



**Dipartimento Strutture
Unità Organizzativa Programmazione**

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

**MACROAREA 2.
STELLE E MEZZO INTERSTELLARE**



Sommario:

1. MEZZO INTERSTELLARE E PROTOSTELLE	4
1.1 Quadro di riferimento generale	4
1.1.1 Chimica del mezzo interstellare	4
1.1.2 Protostelle	4
1.1.3 Formazione stellare di alta massa.....	5
1.2 Attività in Italia negli ultimi anni.....	5
1.3 Programmi in corso per i prossimi tre anni	7
1.3.1 Studio delle proprietà globali del mezzo interstellare e della formazione stellare.....	7
1.3.2 Studi di protostelle e cores protostellari di piccola e alta massa.....	8
1.3.3 Studi dei getti protostellari e del loro impatto sul mezzo interstellare circostante	9
1.3.4 Studi teorici e di laboratorio delle polveri nella materia interstellare diffusa e densa e nei nuclei protostellari.....	9
1.3.5 Studio del mezzo interstellare e della formazione stellare in altre galassie.....	10
1.4 Progetti per il futuro	10
1.5 Utilizzo di grandi strutture nazionali e internazionali.....	10
1.6 Tabella riassuntiva dei principali progetti e relative fonti di finanziamento.....	11
2. REGIONI DI FORMAZIONE STELLARE, AMMASSI STELLARI E STELLE GIOVANI.....	12
2.1 Quadro di riferimento generale.....	12
2.2 Attività in Italia negli ultimi anni.....	12
2.3 Programmi internazionali di attività per i prossimi 1-3 anni con un ruolo importante dell'Italia.....	14
2.4 Importanti programmi di attività che riguardano l'Italia.....	17
2.5 Progetti importanti in difficoltà	21
2.6 Progetti per il futuro	21
2.7 Utilizzo di grandi infrastrutture nazionali e internazionali.....	22
2.8 Tabella riassuntiva dei principali progetti e relative fonti di finanziamento.....	22
3. FASI PRINCIPALI DELL'EVOLUZIONE STELLARE DI STELLE SINGOLE E BINARIE.....	25
3.1 Background scientifico internazionale (ultimi 5 anni).....	25
3.2 Ricerca in Italia (ultimi 5 anni).....	25
3.3 Partecipazione Italiana a programmi nazionali e internazionali.	31
3.4 Sviluppi e progetti per il prossimo triennio.	32



4. LA STORIA DELLA NOSTRA GALASSIA, DELLE GALASSIE VICINE E DEI LORO AMMASSI STELLARI 34

4.1	Stato dell'arte a livello internazionale.....	34
4.2	Ricerche svolte in Italia negli ultimi 3-5anni (highlights):.....	36
4.3	Progetti italiani in atto già finanziati	45
4.4	Collaborazioni internazionali con partecipazione italiana	46
4.5	Utilizzazione delle grandi strutture nazionali ed internazionali	46

5. PIANETI EXTRASOLARI..... 48

5.1	Quadro di riferimento generale.....	48
5.2	Attività in Italia negli ultimi anni.....	52
5.2.1	SPHERE.....	52
5.2.2	EPICS	52
5.2.3	PLATO.....	53
5.2.4	Interazione stelle-pianeti.....	53
5.2.5	Formazione planetaria: il ruolo della stella centrale e dell'ambiente circostante	53
5.2.6	Dinamica e stabilità di sistemi planetari extrasolari.....	55
5.2.7	Contributo della missione Gaia alle osservazioni planetarie	55
5.2.8	Osservazioni di follow up	55
5.2.9	Pianeti attorno a stelle giganti	55
5.2.10	Rivelazione di pianeti col metodo del timing	55
5.3	Programmi di attività per i prossimi 1-3 anni.....	55
5.4	Progetti importanti con difficoltà.....	58
5.5	Progetti per il futuro	58
5.6	Utilizzo di grandi infrastrutture nazionali e internazionali.....	58
5.7	Tabella riassuntiva dei principali progetti attivi e relative fonti di finanziamento	59

1. MEZZO INTERSTELLARE E PROTOSTELLE

Preparato da Brunella Nisini con il contributo di F. Bacciotti, J. Brand, R. Cesaroni, C. Codella, D. Galli, L. Hunt, D. Lorenzetti, S. Molinari, L. Olmi, E. Palombo, F. Strafella

1.1 Quadro di riferimento generale

La conoscenza della composizione chimica e fisica del mezzo interstellare (ISM), della sua evoluzione e del processo che porta al collasso e alla formazione di una stella è uno dei principali problemi dell'astrofisica moderna, cui è legata la comprensione del meccanismo con cui si formano i pianeti e della fisica che regola le galassie e la loro evoluzione.

