

1 Progetti Tecnologici

1.1 Telescopio del Toppo di Castelgrande (TT1)

Il TT1 (Toppo Telescope no. 1) è un riflettore di tipo Ritchey-Chretien ($f/8.5$), con specchio primario di 1.52 m di diametro e montatura altazimutale, interamente progettato dal gruppo di tecnologia dell'OAC (TWG = Technology Working Group) con criteri innovativi soprattutto per quanto riguarda l'elettronica e il software. Il TWG ha anche sovrinteso la realizzazione della meccanica presso la ditta Irmac di Balvano (PZ), la lavorazione dell'ottica (in Zerodur della Schott) presso la ditta Marcon di San Donà di Piave (VE) e la progettazione e assemblaggio della cupola (ditta Tucam di Mate-



Figura 1a: L'edificio della stazione osservativa del Toppo di Castelgrande.

ra), ha costruito "in casa" la movimentazione e l'elettronica di controllo, ha sviluppato il software di gestione, e ha direttamente provveduto all'integrazione dello strumento in cupola.

Il telescopio è ospitato nella stazione osservativa di Toppo di Castelgrande (figura 1a), che sorge su di un pianoro a 1250 m sul livello del mare, a circa 10 km dal paese di Castelgrande (PZ), in una delle aree con minor inquinamento luminoso sul suolo nazionale. Già negli anni Settanta, in seguito ad una campagna di rilevamento del *seeing*, il Toppo era stato segnalato quale miglior sito italiano per l'installazione del Telescopio Nazionale, prima che il progetto venisse momentaneamente accantonato. La stazione è stata realizzata

dall'OAC in sinergia con il Comune di Castelgrande (PZ) nell'ambito di un accordo secondo cui all'OAC spettano la fornitura del telescopio e della strumentazione di piano focale, e al Comune delle opere civili. Entrambi gli enti concorrono alla gestione attraverso la Fondazione Osservatorio Astronomico di Castelgrande, costituita tra l'Istituto Nazionale di Astrofisica (da cui ora l'OAC dipende) e il Comune di Castelgrande.

Il progetto TT1 ha permesso all'OAC di acquisire preziose competenze nei settori della progettazione, integrazione e gestione di progetti complessi, nonché della progettazione meccanica, ottica e dei sistemi di controllo: competenze che sono state successivamente impiegate in progetti di portata nazionale e internazionale. Il know-how acquisito ha contribuito a far entrare l'OAC da protagonista in progetti tecnologici di assoluto rilievo internazionale quali VST e VIRMOS.

La strumentazione del telescopio, la cui scala sul piano focale è di $16.18''/\text{mm}$, consiste oggi di: 1) una camera CCD $2k \times 2k$, con pixel di $15 \mu\text{m}$, realizzata dal TWG e riccamente dotata di filtri interferenziali, 2) uno spettrografo fabbricato in Danimarca e derivato da prototipi ben collaudati (TFOSC = TT1 Faint Object Spectrograph and Camera), e 3) un fotometro a tre canali, realizzato a Vilnius, Lituania (TTCP = TT1 Three Channel Photometer) ed ampiamente collaudato presso l'Osservatorio di Loiano (Bo).



Figura 1b: Posa della cupola sul cilindro.

Il telescopio TT1 è al momento in fase di *commissioning*. A regime, sarà uno degli strumenti ottici di maggiore diametro fra quelli disponibili sul suolo nazionale e, in particolare, il maggiore nel Centro-Sud. Verrà così ad essere colmato, almeno parzialmente, lo storico divario fra le risorse locali a disposizione degli astronomi nel Meridione e nel Centro-Nord del Paese: risorse che, pur con l'attuale abbondanza di accessi a grandi strumentazioni nazionali ed internazionali, conservano intatta la funzione formativa per le giovani generazioni. Ma il TT1 sarà anche uno strumento insostituibile per quei programmi scientifici che richiedano un numero di notti elevato, difficili da ottenere sui grandi telescopi: specialmente programmi di survey e di monitoraggio di oggetti variabili. Per esempio, il TT1 potrà essere usato per ricerca e studio di fenomeni di microlensing gravitazionale, o per campagne di osservazione di stelle variabili.



Figura 1c: Interno del cilindro che sorregge la cupola del TT1.



Figura 1d: TT1 in fase di assemblaggio.

1.2 VST e OmegaCAM

L'OAC sta attualmente realizzando il VLT Survey Telescope (VST), un telescopio con specchio primario di 2.6 metri di diametro ed un campo corretto di 1 grado quadrato. Il progetto è frutto di una collaborazione con l'European Southern Observatory (ESO), la cui Stazione di Cerro Paranal in Cile, con i quattro telescopi da 8.3 metri di diametro che compongono il Very Large Telescope (VLT), rappresenta la frontiera tecnologica mondiale nel settore della ricerca astronomica.

Anche il VST sarà installato a Cerro Paranal, fra i telescopi UT3 e UT4, in un'area nella quale sono già in corso i lavori di realizzazione dell'edificio. E' previsto che il telescopio venga integrato in cupola alla fine del 2003, e che possa entrare in funzione nell'anno successivo. Data l'ottima qualità del sito e l'importanza strategica per l'operatività del VLT, il VST è stato progettato per rispettare gli elevati standard qualitativi imposti da ESO. Sarà dedicato prevalentemente a lavori di survey finalizzati all'identificazione di sorgenti deboli da osservare con il VLT, ma verrà utilizzato anche autonomamente, per ricerche che ne richiedano le peculiari prestazioni di camera a grande campo e ottima risoluzione.

Lo strumento – primo del suo genere nel panorama europeo sino all'entrata in servizio, nel 2006, del telescopio inglese VISTA – è stato ideato, finanziato¹, progettato e realizzato dall'OAC nell'ambito di una collaborazione con ESO sancita da un Memorandum of Understanding (MoU) sottoscritto nel 1997. In base al MoU, l'ESO supervisiona la realizzazione del telescopio ed è responsabile diretto delle opere civili, delle infrastrutture, e della gestione e manutenzione dello strumento. Le risorse umane ed economiche profuse dall'OAC per la realizzazione del VST saranno ricompensate con una frazione di tempo di osservazione del VST pari al 15-20% (da definirsi a progetto concluso), a cui si aggiunge un congruo numero di notti di osservazione al VLT.



Figura 2a: Modellino del VST. Sullo sfondo, da sinistra, Dario Mancini, Massimo Capaccioli e Giorgio Sedmak.

Dopo aver superato con successo le delicate fasi di verifica della progettazione, lo strumento è ora in fase di avanzata realizzazione. I componenti hardware sono praticamente tutti disponibili e le operazioni preliminari al montaggio del telescopio sono già in corso presso un'area appositamente noleggiata e attrezzata a Scafati (SA). Qui il VST verrà assemblato e avranno luogo i test preliminari riguardanti le prestazioni meccaniche e del software. Nel 2003 il telescopio sarà spedito in Cile dove avverrà la definitiva integrazione.

L'ottica, costituita dagli specchi primario e secondario e da un sistema di grandi lenti e di prismi (per compensare le distorsioni introdotte sul grande campo dall'atmosfera), è stata fornita dalla Zeiss-Jena, per lo più attraverso un sub-appalto alla ditta LZOS di Mosca. Sfortunatamente lo specchio primario, realizzato con un menisco di Sitall per essere controllato adattivamente, è andato distrutto mentre l'ESO, cui era stato consegnato dalla Zeiss, lo stava trasferendo dalla Germania al Cile. Il contratto per la fornitura di un nuovo specchio è già stato firmato direttamente con LZOS nel giugno 2002; la consegna è prevista per la fine del 2003.

