



**Dipartimento Strutture
Unità Organizzativa Programmazione**

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

**MACROAREA 5.
TECNOLOGIE ASTRONOMICHE**

Preparato da:

G. Comoretto, S. Masi, G. Pareschi (coord.), R. Ragazzoni, A. Zacchei

Con il contributo di:

M. Alderighi, L. Amati, R. Ambrosini, C. Baffa, C. Barbieri, A. Baruffolo, U. Becciani, G. Bonanno, E. Caroli, F. Cavallini, S. Desidera, E. Diolaiti, M. Dolci, F. Frontiera, M. Gai, B. Grilli, M. Feroci, V. Iafolla, C. Labanti, D. Lorenzetti, E. Masciadri, E. Molinari, S. Montebugnoli, C. Morello, T. Oliva, L. Olmi, A. Orfei, L. Origlia, P. Palombo, F. Pasian, L. Piro, P. Soffitta, M. Puccillo, P. Spanò, L. Stella, M. Trifoglio, G. Vannaroni, V. Zitelli



Sommario

1. INTRODUZIONE.....	4
2. RADIO, MICROONDE E GRAVITAZIONE SPERIMENTALE	6
2.1 Ricevitori coerenti per radioastronomia	6
2.2 Bolometri	7
2.3 Rivelatori Quantici per CMB	8
2.4 Ottiche e componenti passivi	8
2.5 Elettronica di back-end per ricevitori coerenti.....	9
2.6 Stazioni di “Time definition and distribution”	10
2.7 Protezione delle frequenze	10
2.8 Gravitazione sperimentale in ambito “Radio Science”	11
3. TECNOLOGIE PER TELESCOPI NELLE BANDE INFRAROSSA, OTTICA E UV DA TERRA E DALLO SPAZIO	12
3.1 Tecnologie ottiche innovative per strumentazione di piano focale.....	13
3.2 Ottiche adattive e tecnologie correlate	15
4. TECNOLOGIE PER LO STUDIO DEL SOLE E DEL PLASMA INTERPLANETARIO	22
4.1 Telescopi solari “Ground based” nelle bande ottiche e IR	22
4.2 Remote sensing dallo spazio e strumentazione “in situ”	23
5. ASTRONOMIA DELLE ALTE ENERGIE DALLO SPAZIO E DA TERRA.....	27
5.1 Ottiche per raggi X	28
5.2 Ottiche per raggi Gamma soffici basate su cristalli naturali.....	30
5.3 Rivelatori X e Gamma con cristalli scintillatori e fotodiodi a bassissimo rumore di lettura 30	
5.4 Rivelatori a semiconduttore non convenzionali per telescopi X-gamma	31
5.5 Sviluppo di sistemi e All Sky Monitoring e timing in raggi X.....	31
5.6 Polarimetria in raggi X	32
5.7 Microcalorimetri per spettroscopia non dispersiva ad altissima risoluzione	32
5.8 Rivelatori per raggi Gamma basata su tecnica Compton.....	33
5.9 Sviluppi tecnologici legati alla realizzazione di telescopi Cherenkov	33
5.10 Sviluppi tecnologici legati alla realizzazione di esperimenti per lo studio dei Raggi Cosmici.....	35



6.	INFORMATICA ASTRONOMICA.....	36
6.1	Data Grid per la ricerca Astrofisica.....	36
6.2	Software di controllo per telescopi.....	37
6.3	Controlli di nuova generazione per strumentazione.....	37
6.4	Attività EGSE per carichi scientifici di missioni spaziali a carattere astrofisico.....	38
6.5	Gestione e Archiviazione Dati	38
6.6	Osservatorio Virtuale.....	39
6.7	Software di simulazione ed elaborazione scientifica dei dati	39
6.8	Coordinamento dell'ICT per l'astronomia.....	40
6.9	Reti telematiche.....	40
7.	TECNOLOGIE TRASVERSALI	42
7.1	Site Testing	42
7.2	Criogenia.....	42
7.3	Elettronica VLSI.....	43
7.4	Stazioni di "Time definition and distribution"	44



1. INTRODUZIONE

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 costruire 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 insufficiente, sia per quanto riguarda le attività tecnologiche per strumentazione (da Terra e dallo Spazio) che per le tecnologie informatiche. Anche l'accesso ai fondi dei Programmi Quadro europei (EU/FP) sopperisce solo in piccola parte a queste carenze. Per quanto riguarda ASI, negli anni passati aveva drasticamente ridotto i finanziamenti per la ricerca di base di carattere astrofisico, mettendo in breve tempo in forte crisi il settore della ricerca di base nella tecnologia spaziale negli istituti INAF; d'altra parte nell'ultimo periodo si è notato un'inversione di tendenza da parte dell'Agenzia che va certamente apprezzata.

Questa situazione di scarse risorse in ambito INAF per le attività a carattere tecnologico 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 non spesso permette la costituzione di un humus da cui nascono 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 risulta possibile, a meno di trucchi contabili non esattamente trasparenti.

Lo sforzo fatto negli scorsi anni 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 merito di fornire un quadro generale per facilitare collaborazioni di questo tipo. Salvo pochissime eccezioni, non esistono però *facility* di dimensioni tali, se non pesantemente sovrautilizzate, da poter essere pensate come laboratori nazionali. Inoltre tutti i laboratori sono e devono essere gestiti come strutture di ricerca, non servizi, e ogni loro utilizzo deve necessariamente essere visto come una forma di collaborazione scientifica.

Peraltro, tra le poche note positive riguardante il settore della ricerca tecnologica in INAF vi è, senza dubbio, la tendenza di una maggiore sinergia, coordinamento e spirito di collaborazione tra i vari istituti, che possono ora contare su competenze diversificate sviluppate in realtà diverse con gli Osservatori, gli istituti di provenienza CNR e le Università. Questo spirito di collaborazione andrebbe senz'altro stimolato da parte di INAF, che dovrebbe reperire anche le risorse necessarie a promuovere *workshop* di settore e scuole per giovani ricercatori indirizzate alla ricerca tecnologica. Va certamente favorito 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". Un'opportunità in questo senso è offerta dalle Macroaree tematiche, quando esse saranno ricostituite, che potranno svolgere un'opera di raccordo tra la comunità scientifica, il Consiglio Scientifico ed il Dipartimento Progetti per promuovere progetti e stimolare il coordinamento delle attività anche nel settore delle tecnologie di base.

Questo documento, basato sostanzialmente sul documento emesso nel 2006 dalla Macroarea 5 per il piano triennale 2007-2009 e opportunamente aggiornato (anche sulla base di numerosi input ricevuti dalla comunità), rappresenta una sorta di fotografia delle attività tecnologiche a livello di ricerca di base in corso presso INAF. Le sezioni a seguire sono state così suddivise: nella sezione 2 sono trattate le tecnologie riguardanti la regione spettrale dal radio al millimetrico; la sezione 3 riguarda le tecnologie per telescopi da terra e dallo spazio nelle bande UV, visibile e IR; nella sezione 4 sono riportate le tecnologie in corso di sviluppo per lo studio del Sole e del nostro sistema solare; la sezione 5 riguarda i telescopi e gli esperimenti per alte energie da terra e dallo spazio; la sezione 6 è dedicata alle tecnologie informatiche ed infine nella sezione 7 sono riportate le tecnologie trasversali.



2. RADIO, MICROONDE E GRAVITAZIONE SPERIMENTALE

L'attività strumentale a lunghezze d'onda radio coinvolge in Italia due comunità scientifiche parzialmente sovrapposte, e con obiettivi scientifici differenti. La radioastronomia utilizza soprattutto ricevitori coerenti, accoppiati ad un'opportuna elettronica digitale per l'analisi del segnale convertito, con telescopi da terra (anche se, per ampliare ancora di più le baseline dei sistemi interferometrici, sono programmate in futuro missioni spaziali per radioastronomia). Lo studio del CMB oggi viene svolto soprattutto utilizzando ricevitori criogenici (bolometri), coerenti o quantici, per telescopi da terra, da pallone, o dallo spazio. Infine esperimenti nel campo della gravitazione nell'ambito della Radio Science sono effettuati tramite l'utilizzo di sonde interplanetarie, soprattutto utilizzando misure *tracking radio* di precisione.

2.1 Ricevitori coerenti per radioastronomia

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, OAAr, 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, nell'ambito dei progetti europei FP5 e FP7, 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, o ricerca di righe ad alto redshift). L'obiettivo è di arrivare a bande istantanee di almeno 8 GHz, con l'obiettivo di raggiungere bande ampie fino a 30 GHz.

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 22-45 GHz. In particolare sia il piano di sviluppo del VLBI europeo che il satellite per VLBI spaziale VSOP2 impiegheranno bande a frequenza maggiore di 20 GHz. Per massimizzare l'efficienza di utilizzo del ricevitore, soprattutto per osservazioni di survey, è stato realizzato un ricevitore multi-feed (ricevitore a 7 beam 18-26 GHz, progetto FP5). In questi sistemi è previsto lo sviluppo di stadi di conversione e amplificazione a media frequenza in tecnologia MMIC (progetto FP7). 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 studio 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.)

2.2 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. La tecnologia utilizzata 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 con microstruttura prodotta tramite processi fotolitografici in configurazione "a ragnatela" o "a griglia", oppure l'uso alternativo di antenne planari e "striplines", ha permesso di minimizzare il disturbo causato dai raggi cosmici. Questa tecnologia offre la possibilità di produrre piani focali di grande dimensione ma con una struttura compatta, realizzando direttamente sul chip del sensore anche le antenne e i filtri per selezionare le frequenze d'interesse (talvolta addirittura aggiungendo pure banchi di filtri o sistemi interferometrici). La riduzione del volume delle camere di piano focale consente di conseguenza di minimizzare gli ingressi termici sulla parte raffreddata criogenicamente e quindi di abbassare il livello di rumore.

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-Rm) 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.

I gruppi Italiani di IASF in collaborazione con INFN e Università di Genova e Università di Roma1, sono e saranno sempre più impegnati nella realizzazione di sensori TES per astronomia millimetrica e per quanto riguarda l'elettronica di lettura di array di TES+SQUID. Questa sarà provata a breve su pallone stratosferico per missioni di cosmologia dedicate alla CMB ed allo studio degli ammassi di galassie (effetto Sunyaev Zeldovich). Importante in questo senso il progetto PRIN WCAM, che coinvolge l'intera comunità italiana CMB, per la realizzazione di una camera bolometrica a 94 GHz e di una sua estensione a 220 GHz.

Le applicazioni sono molteplici, basti solo pensare al fatto che sia astrofisica delle alte energie che cosmologia e studio della CMB utilizzeranno questa tecnologia, sia da terra, che da pallone, che dallo spazio, con missioni in collaborazione sinergica ASI ed ESA.



2.3 Rivelatori Quantici per CMB

Un campo in rapidissima evoluzione e nel quale i gruppi Italiani si sono inseriti sin dall'inizio e stanno ottenendo risultati molto promettenti è quello che utilizza i KIDs, Kinetic Inductance Detectors, in Italiano RIC (Rivelatori ad Induttanza Cinetica).

I Rivelatori ad Induttanza Cinetica (RIC) sono sensori di ultima generazione che si basano sulla presenza di una gap nei livelli energetici del superconduttore. Questo è analogo a quanto accade nei rivelatori a semiconduttore, con la differenza sostanziale che la gap superconduttiva risulta circa mille volte più piccola, permettendo la rivelazione di fotoni di frequenza molto più bassa (da 90 GHz in su).

La caratteristica fondamentale che fa di questi rivelatori i candidati ideali anche per future missioni da pallone o da satellite è la possibilità di leggere il segnale di anche 10^4 - 10^5 pixels per mezzo di un unico cavo coassiale e di un amplificatore HEMT a banda larga, riducendo enormemente il carico termico sullo stadio criogenico dell'esperimento.