Uno sviluppo delle conoscenze in questo campo implica lo studio delle condizioni iniziali in nubi protostellari e in regioni in cui la formazione stellare è attiva, delle proprietà delle protostelle, e della mutua interazione tra protostelle e mezzo interstellare. Indispensabile è anche la caratterizzazione delle proprietà chimiche e fisiche del mezzo interstellare sia nel contesto Galattico che in quello extragalattico.

Grandi progressi nella comprensione di questi fenomeni si sono potuti realizzare solo in tempi relativamente recenti rispetto ad altri filoni dell'astrofisica stellare, grazie all'enorme sviluppo tecnologico nel campo della strumentazione nell'infrarosso e nel mm/submm, che sono le bande spettrali dove vengono meglio tracciate le regioni di formazione stellare.

1.1.1 Chimica del mezzo interstellare

L'alta densità e bassa temperatura presenti all'interno delle nubi molecolari favoriscono reazioni chimiche che portano alla formazione di molecole complesse le cui abbondanze relative dipendono fortemente dall'evoluzione fisica e chimica della nube. Molte delle molecole e polveri presenti nel nostro sistema solare sono sintetizzate all'interno delle nubi molecolari, mentre altre, quali ad esempio l'acqua, sono invece prodotte in ambienti più caldi, come gli involucri di stelle in formazione.

Enormi progressi sono stati fatti negli ultimi anni nella comprensione della chimica che avviene all'interno delle nubi molecolari alle diverse scale spaziali (dalle nubi diffuse, ai cores prestellari fino ai dischi circumstellari). Questi studi sono stati portati avanti attraverso gli sviluppi di modelli chimici sempre più complessi, associati ad osservazioni di sempre più nuove specie molecolari utilizzando strumentazione, sia da terra che dallo spazio, nel range spettrale che va dall'IR al radio.

1.1.2 Protostelle

Il collasso gravitazionale che porta alla formazione di una stella o di un ammasso stellare è il risultato di una serie di complessi processi fisici in cui gli aspetti dinamici, chimici e radiativi, spesso interdipendenti, non sono al momento completamente compresi da un punto di vista teorico. Ad esempio, non esiste un consenso unanime sulla importanza relativa dei due principali antagonisti dell'attrazione gravitazionale, il campo magnetico galattico e la turbolenza del mezzo interstellare, nel determinare la bassa efficienza globale della formazione stellare.

Le difficoltà nell'osservazione delle regioni in cui questi processi avvengono sono enormi, sia perché le prime fasi del collasso sono molto rapide, sia perché avvengono in ambienti oscurati. Gli unici traccianti di questi fenomeni durante le prime fasi del collasso gravitazionale risultano essere la radiazione a bassa energia emessa dalla polvere fredda e da molecole complesse; tuttavia la sensibilità e la risoluzione angolare con cui si riesce oggi ad osservare nel lontano IR e nella regione sub-mm sono ancora troppo limitate per poter porre dei vincoli significativi ai modelli teorici.



Protostelle in fasi più avanzate, quando il nucleo centrale è già formato ma continua ad aumentare in massa tramite un disco di accrescimento, vengono osservate anche nel vicino IR. Una caratterizzazione approssimativa dello stadio evolutivo di questi oggetti è di solito realizzata tramite le distribuzioni energetiche spettrali dall'IR al mm. Spettroscopia nell'IR ad alta dispersione ha invece permesso in tempi più recenti di evidenziare la presenza di fenomeni di accrescimento, di dischi gassosi e venti che permettono di valutare in maniera più quantitativa il livello di attività di queste sorgenti.

Infine, una grande importanza nel processo di formazione di una stella riveste l'innesco di getti di materia collimati, che avvengono durante le primissime fasi di evoluzione di una protostella, e che sono responsabili della rimozione del momento angolare in eccesso. Lo studio di questi getti in protostelle in diverse fasi evolutive permette di derivare importanti informazioni indirette sul processo di accrescimento dell'oggetto eccitatore e anche di studiare in dettaglio la fisica e la chimica degli *shocks* interstellari indotti dall'interazione dei getti con il mezzo ambiente.