Il telescopio VST sarà equipaggiato con una camera CCD il cui rivelatore è costituito da un mosaico di 32 CCD di 2048×4096 pixel, per complessivi 256 Mpixel. Il campo coperto sarà di un grado quadrato, con una risoluzione di 0.22"/pixel. La camera viene realizzata da un consorzio internazionale OmegaCAM di cui, oltre all'ESO, fanno parte istituti di tre paesi europei: Germania, Olanda e Italia (Osservatori di Padova e Napoli). Essa opererà nel visuale, dalla banda U fino alla z, sia con filtri a banda larga come quelli della SLOAN, sia con filtri a banda stretta. Lo strumento ha la possibilità di montare in due caricatori un totale di 10 filtri. Un sofisticato sistema di sicurezza a più livelli garantirà i filtri dal rischio di collisioni. L'elettronica di controllo della camera (esclusa quello relativa al rivelatore che è fornita da ESO) è stata interamente progettata, e parzialmente realizzata, in OAC.

Oltre all'enorme valenza che rivestono per il gruppo tecnologico dell'OAC che ne cura il progetto e la realizzazione, VST e OmegaCAM sono diventati anche il fulcro di una buona parte dell'attività di ricerca svolta o programmata dagli astronomi dell'Istituto. L'insieme di questi due strumenti consentirà di ottenere significativi risultati in numerosi settori dell'astrofisica, in particolare per quanto riguarda la struttura della Galassia, la struttura dell'Universo a larga scala e la ricerca di corpi minori nel Sistema Solare.

¹ I fondi per questo progetto sono stati attribuiti all'OAC dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, dal Consorzio Nazionale di Astronomia e Astrofisica, e dal Consiglio Regionale della Campania.



Figura 2b: In alto, componenti meccanici del VST: l'*azimuth box* in lavorazione, alla fine del 2001, presso la ditta De Juliis (SA) e, sotto, il *base plate* già collocato nell'area di montaggio del telescopio, presso la ditta Mecsud di Scafati. In basso, l'opera in cemento dell'edificio di VST, in realizzazione a Paranal nel gennaio 2002 (indicato da una freccia rossa nell'immagine della vetta di Cerro Paranal, tra le unità UT3 e UT4 del VLT).





Figura 2c: Specchio primario e una lente del correttore di VST alla consegna presso la ditta LZOS.



Figura 2d: Specchio primario di VST dopo l'incidente che lo ha distrutto mentre, nella primavera 2002, veniva trasferito via mare da Amburgo a Paranal a cura dell'European Southern Observatory.

1.3 VIRMOS

Una delle richieste pressanti della moderna astrofisica e della cosmologia è di poter collezionare, in tempi ragionevoli, informazioni spettroscopiche su una grande quantità di oggetti deboli. Non potendosi moltiplicare i telescopi giganti, che hanno enormi costi, la richiesta può tuttavia essere soddisfatta da strumenti capaci di raccogliere un buon numero di spettri in ogni singola esposizione. A questo fine l'ESO ha assegnato al consorzio Franco-Italiano VIRMOS la progettazione e realizzazione degli spettrografi multioggetto VIMOS (Visible MultiObject Spectrograph) e NIRMOS (Near InfraRed Multi Object Spectrograph), concepiti per lavorare in bande complementari e destinati ai fuochi Nasmyth dei telescopi UT3 e UT4 dell'ESO-VLT. Il progetto del consorzio VIRMOS ha prevalso nella competizione con un analogo consorzio australiano.

I due spettrografi rappresentano vere e proprie punte di diamante della tecnologia astronomica. Essi permetteranno di raccogliere fino a 840 (VIMOS) e 170 (NIRMOS) spettri simultaneamente; saranno dotati di una Integral Field Unit, ed avranno la possibilità di lavorare anche in imaging. I due strumenti VIMOS e NIRMOS sono pertanto ideali per osservazioni spettroscopiche di un gran numero di oggetti in breve tempo, per esempio allo scopo di produrre mappe dettagliate della distribuzione di galassie nell'universo e di condurre analisi statistiche su

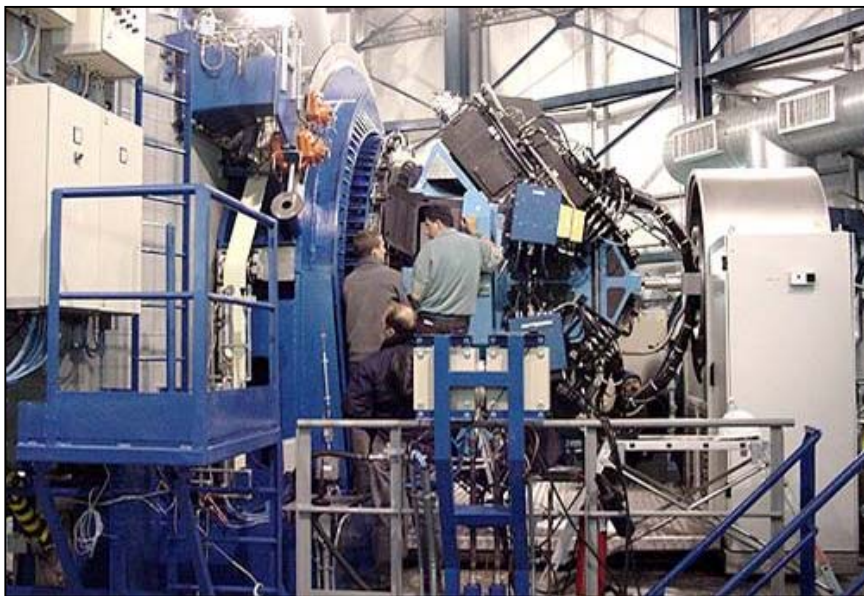


Figura 3: Il VIMOS installato al fuoco Nasmyth di VLT-Melipal.

oggetti deboli. Queste enormi potenzialità sono il risultato di un progetto di grande complessità, senza precedenti nel campo degli strumenti destinati ai telescopi per osservazioni da terra.

Il gruppo di tecnologie astronomiche dell'OAC ha svolto un ruolo primario nell'ambito del consorzio VIRMOS: è responsabile del progetto e della realizzazione della meccanica, dell'elettronica di controllo e di parte del software. In cambio della partecipazione al consorzio, l'OAC ha diritto a prendere parte allo sfruttamento scientifico dei dati che saranno raccolti nel corso della *survey* effettuata sul tempo garantito; vi è dunque un'importante ricaduta scientifica per l'Istituto.

Al momento (giugno 2002), VIMOS è in fase di secondo *commissioning* a Paranal, dopo aver superato con successo la fase di primo *commissioning* culminata con la prima luce dello strumento nel mese di febbraio 2002, con ottimi risultati ottenuti già nelle prime notti di osservazione. Fra breve ESO offrirà lo strumento alla comunità astronomica mondiale. A sua volta, NIRMOS, il secondo in ordine cronologico dei due spettrografi, ha superato la fase di Final Design Review.

