indicazioni sia sulla nucleosintesi primordiale che, indirettamente, sull'epoca della reionizzazione, mentre lo studio delle streams sta mostrando i dettagli sulla struttura del disco.

I ricercatori italiani sono fra i più attivi in questo settore, talvolta con ruoli di guida e responsabilità, sia nell'ideazione che nella gestione delle grandi collaborazioni

necessarie all'acquisizione e interpretazione della gran mole di dati osservativi necessari. Tuttavia è necessario sottolineare che, al di là del riconoscimento dell'autorevolezza personale di alcune figure di spicco, **non sempre la leadership dei grandi progetti osservativi internazionali può essere italiana, a causa del limitato supporto economico/organizzativo e della maggiore disponibilità per ricercatori di altri paesi di strumenti osservativi adeguati, come imagers a grande campo e spettrografi ad alta risoluzione in entrambi gli emisferi. Si auspica che nel triennio 2008-10 la comunità astrofisica italiana possa disporre dei mezzi necessari (in primis mediante uno sfruttamento rapido ed ottimale di VST e LBT) per poter aspirare al ruolo di primo piano che merita. A maggior ragione è urgente rafforzare questo filone di ricerca, quando si prospetta che l'ESO costruisca un ELT con lo studio delle popolazioni stellari risolte in galassie distanti tra le motivazioni di primaria importanza. Si sottolinea inoltre l'importanza di garantire tutto il sostegno economico/gestionale possibile all'impegno profuso da chi si occupa in Italia dei vari aspetti legati al successo della missione GAIA. Questo satellite fornirà informazioni sulla struttura galattica di qualità e quantità senza precedenti ed è quindi di primaria importanza garantire la presenza italiana in ruoli guida della missione, oltre che esercitare le dovute pressioni sull'ESA affinché la missione proceda spedita verso il lancio previsto per il 2011 e venga assicurato il rispetto dei requisiti tecnici che garantiscano la piena realizzazione del caso scientifico.**

Evoluzione delle galassie vicine: storia della formazione stellare ed evoluzione chimica

Una delle applicazioni attualmente di maggior successo internazionale delle teorie di evoluzione stellare è la derivazione della storia della formazione stellare dalle caratteristiche evolutive e dai diagrammi colore-magnitudine di popolazioni stellari risolte. La profondità e la risoluzione ottenibili con fotometria dallo spazio grazie al telescopio HST consentono di misurare con buona precisione le stelle più vecchie dell'Universo non solo nella nostra galassia ma anche in quelle a lei vicine e di misurare stelle con età di alcuni miliardi di anni in galassie fino a 10-20 Mpc. A questo scopo sono particolarmente utili categorie di stelle univocamente legate a precisi intervalli di età e più facilmente identificabili delle stelle normali, come le variabili pulsanti RR Lyrae, che devono avere almeno 10 miliardi di anni, o le stelle al carbonio che sono eccellenti traccianti delle popolazioni di età intermedia (di età intorno al mezzo miliardo di anni). Negli ultimissimi anni, questi studi hanno consentito di capire che nell'Universo locale non esistono galassie che stiano formando ora le loro prime stelle, perché tutte contengono stelle vecchie, e che l'attività di formazione stellare differisce da una regione all'altra anche in galassie piccolissime. **Ricercatori italiani sono stati i primi a proporre e a sviluppare i metodi numerici per la derivazione della storia di formazione stellare dai diagrammi colore-magnitudine delle popolazioni risolte**, che sono poi stati ripresi da un numero sempre crescente di gruppi stranieri. Si tratta di un filone di ricerca ad altissima competizione, in cui la qualità dei risultati non è sufficiente a garantire il primato internazionale, se non è affiancata da una rapida e

cospicua produzione. In un settore in cui l'analisi teorico/interpretativa deve basarsi su una notevole mole di dati osservativi che richiedono una riduzione lunga, difficile ed accurata, sta diventando sempre più arduo per i gruppi italiani, impossibilitati dalle crescenti difficoltà finanziarie e legislative ad avere un adeguato numero di partecipanti, mantenere la leadership che spetterebbe loro per la qualità dei risultati. Di fatto, la maggior parte dei gruppi italiani che tuttora mantengono un ruolo guida nel settore lo devono ai loro collaboratori che, dopo aver imparato il mestiere in Italia, si sono trasferiti in paesi che prestano più attenzione alla ricerca astrofisica e che forniscono loro il necessario appoggio economico/reclutativo. Tenendo conto delle prospettive future di questo filone di ricerca, legate all'utilizzo dei telescopi di nuova generazione, sia da terra (con diametri dai 10 m in su e con ottiche adattive per ottimizzarne la risoluzione spaziale) che dallo spazio (JWST, ma anche la futura camera WFC3 su HST) e tenendo conto del fatto che esso rappresenta una delle principali giustificazioni scientifiche per l'eventuale costruzione di ELT da parte dell'ESO, **riteniamo indispensabile che nel triennio 2008-10 i vari gruppi italiani operanti con successo nel settore ottengano fondi e possibilità di reclutamento sufficienti per potersi riproporre come elementi trainanti nella competizione internazionale.**

Ricercatori italiani sono stati fra i primi pionieri nella creazione di modelli teorici di **evoluzione chimica delle galassie**, con un approccio rigoroso e multi-comprensivo che li ha portati ad un **indiscusso primato internazionale nel settore**. I risultati ottenuti dai ricercatori italiani nello studio dell'evoluzione chimica della nostra galassia e di galassie di tutti gli altri tipi morfologici sono stati e sono tuttora all'avanguardia e di fondamentale impatto; si pensi, per citare solo pochi esempi, all'importanza di aver mostrato quali siano le caratteristiche principali delle diverse epoche e modalità di evoluzione di alone, bulge e disco delle spirali, di aver dimostrato, ben prima del lancio di WMAP, che solo valori relativamente alti del rapporto barioni/fotoni consentono abbondanze degli elementi primordiali consistenti con quanto osservato, di aver dimostrato che i rapporti di abbondanze fra i vari elementi chimici osservati nelle galassie ellittiche sono spiegabili solo se queste galassie si sono formate nelle epoche più remote e non per successivo accrescimento di galassie più piccole. **Le sfide odierne riguardano la capacità di sviluppare modelli specifici di evoluzione chimica di galassie** di cui si conoscano storia di formazione stellare, masse delle varie componenti e abbondanze chimiche dettagliate, tenendo conto anche dell'evoluzione dinamica del sistema e dell'interazione fra il materiale espulso da stelle e supernovae con il mezzo circostante. Il primato italiano in questo filone di ricerca è anche merito dell'impegno e dell'attività di formazione di alcuni universitari associati all'INAF, da anni leader nel settore, che portano giovani leve ad interessarsi e a lavorare su queste problematiche. **Dare sbocchi a queste giovani leve è da considerarsi di primaria importanza per il mantenimento dell'attuale livello di eccellenza.**

Scala delle distanze

La definizione della *scala delle distanze* costituisce argomento di rilevanza primaria dell'astrofisica contemporanea, sicuramente ancora da perseguire nel prossimo triennio. **In attesa che GAIA consenta di definire con precisione la scala primaria delle distanze**, oggi vengono utilizzati sia metodi diretti che indiretti, frutto di tematiche di ricerca talvolta trasversali. Alcune di queste tematiche sono già state discusse, altre vengono riportate nell'immediato prosieguo con l'intesa che molte di esse costituiscono, già di per sé, argomenti compiuti di ricerca e che la loro applicazione alla tematica della determinazione delle distanze ha ricadute molto rilevanti.

Delle **SNe**, di cui si è detto, va anche aggiunto che queste sono gli strumenti attualmente più efficaci per la misura delle distanze maggiori (qualche Gpc). Per distanze ancora superiori è necessario che nel triennio si sviluppino studi indirizzati ad una accurata verifica del potenziale offerto dai GRB come indicatori di distanza efficaci ed affidabili. La tecnica definita **fluttuazione di brillantezza superficiale (SBF)** può ora ritenersi matura e le sue applicazioni nella banda I sono ormai pienamente affidabili. È una tecnica multi-purpose che, utilizzata come misuratore di distanza, risulta affidabile fino a circa 100 Mpc. **Nel triennio 2008-10 vanno sviluppate le estensioni teoriche e quelle applicative alle bande del vicino infrarosso** e le applicazioni SBF a quegli oggetti di cui si dispone già di misure affidabili ottenute con altre tecniche più tradizionali. La **variabilità stellare** costituisce un indicatore di distanza conclamato e consolidato. **Nel triennio devono essere sviluppate più vaste applicazioni nell'infrarosso**. Qui la relazione P-L ha una scarsa dipendenza dalla metallicità e diviene così uno strumento estremamente efficace. La teoria deve ampliare la modellistica, sia per quanto riguarda le assunzioni sulle abbondanze chimiche e sui parametri evolutivi, sia per quanto riguarda il trattamento della convezione negli involucri pulsanti, completando il quadro delle masse pulsazionali e composizioni chimiche meno specificamente rivolte a parametri tipici delle popolazioni primarie della Galassia. Un campo di applicazione interessante, e praticamente inesplorato da un punto di vista sia teorico che osservativo è quello relativo alle *variabili rosse* (o Long Period Variables), Mira e stelle pulsanti di RGB. Sarebbe quindi opportuno intraprendere accurate analisi teoriche ed osservative per detti oggetti stellari.

Metodi classici, come il **ΔV** , il **MS-fitting**, il tip del Braccio delle Giganti Rosse (**RGB tip**) vanno mantenuti efficienti curando il continuo aggiornamento, a fronte di rinnovati input fisici o trattazioni numeriche avanzate di effetti di ordine superiore al primo, dei codici che generano gli standard teorici per il confronto con le osservazioni. In particolare, il miglioramento della fisica degli interni e delle atmosfere stellari, sta conducendo ad una revisione delle calibrazioni teoriche di tali metodi. **Nel prossimo triennio sarà importante verificare l'entità di tali revisioni e testare l'accuratezza delle calibrazioni teoriche** con l'ausilio delle varie evidenze empiriche che saranno fornite dai telescopi di nuova generazione (VLT, LBT, ecc). L'applicazione di altri metodi, di nuova concezione oppure consolidati, per i quali la comunità nazionale ha in questo momento scarsa attenzione, andrebbe considerata favorevolmente. Va inoltre ritenuta di interesse l'acquisizione di dati spettroscopici per quei sistemi binari di cui si dispone

già di dati fotometrici completi, con lo scopo di definire i valori assoluti dei parametri dei sistemi finalizzando il tutto alla determinazione delle distanze per confronto con quelli apparenti.

Astrosismologia

Nel prossimo triennio l'astrosismologia, test fondamentale per i modelli stellari, riceverà un forte impulso dai risultati del satellite COROT (missione spaziale del CNES dedicata allo studio delle oscillazioni stellari e dei transiti dei pianeti extrasolari), il cui lancio è previsto per il dicembre 2006. Grazie all'esperienza maturata dalla comunità scientifica nazionale nello studio sia osservativo che teorico delle oscillazioni stellari, l'INAF nel 2006 è entrata a far parte di HELAS, il network finanziato dalla CE con lo scopo di coordinare le attività tra gli istituti europei che maggiormente supportano e sviluppano la ricerca nel campo. Sarà quindi **importante, nei prossimi anni, continuare ad assicurare competenza e competitività italiane in astrosismologia**, sia attraverso l'analisi dei dati che ci perverranno da terra e dallo spazio, sia attraverso lo sviluppo di nuove teorie per comprendere la struttura delle stelle attraverso il fenomeno delle pulsazioni.

Ricerca di pianeti extra-solari

La rivelazione di pianeti extrasolari è stato uno dei risultati fondamentali dell'astrofisica dell'ultimo secolo. Le attività dei gruppi dell'INAF in questo campo riguardano la ricerca dei pianeti extrasolari e lo studio dei meccanismi di formazione dei sistemi planetari e delle interazioni dinamiche con l'ambiente circostante. I ricercatori italiani partecipano a diversi progetti nazionali e internazionali mirati allo studio dei pianeti extrasolari (e.g., progetto RATS, Omega-Trans; consorzio europeo per la realizzazione dello strumento SPHERE per ESO; GAIA) ed è naturale sottolineare la necessità che **l'INAF appoggi adeguatamente queste attività nel triennio 2008-10**, in cui questo settore di ricerca vedrà importanti sviluppi.

RACCOMANDAZIONI

Come universalmente noto nel mondo della ricerca fondamentale, indispensabile per la buona riuscita di un progetto scientifico e, ancor più, per lo sviluppo e la diffusione di un'idea innovativa è la possibilità per ciascun ricercatore di poter svolgere la propria attività scientifica in libertà esenza eccessivi intralci burocratici. Da un'attenta ricognizione delle ricerche di pertinenza della Macro-area 2, risulta **che una frazione significativa di quelle di maggior impatto internazionale viene svolta da gruppi relativamente piccoli**, difficilmente riconducibili al concetto di *progetto nazionale*, ma sicuramente di grande rilevanza per l'interesse dell'INAF. **È fondamentale per il**

mantenimento del livello di eccellenza della ricerca italiana che questa *ricerca di base* venga non solo garantita ma anche favorita, nel triennio 2008-10, come indicato anche nel Piano a Lungo Termine dell'INAF, consentendo anche a gruppi di poche persone di accedere a finanziamenti adeguati.

In un contesto di intensa collaborazione ma anche aspra competizione internazionale come quello astrofisico, diventa inoltre essenziale poter disporre di adeguati mezzi tecnici (accesso a telescopi da terra e dallo spazio con strumentazione di avanguardia), finanziari e di personale (sia in termini di opportunità di reclutamento di giovani ricercatori che di prospettive di carriera secondo criteri meritocratici). Dal confronto con la situazione degli altri paesi, non solo europei e americani, ma anche asiatici (e.g. India e Cina), è evidente che la competitività della ricerca italiana, inclusa quella astrofisica, rischia di diminuire rapidamente, sia per l'aumentato impegno dei governi degli altri paesi che per la diminuzione del nostro. Nel caso dell'astrofisica, si ritiene che per mantenere i livelli di eccellenza rilevati dal CIVR per il triennio 2001-2003 sia urgente **invertire la tendenza degli ultimissimi anni in cui sono diminuiti sia i finanziamenti che il numero di ricercatori**. Dal confronto fra la situazione attuale e quella di tre anni fa risulta impellente la necessità che l'INAF nel triennio 2008-10 recuperi a) sull'accesso ai fondi per la ricerca di base, siano essi erogati da INA, MiUR, ASI o altro; b) sul totale del personale di ricerca, che nel triennio trascorso è diminuito significativamente (negli OOAA da 360 al 31-12-2002 a 348 al 31-12-2005); e c) su borse e assegni per la formazione di giovani ricercatori.

Molti dei progetti di ricerca svolti nell'ambito della Macro-area 2 si basano su osservazioni effettuate con **grandi telescopi internazionali a terra o nello spazio** (e.g. ESO, HST, Spitzer) o stranieri (e.g. Magellan, Keck, Gemini, IRAM) oltre che al telescopio nazionale TNG, con una copertura prevalentemente nelle bande ottico/infrarosse, ma anche dal sub-millimetrico al radio, da una parte, e dall'UV all'X, dall'altra. Esistono, tuttavia, anche filoni di ricerca di punta (e.g. variabili pulsanti, SNe, GRB) che necessitano dell'uso dei **telescopi medio-piccoli esistenti sul territorio italiano**, soprattutto per campagne di monitoraggio.

Viene fortemente sentita l'esigenza di poter **accedere in entrambi gli emisferi a strumenti per fotometria con immagini a grande campo** (auspicando vivamente un rapido inizio dell'attività di VST e LBT) e a **spettrografi** (multi-oggetto) ad alta risoluzione montati su grandi telescopi. Altrettanto sentita è l'esigenza di **rendere al più presto una realtà la missione GAIA**, appoggiando fortemente la partecipazione italiana alla missione anche in ruoli di responsabilità primaria, nonché di fornire un supporto continuativo alla formazione della comunità italiana all'utilizzo scientifico di ALMA. Appare necessario **appoggiare concretamente la partecipazione di ricercatori italiani nell'utilizzo dei dati del satellite COROT**, resa ancora più importante dal mancato contributo dell'ASI alla realizzazione della parte strumentale della missione. Si auspica infine la rapida creazione di un fondo apposito per il finanziamento dell'analisi dati da satellite non solo di alte energie.

Molte delle ricerche qui descritte devono il loro successo **alla sinergia fra ricercatori INAF e universitari**, che favorisce sia i necessari scambi culturali che l'alta formazione di giovani leve. È di primaria importanza che l'INAF nel triennio 2008-10 **consolidi e anzi aumenti gli scambi istituzionali con le Università**, rafforzando le sinergie e il parallelismo dei ruoli.

MACRO-AREA 3: "SOLE E SISTEMA SOLARE"

(F. Berrilli, A. Cellino, C. Chiuderi, S. Orsini (coordinatore),
D. Spadaro)

INTRODUZIONE

Il prossimo triennio sarà di fondamentale importanza per l'attività della Macroarea 3. Numerosi progetti, sia spaziali che da terra, saranno infatti avviati ex-novo. Molti altri, iniziati di recente, forniranno grandi quantità di dati che dovranno essere analizzati e dai quali si attendono importanti risultati scientifici.

Per quanto concerne le osservazioni da terra, nel **settore solare** sono imminenti scelte importanti nell'ambito della nuova organizzazione europea EAST nata in seguito alla risoluzione sottoscritta durante il New Generation Large Aperture Solar Telescopes Workshop di Villa Mondragone (10-12 Aprile 2006) per una nuova generazione di telescopi che consentiranno osservazioni dell'atmosfera solare con una precisione polarimetrica ed una risoluzione spaziale senza precedenti. L'obiettivo è la condivisione con i colleghi europei della progettazione e realizzazione di un nuovo telescopio solare europeo (EST) cui, nel caso che le risorse lo possano consentire, potrà essere affiancata la partecipazione al telescopio americano a tecnologia avanzata (ATST). Per la comunità solare italiana questi progetti sono la naturale evoluzione di un'importante attività tecnologica, scientifica e formativa svolta nell'ambito del progetto Franco-Italiano THEMIS, per il quale è prevista una prossima chiusura e da cui l'Italia uscirà presumibilmente nel 2009. Accanto a questa nuova attività si intende proseguire l'acquisizione, ed analisi, di dati sia dagli strumenti italiani che dai principali osservatori internazionali.

Nel **settore planetologico** proseguiranno le numerose attività in cui è impegnata la comunità italiana, che svolge un ruolo da protagonista in un momento di grande e generale sviluppo, in forte sinergia tra le attività teoriche e quelle di osservazione remota da terra e dallo spazio, di supporto alle attività di investigazione in situ per mezzo di missioni spaziali.

Per quanto riguarda le **relazioni Sole-Terra**, la comunità italiana potenzierà la partecipazione a programmi internazionali fondamentali per lo studio dell'interazione fra il vento solare ed il sistema magnetosfera-ionosfera e dell'influenza in genere delle perturbazioni solari sull'ambiente circumterrestre.

Per quanto riguarda le osservazioni dallo spazio ci si propone non solo di proseguire l'analisi dei dati raccolti dalle missioni in corso o recentemente lanciate di tipo solare,

eliosferico, magnetosferico e planetologico, ma anche di intraprendere e sviluppare nuove attività per nuove importanti missioni quali BEPICOLOMBO e successivamente SOLAR ORBITER, nelle quali la comunità italiana è fortemente presente ai più alti livelli di responsabilità. Per BEPICOLOMBO-MPO, tra pochi mesi sarà firmato il Contratto Industriale e quindi si avvierà la fase realizzativa (4 dei 12 esperimenti hanno responsabili italiani); per SOLAR ORBITER, la comunità solare-eliosferica nazionale ha recentemente risposto con notevole partecipazione al *Call for Letter of Intent* dell'ESA proponendosi sia a livello di primaria responsabilità sia a livello di Col con strumenti sia di *imaging* (è già in fase avanzata la realizzazione del prototipo di un coronografo) che di misure *in-situ* (rivelatori ENA e di particelle cariche).

Inoltre, per la missione SCORE/HERSCHEL, il cui lancio era previsto nel Luglio del 2007 nel quadro del programma dei voli sub-orbitali della NASA, si sta realizzando un coronografo multibanda con l'obiettivo di effettuare le prime misure di abbondanza dell'elio nella corona estesa.

Un altro impegno fondamentale è poi quello legato alla missione GAIA, missione per la quale l'ESA costruisce direttamente la strumentazione di bordo, ma richiede il coinvolgimento della comunità scientifica europea per lo sviluppo delle procedure di trattamento ed analisi dati. In quest'ambito, la comunità planetologica italiana ha importanti responsabilità in settori chiave per la scienza dei corpi minori del Sistema Solare.

Infine, va sottolineato che la comunità è particolarmente attenta anche alle attività di preparazione a missioni future, come ad esempio i progetti con base e *orbiter* lunare e quelli che si stanno organizzando per rispondere ai prossimi nuovi bandi ESA per '*Cosmic Vision*'.

In questo quadro di assoluta rilevanza scientifica (gli esempi citati forniscono solo un'idea vaga del lavoro necessario e dei risultati che ci attendono), la 'risposta' in termini finanziari e di forza lavoro è stata negli anni passati assolutamente carente. In particolare, per quanto riguarda i ricercatori più giovani, si è dovuto ricorrere a varie forme di precariato che rischiano di allontanare dalla ricerca molti giovani promettenti e che costringono quelli che rimangono a dedicare molto del loro tempo e della loro creatività alla ricerca di fondi di sopravvivenza, piuttosto che a conseguire l'esperienza che li dovrebbe portare a dirigere i progetti del domani. Inoltre, i fondi di ricerca, provenienti essenzialmente dall'esterno dell'INAF, sono legati a prestazioni più o meno lunghe legate a progetti specifici, ma non consentono di consolidare le linee di ricerca tra la fine di un progetto e l'inizio del successivo. Solo un processo di consolidamento può far fruttare le preziose esperienze acquisite negli anni, ricchezza nazionale che prelude a quell'accrescimento scientifico-tecnologico di cui tanto si sente parlare.

Nel prossimo triennio la comunità di MA3 sarà impegnata nella realizzazione degli strumenti per missioni approvate, nel rispondere a *ESA Cosmic Vision Call of Opportunity 2015-2025* per la progettazione e realizzazione di nuove missioni spaziali (che riguarderanno ad esempio lo studio del sistema gioviano, dell'atmosfera di Venere, dei corpi minori e del plasma magnetosferico), nella partecipazione alla fase progettuale dei nuovi telescopi e dei relativi strumenti di piano focale, oltre che nella prosecuzione delle

attività che la vedono da molti anni componente fondamentale della ricerca internazionale nei domini della fisica solare e delle scienze planetarie.

Ci si attende dunque un adeguato e concreto impegno dell'INAF per evitare di disperdere il bagaglio scientifico e tecnologico grazie al quale, nonostante le pesanti difficoltà degli ultimi tempi, la MA3 è ancora in grado di affrontare da protagonista le future competizioni.

ASTROFISICA SOLARE E FISICA INTERPLANETARIA

L'ultimo decennio è stato caratterizzato da un considerevole sviluppo nelle conoscenze del Sole e dell'eliosfera, soprattutto grazie all'utilizzo di nuovi e più efficaci strumenti a terra e orbitanti nello spazio. Sulla base di questi recenti risultati e sviluppi è importante chiedersi quali sono le principali linee guida per la ricerca solare ed eliosferica e le principali domande a cui si vuole dare una risposta con tali attività. Sono quindi indicati i temi di ricerca che si ritiene importante sviluppare nel prossimo triennio, in aderenza con il Piano a lungo termine recentemente predisposto dal Consiglio Scientifico dell'INAF, insieme ad una lista dei gruppi di ricerca coinvolti in ciascun tema.

La principale sfida è nel comprendere come il campo magnetico solare è generato e strutturato e come l'energia magnetica sia rilasciata nell'atmosfera solare, nell'eliosfera e nella magnetosfera terrestre. La fonte più importante di energia sta nell'energia meccanica generata dai moti di plasma alla sommità della zona di convezione sub-fotosferica, ed 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. D'altra parte, l'energia dissipata a livello coronale innesca l'espansione del plasma coronale riscaldato nell'ambiente interplanetario, formando così l'eliosfera, che si estende fino a circa 100 u.a. ed interagisce con tutti i corpi del sistema solare in un complesso sistema magnetoidrodinamico.

Tutto ciò implica una visione unificata del sistema Sole – eliosfera, che mette insieme le differenti linee di ricerca indicate di seguito in un quadro di collaborazione.

Il Sole come stele di Rosetta

Il Sole è l'unica stella abbastanza vicina da permettere uno studio dettagliato del suo interno, ad esempio attraverso studi eliosismologici, degli strati esterni, attraverso tecniche di spettro-polarimetria, e dell'eliosfera circostante, per mezzo di osservazioni remote e misure *in situ*. Esso dunque offre una opportunità unica per studiare in dettaglio la struttura di una stella ed i processi fisici che sono alla base dell'evoluzione e dell'attività stellare.

La conoscenza della struttura e dell'evoluzione delle stelle forma la base di gran parte dell'astrofisica. Le stelle sono infatti i mattoni che formano le galassie e nelle stelle avviene gran parte della nucleosintesi dell'universo. I modelli evolutivi attuali richiedono una conoscenza sempre più dettagliata circa la fisica degli interni e dei processi che avvengono nell'atmosfera e nel mezzo circostante. Tale dettaglio di conoscenza può essere ottenuto unicamente nel caso del Sole. In particolare, si richiede un trattamento più realistico della fisica degli interni; sia per quanto concerne le opacità e le equazioni di

stato, sia per quanto riguarda l'includere la rotazione, la magneto-convezione turbolenta e la generazione dei campi magnetici. L'interpretazione dei più recenti dati osservativi rende anche necessario il considerare le atmosfere stellari come regioni altamente strutturate e dinamiche, sede di quei meccanismi fisici che sono alla base dei diversi processi magnetici atmosferici, della formazione di una corona e dell'accelerazione dei venti, con conseguente espulsione di massa ed interazione con il mezzo interplanetario ed interstellare.

Affioramento del flusso magnetico ed organizzazione sulla superficie del Sole

Capire la nostra stella, il Sole, è di fondamentale interesse per la vita sulla Terra. Molti processi rilevanti in tale ambito sono dovuti all'emergere del flusso magnetico sulla superficie del Sole ed al suo organizzarsi in regioni magnetiche che, evolvendo, danno luogo all'attività solare. In particolare, la generazione, evoluzione ed organizzazione del campo magnetico solare sono controllate dai processi convettivi che hanno luogo negli strati sottostanti la fotosfera. Gli effetti di tali campi, osservabili in superficie, possono essere studiati sia attraverso simulazioni numeriche, sia per mezzo di osservazioni spettroscopiche e polarimetriche.

In questo ambito si può parlare di una scuola italiana di rilevanza internazionale che ha visto, soprattutto grazie a finanziamenti PRIN e CNR, lo sviluppo di importanti collaborazioni tecnologiche e scientifiche e la formazione di molti giovani astrofisici solari. Diversi gruppi INAF (Catania, Firenze, IFSI-Roma, Napoli e Roma) ed universitari (Catania, Calabria, Firenze, L'Aquila e Roma Tor Vergata) sono coinvolti nello studio, teorico ed osservativo, dei processi di convezione turbolenta fotosferica e della dinamica della cromosfera. Inoltre, una rilevante attività sperimentale condotta principalmente nelle sedi INAF ed universitarie di Firenze e di Roma, e nell'ambito di PRIN in collaborazione ai gruppi di Catania, L'Aquila e Napoli, ha prodotto strumentazione di piano focale per i più grandi telescopi solari mondiali. Ricordiamo, i monocromatori per *imaging* IPM@THEMIS (Tenerife) e IBIS@DST (USA). Il prossimo triennio vedrà la definizione degli strumenti di piano focale dei telescopi solari in progettazione ed i primi studi e test di laboratorio per spettropolarimetri nell'ottico-NIR di nuova generazione. In tale ambito possono anche essere inquadrare le osservazioni del Sole a disco intero effettuate presso le Sedi INAF di Catania, Napoli e Roma.

Dato il ruolo cruciale giocato dai campi magnetici nella struttura dell'atmosfera solare da tali indagini possono derivare contributi significativi all'interpretazione delle strutture stellari o di altri oggetti astrofisici in cui è determinante l'interazione tra campo magnetico e plasm. Inoltre, lo studio dei fenomeni dinamici e magnetici sia in fotosfera che in cromosfera 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, riconessioni magnetiche, micro- e nano-brillamenti. Tali studi interessano le sedi INAF (Catania, Firenze, IFSI-Roma, Napoli, Palermo, Roma e Torino) ed universitarie di Catania, Calabria, Firenze, Napoli, e Roma Tor Vergata.