1.1.3 Formazione stellare di alta massa

La maggior parte della nostra conoscenza sul processo di formazione stellare è limitata alla formazione di stelle di massa solare o più piccola. Tuttavia sono le stelle di alta massa (cioè con masse maggiori di $8 M_{\odot}$) che dominano l'energetica delle galassie e l'evoluzione chimica dell'Universo. La teoria sviluppata per la formazione di stelle di piccola massa è difficilmente applicabile alle stelle più massicce a causa dei loro tempi evolutivi molto corti e dei forti venti stellari che limitano i processi di accrescimento.

Anche in questo caso le diverse teorie proposte trovano difficoltà ad essere confermate con dati osservativi appropriati. Di conseguenza, è ancora difficile stabilire proprietà fondamentali come la frequenza e caratteristiche dei dischi di accrescimento intorno a stelle massicce giovani, la struttura e proprietà dei loro getti di materia, e la connessione tra stelle massicce, ammassi giovani e le loro proprietà dinamiche.

Un passo in avanti fondamentale in questo campo sarà fornito da survey a larga scala nella nostra galassia unite con studi ad alta risoluzione spaziale nell'intervallo spettrale dal lontano IR al mm.

1.2 Attività in Italia negli ultimi anni

La comunità italiana contribuisce in modo notevole a grandi progetti internazionali come ALMA e Herschel e a Research & Training Networks (come Constellation e JETSET) finanziati dalla EU. A tale proposito menzioniamo la presenza di uno degli ALMA Regional Centers (ARCs) a Bologna, che rappresenta un punto di aggregazione per la comunità italiana che si occupa di astronomia sub-mm.

L'utilizzo di telescopi dall'IR al mm (Spitzer, IRAM, APEX, JCMT, CSO, VLA, BLAST), di interferometria millimetrica e infrarossa (principalmente SMA, PdBI e VLTI) e di osservazioni ottiche e UV ad alta risoluzione spaziale (HST) è cruciale per questi studi ed i ricercatori italiani vantano un significativo successo nelle richieste di tempo di osservazione e nella partecipazione e leadership di Large Programs di livello internazionale. Di altrettanto impatto risultano le osservazioni tramite spettroscopia a bassa, media e alta risoluzione ottica e infrarossa con strumentazione VLT. Va anche menzionata la partecipazione a gruppi di lavoro per l'utilizzo scientifico di strumentazione in fase di realizzazione a LBT e VLT per studi legati alle prime fasi della formazione stellare.

All'interno di questo vasto filone si sviluppano diverse linee di ricerca specifiche nelle quali i diversi gruppi italiani hanno acquisito altissima visibilità, e in molti casi leadership, internazionale. Tra gli studi di maggior impatto svolti da ricercatori italiani negli ultimi anni segnaliamo:

- studi osservativi che hanno lo scopo di definire le proprietà chimiche e fisiche degli involucri circumstellari che risultano cruciali per la comprensione delle condizioni iniziali del processo di formazione di stelle di piccola e grande massa. In tale ambito menzioniamo le osservazioni di righe maser mediante VLA e VLBI, con risoluzione di 1 mas, che hanno permesso di mappare i campi di velocità tridimensionali

esplorando così i processi di espansione e/o accrescimento nelle regioni protostellari. Citiamo inoltre gli studi di variabilità dei maser in protostelle realizzati all'antenna di Medicina (vedi Fig.1.1).

- studi teorici del processo di collasso gravitazionale e del ruolo del campo magnetico, nonché le ricerche volte a caratterizzare popolazioni stellari giovani e studi osservativi della struttura interna delle nubi molecolari per caratterizzare le condizioni iniziali di formazione stellare.
- studi sperimentali con lo scopo di studiare in laboratorio gli effetti del processamento dovuto a ioni cosmici di bassa energia ($E \sim \text{MeV}$), e fotoni UV ($E > 6 \text{ eV}$) e atomi subito dalle polveri nel mezzo interstellare e nelle regioni circumstellari.