Inoltre, il processo di fabbricazione è relativamente semplice e flessibile, fattibile in facilities italiane, e la libertà nella scelta dei materiali permette di usare i RIC per lunghezze d'onda che partono dal millimetrico e arrivano fino alla banda X.

L'attività svolta all'interno della collaborazione RIC tra Università e INFN ha permesso di sviluppare questi rivelatori, portando alla creazione di un testbed per la loro caratterizzazione e alla produzione dei primi chip. A fronte degli incoraggianti risultati ottenuti, un intenso lavoro di R&D è necessario per ultimare lo sviluppo di questi rivelatori e poterli utilizzare nelle applicazioni astrofisiche. Tra queste citiamo B-Pol e l'esperimento propedeutico su pallone per la polarizzazione CMB; IXO ed i suoi esperimenti propedeutici, le attività dall'Antartide BRAIN e Cochise. Inoltre, mosaici RIC a 90-100 GHz potrebbero rappresentare il complemento ideale di SRT per il suo utilizzo alle frequenze più alte: con questa tecnologia è infatti possibile realizzare un grande piano focale (centinaia o migliaia di pixel, se le aberrazioni lo consentono) ad un costo contenuto. Infine notiamo che questi rivelatori sono interessanti per misure di fisica delle particelle, come quelle della massa del neutrino (esperimento MARE). 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.

2.4 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, OAAr, 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 OABr) 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'OABr 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 e l'OAPd un sistema di metrologia in grado di misurare in tempo reale le deformazioni dello specchio con un'accuratezza di alcune decine di micron tramite un sistema di retroriflettori.

2.5 Elettronica di back-end per ricevitori coerenti

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. Esistono inoltre, o sono in fase di realizzazione, piattaforme hardware generiche basate su FPGA, per cui vengono sviluppate librerie di moduli applicativi.

Soprattutto in VLBI, la tendenza è quella di utilizzare una trattazione digitale del segnale a partire dallo stadio di media frequenza. Competenze in questo campo sono disponibili presso OABr (filtro digitale per ALMA, spettrometri per Medicina e Noto, ricevitori digitali per Radio Science), IRA Bologna (sistema ItaSEL), IRA Noto (DBBC, Digital Baseband Converter per VLBI). In particolare il sistema DBBC è stato adottato come standard per la rete VLBI europea, ed è sorto uno spin-off industriale per la sua produzione. Un sistema digitale avanzato per analisi di pulsar veloci è in fase di studio per SRT, 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 progetto FP7 (“*Digital Developments*”), con l'obiettivo di realizzare sistemi digitali con bande istantanee di 4-8 GHz.

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 stato realizzato 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, con una superficie collettiva di 7000 mq, nell'ambito di un progetto FP7. E' in progetto l'utilizzo dello strumento così modificato come stazione esterna di LOFAR.

L'utilizzo di un radiotelescopio come stazione ricevente di un radar bistatico permette di eseguire rivelazione di "space debris" o di asteroidi NEO (Medicina). Per questo scopo sono stati realizzati back-end dedicati, che impiegano logiche programmabili.

2.6 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.

2.7 Protezione delle frequenze

Per garantire la possibilità di effettuare osservazioni radioastronomiche al livello di sensibilità richiesto dai moderni programmi di ricerca è di primaria importanza disporre di un servizio di "Protezione delle frequenze allocate al Servizio di Radioastronomia". Purtroppo l'inquinamento radio è un problema particolarmente sentito poiché vi sono sempre più dispositivi commerciali spesso realizzati senza il minimo rispetto della regolamentazione preesistente. D'altra parte nessuna osservazione può essere affrontata al livello richiesto di sensibilità dalla moderna radio astronomia, senza una sorveglianza continua delle bande a frequenze radio assegnate per applicazioni astronomiche e scientifici, come peraltro previsto da normative nazionali e internazionali. Il livello di attenzione deve rimanere quindi molto elevato, per adeguare anche le nuove normative alla protezione di tutti i servizi radio passivi (non solo quindi per applicazioni in radioastronomia, ma anche per studi di remote sensing da Terra e dallo spazio e per la radio meteorologia). L'IRA



partecipa a board normativi nazionali ed internazionali (CRAF, Committee for Radio Astronomical Frequencies e RSPU - Radio Spectrum Policy Unit), e alcuni tecnici, presso IRA e OACa, sono dedicati a tempo pieno alla ricerca, monitoraggio ed eliminazione dei segnali interferenti.

2.8 Gravitazione sperimentale in ambito “Radio Science”

L'Italia ha una buona tradizione legata all'utilizzo di sonde interplanetarie per esperimenti nel campo della gravitazione. Nel loro complesso tali esperimenti permettono di determinare il campo gravitazionale dei pianeti e dei corpi minori del sistema solare, la loro struttura ed il loro moto rotazionale, nonché di eseguire verifiche delle teorie della gravitazioni: informazioni essenziali al fine dello studio dell'origine del sistema solare stesso.

Da un punto di vista strumentale e del know how, in tali esperimenti, detti di “Radio Science”, sono utilizzati accelerometri di elevata sensibilità (l'accelerometro ISA - Italian Spring Accelerometer - è uno dei payload della missione BepiColombo), sistemi di tracking e programmi per la determinazione orbitale di precisione. Molte di queste competenze sono presenti presso l'IFSI che collabora strettamente sia con varie Università che con l'INFN. Esperienze di Doppler Tracking sono state realizzate usando le antenne dell'IAA, e competenze nel campo del tracking radio di precisione, e della determinazione accurata di sonde interplanetarie con tecniche VLBI, sono presenti presso l'IAA e l'OAAr. Sono in corso collaborazioni con varie università per la realizzazione di software (correlatori software, simulatori) e metodologie di analisi dati.

Misure di relatività generale tramite astrometria ottica da satellite richiedono precisioni dell'ordine del μas , fino ad alcuni gradi dalla corona solare. OATo è coinvolta nel progetto, che unisce una parte di astrometria di precisione e tecniche coronografiche. In questo modo si può arrivare a misure di γ con accuratezze di 10^{-5} - 10^{-7} , maggiori di quelle finora ottenute con Doppler tracking.



3. TECNOLOGIE PER TELESCOPI NELLE BANDE INFRAROSSA, OTTICA E UV DA TERRA E DALLO SPAZIO

L'astronomia italiana storicamente ha sempre avuto un ruolo di primo piano nella progettazione e realizzazione sia di grandi telescopi da terra nell'ottico/UV e nel vicino infrarosso (NIR), sia dei relativi strumenti di piano focale. Una buona tradizione esiste anche nello sviluppo di strumentazione spaziale, soprattutto nella banda UV, ma ora con prospettive molto interessanti per progetti nella banda NIR.

Per quanto riguarda i telescopi da terra, 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 X-SHOOTER, SPHERE e ESPRESSO per il VLT al Cerro Paranal). Sempre in ambito ESO è in corso di realizzazione il telescopio VST (VLT Survey Telescope) e della relativa camera a grande campo OMEGACAM. L'Italia ha anche interamente sviluppato e realizzato il TNG nell'isola di La Palma (Canarie) e tutto il suo parco strumenti (SARG, NICS, DOLORES, AdOPT, e infine GIANO, che sarà implementato entro l'estate 2009). Infine svolge un ruolo primario nella realizzazione del Large Binocular Telescope (LBT) 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/UV 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. Con l'obiettivo 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 in cui la comunità italiana sarà senza dubbio impegnata nei prossimi anni, 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 quindi 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 con conseguente 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 (OABr), dei sistemi di ottica adattiva (OAAr, OABr e ditte Microgate e ADS, a Bz e Lc rispettivamente) e degli apparati metrologici per la loro caratterizzazione, come di tecnologie ottiche innovative per la realizzazione dei relativi strumenti e della loro caratterizzazione, quali i *Volume Phase Holographic Gratings* (OABr), gli *Smart Focal Planes* (OAPd, OABr), nuovi rivelatori nella banda ottica e nel vicino infrarosso (OACt, OAPd, OAAr, OARm), e nuovi dispositivi per test interferometrici di superfici complesse quali i *Rewritable-CGH* (OABr). L'Italia è coinvolta in strumenti per E-ELT già approvati per lo studio di Fase A, come ad esempio per il progetto SIMPLE (OAAr, OABo e OARm) e CODEX (OATs e OABr), entrambi spettrografi ad alta risoluzione per le bande NIR e Ottica rispettivamente, per il Planet Finder EPICS (OAPd) che comprende una camera di imaging e uno spettrografo, e per lo spettrografo multi-oggetto OPTIMOS (OABr, IASF-Mi).

Per quanto riguarda le tecnologie per future missioni spaziali va senz'altro menzionato l'impegno della comunità italiana nella fase di design e sviluppo tecnologico legate alla missione ESA cosmologica *Euclid* per lo studio della Dark Energy e della Dark Matter, che è stata selezionata per lo studio di Fase A nell'ambito del programma Cosmic Vision. L'impegno tecnologico più importante riguarda il canale spettroscopico E-NIS dedicato alla ricerca nel campo della Dark Energy attraverso il monitoraggio delle *Barionic Acoustic Oscillations* (BAO) attraverso la misura del *redshift* di un campione grande ed omogeneo di galassie in un volume di universo predeterminato. E-NIS è uno spettrografo multi-oggetto basato sulla tecnologia dei DMD (*Deformable Mirror Devices*), collegato ad un telescopio dedicato da 1.2 m di diametro. In particolare OABr è impegnato in Italia nel design dello strumento e nello sviluppo delle relative tecnologie, in stretto contatto con ASI ed ESA.

3.1 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. Per quanto riguarda la spettroscopia infrarossa, questa è la tecnica più attraente per la ricerca di oggetti freddi (pianeti e piccoli corpi) vicino a stelle brillanti. Rappresenta inoltre l'approccio migliore per lo studio di regioni oscure, *core* 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, OAAr, OABo, OACt) e NAHUAL (OAAr) per il GTC; anche lo spettrografo X-SHOOTER per il VLT, dedicato alla acquisizione in esposizione unica di spettri a risoluzione intermedia (R 5000-15000) a larghissima copertura spettrale (UV-NIR), è stato da poco integrato ed installato al VLT nel corso del 2008. 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 sostenute. 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'OABr 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 (OABr); (d) ologrammi sintetici riscrivibile (Rewritable Computer Generated Holograms);
- *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" (OAPd).
- *Array di microlenti*: questo rappresenta un concetto innovativo chiamato BIGRE, sviluppato da OAPd in collaborazione con il Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, nell'ambito del disegno dell'Integral Field Spectrograph per SPHERE, il "Planet Finder" per VLT. Il BIGRE è un sistema formato da due arrays di microlenti con diverse lunghezze focali, in cui la seconda lente è posta ad una distanza dalla prima eguale alla sua lunghezza focale accuratamente allineati. Una maschera nel piano di pupilla generato dal primo array di lentine produce il corretto filtraggio in frequenza per la risultante funzione di fenditura dello spettrografo, a valle, con un livello di cross-talk tra le diverse lentine molto più basso rispetto a strumenti costruiti su un singolo array di lentine. L'implementazione di un simile sistema è in studio in vista di EPICS, il *planet finder* per E-ELT.