1.4 Planetary Nebulae Spectrograph (PN.S)

Le potenzialità delle PNe come traccianti della cinematica delle galassie early-type hanno stimolato, negli ultimi anni, un notevole sforzo tecnologico per elaborare nuove tecniche e strumentazioni per un utilizzo più efficiente di queste preziose "test particle". L'OAC ha acquisito una posizione di leadership in un consorzio internazionale – consorzio PN.S che comprende, tra gli altri, olandesi, australiani, tedeschi, inglesi e svizzeri – per la progettazione e lo sviluppo di uno spettrografo dedicato alla identificazione e misure cinematiche di PNe.

Lo strumento (figura 4) è basato sulla tecnica di *counterdispersing imaging* che consente, con una singola esposizione, sia l'identificazione di emissioni in banda stretta di PNe che la misura delle velocità radiali. In pratica, la luce proveniente da oggetti emettitori nella riga a $\lambda 5007 \text{ \AA}$ (caratteristica delle PNe) viene dispersa in direzione opposta dai reticoli posizionati nei due bracci che costituiscono lo spettrografo con il risultato di ottenere due immagini di un oggetto puntiforme il cui spostamento laterale (nella direzione della dispersione) è proporzionale alla velocità radiale. Gli oggetti che non sono emettitori di riga (stelle o galassie) risultano invece allungati.

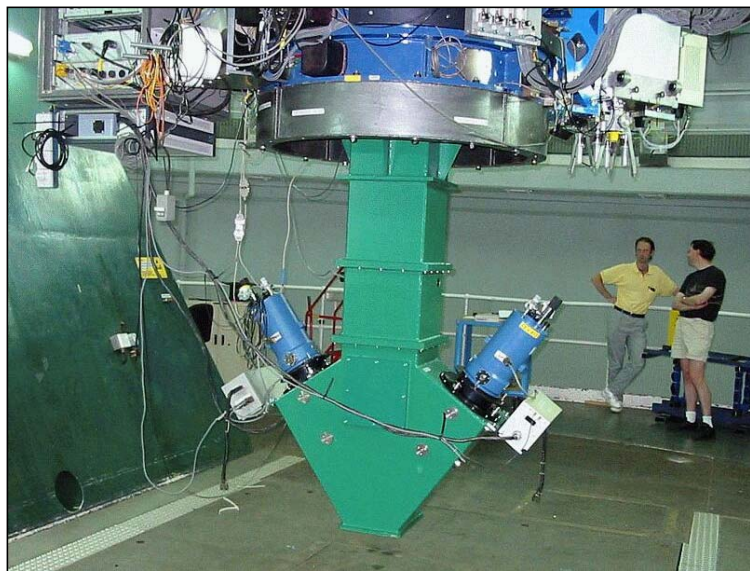


Figura 4: Il *Planetary Nebulae Spectrograph* in fase di *commissioning* al fuoco del telescopio William Herschel, La Palma.

In questo modo è possibile ridurre notevolmente i tempi di osservazione poiché, di fatto, non è necessario il *follow-up* spettroscopico per avere gli spettri dei candidati PNe; si possono così avere misure di velocità radiali accurate per un elevato numero di PNe anche con telescopi di 4m.

Il consorzio PN.S ha individuato un primo catalogo di 12 galassie ellittiche brillanti ($B < 12.5$) e con bassa ellitticità, su cui ci si aspetta di osservare più di 100 PNe (in due notti di osservazione per ognuna) con cui effettuare studi della cinematica. L'OAC sarà parte attiva nella fase di acquisizione ed analisi dei dati.

1.5 Galileo OH Suppressed Spectrograph (GOHSS)

Lo studio di sorgenti deboli nel vicino infrarosso ($1-2 \mu\text{m}$), cruciale per le osservazioni di interesse cosmologico, è complicato dalla luminosità variabile del fondo cielo dovuta alle forti righe di emissione dell'OH, che hanno origine nella parte alta dell'atmosfera.

Lo spettrografo GOHSS (Galileo OH Suppressed Spectrograph), alimentato a fibre ottiche, è stato progettato per produrre spettri astronomici IR nei quali il fondo cielo dovuto alle righe OH venga eliminato con notevoli guadagni nel rapporto S/N. I programmi scientifici che trarranno beneficio dalla rilevante riduzione del *background* nelle bande I, J e H, possono essere raggruppati essenzialmente in tre categorie: misure di *redshift* e spettri di galassie, proprietà spettrali dei QSO e studio di stelle deboli fredde o oscurate.

Lo strumento nasce da una collaborazione con l'Osservatorio Astronomico di Monteporzio Catone e con l'Istituto di Astronomia di Cambridge (UK), e sarà installato al Telescopio Nazionale Galileo (TNG). Progettato seguendo un approccio modulare, è diviso in due componenti principali:

1. sistema di ottiche per interfacciare le fibre ottiche al telescopio (configurazione multi-oggetto e IFU);

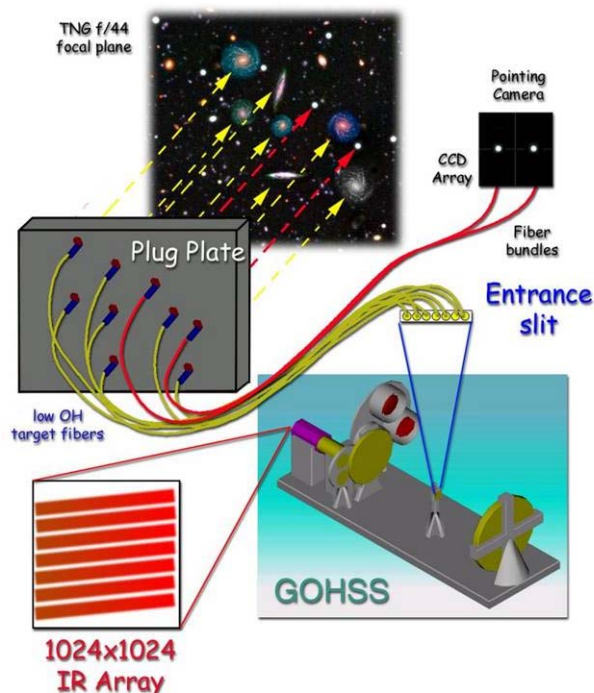


Figura 5: Schema concettuale di GOHSS.

2. spettrografo *echelle* a dispersione incrociata, raffreddato a -40°C , e camera F/1.4, con *array* HAWAII.

Il disegno modulare di GOHSS permette di disaccoppiare lo strumento dal telescopio, liberandosi da eventuali problemi di flessione dovuti al peso dello strumento; inoltre, l'assenza di limiti di peso consente la realizzazione di uno strumento con ottiche che possono essere raffreddate in modo semplice.

Il progetto GOHSS rappresenta un'evoluzione di altri progetti internazionali nei quali la soppressione delle righe OH, anziché essere realizzata via software, avviene in modo hardware. Grazie alla maggiore semplicità strumentale, la sottrazione software richiede un minore numero di elementi ottici e quindi permette una migliore efficienza.

Lo strumento è attualmente in fase di assemblaggio presso l'Osservatorio di Monteporzio, mentre la meccanica della camera IR è in corso di realizzazione. Le operazioni di test dovrebbero terminare a dicembre 2002, ed il *commissioning* al telescopio è previsto nella primavera 2003.

1.6 Oscillazioni solari con VAMOS

Nel 1975, con osservazioni effettuate da Anacapri, Franz-Ludwig Deubner apriva le porte all'eliosismologia: lo studio dell'interno solare attraverso le sue oscillazioni di risonanza. Oggi all'OAC si continua l'osservazione a scopo scientifico delle oscillazioni solari grazie a VAMOS.