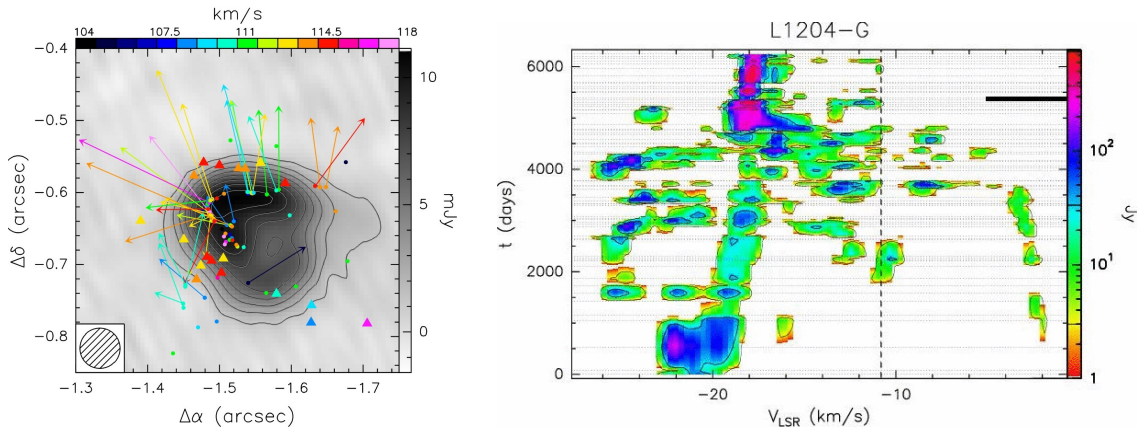


Figura 1.1 (Sinistra) Regione HII ipercompatta (osservata con VLA + Pie Town a 7mm, scala di grigio) circondata da maser del CH_3OH (triangoli) e dell' H_2O (cerchi). I moti propri (freccie) sono stati misurati con la VLBI per i maser H_2O e mostrano espansione della regione HII ad alta velocità (Moscadelli et al. 2007, A&A 472, 867, Beltran et al. 2007, A&A 471, L13). (Destra) Osservazioni del maser dell'acqua della sorgente L1204-G acquisite a Medicina dal Dic. 1989 al Feb. 2007 (Felli et al. 2007 A&A 476, 373). Questo tipo di diagrammi permettono di identificare *bursts* o periodi di accelerazione/decelerazione nella regione di emissione del maser.

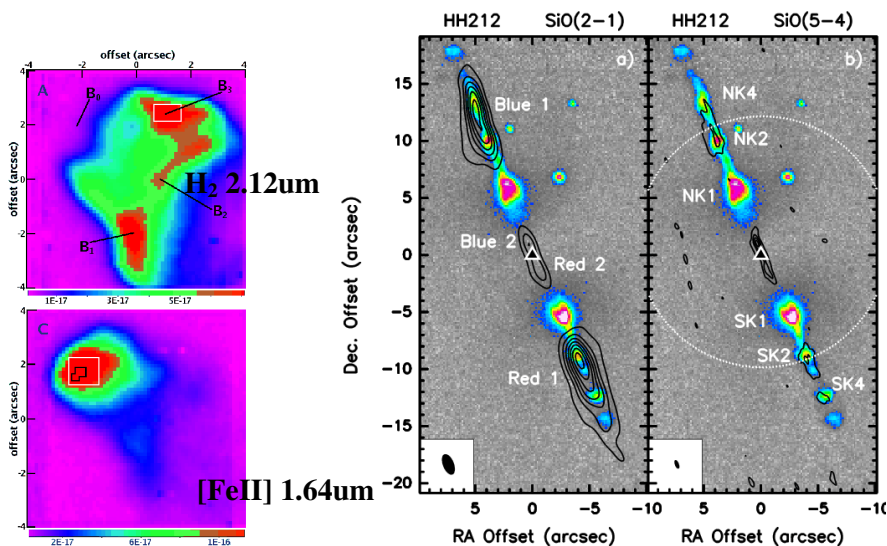


Figura 1.2 (Sinistra) Immagini spettrali ottenute con SINFONI-VLT del *bow shock* creato dal getto protostellare HH99. Le osservazioni SINFONI hanno rivelato l'emissione di più di 170 righe sia molecolari che atomiche la cui analisi ha permesso uno studio estremamente dettagliato della fisica e chimica di questo shock interstellare, ponendo vincoli molto stringenti sui modelli esistenti (Giannini et al. 2008, A&A 481, 123). (Destra) Osservazioni SiO del getto molecolare della protostella HH212-mm (indicata col triangolo nero) ottenute a PdB, sovrapposte ad una immagine in H_2 a 2.12um. Queste osservazioni hanno permesso di risolvere per la prima volta la regione più interna di un getto da una sorgente protostellare ponendo dei vincoli sui modelli per la loro formazione (Codella et al. 2007, A&A 462, 53).