- *Grism al silicio per spettroscopia NIR mediante nanotecnologie (ion- etching):* queste attività molto promettenti sono in corso presso OARm per lo sviluppo di reticoli ad alta risoluzione di nuova generazione. A questo proposito è stato realizzato e collaudato il primo prototipo in collaborazione con INF-CNR; sono in corso di studio diverse tecniche di *bonding* del wafer di silicio (grating) sul prisma (anch'esso in silicio).
- *Sviluppo di tecnologie criogeniche:* per gli spettrometri NIR di prossima generazione è molto importante arrivare a sistemi che permettano di estendere la buona stabilità termica (~ 5 millikelvin) fino a periodi dell'ordine dell'anno, in modo da raggiungere stabilità osservative comparabili con quelle ottenute dagli analoghi strumenti ottici. A questo proposito va menzionato il know-how acquisito presso OAAr nell'uso di dewar attivi come quello di Giano

3.2 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 TNG (a cui hanno contribuito quasi tutti gli Osservatori Astronomici Italiani), che è stata dotata di un'ottica "Attiva". La partecipazione all'implementazione del LBT 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 2009-11, lo sviluppo delle tecnologie relative e la costruzione di strumentazione di tipo precursore su telescopi della classe degli 8 m, rappresentano un know-how specifico che l'INAF deve mantenere, in modo da contribuire alla realizzazione E-ELT Europeo con attività di alto contenuto tecnologico. Tra le altre cose l'Italia, tramite le ditte ADS e Microgate, già coordina un consorzio finanziato dall'ESO per lo studio di fattibilità dello specchio piano adattivo M4 per E-ELT, di cui OABr è sottocontrattore. Un telescopio di queste dimensioni richiede un'ottica adattiva per ottenere immagini con la risoluzione di qualche milli-arcsec. Nel disegno attuale di E-ELT (dotato di un originale disegno a 5 specchi, invece dei due classici) il quarto specchio M4 fornisce le correzioni adattive di alta frequenza mentre il quinto (M5) è lo specchio per la stabilizzazione di campo, con frequenze di correzioni fino a qualche Hz. M4 è quindi uno specchio adattivo di circa 2.6 m di diametro. Lo studio di M4 è stato lanciato nell'ottobre 2007 con l'obiettivo di avere un prototipo completamente funzionante per la metà del 2010.

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 OAAr, OAPd, OABo e OABr, con competenze che di fatto abbracciano quasi tutti i possibili diversi scenari di implementazione. E' indispensabile che questa



attività venga proseguita e sostenuta, 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 sostenuti 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 e della relativa metrologia, 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.

Vanno inoltre ricordate le ricerche, in corso di svolgimento presso l'Università di Padova, basate sull'uso del Momento Angolare Orbitale (MAO) dei fasci elettromagnetici per realizzare ottiche superrisolventi e coronografi di nuova generazione sia per lo spazio che per la terra (in congiunzione con ottiche adattive).

3.3 Rivelatori nella banda ottica

L'avvento di strumenti a grande campo quali i rivelatori delle camere LBC per LBT e Omegacam per VST (OARm, OAAr, 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, OAAr);
- 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 (OACt, OAPd, UniPd e IASF-Mi);
- Detector a conteggio di fotoni (SPAD) che combinano l'efficienza quantica del Silicio a un rapido tempo di lettura. (OACt, UniCt, INFN-Ct, OAPd e UniPd);



- Collaudo dei rivelatori a tecnologia 3LCCD per seguire il loro miglioramento tecnologico (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 (OAPd, OABr, OACt, TNG).

3.4 Rivelatori nella banda 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 OAAr, OARm, OABo e OAPd, è orientata allo sviluppo della camera infrarossa per LBC, alla manutenzione della camera infrarossa NICS al TNG e allo sviluppo, ormai ultimato, 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.

3.5 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, sono stati realizzati una dozzina di interferometri per osservazioni astronomiche nel visibile e vicino infrarosso, 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 si stanno consolidando nell'ambito della comunità INAF. Lo sviluppo di queste tecnologie riguarda soprattutto gli OATo, OAPd, OABo, OAAr, con collaborazioni di tipo scientifico che stanno progressivamente allargandosi. 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 (OAAr, OAPd, OABo, OARm).

Va inoltre posto l'accento sulla possibilità di utilizzare l'interferometria per misure di precisione di tipo astrometrico. La ricaduta potenziale di questo tipo di osservazioni riguarda una classe piuttosto vasta all'interno della ricerca astrofisica, spaziando dalla fisica fondamentale fino alla struttura di oggetti supermassicci. Questi risultati possono essere raggiunti attraverso sviluppi tecnologici dedicati nel corso del prossimo triennio, unitamente a consolidare competenze sia nel disegno e realizzazione di strumenti o di loro componenti, sia nella calibrazione ed interpretazione dei dati



raccolti. Va di nuovo ricordato come tecnologie di metrologia interna siano essenziali per lo sviluppo di queste tematiche.

Recentemente diversi gruppi astrofisici si sono interessati alle problematiche interferometriche, ad esempio sviluppando algoritmi di analisi e filtraggio dei dati che tengano conto dei parametri astrofisici rilevanti. Considerando lo sforzo tecnologico, nonché finanziario profuso in questi sviluppi queste attività vanno supportate e sviluppate.

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. In questo contesto sarebbe auspicabile una partecipazione a progetti come MATISSE, GRAVITY e VSI, che offriranno un significativo miglioramento, rispetto alla attuale combinazione a due sole pupille, in termini di efficienza, risoluzione angolare e qualità della calibrazione per l'osservazione di oggetti morfologicamente complessi. In questo contesto sono rimarchevoli, ad esempio, gli studi condotti presso l'OATo in collaborazione con altri istituti INAF (OARm, OACt) in merito di interferometria multifascio. Sono previste una serie di attività di sviluppo legate a questo tipo di applicazione, in particolare per gli aspetti che richiedono l'ottimizzazione di combinatori multifascio (n. telescopi > 4) in configurazione a ridondanza minima e lo studio di sistemi di posizionamento, capaci di operare anche a temperature criogeniche, per la compensazione delle instabilità meccaniche e/o termiche, e l'accurata iniezione del segnale.

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 I e II e, in prospettiva, HESS2 e CTA, 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* (HRTA) 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 in passato da ESO e OPTICON e più recentemente da finanziamenti PRIN/MIUR e della Comunità europea, sono soprattutto coinvolti l'Università di Padova in collaborazione con OAPd, OACt e OACa. Questi sviluppi stanno procedendo a livello internazionale e sono attesi interessanti sviluppi nel prossimo futuro. Primi prototipi sono già stati provati utilizzando il telescopio da 182 cm di Asiago, mentre altri test sono previsti nel corso del 2009 presso NTT. Queste ricerche sono collegate allo sviluppo di matrici di rivelatori a conteggio singolo di fotoni con risposta temporale intorno alla decina di picosecondi, sia nel visibile che nel vicino IR.

3.6 Tecnologie per astrometria di precisione da terra e dallo spazio

Il raggiungimento di prestazioni estreme di precisione angolare per misure astrometriche al micro-arcsec potranno essere ottenute con strumenti spaziali già in corso di implementazione (Gaia) o in fase di studio (GAME). In questo tipo di sviluppi tecnologici è particolarmente impegnato OATo, sia nelle attività di design e di analisi, sia nello sviluppo di tecnologie ad hoc testate in laboratorio.

3.7 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 spettro-polarimetro con la più alta risoluzione nel visibile e GIANO raggiunge 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 del completamento e 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.

3.8 Nuovi approcci realizzativi e metrologia di specchi leggeri

Come già menzionato, i futuri telescopi di grandissime dimensioni come E-ELT comportano che lo specchio primario (di 42 m) sia realizzato assemblando opportunamente un elevato numero di segmenti riflettenti, da produrre con processi industrializzabili ad alta ripetibilità; l'uso di una struttura a segmenti è stata pure proposta per lo specchio secondario. INAF (principalmente OAAr e OABr) 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 2009-2011 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 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 OABr per correzioni di estrema precisione in modalità "no-contact" dei segmenti riflettenti di specchio (sia primario che secondario) prodotti per E-ELT

3.9 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'OACn. In



questo contesto va inoltre ricordata la peculiare attività svolta prevalentemente presso OATe di progettazione, realizzazione e test di soluzioni tecnologiche per il funzionamento di strumentazione in ambienti estremi come l'Antartide, nel contesto dell'implementazione della camera infrarossa AMICA sul telescopio robotico IRAIT presso il sito Dome C.

In generale nell'ambito di tali progetti sono state sviluppate competenze variegata 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.

3.10 Tecnologie nella banda UV per osservazioni dallo spazio

Tecnologie di particolare rilevanza in questa banda riguardano lo sviluppo di componenti ottici e film a 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-Mi, OATs e, in misura minore, OABr e IASF-Rm. 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 che anche in questo settore (tradizionalmente molto importante per l'astronomia italiana) le attività di R & D vadano proseguite.

3.10.1 Specchi e componenti ottici per UV

Sono in corso 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 Y2O3) difficili da crescere con la precisione stechiometrica 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 deg x 1 deg). 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.

3.10.2 Rivelatori per UV dallo spazio

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. Già sono 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.



4. TECNOLOGIE PER LO STUDIO DEL SOLE E DEL PLASMA INTERPLANETARIO

4.1 Telescopi solari “Ground based” nelle bande ottiche e IR

L'Italia ha una lunga esperienza nella realizzazione di spettrometri interferometrici, che ci pone a livelli di eccellenza internazionale. Questi strumenti permettono di ottenere immagini ad alta risoluzione spaziale, spettrale e temporale, risolvendo in dettaglio i profili delle righe di Fraunhofer e consentendo un'analisi tridimensionale della fisica dell'atmosfera solare. La possibilità di scansioni veloci è essenziale sia per avere un'alta risoluzione temporale della dinamica delle regioni attive, che per sfruttare al meglio i sistemi di ottica adattiva e correzione dinamica del seeing, in modo da ottenere una risoluzione spaziale al limite di diffrazione del telescopio.

Presso l'OAAr sono stati realizzati finora due strumenti di questo tipo, con il contributo di UniFi e UniRoma “Tor Vergata” (CCD). Il primo è lo spettrometro bidimensionale IPM, basato su un Filtro Universale Birifrangente in tandem con un interferometro di Fabry-Perot, con risoluzione $(l/D) = 200.000$ e in uso dal 1996 a THEMIS. Il secondo è lo spettrometro IBIS, un imager bidimensionale con $\lambda/\Delta\lambda = 250.000$, basato su un doppio interferometro di Fabry-Perot, installato nel 2003 al Dunn Solar Telescope del National Solar Observatory di Sacramento Peak (USA), e diventato facility dello stesso dal 2005. IBIS presenta un'elevata trasparenza, che consente, con tempi di esposizione di 30-50 ms, di utilizzare tecniche di correzione post facto del seeing e raggiungere, con il sistema di Adaptive Optics di cui è dotato il telescopio, risoluzioni di 0.2 arcsec. Di recente è stata implementata la possibilità di utilizzare IBIS come spettropolarimetro. La versatilità e facilità di utilizzo di IBIS, unita alle alte prestazioni raggiungibili, ne hanno fatto uno strumento altamente richiesto dalla comunità scientifica: attualmente i programmi osservativi che includono IBIS rappresentano quasi la metà del tempo assegnato complessivamente dall'NSO/SP. In questi mesi è allo studio la realizzazione di uno strumento analogo da usarsi in parallelo nella banda del vicino infrarosso.

I gruppi elencati sono interessati ad una partecipazione 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 2014. Dotato di uno specchio con diametro di 4m, esso permetterà di risolvere strutture sulla superficie solare con dimensioni fino a 20 Km. EST è un telescopio solare di analogo apertura, di cui è attualmente in corso lo studio di fase A, co-finanziata dalla UE all'interno dell'FP7. Una grossa parte della comunità solare italiana da Terra partecipa alla Fase A con attività di design legate al controllo termico del secondario, al sistema di controllo del telescopio e degli strumenti, all'acquisizione e gestione dati, nonché alla progettazione di strumenti di piano focale. Uno degli strumenti proposti per entrambi i progetti 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. A questo scopo sono stati recentemente misurati gli errori di cavità dei due interferometri di IBIS, il profilo strumentale e la MTF. I risultati ottenuti hanno permesso di sviluppare un software in grado di prevedere gli effetti spettrali e di imaging prodotti dai difetti di lavorazione. Nei prossimi anni si verificherà sperimentalmente la possibilità di correggere gli errori di fase del fronte d'onda e gli effetti di apodizzazione che questi producono e che si prevedono particolarmente rilevanti su interferometri di grande diametro, quali quelli che dovranno utilizzarsi per strumenti di piano focale di grandi telescopi.