VAMOS (Velocity And Magnetic Observations of the Sun) è uno strumento basato sulla tecnologia del filtro magneto-ottico (MOF). E' in grado di acquisire immagini del disco solare nella riga K I a $\lambda = 769.9\text{ nm}$, misurando intensità, velocità lungo la linea di vista e campo magnetico longitudinale, con elevata cadenza temporale. Lo strumento è operativo nella cupola Est del piazzale antistante l'edificio monumentale dell'Osservatorio (figura 6).

Attualmente i dati di VAMOS sono usati per lo studio della dinamica dei moti fotosferici: oscillazioni globali e moti convettivi. Oltre che per scopi scientifici, le osservazioni vengono utilizzate anche per la formazione a livello universitario (esperienze per il corso di Laboratorio di Astrofisica e tesi di laurea e dottorato presso le Università di Napoli e di Roma-Tor Vergata). L'informazione sul VAMOS è mantenuta aggiornata in rete al sito: <http://www.na.astro.it/vamos>.



Figura 6: Lo strumento VAMOS sul telescopio da 40 cm sito nella cupola Est dell'OAC.

Caratteristiche tecniche di VAMOS

Tipo di filtro	MOF con celle a vapori di potassio
Lunghezza d'onda blu	$(769.89 - 0.01)\text{ nm}$
Lunghezza d'onda rossa	$(769.89 + 0.01)\text{ nm}$
Campo di vista	Disco intero
Risoluzione spaziale	$\sim 12\text{ arcsec}$
Massima risoluzione temporale	1 immagine/160 ms
Sensibilità del dopplergramma	$\sim 10\text{ m/s/pixel}$
Intervallo di misura del campo magnetico	$\sim 20 - 2500\text{ Gauss}$
Sensore	699x288 pixel CCD 8-bit videocamera
Scheda di acquisizione	768x512 pixel (lineare o logaritmico)
Massimo intervallo dinamico dell'immagine	16 bits/pixel (attraverso somma di immagini)

1.7 Progetto GIADA

Si ritiene che le comete siano corpi dove ancor oggi si conserva, pressoché inalterato, il materiale proveniente dalla nube proto-planetaria di polvere e gas da cui ha avuto origine il Sistema Solare. Osservazioni a distanza e misurazioni *in situ* di questi spettacolari oggetti rappresentano dunque un modo pressoché unico per ottenere indicazioni dirette sulla formazione ed evoluzione del nostro sistema planetario.

La missione spaziale Rosetta – *cornerstone* nel programma ESA – è finalizzata allo studio del nucleo e della chioma della cometa periodica 46P/Wirtanen. La sonda, dopo il lancio che è previsto per il gennaio 2003, eseguirà per la prima volta un *rendez-vous* con la cometa bersaglio. Ciò le consentirà di studiare l'oggetto con la strumentazione di bordo per un periodo lungo: da quando la cometa si troverà ad una distanza eliocentrica di circa 3 UA fino (almeno) al raggiungimento del perielio.

Tra gli altri, a bordo di Rosetta è ospitato l'esperimento GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator), gestito da un consorzio internazionale. La partecipazione italiana è affidata ad un gruppo di ricercatori del Laboratorio di fisica cosmica dell'OAC, che si avvalgono di un finanziamento dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e di una collaborazione con la Galileo Avionica di

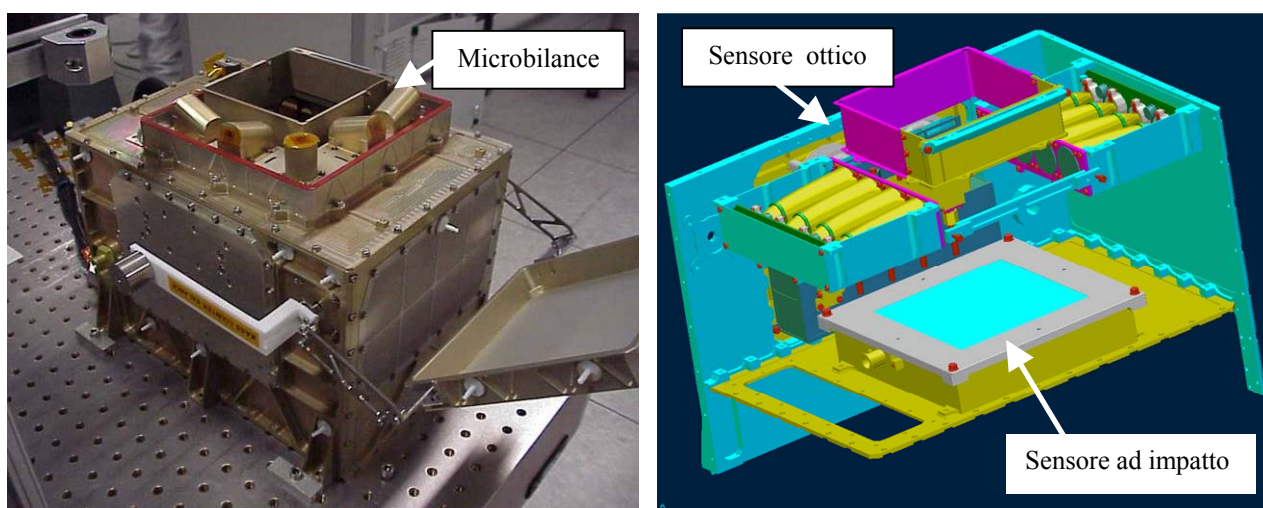


Figura 7: L'esperimento GIADA (*sinistra*) ed un disegno (*destra*) che evidenzia le componenti interne.

Firenze. L'esperimento (figura 7) consentirà di eseguire per la prima volta misure dirette *a)* di flusso di particelle solide provenienti da varie direzioni e durante diverse fasi evolutive della cometa, e *b)* di velocità, quantità di moto e massa di singoli grani provenienti dal nucleo. Da questi dati sarà possibile ricavare informazioni fisiche e dinamiche uniche sull'evoluzione del nucleo e della chioma in funzione della distanza eliocentrica, in particolare su:

- distribuzione di dimensioni dei grani nel nucleo e nella chioma;
- velocità di perdita di massa dal nucleo;
- rapporto di abbondanza gas/polvere;
- relazione tra dimensione/massa dei grani e distribuzione delle velocità di espulsione dal nucleo e di volo;
- correlazione tra flussi collimati di polvere ed aree attive del nucleo.

GIADA avrà anche un ruolo essenziale per la salvaguardia dell'intera missione, poiché sarà in grado di porre in allerta la sonda qualora il flusso di polvere proveniente dalla cometa dovesse superare i limiti di sicurezza per altri esperimenti e/o per parti vitali della sonda medesima (ad esempio, i pannelli solari). I dati raccolti da GIADA saranno combinati con quelli di altri strumenti di bordo (camere nel visibile e infrarosso, spettrometri di massa) per caratterizzare la popolazione dei materiali che costituiscono il nucleo cometario e che vengono dispersi nella chioma. Questi dati

contribuiranno in modo determinante all'atteso balzo in avanti nella conoscenza dei fenomeni evolutivi delle comete e della loro stessa origine.