– studio delle proprietà fisiche e chimiche dei getti protostellari e degli shocks associati alla loro interazione col mezzo interstellare. In questi studi, legati al network europeo JETSET che si concluderà nel 2009, ricercatori italiani dell'OARm e OAAr hanno avuto un ruolo di leadership nello sviluppo di metodi di diagnostica basati su righe spettrali sia ottiche che infrarosse, e tramite osservazioni con strumentazione di ultima generazione quale la spettroscopia a campo integrale e la strumentazione dell'HST. Importanti risultati si sono anche ottenuti dall'utilizzo di dell'interferometro millimetrico del PdB per la caratterizzazione dei getti molecolari delle protostelle più giovani. (Fig. 1.2)

1.3 Programmi in corso per i prossimi tre anni

Tra progetti in corso di cui si auspica la continuazione ed il potenziamento nel triennio 2009-11 menzioniamo:

1.3.1 Studio delle proprietà globali del mezzo interstellare e della formazione stellare

Lo scopo di questi studi è quello di utilizzare l'emissione della polvere a diverse lunghezze d'onda come tracciante delle condizioni fisiche del mezzo interstellare in tutte le fasi della formazione stellare. Tali progetti coinvolgono una larga parte della comunità italiana attraverso la partecipazione, anche con PI-ship, a Large programs ESO, Key programs della missione Herschel e Legacy Projects Spitzer. In questo ambito sono in corso molteplici attività:

A) Surveys fotometriche dal medio-IR al millimetrico a grande scala del piano Galattico:

Questi progetti hanno lo scopo di affrontare aspetti globali ancora irrisolti nella formazione stellare a larga scala sul piano galattico: qual è il contributo globale della polvere fredda nel budget Galattico? Come variano il ritmo e l'efficienza di formazione stellare in funzione della distanza Galattocentrica? Come varia la "timeline" per formazione stellare massiccia? Esistono effetti di soglia per l'innesco dei processi di formazione? Qual è la relazione fra meccanismi di "triggering" ed i prodotti finali della formazione stellare? Il progetto si articola in tre surveys distinte ma assolutamente complementari, che vedono l'Italia giocare un ruolo di assoluta leadership:

Hi-GAL è l'unico HERSCHEL Open-Time Key-Project approvato con PI Italiano. Effettuerà una survey di piano Galattico coprendo le longitudini fra -60° e $+60^\circ$ in 5 bande fotometriche, 70-170-250-350-500 μm , che campionano efficacemente il picco della SED della polvere fredda. Con un lancio previsto per Aprile 2009, si prevede che la presa dati si concluda in primavera 2010 con successiva estesa fase di riduzione dati ed analisi scientifica. Il Consorzio Hi-GAL è guidato dall'IFSI e comprende circa 120 ricercatori principalmente in Europa, Stati Uniti e Canada; in ambito Italiano coinvolge circa 25 astronomi presso Arcetri, Univ. Roma 1 e 2, Lecce e Catania. La partecipazione Italiana ad Hi-GAL è finanziata dall'ASI.

ATLASGAL è una survey effettuata a 870 μm che copre l'intervallo $-90^\circ < l < 30^\circ$ con la camera LaBoCa sull'antenna APEX (Chajnantor, Cile). La survey è in corso di esecuzione e vede coinvolti come Co-I astronomi dell'OAAr e dell'IFSI.

MIPSGAL è una survey con Spitzer/MIPS a 24 e 70 μm che copre le longitudini Galattiche fra -60° e $+60^\circ$, con una recente estensione ad un tratto del secondo quadrante. La survey è stata completata ma l'analisi scientifica sta iniziando ora e vede coinvolti come Co-I astronomi dell'IFSI e dell'OAAr.

B) Surveys fotometriche nell' IR e sub-mm di regioni di formazione stellare vicine.

Questo programma complementa il precedente poiché interessandosi delle regioni entro 3 kpc dal Sole, sfrutta al meglio la risoluzione spaziale ottenibile a queste lunghezze d'onda per affrontare tematiche più specifiche relativamente ai meccanismi dettagliati di formazione stellare: Qual è l'origine della funzione di massa iniziale (IMF) in una regione di formazione stellare? Qual è la relazione fra la IMF e la funzione di massa dei *cores* molecolari da cui le stelle si originano? Quali sono le proprietà di *clustering* nelle primissime fasi della formazione stellare?