Riscaldamento dell'atmosfera solare esterna

Una più chiara comprensione dei meccanismi di rilascio di energia a livello coronale richiede di determinare la localizzazione e il profilo temporale dei processi di dissipazione di

energia nel plasma, e dei possibili fenomeni di turbolenza ed idrodinamici connessi. Visti gli elevati requisiti strumentali in termini sia di precisione fotometrica che di risoluzione spaziale, temporale e spettrale, necessari ad osservare tali processi, un approccio alternativo a questo problema è lo sviluppo di modelli idrodinamici e simulazioni numeriche delle strutture magnetiche coronali e dell'emissione EUV e X prevista, al fine di un dettagliato confronto con i dati osservativi. In questo filone di ricerca sono impegnati, con differenti e specifiche prerogative, i gruppi, sia INAF che universitari, di Catania, Cosenza, Firenze, Napoli, Palermo, Roma e Torino.

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 (Univ. di Firenze).

Un ingrediente fondamentale in tale contesto è la determinazione della composizione chimica coronale e l'evidenza di possibili differenze tra regioni coronali con diverse configurazioni magnetiche. Risulta dunque cruciale la possibilità di effettuare una misura diretta dei campi magnetici coronali sviluppando le opportune tecniche spettropolarimetriche nell'ultravioletto, basate sull'effetto Hanle, necessarie a raggiungere questo obiettivo. 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 10 anni in modo eccellente. UVCS ha permesso di aprire il nuovo campo di indagine coronale tramite l'introduzione della spettroscopia ultravioletta della corona estesa ed ha portato a risultati fondamentali sia nel campo del riscaldamento coronale che nel campo dell'espansione della corona, con conseguente formazione del vento solare (oltre ai gruppi pionieristici di Firenze, Padova e Torino, c'è stata la partecipazione della maggior parte della comunità solare, in particolare di Catania e Palermo). L'esperienza acquisita con UVCS ha consentito alla comunità italiana di avere un ruolo propositivo che permette ora: a) la realizzazione di HERSCHEL/SCORE, per le prime misure dell'elio in corona; b) del sistema polarimetrico per il coronografo ultravioletto 'Lyot' della missione SMESE per le prime misure del campo magnetico coronale; c) di proporre nell'ambito del SOLAR ORBITER un progetto dello spettrometro EUV ad altissima risoluzione spaziale per lo studio della regione di transizione e della corona (Padova, Firenze, Catania, Napoli, Torino). Infine, una particolare attenzione va rivolta allo studio delle caratteristiche globali della corona solare, adottata nel suo insieme come *template* per le corone stellari, sviluppato dal gruppo di Palermo.

Eventi coronali esplosivi e altri fenomeni legati al plasma

Questa ricerca, correlata a quanto esposto nei due paragrafi precedenti, ha come obiettivo primario la comprensione dei 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. Lo studio di questi Eventi Solari Estremi (SEE) vede coinvolte diverse sedi. In modo riepilogativo possiamo individuare i seguenti ambiti scientifici e tecnologici:

- processi di riconnessione magnetica coronale, mediante osservazioni dallo spazio e simulazioni numeriche. Sono coinvolte le sedi INAF di Catania, Firenze, Palermo, Torino, e quelle universitarie di Catania, Firenze e Torino;

- modelli numerici e teorici di avvezione dei campi magnetici, riconessioni magnetiche, micro- e nano-brillamenti. Tali studi interessano le sedi INAF (Catania, Firenze, IFSI-Roma, Palermo) ed universitarie di Catania, Calabria, Firenze e Roma Tor Vergata;
- formazione, evoluzione iniziale e propagazione negli strati più interni della corona solare di espulsioni di massa coronale, mediante l'utilizzo di strumenti dallo spazio (Catania, Firenze, Napoli, Palermo, Padova, Torino, Trieste) e di analisi dati di strumentazione radio da terra ad altissima risoluzione temporale (Trieste);
- propagazione delle perturbazioni del plasma solare e di fasci di particelle energetiche solari cariche nello spazio interplanetario con la conseguente interazione con i Galactic Cosmic Rays ed il campo magnetico interplanetario; ruolo della turbolenza nel plasma eliosferico (sedi INAF-IFSI-RM ed università Calabria, Firenze e Roma 3);
- innesco di processi dinamici e perturbazioni nella magnetosfera, ionosfera ed atmosfera terrestre da parte di Shock e CME, assieme a particelle cariche solari. Modulazione dei raggi cosmici, influenza dei campi elettrici atmosferici sulle componenti secondarie dei raggi cosmici, influenza dei raggi cosmici sullo strato di ozono. Sedi interessate sono quelle INAF (IFSI-Roma e OATs) ed universitarie di Calabria, L'Aquila, Roma Sapienza e Roma 3.

Nel triennio, in risposta alla AO ESA ed alla definizione del 'payload' per il SOLAR ORBITER, inizieranno le attività relative alla definizione delle interfacce degli strumenti con il satellite. In particolare ci riferiamo al coronografo UV che vede interessati i gruppi italiani (Catania, Firenze, Torino per la realizzazione dell'hardware e tutta la comunità solare dal punto di vista scientifico) ed alla proposta per un telescopio per particelle solari energetiche (Università e sezione INFN di Tor Vergata e Università della Calabria). Le Università di Urbino e Perugia propongono l'uso dei rivelatori di LISA per determinare la geometria delle CME. Sta inoltre iniziando la partecipazione della comunità solare alla missione tecnologica dell'ESA ASPIICS, che consiste in un coronografo formato da due satelliti in flight formation.

Il vento solare ed i relativi meccanismi di riscaldamento e accelerazione

Lo studio della perdita di massa da parte del Sole fa leva principalmente sulle osservazioni dallo spazio, sia "remote-sensing" che "in-situ", debitamente supportate dalla modellistica teorica, e si articola secondo vari e complessi aspetti, che riguardano: a) la determinazione della struttura tridimensionale del vento solare a larga scala tramite osservazioni in-situ a differenti latitudini eliosferiche; b) l'individuazione e caratterizzazione delle regioni sorgente del vento solare lento (correlazione tra topologia magnetica, velocità del vento e abbondanze di elementi, in particolare dell'elio, nella corona estesa); c) il riscaldamento ed accelerazione del vento veloce mediante dissipazione di onde di Alfvén per risonanza ione-ciclotrone nei buchi coronali; d) la propagazione e dissipazione delle onde di Alfvén

nel vento solare; e) il ruolo della turbolenza nel plasma eliosferico e i relativi modelli di generazione locale della turbolenza MHD; f) l'approccio cinetico allo studio del vento solare.

La missione ESA SOLAR ORBITER per l'osservazione del Sole e dell'eliosfera prevede un Neutral Solar Wind Detector (NSWD) per lo studio dei meccanismi di accelerazione del vento solare. L'IFSI-Roma ha proposto all'ESA la realizzazione di un sensore per rilevare le particelle neutre presenti nel vento solare. Tali misure saranno effettuate in congiunzione con il coronografo ed il telescopio per particelle solari energetiche (vedi paragrafo precedente) che forniranno utili elementi alla comprensione della dinamica e composizione del vento solare. Inoltre, sempre ricercatori dell'IFSI-Roma parteciperanno alla definizione e realizzazione dello strumento proposto per la rilevazione del vento solare carico.

Le interazioni tra il Sole e la Terra e tra il Sole e gli altri pianeti

Le onde d'urto non collisionali e la riconnessione magnetica sono processi universali nella fisica dei plasmi astrofisici e possono essere studiati "in situ" solo nel vento solare e nella magnetosfera terrestre. Sebbene recentemente siano stati ottenuti risultati di grande rilievo grazie alle missioni ESA Cluster e Double Star, molto rimane da fare a riguardo.

Il trasferimento di energia, massa e quantità di moto dal vento solare alla magnetosfera è alla base della dinamica di quest'ultima e delle sue manifestazioni più macroscopiche. Lo studio di tali fenomeni necessita, oltre che di dati spaziali, anche di dati da terra. A questo riguardo, va ricordato che la sede INAF-IFSI di Roma partecipa alla rete di radar SuperDARN ed alla gestione delle telecamere aurorali ITACA2 ed AURORA, nell'emisfero boreale ed in quello australe. Inoltre, l'Università dell'Aquila è attiva nel campo delle osservazioni delle onde magnetosferiche ULF. I suddetti gruppi collaborano con la sezione INGV di Roma che possiede strumenti complementari nelle zone aurorali e polari.

Per il futuro, si auspica un'ulteriore espansione, a cominciare dalla realizzazione, già finanziata dal PNRA, di due radar della rete SuperDARN da installare a Dome C, per completare la copertura di tutta la ionosfera aurorale e polare fra 60 ed 90° di latitudine magnetica.

Nell'ultimo decennio ha assunto una particolare rilevanza lo studio della complessità nei plasmi magnetosferici/ionosferici. Tale studio vede coinvolte principalmente la sede INAF-IFSI e l'Università della Calabria.

Come ricaduta delle ricerche nel campo delle relazioni Sole-Terra, negli ultimi anni si sono sviluppate varie attività di meteorologia spaziale che hanno coinvolto principalmente molte sedi INAF (Catania, IFSI-Roma, Napoli, Roma, Torino, Trieste) ed universitarie (Calabria, Catania, L'Aquila, Roma). A riguardo, ricordiamo il progetto GIFINT (INAF-IFSI, INGV) che fornisce un servizio in rete di meteorologia spaziale ai suoi utenti. Nel campo dei modelli applicabili nella meteorologia spaziale si annoverano anche i modelli empirico-analitici di distribuzione e circolazione di plasma nelle regioni equatoriali della magnetosfera interna terrestre sviluppati negli ultimi anni all'IFSI.

Nel campo delle attività spaziali, all'IFSI il gruppo ENA si occupa di investigare l'interazione del vento solare con gli ambienti planetari principalmente utilizzando la tecnica di rilevamento degli atomi neutri energetici (ENA) generati dall'interazione tra plasma ed esosfera planetaria. Il gruppo studia gli ambienti di Marte e Venere grazie

all'analisi dei dati raccolti dagli strumenti ASPERA-3 e ASPERA-4 a bordo di MEX e VEX. Inoltre, l'IFSI ha la responsabilità di uno strumento (SERENA) per la missione cornerstone dell'ESA BEPICOLOMBO dedicato allo studio dell'interazione del vento solare con l'ambiente di Mercurio. Si sta quindi sviluppando una grossa attività di coordinamento nazionale (CNR, ENEA, IASF-Roma, OA di Padova) e internazionale, di modellistica e di sviluppo e progettazione di sensori per il monitoraggio dell'ambiente di Mercurio tramite ENA. Sempre per la missione Bepi-Colombo, l'IFSI partecipa allo sviluppo di uno strumento per la misura della funzione di distribuzione degli elettroni da montare sulla sonda giapponese MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter).

Variabilità solare

Lo studio della variabilità solare ha un ruolo centrale nella comprensione delle interazioni Sole-Terra. I fenomeni che determinano la variabilità solare sono studiati, anche nell'ambito del Centro per lo studio della variabilità del Sole (CVS) che vede coinvolte le sedi INAF-Roma, Roma Tor Vergata ed INGV di Roma, in collaborazione con le sedi INAF-IFSI e dell'Università della Calabria e dell'Aquila. Lo studio avviene attraverso osservazioni multibanda a disco intero, misure spettroscopiche ad alta risoluzione spaziale, serie temporali pubbliche e tramite sviluppo di simulazioni numeriche di trasporto radiativo in atmosfera non uniforme ed atmosfere dinamiche.

Serie storiche, come le immagini CaK ed H α della Torre solare di Arcetri digitalizzate presso l'OAR nell'ambito del progetto CVS, permettono di studiare le proprietà fotometriche delle regioni magnetiche solari su tempi scala più lunghi del ciclo di attività e il loro contributo alle variazioni dell'emissione solare misurate nelle missioni SORCE, SOHO, SUSIM.

Progetti ed opportunità future per lo studio del Sole e dell'ambiente interplanetario

a) *Partecipazione a progetti relativi a Large Aperture Solar Telescope*

Nell'ambito della partecipazione alla progettazione e realizzazione di un telescopio solare di nuova generazione e grande apertura si intende studiare lo sviluppo di strumentazione di piano focale ottico-NIR e relativi sistemi di acquisizione per osservazioni solari da Terra. Attualmente sono in discussione due collaborazioni relative ad un progetto europeo "European Solar Telescope" (EST) ed uno statunitense "Advanced Technology Solar Telescope" (ATST).

In particolare i gruppi solari INAF di Catania, Firenze e Roma e quelli universitari di Calabria, Catania, L'Aquila e Roma Tor Vergata sono interessati allo studio di uno Spettrometro bidimensionale a grande campo. Tale studio riguarda sia il razionale scientifico che gli aspetti tecnologici e di simulazione legati all'utilizzo di tale strumento al piano focale di un grande telescopio.

b) *Partecipazione scientifica al programma spaziale "International Living With a Star (ILWS)"*

Vede impegnata una parte rilevante della comunità solare italiana, finanziata dall'ASI. Nel programma operano diverse sonde, cui l'Italia ha contribuito, dedicate all'osservazione del sistema Sole-eliosfera-magnetosfera. In questo quadro ci si propone di proseguire l'attività

scientifica per l'analisi dati Sole e Plasma (missioni SOHO, TRACE, CLUSTER, Ulysses, Double Star, programma GIFINT), finanziata dall'ASI. Inoltre studi sulla radiazione più energetica vengono condotti utilizzando i dati di RHESSI (Genova).

Si vuole inoltre completare, sempre con il finanziamento dell'ASI, 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. Per queste attività collaborano le sedi INAF di Firenze e Torino e le Università di Firenze, Padova e Pavia.

La partecipazione italiana al programma interagenzie ILWS vede 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 a 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).

Un grosso impegno riguarda la definizione degli obiettivi scientifici e della strumentazione da proporre per le future missioni di ILWS, SOLAR ORBITER in particolare. Tale missione è caratterizzata da un'orbita che la porterà a distanze dal Sole mai raggiunte finora, con lo scopo di studiare il Sole e lo spazio ad esso immediatamente circostante. Diversi membri, in rappresentanza della intera comunità italiana, hanno significativamente contribuito a 5 "letter of intent" inviate all'ESA in vista della selezione degli strumenti di bordo, la maggior parte delle quali propone scienziati della comunità italiana in posizione di leadership per la realizzazione della strumentazione.

All'interno dello stesso programma ILWS e di programmi correlati (es. COST: Space Weather) risultano importanti: il network italiano di osservatori solari da terra riguardanti le osservazioni nell'ottico e nel radio, la misura di raggi cosmici, la rete di radar ionosferici SuperDARN, le telecamere aurorali, le stazioni magnetometriche a terra (sedi INAF di Catania, IFSI-Roma, Roma, Napoli, Trieste) e Universitarie (L'Aquila e Roma 3). Particolare riferimento merita il progetto per un telescopio solare per test di *seeing* alla base di Dome-C di Concordia-Astro (OAC).

c) COST (Cooperation in Science and Technology) 724 on Space Weather

Nell'ambito di questo programma ci si propone di sviluppare il coordinamento della ricerca europea sulla modellistica e previsione dello *Space Weather* (monitoraggio dell'attività solare, influenza sull'ambiente terrestre, impiego di modelli per prevedere lo stato del sistema Sole – Terra), promuovere nuova strumentazione e definire standard per i dati. Nell'ambito della rete europea per lo *Space Weather* si inseriscono anche le osservazioni del network italiano (vedi punto precedente). Tale network, valido supporto da terra a missioni spaziali, è tra i più completi in Europa per il monitoraggio dello *Space Weather*, permettendo di studiare i fenomeni dalla fotosfera alle perturbazioni interplanetarie, ai loro effetti sul campo magnetico terrestre ed alle variazioni correlate nell'intensità dei raggi cosmici. È stato considerato di particolare valore scientifico anche dallo *Space Weather Working Team* dell'ESA. Il network sta dando un contributo significativo alle attività coordinate su scala internazionale per l'*International Heliophysical Year*.

d) **Archivio di dati solari e osservatorio virtuale**

I dati provenienti dai singoli nodi del network osservativo italiano, più quelli acquisiti con il satellite SOHO (SOLAR, presso l'INAF-To), vengono immagazzinati in SOLARNET, federazione degli archivi solari italiani, e resi disponibili in rete alla comunità secondo gli standard tipici sviluppati per gli osservatori virtuali. SOLARNET pertanto costituisce il nucleo portante dell'Italian Virtual Observatory for Sun-Earth Connections. Adotta anche una tecnologia di "grid", con capacità di calcolo distribuito per l'analisi e la visualizzazione dei dati osservativi di interesse.

e) **NASA Sun-Earth Connection Roadmap - Planning 2000-2025: Osservazioni del Sole dalla Luna**

Possiamo individuare alcune questioni scientifiche primarie, soprattutto legate alle relazioni Sole-Terra ed all'impiego di tecnologie spaziali. In particolare ci riferiamo allo studio dei meccanismi fisici che determinano l'ampiezza e la variabilità dell'irradianza solare, soprattutto nelle bande dell'UV, EUV, SXR, e la comprensione dei processi di riscaldamento coronale e produzione delle espulsioni di massa coronale.

In questo ambito sono in fase di realizzazione studi preparatori per un *telescopio solare vis-NIR ad alta risoluzione spaziale* (gregoriano con diametro di 1m operante nel range 300nm-1600nm) e che vede cooperare le Università di Roma Tor Vergata e della Calabria), per un *coronografo UV* (INAF Torino) e per strumenti di misura in-situ (IFSI-RM).

I PIANETI DEL SISTEMA SOLARE E LA LORO RICERCA IN ALTRI SISTEMI STELLARI

La Planetologia, disciplina fondamentale è in grado di fornire dati insostituibili sulla storia del nostro Sistema Solare, sulla sua origine, sui processi di formazione delle stelle e dei sistemi planetari extrasolari, sulla storia chimica della nostra Galassia, sui processi di origine e sviluppo della materia vivente. Quello attuale è uno dei momenti più vivaci della sua lunga storia, grazie alla realizzazione di missioni spaziali di esplorazione *in situ*, in grado di fornire una messe nuova di dati da comprendere ed interpretare. A sua volta, la realizzazione di missioni spaziali di esplorazione planetaria è una conseguenza di progressi sia tecnico-ingegneristici, sia puramente teorici. In questi anni si sono avuti sviluppi spettacolari di nuove tematiche planetologiche a forte impatto sull'opinione pubblica, come l'osservazione di acqua su Marte, lo studio delle conseguenze catastrofiche di un effetto serra incontrollato nel caso di Venere, il riconoscimento del pericolo di impatto con corpi minori (asteroidi, comete) in grado di sconvolgere la biosfera terrestre, la scoperta dell'esistenza di composti chimici complessi nella polvere interstellare ed interplanetaria, che apre nuovi affascinanti interrogativi sull'origine della vita sulla Terra, per finire con un profondo riesame del concetto stesso di "pianeta", argomento questo balzato recentemente all'attenzione della cronaca durante l'ultima assemblea Generale dell'Unione Astronomica Internazionale.

La comunità scientifica italiana si presenta, in questo scenario, come assoluta protagonista in tutti gli ambiti di maggiore importanza, sia per quanto riguarda gli studi teorici, sia per quanto riguarda la realizzazione di campagne di osservazione remota e l'interpretazione dei

dati, sia per quanto riguarda l'esecuzione di esperienze di laboratorio di grande interesse, sia infine per quanto riguarda la partecipazione attiva alle più importanti missioni spaziali di esplorazione, con responsabilità specifiche nella concezione, sviluppo, realizzazione e impiego di strumenti scientifici di importanza fondamentale a bordo di queste missioni.

Le attività in cui è coinvolta la comunità scientifica italiana nel prossimo triennio vengono qui di seguito raggruppate in un piccolo numero di tematiche fondamentali (modellistica planetaria, pianeti terrestri, pianeti giganti, corpi minori, polveri e mezzo interplanetario, a cui si aggiunge oggi la nascente disciplina dell'Astrobiologia). Visto che la comunità italiana si presenta nell'attuale panorama spaziale, 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.

Origine ed evoluzione di pianeti, satelliti naturali e corpi minori

Questo argomento, portato avanti dal gruppo dello IASF-Roma, riguarda studi di carattere teorico con sviluppo di modelli numerici, per i quali il gruppo romano ha da tempo una reputazione di eccellenza in campo internazionale. La parte di modellistica è prevalentemente rivolta allo studio delle origini dei diversi corpi del sistema solare e dei processi principali che hanno determinato la loro evoluzione e complessiva differenziazione. 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)

Negli ultimi tempi questi studi sono stati particolarmente rivolti all'interpretazione di dati ottenuti *in situ* da sonde spaziali, quali lo studio della presenza di acqua su Marte, in un momento particolarmente intenso di osservazione di Marte mediante sonde automatiche. Per quanto riguarda i corpi minori, si stanno sviluppando modelli della storia termica degli asteroidi maggiori, in vista dei futuri dati della sonda DAWN, e delle comete, in vista dei dati che verranno dalla missione Rosetta.

I pianeti interni e la Luna

Molti progetti portati avanti in questo ambito sono strettamente legati a missioni spaziali appena concluse (SMART-1), in corso (Mars Express, Venus Express) o imminenti (BEPICOLOMBO, Exo-Mars). Non bisogna dimenticare però l'esistenza di attività di tipo

diverso, che vanno dagli studi teorici di formazione dei pianeti terrestri, agli studi di geodesia terrestre mediante VLBI.

- **Studio di Marte**

Gli strumenti a bordo di Mars Express (molti con h/w prodotto in Italia: PFS, PI: IFSI-Roma; MARSIS, PI: Uni RM1; OMEGA, Col: IFSI-Roma; ASPERA-3, Col: IFSI-Roma) hanno già prodotto risultati di notevole interesse per l'esplorazione di Marte come, ad esempio, la scoperta del metano, la composizione delle calotte polari e il monitoraggio della loro evoluzione con le stagioni, la misura su vari campioni di materiali granulari, minerali solidi, e CO₂ solida. Nel corso del prossimo triennio proseguirà presso l'IFSI-Roma (che ha la prima responsabilità di PFS e importanti partecipazioni sugli altri strumenti elencati) l'analisi dei dati che continuano ad essere raccolti. Altri dati saranno analizzati, provenienti dallo strumento SHARAD (PI: Uni RM1) a bordo di Mars Reconnaissance Orbiter (NASA), nel quadro dello studio della geologia planetaria mediante radar ad immagini e georadar orbitali. Per la missione ESA Exo-Mars, l'INAF partecipa al più alto livello di responsabilità con il compito di realizzare lo Spettrometro Ma-Miss ad immagini (IASF-Roma), con il microscopio MIMA (IFSI-Roma), un diffrattometro X (MarsX-RD, Uni. Pescara) Inoltre, l'INAF fornirà l'esperimento MEDUSA (OAC) 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 (Uni. Perugia). Altre varie collaborazioni a livello di Co-I porteranno utili partecipazioni scientifiche in preparazione dell'analisi dei dati.

- **Studio di Venere.**

Gli strumenti a bordo di Venus Express (PFS, VIRTIS, ASPERA) sono stati recentemente attivati in orbita intorno a Venere ed è già iniziata l'analisi dei dati con risultati già eccellenti. L'INAF ha fornito l' h/w di diversi strumenti, avendo la prima responsabilità di PFS (IFSI-Roma), di Virtis (IASF-Roma) ed un'importante partecipazione ad ASPERA-4 (IFSI-Roma). Tali studi riguarderanno sia l'atmosfera di Venere che l'ambiente rarefatto intorno al pianeta.

- **Studio di Mercurio e della Luna.**

Osservazioni da Terra: Un'importante e qualificata collaborazione tra diversi gruppi italiani (Osservatori di Padova, Capodimonte e Catania, IASF-Roma, IFSI-Roma,) porta avanti da tempo studi all'avanguardia nel campo del rilevamento delle sottili esosfere di Mercurio e della Luna per mezzo di osservazioni remote. In particolare, lo studio della presenza di sodio diffuso nell'esosfera di Mercurio mediante osservazioni compiute prevalentemente al TNG ad all'ESO si inserisce in un filone di ricerca di assoluto valore internazionale, e che costituisce la premessa ad imminenti studi *in situ* da compiersi nell'ambito della missione ESA BEPICOLOMBO, dedicata all'esplorazione di Mercurio.

Osservazioni in situ: La selezione di Bepi-Colombo, che è un 'cornerstone' interdisciplinare ESA il cui lancio è previsto per il 2013, ha fortemente coinvolto la comunità planetologica italiana per la realizzazione di molti strumenti. L' INAF è direttamente coinvolto nella realizzazione o partecipazione h/w in molti strumenti. In particolare: 1) lo strumento SIMBIO-SYS (PI: ASI) è una suite che raccoglie una camera ad alta risoluzione HRIC (Co-PI: OAC), una stereo camera STC (Co-PI: OAPd) ed una camera iperspettrale VIHI (Co-PI:

IASF-Roma); 2) lo strumento SERENA (PI: IFSI-Roma), un *package* che raccoglie quattro diversi sensori e si prefigge di analizzare gli atomi neutri e gli ioni presenti nella esosfera del pianeta; 3) lo strumento ISA (PI: IFSI-Roma) è un accelerometro per lo studio del campo gravitazionale di Mercurio; l'esperimento MORE (PI: Uni RM1) utilizza l'antenna di bordo e quelle a Terra per studi di *radio science*. La realizzazione dell' h/w di questi strumenti sarà a carico sia dell'Industria nazionale del settore spaziale, sia, nel caso di SERENA, dei laboratori di ricerca dell'IFSI-Roma ed in altri laboratori internazionali. Altre partecipazioni minori riguardano gli strumenti PHEBUS (OAPD e IFSI-Roma), MIXS (Uni. Perugia), SIXS (IFSI-Roma), e MMO-ELS (IFSI-Roma)

Per quanto riguarda la Luna, personale dello IASF-Roma è coinvolto con responsabilità di Co-I nella camera AMIE a bordo della missione ESA SMART-1 che ha recentemente terminato il suo viaggio impattando sulla superficie lunare il 3 Settembre 2006 nella regione di Lacus Excellentiae. Il progetto prevede per i prossimi anni la analisi scientifica dei dati della camera, con particolare attenzione alla distinzione tra i diversi tipi di rocce presenti ed alla creazione di immagini a colori a risoluzione superiore a quella della missione Clementine.

Inoltre la comunità nazionale sta avviando studi per partecipare ad una possibile missione lunare nazionale che prevede un satellite in orbita e forse anche un modulo di atterraggio.

- **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' Osservatorio di Torino 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 consiste nell'utilizzo di una camera per l'osservazione di fenomeni transienti nelle atmosfere e sulle superfici planetarie, il cui prototipo è stato costruito utilizzando fondi di un contratto ESA, e per la quale si studiano ora applicazioni nell'ambito di missioni 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.

I pianeti esterni

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

• Studio di Saturno e delle sue lune.

La missione Cassini, nella quale la comunità italiana è coinvolta con responsabilità di prim'ordine è stata realizzata in collaborazione tra NASA, ESA ed ASI, ed ha come scopo lo studio di Saturno e del suo sistema di satelliti ed anelli con particolare riguardo al satellite Titano. La missione è partita nell'Ottobre 1997 e, dopo un viaggio di sette anni, l'orbiter Cassini (realizzato dalla NASA) e la sonda Huygens (realizzata dall'ESA) hanno raggiunto il sistema di Saturno. Il progetto Cassini è arrivato quindi ormai alla sua fase cruciale: a partire dal Giugno 2004 con il fly-by di Phoebe sono iniziate le osservazioni del Sistema di Saturno, obiettivo scientifico primario della missione, ed il 1 Luglio 2004 è avvenuto l'inserimento in orbita attorno a Saturno (Saturn Orbit Insertion, SOI in quanto segue) e l'inizio del Tour orbitale. Lo studio di Saturno e dei suoi satelliti per mezzo dello spettrometro infrarosso VIMS (PI: IFSI-Roma e Teams c/o IASF-Roma e OAC) costituisce un'occasione di indagine e di ampliamento delle nostre conoscenze di questa regione remota del Sistema Solare. La risoluzione spettrale di questo strumento infatti permette di individuare la composizione mineralogica della superficie, mentre la capacità di produrre mappe bidimensionali consente di determinare la distribuzione spaziale dei composti mineralogici, permettendo così di risalire dalla composizione della superficie alla sua evoluzione geologica. Lo stesso approccio si può utilizzare nello studio delle atmosfere dove la combinazione tra la capacità spettrale e quella spaziale degli spettrometri ad immagine permette di ricostruirne la variazione spazio-temporale delle strutture e di studiarne le caratteristiche aeronomiche e meteorologiche.