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

4.2 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.

4.3 Astrometria solare

OATo, insieme ad un altro gruppo di istituti INAF (OACt, OARm) e Università italiane sta studiando il concetto di una piccola missione di astrometria solare GAME (*Gamma Astrometric Measurement Experiment*) per test gravitometrici di altissima precisione. Sulla base dell'esperienza già acquisita in questo settore dagli istituti coinvolti si prevede di effettuare le misure angolari sono effettuate simultaneamente in due campi di vista sovrapposti otticamente, in regioni a 1-2 gradi dal disco solare (poi osservate nuovamente a distanza significativa). Di fatto si tratta di una riedizione moderna in chiave spaziale dell'esperimento di Dyson ed Eddington del 1919. Le misure astrometriche di GAME possono consentire di mettere alla prova le teorie della gravitazione anche con altri tipi di test. Un esempio è dato dalla possibilità (disponibile anche con Gaia ma con maggiori difficoltà ed a più bassa precisione) di misurare la deflessione della luce causata dal momento di quadrupolo di un pianeta gigante del sistema solare.

4.4 Remote Sensing da un satellite orbitante o da una navicella spaziale



La ricerca planetologica italiana ha acquisito negli anni passati posizioni di notevole importanza a livello internazionale grazie a sviluppi tecnologici e alla capacità di applicare tali sviluppi a specifiche opportunità di missione. Questa capacità, che vede l'INAF in prima fila, dovrà essere mantenuta sostenendo ulteriori sviluppi e studi di fattibilità per strumentazione futura, allo scopo di mantenere e migliorare la capacità della comunità italiana a proporre con successo strumenti per future missioni ESA, NASA ed eventualmente in collaborazione con altre agenzie spaziali. I principali temi di ricerca sono:

- *Tecniche spettroscopiche a media ed alta risoluzione nel visibile e nell' IR:* presso INAF-IFSI e industrie collegate è stata sviluppata la capacità di progettare, costruire e provare interferometri che operano da satellite. Tale capacità è stata dimostrata per strumenti a bordo o approvati per le missioni ESA/NASA Cassini, Rosetta, Mars Express, Exomars, Venus Express, Dawn, Juno, Bepi-Colombo (L' esperimento ASI SIMBIOSYS è realizzato in forte sinergia con OACn, e le Università di Napoli e Padova). Gli sviluppi tecnologici hanno permesso un continuo miglioramento delle prestazioni di questi strumenti e la riduzione delle risorse necessarie, mantenendo un alto grado di competitività internazionale
- *Camere (anche in configurazione "stereo") a media e alta risoluzione:* in questo settore sono particolarmente coinvolti gli OACn e OAPd, in collaborazione con l'Università di Padova, Dipartimento di Meccanica (che svolge la progettazione termomeccanica di questi strumenti). Le camere STC (Stereo) e HRIC (alta risoluzione) in corso di sviluppo, voleranno sulla navicella Bepi Colombo.

Nei due ambiti precedenti i principali sviluppi riguardano disegni ottici innovativi e componenti ottiche (ad esempio, filtri per la reiezione del calore), oltre che la realizzazione di disegni termomeccanici specifici per le applicazioni. Un ulteriore utile sviluppo riguarda le elettroniche veloci per la gestione di piani focali di notevoli dimensioni e della compressione dei dati.

Il mantenimento di una attività di sviluppo in questo campo permetterebbe alla comunità italiana di partecipare con successo alla selezione di spettrometri e camere per le missioni ESA attualmente in fase di studio, quali un *sample return* da asteroide o lo studio dei satelliti galileiani di Giove.

4.5 Sviluppo di tecnologie per strumentazione "in situ"

Alcuni fenomeni e/o processi in atto nel Sistema Solare possono essere studiati efficientemente soltanto attraverso misure *in situ*. Questo vale soprattutto nel caso dello studio della dinamica e delle caratteristiche fisiche delle polveri presenti in diversi ambienti spaziali, quali quelle emesse da nuclei cometari, quelle presenti nelle atmosfere dei pianeti o nell'ambiente circum-planetario.

L'INAF è attualmente leader nello sviluppo di tecnologie utilizzabili per la rivelazione di polvere nel Sistema Solare. Diverse attività di sviluppo passate e in corso o previste sono legate a specifiche applicazioni.

Un esempio di strumento realizzato nel recente passato e basato su queste tecnologie è GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) per la missione Rosetta. Si tratta di un innovativo accoppiamento fra tre diverse tecniche di rivelazione e misura di grani micronici. La missione spaziale Rosetta - "*cornerstone*" dell'ESA - è dedicata allo studio del nucleo e della chioma della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Lo strumento GIADA, a bordo della sonda, è costituito da



un rivelatore ottico dei grani, un dispositivo per la misura d'impatto basato su cristalli piezoelettrici e cinque microbilance a cristalli di quarzo per la misura del tasso di deposizione della polvere. GIADA consentirà, per la prima volta, di misurare il flusso di particelle solide emesse dal nucleo cometario in diverse direzioni e durante diverse fasi evolutive; GIADA misurerà velocità, quantità di moto e massa di singoli grani provenienti dal nucleo cometario. Partendo dall'esperienza acquisita con lo sviluppo di GIADA, è in corso un progetto per lo sviluppo di tecniche di rivelazione basate sui medesimi fondamenti, allo scopo di applicarle ad un esperimento dedicato alla caratterizzazione della polvere presente nell'atmosfera in prossimità del suolo marziano (ad es., lo strumento MEDUSA per la missione ExoMars). La tecnica prevede l'utilizzo di un rivelatore ottico, una microbilancia che misura la deposizione di polvere e un sistema di campionamento basato su un flusso indotto di gas attraverso i sensori. E' inoltre in fase di sviluppo un igrometro per la misura del vapor d'acqua atmosferico, basato su una microbilancia accoppiata ad un controllo attivo della temperatura. Uno strumento basato su queste tecniche potrà fornire misure dirette della distribuzione dimensionale e abbondanza della polvere in atmosfera, oltre che dell'abbondanza di vapore acqueo su Marte.

Benché MEDUSA utilizzi due delle tecniche di rivelazione utilizzate per GIADA, la configurazione e i requisiti di sensibilità più stringenti (rivelazione di particelle fino a $0.2 \mu\text{m}$ di raggio) impongono una notevole attività di sviluppo del sensore ottico per abbassare il più possibile la soglia di rivelazione. Inoltre, le condizioni ambientali marziane richiedono intervalli termici di funzionamento che vanno al di là delle componenti a standard militare o qualificati spazio, il che richiede sviluppi specifici.

Altra linea di sviluppo riguarda un sensore di polvere con lo scopo di analizzare le proprietà fisiche (massa, dimensione, quantità di moto) delle particelle circumplanetarie. Una possibile applicazione è per il Progetto DIAMOND (Direct In-situ Analyser and Monitor of Orbiting Natural Dust) per la missione russa Phobos. La tecnica, attualmente in fase di sviluppo, si basa sul principio di funzionamento del sensore di impatto di GIADA, di cui costituisce l'evoluzione. Basandosi sui parametri delle particelle dei tori previsti dai modelli teorici, è necessario raggiungere livelli di sensibilità alla quantità di moto almeno $10^{-12} \text{ N}\cdot\text{s}$ e di rivelare impatti di grani in un regime di velocità che varia da poche decine di $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ fino a $\sim 3 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ (alla soglia dell'ipervelocità) e di dimensioni comprese tra 0.3 e $1000 \mu\text{m}$.

Nel prossimo futuro, grazie alle potenzialità delle tecniche sviluppate da Istituti INAF e da associati INAF, sono previste una serie di attività che potrebbero espandere ulteriormente il campo di applicazione di questi sensori. Oltre a diverse proposte relative a missioni future dell'ESA, un innovativo strumento che accoppia moduli attivi (rivelatore di traiettoria e velocità) e passivi (raccolta in aerogel delle particelle) è in fase di studio, in attesa di una valutazione da parte dell'ASI nell'ambito del bando sulle Missioni di Opportunità del 2007. Si dovrebbe dimostrare la fattibilità di un simile strumento a bordo della ISS. Risulta quindi di grande importanza una continua attività di ricerca e sviluppo per spingere in basso i limiti di rivelazione e per verificare diverse tecniche alternative nella rivelazione e raccolta di particelle nel range micronico e sub-micronico.

4.6 Studi di laboratorio di fisica del plasma



All'IFSI è in fase di avanzata riattivazione una grande camera a plasma che rende disponibile una facility sperimentale per studi di fisica del plasma per applicazioni alle ionosfere e magnetosfere della Terra e di altri pianeti del sistema solare. Questa facility genera in un volume di grandi dimensioni (4 metri di lunghezza e 1.7 metri di diametro) un plasma di tipo ionosferico, con controllo vettoriale del campo magnetico ambiente e con regolazione del moto di insieme del fascio ionico (simulando quindi l'effetto ram/wake di un satellite) e permette la verifica della funzionalità e conformità alle specifiche di progetto di payload come ad esempio sensori di particelle, sorgenti di plasma, propulsori ionici ed in generale componenti per uso spaziale esposti ad un plasma ambiente. Presso l'IFSI è anche operativa una camera da vuoto di più piccole dimensioni (circa 0.5 m^3) corredata di una sorgente di ioni di energia 100eV - 5keV per effettuare test su sensori di particelle cariche.



5. ASTRONOMIA DELLE ALTE ENERGIE DALLO SPAZIO E DA TERRA

Le tecnologie per strumentazione delle alte energie 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.

Per quanto l'astronomia X e gamma dallo spazio, riguarda questo settore tecnologico, principalmente supportato da ASI, riguarda soprattutto IASF-Bo, IASF-Mi, IASF-Pa, IASF-Rm, OABr 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 *requirements* scientifici dei nuovi strumenti. Dopo avere portato a termine con pieno successo la missione BeppoSAX, avere lanciato la missione AGILE e contribuito in modo sostanziale alla realizzazione delle missioni XMM-Newton, SWIFT, INTEGRAL e GLAST-FERMI, gli obiettivi delle attività previste nel triennio 2009-2011 mirano allo sviluppo di tecniche realizzative per le ottiche e rivelatori a bordo delle future missioni per raggi X SIMBOL-X (in collaborazione con il CNES) e IXO, la "*large mission*" allo studio di ESA, NASA e JAXA su cui è confluita la missione europea XEUS dopo la selezione nell'ambito del programma Cosmic Vision di ESA; in entrambi i casi ASI sosterrà nel periodo 2009-2010 gli studi e gli sviluppi tecnologici collegati a queste missioni tramite finanziamenti ad hoc. La comunità italiana è pure coinvolta in una serie di altre missioni USA per raggi X e gamma che nel gennaio 2009 sono sottomesse alla review della Decadal Survey 2010 per un ranking. A questo proposito vanno menzionate i progetti XENIA (originato dal concetto di missione europea Estremo/EDGE al cui design aveva contribuito in modo fondamentale un gruppo di ricercatori INAF), EXIST e WFXT. Il supporto allo studio propositivo nell'ambito della Decadal Survey di queste missioni saranno sostenute nel 2009 da ASI nell'ambito dello studio Astronomia Alte Energie.