Citiamo in particolare i due programmi Herschel in tempo garantito "Gould Belt Survey" e "HOBYS", con i quali saranno ottenute le mappe fotometriche in 6 bande fra 70 e 500 μm di pressoché tutte le regioni di formazione stellare entro 3 kpc. I due programmi vedono il coinvolgimento di astronomi di IFSI, OAAr, OARm e IASF; del primo programma l'IFSI è anche Co-PI. Diversi programmi sono anche attualmente in corso all'OARm, OAAr e Università di Lecce che utilizzano osservazioni con tempo garantito Spitzer e da terra (ESO/VLT-NTT-APEX). Ricercatori dell'OAAr e OARm sono anche coinvolti nel progetto dell'osservatorio sub-mm da pallone BLAST, che può essere considerato il precursore di Herschel ed ha effettuato una survey a 250, 350 e 500 μm in diverse regioni di formazione stellare.

C) Studi multi-banda di regioni di formazione stellare

Questi programmi si occupano più in dettaglio di studi osservativi a diverse lunghezze d'onda sia del gas che della polvere di regioni di formazione stellare selezionate, al fine di investigare le diverse modalità di formazione e di determinare le proprietà fisiche e chimiche delle nubi.

Citiamo in particolare gli studi sulla formazione stellare indotta da eventi esterni come resti di supernovae e venti stellari, e sulla formazione stellare nei globuli di Bok, che vede coinvolti ricercatori dell'IRA e dell'OAAr in collaborazione con gli Osservatori di Marsiglia e Grenoble.

1.3.2 Studi di protostelle e cores protostellari di piccola e alta massa

Numerosi sono i programmi in corso riguardanti la caratterizzazione di sorgenti nelle primissime fasi della loro formazione, che include i *cores* prestellari fino alle protostelle. L'obiettivo principale è quello di determinare le condizioni fisiche e chimiche dei *cores* e degli involucri protostellari all'interno dei quali avviene il processo di formazione di stelle di piccola e grande massa al fine di fornire limiti osservativi alle varie teorie di formazione stellare. Questi studi sono portati avanti principalmente attraverso l'utilizzo di telescopi quali VLT, APEX, IRAM, JCMT, VLA e VLBI. Vi è inoltre una partecipazione italiana ai Key Programs di Herschel WISH e HS3F per lo studio della chimica dei *cores* prestellari, allo scopo di definire le condizioni iniziali del gas prima del collasso gravitazionale.

Tra i principali progetti in cui i ricercatori italiani saranno impegnati nei prossimi tre anni menzioniamo:

A) Caratterizzazione protostelle di alta massa

Tra i vari progetti, che coinvolgono principalmente l'OAAr e l'IRA, menzioniamo quello relativo allo studio dei maser e allo studio delle proprietà degli oggetti protostellari di alta massa e dei *cores* molecolari caldi. Ricercatori dell'OAAr e IFSI partecipano inoltre ad un legacy program per lo strumento e-MERLIN per l'osservazione dell'emissione free-free in stelle massicce giovani, in cui sono coinvolti più di 20 istituti internazionali. Scopo del progetto è quello di studiare, attraverso la superba risoluzione angolare e sensibilità di questo strumento, le regioni ipercompatte e i jet termici associati. Proseguono inoltre gli studi interferometrici nel (sub)mm di dischi in (proto)stelle di grande massa ($>6 M_{\odot}$), allo scopo di discriminare fra diverse teorie di formazione di tali stelle. I risultati finora ottenuti mostrano che le stelle di tipo spettrale B potrebbero formarsi mediante dischi Kepleriani di accrescimento.

B) Survey spettroscopica di protostelle vicine

Il progetto prevede di ottenere spettri completi tra 1 e 2.4 μm (tra 0.6 e 2.4 μm per le sorgenti meno arrossate) di un campione di ~ 150 sorgenti stellari giovani allo scopo di determinare le loro proprietà di accrescimento e ridefinire una sequenza evolutiva per questi oggetti che si basi sulle loro caratteristiche spettrali. 14 notti osservative sono state assegnate al telescopio NTT dell'ESO nel 2009 per questo progetto a PI-ship italiana, che verrà condotto da ricercatori dell'OARm e OAAr in collaborazione con ricercatori di cinque diversi istituti europei.