I principali obiettivi scientifici di VIMS includono lo studio della superficie e dell'atmosfera di Titano, lo studio dell'atmosfera di Saturno e del suo sistema di anelli nonché lo studio della varietà di satelliti ghiacciati che costituiscono il sistema di Saturno. Inoltre sarà possibile sfruttare le numerose occultazioni del Sole e delle stelle da parte di questi oggetti per studiare anche le tenui nebbie stratosferiche di Saturno e Titano e la struttura degli anelli più deboli. La capacità di VIMS di acquisire in un ampio intervallo spettrale mappe bidimensionali in condizioni osservative molto diverse costituirà un'occasione straordinaria per arrivare ad una comprensione più approfondita della formazione e della evoluzione del Sistema Solare, in particolare per quello che riguarda la regione dei pianeti giganti.

VIMS sta fornendo e produrrà nei prossimi anni un flusso continuo di dati. Lo studio dei satelliti ghiacciati di Saturno ha prodotto risultati di notevole interesse; in particolare ha fornito con il flyby di Encelado di Agosto 2005 la prima straordinaria documentazione del fatto che questo satellite, pur essendo di dimensioni ridotte, è geologicamente attivo. Recentemente inoltre, il 26 e 27 Novembre 2005, la camera di bordo ha ripreso una straordinaria serie di immagini ad elevato angolo di fase che documentano la presenza di jet multipli e di una plume di materiale espulsa dal polo Sud di Encelado; in coincidenza di tale osservazione VIMS ha potuto registrare lo spettro nel visibile e nell'infrarosso della plume, che sembra indicare una composizione di piccoli cristalli di ghiaccio d'acqua. L'analisi di questi dati proseguirà nel prossimo triennio; di particolare interesse sarà il collegamento tra i dati forniti da VIMS e quelli dell'esperimento RADAR, che conta anch'esso un Team Member IASF-Roma, finalizzato ad ottenere delle informazioni dettagliate sulla superficie di Titano, nascosta allo strumento di imaging nel visibile dalla fitta atmosfera.

- **Ricerca sperimentale/ spaziale su Giove.**

Partecipazione a un "New-Frontier" della NASA che implica la costruzione e calibrazione di hardware spaziale (Esperimento JIRAM, Co-I: IFSI-Roma) per la missione Juno. Lo scopo della missione è lo studio dell'interno di Giove, osservazione delle Aurore; studio delle abbondanze molecolari nella atmosfera di Giove (progetto internazionale con collaborazioni che implicano scambio USA e collaborazioni scientifiche con partners statunitensi e di altri paesi europei).

- **Origine dei pianeti giganti.**

Si tratta dell'applicazione ai pianeti giganti dei modelli di formazione planetaria portati avanti all'IASF-Roma, 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.

I corpi minori

Gli oggetti tradizionalmente noti come corpi minori (meteoroidi, asteroidi, comete, oggetti trans-nettuniani) del Sistema Solare includono ora anche un certo numero di nano-pianeti, che includono sia un oggetto precedentemente definito come pianeta (Plutone) sia diversi oggetti precedentemente considerati come corpi minori (come l'asteroide Cerere, ed altri). Lo studio dei corpi minori costituisce da sempre uno dei filoni di ricerca in cui la comunità planetologica italiana è maggiormente impegnata, con risultati di assoluta eccellenza in ambito internazionale. Tutti i suoi aspetti sono analizzati: dalla teoria pura alle osservazioni da terra, dalle analisi ed esperimenti di laboratorio all'analisi dati di missioni spaziali. I programmi sono svolti con partecipazioni di diversi gruppi presso Istituti ed Osservatori.

- **Studio delle proprietà fisiche e dell'evoluzione collisionale degli asteroidi.**

Per questo argomento, si può parlare di una vera e propria "scuola italiana". I gruppi di Torino e Pisa sono stati pionieri negli studi teorici del fenomeno di evoluzione collisionale, il principale processo di evoluzione della popolazione asteroidale. Questi studi sono fortemente sinergici con osservazioni da terra e dallo spazio di diversi gruppi, tra cui quelli di OATO, OAPD, OAR, IASF-Roma. Di recente si è avuto anche lo sviluppo di campagne di osservazione mediante tecniche di imaging ad alta risoluzione al TNG e un coinvolgimento nella pianificazione delle future attività dell'LBT (gruppo di Torino). Lo studio fisico degli asteroidi *near-Earth*, è perseguito dai gruppi di OAPD e IASF-Roma, con un *data-base* di osservazioni, ottenute prevalentemente al TNG ed all'ESO, che costituisce una delle risorse più importanti in ambito internazionale. Il gruppo di Torino ha 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.

I diversi gruppi italiani sono poi fortemente coinvolti in attività di supporto alle missioni spaziali con obiettivi asteroidali, quali ROSETTA (due *fly-bies* con asteroidi) e DAWN, e nell'elaborazione di concetti di missioni dedicate agli oggetti *near-Earth*. Per quanto riguarda DAWN, una collaborazione tra la NASA e diversi Istituti europei tra cui l'IASF-Roma e l'IFSI-Roma per lo studio *in situ* di Cerere e Vesta, il gruppo italiano ha la

responsabilità dello spettrografo VIR-MS (PI: IFSI-Roma). Il gruppo di OATO ha incarichi di responsabilità nell'ambito della missione GAIA, *cornerstone* dell'ESA che verrà lanciata nel 2011 (management delle attività di riduzione dati per i corpi del Sistema Solare, e sviluppo di algoritmi di analisi e interpretazione dei dati asteroidali). Un coinvolgimento in GAIA esiste anche per il gruppo dell'Osservatorio di Roma.

- **Studi dinamici di asteroidi e comete.**

L'Italia ospita alcuni dei gruppi più attivi a livello internazionale in questo campo. Le attività 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 sciami 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 fisici degli asteroidi, la comunità planetologica italiana è da tempo protagonista nello studio fisico delle comete (gruppi dello IASF-Roma e degli osservatori di Arcetri e Padova) e degli oggetti trans-nettuniani (Osservatori di Roma e Padova). Gli studi comprendono sia l'elaborazione di modelli teorici, sia l'esecuzione di campagne di osservazione da Terra, prevalentemente al TNG. In prospettiva, queste attività saranno di primaria importanza nell'ambito dell'interpretazione dei dati della missione ESA Rosetta, che visiterà la cometa Churyumov-Gerasimenko, in cui l'IFSI-Roma e l'IASF-Roma hanno responsabilità di primordine. Specificamente, l'IFSI-Roma è responsabile dello spettrografo per il visuale e vicino infrarosso VIRTIS. Nel campo dello studio degli oggetti trans-nettuniani, che presenta forti legami con gli studi delle comete, i gruppi di OAPD e OAR sono fortemente attivi nel campo delle osservazioni spettroscopiche, eseguite nell'ambito di collaborazioni internazionali sia all'ESO che al TNG.

- **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).

Polveri e mezzo interplanetario

Lo studio delle polveri e del mezzo interplanetario riguarda la comprensione dell'origine e delle proprietà fisiche delle polveri del Sistema Solare ed i fenomeni fisici che avvengono in seguito all'esposizione all'irraggiamento solare, e riguarda anche gli studi di Astrobiologia.

- **Studio di particelle di polvere in ambienti astrofisici.**

Si riassumono qui le diverse attività sperimentali portate avanti dall'Università di Lecce e dagli Osservatori di Capodimonte e Catania, 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 OAC che è responsabile dell'esperimento MEDUSA per la missione Exo-MARS, e Rosetta per quanto riguarda le comete, per la quale il gruppo di OAC è responsabile dell'esperimento GIADA, per lo studio delle proprietà fisiche, dinamiche e di abbondanza delle polveri emesse dal nucleo cometario. Il gruppo di Lecce è coinvolto in una lista di esperimenti a bordo di missioni spaziali, tra cui PFS/MEx, Virtis/Rosetta, OMEGA/MEx, PFS/VEx, Virtis/VEx, MaMiss/ExoMars e MIMA/ExoMars.

- **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'Osservatorio di Catania in collaborazione con altri gruppi italiani (Uni. Lecce, OAC, IASF-Roma). 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.

ASTROBIOLOGIA

Da alcuni anni vengono attivamente perseguiti in Italia studi di fenomeni di formazione di molecole organiche complesse, di possibili forme di vita elementare nello spazio interstellare, di ambienti astrofisici favorevoli allo sviluppo di forme di vita complesse, includendo la scoperta di pianeti extrasolari di tipo terrestre. Per quanto riguarda il prossimo triennio, si possono citare i seguenti progetti:

- **Studio della fotofisica di macromolecole organiche.**

Attività prevalentemente teorica ed interpretativa portata avanti dal gruppo INAF di Cagliari. Il progetto è mirato all'interpretazione di osservazioni astronomiche nell'IR termico dallo spazio tramite i satelliti ISO e Spitzer. Prossimamente si prevedono applicazioni ai dati della missione HERSCHEL.

- **Diffusione della vita batterica.**

Il gruppo dell'Università di Padova si occupa di simulazioni dei processi di diffusione della vita nello spazio interplanetario tramite esperienze di laboratorio mirate allo studio della sopravvivenza di batteri in diversi ambienti di interesse planetologico. Inoltre, vengono

condotte anche ricerche sulle cause astronomiche dei fenomeni di estinzione in massa (impatti, esplosioni di SN vicine) in collaborazione con paleontologi, biologi e astronomi.

- **Studio degli effetti dei processi di radiazione X.**

Il gruppo INAF di Palermo è impegnato in una ricerca dell'effetto che la radiazione X ed UV tipicamente emessa da una stella giovane di tipo solare può avere da un lato sulla formazione di molecole organiche importanti per la vita nei dischi protoplanetari di polvere, e dall'altro lato sul riscaldamento delle atmosfere planetarie, e sulla loro evoluzione chimico-fisica. Questa ricerca si avvale di osservazioni radio e di dati da missioni spaziali, tra le quali XMM, CHANDRA, FUSE, e Spitzer.

SCOPERTA E MODELLIZZAZIONE DI SISTEMI PLANETARI EXTRA-SOLARI

Questo argomento, di frontiera tra diverse macroaree INAF, è trattato nell'ambito della macro-area 2.

CONCLUSIONI: PROGETTI, PRIORITÀ E CRITICITÀ

Il quadro generale che emerge dall'esposizione dettagliata mostrata nei capitoli precedenti è quello di una comunità estremamente volitiva e competitiva, capace di proporsi a livelli di eccellenza praticamente in tutti i campi della Macro Area 3 Sole e Sistema Solare. Volendo dare una scala di priorità che possa guidare l'INAF nell'assegnazione di risorse umane e finanziarie per il prossimo triennio, si devono sottolineare i seguenti argomenti:

- Gli studi teorici e di analisi e simulazione dei dati che si svolgono in progetti scientifici, a monte e più o meno esplicitamente *a latere* delle realizzazioni di strumentazione tecnologica, devono essere sostenuti sia in termini finanziari che di personale addetto. Questi studi infatti danno sostanza ai progetti sperimentali intrapresi, impedendo che le finalità soprattutto tecnologiche di enti esterni all'INAF (ASI *in primis*), che sono spesso le sorgenti preponderanti di finanziamento, possano prevalere in modo eccessivo e fornire un'eccessiva connotazione in termini di pura attività tecnologica, a detrimento del più profondo significato scientifico di tali progetti. Le attività teoriche e di modellizzazione fisica sono quindi fondamentali per promuovere ed indirizzare gli sviluppi tecnologici al loro contesto scientifico di riferimento. Si citino ad esempio quelli rivolti:

- alla caratterizzazione dei corpi minori,
- alle polveri ed alle proprietà superficiali,
- all'evoluzione dei pianeti,
- agli ambienti planetari di Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno,
- alla magneto-convezione solare
- ai processi connessi al riscaldamento coronale ed alla accelerazione del vento solare

in cui la teoria si affianca all'analisi di dati da terra e dallo spazio, comprendendo, ove possibile, dati già raccolti dalle missioni *in situ* realizzate o in corso (quali: SOHO, CLUSTER, ROSETTA, TRACE, CASSINI, MARS-EXPRESS, VENUS-EXPRESS, SOLAR-B (Hinode), STEREO, DAWN).

Questi, come tutti gli altri studi citati nei paragrafi precedenti, pongono solide basi alla credibilità della partecipazione dell'INAF ai futuri progetti internazionali. In questo ambito, particolare attenzione va data alle delicate fasi di passaggio tra un progetto ed il successivo, in cui spesso i gruppi di ricerca sono abbandonati a se stessi, costretti a veri e propri salti mortali in termini finanziari per evitare che le preziose competenze acquisite nel corso dei progetti siano irrimediabilmente perdute.

- Il piano triennale, nell'ambito della MA3, dovrebbe includere anche i seguenti progetti in via di sviluppo (tra parentesi sono indicate le Strutture coinvolte) per i quali occorre un particolare sostegno, agevolando al massimo gli iter di finanziamento e favorendo la disponibilità di facilities adeguate. Tali progetti rientrano tutti nel quadro di priorità espresso nel Piano a lungo termine:

a) *Top priority projects*: **GAIA** (OATO e OAR); **ROSETTA** (IASF-Roma e IFSI-Roma); **BEPICOLOMBO** (IFSI-Roma, IASF-Roma, OAC, OAPD, Uni. RM1, Uni. Pisa, Uni. PG; Uni. Pescara; SVIRCO/IFSI-Roma); **EXO-MARS** (IASF-Roma, IFSI-Roma, Uni. Pescara, OAC, Uni. PG).

I dati raccolti, pur se non completi, indicano che in questi progetti operano: Ricercatori: ~38%; Ricercatori TD: ~8%; Ricercatori Ass INAF: ~22%; Borsisti, assegnisti, dottorandi: ~22%; Tecnici: ~5%; Tecnici TD: ~3%; Tecnici Altro: ~2%.

I contratti disponibili provengono da ASI (5), INAF (3), ALTRO (3).

b) *Very Important Projects*: **LARGE GROUND BASED SOLAR TELESCOPE** (OACT, IFSI-Roma, OAFI, OAR e gruppi universitari di AQ, CT, FI, RM-TOV, UNICAL), **CASSINI** (IFSI-Roma, IASF-Roma), **MARS-EXPRESS** (IFSI-Roma, Uni. RM1), **VENUS-EXPRESS** (IASF-Roma, IFSI-Roma), **JOVIAN SYSTEM** (IFSI-Roma, IASF-Roma), **NEO** (IASF-Roma, OAPD, OATO), **SOLAR ORBITER** (OACT, IFSI-Roma, OAFI, OAC, OATO, gruppi universitari di AQ, CT, FI, PD, PG, RM-TOV, UNICAL e gruppo INFN ToV), **ILWS** (OACT, IFSI-Roma, OAFI, OAC, OAR, OATO, OATS e gruppi universitari di AQ, CT, FI, NA, RM-TOV, UNICAL, PD, PV)

I dati raccolti, pur se non completi, indicano che in questi progetti operano: Ricercatori: ~28%; Ricercatori TD: ~8%; Ricercatori Ass INAF: ~25%; Borsisti, assegnisti, dottorandi: ~27%; Tecnici: ~5%; Tecnici TD: ~4%; Tecnici altro: 2%.

I contratti disponibili provengono da ASI (13), INAF (1), MIUR(2), ALTRO (6).

c) *Other Projects*: **ITALIAN NETWORK OF SOLAR TELESCOPES AND COSMIC RAY OBSERVATORY** (OACT, SVIRCO/IFSI-Roma, OAC, OAR, OATS) e gruppi universitari di CT, RM3 e AQ), **DAWN** (IFSI-Roma, OAT, OAR), **MOON EXPLORATION** (IASF-Roma, IFSI-Roma, OAPD, OATS, OAC, e gruppi universitari di RM-TOV e UNICAL).

I dati raccolti, pur se non completi, indicano che in questi progetti operano: Ricercatori: ~19%; Ricercatori TD ~59%; Borsisti, assegnisti, dottorandi: ~13%; Tecnici: 5%; Tecnici TD: 3%;

I contratti disponibili provengono da ASI (4), ALTRO (1)

- Si noti infine che, al di là degli obiettivi evidenziati nel Piano a Lungo Termine, esistono comunque anche altre attività importanti ad esso non immediatamente riferibili, ma che meritano comunque un sostegno. Esempi in tal senso sono costituiti dai progetti di geodesia spaziale e degli *space debris*.

Criticità e considerazioni finali.

Dai dati emerge in modo preoccupante come l'INAF si sia trovato finora in difficoltà nell'assicurare un sostegno completamente soddisfacente ai programmi citati in questa sezione. Per quelli legati al settore spaziale, anche per la natura particolare di molti di questi progetti, il maggior peso finanziario è sostenuto dall'ASI, con la conseguenza che i progetti scientifici non esplicitamente connessi con le realizzazioni strumentali sono spesso abbandonati a sé stessi. Nel caso dei più importanti progetti di Fisica Solare da Terra i finanziamenti, sia tecnologici che relativi alla modellistica, sono arrivati quasi esclusivamente dal MiUR e CNR. Pertanto, paradossalmente, il mancato sostegno finanziario interno fa sì che il personale INAF sia 'eterogovernato', dovendo in sostanza ottemperare ai dettami dei contratti esterni, senza la libertà di poterne accentuare gli aspetti scientifici legati ai fini istituzionali dell'INAF.

Per quanto riguarda il personale, genericamente il rapporto precari/ricercatori è vicino ad 1. Si deve inoltre osservare che i ricercatori di ruolo sono impegnati su più progetti a tempo parziale, e che quindi la loro incidenza percentuale è sovrastimata rispetto alle persone fisiche impiegate. Inoltre, il numero di tecnici è assai esiguo. In questa situazione, nella quale va anche considerato che l'età media dei ricercatori a tempo indeterminato è molto elevata (oltre 50 anni), appare dubbio che nei prossimi anni si possa continuare a sostenere l'urto della competizione internazionale. Un'immediata inversione di tendenza è ormai improcrastinabile; pertanto, confidando in una massiccia fase di turn-over e ricorrendo se necessario a risorse aggiuntive, si auspica che un riequilibrio della situazione possa ultimarsi nel prossimo triennio.

MACRO-AREA 4 : "ASTROFISICA RELATIVISTICA"**(P. Grandi, L. Maraschi (coordinatore), L. Piro, L. Stella, E. Trussoni)****INTRODUZIONE**

Le attività di ricerca che confluiscono oggi nella macroarea di Astrofisica relativistica e particellare (MA4) hanno origine dall'osservazione dell'universo in bande diverse da quella ottica, in particolare in quelle radio, X e gamma. Storicamente la comunità dei fisici e astronomi italiani è stata tra le prime a dotarsi o a partecipare alla realizzazione e utilizzo di strumentazione al di fuori della banda ottica: il radiotelescopio di Medicina ha inserito l'astronomia italiana nel contesto internazionale. Nel 1980 l'Istituto di Radioastronomia fu tra i cinque fondatori del Network VLBI Europeo (EVN). Ne sono scaturite risultati e idee di fondamentale importanza per la comprensione di fenomeni quali pulsar e quasar.

Un grande impulso alla crescita della comunità è stato impresso dal successo, riconosciuto a livello mondiale, del satellite BeppoSAX che ha coagulato gli interessi attorno ad alcuni temi specifici, in particolare i Gamma-Ray Bursts e gli spettri estesi fino agli X duri dei nuclei galattici attivi con un impatto essenziale sulla problematica del fondo X.

Forte di tale esperienza la comunità italiana delle alte energie si è proposta come gruppo trainante nella definizione del caso scientifico di SIMBOL-X, un osservatorio italo-francese (in fase A congiunta ASI-CNES dal 2007). È inoltre parte attiva nella definizione di tre missioni, EXTREMO (con leadership italiana), XEUS e GRI che saranno proposte all'ESA in risposta alla call "*Cosmic Vision 2015-2025*", mentre un'altra possibile missione, POLAR-X, è in via di definizione.

Attualmente la maggior parte dei dati proviene sia dai maggiori osservatori internazionali X (Chandra ed XMM-Newton), ottici (VLT - HST) e radio (EVN, VLBA, Parkes), sia da due progetti con una forte partecipazione italiana, INTEGRAL e SWIFT, rispettivamente al quarto e terzo anno dal lancio. Il primo sta dando risultati innovativi sull'emissione negli X duri di oggetti compatti galattici ed extragalattici, mentre il secondo sta aprendo una nuova era nello studio e nella comprensione dei Gamma Ray Bursts.

Si segnala per il suo eccezionale valore la recente scoperta, mediante una survey radio disegnata ad hoc, di un sistema binario di due stelle di neutroni, ambedue nella fase di pulsar, che costituisce il miglior laboratorio finora conosciuto per lo studio di effetti di relatività generale nel sistema. Per la scoperta di un sistema binario con una pulsar e una stella di neutroni a Hulse e Taylor fu assegnato il Nobel.

Nella MA4 sono presenti linee di ricerca molto diversificate poiché si intersecano interessi teorici legati ai fenomeni relativistici presenti o aspettati in molti contesti astrofisici e interessi strumentali/osservativi rivolti alla realizzazione di nuove finestre

osservative. Citiamo a questo proposito gli straordinari risultati in campo sia galattico che extragalattico recentemente ottenuti mediante osservazioni alle energie del TeV con i telescopi Cherenkov di nuova generazione. Inoltre con l'inizio dei run scientifici di LIGO e Virgo, i segnali di onde gravitazionali potranno nel prossimo futuro venire a far parte del novero delle osservazioni astrofisiche.

Il 17,5% dei ricercatori INAF afferisce a questa macroarea. La produttività scientifica è stata tra le più alte all'interno di INAF: 684 lavori pari a 2,3 /ric/anno e 9833 citazioni pari a 14,4/articolo nel triennio 2003-2005. Attualmente, a causa della difficile situazione finanziaria di INAF e della contemporanea crisi nell'afflusso dei fondi scientifici di ASI, l'attività è fortemente limitata dalla mancanza di fondi di ricerca e di posizioni (a tutti i livelli) che consentano di programmare il futuro per mantenere e possibilmente incrementare il prestigio raggiunto.

PUNTI DI FORZA E COMPETITIVITÀ

Pulsar Radio, Stelle di Neutroni e Nane Bianche.

Negli ultimi anni il progresso in questo settore è stato estremamente rapido ed ha portato, anche per merito di importanti contributi della comunità italiana, a sviluppi inattesi. Sono stati scoperti diversi nuovi sistemi binari contenenti una pulsar radio e una nana bianca, che hanno una chiara valenza per la verifica sperimentale delle teorie della gravitazione.

La doppia pulsar PSR J0737-3093A/B, sia grazie al suo potenziale per nuove verifiche di relatività generale, che per lo studio delle magnetosfere delle pulsar radio rappresenta certamente la punta di diamante di questo filone di ricerca. La ricerca sistematica di pulsar in binarie con due stelle di neutroni riveste grande importanza anche per la stima della frequenza con cui questi sistemi arrivano a coalescenza, dando luogo a onde gravitazionali di frequenza alta e crescente che interferometri quali LIGO e Virgo potrebbero rivelare. Inoltre un'intera classe di modelli attribuisce a questi stessi eventi la produzione dei GRB brevi.

Tra i sistemi binari costituiti da una nana bianca e da una stella leggera che trasferisce materia (Variabili Cataclismiche), particolare interesse riveste lo studio delle AM CVn, le variabili cataclismiche di più breve periodo orbitale, formate da due nane bianche, sia per il possibile legame con le supernovae di Tipo Ia, sia per l'emissione di onde gravitazionali di bassa frequenza che l'interferometro spaziale LISA sarà in grado di rivelare. Di fatto le AM CVn di periodo orbitale più breve e più vicine costituiranno le sorgenti di calibrazione primarie per LISA. E' da notare la recente identificazione di un gran numero di cataclismiche dalle survey con INTEGRAL e SWIFT che potrebbero avere importanti conseguenze sugli studi delle popolazioni galattiche di sorgenti di raggi X duri.

La misura di parametri fondamentali delle stelle di neutroni attraverso le pulsar radio ha portato alla scoperta delle prime stelle di neutroni con massa significativamente diversa dalle canoniche 1.4 masse solari, mentre i più rapidi periodi di rotazione finora trovati (millisecondo) rimangono ancora sensibilmente al di sotto del periodo di "break-up". Osservazioni di pulsar radio negli ammassi globulari, assieme a modelli e simulazioni della dinamica stellare, stanno aprendo una nuova prospettiva per la comprensione di questi sistemi e delle loro popolazioni di oggetti compatti (inclusi, possibilmente, buchi neri di decine o centinaia di masse solari).

Dalle osservazioni nelle bande X, gamma e IR è derivato gran parte del progresso nello studio dei Soft Gamma Repeaters (SGRs) e Anomalous X-ray Pulsars (AXPs), stelle di neutroni isolate le cui caratteristiche eccezionali sono probabilmente dovute al campo magnetico elevatissimo. Queste "magnetars" sono i primi casi di corpi celesti che derivano la propria luminosità dal campo magnetico, un regime interamente nuovo. Nell'eccezionale evento del 27 Dicembre 2004 osservato con SWIFT, un SGR ha emesso oltre 10^{46} ergs in una frazione di secondo. Le implicazioni riguardano in particolare l'intensità del campo magnetico e la possibilità di un legame con un sottoinsieme di GRB brevi in galassie locali.

Nel campo delle pulsar radio giovani, grazie alle immagini X ad alta risoluzione ottenute da Chandra, ha avuto grande impulso lo studio delle cosiddette Pulsar Wind Nebulae (PWNe o "plerioni"), le regioni estese in prossimità della stella di neutroni la cui emissione deriva dal vento di particelle relativistico emesso da queste, e della loro interazione con il mezzo circostante (dominato dalla materia espulsa nell'esplosione di supernova). Le implicazioni riguardano anche la produzione di fotoni di altissima energia (fino al TeV). Infine, lo studio delle stelle di neutroni giovani e isolate ha fornito negli ultimi anni nuove importanti informazioni sulle proprietà delle loro atmosfere e, più in generale, sull'associazione con resti di supernova a shell.

Stelle di Neutroni in Sistemi Binari e Fisica dell'Accrescimento

Vi è ormai forte evidenza che molte stelle di neutroni in accrescimento, in special modo se rapidamente rotanti, emettono dei jet di materia a una frazione significativa delle velocità della luce. Non è ancora chiaro se la componente di raggi X duri di queste sorgenti si origini direttamente dal jet.

Le stelle di neutroni in accrescimento in sistemi binari di piccola massa posseggono diversi tipi di variabilità veloce e quasi-periodica con frequenze fino a circa 1.4 kHz. Se le frequenze di tali segnali sono connesse alle frequenze fondamentali del moto della materia nelle regioni più interne di un disco di accrescimento (come previsto da diversi modelli), il loro studio rappresenta uno nuovo e potente strumento per indagare le proprietà dello spazio-tempo in campo forte.

In questi due settori di ricerca le analogie con i buchi neri in binarie X e, seppure in misura minore nei nuclei galattici attivi, sono diverse e potenzialmente molto importanti, in particolare se forniranno nel prossimo futuro dei mezzi diagnostici applicabili a differenti classi di oggetti e/o condizioni fisiche.

Le pulsar in accrescimento con periodi di rotazione di pochi millisecondi forniscono inoltre l'opportunità di testare la fisica dell'accrescimento con magnetosfera in un regime che non ha precedenti e di verificare le previsioni dei modelli evolutivi che legano questi sistemi alle pulsar radio binarie con periodi di pochi millisecondi.

Di notevole interesse è lo studio dei differenti meccanismi operanti nelle stelle di neutroni magnetiche e ruotanti al variare del flusso di materia verso di esse: dal regime di pulsar al regime "propeller" in cui l'accrescimento è inibito in corrispondenza della magnetosfera, al regime in cui l'accrescimento raggiunge la superficie dell'oggetto compatto. Osservazioni di pulsar X transienti in particolare hanno avuto una particolare rilevanza in questo settore.