IASF-Rm, in collaborazione con l'INFN, ha sviluppato tecniche polarimetriche per raggi X innovative, divenendo leader di questo settore. Si prevede di implementare a bordo di IXO un polarimetro, con coordinamento italiano. Inoltre una piccola missione, POLAR-X, interamente dedicata alla polarimetria è stata proposta e selezionata nel 2008 per lo studio di fase A, già conclusosi con successo e si è ora in attesa della decisione da parte ASI per la selezione in Fase B. In parallelo è in corso di discussione tra ASI e l'agenzia spaziale Cinese la missione HXMT. L'Italia, oltre ad un telescopio polarimetrico a focalizzazione, contribuirebbe alla realizzazione dei rivelatori di tipo *phoswich* (simili a quelli usati per l'esperimento SAX-PDS) per una *all sky survey* nella regione dei raggi X duri.

Molto attiva la comunità interessata allo studio dei GRB, coinvolta nello sviluppo di tecnologie e strumenti per il monitoraggio del cielo nei raggi gamma e l'osservazione in raggi X degli *afterglow*. Un piccolo telescopio X (XIAO) è stato proposto come contributo italiano alla missione franco-



cinese SVOM nell'ambito del bando "missions of opportunity" ASI 2007; la missione è stata selezionata per lo studio di fase A, svoltosi con successo, e ASI sta valutando la prosecuzione in fase B.

Grazie a finanziamenti per sviluppi tecnologici ASI e PRIN INAF e MIUR molto attiva è la comunità legata allo sviluppo di rivelatori innovativi per raggi X e gamma per applicazioni spaziali. Di particolare rilevanza è lo sforzo per nuove tecnologie per monitoraggio del cielo in raggi X e per studi di timing in raggi X; questi sforzi si renderanno particolarmente utili in vista della missione che succederà a Rossi-XTE per questo tipo di scienza. Anche il piano strategico di ASTRONET ha recentemente identificato l'All Sky Monitoring come una attività necessaria per rispondere ad interrogativi ancora aperti dell'Astrofisica delle Alte energie, e non ancora coperta da progetti concreti. Molto interessanti sono inoltre le attività legate alla focalizzazione di raggi gamma soffici tramite lenti alla Bragg basate su cristalli naturali; si ritiene questa tecnologia ormai matura per un test tramite pallone stratosferico.

L'INAF partecipa attivamente alle tecnologie legate all'astronomia gamma ad energia molto elevata da terra (*Very High Energy*, VHE), tra 0.1 e 100 TeV e per esperimenti di raggi cosmici. Per quanto riguarda l'astronomia VHE, INAF partecipa al consorzio MAGIC dal maggio 2007 e nel 2008 ha partecipato attivamente all'implementazione del telescopio MAGICII fornendo più di 100 m² di specchi realizzati con una tecnica innovativa messa a punto da OABr e OAPd in collaborazione con la ditta Media Lario Techn. Inoltre IASF-Pa è fortemente coinvolto nel progetto GAW che porterà alla realizzazione di un prototipo di telescopio Cherenkov a largo campo basato su lenti di Fresnel e rivelatori con elettronica a singolo conteggio di fotone. La comunità INAF sarà fortemente impegnata nello sviluppo del progetto europeo CTA (*Cherenkov Telescope Array*) recentemente approvato in ambito ESFRI, e al progetto americano AGIS (sottomesso alla Decadal Survey 2010), che probabilmente confluiranno.

IFSI-To e IASF-Pa sono fortemente coinvolti in esperimenti internazionali mirati a misurare lo spettro della radiazione cosmica su un ampio intervallo spettrale, come ad esempio Cascade Grande ($10^{14} - 10^{18}$ eV), EASTOP ($10^{13}-10^{16}$ eV) e Pierre Auger Observatory ($5 \times 10^{18} - 10^{21}$ eV). Dal punto di vista tecnologico parte dell'attività del gruppo è dedicata allo studio ed ampliamento della dinamica dei rivelatori e nel trattamento dei segnali generati nei rivelatori molto vicini al core dello sciame.

5.1 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 soprattutto concentrata soprattutto nell'OABr, con importanti attività in atto anche presso da parte dello IASF-Pa (soprattutto per la parte di ray-tracing), IASF-Mi (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 IASF-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 BeppoSAX, JET-X/Swift ed XMM-Newton. La produzione delle ottiche di XMM-Newton è stata affidata da ESA



alla ditta Media Lario Techn. di Bosisio Parini (Lc) nata sostanzialmente come uno spin-off di Istituti poi confluiti in INAF. ASI, tramite OABr, 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 principali 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 o Ni/Co 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 Symbol-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. Importanti progressi sono stati raggiunti nel corso del 2008 durante lo studio di Fase A del progetto finanziata da ASI, che vanno consolidati nel prossimo biennio 2009-10 tramite il sostegno da parte ASI della Fase B del progetto, prima di passare alla fase implementativa del modulo ottico.

Specchi leggeri in SiC o vetro a profilo polinomiale e largo campo: in questo caso si tratta di consolidare le tecniche realizzative studiate alcuni anni fa per lo studio di fase A della missione WAXS/WFXT in ambito ASI, in vista delle missioni per le ottiche a largo campo e ottima risoluzione angolare delle missioni WFXT e XENIA. Occorre ricreare una linea di produzione che sia pienamente disponibile in Italia per la produzione delle shell monolitiche in SiC o vetro sottile, 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). Oltre alla tecnica di epoxy replication già utilizzata in precedenza, si prevede lo studio di tecniche innovative di polishing diretto delle "mirror shell" per tentare di raggiungere risoluzioni angolari simili a quelle Chandra ma su supporto molto più sottile (10 mm contro alcuni mm). A questo proposito particolarmente interessante si pongono le tecniche di figuring "deterministico" basate sul "jet polishing" e l'"ion-figuring"

Sviluppo di specchi a segmenti ultraleggeri mediante tecniche di "cold" e "hot" slumping": presso OABr è in oggetto di ricerca un approccio innovativo per la produzione di specchi radenti a focale molto lunga (>20 m) e ampio raggio di curvatura (>0.5 m), del tipo di quelli che potrebbero essere usati su missioni della stessa classe di IXO. In questo caso, i segmenti di mirror shell con profilo Wolter I vengono ottenuti tramite formatura a freddo o a caldo di fogli sottili in vetro (dello spessore nell'intervallo 0.2 - 0.5 mm) e poi opportunamente assemblati insieme tramite l'incollaggio di costole di rinforzo, fino a formare strutture molto stabili e dotate di caratteristiche di imaging molto buone (l'obiettivo è di mantenere la risoluzione angolare HEW entro qualche secondo d'arco). Queste ricerche sono state sostenute dall'ASI ed, in prospettiva, si spera in un supporto anche da parte ESA.

Ottiche "high throughput" basate su supporto in materiale plastico: OAPa 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. OAPa opera una facility per la calibrazione di questa tipologia di specchi.



5.2 Ottiche per raggi Gamma soffici 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 Laue (trasmissione). Presso l'Università di Ferrara e IASF-Bo è in corso da vari anni uno studio di fattibilità per la realizzazione di telescopi per raggi X duri con cristalli a mosaico "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 con l'Istituto ILL di Grenoble (Fr). È stato già ottenuto il primo prototipo di lente, con risultati molto soddisfacenti, che sono stati presentati al simposio della SPIE sui telescopi che si è tenuto a Marsiglia (Fr) nel 2008. È in corso lo sviluppo di un secondo prototipo. Garantire un andamento dell'area efficace sufficientemente continuo in una banda così ampia è una sfida tecnologica e di design, che ci si aspetta di concludere in modo conclusivo nei prossimi anni. Tale ricerche sono supportate sia da ASI che da ESA con progetti di ricerca da hoc. Gli sviluppi in corso sulle lenti di Laue e i risultati ottenuti finora hanno fatto uso primario di una facility per raggi gamma con fasci "full illumination" ad energie variabili da circa 10 keV fino ad oltre 1 MeV attualmente in atto presso l'Università di Ferrara (al momento operativa nella banda da circa 10 a 150 keV). Gli sviluppi in corso sulle lenti di Laue sono molto importanti in vista di future missioni di astronomia gamma. La missione GRI (*Gamma Ray Imager*), proposta a ESA nell'ambito della prima AO di Cosmic Vision pur essendo stata giudicata in modo positivo per quanto riguarda l'impatto scientifico, non è stata approvata per ragioni di readiness tecnologica della lente. I risultati ora ottenuti e gli sviluppi prossimi in corso saranno fondamentali per future AO dell'ESA e per altre opportunità di missioni.

Si sta, tra l'altro, discutendo la possibilità di una missione di astronomia gamma in collaborazione coi Giapponesi (riferimento T. Takahashi) e si vorrebbe effettuare un esperimento a bordo di pallone, presentato al recente workshop sui palloni (giugno 2008) organizzato da ASI.

5.3 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 fotodiodi a bassissimo rumore quali le *Silicon Drift Chambers* (SDC) eventualmente accoppiati a di scintillatori e. 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 elettronica. ASI sta finalizzando un progetto di ricerca ad hoc per sostenere questo tipo di ricerca, che ha interessanti prospettive anche per IXO e Simbol-X



5.4 Rivelatori a semiconduttore non convenzionali per telescopi X-gamma

L'utilizzo di tecniche di focalizzazione che in Italia si stanno sviluppando con la tecnologia degli specchi multilayer (OABr) 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 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. Questo tipo di ricerche coinvolgono l'IASF-BO, IASF-Mi, IASF-Rm e IASF-Pa in collaborazione con il Politecnico di Milano, l'Università di Lecce e IMEM/CNR. Queste ricerche hanno ricevuto il sostegno di finanziamenti PRIN MIUR e INAF 2007.

Tra le attività di ricerca più importanti si ricorda la realizzazione di un prototipo di rivelatore da piano focale per lenti di Laue operanti da circa 100 keV a 1 MeV basato su sensori di CZT in una nuova configurazione che dovrebbe permettere di ottenere una buona spettroscopia (e.g. 1-2% a 661 keV) con un'elevata efficienza di rivelazione e una sensibilità in 3 dimensioni alla posizione di interazione dei fotoni. Queste caratteristiche consentirebbero di ottenere da uno stack di questo tipo di rivelatori ottime prestazioni anche in termini di sensibilità alla polarizzazione dei fotoni di alta energia. Inoltre la collaborazione con l'Univ. di Lecce riguarda lo sviluppo di linee di produzione ad hoc per sensori di CdTe/CZT (cristallo più metallizzazioni) basate su tecniche omo-epitassiali (per ottenere dispositivi a giunzione in CdTe) e su tecniche di accrescimento di CZT *bulk* (per la realizzazione di sensori ad elevata efficienza e buone caratteristiche spettroscopiche). Nell'ambito di questo progetto l'IASF-Bo e IASF-Pa sono responsabili della caratterizzazione dei dispositivi realizzati, lo studio di tecniche per il miglioramento delle prestazioni spettroscopiche.

5.5 Sviluppo di sistemi e All Sky Monitoring e timing in raggi X

La missione AGILE ha generato esperienza e strumentazione su rivelatori a semiconduttore (Si microstrip) ed elettronica VLSI (ASIC). In particolare, l'esperimento SuperAGILE ha dimostrato come la tecnologia del silicio consenta la realizzazione di imager X a largo campo (1 steradiante) e risoluzione angolare al minuto d'arco con risorse innovativamente contenute (10kg, 10W). Su queste basi è nato quindi il progetto All Sky Monitor, in collaborazione tra l'IASF-Rm e l'IASF-Bo, destinato ad essere proposto per nuove missioni, tra le quali ad esempio PHAROS, NEW, Spectrum-X-Gamma, XENIA o una piccola missione dedicata.