GIADA possiede una propria elettronica per svolgere le funzioni di comando, di ricezione dei comandi dalla sonda, di acquisizione ed elaborazione dei dati provenienti dai sensori, e di trasmissione a Terra dei dati elaborati alla sonda. E' dotata di tre tipi di sensori, sviluppati nell'ambito del progetto:

- un rivelatore ottico, che misura la luce diffusa dai grani che attraversano una sottile cortina di luce laser;
- un dispositivo ad impatto, per misurare la quantità di moto rilasciata dai grani incidenti su una piastra di alluminio con cinque sensori piezoelettrici;
- cinque microbilance a cristalli di quarzo, orientate in direzioni diverse, per misurare la velocità di deposizione della polvere.

Dal punto di vista tecnologico, lo sviluppo del progetto GIADA ha consentito ai ricercatori coinvolti di acquisire un *know-how* di rilievo internazionale nel settore dei sensori di polvere per applicazioni spaziali, che potrà essere utilizzato per nuove applicazioni. Inoltre, il gruppo OAC ha gestito con successo il *management* complessivo del progetto internazionale, mantenendo anche tutte le relazioni formali con gli altri partner del progetto, nonché col Project Office della missione ESA-Rosetta.

1.8 Altre attività spaziali (MAGO, VIRTIS, PFS, VIMS)

Relativamente al Sistema Solare, uno dei principali temi di ricerca riguarda la determinazione delle proprietà e l'indagine sull'evoluzione di materiali presenti in vari ambienti spaziali. Lo studio si estende dai corpi primordiali (comete, asteroidi), ai pianeti (e.g. Marte, Saturno e Mercurio), fino al mezzo interplanetario (grani interplanetari ed interstellari, meteoroidi naturali). Presso l'OAC, la ricerca si articola su tre direttrici principali:

1. studio dei materiali mediante osservazioni e misure *in situ*;
2. sviluppo di sensori e dispositivi di possibile interesse per future applicazioni spaziali;
3. partecipazione alla progettazione, realizzazione e calibrazione di strumenti spaziali inseriti in missioni per l'esplorazione dei corpi del Sistema Solare.

Per caratterizzare le proprietà dei materiali sono utilizzate tecniche diagnostiche che vanno dalle analisi *in situ* (per esempio, l'esperimento MAGO per la futura esplorazione di Marte), alla raccolta e rientro a Terra di campioni da analizzare in laboratorio (e.g. raccolta in aerogel), alle analisi fotometriche e spettrofotometriche nel visibile e nell'IR (e.g. esperimenti VIMS per la missione Cassini, VIRTIS per Rosetta e PFS per Mars Express).

1.8.1 Analisi *in situ* di Marte

L'esperimento MAGO (Martian Atmospheric Grain Observer) mira ad analizzare l'abbondanza del vapore acqueo e le proprietà fisiche e dinamiche dei grani solidi dispersi nell'atmosfera di Marte. Vapore acqueo e particelle solide partecipano in maniera determinante all'evoluzione climatica di Marte e, a causa anche di fenomeni eolici, sono in continua interazione con la superficie e la componente atmosferica gassosa. Le informazioni fino ad oggi disponibili derivano quasi esclusivamente dall'interpretazione di immagini o dati spettroscopici. Solo recentemente, il Mars Pathfinder è riuscito ad ottenere stime qualitative della velocità di deposizione di polvere dall'atmosfera sulla superficie del pianeta.

Lo strumento MAGO sarà invece in grado di: *i*) misurare direttamente, per la prima volta, l'abbondanza di vapore acqueo ed il flusso di polvere trasportato dai venti; *ii*) determinare la velocità e la quantità di moto impartite alle particelle; *iii*) studiare la distribuzione di massa dei grani dispersi in atmosfera.

L'esperimento, che deriva le principali caratteristiche tecniche da GIADA (cfr. par. 1.7), è stato selezionato dall'ASI per uno studio di fattibilità, in previsione di una futura utilizzazione in missioni marziane che prevederanno "rover" e "lander". L'OAC contribuisce al progetto con uno

studio della configurazione dell'esperimento che consenta di raggiungere gli obiettivi scientifici primari sopra descritti. Sono inoltre in fase di realizzazione test di laboratorio sui sottosistemi, per dimostrare la piena rispondenza delle loro caratteristiche tecniche ai vincoli posti dalla misura delle quantità fisiche di interesse.

1.8.2 Raccolta ed analisi di campioni extraterrestri

Il mezzo interplanetario è permeato da una notevole quantità di particelle solide di origine naturale e di vario genere: sciami di meteore connessi ad orbite cometary, un fondo isotropico (trascinamento di Poynting-Robertson) generato da vecchi sciami e polveri interstellari. Inoltre, lo spazio circumterrestre è popolato da una componente artificiale (*debris*), formata prevalentemente da frammenti di razzi e satelliti in disuso. Vari punti aperti riguardano l'evoluzione dinamica e le relazioni della componente naturale con i loro progenitori (comete ed asteroidi). La scoperta di una componente interstellare nel mezzo interplanetario è relativamente recente (satelliti Galileo e Ulisse). Sicuramente, la possibilità di catturare e studiare direttamente polveri interstellari rappresenta un'opportunità unica in ambito astrofisico.

Particelle interplanetarie vengono raccolte regolarmente a Terra nei depositi di ghiacci polari o mediante aerei in voli stratosferici. Un'altra metodologia si basa sull'utilizzazione di materiali a bassa densità (come l'aerogel) esposti su piattaforme extraterrestri, quale la stazione MIR nel passato e la Stazione Spaziale Internazionale nel presente/futuro. Due campioni di aerogel sono stati preparati ad OAC ed esposti sulla stazione MIR nel periodo 11/1998 - 04/1999, nell'ambito del progetto internazionale COMET-99 (figura 8). In tale periodo era previsto che la MIR avrebbe attraversato lo sciame meteorico delle Leonidi. Ciò avrebbe aumentato la probabilità di raccogliere materiale di origine cometaria, oltre a *debris* artificiali. I campioni di aerogel sono stati riportati a Terra e attualmente sono sotto analisi presso il Laboratorio di fisica cosmica dell'OAC per l'estrazione e lo studio dei grani identificati al loro interno. Questa attività è svolta in collaborazione con l'Istituto di Astrofisica Spaziale di Orsay e l'Università di Berkley, California.

L'esperienza maturata nel campo della realizzazione di collettori passivi e sensori attivi per il monitoraggio e la raccolta di polveri interplanetarie e circumterrestri è attualmente utilizzata per la progettazione di nuova strumentazione da destinare a future missioni interplanetarie e/o a bordo di stazioni orbitanti.