Una nuova classe di sorgenti transienti di alta energia, i cosiddetti Supergiant Fast X-ray Transients, è stata recentemente individuata; il meccanismo che determina l'attività di queste sorgenti non è ancora compreso. Ugualmente la natura delle sorgenti ultra-assorbite rivelate da INTEGRAL nel piano della Galassia rimane da chiarire.

Buchi neri in accrescimento in sistemi binari.

Anche in questo settore gli studi spettrali e di variabilità multifrequenza attivamente perseguiti dalla nostra comunità hanno svolto un ruolo primario. Sono ormai considerati "microquasar", cioè buchi neri dotati di jets che per molti versi costituiscono l'equivalente su scala stellare dei quasars, la quasi totalità dei buchi neri attualmente noti nella Galassia. La maggior parte di questi sistemi sono transienti. Le osservazioni multibanda dei cicli di attività ("outbursts") hanno messo in evidenza delle nuove correlazioni, in particolare tra flusso radio, flusso X, durezza dello spettro e variabilità rapida nella banda dei raggi X. Queste correlazioni sono oggetto di grande interesse dal punto di vista dei modelli. Vi è inoltre forte evidenza che le transizioni tra stati differenti dei buchi neri, oltre che dal tasso di accrescimento, dipendano da un secondo parametro, tuttora ignoto.

La variabilità rapida nel flusso di raggi X nella forma di oscillazioni quasi-periodiche presenta importanti analogie con quella delle stelle di neutroni, ma anche diversità importanti. Anche in questo caso il loro studio può rappresentare un importante diagnostico della gravitazione in regime di campo forte e consentire di ricavare i due parametri fondamentali quali la massa del buco nero e il suo spin.

Particolare progresso si è avuto anche nella modellizzazione dell'emissione da disco e da jet e nell'applicazione di questi modelli alla distribuzione spettrale osservata dai raggi X soffici ai raggi gamma.

Le cosiddette sorgenti X ultraluminose (ULXs) in galassie vicine costituiscono un ulteriore tema di grande interesse. Le ULXs sono sorgenti che superano di 1-3 ordini di grandezza la massima luminosità di Eddington per oggetti di 1 massa solare. Uno dei modelli più accreditati per queste sorgenti è basato sull'accrescimento di materia in un buco nero di circa 100-1000 masse solari. La possibilità di rivelare per la prima volta buchi neri di massa intermedia attraverso lo studio delle ULXs, in particolare delle loro controparti ottiche, riveste pertanto un grande interesse.

Gamma Ray Bursts

La comunità italiana ha conseguito una posizione di leadership nel campo dei Gamma-Ray Bursts a partire da BeppoSAX, seguito dalla partecipazione a HETE2 e soprattutto a SWIFT, grazie all'approccio fruttuoso che ha collegato la realizzazione di strumentazione dedicata, la gestione delle missioni, l'analisi scientifica dei dati e l'interpretazione teorica.

Negli ultimi anni lo studio dei GRB ha visto una straordinaria espansione, allargando la sua influenza ad alcuni dei temi più rilevanti dell'astrofisica, della cosmologia e della fisica fondamentale. In particolare, l'evoluzione stellare e lo studio degli ultimi stadi evolutivi delle stelle, la formazione e l'estrazione di energia da oggetti collassati (buchi neri, stelle di neutroni), la produzione di onde gravitazionali, l'esplosione e il conseguente arricchimento di metalli nel mezzo interstellare, l'accelerazione di particelle ad altissime energie, produzione di neutrini, quantum gravity, la storia della formazione stellare e dei metalli con l'epoca cosmica, l'esplorazione dell'Universo oscuro ad alto redshift e la formazione dei primi oggetti luminosi, la formazione delle strutture a larga scala in accrescimento su dark matter (Warm / Hot Intragalactic Medium), la dark energy.

Lo stadio di sviluppo di queste tematiche è ampio, variando da linee di ricerca già ben consolidate a prospettive future, ma è evidente come il campo offra enormi potenzialità in diversi settori. Di notevole rilievo è stato lo studio delle correlazioni tra proprietà spettrali e luminosità dei GRB al fine di comprenderne la fisica e discuterne le ricadute cosmologiche.

Nuclei Galattici Attivi (radio quieti)

I Nuclei Galattici Attivi (AGN) consistono di almeno tre regioni fisicamente distinte, ma fortemente interagenti tra loro: un buco nero di grande massa

(probabilmente dotato di spin), un disco di accrescimento che ionizza una serie di nubi di gas a diverse distanze dal buco nero e una regione circostante di gas e polvere. Le proprietà osservate sono perciò diverse a seconda che il toro di assorbimento si frapponga o no tra il nucleo e l'osservatore (modello unificato). Questa descrizione è ancora qualitativa. La comprensione dei processi fisici che governano gli AGN richiede da un lato osservazioni in più bande di energia e, come nel caso di oggetti compatti galattici, un monitoraggio temporale, dall'altro una intensa elaborazione teorica che coinvolge anche simulazioni semianalitiche e numeriche. L'emissione X degli AGN, che pur rappresenta una frazione cospicua della luminosità totale, è un problema ancora aperto e largamente studiato dalla comunità italiana. È stato proposto che, nelle zone più interne, sopra il disco otticamente spesso, si formi una corona di elettroni caldi che comptonizza la radiazione del disco. Questo modello può rappresentare una descrizione "media" dell'attività ma richiede un ripensamento alla luce della complessa fenomenologia recentemente osservata negli spettri X.

Lo studio degli AGN a frequenze X e Gamma permette di sondare il moto della materia (gas in accrescimento) nelle immediate vicinanze del buco nero dove gli effetti di relatività generale non sono più trascurabili. Ad esempio, lo studio del profilo della riga di fluorescenza del ferro a 6.4 keV e della sua variabilità ha permesso stime dell'ultima orbita stabile del disco di accrescimento (pochi raggi gravitazionali), stime dello spin del buco nero e la caratterizzazione della geometria (compatta/estesa) della sorgente X primaria. Studi recenti di variabilità della riga del ferro utilizzano nuove tecniche, che accoppiano lo studio temporale e spettrale, sviluppate anche da afferenti a questa macroarea.

Osservazioni recenti hanno rivelato la presenza di altre righe di emissione negli spettri X di AGN radio quieti che sono state attribuite a venti di materiale ionizzato di bassa (warm absorber) ed alta densità (massive outflow) con velocità comprese tra i 100 e i 50,000 km/sec. In qualche caso è stata segnalata la presenza di righe di assorbimento a frequenze spostate verso il rosso, che suggeriscono moti di ricaduta del materiale sul buco nero stesso. Tali fenomeni forniscono un nuovo strumento per investigare la cinematica e la dinamica del gas spinto lontano dal disco o ricatturato dalla forte gravità del buco nero.

Uno dei problemi tuttora insoluti è la natura dell'emissione X sotto il keV, generalmente in eccesso rispetto ad una estrapolazione della legge di potenza osservata tra 2 e 10 keV. L'interpretazione, secondo cui l'eccesso soft è generato dalle regioni otticamente spesse più interne del disco di accrescimento, è stata recentemente contestata poiché la temperatura derivata risulta essere costante in una larga classe di AGN indipendentemente dalla loro massa e dalla luminosità. Un modello alternativo propone che l'eccesso soffice sia prodotto da righe in emissione generate per riflessione dal disco di accrescimento. Poiché le righe sono allargate a causa della rotazione del disco, lo spettro sotto 1 keV appare "liscio".

Un aspetto fortemente dibattuto negli ultimi anni è la natura del terzo sistema (l'assorbitore) che per semplicità è stato sempre descritto come una struttura toroidale, situata a distanza del parsec. La densità di colonna del materiale che si frappone tra il sistema buco nero-disco e l'osservatore copre un ampio intervallo da valori, da 10^{21} a 10^{25} cm^{-2} . Studi mirati di Seyfert 2 con XMM-Newton hanno evidenziato che il gas non è probabilmente organizzato in un'unica struttura, ma in più regioni circumnucleari. In particolare, i tori spessi sono situati in regioni più interne, mentre il materiale meno denso a più grandi distanze. Questa problematica è di grande interesse anche per le sue implicazioni sui modelli di sintesi del fondo X.

Nuclei Galattici Attivi e emissione radio

La "dicotomia", cioè la separazione netta degli AGN in due grandi categorie radio emittenti e radio quieti, è stata recentemente messa in dubbio dai risultati della survey radio First. Il rapporto tra il flusso radio e quello ottico non segue una distribuzione bimodale, ma continua. Osservazioni radio profonde di nuclei di Seyfert hanno evidenziato strutture compatte e getti in nuclei di sorgenti considerate da sempre radio quiete. Il fenomeno che produce l'emissione radio avviene probabilmente con potenze diverse in tutti gli AGN. Tuttavia è chiaro che solo in una piccola frazione di AGN vengono generati getti di grande potenza che danno luogo a emissione radio di grande luminosità. È anche ormai accettato che i getti potenti sono relativistici e che si propagano a distanze anche molto grandi dal nucleo. La generazione di questi getti è uno dei problemi fondamentali ancora aperti in astrofisica a cui si rivolgono indagini importanti nell'ambito di questa macroarea. Le condizioni fisiche nei getti sono state derivate dalle distribuzioni spettrali di energia e dalla loro variabilità deducendo relazioni sistematiche dei parametri fisici con la potenza del getto.

Non è chiaro quale sia la relazione tra il getto e il disco di accrescimento. Ad esempio, in 3C273, il primo quasar e il primo "getto" scoperto, coesistono. Utilizzando dati di BeppoSAX, è stato possibile separare la componente termica dell'emissione X (da disco) da quella non-termica (getto) e quindi confermare la presenza di gas in accrescimento anche in regioni interne del disco vicine all'origine del getto. Più in generale si hanno indicazioni che getti molto potenti sono associati a dischi altrettanto potenti, ma non è vero il viceversa.

Si pensa dunque che getti e dischi siano due entità fisiche associate e che la varietà di potenze (cinetiche) dei getti osservati sia determinata da una diversa combinazione di alcuni parametri fisici fondamentali, quali la massa del buco nero, il suo spin e il tasso di accrescimento del gas sul buco nero. Recentemente è stata messa in evidenza una relazione tra l'emissione radio e il profilo di massa attorno al nucleo, un elemento di grande interesse che testimonia il legame tra lo stato dell'AGN e la storia dinamica della regione nucleare delle galassie.

Più in generale, la problematica attuale sull'emissione radio associata ad AGN riguarda la natura di sorgenti compatte ma con spettro ripido che si presume possano essere "giovani" e la verifica del modello unificato che lega gli oggetti di tipo BL Lac alla popolazione di radiosorgenti di bassa potenza radio del tipo FRI. Immagini ad alta risoluzione mediante VLBI permettono misure dirette delle velocità delle componenti radio in prossimità del nucleo con implicazioni importanti sull'accelerazione o decelerazione dei plasmoidi nei getti.

La problematica fisica della formazione dei Buchi Neri Supermassivi, necessariamente legata a quella dei bulge delle galassie, e della evoluzione "cosmologica" dei tassi di accrescimento, nonché la connessione con gli episodi di starburst è una delle più importanti nella ricerca attuale. Si stanno ottenendo risultati significativi attraverso modelli semianalitici accoppiati con simulazioni numeriche sulla formazione e alimentazione di AGN attraverso merging successivi e la formazione di dischi di gas attorno ai buchi neri che tendono a coalescere. Il feed-back sulla galassia ospite da venti di AGN vicini alla luminosità di Eddington e l'effetto di heating del mezzo intra-cluster da parte dei getti di radio sorgenti sono argomenti di punta studiati sia dal punto di vista teorico che da quello osservativo. Una linea importante è quella di determinare le masse di AGN con metodi diretti.

Accelerazione di particelle e dinamica del plasma

L'accelerazione di particelle e la dinamica del plasma sono tra i più rilevanti processi fisici pertinenti non solo la Macroarea 4 ma anche molti altri contesti astrofisici (getti stellari, dischi protoplanetari, ISM, vento solare e flare stellari).

La messa a punto di tecniche analitiche e strumenti di calcolo molto avanzati ha permesso notevoli sviluppi nello studio di tali meccanismi mediante simulazioni numeriche sempre più complesse e dettagliate. Una classe di codici viene utilizzata per simulazioni idrodinamiche e MHD dei vari processi di inflow/outflow in vari regimi tenendo conto di effetti relativistici e radiativi, di geometrie 3-D, ecc. Un'altra serie di algoritmi permette invece di studiare i meccanismi di accelerazione di particelle a livello microscopico in diverse condizioni fisiche (e.g. onde d'urto e/o turbolenza MHD). La comunità italiana ha raggiunto un grado di vera eccellenza in questi campi, come testimoniato dai risultati e dalle collaborazioni con Istituti esteri importanti in questi settori. Per quanto riguarda i SNR si studiano effetti evidenti a energie X, quali la distribuzione spaziale dei frammenti dell'esplosione, la composizione chimica del mezzo che ha interagito con il residuo, l'effetto dell'onda d'urto sulla struttura ed evoluzione delle nuvole molecolari, l'interazione del vento relativistico della pulsar con l'ambiente. In particolare i venti da pulsar condizionano in modo sostanziale l'intera struttura del plerione. L'interpretazione di tali fenomeni richiede lo studio della propagazione di onde d'urto con simulazioni numeriche che includano i vari processi fisici sopra indicati. Su scala microscopica sono importanti i risultati ottenuti sui meccanismi di accelerazione di particelle relativistiche (onde d'urto e turbolenze MHD) sulla struttura X dei plerioni.

Lo studio dell'accelerazione di particelle relativistiche in SNR è collegata al problema dell'origine dei RC di energia intermedia (fino a circa 10^{16} eV).

Nell'ambito degli AGN è di grande attualità la problematica relativa all'accelerazione a velocità relativistiche di getti attraverso processi magneto-centrifughi dalle regioni interne del disco. Si pensa che nelle vicinanze del nucleo l'outflow venga collimato dal campo magnetico toroidale, mentre su scale intermedie il getto può interagire con l'ambiente tramite instabilità e onde d'urto. Su scala macroscopica simulazioni numeriche avanzate hanno permesso notevoli progressi nella comprensione della dissipazione dell'energia del getto sia su distanze intermedie che negli hot spots. Particolarmente rilevante la transizione da velocità relativistiche a non-relativistiche, con dissipazione di energia ed effetto sulla struttura della velocità dell'outflow. È stata studiata la struttura degli hot spots (propagazione dello shock, accelerazione di particelle, ecc...) ma alcuni aspetti rimangono da chiarire. Va valutato il contributo energetico che il getto può trasferire al mezzo intergalattico come possibile causa dell'assenza di cooling flows importanti al centro di ammassi di galassie.

Un aspetto di particolare interesse è l'importanza di fenomeni non termici in cluster come indicato dalla presenza di aloni radio e più recentemente di emissione a legge di potenza in raggi X duri. A questo settore la comunità astronomica italiana ha dato un contributo fondamentale, sia per gli studi radio che per quelli in banda X, che per lo sviluppo teorico. Questo fenomeno implica la presenza di processi di accelerazione di particelle relativistiche e di campi magnetici su scale di Mpc. Processi di merging potrebbero esserne alla base in quanto responsabili della formazione di onde d'urto, amplificazione di campi magnetici e relativa turbolenza MHD.

Astroparticelle: Raggi cosmici e Neutrini

La ricerca italiana nell'ambito della Fisica Cosmica che si è sviluppata negli ultimi 40 anni ha raggiunto un livello di sicura eccellenza a livello internazionale, come testimoniato dal coinvolgimento delle nostre Istituzioni nei principali progetti internazionali. Due sono i filoni di ricerca sviluppati in anni recenti, quello dei raggi cosmici di altissima energia e l'astronomia del neutrino. In ambedue i casi la ricerca è prevalentemente condotta in collaborazione con l'INFN e l'Università.

Raggi Cosmici. Negli ultimi anni ha attratto particolare interesse sia osservativo che interpretativo il problema dell'origine e della propagazione dei RC ad altissima energia (oltre 10^{17} eV). Tra alcuni aspetti teorici ancora non chiariti ricordiamo la natura delle "caratteristiche": cambiamento di pendenza e composizione chimica dello spettro primario a circa 10^{15} eV ("ginocchio") e della "caviglia" a 10^{18-19} eV e l'atteso cut-off sopra 10^{19} eV dovuto all'interazione con la radiazione di fondo (effetto GZK), nonché il problema dell'origine galattica od extragalattica per energie oltre i 10^{16} eV. Tale ricerca richiede lo sviluppo e l'utilizzo di tecnologie d'avanguardia, settore nel quale la presenza italiana è di sicuro rilievo, basate sulla rivelazione a terra di Sciami Estesi

Atmosferici (EAS) e di luce Cherenkov e di fluorescenza. Tra gli esperimenti principali ricordiamo KASCADE Grande, per energie 10^{14} - 10^{18} eV (che dovrebbe rilevare tra l'altro il cambiamento di pendenza dello spettro dei RC primari pesanti a 10^{17} eV) e AUGER, operante a energie maggiori, 10^{18} - 10^{21} eV, con l'obiettivo primario di rivelare il cut-off GZK. Va segnalato anche lo sviluppo di strumentazione per l'astronomia gamma al TeV, che vede alcune strutture INAF attivamente coinvolte nel progetto ARGO - YBJ, utilizzando particolari rivelatori (RPC).

Astronomia neutrinica. I modelli di collasso gravitazionale di una stella di grande massa (SN) prevedono una rilevante emissione di neutrini. Tali modelli hanno trovato parziale conferma in occasione della SN1987A nella grande Nube di Magellano, aprendo però nuovi interrogativi sul processo di produzione dei neutrini. Al fine di rilevare bursts di neutrini di bassa energia (10 MeV) da un possibile evento di SN nella galassia è attivato presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso l'esperimento LVD (finanziato dall'INFN ma con prevalente partecipazione di personale scientifico dell'INAF). L'apparato comprende 1000 t. di scintillatore liquido ed è inserito nella rete globale del SuperNova Early Warning System, a sua volta collegata con la rete delle antenne gravitazionali IGEC. Da agosto 2006 LVD è inserito nell'esperimento per la rivelazione del beam di neutrini emessi dal CERN.

Fisica della Gravitazione

L'emissione di onde gravitazionali è la più importante previsione della relatività generale non ancora verificata dalla osservazione diretta.

È in atto uno sforzo gigantesco a livello internazionale per sviluppare apparati per la loro rivelazione con diversi obiettivi: da un lato le classiche antenne risonanti, dall'altro interferometri da terra e dallo spazio. Si stanno sviluppando apparati criogenici risonanti per la rivelazione di onde gravitazionali a frequenze intorno al Khz, mentre parallelamente proseguirà l'attività di raccolta dati con i rivelatori NAUTILUS (Frascati) AURIGA (Padova) ed EXPLORER (CERN).

È in fase di ultimazione l'interferometro VIRGO e sono iniziati run scientifici preliminari. Infine l'esperimento LISA, congiuntamente studiato da ESA e NASA rappresenterà un progresso senza precedenti, potendo consentire secondo le previsioni l'osservazione di onde gravitazionali da sistemi binari compatti. Nell'ambito di LISA, una struttura dell'INAF sta già operando per la messa a punto di rivelatori (accelerometri) operanti nell'intervallo 0.1 mHz - 0.1 Hz. È inoltre prevista la partecipazione alla missione dell'ESA Bepi Colombo per quel che riguarda la verifica di effetti di Relatività Generale.

Altrettanto importanti sono ricerche riguardanti alcuni aspetti fondamentali della fisica della gravitazione, tra questi ricordiamo in particolare il progetto GreAT, un esperimento criogenico in caduta libera, che permetterà la verifica del principio di equivalenza debole

con una precisione di 10^{-15} .

OBIETTIVI E PRIORITÀ NEL TRIENNIO

Pulsar Radio e Stelle di Neutroni Isolate

L'attuale generazione di radiotelescopi e le collaborazioni internazionali già in essere potranno essere ancora sfruttate in modo efficace per ricerca e timing di pulsar radio, prima dell'entrata in funzione di SRT e dello sviluppo di facilities della prossima generazione. Questi studi saranno particolarmente rilevanti per i test di relatività generale sulle pulsar binarie e la pulsar doppia.

Si affiancheranno a questi le osservazioni di pulsar radio e altre classi di stelle di neutroni in banda gamma, X, IR, da portarsi avanti con la strumentazione più avanzata disponibile. Misure innovative quali gli spettri gamma di pulsar radio giovani, resti di supernovae, plerioni e candidate magnetars sono alla portata della strumentazione attuale e forniranno una mole di nuove informazioni sui processi di emissione più energetici in diverse classi di sorgenti. I dati più recenti forniti dai telescopi Cherenkov hanno rivelato emissione al TeV da venti di pulsar.

Osservazioni di alta sensibilità, nell'ottico/NIR e in raggi X, consentiranno di cercare le controparti dei RRATs e di studiare lo stato di quiescenza delle magnetars transienti. Parallelamente continueranno gli studi teorici e lo sviluppo di modellistica avanzata. Un aspetto importante della ricerca sulle Variabili Cataclismiche sarà la possibilità di individuare nuovi sistemi come sorgenti serendipite di raggi X molli nei campi di Chandra ed XMM. Questa possibilità potrà essere di particolare rilevanza per sistemi doppio degeneri di tipo AM CVn, visto che le binarie di più breve periodo orbitale sono state scoperte in questa maniera. La determinazione del meccanismo fisico responsabile dell'emissione di radiazione X da parte di questi oggetti è uno degli obiettivi di maggiore interesse che sarà possibile perseguire nel prossimo triennio.

Stelle di Neutroni in Sistemi Binari e Fisica dell'Accrescimento

In questo settore di ricerca si attendono nuovi risultati da programmi coordinati in più lunghezze d'onda che consentano di (a) approfondire lo studio dei diversi regimi per stelle di neutroni transienti e soggette a un flusso di materia altamente variabile; (b) comprendere la natura delle sorgenti ultra-assorbite e il meccanismo alla base dell'attività dei Supergiant Fast X-ray Transients; (c) studiare il legame tra l'accrescimento e il lancio dei jets nei vari stati spettrali e di variabilità temporale che caratterizzano le stelle di neutroni in binarie a raggi X di piccola massa.

Le misure di timing con RXTE continueranno a svolgere un ruolo centrale per lo studio delle pulsar transienti in accrescimento, e per le oscillazioni quasi periodiche nel flusso di raggi X delle stelle di neutroni.

Buchi neri in accrescimento in sistemi binari

La determinazione dei parametri fisici (campi magnetici, potenza, composizione) dei getti e la relazione tra getto e flusso di accrescimento è tra gli obiettivi primari di questo filone di ricerca. Di grande interesse è anche la possibilità di identificare il "secondo parametro" che apparentemente determina le transizioni di stato dei buchi neri. Campagne di osservazioni multifrequenza, dal radio ai raggi Gamma svolgeranno un ruolo cruciale in questi studi. L'identificazione delle controparti ottiche e la possibilità di determinare le caratteristiche di un eventuale loro moto orbitale rivestono un particolare interesse nello studio delle sorgenti ULX, per la possibilità di rivelare per la prima volta la presenza di un buco nero di massa intermedia.

Gamma Ray Bursts

In meno di 2 anni Swift ha fornito la posizione di più di 180 GRBs con una precisione del secondo d'arco nel giro di pochi minuti. Ciò ha permesso, tra l'altro, di studiare in dettaglio alcuni GRB corti, rivelando che non sono associati a supernovae, che si trovano spesso in galassie con modesta formazione stellare e che probabilmente si originano dal merging di oggetti compatti, al contrario dei GRB lunghi. Il redshift medio dei GRB scoperti da Swift è $\langle z \rangle = 2.7$, da confrontarsi con il valore di 1.2 trovato precedentemente. Il campione di Swift è quindi più completo e verosimilmente traccia in modo più accurato la storia della formazione stellare nell'Universo. Il GRB a $z=0.033$, coincidente con SN2006aj, ha consentito di ottenere la curva di luce più completa di una SN Ib/c e la scoperta dello shock break-out di una SN. Infine SWIFT ha rivelato che le prime fasi della curva di luce X dei GRB e dei loro afterglows sono complesse e ricche di fenomeni.

Nei prossimi anni, il continuo afflusso dei dati SWIFT e le osservazioni coordinate permetteranno di sottoporre a verifica i modelli esistenti per l'origine e i meccanismi di irraggiamento dei GRB. In tale contesto, un primo obiettivo prioritario è quello di pervenire ad una comprensione del motore centrale e del progenitore delle diverse classi dei GRB: lunghi, corti, X-ray flashes. Considerando che i fotoni del burst e dell'afterglow sono prodotti su scale molto maggiori della sorgente centrale, è necessario pervenire alla sorgente tramite la informazione legata alla interazione del jet relativistico con l'ambiente, la tipologia delle galassie ospiti, lo studio delle Supernovae eventualmente associate. La ricerca sulle SN associate ai GRB propone di fatto nuove problematiche e connessioni tra l'astrofisica più classica e il fenomeno più manifestamente "relativistico" oggi conosciuto.

L'osservazione alle più alte energie con AGILE e GLAST permetterà la misura dello spettro oltre il picco di emissione primario, e la presenza di una eventuale componente di Compton Inverso. L'eventuale presenza di tale componente in coincidenza dei flare X osservati da SWIFT su tempi scala di centinaia di secondi potrà fornire vincoli sulla origine di questo fenomeno, in particolare con la presumibile connessione con un motore centrale di lunga durata. La copertura spettrale ad alta energia fornirà ulteriori dati per lo studio delle correlazioni osservate tra proprietà spettrali

(in particolare la energia di picco) e luminosità dei GRB al fine di comprenderne la fisica e discuterne le implicazioni cosmologiche.

In ambito cosmologico, ampia rilevanza va alla ricerca di GRB ad alto redshift, nella regione dell'Universo in cui ha avuto luogo la reionizzazione e si sono formati i primi oggetti luminosi e le prime aggregazioni stellari. I GRB costituiscono una delle vie più promettenti, costituendo la popolazione più brillante e distante dell'Universo e vista la loro connessione con la formazione stellare. La sorgente più distante conosciuta ad oggi è una galassia a $z=6.96$, a fronte tuttavia di un sample di migliaia di galassie e quasars. D'altro canto, in un campione di circa 50 burst di redshift noto, il 10% sono a $z>4$, con il più distante a $z=6.3$. Stime attuali prevedono che circa il 10-20% dei GRB siano a $z>5$. Poiché a questi redshift la foresta Ly alpha assorbe il flusso nella banda ottica, i potenziali candidati devono costituire parte della classe dei cosiddetti dark GRBs, ovvero GRB in cui non è stato osservato l'afterglow ottico. D'altra parte, più del 90% dei GRB è caratterizzato dalla presenza di un afterglow in raggi X. Di fatto, il GRB più distante osservato grazie a SWIFT, a $z=6.3$, è brillante sia in gamma che in raggi X. È quindi possibile che diversi GRB a z ancora più alti siano già stati osservati e localizzati, ma che, mancando una controparte ottica, non sia stato possibile determinare il redshift. In tale contesto, sono da perseguire osservazioni nella banda infrarossa (REM, VLT nel fast repointing mode), sub-mm (ALMA) e, su una prospettiva di più lungo periodo, JWST e la possibilità di misurare direttamente il redshift in raggi X.

Nuclei Galattici Attivi

Gli obiettivi fondamentali ancora da raggiungere nella ricerca sugli AGN sono da un lato la comprensione della fisica delle regioni più interne del disco di accrescimento, dall'altro la generazione dei potenti getti relativistici che si manifestano in generale nella morfologia dell'emissione radio, ma la cui presenza è osservabile in molti casi anche vicino al nucleo.

Per il primo aspetto l'emissione X è di fondamentale importanza e le misure attuali sempre più approfondite rivelano una complessità forse impreveduta, con la presenza di componenti di riflessione neutra e ionizzata e una dinamica spettrale di non facile interpretazione. La diagnostica derivante dalle righe di emissione e assorbimento nella regione del Fe di cui si è osservata forse una variabilità sistematica (orbitale?), ma anche erratica possibilmente legata a fenomeni di inflow e outflow, rappresenta un elemento di grande interesse per un progresso in questo campo.

Per quanto riguarda l'origine dei getti relativistici non è ancora chiaro che cosa caratterizza i nuclei progenitori né se in molti casi il fallimento nella formazione del getto è responsabile dell'attività nucleare osservata. Saranno necessari sia studi dettagliati di variabilità spettrale delle diverse componenti da un lato e studi di popolazione dall'altro, resi possibili anche dall'accessibilità di archivi in molte bande di frequenza. L'estensione di osservazioni VLBI a lunghezze d'onda millimetriche e, più a lungo termine,

le possibilità offerte da ALMA permetteranno di risolvere scale spaziali sempre più piccole attorno al nucleo consentendo di tracciare l'origine delle componenti del getto a partire da pochi raggi gravitazionali.