Al suo avvio nel 2007, finanziato da un PRIN INAF (progetto ASPEX), il progetto è stato basato su una evoluzione del design di SuperAGILE, in grado di raggiungere sensibilità significativamente migliori grazie ad ottimizzazioni del design e dell'hardware.

Questa soluzione, ancora oggi oggetto di studio e test, è stata quindi affiancata dallo studio di rivelatori al silicio "importati" da altre discipline, quali la Fisica medica e la Fisica delle particelle. Sono state impostate ed avviate collaborazioni con il Politecnico di Milano e la sezione di Trieste dell'INFN per lo studio per una applicazione ASM dei rivelatori Controlled Drift Detectors (CDD, PoliMi) e le camere a deriva dell'esperimento LHC/ALICE (Alice-D4). La valutazione scientifica, in termini di design vs performances, ed i primi test con le camere a deriva sono stati oggetto di un finanziamento ASI-INAF nell'ambito del secondo anno dello Studio di Astrofisica delle Alte



Energie, per il terzo anno del quale è stata sottomessa la richiesta di un'estensione del progetto ASM per un secondo anno.

E' importante notare come questa attività possa trovare spunti di applicazione anche in altri settori dell'Astrofisica delle alte energie sperimentale. Le proprietà dei rivelatori al silicio (grande area, risoluzione spaziale, temporale ed energetica) in studio per l'ASM, rendono infatti questi idonei ad operare come primo stadio di telescopi Compton, per la banda 0.1-10 MeV, L'applicazione in un contesto Compton è oggetto di uno studio preliminare, finanziato da ASI per il 2009, coordinato da IASF-Bo. D'altra parte questo tipo di rivelatori sono particolarmente adatti esperimenti di X-ray timing di grandissima area (decine di metri quadrati), aprendo importanti prospettive per l'implementazione della missione che sostituirà nello studio di fenomeni astrofisici relativistici a frequenze estremamente elevate, con particolare riferimento ai QPO.

5.6 Polarimetria in raggi X

La polarimetria, rimasta finora quasi del tutto inutilizzata in Astronomia X, ha invece, secondo le previsioni teoriche grandi aspettative: 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-Rm 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 multi-unità da ospitare a bordo della missione POLAR-X (proposta da ASI per il bando Piccole missioni 2007 e selezionata in fase A) o della missione Cinese-Italiana HXMT. IASF-Rm e OABr stanno collaborando al design dei due moduli ottici che saranno utilizzati per la focalizzazione su due rivelatori polarimetrici distinti. L'uso di rivelatori polarimetrici è attualmente considerato anche per missioni quali IXO e SIMBOL-X. L'attività di sviluppo tecnologico prevede la realizzazione di un prototipo di rivelatore fotoelettrico per impieghi spaziali e l'ASI ha finalizzato un contratto con INAF specificamente indirizzato a questo scopo, mentre è previsto un ulteriore supporto da parte ASI nell'ambito del contratto per le attività preparatorie di IXO .

Per quanto riguarda la banda dei raggi X duri/Gamma molli verranno studiati polarimetri Compton suddivisi a doppia fase, ideati allo IASF-Rm, 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. Presso IASF-Bo sono infine in corso piccoli esperimenti dedicati allo studio delle prestazioni dei rivelatori CZT come polarimetri di piano focale per lenti di Laue.

5.7 Microcalorimetri per spettroscopia non dispersiva ad altissima risoluzione

Lo studio dell'Universo in raggi X con rivelatori ad altissima risoluzione spettrale apre una nuova frontiera di indagine su fenomeni astrofisici e cosmologico estremi e fondamentali. Si richiede l'utilizzo di rivelatori con risoluzioni spettrali molto spinte ($E/\Delta E \sim 1000-3000$), efficienza quantica ~ 1 e un alto rateo di conteggi (> 300 cts/s per pixel), per utilizzarli nel piano focale di



grandi telescopi per raggi X con un elevato numero di pixel (1000). L'unico tipo di sensori con queste caratteristiche sono i microcalorimetri criogenici, in particolare quelli a transizione di fase superconduttiva (TES), presenti nel piano focale di missioni future come IXO e XENIA. L'Italia è coinvolta in attività di sviluppo legate ai calorimetri TES tramite diversi istituti (IASF-Rm, IASF-Pa, OAPA, in ambito INAF e inoltre INFN, UNIG, INFN/CNR) e l'industria aerospaziale TAS-I. Il progetto è inserito in collaborazioni internazionali europee (consorzio EURECA) e più recentemente si è iniziata una collaborazione con NASA/Goddard. Inoltre il Ministero degli Affari Esteri ha finanziato un progetto bilaterale di grande rilevanza Italia/Giappone (IASF-Rm, Tokyo Metropolitan University e JAXA). Le attività coprono, oltre al sensore, le parti cruciali del sistema come l'elettronica di lettura, i sistemi di riduzione del fondo e la criogenia. IASF-Rm è in particolare impegnato nelle ricerche relative all'abbattimento del fondo tramite rivelatore di anticoincidenza. Il progetto ha come obiettivo la realizzazione di un'anti-coincidenza criogenica basata essa stessa su TES, da abbinare a rivelatori costituiti da array di TES nel piano focale di missioni X, quale ad esempio IXO (ESA, NASA, JAXA).

5.8 Rivelatori per raggi Gamma basata su tecnica Compton

I punti di forza dell'architettura Compton per la rivelazione dei raggi gamma possono essere succintamente riassunti in un aumento di sensibilità ottenuta riducendo il background dello strumento e nella possibilità di misurare lo stato di polarizzazione della radiazione rivelata. Le attività in Italia che si fondano su finanziamenti ASI (a Novembre 2008 è conclusa la fase di congruità della offerta ad ASI), sono guidate dallo IASF-Bo e vi collaborano ricercatori dello IASF-Mi, IASF-Rm, Politecnico di Mi, Università di Pavia e Bo, CNR Parma ed ENEA di Bo e Roma; con collaborazioni internazionali che coinvolgono MPE di Monaco di Baviera (Germania) e la Columbia University (USA). La ricerca si articola su tre filoni principali: i) studio di rivelatori 'leggeri' da impiegare per lo scattering delle radiazioni; ii) studio di rivelatori 'pesanti' da impiegare come calorimetri; iii) studio della architettura complessiva ivi comprese le tecniche per la miniaturizzazione della elettronica ed i modelli Monte Carlo di un sistema complessivo

I rivelatori di scattering si basano su rivelatori in Si a deriva multi lineare o rivelatori a strip in SiC; in entrambi i casi è possibile ottenere ottime risoluzioni spaziali ed energetiche. I rivelatori per il calorimetro si basano anche essi su scintillatori di nuova generazione (tipicamente $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$) con lettura sia rivelatori a semiconduttore CZT (Cadmium Zinc Telluride); questo caso il rivelatore associa ad un buon *stopping power* buone caratteristiche di risoluzione energetica.

5.9 Sviluppi tecnologici legati alla realizzazione di telescopi Cherenkov

L'astronomia gamma VHE, tra 0.1 e 100 TeV, ha raggiunto negli ultimi anni risultati davvero importanti, con profonde e sorprendenti implicazioni sui modelli teorici dei 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 da parte dell'INFN e, dal 2007, anche dell'INAF) hanno rivelato un cielo ricco di diverse morfologie da studiare, aprendo una nuova banda osservativa molto interessante. 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). Dal 2007 INAF è stata coinvolta formalmente in MAGIC e, nel 2008, ha fornito 100 m² di specchi per l'implementazione del telescopio MAGICII. Gli specchi sono stati realizzati utilizzando una tecnica innovativa (cold slumping di fogli sottili in vetro) messa a punto da INAF (OABr e OAPd) in collaborazione con la ditta Media Lario; alla fase di integrazione degli specchi ha fattivamente partecipato l'equipe del TNG. IASF-Pa partecipa inoltre nella realizzazione dell'esperimento GAW, che prevede l'uso di telescopi a largo campo basato su lenti di Fresnel. Inoltre, a valle di una proposta nata da un consorzio di istituti europei (gli stessi di HESS e MAGIC – questa volta uniti) ESFRI ha raccomandato la realizzazione in ambito europeo del nuovo grande progetto di array di telescopi Cherenkov CTA (Cherenkov Telescope Array), che consentirà di portare il numero di sorgenti con emissione nella regione VHE dalle attuali poche decine fino ad alcune migliaia, aprendo nuove prospettive soprattutto nell'ambito dell'astronomia VHE extragalattica. In parallelo, INAF collabora anche con il consorzio americano AGIS (nato dalla collaborazione del telescopio TeV VERITAS) che ha sottomesso la proposta di un array simile a CTA per la valutazione nell'ambito della Decadal Survey 2010. E' molto probabile che le proposte CTA e AGIS convergeranno in un unico programma. In questo ambito, particolarmente ed eccitante, si pongono i seguenti sviluppi tecnologici:

- Specchi: OABr, in collaborazione con la ditta Media Lario Techn., è impegnato nel consolidamento degli specchi innovativi in vetro sottile, irrigiditi sul retro con una struttura "honeycomb", utilizzando una tecnica di replica chiamata "cold slumping". Tale approccio è particolarmente vantaggioso perché permette una produzione di volume industriale con costi e pesi contenuti ed è stato utilizzato con successo per la realizzazione di 110 pannelli da 1 m² per il telescopio MAGIC II. In prospettiva, questa è una tecnologia particolarmente promettente anche per la realizzazione degli specchi di CTA che va consolidata per ottenere prestazioni migliori in termini di risoluzione angolare, aumentarne la durabilità e diminuire ulteriormente i costi produttivi (per CTA si prevede la realizzazione di ca. 10000 pannelli). Gli aspetti innovativi che vanno studiati riguardano l'utilizzo di *foam* in vetro presagomate al posto delle strutture hexacell in Al, oltre che l'uso di fogli di vetro più sottili (adeguatamente sostenuti) come superficie riflettente primaria. La collaborazione con AGIS riguarda invece lo sviluppo di specchi secondari segmentati asferici tramite formatura a caldo. Questi specchi andranno implementati in telescopi a largo campo basati su doppia riflessione.
- Disegno e sviluppo di tecniche di focalizzazione a largo campo: nell'ambito del progetto GAW, presso IASF-Pa è in atto uno sviluppo mirato allo sviluppo di telescopi Cherenkov non convenzionali basati su lenti di Fresnel a largo campo. Telescopi di dimensioni minore ma con campo di vista maggiore potrebbero essere impiegate nella fase di implementazione di CTA e AGIS (come già menzionato al punto precedente), ponendoli nelle regioni più esterne delle matrici di telescopi come complemento dei telescopi ad area maggiore posti al centro della matrice, permettendo tramite 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 dell’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

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 OABr) e alla ricerca del sito ottimale (OABo).

5.10 Sviluppi tecnologici legati alla realizzazione di esperimenti per lo studio dei Raggi Cosmici

IFSI-To e IASF-Pa sono fortemente coinvolti in esperimenti internazionali mirati a misurare lo spettro della radiazione cosmica su un ampio intervallo spettrale, come ad esempio Cascade Grande ($10^{14} - 10^{18}$ eV), EASTOP (10^{13} - 10^{16} eV) e Pierre Auger Observatory ($5 \times 10^{18} - 10^{21}$ eV). Dal punto di vista tecnologico parte dell’attività del gruppo è dedicata allo studio ed ampliamento della dinamica dei rivelatori e nel trattamento dei segnali generati nei rivelatori molto vicini al core dello sciame. Oltre alle tecniche di rivelazione in corso di sviluppo presso IASF-Pa già menzionate per i telescopi VHE Gamma, IFSI-To è impegnato nello sviluppo di tecniche e procedure per la rivelazione, la calibrazione ed il controllo (su lungo periodo ed in condizioni ambientali difficili caratterizzate da grandi escursioni termiche) di rivelatori a scintillazione o Cherenkov ad acqua utilizzati per la rivelazione al suolo degli sciame estesi atmosferici e dei neutrini.