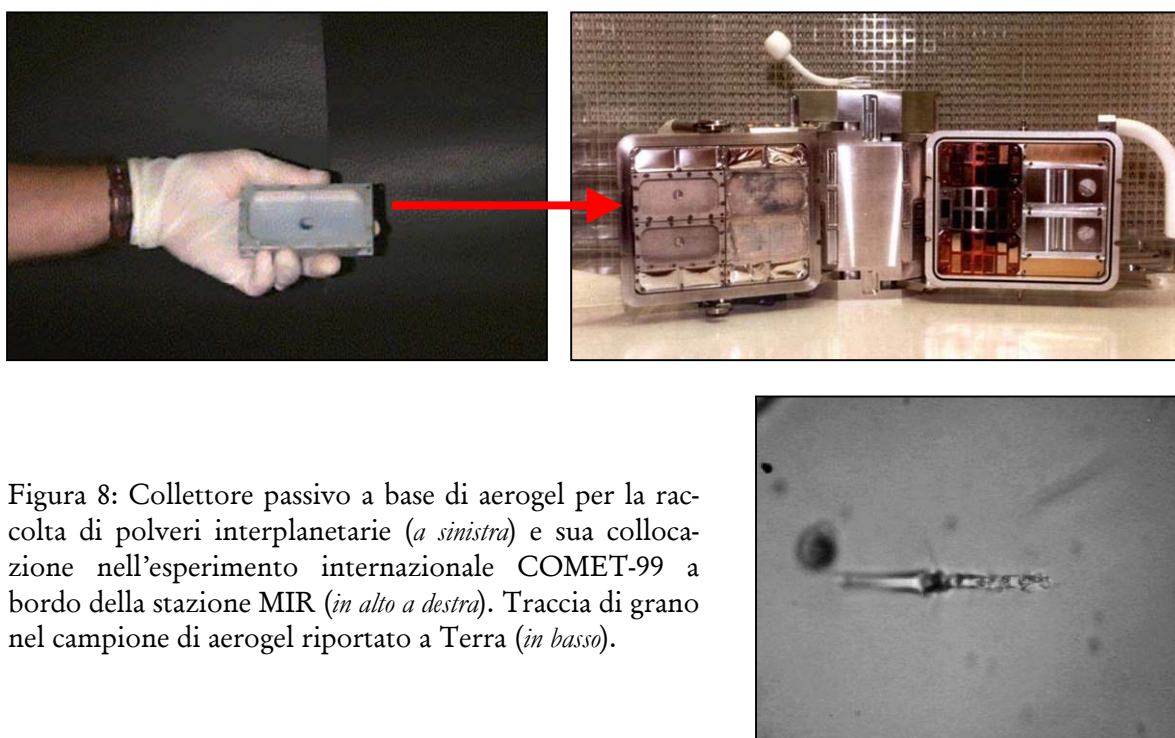


Figura 8: Collettore passivo a base di aerogel per la raccolta di polveri interplanetarie (*a sinistra*) e sua collocazione nell'esperimento internazionale COMET-99 a bordo della stazione MIR (*in alto a destra*). Traccia di grano nel campione di aerogel riportato a Terra (*in basso*).

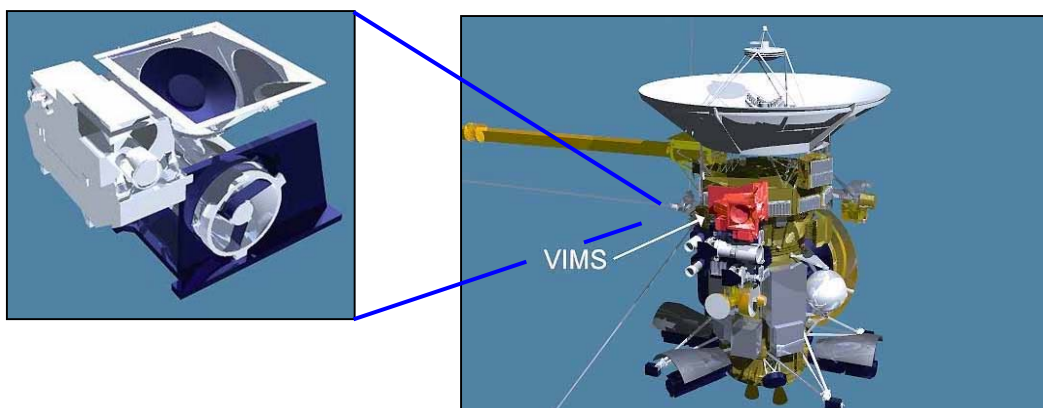


Figura 9: Schema dello spettrometro VIMS per il visibile-infrarosso (sinistra) e suo accomodamento a bordo della sonda Cassini già in viaggio verso Saturno

1.8.3 Osservazioni spettroscopiche spaziali

Gli astronomi del gruppo di fisica cosmica hanno preso parte, e continuano a svolgere un ruolo attivo, in vari esperimenti spaziali destinati all'analisi spettroscopica dal visibile all'infrarosso. La partecipazione riguarda lo sviluppo strumentale, le calibrazioni e la preparazione allo sfruttamento dei dati, anche mediante misure parallele in laboratorio di materiali sintetici e naturali. In questo ambito sono stati sviluppati modelli per la descrizione dell'atmosfera e della superficie di Marte utilizzando come *input* anche dati sperimentali sulle caratteristiche ottiche, fisiche e strutturali di materiali studiati nei laboratori dell'OAC. I programmi di maggiore rilievo oggi attivi o in fase di realizzazione sono:

- strumento VIMS (figura 9) per la missione NASA-ESA Cassini, attualmente in volo per lo studio di Saturno e dei suoi satelliti. VIMS è destinato ad ottenere immagini multispettrali degli obiettivi della missione;
- esperimento VIRTIS per la missione ESA-Rosetta, che eseguirà analisi spettrali dal visibile al vicino infrarosso della superficie della cometa 46P/Wirtanen;
- esperimento PFS per la missione ESA - Mars Express: si tratta di un interferometro per analisi spettrali dell'atmosfera e della superficie di Marte.

Va sottolineato che lo sviluppo di tale strumentazione ha consentito di acquisire un *know-how* tecnologico di punta nei settori dei sistemi spettrofotometrici e dei sensori ottici.

1.9 Realizzazione di un cluster Beowulf per analisi di immagini astronomiche

Le *survey* digitali a profondità e risoluzioni angolare di circa un ordine di grandezza migliori di quelle fotografiche, rese possibili dai telescopi di nuova generazione come VST e/o da camere a grande campo come il WFI del telescopio ESO-MPI da 2.2m, hanno portato la comunità astronomica internazionale a dotarsi di nuovi strumenti di analisi hardware e software. Gli aspetti principali del problema sono:

- archiviazione e distribuzione dei dati (*data management*);
- riduzione e calibrazione dei dati (*data reduction*);
- estrazione dell'informazione scientifica (*data mining*).

Un team dell'OAC, in uno scenario di collaborazioni italia-



Figura 10: Prototipo OAC di un cluster Beowulf a 8 nodi.

ne e straniera, sta affrontando i problemi di *data reduction* attraverso la realizzazione di un *cluster* Beowulf: tecnologia tra le più promettenti, in termini di prestazioni e di rapporto costo/prestazioni, per questo genere di problemi. La struttura a mosaico dei nuovi CCD di grande campo, infatti, appare particolarmente adatta per l'elaborazione parallela (attraverso la quale ogni sotto immagine può essere ridotta e calibrata individualmente prima di essere combinata a formare l'immagine scientifica), ed ha quindi una natura che in gergo tecnico è definita come “embarrassingly parallel”.

Utilizzando esperienze precedentemente acquisite all'ESO, l'OAC ha avviato una collaborazione con l'Università Federico II di Napoli e con l'Osservatorio e l'Università di Trieste, mirata all'implementazione ed utilizzo di sistemi Beowulf per la riduzione delle immagini prodotte da OmegaCAM (cfr. par.1.2), ognuna composta da 32 immagini CCD per un totale di $16k \times 16k$ pixel. Il progetto contempla le seguenti fasi:

- realizzazione di un prototipo a 8 nodi (conclusa);
- ottimizzazione del cluster a 8 nodi (in svolgimento);
- realizzazione del cluster finale a 32 nodi.