Un progresso rapido, molto significativo, è atteso nell'astronomia Gamma al TeV con l'entrata in funzione di telescopi Cherenkov di ultima generazione. In particolare l'INFN ha una partecipazione importante al progetto MAGIC la cui fase due se è aperta nel corso del 2007. La prospettiva di poter studiare gli spettri e la variabilità rapida (grazie alla grande area di raccolta del segnale) da 100 GeV a 10 TeV di Blazar e altri AGN radio-forti permetterà di confermare o mettere in discussione i modelli esistenti. La problematica dell'assorbimento intergalattico, strettamente accoppiata con quella dello spettro intrinseco emesso dalle particelle nel getto, a sua volta collegabile all'emissione di sincrotrone delle particelle stesse, potrà essere affrontata adeguatamente con risultati di interesse sia cosmologico sia sulla fisica dell'accelerazione nei getti.

Il lancio di AGILE e GLAST nel prossimo anno rappresenterà un ulteriore sostanziale ampliamento delle finestre osservative con la possibilità di sondare l'emissione gamma di una larga classe di AGN, utilizzando anche i telescopi Cherenkov da terra, da 100 MeV a 10 TeV. La partecipazione italiana può essere molto importante non solo in AGILE ma anche in GLAST per cui INFN ha dato un contributo essenziale. Molti gruppi italiani hanno esperienza e si preparano ad organizzare osservazioni complementari e simultanee ad altre lunghezze d'onda, essenziali per una modellizzazione approfondita.

Dinamica dei plasmi e accelerazione particelle

Lo sviluppo di questi studi richiede tecniche ed algoritmi numerici sempre più sofisticati. L'analisi del processo di accelerazione dei getti non può prescindere da quello dell'accrescimento e in particolare da quello di rimozione del momento angolare nel disco, legato a fenomeni di instabilità (tra le più importanti è la instabilità di Balbus-Hawley (Magneto Rotational Instability, MRI)) che possono portare alla formazione di turbolenza magnetica e quindi influire criticamente sulla viscosità del mezzo. Si dovranno pertanto mettere a punto codici numerici che permettano di vedere quali sono questi effetti sull'origine del getto, il che richiederà anche la necessità di trattare strutture in 3-D e su scale molto diverse.

Simulazioni numeriche altrettanto avanzate daranno informazioni dettagliate sulla propagazione del plerione nel mezzo esterno, in particolare sulla composizione chimica del mezzo interstellare circostante e sull'innescò della contrazione di nuvole molecolari. Lo studio della accelerazione di particelle relativistiche richiederà un sforzo analogo nell'upgrading dei metodi numerici che dovranno in particolare analizzare l'evoluzione di una popolazione di particelle in onde d'urto e turbolenza MHD. Nel caso degli ammassi di galassie si dovranno considerare la struttura non collisionale degli shocks, effetti non lineari nella interazione particella-onda, perdite radiative, possibili collisioni e annichilazione con dark matter.

La scoperta di radiazione non termica in banda hard-X da ammassi di galassie ha aperto una nuova finestra sullo studio dei fenomeni non termici nel mezzo intergalattico, poiché tali dati, combinati con quelli radio, permettono in linea di principio di ottenere la misura diretta dell'energia associata agli elettroni relativistici ed al campo magnetico negli ammassi. Sarà importante estendere le misure nella banda degli X duri ad un numero significativo di ammassi per studiare la relazione tra emissione radio ed emissione X su un campione più ampio.

Mentre la presenza di adroni relativistici non è ad oggi verificabile, si ritiene che osservazioni future nei raggi gamma (GLAST e telescopi Cherenkov) possano misurare il flusso derivante dal decadimento in 2-gamma dei π^0 prodotti dalle collisioni degli adroni relativistici con i protoni termici degli ammassi e quindi fornire una misura del contenuto energetico di questi adroni nel mezzo intracluster. Tale informazione è importante per meglio definire i meccanismi di accelerazione delle particelle relativistiche responsabili dei flussi radio e X e l'origine delle stesse particelle.

Astroparticelle

Uno degli aspetti più interessanti nella fisica dei RC di altissima energia è la presenza o meno del cut-off a energie dell'ordine di 10^{19} eV a causa dell'effetto GZK. Misure dettagliate possono avere implicazioni fondamentali sulla fisica dell'interazione particelle - CMB che potrebbe limitare la massima distanza di provenienza di tali particelle di altissima energia a non più di circa 100 Mpc. Altrettanto importanti saranno le informazioni sulla connessione tra le variazioni spettrali e la composizione chimica primaria. Tra queste sarà interessante poter confermare un cambiamento di pendenza dello spettro dei primari leggeri ed intermedi a circa 10^{15} eV e del Fe a circa 10^{17} eV. A questo scopo saranno fondamentali i dati che si otterranno dai vari apparati già in funzione e in corso di completamento.

In particolare sarà importante la partecipazione al Progetto AUGER, con apparati in Argentina (già operante), e in Colorado (in corso di costruzione, cui partecipano attivamente alcune strutture INAF). Per i Raggi Cosmici di altissima energia sarà essenziale lo sviluppo di nuovi apparati per la rivelazione di luce di fluorescenza e parallelamente per la Gamma astronomia al TeV la costruzione di nuovi telescopi Cherenkov (CTA) basati anche su nuovi approcci sperimentali (GAW) .

L'esperimento LVD, nell'ambito dei RC, effettuerà misure di neutroni a grande profondità e di sciame muonici a grandi angoli zenitali sotto roccia; per l'astrofisica neutrिनica sarà coinvolto nella rivelazione del beam del CERN per misure sull'oscillazione dei neutrini. Inoltre, in collaborazione con le reti di rivelatori SNEWS e IGEC, nel caso di collassi stellari nella galassia, potrebbe contribuire alla rivelazione di flash di neutrini correlati con onde gravitazionali.

Fisica della Gravitazione

Si procederà al completamento degli apparati da terra per la rivelazione di onde gravitazionali a frequenze dell'ordine del kHz, in collaborazione con l'INFN e il CERN. È da sottolineare l'accordo del gruppo VIRGO (interferometro INFN) con LIGO (tre interferometri americani) per l'analisi combinata dei dati simultanei che porterà ad un vantaggio sostanziale nel taglio del rumore di fondo.

Nell'ambito del progetto LISA, oltre alla messa a punto dei 3 accelerometri drag-free, si procederà alla costruzione presso i LNGS di un laboratorio a basso rumore vibrazionale. Analisi più dettagliate delle orbite dei LAGEOS potranno permettere verifiche della teoria della relatività generale, mentre, in collaborazione con la NSF si inizierà la realizzazione del di un accelerometro per ulteriori misure del principio di equivalenza debole.

RACCOMANDAZIONI

La nostra prima e più importante raccomandazione riguarda l'insieme dei programmi osservativi e teorici delineati nel presente documento. Questi programmi rappresentano oggi da un lato la fruizione di una serie di progetti, anche tecnologici, che la comunità porta avanti da anni con successo e riconoscimenti al più alto livello internazionale, dall'altro costituiscono la fonte di nuove idee e proposte. La situazione di ristrettezza dei finanziamenti e di scarsa continuità nell'erogazione degli stessi che si protrae da alcuni anni inizia ormai a tradursi in una perdita di competenze e di "know how". Molti dei giovani più attivi, il training dei quali ha richiesto tempo ed investimenti considerevoli, sono costretti a lasciare l'ambiente della ricerca o a trasferirsi all'estero senza una prospettiva di rientro. Per mantenere il livello raggiunto e continuare ad avere anche in futuro una generazione di ottimi scienziati in questo settore è indispensabile riprendere a finanziare adeguatamente e con la necessaria continuità la ricerca osservativa e teorico-interpretativa.

Lo sviluppo recente nelle tecniche di analisi numerica e nella messa a punto di codici specifici sempre più raffinati per la simulazione di processi astrofisici complessi appare molto promettente. Per sostenere questo sviluppo sarà cruciale poter disporre di strutture di calcolo adeguate per l'utilizzo di tali codici anche mediante contratti e convenzioni con enti nazionali (e.g. CINECA) ed internazionali. Sarà inoltre necessario potenziare le risorse di calcolo locale e le reti di connessione per la trasmissione di grandi quantità di dati.

Dalla ricerca svolta negli ultimi anni sono scaturite le motivazioni scientifiche per nuovi progetti e viceversa la partecipazione diretta a progetti innovativi è vitale per mantenere in futuro l'attività scientifica in posizioni di leadership. La nostra comunità sta attivamente lavorando a sviluppi strumentali e al supporto scientifico di diversi progetti spaziali, tra cui Symbol-X, ESTREMO e XEUS. Raccomandiamo che le attività scientifiche relative ai nuovi progetti siano sostenute da INAF fino all'intervento di ASI-ESA.

Il passaggio dei progetti europei HESS e MAGIC per osservazioni nella banda TeV dalla prima alla seconda fase rappresenta un punto di svolta nelle capacità osservative. La concreta possibilità di una partecipazione diretta di INAF allo sviluppo di questa nuova finestra osservativa da terra con il contributo di specchi a basso costo e tecnologia avanzata, rappresenta un'occasione unica. Dato il coinvolgimento forte di INFN in MAGIC, si suggerisce una partecipazione a quest'ultimo. Questa scelta sarebbe strategica sia per l'interesse scientifico, sia per la sinergia con INFN. Sarebbe inoltre qualificante in vista di una partecipazione allo sviluppo di una possibile facility europea per un large Cherenkov Telescope Array.

Più in generale si sottolinea come sia importante estendere e rendere più paritari i rapporti tra INAF - INFN su progetti che vanno dall'astronomia gamma, alle onde gravitazionali, ai RC e ai neutrini, per i quali l'expertise di INAF sulle problematiche astrofisiche può portare un contributo essenziale per un migliore utilizzo scientifico dei dati.

MACRO-AREA 5 : “TECNOLOGIE AVANZATE E STRUMENTAZIONE” (G. Comoretto, S. Masi, G. Pareschi (coordinatore), R. Ragazzoni, A. Zacchei)

INTRODUZIONE

Considerazioni generali

I ricercatori INAF che hanno aderito alla MA-5 rappresentano il 19% come scelta primaria ed il 27% aggiungendo l'area secondaria. Considerando anche gli enti “associati” (Università, etc.) queste percentuali scendono al 15% ed al 25% rispettivamente. E' quindi la Macro-Area a cui globalmente fa riferimento il maggior numero di ricercatori INAF, pur presentando l'importante anomalia rispetto alle altre (unico caso) in cui le afferenze secondarie sono prevalenti rispetto a quelle primarie. Questa diversità è probabilmente riconducibile al fatto che alla MA-5 sono state attribuite competenze su due ben distinte tipologie di ricerca:

- le “Tecnologie avanzate”: che configurano attività di Ricerca e Sviluppo (“R&D”), preparatorie all'implementazione di telescopi, esperimenti e strumentazione nell'ambito di futuri progetti in cui INAF sarà impegnata. Sono quindi attività non necessariamente legate a particolari progetti ma piuttosto indirizzate a risolvere dei problemi astrofisici ben individuati, per cui si prevede in futuro la realizzazione di telescopi o esperimenti ad hoc. In particolare, si tratta dello sviluppo di materiali, apparati, *software*, procedure e, più in generale, tecnologie “*cutting-edge*” per esperimenti da terra e dallo spazio di interesse astronomico. In questo ambito questi aspetti della ricerca si presentano come attività del tutto simili a quelle di interesse, ad esempio, del Gruppo 5 di INFN.

- il disegno e realizzazione di “Strumentazione”: in questo caso si tratta di attività più propriamente indirizzate ad implementare strumentazione (specchi, apparati di rivelazione, *pipeline* di analisi e controllo, etc.) di telescopi ed esperimenti per cui sia già stata dimostrata un’avanzata “*readiness*” tecnologica (eventualmente da consolidare), e per cui vi deve essere necessariamente pure un chiaro supporto scientifico da parte delle altre Macro-Aree tematiche. Cercando anche in questo caso un’analogia con l’INFN, l’individuazione di priorità ed il finanziamento di tali progetti dovrebbe essere normalmente di responsabilità soprattutto delle altre Macro-Aree “scientifiche”, lasciando alla MA-5 la competenza sugli aspetti tecnico-programmatici.

In ogni caso, questa dicotomia delle attività di competenza della MA-5 spiega abbastanza bene non solo l’alto numero di ricercatori che fanno riferimento alla MA-5, ma anche la prevalenza delle afferenze secondarie rispetto a quelle primarie. In effetti, vi sono numerosi ricercatori che pur non essendo direttamente impegnati in attività puramente tecnologiche, sono tuttavia coinvolti in progetti coordinati di interesse nazionale ed internazionale di natura strumentale, soprattutto curando gli aspetti di “*requirement*” e coordinamento scientifici.

Un settore di ricerca abbastanza nuovo, che si è creato nel contesto delle ricerche R&D, riguarda l’aspetto di “Innovazione Tecnologica” (coordinata in INAF da una Unità che riporta direttamente alla Presidenza), cioè un’attività principalmente mirata al trasferimento tramite “*spin-off*” verso industrie private di tecnologie sviluppate negli Istituti. Tali attività sono derivate da esiti positivi e trasferibili di ricerche effettuate in INAF, e riguardano possibilità di implementazioni industriali sia in settori direttamente legati ad attività astronomiche e spaziali, sia in altri campi completamente diversi (biomedicale, applicazioni nano-litografiche e foto-voltaiche, apparati di monitoraggio atmosferico...). Tali attività vanno considerate positivamente poiché non solo danno la possibilità di trovare nuovi canali di finanziamenti, ma permettono anche una maggiore collaborazione con partner industriali, dando luogo anche ad importanti ritorni per la realizzazione di telescopi ed esperimenti di interesse INAF. Tuttavia si sottolinea come **tali ricerche debbano essere comunque subordinate e, in nessun caso prevalenti, rispetto alla ricerca astrofisica di base**, attività istituzionale che non deve subire condizionamenti causati dalla fornitura verso esterni di servizi o prodotti da parte di INAF. Per altro, fino a questo momento, le attività coordinate dall’Unità “Innovazione Tecnologica” di INAF si sono svolte molto positivamente e senza alcuna interferenza di tipo negativo con l’attività di ricerca di base di carattere astrofisico. Va altresì notato che le norme recentemente entrate in vigore in INAF per la regolamentazione delle attività e risultati brevettabili, di fatto, escludono la possibilità di finalizzare brevetti condivisi tra il nostro Ente e terzi (altri enti pubblici e/o industrie private). Questo pone un forte freno alla reale possibilità di portare avanti una collaborazione pienamente fattiva tra gli Istituti del nostro Ente ed i partner industriali, e se ne auspica una modifica al più presto.

Problematiche legate alle attività tecnologiche in ambito INAF

La comunità tecnologica dell'INAF ha competenze di ottimo livello in diversi campi, come testimoniato dalle importanti partecipazioni a progetti internazionali. Queste competenze, però, sono detenute da poche persone, talvolta vicine per età al pensionamento, con un ricambio generazionale assolutamente insufficiente. Il reclutamento di personale giovane è nella quasi totalità dei casi legato a progetti, e non si trasforma in posizioni permanenti al termine di questi. Ne deriva una dispersione delle competenze acquisite. In prospettiva, se la situazione non verrà modificata radicalmente, si assisterà ad una perdita irreversibile della nostra competitività internazionale. Il problema è comune a tutte le macroaree, ma nel campo tecnologico è particolarmente grave, in quanto i tempi necessari per costituire queste competenze è tipicamente più lungo data la necessità di realizzare e organizzare strutture (laboratori, attrezzature) con grossi investimenti umani e finanziari.

In generale si assiste ad una grossa diversificazione delle competenze. La ricerca è portata avanti da piccoli gruppi, spesso con un supporto finanziario del tutto insufficiente, sia per quanto riguarda le attività tecnologiche per strumentazione da Terra che dallo Spazio. Si noti, a questo proposito, come anche ASI abbia drasticamente ridotto negli ultimi anni i finanziamenti per la ricerca di base di carattere astrofisico, mettendo in breve tempo in forte crisi il settore della tecnologia spaziale negli istituti INAF. Questa situazione risulta particolarmente frustrante se confrontata con altre istituzioni come, ad esempio, l'INFN, dove le risorse dedicate allo sviluppo tecnologico e all'implementazione di nuovi strumenti ed esperimenti sono enormemente più ampie rispetto a quelle a cui i ricercatori INAF possono fare riferimento.

A questo si tenta di supplire con un grosso impegno individuale, e con una tendenza alla specializzazione in nicchie in cui sia possibile, in un contesto di collaborazione internazionale, contribuire significativamente con soluzioni innovative in aree chiave, anche in assenza di adeguati finanziamenti. Questo non sempre risulta essere possibile, od efficace, e genera frequentemente frustrazione e tendenza alla *perdita di cervelli* verso nazioni dove esistano situazioni di lavoro meno frustranti.

L'ottica “a progetti” con cui viene gestita oggi la ricerca, sebbene sia essenziale per focalizzare in una direzione precisa gli sforzi tecnologici, sacrifica pesantemente la ricerca di base, e spesso non permette la costituzione di un humus da cui nascano significative nuove idee e progetti. Nel campo tecnologico, una discreta porzione del lavoro consiste nella preparazione di proposte per nuovi strumenti, di cui solo una parte verrà però effettivamente costruita e finanziata. In questa fase risulta spesso necessario costruire dimostratori tecnologici, che comportano comunque costi non indifferenti. La dotazione strumentale dei laboratori è finanziata attualmente tramite i progetti, ma spesso questo non potrebbe risultare possibile, a meno di operare forzature contabili.

Lo sforzo fatto di costituire un inventario dei “laboratori nazionali” ha messo in evidenza come i laboratori tecnologici italiani siano spesso ritagliati allo stretto indispensabile per

portare avanti progetti specifici. Esistono possibilità di sinergie, collaborazioni, e il lavoro svolto presenta l'indubbio, ed enorme, merito, di fornire un quadro generale per facilitare collaborazioni di questo tipo. Salvo pochissime eccezioni, non esistono però *facility* di dimensioni tali, e non pesantemente sovrautilizzate, da poter essere pensate come laboratori nazionali. Inoltre tutti i laboratori sono e devono essere gestiti come gruppi di ricerca, e non servizi, e ogni loro utilizzo deve necessariamente essere visto come una forma di collaborazione scientifica.

Detto questo, tra le note positive riguardanti il settore della ricerca tecnologica in INAF vi è, senza dubbio, la tendenza ad una maggiore sinergia, coordinamento e spirito di collaborazione tra i vari istituti, che possono ora contare su competenze diversificate sviluppate in realtà diverse come gli Osservatori, gli Istituti di provenienza CNR e le Università. Questo spirito va sicuramente stimolato da parte di INAF mediante una maggiore informazione e coinvolgimento diretto della comunità nella gestione di progetti. In futuro dovrebbero anche essere reperite le risorse necessarie a promuovere *workshop* di settore e scuole per giovani ricercatori indirizzate alla ricerca tecnologica. In questi ultimi anni è sostanzialmente mancato un rapporto di collaborazione organica e pienamente condivisa tra la base dei ricercatori che operano nel settore tecnologico ed i vertici dell'INAF, in particolare con il Dipartimento "Progetti", forse per l'assenza, negli anni passati, delle Macro Aree Tematiche. Purtroppo anche dopo che queste ultime sono state attivate, non è stato finora possibile instaurare un rapporto definitivamente fattivo di collaborazione con i vertici INAF. Questo è un problema particolarmente grave per le attività tecnologiche di competenza della MA-5, ma che potrà essere in futuro migliorato cercando un maggior coordinamento e una migliore sinergia.

Altro aspetto peculiare della MA-5 è la diversa tipologia di pubblicazioni. Spesso i ricercatori in tecnologia coinvolti in progetti internazionali devono documentare in modo dettagliato il lavoro prodotto (come ad esempio richiesto da ESA e ESO). Tali documenti sono quindi rivisti da board, durante le sessioni di *review*, e quindi richiedono un impegno elevato da parte di chi li stila. Purtroppo non vi è ancora una normativa chiara a livello concorsuale e di attività di ricerca su come tali documenti debbano essere valutati (anche se la recente istituzione in INAF del ruolo e carriera di Tecnologo potrà sicuramente risolvere questo problema, in particolare per profili prettamente tecnici). D'altra parte, come del resto raccomandato anche nel PLT di INAF preparato dal CS, va in ogni modo stimolata e raccomandata, in diverse maniere, l'uso di pubblicare su riviste specializzate a carattere tecnologico o *proceedings* di alto livello come SPIE articoli di natura tecnica o descrizione di strumentazione innovativa per l'Astronomia. Quando l'argomento sia di sufficiente ampio interesse in campo astronomico, anche su riviste "tradizionali" (MNRAS, A&A, talvolta anche ApJ e Nature ospitano articoli di natura tecnologica). Per quanto riguarda i concorsi di personale ricercatore, si raccomanda comunque l'utilizzo di procedure *ad hoc* e commissioni altamente specializzate per la valutazione comparativa dei ricercatori nell'ambito tecnologico, in modo che non vi sia il rischio *ab initio* di uno svantaggio rispetto ai loro colleghi con curriculum spiccatamente scientifico. A tale riguardo, si rammenta come negli ultimi concorsi da Ricercatore e Astronomo Associato operati e conclusi da INAF nel corso del 2005, non sia risultato

vincitore alcun candidato con un profilo di ricerca prettamente tecnologico e come in generale la distribuzione delle già scarse opportunità concorsuali degli ultimi anni abbia penalizzato i candidati suddetti, anche in rapporto alla loro consistenza numerica all'interno dell'ente. Occorre d'altra parte menzionare che, a parziale compensazione, tra i concorsi per personale di ricerca INAF emessi nell'ottobre del 2006, 4 sugli 11 posti banditi sono rivolti al settore tecnologico.

RADIO/MICROONDE DAL METRO ALLE LUNGHEZZE D'ONDA SUB-MILLIMETRICHE

L'attività strumentale a lunghezze d'onda radio coinvolge in Italia due comunità scientifiche parzialmente sovrapposte, e con obiettivi scientifici differenti. Lo studio del CMB viene svolto soprattutto utilizzando array di ricevitori incoerenti (bolometri), sia da terra che da pallone. La radioastronomia su sorgenti non CMB utilizza invece soprattutto ricevitori coerenti ed elettronica digitale per l'analisi del segnale convertito.

Ricevitori coerenti

Per osservazioni interferometriche e spettroscopiche è essenziale che l'emissione radio venga rivelata in modo coerente. Ricevitori coerenti sono utilizzati soprattutto per osservazioni con i grossi radiotelescopi gestiti dall'IRA, e per applicazioni spaziali. L'IRA coordina un gruppo di lavoro sui ricevitori, di cui fanno parte i laboratori IRA, OAA, OACa, con collaborazioni con l'Università di Roma-Tor Vergata e Firenze, e l'IASF-BO. Il gruppo ha esperienza in ricevitori criogenici (LNA) con frequenze comprese tra 0.3 e 115 GHz e bande relative del 30%, basati su FET HEMT al fosforo d'Indio, e più recentemente, in ambito FP5, con tecnologie MMIC. La sensibilità di questi ricevitori si avvicina al limite quantistico $T = h\nu/k$, anche se a basse frequenze il rumore è dominato dalle perdite ohmiche dell'antenna e della finestra da vuoto del dewar. La larga banda passante istantanea viene limitata dai successivi stadi di media frequenza, correntemente intorno ad alcuni GHz, adeguata per le esigenze attuali in campo spettroscopico e VLBI, ma insufficienti per alcune applicazioni (es. osservazioni di pulsar a frequenze millimetriche), per cui si sta studiando sistemi di media frequenza ad hoc.

Le problematiche critiche da affrontare nei prossimi anni riguardano la costruzione di ricevitori a frequenze millimetriche (80-115 GHz) per estendere a queste frequenze l'operatività dei telescopi italiani, attualmente limitata a 45 GHz. Per massimizzare l'efficienza di utilizzo del ricevitore, soprattutto per osservazioni di survey, sono in fase di realizzazione ricevitori multi-feed (ricevitore a 7 beam 18-26 GHz, progetto FP5 in fase di completamento). In questi sistemi risulta utile lo sviluppo di stadi di conversione e amplificazione a media frequenza in tecnologia MMIC. Entrambi questi campi rappresentano i punti di forza da supportare in questo settore.

La stabilità dei ricevitori coerenti è attualmente limitata dal rumore $1/f$, rendendo critiche osservazioni ad antenna singola nel continuo. In particolare in applicazioni di studi o del CMB, è essenziale una migliore conoscenza dei fenomeni alla base del rumore $1/f$, per realizzare ricevitori HEMT ultrastabili, insieme alle tradizionali tecniche di mitigazione/rimozione (ricevitori differenziali, a correlazione, Dycke, ecc.)

Bolometri

Questi rivelatori termici per il lontano infrarosso e millimetrico hanno dimostrato la loro efficienza negli esperimenti di nuova generazione per lo studio del fondo a microonde (CMB) e delle osservazioni nel continuo millimetrico e submillimetrico. Acquisirne la tecnologia realizzativa è fondamentale per mantenere il livello di eccellenza della comunità scientifica Italiana nel settore della CMB e per sviluppare il settore submillimetrico. Sono i rivelatori che più facilmente possono essere replicati in grandi mosaici da utilizzare per gli studi di dettaglio del fondo a microonde, della radiazione mm/submm emessa dalla nostra galassia, e da sorgenti extragalattiche. Possono avere anche applicazioni per diagnostica medica non invasiva, visione artificiale in condizioni ambientali avverse, controlli di sicurezza non invasivi, controlli di non proliferazione nucleare.

In ambito INAF lavorano due diversi gruppi di utilizzatori di bolometri: coloro che realizzano spettroscopia X ad altissima risoluzione con microcalorimetri, e coloro che studiano radiazione continua nel lontano infrarosso e nel millimetrico. L'uso di assorbitori fotolitografati in configurazione "a ragnatela" o "a griglia", oppure l'uso alternativo di antenne planari e striplines, ha permesso di minimizzare il disturbo da raggi cosmici. Questa tecnologia offre la possibilità di realizzare grandi piani focali compatti, realizzando direttamente sul chip le antenne, i filtri per selezionare le frequenze d'interesse, o addirittura banchi di filtri o sistemi interferometrici, oltre ai sensori stessi. Riducendo il volume per piano focale si riducono di conseguenza gli ingressi termici sulla parte raffreddata criogenicamente.

Esistono in Italia le facility e le competenze per realizzare grandi mosaici di sensori termici per mezzo di una stretta collaborazione tra laboratori INAF, Universitari, INFN e CNR. Alcune iniziative in questo senso (progetto RIC dell' INFN, progetto W-CAM per il PRIN, collaborazione per la realizzazione di microcalorimetri a TES tra il gruppo di Genova e il gruppo IASF-Roma) stanno producendo ottimi risultati e vanno incoraggiate e supportate se vogliamo mantenere la competitività a livello internazionale di questi settori, anche con l'obiettivo a lungo termine di proporci come fornitori di piani focali in missioni come quelle *Cosmic Vision* di ESA. L'ottimizzazione di questi sistemi di rivelazione per applicazioni spaziali avviene in osservatori di altissima quota o tramite palloni stratosferici. Una sinergia in questo senso con ASI è fortemente raccomandata.

Ottiche e componenti passivi

Negli attuali ricevitori il sistema di accoppiamento ottico deve fornire una larga banda passante istantanea (tipicamente il 30%), per permettere una copertura continua di frequenza, una buona purezza di polarizzazione, oltre a massa e dimensioni contenute (importanti sia per applicazioni spaziali che per esigenze di criogenia). La richiesta di frequenze di lavoro sempre maggiori si traduce in elevate precisioni meccaniche, ottenibili con tecniche di elettroformatura.