Nel triennio 2009-2011 continueranno le operazioni di gestione del sito sud del Pierre Auger Observatory in Argentina per cui ricercatori IFSI coordinano 2 degli 8 task di controllo del rivelatore: Prestazioni dei fotomoltiplicatori del Surface Detector e Selezione degli eventi ed apertura/trigger del rivelatore. Per il sito Nord del Pierre Auger Observatory in Colorado sarà sviluppato un sistema di iniezione di luce impulsata di durata temporale variabile per il controllo dello stato dei rivelatori, della linearità e dinamica di risposta per eventi vicini al core dello sciame fino ad energie primarie dell’ordine di 10^{21} eV (cioè correnti di picco all’anodo dei fotomoltiplicatori dell’ordine di 2,5 A con $G_{\text{pmt}} \approx 2 \times 10^5$) ed un sistema di alimentazione dei fotomoltiplicatori a bassissimo consumo, alta affidabilità, stabilità alle escursioni termiche e, possibilmente, a basso costo. La diversa configurazione del rivelatore Cherenkov ad acqua previsto per Auger Nord, la maggiore area su cui saranno distribuiti i rivelatori e la probabile maggiore distanza l’uno dall’altro richiederanno inoltre modifiche alle diverse procedure di controllo e gestione utilizzate nel sito Sud ed in cui sono impegnati i ricercatori IFSI (sistemi di trigger, risoluzioni angolari ed energetiche, calibrazioni, etc.). Per le ricerche sui neutrini e sulla materia oscura gli sviluppi riguardano: a) sviluppo di rivelatori liquidi a scintillazione drogati con elevate concentrazioni di metalli pesanti per migliorare la risposta alla cattura neutronica e quindi la sensibilità ai diversi canali di interazione neutrinica; b) 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 in doppia fase; c) implementazione di sistemi di controllo della purezza del gas nobile utilizzato in prototipi di esperimenti a Xenon per materia oscura.



6. INFORMATICA ASTRONOMICA

Nel corso del 2007, all'interno di "A Science Vision for European Astronomy" edito a cura dell'iniziativa Europea ASTRONET, la sezione "Raccomandazioni" aveva identificato alcuni requisiti inter-disciplinari comuni a tutte i rami dell'astrofisica, e da considerare quindi di altissima priorità: lo sviluppo di modelli e simulazioni, l'esistenza di risorse di calcolo di adeguata potenza, la gestione omogenea di grandi quantità di dati tramite un Osservatorio Virtuale. Nell'autunno 2008, il documento "The ASTRONET Infrastructure Roadmap – A Strategic Plan for European Astronomy" ha specificato i passi necessari a realizzare un'opportuna infrastruttura informatica per l'astronomia. Vengono identificati come necessario uno sviluppo delle capacità di calcolo e di simulazione teorica che sia in sincronia con quello delle *facility* osservative, e la creazione e mantenimento di un Osservatorio Virtuale che permetta la gestione delle enormi moli di dati prodotte da strumenti e simulazioni.

INAF ha stipulato un accordo con il CINECA (Bologna) per l'uso delle risorse di super computing che viene rinnovato con cadenza triennale ed ha un ruolo chiave nella gestione di due consorzi per il calcolo scientifico, COSMOLAB in Sardegna (INAF-OACa) e COMETA in Sicilia (INAF-OACt).

Risulta quindi essere strategico nei prossimi tre anni continuare a supportare il CINECA nell'azione di fornire alla comunità astronomica italiana supercomputer di nuova generazione (centinaia di TeraFlop) e di aumentare all'interno della comunità stessa le conoscenze necessarie ad utilizzare queste *facility*. La diffusione di una cultura 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.

6.1 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. Partendo dall'esperienza acquisita sino dal 2002 con GRID.IT (progetto multidisciplinare nazionale finanziato dal FIRB), DRACO (progetto co-finanziato della astrofisica italiana) e due progetti pilota dedicati alla gridizzazione delle *pipeline* della missione spaziale Planck (Planck@EGEE e PlanckGRID), la competenza INAF nel campo si è ampliata tanto che



personale dell'Ente coordina il “cluster” astrofisica e il gruppo di lavoro “Database” all'interno della GRID europea per la ricerca (EGEE).

Nel prossimo triennio, oltre al lavoro di coordinamento europeo a livello EGEE, è necessario realizzare le fasi di gestione degli accessi alla Grid da parte degli istituti INAF creando un'organizzazione virtuale e di supporto agli utenti per il porting dei loro codici. A tale scopo lo sviluppo dell'infrastruttura di Data Grid per INAF è coordinato a livello nazionale tramite il servizio Sistemi Informativi (SI). 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.

6.2 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 (OACn, OAPd, OATs) che di VST (OACn) 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.

6.3 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 X-shooter (OATs), strumento di seconda generazione per VLT al momento in fase di commissioning;
- per la realizzazione del software di controllo di OmegaCAM (OAPd, OACn), imager a grande campo per VST;
- per la realizzazione del software di controllo di MAD (OAPd), dimostratore di ottica adattiva multiconiugata facente parte del Piano R&D per ELT;
- per la realizzazione del software di controllo di SPHERE (OAPd, OACt), planet finder precursore di uno strumento simile per E-ELT;
- per la realizzazione del software di controllo/elettronica e modalità osservative di ESPRESSO (OATs) per VLT, precursore di CODEX strumento di prima generazione di E-ELT;
- per la realizzazioni di elementi del software di controllo di ALMA (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; infatti, l'INAF si è assunta la responsabilità della progettazione e realizzazione dell'elettronica e del software di controllo di ESPRESSO precursore di CODEX strumento di prima generazione per l'ESO/E-ELT. Va infine notato che un progetto (EVALSO) che prevede la presenza virtuale al telescopio durante le osservazioni è stato recentemente approvato dall'Unione Europea (EU/FP7).

6.4 Attività EGSE per carichi scientifici di missioni spaziali a carattere astrofisico

Le attività di *Electrical Ground Support Equipment* (EGSE) sono molto importanti per permettere l'implementazione dei carichi scientifici a bordo di varie missioni spaziali in Astrofisica. Molti gruppi INAF hanno sviluppato un importante know-how in questo settore. Di particolare rilevanza le attività già svolte in passato presso lo IASF-Bo per i progetti EPIC a bordo di XMM/Newton, PICsIT/IBIS a bordo di INTEGRAL e AGILE della missione spaziale dell'ASI. In tutte queste missioni, il team di IASF-Bo ha fornito il sistema, denominato "Science Console", costituito da una workstation che si collega all'EGSE dell'industria per fornire le funzionalità di archiviazione, processamento e visualizzazione. Il sistema è stato concepito e realizzato per essere impiegato nei sistemi di terra per la verifica e calibrazione dei carichi scientifici, indipendentemente dalle caratteristiche dello specifico strumento. Il sistema "Science Console", che si è evoluto nel passare da una missione all'altra, attualmente si articola in una serie di sottosistemi che vanno dall'acquisizione di telemetria e telecomandi e alla loro archiviazione in formato grezzo fino alla fornitura di quick-look e al processamento dei dati di telemetria. Nella Missione AGILE, il sistema Science Console è stato utilizzato anche per derivare il sistema di *Telemetry Pre-Processing* (TMPPS) installato presso il Science Data Centre ASDC di ASI – Roma, e impiegato, dall'inizio della missione in orbita, per l'archiviazione dei dati preliminari. I sistemi "Science Console" e TMPPS" sono buoni candidati per prossime missioni spaziali, come XIAO-SVOM, Simbol-X e WFXT, che vedono la partecipazione della comunità italiana di alte energie. Attività sono in corso per estendere ulteriormente la funzionalità del sistema.

6.5 Gestione e Archiviazione Dati

Nel corso del 2005 è stato istituito il centro Italiano Archivi Astronomici (IA2), 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. Attualmente, in collaborazione con le Università dell'Arizona e di Heidelberg, si sta implementando l'archiviazione dei dati osservativi dei vari strumenti LBT.

Nel prossimo triennio, oltre alla gestione del servizio di archivio, si prevede di sviluppare la possibilità di calibrare i dati osservativi al momento della loro estrazione dall'archivio ("on-the-fly") e di implementare l'archiviazione di dati da simulazioni numeriche. In entrambi i casi si utilizzeranno gli 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 collabora con ASI per la gestione di ASDC. Nel prossimo triennio ci si aspetta che questo accordo sia rinnovato, ma opportunamente modulato in modo da facilitare la gestione coordinata degli archivi in un'ottica di Osservatorio Virtuale.

6.6 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 IVOA (International Virtual Observatory Alliance). L'INAF è fortemente coinvolta nella attività di questa organizzazione, sia in termini di management (l'attuale presidente è dipendente INAF), sia in termini di supporto all'archiviazione dei dati, sia in termini di sviluppo dei *tool* necessari che nella partecipazione alla definizione degli standards a livello internazionale. È inoltre da ricordare la partecipazione di INAF a progetti finanziati dai Programmi Quadro (FP6 e FP7) dell'UE nell'ambito del VO:

- VO-Tech, in cui INAF sta sviluppando strumenti di gestione dell'informazione, sistemi intelligenti di "scoperta delle risorse", di data mining e di visualizzazione.
- VO-DCA, in cui INAF sviluppa l'inclusione di dati teorici nel VO internazionale e le interfacce tra il VO e le infrastrutture di grid computazionale.
- VO-AIDA, in cui si sta realizzando l'infrastruttura europea di Osservatorio Virtuale mediante il coordinamento delle iniziative nazionali.

Anche a livello italiano si è sviluppato il progetto di un Osservatorio Virtuale (VObs.it). L'attività prevede la partecipazione ai gruppi di lavoro IVOA per la definizione e l'aggiornamento di standard riconosciuti internazionalmente, ed il supporto all'integrazione in VO degli archivi disponibili presso la comunità nazionale.

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.

6.7 Software di simulazione ed 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 di particolare rilievo la partecipazione al gruppo di lavoro internazionale da parte di IASF-Mi,



supportato dal progetto UE/FP6 OPTICON, per la definizione di un ambiente di nuova generazione per l'elaborazione dei dati astronomici.

Inoltre, ed in maniera del tutto complementare, è altrettanto importante sviluppare del software che sia in grado di simulare realisticamente l'output di uno strumento. Tale software è di fondamentale importanza per poter adeguatamente comprendere le caratteristiche dello strumento (ed eventualmente modificarne la progettazione e/o realizzazione) e preparare il software di elaborazione dati.

Ci si aspetta quindi che nel prossimo triennio INAF continui a supportare la partecipazione ai progetti internazionali nel campo, coordinando a livello nazionale gruppi di lavoro dedicati ad aspetti specifici della simulazione, riduzione ed analisi dati e soprattutto che dedichi risorse adeguate a questa attività.

6.8 Coordinamento dell'ICT per l'astronomia

Il passo che appare ormai maturo per la nostra comunità è la realizzazione di un'opportuna integrazione delle *facilities* informatiche individuali di cui sopra in un ambiente complessivo orientato all'utente, che realizzi una vera e propria infrastruttura informatica per l'astronomia italiana, coordinata con analoghe iniziative internazionali. Il documento "The ASTRONET Infrastructure Roadmap" contiene la seguente affermazione: "The Virtual Observatory (VO) is *the* e-Science initiative for astronomy": in realtà si prende in considerazione un "VO" ben più complesso, integrato con le risorse di calcolo (eventualmente ad alte prestazioni, o distribuito "à-la-Grid"), con servizi realizzati mediante software applicativo specializzato, e così via.