I primi risultati sono soddisfacenti, ed il cluster è attualmente in fase d'ottimizzazione, con l'introduzione dei seguenti miglioramenti:

- *file system* parallelo che consente di usare strutture modulari per la gestione del flusso dati nel *cluster* (parallelo di 4 cluster ottimizzati da 8 nodi ognuno);
- sistema di *storage* ad alte prestazioni.

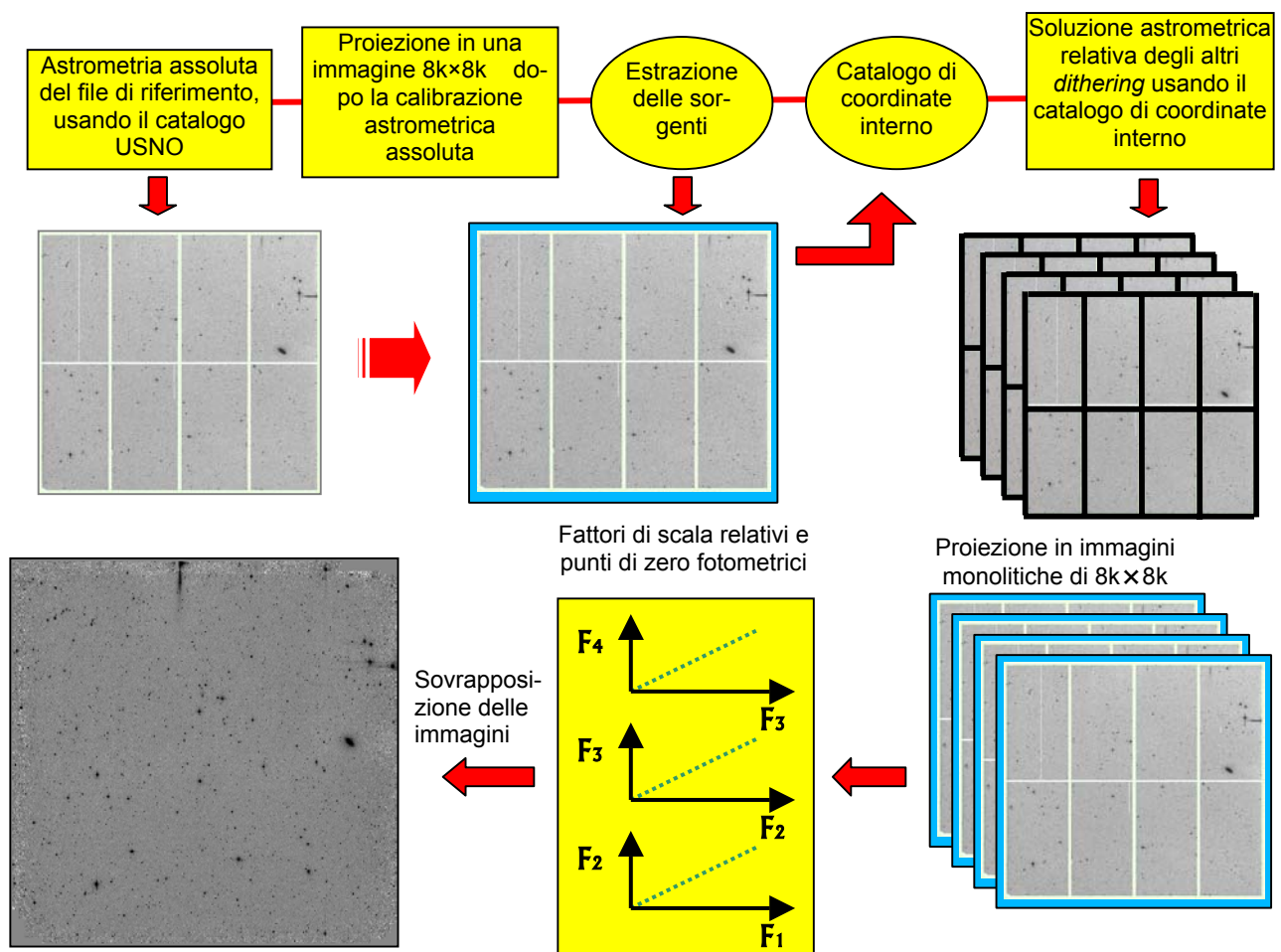


Figura 11: Schema della soluzione astrometrica e della sovrapposizione delle immagini.

1.10 Sviluppo di una “pipeline” per la riduzione dei dati del VST

Il sistema VST + OmegaCam produrrà circa 100 Gbyte di dati grezzi per notte. La necessità di trattare questa mole di dati, in qualche caso addirittura in tempo quasi reale, rende ineludibile lo sviluppo di adeguati sistemi hardware e software. La strategia scelta dall'OAC è stata quella di sviluppare una *pipeline* per la riduzione delle immagini VST che sfrutti a pieno la struttura parallela e la potenza di calcolo del *cluster* Beowulf, attualmente in fase di sviluppo all'interno di OAC (cfr. par. 1.8). Il progetto si sviluppa in collaborazione con altri Istituti europei, nell'ambito del consorzio ASTRO-WISE (<http://www.ASTRO-WISE.org/>) finanziato dall'Unione Europea.

Allo scopo di acquisire esperienza utile al futuro utilizzo scientifico di VST, l'OAC ha anche intrapreso il progetto denominato Capodimonte Deep Field (OACDF). Questo progetto si fonda su osservazioni a grande campo effettuate utilizzando la camera WFI (Wide Field Imager) del telescopio ESO da 2.2m nell'ambito del tempo garantito dall'ESO all'OAC per la partecipazione alla realizzazione della camera stessa. L'OACDF ha sia uno scopo scientifico che uno tecnico: da una parte produrre un archivio di dati per successivi studi extragalattici, galattici e planetari; dall'altra acquisire le conoscenze e competenze necessarie a saper trattare i dati provenienti da camere a grande campo in previsione dell'arrivo di VST. Problemi che riguardano *super flat-fielding*, *defringing*, astrometria e calibrazione fotometrica sono stati affrontati e risolti (vedi fig. 11). Sui dati dell'OACDF, ormai completamente ridotti, si fondano diversi progetti di ricerca attualmente in corso a Capodimonte (cfr. <http://www.na.astro.it/oacdf-bin/cdfcgi>).

1.11 Sviluppi sul “data mining” per il “data flow” del VST

Le informazioni associate alle immagini raccolte dalle camere a grande campo si suddividono in 4 principali categorie (cfr. figura 12):

- i pixel delle immagini stesse, sia grezzi che ridotti;
- i dati associati ai pixel: per esempio le condizioni di osservazione e i parametri della riduzione;
- le informazioni ricavate dalle immagini individuali, sotto forma di cataloghi, e
- le informazioni derivate dal confronto dei cataloghi delle osservazioni individuali, quali per esempio gli indici colore e le curve di luce.

Il *data mining* consiste nel mettere l'utente in condizione di cercare informazioni nelle quattro categorie, indipendentemente dal fatto che l'informazione ricercata sia già disponibile oppure l'astronomo lanci un processo di ricerca non supervisionato.

Presso l'OAC è stato prodotto un primo strumento che permette all'astronomo di esplorare le quattro succitate categorie, consentendogli di lavorare su insiemi di dati che soddisfano criteri di qualità che egli è libero di scegliere. Si è prestata particolare attenzione sia allo sviluppo di strumenti di visualizzazione, che sono centrali in fase di controllo della qualità dei dati, sia all'estrazione di informazioni “nascoste” nei dati, quali la misura del *redshift* fotometrico attraverso algoritmi di intelligenza artificiale.