L'Italia ha un'ottima esperienza in questo campo in diversi centri (IRA, OAA, IASF-BO). Collaborazione tra INAF e istituti universitari hanno permesso di utilizzare competenze e tools di progettazione in ottica elettromagnetica, e relativa simulazione. Competenze nella realizzazione di questi componenti sono oggetto di trasferimento tecnologico verso l'industria, per la produzione su piccola scala di componentistica (feed, polarizzatori, filtri in guida, accoppiatori) a frequenze fino a circa 200 GHz. Queste competenze sono state utilizzate sia per i ricevitori montati su radiotelescopi italiani che ad es. per ALMA. A questo proposito va ricordato che i collettori di ALMA, per la parte di antenne realizzate sotto responsabilità ESO, sarà fornito dalla ditta Media Lario Technologies, nata di fatto da uno spin-off di Istituti INAF (IASF-Mi e OAB) per la realizzazione degli specchi della missione per raggi X XMM). Va menzionato anche che IASF-BO ha esperienza in ottiche destinate a sistemi spaziali. L'IRA e l'OAA sono infine partner di un progetto FP6 riguardante array di ricevitori "feedless", in cui la formazione del fascio viene effettuata nel piano focale per via elettronica.

Il controllo della superficie di grossi riflettori è essenziale per permettere a questi strumenti di effettuare osservazioni a frequenze millimetriche. L'Italia ha una grossa esperienza in questo campo con la superficie attiva nel radiotelescopio di Noto, che consente a questo strumento di operare fino a 45 GHz. SRT sarà dotato di una superficie attiva in grado di lavorare fino a circa 100 GHz. Per ottenere queste prestazioni è in studio presso l'OACa un sistema di metrologia in grado di misurare in tempo reale le deformazioni dello specchio con un'accuratezza di alcune decine di Ohm.

Elettronica di Back-End

In un ricevitore coerente l'analisi del segnale radio (spettroscopia, spettropolarimetria, interferometria, analisi temporale, osservazione e timing di pulsars) viene effettuata sulla sua rappresentazione come segnale elettrico, debitamente convertito in frequenza. Questa analisi può essere effettuata utilizzando sistemi acusto-ottici, in cui il segnale radio viene convertito in un'onda acustica che modula opportunamente un fascio laser, o sistemi digitali, in cui si opera su una rappresentazione numerica del segnale. La tendenza odierna è quella di utilizzare sistemi digitali con prestazioni, in termini di velocità, complessità e miniaturizzazione sempre più spinte, grazie alla crescente disponibilità di circuiti digitali programmabili veloci, mentre sistemi acusto-ottici sono impiegati per applicazioni spettroscopiche con richieste di banda passante analizzata superiori a circa 2 GHz.

Soprattutto in VLBI, la tendenza è quella di utilizzare una trattazione digitale del segnale anche per funzioni che venivano tradizionalmente svolte con sistemi analogici (conversione in banda base, selezione della banda passante). Competenze in questo campo sono disponibili presso OAA (filtro digitale per ALMA, spettrometri per Medicina e Noto, ricevitori digitali per Radio Science), IRA Bologna (sistema ItaSEL), IRA Noto (Digital Broadband Converter per VLBI). Un sistema digitale avanzato per analisi di pulsar veloci è in fase di studio per SRT, come progetto congiunto di questi gruppi, e permetterebbe di utilizzare questa antenna come strumento unico nell'emisfero nord per lo studio e ricerca di pulsar. Queste attività sono inserite in un apposito sottoprogetto (Digital Developments) del progetto FP7 RadioNet.

La possibilità di connettere antenne tramite reti veloci con banda dell'ordine di Gbit/sec permette la realizzazione di osservazioni VLBI in tempo reale (e-VLBI), rendendo molto più flessibili e dinamiche le pianificazioni osservative, migliorando la qualità delle osservazioni attraverso un feedback costante e rendendo immediatamente disponibili i dati correlati. Il radiotelescopio di Medicina già dispone di un collegamento veloce, e nel triennio si intende portare a termine il collegamento in fibra dei radiotelescopi di Noto ed SRT. Le osservazioni e-VLBI sono di interesse anche per lo sviluppo delle reti telematiche in quanto le altissime velocità dei singoli flussi di dati trasmessi su distanze continentali stanno mettendo in luce limiti degli apparati e dei protocolli IP esistenti e richiedono lo studio di protocolli e tecnologie ad hoc.

Almeno per alcune applicazioni, si assiste allo sviluppo di sistemi di calcolo software per correlazione di dati interferometrici. La presenza di tre antenne VLBI in Italia (Medicina, Noto e SRT) consentirebbe di realizzare un interferometro capace di operare come un unico strumento con baseline di circa 1000 Km, qualora fosse disponibile un correlatore VLBI italiano. A questo scopo è in fase avanzata di studio un correlatore software a 4-5 stazioni.

L'uso di tecniche di sintesi digitale del beam partendo da numerose piccole antenne non direttive è parte integrante dei futuri telescopi a bassa e bassissima frequenza (LOFAR, SKA), ed include la possibilità di osservare simultaneamente più regioni di cielo indipendenti tra di loro, eliminando nel contempo interferenze provenienti da direzioni note. L'antenna Croce del Nord a Medicina è attualmente impiegata come dimostratore tecnologico per sistemi di questo tipo per SKA.

TECNOLOGIE PER TELESCOPI "GROUND-BASED" NELL'OTTICO E NEL VICINO INFRAROSSO

L'astronomia italiana storicamente ha sempre avuto un ruolo di primo piano nella progettazione e realizzazione sia di grandi telescopi da terra operanti nell'ottico e nel vicino infrarosso che dei relativi strumenti di piano focale. Tra le principali collaborazioni citiamo quella con l'European Southern Observatory (ESO) che hanno portato allo

sviluppo di diversi strumenti a partecipazione italiana (SUSI2 per il telescopio NTT a La Silla, VIMOS, FLAMES, AMBER, e più recentemente XSHOOTER e SPHERE per il VLT al Cerro Paranal). Sempre in ambito ESO è in corso la realizzazione del telescopio VST (VLT Survey Telescope) e della relativa camera a grande campo OMEGACAM. L'Italia ha anche interamente sviluppato e realizzato il Telescopio Nazionale Galileo nell'isola di La Palma (Canarie) e tutto il suo parco strumenti (SARG, NICS, DOLORES, AdOPT, OIG, Speckle Camera). Infine svolge un ruolo primario nella realizzazione del Large Binocular Telescope in Arizona (USA) e di una parte della sua strumentazione (LBC, LINC-NIRVANA).

L'utilizzo dei telescopi da terra e quindi le osservazioni nell'ottico e nel vicino infrarosso risultano essere sempre più competitive rispetto ai costi di realizzazione di progetti spaziali nella stessa banda grazie alla realizzazione di telescopi della classe dei 10 metri dotati di tecnologie di ottica attiva ed adattiva che permettono di raggiungere risoluzioni paragonabili a quelle ottenute dallo spazio. L'utilizzo di rivelatori efficienti e la realizzazione di strumenti di piano focale innovativi ha permesso di estendere le nostre capacità osservative. Nell'ottica di rendere ancora più competitivi gli strumenti da terra, negli ultimi anni, ci si sta orientando verso una loro specializzazione su determinati target scientifici che richiedono lo sviluppo di nuove tecnologie.

Tra le idee più interessanti, citiamo quella di E-ELT. Al fine di compiere un significativo passo in avanti rispetto ai telescopi della classe dei 10 metri di diametro, è iniziata da qualche anno l'ideazione e la progettazione di telescopi di diametro oltre i 30 metri. Le proposte europee sono confluite nel progetto E-ELT (European Extremely Large Telescope) guidato da ESO con un diametro di 42 metri. La dimensione del telescopio richiede la soluzione di numerosi problemi fra cui:

- la necessità di realizzare un enorme numero di specchi per coprire un'area utile di circa 1400 m² tramite segmenti esagonali di cui è necessario controllare la posizione relativa;
- la correzione attiva per compensare le deformazioni meccaniche dovute all'enorme infrastruttura necessaria;
- la correzione adattiva per ottenere un reale guadagno in termini di risoluzione spaziale;
- le dimensioni degli strumenti che iniziano ad assumere proporzioni mastodontiche, a fronte dei limiti attuali imposti dalle massime dimensioni possibili degli elementi ottici quali lenti, specchi, reticoli, prismi;
- l'aumento delle aree di rivelazione e quindi la costruzione di mosaici di rivelatori sempre più grandi.

L'Italia dispone di capacità scientifiche e industriali sufficienti ad affrontare la competizione internazionale nel proporre soluzioni innovative per la realizzazione di E-ELT: sono allo studio tecnologie per la realizzazione di specchi leggeri a "stampo" per la produzione di massa degli specchi (INAF-OABrera), dei sistemi di ottica adattiva (INAF-Arcetri), come di tecnologie ottiche innovative per la realizzazione dei relativi strumenti,

quali i Volume Phase Holographic Gratings (INAF-Brera), gli Smart Focal Planes (INAF-OAPd, INAF-Brera) e nuovi rivelatori nella banda ottica e nel vicino infrarosso (INAF-OACT, INAF-OAPd, INAF-OAA, INAF-OARm).

Tecnologie ottiche innovative per strumentazione di piano focale

In linea di principio la dimensione degli strumenti di piano focale scala linearmente con il diametro del telescopio; tuttavia la realizzazione di simili strumenti è al di là delle attuali capacità tecnologiche. Da ciò deriva la necessità di individuare e sviluppare nuove tecnologie ottiche che permettano di superare questo ostacolo. Nel seguito citiamo quelle tecnologie allo studio in Italia che possono essere finalizzate a tale scopo.

- Reticoli olografici di volume (VPH): si tratta di un nuovo tipo di dispersori in grado di garantire un'altissima efficienza (sino al ~95%) nell'intervallo spettrale di interesse. Questi reticoli vengono "incisi" tramite olografia su gelatine dicromate, e poi vengono fissati tramite sviluppo chimico. Inoltre è possibile massimizzare l'efficienza ad una data lunghezza d'onda variando l'angolo di incidenza. Lo strato attivo è incapsulato tra due lastre piane che lo proteggono. Infine è possibile realizzare reticoli di grandi dimensioni sino a 40 cm di diametro, pur mantenendo assai ridotto il costo rispetto ai reticoli tradizionali. L'INAF-OABrera è coinvolto nello sviluppo di VPH per l'astronomia ed ha allo studio la caratterizzazione e definizione di dispersori adatti a strumentazione per E-ELT;
- Materiali fotocromici: questi materiali cambiano il loro spettro di assorbimento e quindi il loro colore tramite uno stimolo ottico. Tale fenomeno è reversibile e può essere usato proficuamente per la realizzazione di: (a) maschere riscrivibili di piano focale adatte alla realizzazione di spettroscopi multi-oggetto, (b) VPH infrarossi riscrivibili ed efficienti, superando i limiti imposti dalle attuali tecniche su gelatine dicromate, (c) filtri "adattabili" in funzione dell'angolo di incidenza ad alta efficienza (INAF-OABrera);
- Smart Focal Planes: uno dei grossi problemi da superare è come usare efficientemente la luce raccolta da E-ELT poiché le dimensioni tipiche dei piani focali (>2 m) impediscono soluzioni classiche. Una delle soluzioni in corso di studio prevede l'uso di sistemi di "pick-up" robotizzati in grado di raccogliere la luce degli oggetti sul piano focale e processarla automaticamente; alcuni sistemi invece prevedono di posizionare delle fenditure ad hoc sul piano focale; infine altre soluzioni si basano sulla replica di "image slicers" (INAF-OAPd).

Ottiche adattive e tecnologie correlate

La comunità INAF attiva nel settore delle tecnologie dei telescopi da terra, ha sviluppato una notevole competenza e know-how nell'ambito del settore dell'Ottica Adattiva. Questa è potuta maturare soprattutto nell'ambito dell'esperienza realizzativa del

Telescopio Nazionale Galileo (a cui hanno contribuito quasi tutti gli Osservatori Astronomici Italiani), dotato di ottica “Attiva”. La partecipazione all’implementazione del Large Binocular Telescope ha poi dato un impulso notevolissimo a questo settore. Questo livello di eccellenza è ampiamente riconosciuto a livello internazionale, sebbene stenti ancora a tradursi in risultati scientifici pienamente consistenti e prolungati nel tempo. In questo momento lo sviluppo di tecnologie per ottiche adattive ha un consistente impatto nell’area degli *Extremely Large Telescope* (con diametro molto maggiore di 8 m). Sebbene i processi realizzativi di telescopi di questa classe (ad esempio E-ELT) siano appena iniziati, e si svilupperanno su arco temporale che travalicherà sicuramente il triennio 2008-10, lo sviluppo delle tecnologie relative e la costruzione di strumentazione di tipo precursore su telescopi della classe degli 8 m, sono un biglietto da visita che l’INAF deve mantenere in forma in modo da presentarsi alla realizzazione di un ELT Europeo o di altra natura in cui l’Italia possa essere coinvolta, con un contributo di alto contenuto tecnologico.

Nell’ambito delle tecnologie correlate all’Ottica Adattiva, particolare importanza rivestono lo sviluppo di sensori di fronte d’onda, gli apparati per la generazione di sistemi di riferimento artificiali (“stelle laser”), oltre che lo sviluppo di specchi correttivi (chiamati generalmente “secondari adattivi”). In tutti questi ambiti l’INAF possiede una conoscenza ed uno sviluppo tecnologico che coinvolge soprattutto gli Osservatori di Arcetri, Padova, Brera e Bologna, con competenze che di fatto abbracciano quasi tutti i possibili diversi scenari di implementazione. E’ indispensabile che questa attività venga proseguita e supportata, sia per quanto riguarda il completamento e messa a punto dei progetti già in corso d’opera (sistema multiconiugato per VLT, sistemi a singola stella e multiconiugati per LBT, secondari adattivi per LBT), sia per futuri progetti che sono in via di definizione (secondario adattivo per VLT, ottiche adattive di seconda generazione per VLT e per LBT). Inoltre, è importante dare impulso a tecniche di nuova concezione (e quindi con un certo margine di rischio) che si profilano come contributi od esperimenti a sé stanti in vari telescopi (sistemi di cofasamento per il WHT, per il VLT, altri esperimenti di varia natura ad altri telescopi).

In particolare, tra gli aspetti tecnologici correlati all’Ottica Adattiva in corso di sviluppo in seno ad INAF che devono essere supportati e stimolati, si raccomanda:

- Lo sviluppo delle tecnologie per specchi deformabili di tipo sottile con attuatori a forza elettromagnetica, includendo lo sviluppo della componente ottica, la tecnologia innovativa di formatura “a caldo” (hot slumping) di shell sottili, attuatori e sensori capacitivi, elettronica e sistemi di controllo.
- Lo sviluppo di sensori di fronte d’onda di nuova concezione, in grado di osservare sia stelle naturali che riferimenti artificiali (anche in modo non convenzionale), e di ricavare informazioni non tradizionali come ad esempio lo sviluppo tridimensionale della turbolenza o lo sfasamento tra diversi settori dello specchio principale.
-

- L'ottimizzazione e la strategia osservativa per massimizzare il ritorno scientifico della strumentazione asservita da Ottica Adattiva, favorendo incontri, gruppi di lavoro, e workshop, sia in ambito nazionale che internazionale.

Rivelatori nella banda ottica

L'avvento di strumenti a grande campo quali i rivelatori delle camere LBC per LBT e Omegacam per VST (OARm, OAA, OAPd) richiede lo sviluppo di mosaici di detector ottici sempre più grandi. Diversi progetti sono nati all'interno degli osservatori per cercare di soddisfare i requisiti sopra citati:

- Realizzazione di circuiti ASIC per processare l'informazione analogica dai CCD verso un network basato su tecnologia FPGA. Ciò permetterà di controllare centinaia di CCD. Questa tecnologia risulta essere strategica nella realizzazione dei futuri strumenti a grande campo (OACt, OAA);
- Sviluppo di detector CMOS-APS per applicazioni che richiedono un'alta velocità di lettura aprendo allo studio astrofisico fenomeni fisici con tempo di vita inferiore al nanosecondo (INAF-OACt, INAF-OAPd, UniPd e INAF-IASFMi);
- Detector a conteggio di fotoni (SPAD) che combinano l'efficienza quantica del Silicio a un rapido tempo di lettura. (INAF-OACt, UniCt, INFN-Ct, INAF-OAPd e UniPd);
- Collaudo dei rivelatori a tecnologia 3LCCD per seguire il loro miglioramento tecnologico (INAF-OAPd)

Oltre alle sopra citate nuove linee di ricerca, INAF continua lo sviluppo di strumenti già esistenti come il rinnovamento del parco detector del TNG (INAF-OAPd & INAF-Brera & TNG).

Rivelatori NIR

I rivelatori nel vicino infrarosso usati al giorno d'oggi impiegano matrici di fotodiodi composte da diversi milioni di detector (principalmente basati sulla tecnologia HgCdTe). Purtroppo il costo di realizzazione risulta essere proibitivo limitando praticamente la dimensione massima dei detector a mosaico. Un'importante attività, portata avanti da diversi osservatori come INAF-OAA, INAF-OARm, INAF-Bo e INAF-Pd, è orientata allo sviluppo della camera infrarossa per LBC, alla manutenzione della camera infrarossa NICS al TNG e allo sviluppo dello strumento di seconda generazione per il TNG GIANO (come meglio dettagliato nella sezione progetti). Punti di forza di questi gruppi sono le competenze di criomeccanica, in alcuni casi anche di alta precisione, la capacità di progettazione di sistemi ottici spinti, e sistemi di acquisizione, che costituiscono in diversi casi il nostro contributo in collaborazioni internazionali.

Spettroscopia IR

La spettroscopia infrarossa è la tecnica più attraente per la ricerca di oggetti freddi (pianeti e piccoli corpi) vicino a stelle brillanti. E' inoltre la tecnica migliore per lo studio di regioni oscure, cores galattici, zone di formazione stellare e oggetti ad alto redshift. Per affrontare queste problematiche la richiesta di aumentare la risoluzione sia spaziale che spettrale è sempre più pressante, da questo la necessità di aumentare quanto più possibile l'area di rivelazione disponibile. Gli osservatori italiani sono coinvolti nello sviluppo di spettrometri infrarossi di ultima generazione come GIANO (TNG, INAF-OAA, INAF-OABo, INAF-OACt). In generale, date le dimensioni di questi strumenti, risulta essenziale che questi vengano realizzati in consorzi e fellowship, nazionali ed internazionali. Questo permette di concentrare i nostri contributi nelle aree in cui le competenze sono maggiori, e pertanto richiede che queste siano adeguatamente supportate.

Interferometria

L'interferometria nel vicino infrarosso e visibile offre, potenzialmente, la possibilità di ottenere una risoluzione angolare decisamente superiore a quella di telescopi individuali di data dimensione. Nel corso degli ultimi 15 anni, con l'attività di vari gruppi, una dozzina di interferometri per osservazioni astronomiche nel visibile e vicino infrarosso sono stati realizzati, passando dalla dimostrazione di principio alla realizzazione di misure astrofisiche. L'interferometria rappresenta quindi una potenzialità enorme in termini di risultati osservativi ottenibili, sebbene al momento confinati ad un ristretto numero di casi, il cui interesse e strategia per il ritorno scientifico non sono forse ancora ben consolidati nell'ambito della comunità INAF. Lo sviluppo di queste tecnologie riguarda soprattutto gli Osservatori di Torino, Padova, Bologna e Firenze, con collaborazioni di tipo scientifico che coinvolgono un numero per ora piuttosto ristretto di Istituti. Negli scorsi anni la comunità italiana, tramite OATo, ha contribuito alla realizzazione di FINITO per VLTi. L'Osservatorio Astrofisico di Arcetri è stato coinvolto nella realizzazione dello spettrografo di AMBER, che ha già cominciato a fornire le prime capacità significative di imaging. Successivamente, è stato fornito un contributo cruciale alla definizione progettuale ed allo sviluppo della coppia di Fringe Sensor Unit di PRIMA. In questo momento, il progetto ambizioso a cui la comunità italiana sta lavorando è sicuramente dato dall'esperimento LINC-NIRVANA, capace di combinare interferometricamente in configurazione Fizeau la radiazione elettromagnetica proveniente dai due specchi di 8.4 metri di diametro di LBT, che sarà ultimato nel biennio 2008-10 (OAA, OAPd, OABo, OARm).

Mentre le potenzialità dell'interferometria per le misure astronomiche rimangono estremamente promettenti, le problematiche già menzionate per l'Ottica Adattiva rispetto al loro reale utilizzo per la risoluzione di problematiche astrofisiche aperte sussistono in qualche modo anche per la strumentazione interferometrica. E' rimarchevole, ad esempio, che uno degli attuali obiettivi scientifici principali risolvibili con questo tipo di tecnologie, cioè lo studio dei fenomeni in atto al centro della nostra Galassia, sia rimasto

piuttosto trascurato da parte di gruppi INAF. Al fine di non confinare lo sviluppo di strumentazione interferometrica al mero interesse tecnologico, occorrerebbe cambiare in futuro questo stato di cose, favorendo la progettazione di strumentazione astronomica di tipo interferometrico solo dopo avere stabilito specifici *requirement* scientifici, in un processo *bottom-up* che coinvolga in modo sostanziale la comunità astrofisica. In definitive, si suggerisce:

- Il mantenimento dello sviluppo delle tecnologie di interferometria, che sostanzialmente si focalizzano sulla tecnica della misura di sfasamento, e la loro integrazione possibilmente in progetti di ampio respiro internazionale, in modo da consolidare e rafforzare il nostro know-how tecnologico in questo settore.
- Allo stesso tempo ravvivare il potenziale interesse della comunità scientifica ed eventualmente focalizzare gli sforzi tecnologici su uno o due progetti astrofisici aperti di particolare importanza.
- Tenuto conto del buon successo tecnologico della partecipazione italiana ai primi strumenti interferometrici per VLTi, si reputa importante partecipare attivamente allo sviluppo della relativa strumentazione di seconda generazione, cercando di allargare il contributo anche a sviluppi tecnologici affini, creando così le basi per una efficace sinergia tra i diversi gruppi attivi in questo settore strategico.

Si noti infine che l'utilizzo di telescopi di grandi dimensioni come E-ELT o i già disponibili collettori per luce Cherenkov di grandi dimensioni come MAGIC e HESS2, unitamente a rivelatori ultraveloci a conteggio di fotoni (SPAD), che combinano l'efficienza quantica del Silicio a un rapidissimo tempo di lettura, permetteranno studi allo stato dell'arte di High Resolution Time Astrophysics (HTRA) e, in prospettiva, applicazioni interferometriche di intensità (e non di fase), alla Hanbury Brown – Twiss, il cui principio è già stato provato con successo negli anni '60. In questa ricerca, supportata da ESO e OPTICON, è soprattutto coinvolta l'Università di Padova in collaborazione con OACT.

Tecniche polarimetriche

Il limite storico della polarimetria, sia fotometrica che spettroscopica, dovuto alla scarsa efficienza degli strumenti è oggi in parte superato nel caso dei telescopi di classe 4 metri per la comunità astronomica italiana, dato che il SARG del TNG è lo spettropolarimetro con la più alta risoluzione nel visibile e GIANO, in fase di realizzazione, avrà lo stesso primato nel vicino infrarosso. Relativamente ai telescopi di classe 10 metri, la comunità astronomica italiana può ottenere misure polarimetriche solo con FORS1 dell'ESO per cui non è competitiva nei confronti della comunità astronomica statunitense che investe largamente nella realizzazione di camere e spettrografi capaci di misure polarimetriche. In vista della realizzazione di telescopi di grandi dimensioni come LBT e E-ELT, si raccomanda di continuare lo sviluppo di tecniche polarimetriche per la strumentazione di piano focale.

Nuovi approcci realizzativi e metrologia di specchi leggeri

Come già menzionato, i futuri telescopi di grandissime dimensioni come E-ELT comportano che sia lo specchio primario (di 42 m) che il secondario adattivo (4.5 m) siano realizzati assemblando opportunamente un elevato numero di segmenti riflettenti, da produrre con processi industrializzabili ad alta ripetibilità. INAF (principalmente OABrera e OAArcetri) in collaborazione con ESO è coinvolto nello sviluppo di tecniche realizzative e dei relativi procedimenti metrologici ad hoc per queste applicazioni. A questo proposito, il triennio 2008-2010 si pone come fondamentale perché entro questo periodo ESO effettuerà il *trade-off* tra le diverse tecnologie proposte per la realizzazione degli specchi. Questa attività necessita quindi di un particolare sostegno nell'ambito INAF. In particolare, gli studi in atto riguardano:

- Lo sviluppo dei segmenti leggeri in SiC di forma esagonale con area di circa 1 m², per la realizzazione dello specchio primario di E-ELT. Tale tecnologia, alternativa all'attuale baseline basata sullo Zerodur, si pone come particolarmente interessante poiché permette di ottenere un consistente guadagno in termini di peso. A questa ricerca, svolta nell'ambito di un accordo con ESO in via di definizione, partecipano anche importanti partner industriali come Galileo Avionica e Bettini spa.
- Lo sviluppo di specchi sottili (qualche millimetro) deformabili realizzati per formatura a caldo tramite uno stampo riutilizzabile. Questa via si pone come alternativa al costoso e rischioso processo di assottigliamento mediante menisco degli specchi secondari usati per esempio nel caso di LBT. L'attività è svolta in collaborazione con ESO nell'ambito del progetto europeo OPTICON/FP6, e sta fornendo risultati molto promettenti.
- L'utilizzo della grande facility per "ion beam figuring" (2 m x 3 m) allestita da INAF presso OABrera per correzioni di estrema precisione in modalità "no-contact" dei segmenti riflettenti di specchio (sia primario che secondario) prodotti per E-ELT

Progettazione e implementazione di telescopi "ground-based"

Oltre all'applicazione di alcune delle tecnologie descritte su telescopi "ground-based" esistenti o progettati in buona misura da partner esteri e/o industriali, gli istituti INAF hanno sviluppato anche un'esperienza rilevante nel settore della progettazione di telescopi ex-novo. Alcuni telescopi ottici sono stati quasi interamente progettati da istituti INAF. La prima esperienza del genere è stata il Telescopio Nazionale Galileo, cui hanno contribuito in varia misura diversi Osservatori Astronomici italiani, seguita quindi dal VST progettato interamente da INAF attraverso l'Osservatorio di Capodimonte. Nell'ambito di tali progetti sono state sviluppate competenze variegate nel campo della progettazione dei sistemi di controllo, meccanica, ottica, elettrica ed elettronica. Per rimanere competitivi in ambito internazionale in questo settore, occorrerà potere mantenere il

know-how acquisito nell'ambito dei progetti menzionati. Va altresì sviluppata una capacità manageriale in grado di garantire una gestione ottimale dei futuri progetti.

TECNOLOGIE NELLA BANDA UV PER OSSERVAZIONI DALLO SPAZIO

Tecnologie di particolare rilevanza in questa banda riguardano lo sviluppo di componenti ottici e film multistrato "nanostrutturati" (per filtraggio della radiazione) e apparati di rivelazione per applicazioni di astronomia UV e EUV dallo spazio. Gli Istituti maggiormente coinvolti in questo ambito sono l'OACT, l'Università di Padova (Dipartimenti di Astronomia e Ingegneria Elettronica), IASF-Milano, OATs e, in misura minore, OABrera e IASF-Roma. Questo settore aveva ricevuto un notevole impulso nel contesto dello studio di fase A della missione UVISS (a bordo della stazione spaziale), ora però cancellata dai piani dell'ASI. D'altra parte ASI ed INAF avranno un'importante partecipazione al progetto WSO/UV, come previsto dal Piano Aerospaziale Nazionale 2006-2008. L'Italia parteciperà fornendo una serie di camere ottiche ed UV, basate su tecnologie già piuttosto consolidate. Nel panorama internazionale non sembra tuttavia che in tempi brevi siano previste altre missioni con una possibile partecipazione italiana. In ogni caso si ritiene importante che anche in questo settore, a cui l'astronomia italiana è tradizionalmente legata, le attività di R & D vengano proseguite.

Specchi e componenti ottici

E' in corso lo sviluppo di coating riflettenti e filtri a trasmissione e riflessione basati su film multilayer nanostrutturati. Dal punto di vista tecnologico questo tipo di film è particolarmente difficile da realizzare poiché basato su materiali binari (ad esempio film basati su LiF o Y_2O_3) difficili da crescere con la precisione stechiometria necessaria e con un alto rischio di interdiffusione e bassa durabilità (come già dimostrato da precedenti missioni nella banda UV).

Un altro campo di sviluppo riguarda la realizzazione di dispositivi ottici (specchi o lenti), con profilo fortemente asferico, da posizionare poco prima del rivelatore di piano focale, per potere ottenere una PSF corretta su ampi campi di vista (fino a $1^\circ \times 1^\circ$). A questo proposito, è già stato dimostrato come l'uso della tecnica dell'*ion beam figuring* possa essere particolarmente adatta per ottenere i profili richiesti.