Nel triennio si mira a definire e realizzare una infrastruttura informatica di ricerca integrata, che sia adeguata alle nuove sfide scientifiche che la comunità astronomica italiana dovrà affrontare nel prossimo futuro. Si tratta di una *e-infrastruttura* a guida INAF, che si propone di integrare le capacità di accesso uniforme ai dati multi-frequenza tipiche dell'Osservatorio Astronomico Virtuale, le metodologie di riduzione e di analisi statistica di grandi quantità di dati, la potenza di calcolo distribuita accessibile tramite tecniche di Grid e quella reperibile nei centri di supercalcolo (HPC) di grandi e medie dimensioni utilizzabili dalla comunità (CINECA e PON). Questa attività integra un buon numero delle attività di R&D riportate in questo capitolo.

Il beneficio che questa iniziativa porterebbe alla comunità e l'economia che ne deriverebbe appare evidente. Si stimola quindi INAF in modo da compiere nel prossimo triennio dei passi decisivi verso il mantenimento della competitività italiana nel campo.

6.9 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, ecc.) 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 consorzio "Garr", al fine di avere una maggior voce in capitolo nella definizione dello sviluppo dell'infrastruttura nazionale e della relativa politica dei costi.



7. TECNOLOGIE TRASVERSALI

7.1 Site Testing

INAF, in collaborazione con ESO e IAC e partecipando a progetti europei svolge un'attività, 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*. Va sottolineato che tecniche osservative di avanguardia come, ad esempio, la tomografia laser, l'ottica adattiva applicata agli strati bassi dell'atmosfera, le osservazioni a corta lunghezza d'onda, dipendono fortemente da parametri fisici dell'atmosfera come il contenuto di sodio, la turbolenza del profilo verticale o il tempo di coerenza oltre che dai classici parametri meteorologici. In generale lo studio della qualità dei siti astronomici si inserisce nell'ambito di importanti campagne internazionali mirate a condurre misure e fare analisi statistiche di tutti i parametri connessi alla turbolenza atmosferica, causa del degrado della qualità dell'immagine finale, per selezionare e caratterizzare i migliori siti astronomici in modo da migliorare le prestazioni dei telescopi installati. Recentemente sono state sviluppate collaborazioni internazionali, sotto forma di una serie di azioni coordinate e concordate, tra i gruppi italiani coinvolti in tale attività presso OABo e OAPd e ricercatori europei di IAC ed ESO, partendo dai dati meteo esistenti in tre importanti siti osservativi: Cerro Paranal (Cile), Roque de Los Muchachos (isole Canarie), Dome C (Antartide); scopo della ricerca è lo studio delle proprietà atmosferiche dettagliate per formulare modelli di previsione sinottici. In tale contesto OABo e OAPd partecipano alle attività di un progetto FP7, occupandosi specificamente della definizione dei parametri chiave che regolano l'accesso e la migliore efficienza nella interazione fra utente scientifico e le *facilities* del futuro telescopio E-ELT. L'analisi della turbolenza atmosferica, sia tramite modellistica tridimensionale che con misure, è dunque essenziale per l'utilizzo di tecniche di ottiche adattive, a tutte le lunghezze d'onda osservabili da terra, sia per la selezione dei siti che per l'utilizzo di telescopi tramite scheduling dinamico. Presso l'OAAr è attivo un gruppo del progetto europeo FoRT (*Forecast of Optical Turbulence*), che unisce competenze di fisica dell'atmosfera, astronomia, e tecnologie di ottica adattiva. L'attività scientifica del team ForOT concerne la caratterizzazione della turbolenza ottica sviluppata sopra i siti astronomici fatta con misure e simulazioni ottenute con modelli atmosferici su mesoscala. Le attività del gruppo nel triennio sono pure rivolte sia all'analisi di siti esistenti (LBT, Dome-C e altri siti antartici) che allo sviluppo di tecniche di previsione per ELT.

Si noti che INAF partecipa con diversi gruppi (OABo, IASF-Pa) anche allo studio della ricerca del sito per il futuro telescopio TeV Cherenkov Telescope Array.

7.2 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-Rm sta utilizzando con successo per test su campioni di array di bolometri nell'ambito di collaborazioni con Genova e Roma.

Presso 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-Rm 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 (IRA, OAAr).

7.3 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 (IASF).

FPGA vengono sempre più di frequente utilizzate, oltre che per sistemi hardware di uso generale, per controllistica avanzata per CCD e camere IR e ottiche (gruppo rivelatori OACa, OAAr, OAct),



e per integrare sistemi complessi, incluso il computer di controllo, in uno o pochi componenti (system-on-a-chip) (IFSI, IASF-Mi). In particolare la controllistica di strumentazione, sia da terra che su satellite, si basa sempre più su sistemi integrati in FPGA. FPGA sono usate in misura crescente per digital processing in back-end radioastronomici (IRA, OAAr, OACa).

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 molti differenti da quelle inizialmente previste. Essendo possibile descriverne le funzionalità tramite linguaggi di alto livello, vengono sviluppate e sono disponibili librerie applicative di blocchi strutturali (processori, periferiche, componenti di signal processing), che consentono uno scambio ed un riutilizzo di esperienze tra gruppi diversi. E' quindi essenziale una collaborazione tra gruppi affini, come accade ad es. per le applicazioni radioastronomiche, e con i gruppi internazionali in cui queste librerie vengono sviluppate.

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 presso l'IASF-Mi (collaborazione ASI-ESA), con la realizzazione di sistemi ridondanti ed esperimenti di emulazione dei danni da particelle con acceleratori.

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.

7.4 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.



Indice Analitico

- A**
- AdOPT; 12
 ADS; 13; 15
 AGILE; 27; 31; 38
 AGIS; 28; 34
 ALMA; 9; 37
 AMBER; 12; 17
 AMICA; 20
 ASDC; 38; 39
 ASI; 4; 7; 8; 13; 20; 24; 25; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 38;
 39; 43; 44
 ASTRONET; 28; 36; 40
 ATST; 22
- B**
- BepiColombo; 11
 Bepi-Colombo; 24
 BeppoSAX; 27
 Bettini spa; 19; 29
 BIGRE; 14
 B-Pol; 8
 BRAIN; 8
- C**
- Cassini; 24
 CINECA; 36; 40
 CNES; 27
 Cochise; 8
 CODEX; 13; 37; 38
 COMETA; 36
 COSMOLAB; 36
 CTA; 18; 28; 34; 35
- D**
- Dawn; 24
 DEISA; 36
 DIAMOND; 25
 DOLORES; 12
 DRACO; 36
 Dunn Solar Telescope; 22
- E**
- EASTOP; 28; 35
 E-ELT; 12; 13; 14; 15; 18; 19; 38; 42
 EGEE; 36; 37
 ENEA; 33; 43
 E-NIS; 13
 EPICS; 13; 14
 ESA; 7; 13; 23; 24; 25; 27; 28; 29; 30; 33; 44
 ESFRI; 28; 34
- ESO; 9; 12; 15; 18; 19; 37; 38; 42
 ESPRESSO; 12; 37; 38
 EST; 22
Euclid; 13
 Europractice; 44
 EXIST; 27
 Exomars; 24
- F**
- FINITO; 17
 FLAMES; 12
 FP7; 6; 9; 10; 22; 38; 39; 42
- G**
- Gaia; 18; 23
 Galileo Avionica; 19; 29
 GAME; 18; 23
 GARR; 40
 GAW; 28; 34
 GEANT; 40
 GIADA; 24; 25
 GIANO; 12; 14; 17; 19
 GLAST-FERMI; 27
 GRAVITY; 18
 GRI; 30
 GRID; 36; 37
 GTC; 14
- H**
- Herschel; 23
 HESS; 33
 HESS2; 18
 HRIC; 24
 HXMT; 27; 32
- I**
- IA2; 38
 IASF-Bo; 6; 8; 27; 30; 31; 32; 33; 38
 IASF-Mi; 9; 13; 16; 20; 27; 28; 30; 31; 33; 39; 44
 IASF-Pa; 27; 28; 31; 33; 34; 35; 42
 IASF-Rm; 7; 20; 27; 31; 32; 33; 43
 IBIS; 22; 23; 38
 IFSI; 11; 23; 24; 26; 28; 35; 44
 INFN; 4; 7; 8; 11; 16; 27; 31; 32; 33
 INTEGRAL; 27; 38
 IRA; 6; 8; 9; 10; 43; 44
 IRAIT; 20
 ISA; 11
 ISS; 25
 ItaSEL; 9
 IVOA; 38; 39
 IXO; 8; 27; 29; 30; 32; 33



<p>J</p> <p>JAXA; 27; 33 Juno; 24</p>	<p>K</p> <p>Kascade Grande; 28; 35</p>	<p>L</p> <p>LBC; 12; 16; 17; 37 LBT; 12; 16; 17; 19; 37; 38; 42 LHC/ALICE; 31 LINC-NIRVANA; 12; 17 LOFAR; 10</p>	<p>M</p> <p>MAGIC; 18; 28; 33; 34 MAGIC I; 18 MAGICII; 28; 34 MARE; 8 Mars Express; 24 MATISSE; 18 Media Lario Techn; 28; 29; 34 Medicina; 9; 10 MEDUSA; 25 Microgate; 13; 15</p>	<p>N</p> <p>NAHUAL; 14 NASA; 24; 27; 33 NICS; 12; 17 Noto; 9; 10 NSO; 22 NSWD; 23 NTT; 12; 18</p>	<p>O</p> <p>OAAr; 6; 8; 9; 11; 13; 14; 15; 16; 17; 19; 22; 42; 43 OABo; 14; 15; 17; 35; 42 OABr; 9; 13; 14; 15; 17; 19; 20; 27; 28; 29; 31; 32; 34; 35 OACa; 6; 9; 10; 11; 18; 36; 43; 44 OACn; 19; 23; 24; 37 OACt; 13; 14; 16; 17; 18; 20; 21; 23; 36; 37; 43 OAPa; 27; 28; 29; 43 OAPd; 9; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 24; 28; 34; 37; 42 OARm; 13; 15; 16; 17; 18; 23; 35 OATe; 20 OATo; 11; 17; 18; 23 OATs; 20; 23; 37 OMEGACAM; 12 OPTICON/FP6; 19 OPTIMOS; 13</p>	<p>P</p> <p>Phobos; 25 Pierre Auger Observatory; 28; 35 Planck; 36 POLAR-X; 27; 32 PON; 36; 40 PRIMA; 17</p>	<p>R</p> <p>RIC; 7; 8 Rosetta; 24 Rossi-XTE; 28</p>	<p>S</p> <p>SARG; 12; 19 SCORE; 23 SIMBIOSYS; 24 SIMBOL-X; 27; 32 SIMPLE; 13 SKA; 10 Solar Orbiter; 23 SPHERE; 12; 14; 37 SRT; 8; 9; 10 STC; 24 SuperAGILE; 31 SUSI2; 12 SVOM; 28; 38 SWIFT; 27</p>	<p>T</p> <p>THEMIS; 22 TNG; 12; 14; 17; 19; 34; 37; 38</p>	<p>U</p> <p>UVISS; 20</p>	<p>V</p> <p>VAMOS; 23 Venus Express; 24 VERITAS; 34 VIMOS; 12 VLBI; 6; 9; 10; 11; 40; 44 VLT; 12; 14; 16; 37 VLTI; 17; 18 VSI; 18 VST; 12; 16; 19; 37</p>	<p>W</p> <p>W-CAM; 7 WFXT; 27; 29; 38</p>
--	---	---	--	--	--	---	--	--	---	----------------------------------	--	--



WHT; 16
WSO/UV; 20

X

XENIA; 27; 29; 31; 33

XEUS; 27
XIAO; 27; 38
XMM; 9; 27; 28; 38
X-SHOOTER; 12