Il *data mining* necessita una stretta interazione con gli archivi di dati. Si sta attualmente valutando come mettere in relazione, in modo semplice e trasparente, l'astronomo con gli strumenti di *data mining* e l'archivio dei dati. Uno degli sviluppi in corso interfaccia le immagini con i cataloghi, permettendo di visualizzare

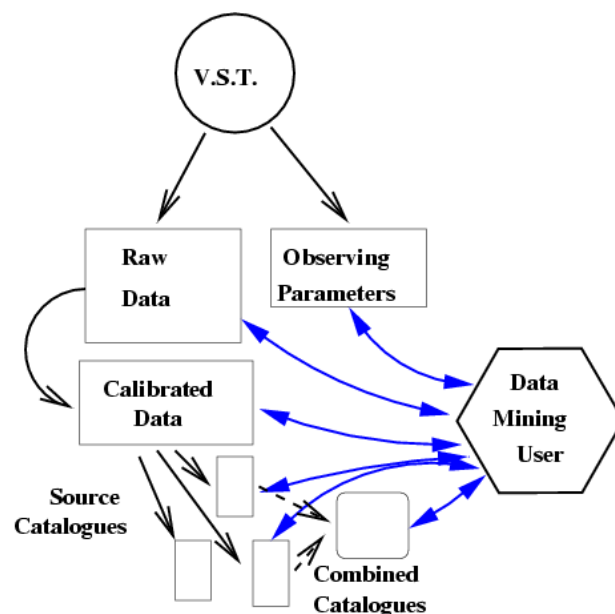


Figura 12: Categoria dei dati associati alle immagini di VST.

l'immagine di un'area centrata sulla sorgente desiderata, sia nella banda in cui la sorgente è stata rivelata, sia, fra poco, in ogni altra lunghezza d'onda per la quale i dati siano disponibili. I dati del OACDF (cfr. par. 5.13) sono stati usati per individuare i problemi, ma anche per scoprire le caratteristiche che dovranno essere implementate per le *survey* future.

1.12 Progetto ASTRO-WISE

ASTRO-WISE (Astronomical Wide-field Imaging System for Europe) è un progetto europeo finanziato dalla UE che coinvolge sei istituti di ricerca: NOVA Consortium (Olanda), ESO, OAC, Terapix (IAP, Paris), Università di Monaco, VISTA (UK). L'obiettivo è di creare un sistema di centri nazionali per la riduzione ed il processamento delle immagini ottiche a grande campo che verranno prodotte a breve dai grandi mosaici ottici di nuova generazione, quali OmegaCam, la camera di VST, MegaCAM (montato al telescopio da 4m CFHT) e la camera di VISTA nel vicino IR.

Il progetto ASTRO-WISE si sviluppa parallelamente ai progetti europei AVO (Astrophysical Virtual Observatory) e DATAGRID. Ma, mentre AVO e DATAGRID riguardano ambiti più generali, ASTRO-WISE è volto specificamente allo scambio delle esperienze e del *know-how* europeo nel campo delle immagini astronomiche a grande campo, con lo scopo di creare una piattaforma standard europea per la riduzione e il trattamento di queste immagini.

Gli obiettivi specifici di ASTRO-WISE sono:

- 1) sviluppare, mantenere e dare accesso a un ambiente di calcolo per il processamento delle immagini a grande campo; questo ambiente conterrà sia i dati grezzi, sia i dati di calibrazione, sia il software aggiornato (*pipeline*) per l'elaborazione dei dati;
- 2) sviluppare e diffondere nella comunità il software necessario per accedere ai dati ridotti fornendo strumenti per la ricerca mirata e la visualizzazione (*data mining*), scalabili a regimi dell'ordine dei Terabyte;
- 3) fornire infrastrutture per la produzione e la diffusione dei dati di *survey* (immagini calibrate in varie bande e cataloghi di sorgenti), con accesso dagli Osservatori virtuali.

Il raggiungimento di questi obiettivi implica sia l'utilizzo di software e infrastrutture già esistenti presso i singoli istituti coinvolti, con relativi aggiornamenti, sia lo sviluppo ex novo di una piattaforma comune e di nuovi codici per il raggiungimento di *task* specifici e lo sviluppo e mantenimento di hardware in grado di ridurre in tempo reale le enormi quantità di dati prodotte dai nuovi strumenti.

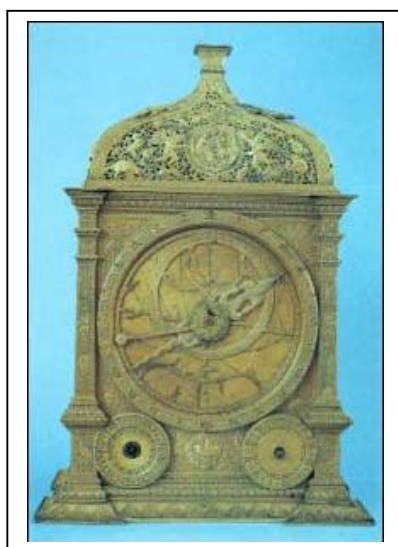
Uno degli obiettivi di ASTRO-WISE è anche di consentire un approccio dinamico in cui i risultati possano essere riottenuti utilizzando le versioni più aggiornate dei dati di calibrazione e dei codici, senza che l'operatore debba preoccuparsi di verificare quali versioni stia usando. Inoltre, gli utenti devono avere la possibilità di un *fine-tuning* supplementare, in base alle esigenze specifiche del singolo progetto. A tal fine la *pipeline* è pensata sia per funzionare in modo automatico, sia semiautomatico con possibilità per l'operatore di effettuare scelte *ad hoc*, tramite un'apposita interfaccia. La ripartizione geografica delle informazioni chiave (sia metodi che dati) è fornita dal sistema, agevolando la cooperazione fra i vari centri nazionali e utilizzando il lavoro effettuato in ogni singola sede (federated data-base).

Le nuove infrastrutture che verranno sviluppate saranno compatibili con lo standard dei prodotti tipici delle *survey* pubbliche, ma permetteranno anche la realizzazione di progetti individuali di ricerca con osservazioni mirate. Tali osservazioni dedicate potranno poi essere ritratte con metodi standard, in modo da ottenere ulteriori prodotti di tipo survey pubbliche, accessibili per mezzo di *browser* di tipo AVO.

Tutti questi elementi contribuiranno a creare il sistema europeo per le immagini astronomiche a grande campo. Il progetto ASTRO-WISE è iniziato il primo Gennaio 2002. Ad oggi sono stati realizzati i seguenti obiettivi:

- 1) è stato definito un piano di lavoro su scala di 4 anni (Architectural Design Document);
- 2) è stata realizzata una piattaforma in Python per la *pipeline*, che fa da supporto per i vari *task* specifici, scritti in C o C++;

- 3) sono stati sviluppati, nei vari istituti, dei sistemi Beowulf con caratteristiche e configurazioni diverse. L'idea è di avere sistemi diversi in questa fase iniziale del progetto, per poter effettuare test e confronti e poi progressivamente convergere su soluzioni ottimizzate comuni nei prossimi due anni (per l'OAC, cfr. par. 1.9);
- 4) per quanto riguarda il database, si è da poco scelto di adottare Oracle 9i ed è stato sottoscritto un contratto da parte dell'intero consorzio per la licenza e il mantenimento di Oracle 9i nei vari siti.



Orologio di Oswald Chlasner – Innsbruck 1567