Rivelatori "solar blind"

Da alcuni decenni i rivelatori CCD dominano la scena dei rivelatori utilizzati nell'astrofisica ottica ed UV. Nonostante il continuo miglioramento nel campo della tecnologia del silicio esistono alcuni campi di applicazione in cui tali dispositivi mostrano

dei limiti, in particolare quando è richiesta solar blindness (astrofisica UV) e/o risoluzione temporale (ottica adattiva) accompagnata da una elevata sensibilità e dinamica. Rivelatori che presentano caratteristiche molto interessanti per applicazioni nell'Astronomia UV sono i rivelatori al SiC (Carburo di Silicio), ricerca portata avanti da OACt. Questi detector sono fotodiodi insensibili alla luce visibile (solar – blind). Infatti, in quanto realizzati in SiC, un materiale che presenta una ampia gap, sono in grado di rilevare la radiazione di energia > 3.2 eV. Tali rivelatori sono quindi promettenti per le osservazioni di sorgenti luminose nella banda dell'UV senza utilizzo di ulteriori filtri che penalizzerebbero la trasmittanza nella banda luminosa di interesse. Sono già stati prodotti alcuni prototipi che mostrano caratteristiche molto promettenti. Una attività di R&D su questi rivelatori e sulla loro trasformazione in rivelatori del tipo a singolo fotone (SPAD), peraltro già pensata ed in progress, porterebbe ad un rivelatore molto promettente anche nell'astrofisica UV. A questo proposito, sono pure in corso ricerche riguardanti rivelatori basati su diamante sintetico. Questo materiale è infatti completamente solar-blind a causa del gap di 5.5 eV tra banda di conduzione e valenza, ed è quindi sensibile solo a radiazione di lunghezza d'onda inferiore a 230 nm circa. Tale sviluppo, in vista di possibili applicazioni in missioni spaziali, da INAF-OACt e le Università di Roma Tor Vergata, Firenze e Reggio Calabria.

ASTRONOMIA IN RAGGI X E GAMMA DALLO SPAZIO

Le tecnologie per strumentazione delle alte energie dallo spazio rappresentano un settore tradizionalmente molto importante per l'astronomia italiana, cresciuto e stimolato nei decenni passati grazie alla guida di scienziati dello spessore di Beppo Occhialini, Livio Scarsi e Pippo Vaiana. In INAF questo settore tecnologico, supportato principalmente da ASI, riguarda soprattutto gli Istituti IASF (ex CNR) di Bologna, Milano, Palermo e Roma e, a livello di Osservatori, OABrera e OAPa. Si noti che la riforma INAF ha portato l'effetto benefico di una piena sinergia e spirito di collaborazione tra gli Osservatori e gli istituti di provenienza CNR. Importanti sviluppi sono pure in corso presso l'Università di Ferrara, mentre sono in atto collaborazioni a livello tecnologico con l'INFN e il Politecnico di Milano. La Macro Area scientifica di riferimento è senza dubbio MA4, anche se spesso ricercatori provenienti da MA1 e MA2 concorrono alla definizione dei *requirement* scientifici dei nuovi strumenti. Le particolari criticità che riguardano questo settore sono collegate alla drastica diminuzione negli ultimi anni dei finanziamenti da parte ASI specificamente indirizzati alle ricerche R & D. Inoltre il numero di ricercatori (giovani e non più giovani) precari coinvolti è molto elevato. Dopo avere portato a termine con pieno successo la missione BeppoSAX, la comunità italiana ha contribuito in modo sostanziale alla realizzazione delle missioni XMM-Newton, SWIFT e INTEGRAL, e ha fornito anche un significativo contributo alla realizzazione del payload di Chandra. Gli obiettivi delle attività previste nel triennio 2008-2010 mirano allo sviluppo di tecniche realizzative per le ottiche delle future missioni per raggi X SIMBOL-X (in collaborazione con il CNES, unica missione di alta energia già selezionata da ASI per uno studio di fase A), Estremo/EDGE e Gamma Ray Imager (queste ultime da proporre,

nel contesto di collaborazioni internazionali, in risposta la bando *Cosmic Vision* di ESA per le missioni del decennio 2015 – 2025). Inoltre, ASI e INAF parteciperanno insieme all'agenzia spaziale Cinese alla missione HXMT, con un telescopio polarimetrico a focalizzazione e contribuendo anche alla realizzazione dei rivelatori di tipo phoswitch (simili a quelli usati per l'esperimento SAX-PDS) in grado di completare una all sky survey ad alta sensibilità nella regione dei raggi X duri. Non è invece chiaro quale potrebbe essere l'eventuale contributo tecnologico di INAF e delle industrie italiane alla realizzazione del payload della missione di classe "extremely large" XEUS, avendo ESA avvocato a se le attività relative alle ottiche e non essendo stati, di fatto, finora coinvolti ricercatori italiani in settori chiave dello sviluppo dei rivelatori del piano focale.

Ottiche per raggi X

Nel settore tecnologico delle ottiche per raggi X l'Italia ha conquistato una posizione di eccellenza riconosciuta internazionalmente. La competenza è in particolare concentrata presso l'OABrera, con importanti attività in atto anche da parte dello IASF-Palermo (soprattutto per la parte di ray-tracing), IASF-Milano (per la realizzazione di strutture meccaniche) e di OAPa (che mantiene una propria linea di ricerca indirizzata alle ottiche "high throughput" in materiale plastico). Tali attività, condotte principalmente sulla base dell'esperienza precedentemente maturata presso l'Istituto IFCTR/CNR di Milano (ora INAF-IAF-Mi), coinvolgono anche una serie di piccole-medie industrie ed hanno portato alla messa a punto del processo di produzione per replica tramite elettroformatura di Ni con cui sono state realizzate le ottiche con *coating* riflettente in Au dei satelliti Beppo-SAX, JET-X/Swift ed XMM-Newton. La produzione delle ottiche di XMM-Newton è stata affidata da ESA alla ditta Media Lario Technology di Bosisio Parini (Co), sostanzialmente nata da attività di spin-off di Istituti poi confluiti in INAF. ASI, tramite OABrera, ha fornito il modulo ottico per il telescopio per raggi X a bordo della missione Swift per lo studio dei *Gamma Ray Bursts*. Un notevole punto di forza raggiunto in questo settore è l'ottima interazione e collaborazione che si è instaurata con partner industriali quali la già citata Media Lario Technology, Galileo Avionica, Bettini spa per citare solo le principali. I maggiori obiettivi del triennio sono descritti di seguito:

- Sviluppo di specchi per raggi X duri con copertura multilayer: l'attività, che mira all'implementazione di ottiche elettroformate in Ni con coperture riflettenti interferenziali per la focalizzazione dei raggi X duri (tra 10 e 80 keV), riguarda soprattutto il consolidamento della tecnologia per il modulo ottico di Simbol-X, ed in particolare, attività di design, studi per migliorare la ripetibilità dei processi di superpulitura dei mandrini di replica e del deposito dei film multilayer. Questa attività, coordinata da OABrera e che coinvolge anche IASF-Mi, IASF-Pa e IASF-Bo, è specificamente menzionata nei nuovi documenti relativi al Piano Spaziale Nazionale e Piano Triennale di ASI per il periodo 2006-2008.

- Specchi leggeri in SiC a profilo polinomiale e largo campo per il telescopio ad alto "imaging" di EDGE/Estremo: in questo caso si tratta di consolidare le tecniche realizzate studiate alcuni anni fa da OABrera per lo studio di fase A della missione WFXT, ricreando una linea di produzione che sia pienamente disponibile in Italia per la produzione delle *shell* in SiC, oltre che lo sviluppo di coating riflettenti per raggi X soffici (0.5 – 6 keV) basati su due o più strati riflettenti (ad esempio Ir + C). OAPa opera la facility per raggi X XACT, particolarmente adatta alla misura di riflettività nella regione dei raggi X soffici di questi coating binari o a multistrato.
- Sviluppo di specchi a segmenti ultraleggeri mediante tecniche di "cold slumping": presso OABrera-INAF è in corso un approccio innovativo per la produzione di specchi radenti a focale molto lunga (>20 m) e ampio raggio di curvatura (> 1 m), del tipo di quelli che potrebbero essere usati su missioni della stessa classe di XEUS. In questo caso, i segmenti di mirror shell con profilo Wolter I vengono ottenuti tramite formatura a freddo di fogli sottili in vetro (dello spessore di 0.2 mm o meno) e poi opportunamente assemblati tramite l'incollaggio di costole di rinforzo, fino a formare strutture molto stabili e dotate di caratteristiche di *imaging* molto buone (l'obiettivo è qualche secondo d'arco HEW).
- Ottiche "high throughput" basate su supporto in materiale plastico: OAPA-INAF (Palermo) collabora con lo Smithsonian Astrophysical Observatory in un promettente programma di ricerca mirato allo sviluppo di ottiche ad incidenza radente basate su materiali plastici per la realizzazione delle mirror shell. Questo approccio consente di realizzare telescopi leggeri e ad alta area di raccolta, seppure a risoluzione angolare moderata (alcuni arcmin) adatti per esperimenti di spettroscopia X e timing. A questo proposito, OAPa opera la facility XACT per lo sviluppo, il test e la calibrazione di strumentazione a raggi X, già ampiamente utilizzata nei programmi Chandra, XMM-Netown, JET-X e Hinode/Solar-B, dotata tra l'altro di una linea a raggi X in vuoto della lunghezza di 35 metri e particolarmente utile per il test delle ottiche per raggi X ad incidenza radente *high throughput* basate su supporto in materiale plastico, in corso di sviluppo.

Ottiche per raggi Gamma basate su cristalli naturali

Ad energie superiori ad 80 keV, dove anche i multilayer diventano inefficaci a causa dei piccolissimi angoli necessari per rendere possibile una riflessione efficiente, una tecnica competitiva per la focalizzazione dei fotoni è data dalla diffrazione da cristalli a mosaico in geometria Bragg (riflessione) o Laue (trasmissione). Presso l'Università di Ferrara e IASF-Bologna è in corso da vari anni uno studio di fattibilità per la realizzazione di telescopi per raggi X duri con cristalli a mosaico sia in configurazione a riflessione ("alla Bragg") che trasmissione ("alla Laue"). Particolarmente promettente è a questo proposito l'uso di cristalli di rame con struttura microscopica "a mosaico", sviluppati nell'ambito di una collaborazione tra l'Università di Ferrara e l'Istituto ILL di Grenoble (Fr). Tali attività sono molto importanti in vista della missione Gamma Ray Imager, che propone l'uso di una lente focalizzante con banda operativa tra circa 100 keV e un

1 MeV. Garantire un andamento dell'area efficace sufficientemente continuo in una banda così ampia è una sfida tecnologica e di design che deve essere risolta nei prossimi anni. Tale ricerca è supportata sia da ASI che da ESA con progetti di ricerca da hoc. Si noti che il test delle ottiche di cui sopra è tra gli aspetti più importanti di tale sviluppo. Per questo motivo è attualmente in atto presso l'Univ. di Ferrara l'allestimento di una *facility* (LARGe Italian X-ray facility, LARIX) in grado di calibrare ottiche con fascio "*full illumination*" ad energie variabili da circa 10 keV fino a circa 600 keV.

Rivelatori X e Gamma con cristalli scintillatori e fotodiodi a bassissimo rumore di lettura

Questo progetto, portato avanti principalmente da ricercatori di IASF-Bo e IASF-Mi ha come obiettivo lo sviluppo di rivelatori di raggi X e gamma basati sull'impiego di scintillatori e fotodiodi a bassissimo rumore quali le *Silicon Drift Chambers* (SDC). Nell'ambito di questa ricerca è nata un'importante collaborazione con il Politecnico di Milano e l'istituto MPE di Garching. Si intendono realizzare i seguenti prototipi per impiego in missioni spaziali di Astronomia X e gamma di prossima generazione: (a) un modulo rivelatore gamma (30-5000 keV) segmentato che risulti position sensitive con elettronica di lettura ad alta integrazione basata su ASICs; (b) un rivelatore position sensitive con energia estesa verso il basso (1-1000 keV); (c) un ASIC "*general purpose*" da utilizzare come front-end elettronico. ASI sta finalizzando un progetto di ricerca ad hoc per supportare questo tipo di ricerca.

Rivelatori a semiconduttore innovativi per telescopi X-gamma

L'utilizzo di tecniche di focalizzazione che in Italia si stanno sviluppando con la tecnologia degli specchi multilayer (OAB) per energie da 10 a 80/100 keV e delle lenti di Laue a larga banda (Università di Ferrara e IASF-BO) per l'intervallo 60-600 keV richiede lo sviluppo (portato avanti principalmente presso IASF-Bo e IASF-Pa) di strumentazione di piano focale ad alta efficienza, elevate prestazioni spettroscopiche e buona risoluzione spaziale come quella realizzabile con semiconduttori a temperatura ambiente come CdTe e CZT. I due tipi di 'ottica' hanno requisiti diversi sui rivelatori di piano focale, ma ci sono alcune problematiche comuni alle quali si cercherà di rispondere con diverse tecnologie possibilmente nazionali, quali: (a) Sviluppo di tecnica epitassiale per realizzare giunzioni p-n su cristalli di CdTe; (b) Studio di configurazioni di elettrodi per migliorare la raccolta di carica; (c) Sviluppo di metodi di analisi dei segnali per la compensazione del trapping in rivelatori di CdTe/CZT. Anche in questo caso si menziona l'importante collaborazione in atto con il Politecnico di Milano per lo sviluppo di ASIC.

Sviluppo di nuovi rivelatori ad immagine per strumenti a grande campo

Con riferimento al paragrafo precedente, è previsto inoltre lo sviluppo di rivelatori CZT, da produrre in Italia, da utilizzare in strumenti di Astronomia spaziale a largo campo in X e Gamma di nuova generazione allo scopo di mantenere la posizione di eccellenza conquistata dall'Italia con SAX, XMM ed INTEGRAL. In questo caso, si è avviata una collaborazione con l'Istituto IMEM-CNR di Parma che, allo scopo, ha avviato una linea di produzione di cristalli CZT con procedure ottimizzate in casa. I rivelatori saranno qualificati (IASF-Bo, Pa) e dotati di elettronica di read out dedicata analogica e digitale (IASF-Milano, che coordina questo programma), ottimizzati per le prossime missioni X-Gamma (IASF-Roma) con supporto industriale per il Front End Analogico (Alcatel-Alenia Spazio (ex Laben) e un'ampia analisi di mercato (Venezia tecnologie (ENI)). Si pensa inoltre di organizzare una o più campagne su palloni stratosferici per la verifica dei prototipi.

Va pure menzionato che lo sviluppo della missione AGILE ha fornito esperienza e strumentazione su rivelatori a semiconduttore di tipo Si microstrip e annessa elettronica VLSI (ASIC). Il gruppo H/W (IASF Rm, Bo e Mi, INFN Ts e Mi) intende estendere l'esperienza acquisita a nuove missioni (e.g., PHAROS, SIMBOL-X, ESTREMO, NASA/MIDEX). Queste ricerche si orientano in 2 linee principali: All Sky Monitor nella banda 5-50 keV, sull'esperienza SuperAGILE, SA; Compton Telescope – CT, nella banda 0.1-10 MeV, sull'esperienza AGILE/GRID. Il progetto ASPEX (PRIN INAF), è un follow-up a SA: circa lo stesso design di SA può risultare in un esperimento molto più sensibile agendo sulle caratteristiche dei rivelatori, degli ASIC di Front-End, e sulla geometria del campo di vista. Ulteriori sviluppi possono anche essere ottenuti attraverso lo studio di nuovi rivelatori, e.g., GaAs o diamante.

Entrambi gli approcci riportati in questo paragrafo si prestano alla realizzazione del monitor per Gamma Ray Burst da installare a bordo di Estremo/EDGE.

Polarimetria in raggi X

La polarimetria, rimasta finora quasi del tutto inutilizzata in Astronomia X, ha invece, secondo le previsioni teoriche grandi prospettive: i processi di emissione sono spesso non termici, i plasmi non sferici, i campi gravitazionali e magnetici intensi. Sono anche possibili effetti di gravità quantistica. L'interesse della comunità scientifica si è di nuovo coagulato attorno al 'break-through' dovuto al recente impiego della microelettronica: la tecnica del polarimetro fotoelettrico per piano focale è stata inventata in Italia dallo IASF-Roma e dall'INFN di Pisa ed è la convergenza di attività più che decennali di studi sulla polarimetria X e sui rivelatori a pixel nella banda dei raggi X molli. Questa attività di sviluppo si sta concretizzando nella realizzazione di un telescopio polarimetrico da ospitare a bordo della missione Cinese-Italiana HXMT. IASF-Roma e OABrera stanno collaborando al design dei due moduli ottici che saranno utilizzati per la focalizzazione su due rivelatori polarimetrici distinti.

Oltre che a bordo di HXMT, l'uso di rivelatori polarimetrici è attualmente considerato anche per missioni quali POLAR-X, SIMBOL-X, ESTREMO, XEUS. L'attività di strumentazione prevede la realizzazione di un prototipo di rivelatore fotoelettrico per impieghi spaziali e l'ASI sta finalizzando un contratto con INAF specificamente indirizzato a questo scopo.

Per quanto riguarda la banda dei raggi X duri/Gamma molli verranno studiati polarimetri Compton suddivisi a doppia fase, ideati allo IASF-Roma, che prevedono l'impiego di materiali attivi a basso Z (fibre scintillanti, rivelatori 2-D al diamante CVD o microstrisce al silicio) e materiali assorbitori veloci ad alto Z (YAP, GSO) per esperimenti di grande area su pallone di lunga durata. Parallelamente verrà proseguito e ampliato, anche mediante l'utilizzo di codici numerici, l'aggiornamento delle aspettative teoriche della polarizzazione X prevista da stelle magnetiche di neutroni in accrescimento, da binarie X di piccola massa, da sorgenti galattiche auto-assorbite e da AGN.

Microcalorimetri per spettroscopia non dispersiva ad altissima risoluzione

Questo progetto ha come obiettivo lo sviluppo di microcalorimetri criogenici per raggi X ad altissima risoluzione spettrale ($E/\Delta E \sim 1000-3000$), alto rateo di conteggi (300 cts/s per pixel) e capacità di imaging (1000 pixel) per la realizzazione di missioni e strumentazione per l'Astrofisica e Cosmologia in raggi X. È prevista la continuazione dello sviluppo dei microcalorimetri di nuova generazione a transizione di fase superconduttiva TES e lo studio delle potenzialità dei microcalorimetri magnetici (IASF-Roma, Univ./INFN Ge, IFN-CNR, Roma), e le attività di miglioramento dei microcalorimetri con sensore resistivo a semiconduttore di tipo Germanio NTD (OAPA e Univ. Palermo). Le linee guida di sviluppo tecnologico sono simili e volte a migliorare la risoluzione energetica, rendere i dispositivi più veloci, realizzare matrici con un grande numero di pixel, ottimizzare le tecniche costruttive per ottenere rivelatori robusti ed affidabili e ottenere migliori performance nelle tecniche criogeniche associate (si veda il paragrafo dedicato alla criogenia nella sezione delle tecnologie trasversali). Si noti che le attività di sviluppo di microcalorimetri TES si sono particolarmente consolidate, sia in ambito nazionale, ma anche attivando collaborazioni a livello europeo, e sono mirate ad una prospettiva di utilizzo su future missioni quali ESTREMO/EDGE e, possibilmente, XEUS.

ASTRONOMIA NEI RAGGI GAMMA DI ALTISSIMA ENERGIA E RAGGI COSMICI

Sviluppi tecnologici legati alla realizzazione di telescopi Cherenkov

L'astronomia gamma ad energia molto elevata (*Very High Energy*, VHE), tra 0.1 e 100 TeV, ha raggiunto negli ultimi anni risultati davvero importanti, con profonde e sorprendenti implicazioni sui modelli teorici e meccanismi di emissione in atto nelle

sorgenti osservate. In particolare, i dati forniti dai telescopi Cherenkov di ultima generazione come HESS e MAGIC (quest'ultimo esperimento portato avanti da un consorzio europeo con un forte coinvolgimento dell'INFN) hanno rivelato un cielo ricco di diverse morfologie da studiare, aprendo una nuova banda osservativa di estremo interesse. Come è noto, un fotone gamma nella regione dei TeV crea uno sciame che inizia a circa 10 Km di altezza e si propaga a cascata generando un cono di luce Cherenkov di circa 1 deg di ampiezza. Tale cono proiettato sul terreno assume una dimensione di circa 120 metri, mentre la durata dell'emissione luminosa è di 3-4 ns ed è raccolto dall'array di telescopi, che hanno tipicamente un campo di vista di 1-3 gradi e un'ampia area di raccolta (nel caso di HESS si tratta di 4 telescopi di 8 m in diametro, mentre MAGIC è al momento basato su un unico telescopio di 17 m in diametro). Fino a questo momento INAF non è stata coinvolta in questi due grandi esperimenti, anche se occorre menzionare l'importante partecipazione dello IASF-Pa nella realizzazione dell'esperimento path-finder GAW, che prevede l'uso di telescopi a largo campo basato su lenti di Fresnel. Sia HESS che MAGIC saranno presto completati con altri telescopi (HESS II e MAGIC II) che permetteranno di migliorare la sensibilità. Inoltre, un consorzio di istituti europei (gli stessi di HESS e MAGIC – in questo caso in cooperazione) intende proporre nell'ambito del programma quadro europeo FP7 il nuovo grande progetto di array di telescopi Cherenkov CTA (Cherenkov Telescope Array), che dovrebbe consentire di portare il catalogo di sorgenti osservate nella regione VHE dalle attuali poche decine fino ad alcune migliaia.

L'interesse della comunità INAF a partecipare sia alla realizzazione che all'analisi dei dati scientifici prodotti dai nuovi esperimenti è molto alta. Al fine di meglio individuare e massimizzare le prospettive di potenziali partecipazioni a questi progetti, INAF ha formato un Working Group che ha svolto le proprie attività nel periodo maggio-ottobre 2006, producendo un documento in cui sono indicate alcune linee guida, presentate durante un workshop di settore svoltosi presso la sede centrale dell'Ente alla fine di ottobre 2006. Inoltre un progetto supportato da fondi PRIN-INAF, dal titolo "*Scientific support and technological developments for international Cherenkov Telescopes projects*", coordinato da IASF-Pa ma che vede la partecipazione di IASF-Pa-Rm-Bo, di IFSI-To e degli OABrera e OA Arcetri, oltre che di diversi ricercatori universitari, è stato attivato nell'agosto 2006. In questo ambito, i seguenti sviluppi tecnologici si pongono come particolarmente interessanti:

- Specchi: OABrera, in collaborazione con la ditta Media Lario, è impegnato nello sviluppo di specchi innovativi in vetro sottile, irrigiditi applicando sul retro una struttura "honeycomb", utilizzando una tecnica di replica denominata "cold slumping". Tale approccio è particolarmente vantaggioso perché permette una produzione di volume industriale con costi e pesi contenuti. Tale processo risulta particolarmente attraente in vista della realizzazione degli specchi di MAGIC 2 con una possibile diretta partecipazione di INAF, ed, in prospettiva, per la realizzazione degli specchi di CTA. A tal proposito, su invito di INFN, tre prototipi di pannelli realizzati con la nuova tecnologia sono stati montati su MAGIC all'inizio del 2007, per testarne le performance e verificare la resistenza agli agenti atmosferici, nella prospettiva di una loro implementazione su

MAGIC II.

- Disegno e sviluppo di tecniche di focalizzazione a largo campo: nell'ambito del progetto GAW, presso IASF-Pa è in atto un'attività mirata allo sviluppo di telescopi Cherenkov non convenzionali basati su lenti di Fresnel a largo campo. Telescopi di dimensioni minori, ma con campo di vista maggiore, potrebbero essere implementati su CTA, ponendoli nelle regioni più esterne dell'array, come complemento ai telescopi ad area maggiore posti al centro della matrice. Ciò permetterebbe, tramite l'uso di un campo di vista più elevato, l'osservazione di oggetti transienti e la scansione di ampie zone di cielo.
- Tecniche di rivelazione innovative: presso IASF-Pa sono in atto sviluppi mirati all'uso della tecnica di "*single photoelectron counting*" (SPC) in alternativa all'integrazione della carica usata finora per operare l'array di fotomoltiplicatori che formano i piani focali dei telescopi Cherenkov. Il vantaggio di lavorare in configurazione SPC si basa sul fatto che il rumore elettronico e le variazioni di guadagno dei fototubi sono trascurabili, permettendo di lavorare a soglie più basse e migliorando quindi la sensibilità. In alternativa, è di grande interesse lo sviluppo di rivelatori al silicio in corso presso OACt in collaborazione con l'industria ST. Questi rivelatori chiamati "Single Photon Avalanche" (SPAD), sono intrinsecamente digitali, molto veloci e semplici da pilotare. La lettura impegna poche decine di nanosecondi per fotone ed è in parallelo per tutti i pixel ed il modo di funzionamento a conteggio di fotoni permetterebbe l'osservazione di deboli sorgenti senza introdurre alcun rumore di lettura.
- Ricercatori INAF partecipano ai diversi WG tecnologici per lo studio di implementazione del progetto CTA ed, in particolare, oltre a quelli degli specchi e rivelatori anche a quelli dedicati a software e data base (OARm e OABrera) e alla ricerca del sito ottimale (OABologna).

Sviluppi tecnologici legati ad esperimenti per lo studio dei Raggi Cosmici

Oltre alle tecniche di rivelazione in corso di sviluppo presso IASF-Pa già menzionate per i telescopi VHE Gamma, altre Strutture INAF sono fortemente coinvolte in esperimenti internazionali mirati a misurare lo spettro della radiazione cosmica su un ampio intervallo spettrale. IFSI-To, in particolare, ha partecipato all'esperimento EASTOP (10^{13} - 10^{16} eV) ed attualmente partecipa a Cascade Grande (10^{14} - 10^{18} eV) e (come pure IASF-Pa) al progetto Pierre Auger Observatory (5×10^{18} - 10^{21} eV) in cui, dal punto di vista tecnologico, parte dell'attività del gruppo è dedicata allo studio ed ampliamento della dinamica dei rivelatori di superficie e del trattamento dei segnali generati nei rivelatori molto vicini al core dello sciame. IFSI-To è inoltre impegnato:

- a) nello sviluppo di rivelatori liquidi a scintillazione drogati con elevate concentrazioni di metalli pesanti allo scopo di migliorare la risposta alla cattura neutronica e quindi la sensibilità ai diversi canali di interazione neutrinica;

- b) nello sviluppo di nuovi rivelatori RPC (Resistive Plate Chambers) in vetro di grandi dimensioni da utilizzarsi in esperimenti di fisica nucleare agli acceleratori o in fisica cosmica. L'obiettivo è quello di ottenere rivelatori più economici degli attuali RPC in bakelite, con migliori caratteristiche di omogeneità e facilmente producibili in serie per rivelatori di grandi dimensioni;
- c) nel progetto e realizzazione di fotorivelatori gassosi con elevate sensibilità nella regione UV compresa tra 100-200 nm da utilizzare in rivelatori criogenici del tipo Time Projection Chambers che utilizzano nel volume sensibile gas nobili liquefatti quali Argon e Xenon in doppia fase.

TECNOLOGIE PER LO STUDIO DEI PIANETI NEL NOSTRO SISTEMA SOLARE

Nel campo della planetologia, ci sono vari aspetti tecnologici di punta che hanno permesso e permetteranno in futuro all'INAF di partecipare attivamente a numerose importanti missioni ESA e NASA, dettagliate nella sezione curata dalla Macro Area 3. La strumentazione è molto dipendente dalla particolare missione spaziale. Le eccellenze sperimentali in questo settore rappresentano una risorsa preziosa da sviluppare e supportare.

Esperimenti "Ground based"

Per questi esperimenti la tecnologia è analoga a quella degli altri telescopi e rivelatori ottici da terra.

Sviluppo di strumentazione di laboratorio per test a terra di payload progettati per misure di plasma in situ

Presso IFSI-Rm sono in via di sviluppo due camere da vuoto equipaggiate con sorgenti di plasma per condurre prove funzionali e calibrazioni su prototipi di sensori di plasma spaziale:

- camera per lo sviluppo di tecnologie legate a sensori di plasma spaziale, per la validazione dei criteri progettuali e la calibrazione di prototipi da volo.
- camera a plasma per la simulazione in laboratorio dell'ambiente ionosferico e magnetosferico, per calibrazione di strumenti da volo e test di compatibilità con il plasma ambiente.

Remote Sensing da un satellite orbitante o da una navicella spaziale

Le tecnologie importanti alla base delle future missioni spaziali riguardano:

- Strumenti in grado di fare spettroscopia a media ed alta risoluzione nel visibile e nell'IR. Presso IFSI-Rm c'è la capacità di progettare, costruire e provare interferometri che operano da satellite (come per Cassini, Rosetta, Mars Express, Exomars, Venus Express, missione Dawn della NASA); in collaborazione con IASF-Rm si stanno preparando strumenti che studiano l'atmosfera di Giove (esperimento Juno). L'esperimento SIMBIO-SYS (ASI), sulla missione spaziale Bepi-Colombo è realizzato dall'agenzia in forte sinergia con OACapodimonte, e l'Università Parthenope di Napoli e l'Università di Padova. La complessità degli esperimenti rende necessario sviluppare in laboratorio i prototipi degli esperimenti, lasciando all'industria la fase realizzativa della strumentazione di volo.
- Camere (anche in configurazione "stereo"). Gli Osservatori di Capodimonte e di Padova sono responsabili della realizzazione di una stereo camera ed una camera ad alta risoluzione di nuova concezione per la missione spaziale ESA-JAXA BepiColombo. La progettazione termomeccanica e ottica delle due camere è realizzata in collaborazione con l'Università di Padova.
- Strumenti per la misura di atomi neutri energetici sono oggetto di studio e realizzazione da parte dell'IFSI-Rm. L'IFSI-Rm ha già sviluppato TOF electronics, EGSE, meccanica, e real time data visualization di ASPERA-3 (MarsExpress) e ASPERA-4 (VenusExpress) attualmente operativi. Recentemente l'ESA ha selezionato l'innovativo strumento ELENA (Emitted for Low Enegetic Neutral Atoms) proposto dall'IFSI-Rm per la missione BepiColombo per Mercurio nell'ambito del package di strumenti di particelle SERENA, di cui l'IFSI-Rm ha la PI-ship e il compito di realizzare la DPU.
- Diffrattometri X per lo studio della composizione elementare di campioni marziani per la missione Exomars (Univ. di Pescara).

Strumentazione "in situ" per la rivelazione di polvere

Rivelatori di polvere cometaria, interplanetaria e in atmosfere planetarie sono a bordo di missioni in corso (GIADA su Rosetta), sono inserite in payload per missioni ESA in fase di realizzazione (MEDUSA su ExoMars) oppure sono in fase di studio (DIAMOND per la missione russa Phobos, DARLING per la Stazione Spaziale, missione ESA DUNE). Altre attività connesse prevedono la raccolta e analisi sistematiche di polvere presente nella stratosfera terrestre. In queste attività sono particolarmente attivi l'OACapodimonte e l'Università Parthenope di Napoli, in collaborazione con partner internazionali. Il know-how sviluppato presso OACapodimonte sta portando a promettenti spin-off nel settore del monitoraggio atmosferico e ambientale.

Gravitazione sperimentale

L'Italia ha una lunga tradizione di utilizzo di sonde interplanetarie, o dedicate, per esperimenti di gravitazione. In questi esperimenti si utilizzano i sistemi di bordo della sonda per misure dinamiche di estrema precisione, sia per misurare il campo gravitazionale planetario (informazioni sulla composizione interna, risposta di satelliti a sollecitazioni mareali) che per misure di effetti relativistici. Da un punto di vista strumentale, questo richiede competenze riguardo a strumentazione radio di alta precisione, accelerometria, e sensori gravimetrici. Le attività sono condotte, spesso in collaborazione con l'INFN, in particolare presso l'IFI-Rm.

TECNOLOGIE PER LO STUDIO DEL SOLE E DEL PLASMA INTERPLANETARIO

Telescopi solari “ground based” nelle bande ottica e IR

L'Italia ha una grossa esperienza nella realizzazione di spettrometri interferometrici, che ci pone a livelli di eccellenza internazionale. Questi strumenti consentono di ottenere immagini ad alta risoluzione spaziale e spettrale, risolvendo in dettaglio i profili delle righe fotosferiche e consentendo di studiare moti meridionali, oscillazioni in regioni solari sia quiete che attive. La possibilità di scansioni veloci è essenziale sia per avere una relativamente alta risoluzione temporale della dinamica delle regioni attive, che per utilizzare tecniche di ottica adattiva e correzione dinamica del seeing, per un'elevata risoluzione spaziale.

Presso l'OAA sono stati realizzati diversi strumenti, con il contributo di UniFi e UniRoma “Tor Vergata” (CCD), come lo spettrometro bidimensionale IPM, basato su un filtro birifrangente con risoluzione ($I/DI=200.000$), in uso dal 1996 al THEMIS, e lo spettrometro IBIS, un imager bidimensionale con $I/DI=200.000$ basato su un doppio interferometro di Fabry-Perot, attualmente operativo presso il Dunn Solar Telescope dell'Osservatorio di Sacramento Peak. IBIS presenta un'elevata trasparenza, che consente, con tempi di esposizione di 30-50 ms, di utilizzare tecniche di correzioni del seeing, e raggiungere, con il sistema di Active Optics presente, risoluzioni di 0.2 arcsec. Di recente è stata implementata la possibilità di utilizzarlo come spettropolarimetro, mentre sono in progetto upgrade per aumentarne il campo di vista e per correzione del seeing con la tecnica della phase diversity.

I gruppi elencati sono interessati a partecipare con uno strumento di piano focale ai grandi telescopi solari attualmente in fase di sviluppo: ATST (Advanced Technology Solar Telescope) ed EST (European Solar Telescope). ATST è un telescopio solare di nuova generazione, attualmente in fase avanzata di progetto negli Stati Uniti, la cui prima luce è prevista per il 2012. Dotato di uno specchio con diametro di 4m, esso permetterà di risolvere strutture sulla superficie solare con dimensioni fino a 20 Km. EST (European Solar Telescope) è un telescopio solare di grande apertura, intorno alla cui

eventuale costruzione si sta attualmente raccogliendo interesse da parte di alcuni paesi europei.

Lo strumento proposto è uno spettro-polarimetro bidimensionale nel VIS-NIR per la misura ad altissima risoluzione spettrale, spaziale e temporale della dinamica e del campo magnetico solare. Uno dei punti più critici di uno strumento di questo tipo riguarda la corretta valutazione degli effetti spettrali e di imaging prodotti dai difetti di lavorazione delle lamine dei Fabry-Perot. E' stato recentemente effettuato uno studio sulle deformazioni meccaniche e termiche di interferometri di grandi dimensioni (diametro 150 mm). Nei prossimi anni si prevede di affrontare il problema sia dal punto di vista sperimentale, misurando in laboratorio le deformazioni del fronte d'onda prodotte da un interferometro di caratteristiche note, sia dal punto di vista teorico, sviluppando un software di simulazione, per individuare le migliori soluzioni di progetto per uno strumento che rappresenti lo stato dell'arte nel campo dell'interferometria bidimensionale.

Altri campi di competenza riguardano spettrometri bidimensionali magneto-ottici (strumento VAMOS, OA di Capodimonte), e piccoli strumenti di monitoraggio fotosferico. L'OATs ha una lunghissima esperienza nel campo dei radiospettrometri a bassa frequenza (< 1 GHz) per monitoraggio di flares.

Remote-sensing dallo spazio e strumentazione “in-situ”

La misura di righe coronali nel lontano UV è essenziale per ottenere informazioni dirette sul campo magnetico coronale, attualmente non conosciuto, e per misure di abbondanza dell'He. L'OATo, in collaborazione con l'Università di Padova (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione) ha particolari competenze riguardo la progettazione e lo sviluppo di ottiche multistrato, per ottenere specchi multibanda, e quindi sistemi in grado di operare dall'estremo UV al visibile con le medesime ottiche, modulatori elettroottici a cristalli liquidi, reticoli a passo variabile. Queste competenze sono essenziali per la realizzazione di sistemi compatti ed affidabili, con un numero minimo di componenti mobili, e sono attualmente impiegate nella realizzazione di un coronografo nell'estremo UV (SCORE) per la missione spaziale Herschel. In prospettiva consentiranno la partecipazione alla strumentazione della missione ESA Solar Orbiter. A questo proposito, uno strumento ENA (NSWD Neutral Solar Wind Detector), capace di rilevare per la prima volta neutri nell'ambiente estremo a circa 0.3 AU dal Sole, è stato pure proposto per Solar Orbiter. Questa attività di sviluppo di strumentazione per atomi neutri energetici è portata avanti principalmente presso IFSI-Rm.

COMPUTER SCIENCE

L'uso di grossi calcolatori e database è diventato indispensabile nell'ambito dell'astronomia moderna per poter immagazzinare le enormi moli di dati prodotte, per poterle analizzare e controllare ed infine effettuare le simulazioni necessarie. E' infatti oramai assodato che nessuno strumento può essere progettato/sviluppato senza tener

conto della pipeline di riduzione dati e quindi dei requisiti di calcolo necessario. L'INAF ricopre già un ruolo preminente nella ricerca in questo settore, che risulta essere strategico per lo sviluppo futuro dell'astronomia moderna.

L'attività di supporto e di sviluppo nel campo informatico si svolge di fatto in tutte le strutture dell'INAF. A livello nazionale, il servizio Sistemi Informativi (SI), unità del Dipartimento Progetti composta da personale proveniente da molte strutture dell'Ente, ha il compito di coordinare tutte le attività di tipo informatico nell'Ente, armonizzando le politiche di gestione e di sviluppo, coordinando a livello nazionale i servizi informatici, gestendo le attività di calcolo e quelle relative all'utilizzo della rete e provvedendo alla gestione, programmazione ed integrazione internazionale delle basi dati e del calcolo distribuito. I paragrafi seguenti definiscono le attività di sviluppo in campo informatico che richiedono coordinamento a livello nazionale.

Super Computing

INAF ha recentemente firmato un accordo con il CINECA (Bologna) per l'uso delle risorse di super computing ed ha assunto un ruolo chiave nella realizzazione di due consorzi, COSMOLAB in Sardegna (INAF-OACa) e COMETA (High Performance Grid) in Sicilia (INAF-OACt, INAF-OAPa IASF-Pa). Risulta quindi essere strategico nei prossimi tre anni supportare sia i precedentemente menzionati consorzi di super calcolo che il CINECA nell'azione di fornire alla comunità astronomica italiana la nuova generazione di super computing e di aumentare all'interno della comunità stessa le conoscenze necessarie ad utilizzare queste facility. La diffusione di una cultura legata alla tecnologia del supercalcolo aiuterebbe la comunità astrofisica/cosmologica a valutare opportunamente come possa essere utilizzata dagli utenti nel modo più efficiente la struttura gerarchica dei vari centri di HPC ai vari livelli: locale (per garantire un'agile disponibilità di macchine su cui fare test), regionale (ad esempio i centri che si stanno formando grazie ai finanziamenti PON), nazionale (CINECA), internazionale (DEISA). In tal modo si verrebbe a diminuire la potenziale competizione tra i vari centri, attraverso una chiara definizione di ruoli e specificità.

Data Grid per la ricerca astrofisica

Particolarmente significativa è la presenza di INAF in vari progetti nazionali ed internazionali legati alla GRID, la nuova tecnologia per la distribuzione di risorse di calcolo e di *data storage* in rete. Questa presenza si esplica principalmente attraverso lo sviluppo di applicazioni astrofisiche che hanno il duplice scopo di verificare i paradigmi della tecnologia GRID e di dimostrare la possibilità di portare gli algoritmi astronomici sulle infrastrutture GRID attualmente esistenti e i benefici che da ciò derivano. Vi sono tuttavia attività in corso anche nel settore più propriamente informatico riguardante la definizione ed implementazione di servizi che fanno parte integrante della tecnologia GRID stessa. Tra i progetti più significativi in corso negli ultimi anni vanno senz'altro

segnalati, GRID.IT (progetto multidisciplinare nazionale finanziato dal FIRB), DRACO (progetto co-finanziato della astrofisica italiana) che sono in via di conclusione, due progetti dedicati alla gridizzazione delle *pipeline* della missione spaziale Planck (Planck@EGEE e PlanckGRID – coordinati da INAF-OATs) e il progetto di infrastruttura ricerca e trasferimento tecnologico sul paradigma del grid computing TRIGRID VL (principalmente INAF-OACt e INFN). Nel prossimo triennio è necessario realizzare le fasi di gestione degli accessi alla Grid da parte degli istituti partecipanti e di supporto agli utenti dell'organizzazione virtuale INAF, nell'ottica di una completa integrazione con la GRID di produzione italiana, connessa con quella europea per la ricerca (EGEE). Inoltre si intende realizzare la possibilità di integrare database nell'infrastruttura di GRID mediante middleware dedicato; da questo sviluppo ci si aspettano ricadute di trasferimento tecnologico. Lo sviluppo dell'infrastruttura di Data Grid per INAF è coordinato a livello nazionale in sinergia con i progetti localizzati nelle aree oggetto di interventi a carattere nazionale (come Sicilia e Sardegna). In conclusione la GRID può essere vista come una tecnologia trasversale, poiché risulta essere uno strumento di cui molti progetti futuri avranno bisogno per l'analisi e lo *storage* dei dati.

Software di controllo per Telescopi

La realizzazione del software di controllo di un telescopio richiede competenze multidisciplinari. La necessità di *legarlo* ai sistemi *controllati* quali l'ottica, l'astrometria, i controlli automatici lo rende più un'attività di sviluppo ingegneristico-informatica che di puro sviluppo software basata principalmente su piattaforme real-time. Sia il software di controllo del TNG (INAF-OAC, INAF-OAPd) che di VST (INAF-OAC) sono stati realizzati interamente da INAF e hanno dato l'opportunità di apprendere le metodologie di sviluppo e gli standard ESO che potrebbero essere interessanti in prospettiva di eventuali altre collaborazioni.

Controlli di nuova generazione per strumentazione

All'interno dell'INAF esiste una pluriennale esperienza nella progettazione e implementazione di sistemi di controllo di strumentazione astronomica, sia nell'ambito di progetti nazionali che internazionali; in questo contesto INAF ha attive diverse collaborazioni con ESO:

- per la realizzazione del software di controllo di Xshooter (INAF-OATs), strumento di seconda generazione per VLT;
- per la realizzazione del software di controllo di OmegaCAM (INAF-OAPd, INAF-OAC), imager a grande campo per VST;
- per la realizzazione del software di controllo di MAD (INAF-OAPd), dimostratore di ottica adattiva multiconiugata facente parte del Piano R&D per ELT;
- per la realizzazione del software di controllo di SPHERE (INAF-OAPd, INAF-OACt), planet finder precursore di uno strumento simile per ELT;

- per la realizzazione del software di controllo di ESPRESSO (INAF-OATs) per VLT, precursore di CODEX strumento di prima generazione di ELT;
- per la realizzazioni di elementi del software di controllo di ALMA (INAF-OATs).

Sono stati inoltre sviluppati dei packages software per il controllo delle Osservazioni con LBC@LBT, per il controllo di sistemi di ottica adattiva e per il controllo e monitoraggio del telescopio TNG e della strumentazione relativa.

Questo settore di ricerca quindi risulta essere strategico per continuare a mantenere la stretta collaborazione con ESO e mantenere la leadership in questo settore.

Gestione e Archiviazione Dati

Nel corso del 2005 è stato istituito il Centro Italiano Archivi Astronomici (IA2, INAF-OATs e INAF-OAPd) all'interno del quale è stata realizzata la prima versione di un'infrastruttura hardware-software per l'archiviazione dei dati provenienti da facility osservative collocate a terra e la loro gestione ottimale. L'archivio TNG è stato aperto all'utenza internazionale nel giugno 2006. Nel prossimo triennio, oltre alla gestione del servizio di archivio, si prevede di implementare l'archiviazione dei dati del tempo di osservazione italiano su LBT e quelli da simulazioni numeriche, e la possibilità di calibrare i dati osservativi al momento della loro estrazione dall'archivio ("on-the-fly"). Lo sviluppo include l'utilizzo degli standard definiti all'interno dell'International Virtual Observatory Alliance (IVOA), con la partecipazione del team di progetto ai gruppi di lavoro IVOA.

Per quanto concerne gli archivi (e l'analisi) dei dati acquisiti da missioni spaziali, INAF ha firmato un accordo biennale con ASI per la collaborazione nella gestione di ASDC. Nel prossimo triennio ci si aspetta che questo accordo sia rinnovato, in modo da facilitare la gestione coordinata degli archivi in un'ottica di Osservatorio Virtuale.

Osservatorio Virtuale

La possibilità di accedere a dati multifrequenza è una componente indispensabile dell'astronomia moderna. Questa necessità ha fatto nascere a livello mondiale l'organizzazione VO (Virtual Observatory). L'INAF (INAF-IASF Roma, INAF-OATe, INAF-OATs, Univ NA Fed II) è fortemente coinvolta nella attività di questa organizzazione sia in termini di supporto all'archiviazione dei dati, che in termini di sviluppo dei tools necessari e nella partecipazione alla definizione degli standards a livello internazionale. È inoltre da ricordare la partecipazione di INAF a progetti finanziati dal Sesto Programma Quadro (FP6) dell'UE nell'ambito del VO:

- VO-Tech, che prevede lo sviluppo di strumenti di gestione dell'informazione, di sistemi intelligenti di "scoperta delle risorse", di data mining e di visualizzazione.

- VO-DCA, che prevede l'inclusione di dati teorici nel VO internazionale e lo sviluppo di interfacce tra il VO e le infrastrutture di grid computazionale.

Anche a livello italiano l'INAF sta sviluppando un Osservatorio Virtuale italiano (VObs.it). L'attività prevede la partecipazione ai gruppi di lavoro IVOA per la definizione e l'aggiornamento di standard riconosciuti internazionalmente, il supporto all'integrazione in VO degli archivi disponibili presso la comunità nazionale e la realizzazione/integrazione di diversi tool nazionali VO compliant necessari al display e ricerca all'interno del VO stesso. Le attività relative al VO sono considerate prioritarie, anche dato l'ottimo rapporto costi-benefici, all'interno della comunità internazionale. Ci si aspetta pertanto che nel prossimo triennio INAF continui a partecipare attivamente a questo sviluppo, supportando le iniziative in corso e quelle che si svilupperanno a breve.

Software di elaborazione scientifica dei dati

Lo sviluppo di sistemi software per la riduzione dei dati e per la loro successiva elaborazione scientifica è un'attività che si può collegare prevalentemente ai progetti, nazionali ed internazionali, di sviluppo della strumentazione, oltre che alla ricerca individuale di metodologie che permettano l'estrazione dell'informazione scientifica da dati osservativi o da simulazioni numeriche. Sebbene vi siano degli aspetti, soprattutto per quanto riguarda la riduzione dati, che sono strettamente collegati alle caratteristiche degli strumenti, esiste senz'altro la possibilità di armonizzare il lavoro individuale o quello di gruppi locali, in modo da ottimizzare lo sforzo e da creare un'opportuna massa critica per lo sviluppo del software di elaborazione dati. Nell'ambito di questa attività, è stata di particolare rilievo nel corso del 2005-06 la partecipazione al gruppo di lavoro internazionale, supportato dal progetto UE/FP6 OPTICON, per la definizione di un ambiente di nuova generazione (FASE – INAF-IASFMi) per l'elaborazione dei dati astronomici. Ci si aspetta quindi che nel prossimo triennio INAF continui a supportare questa partecipazione, coordinando a livello nazionale gruppi di lavoro dedicati ad aspetti specifici della riduzione ed analisi dati.

Reti telematiche

La rete informatica dell'ente è l'infrastruttura che supporta i servizi telematici di base (posta elettronica, videoconferenze, accesso alle biblioteche elettroniche, aggiornamenti software, applicazioni amministrative, etc) e le attività di ricerca che richiedono trasferimenti di dati digitali quali Virtual Observatory, Grid, controllo remoto di strumenti, acquisizione dati osservativi, e-VLBI. Gli Istituti INAF sono connessi alla rete nazionale della ricerca (GARR), e quindi alle dorsali europee (GEANT) con collegamenti che hanno tipicamente velocità di 2 - 4 Mbit/sec. Tali velocità risultano adeguate per l'utilizzo dei servizi di base, ma sono nettamente insufficienti per attività di ricerca che richiedono bande di trasmissione dell'ordine di decine, centinaia e migliaia di Mbit/sec.

Si corre quindi il rischio di allestire risorse (archivi astronomici, cluster di calcolo) che non possono essere messe a disposizione di tutta la comunità INAF in modo adeguato, di non utilizzare nel modo più efficiente strumenti osservativi remoti e di essere esclusi da progetti internazionali perché non in grado di condividere adeguatamente le risorse esistenti. Questo risulta particolarmente grave se si considera che l'Europa e l'Italia si trovano oggi a disporre delle migliori e più avanzate reti per la ricerca del mondo con dorsali da 10 Gbit/sec, cioè da 1.000 a 10.000 volte più veloci delle nostre bande di accesso. Nel prossimo triennio è quindi necessario intervenire sui collegamenti che costituiscono l'"ultimo miglio" per potenziare la connettività dell'INAF verso il GARR. Va quindi favorita la partecipazione di INAF alle reti di Campus ed alle Reti Metropolitane, che si stanno realizzando in alcune regioni, e vanno studiate soluzioni ad hoc per quelle strutture che non potranno essere raggiunte da queste reti veloci, puntando, dove possibile, all'acquisizione di "dark fiber"; è inoltre opportuno mantenere uno stretto rapporto con le Università, gli Enti di Ricerca e gli Enti Locali per fare presente le nostre esigenze di connettività. Infine si deve risolvere il nodo della nostra partecipazione, quale socio a pieno titolo, al "*consortium Garr*", al fine di avere una maggior voce in capitolo nella definizione dello sviluppo dell'infrastruttura nazionale e della relativa politica dei costi.

TECNOLOGIE TRASVERSALI

Criogenia

La criogenia è la tecnologia abilitante per amplificatori a microonde e rivelatori bolometrici, per i rivelatori infrarossi a fotoconduttore, per la riduzione del fondo termico nelle bande del medio e lontano infrarosso, per l'operazione a bassa corrente di buio di sensori ottici fotomoltiplicativi e di CCD, per i microcalorimetri utilizzati negli spettrometri X e gamma ad altissima risoluzione, per il raffreddamento delle antenne per onde gravitazionali. In Italia c'è una notevole tradizione criogenica, ereditata da altri settori di ricerca ed applicata in missioni astronomiche spaziali ed in osservatori a terra. Le applicazioni più recenti riguardano lo sviluppo di criostati sub-K per missioni bolometriche su pallone (sviluppati in collaborazione con ENEA e Università di Roma, già utilizzati più volte con successo) e lo sviluppo di criogeneratori funzionanti senza trasferimento di liquidi criogenici in siti dove sarebbe problematico il trasporto o la produzione dei criogeni (es. Antartide, dove sono in fase di installazione sistemi cryogen-free sviluppati nell'ambito di collaborazioni tra INAF e Università di Roma) e lo sviluppo di criostati fino a 20 K per ricevitori coerenti (IASF-BO e IRA). Uno sviluppo recente è stato quello dei refrigeratori pulse-tube, che, oltre a non richiedere criogeni dall'esterno, non hanno parti in movimento a freddo. E' comunque necessario ottimizzarne l'operazione diminuendo la microfonia derivante sia dalla valvola rotante che dagli impulsi di pressione del gas nel pulse-tube vero e proprio. A questi criogeneratori, che raggiungono temperature intorno a 2.8 K, sono stati accoppiati refrigeratori a ^3He autocontenuti o refrigeratori a diluizione o a demagnetizzazione adiabatica per raggiungere temperature sub-K. Sono sistemi che IASF-INAF di Roma

sta utilizzando con successo per test su campioni di array di bolometri nell'ambito di collaborazioni con Genova e Roma. Presso INAF-OAPA è stato progettato e realizzato, all'interno di un criostato ad He liquido tradizionale, l'unità di Demagnetizzazione Adiabatica a singolo stadio con cristallo di FAA, in grado di raffreddare i rivelatori fino a temperature inferiori a 40 mK con un tempo di latenza di almeno 24 ore a temperature inferiori ai 60 mK. Questo criostato viene utilizzato dal gruppo di Palermo nel programma di sviluppo di microcalorimetri con sensore di Ge NTD. Ci sono collaborazioni in atto per l'utilizzo di questi ed altri sistemi criogenici, nell'ambito della collaborazione per lo sviluppo di tecnologie da pallone e dallo spazio e per l'integrazione e tests di payloads per programmi da pallone e da satellite, in sinergia con ASI, tra IASF-Roma ed Università di Roma. Questi sviluppi devono essere fortemente sostenuti in vista delle applicazioni elencate sopra. E' auspicabile che nei prossimi anni si instauri una ancor maggior sinergia tra i vari gruppi INAF che si occupano di tecniche criogeniche spinte.

Per ricevitori coerenti sono richieste temperature meno spinte, ottenibili con criostati commerciali. In questo campo lo sforzo tecnologico riguarda l'alleggerimento del carico termico, in particolare in sistemi multifeed con feed raffreddati, e lo studio di materiali per la realizzazione di finestre di ampie dimensioni.

Elettronica VLSI

La disponibilità di componenti Field Programmable Gate Array (FPGA) ha permesso di sviluppare sistemi digitali di grosse dimensioni anche per applicazioni che in precedenza richiedevano l'utilizzo di circuiti integrati custom (ASIC). L'utilizzo di ASIC rimane essenziale per applicazioni dove siano cruciali prestazioni estreme e consumi estremamente ridotti, e pertanto risulta utile mantenere le esperienze e le collaborazioni acquisite.

FPGA vengono sempre più di frequente utilizzate, oltre che per sistemi hardware di uso generale, per digital processing in backend radioastronomici (IRA, OAA), controllistica avanzata per CCD e camere IR e ottiche (gruppo rivelatori OACa, OAA, OACt), e per integrare sistemi complessi, incluso il computer di controllo, in uno o pochi componenti (system-on-a-chip). Tra i vantaggi di questi componenti va sottolineata la possibilità di modificare drasticamente un circuito dopo la sua realizzazione fisica, per correggere problemi, migliorare le prestazioni, o per implementare funzionalità anche molto differenti da quelle inizialmente previste. L'uso di questi componenti per applicazioni spaziali presenta problemi di vulnerabilità alla radiazione, che può indurre modificazioni circuitali indesiderate. Esperienza nell'affrontare queste problematiche esiste, ad esempio, presso l'IASF Milano. I relativi strumenti di sviluppo sono in genere piuttosto costosi, ma esiste una convenzione all'interno del progetto Europractice che consente ad istituti INAF di accedervi a titolo gratuito o a prezzi molto bassi.

Stazioni di “Time definition and distribution”

L'attività di time definition è tradizionalmente legata all'astronomia. In Italia è svolta in modo istituzionale dall'OACA, che fa parte della rete internazionale di definizione dell'UTC. Attività di timekeeping sono essenziali in diversi tipi di osservazioni, in particolare il VLBI e il pulsar timing, che richiedono stabilità di tempo e frequenza ai limiti tecnicamente ottenibili. I radiotelescopi VLBI italiani sono pertanto dotati di standard di riferimento di tempo e frequenza (H-maser), e di un laboratorio di misura. Anche se questo tipo di attività rappresenta un servizio, è essenziale che le competenze nel campo vengano mantenute al livello di eccellenza a cui sono attualmente.

Protezione delle frequenze e Site testing

Per garantire la possibilità di effettuare osservazioni radioastronomiche al livello di sensibilità richiesto dai moderni programmi di ricerca è assolutamente essenziale disporre di un servizio di “Protezione delle frequenze allocate al Servizio di Radioastronomia”. L'IRA partecipa a board normativi nazionali ed internazionali (CRAF, Committee for Radio Astronomical Frequencies), e alcuni tecnici, presso IRA e OACa, sono dedicati a tempo pieno alla ricerca, identificazione ed eliminazione dei segnali interferenti.

Inoltre INAF (principalmente presso OABo e OAPd) svolge un'attività, in collaborazione con ESO e IAC, per la caratterizzazione dei siti astronomici, attraverso lo studio delle proprietà atmosferiche, in modo da rendere più efficienti le strutture osservative esistenti ed eventualmente individuare siti competitivi per future installazioni di telescopi ground based.

Si noti che INAF (OABo) partecipa anche allo studio della ricerca del sito per il futuro telescopio TeV Cherenkov Telescope Array.