1.3.3 Studi dei getti protostellari e del loro impatto sul mezzo interstellare circostante

Nel triennio 2009-11 verranno continuate e potenziate le attività di indagine osservativa e di diagnostica spettrale che hanno preso forma nel corso del Network Europeo JETSET (fine del progetto febbraio 2009). Queste attività, che a livello italiano vede coinvolti gli OAAr e OARm, verranno portate avanti nel quadro delle collaborazioni internazionali con Istituti già partecipanti al Network JETSET (Dublin Institute of Advanced Studies, LAOG a Grenoble, TLS a Tautenburg, Observatoire de Paris). In particolare si prevede di sviluppare i seguenti progetti, legati allo studio dei getti e *outflow* di materia nelle sorgenti protostellari più giovani:

- Partecipazione ai KP Herschel WISH (Water In Star formation with Herschel) and HS3F (HIFI Spectral Survey of Star Forming regions): questi due progetti vedono coinvolti ricercatori dell'OARm, OAAr e IFSI nei gruppi di lavoro per le osservazioni di *outflows* protostellari, con ruoli di coordinazione scientifica nei sottoprogetti.
- Osservazioni Spitzer di *outflows* protostellari: Ricercatori dell'OARm partecipano a programmi GO (con ruolo di PI-ship) e ad un *Large Program* aventi come scopo la caratterizzazione delle regioni di shock provocate da *outflow* protostellari: si prevede per questi programmi lo sviluppo di metodi di diagnostica che utilizzano righe spettrali nel medio IR.
- Osservazioni mm e sub-mm ad alta risoluzione spaziale (e spettrale) di getti protostellari di molecole, come e.g. l'SiO, che tracciano gas *post-shock* ad una temperatura intorno ai 100-500 K. Verranno usati interferometri (PdBI, VLA, SMA) che permettono una risoluzione < 1 arcsec, cioè confrontabile con quella di immagini ottiche/IR. Lo scopo è di completare lo studio della componente molecolare dei getti protostellari, studiando in dettaglio la morfologia e la cinematica del gas, ponendo vincoli ai modelli teorici di formazione stellare.

1.3.4 Studi teorici e di laboratorio delle polveri nella materia interstellare diffusa e densa e nei nuclei protostellari

La maggior parte delle nostre conoscenze sulle proprietà chimico-fisiche delle polveri e delle molecole nelle mezzo interstellare e circumstellare si basa sul confronto fra osservazioni ed esperimenti di laboratorio effettuati, nella maggior parte dei casi, a bassa temperatura ($T \sim 10-80$ K). Inoltre di grande rilevanza sono gli studi teorici che permettono di calcolare gli spettri teorici di macromolecole o nanoparticelle a base di carbonio.

I principali studi di laboratorio in corso in Italia vedono coinvolti ricercatori dell'OACt, OACa e OACn. I principali sviluppi nei prossimi anni riguardano:

- analisi tramite spettroscopia IR e Raman degli effetti dell'irraggiamento su miscele ghiacciate per simulare gli effetti dell'irraggiamento dovuto agli ioni cosmici di bassa energia e ai fotoni UV sui mantelli ghiacciati. Queste misure saranno usate come base per la ricerca di particolari specie in fase gassosa nelle regioni interstellari e circumstellari in cui ci si aspetta che questi processi hanno luogo; inoltre i dati di laboratorio sono disponibili sul sito <http://www.oact.inaf.it/weblab/> che sarà continuamente aggiornato;
- studio dei processi di idrogenazione di grani di carbone amorfo al fine di comprendere la formazione della componente alifatica nelle nubi interstellari diffuse evidenziata dalla banda a $3.4 \mu\text{m}$;
- studio dei processi che portano alla formazione di idrogeno molecolare e altre molecole sulla superficie dei grani.

Un altro filone che verrà portato avanti è quello del calcolo delle proprietà di grandi molecole carbonacee, attraverso l'utilizzo di pacchetti di chimica quantistica allo stato dell'arte, principalmente nell'ambito della teoria del funzionale densità (DFT) sia statica che dipendente dal tempo. Questi codici sono utilizzati su un'ampia gamma di risorse di calcolo, che vanno da clusters locali di workstations a supercomputers in centri



di calcolo nazionali (IBM SP5 al CINECA) e internazionali (IBM SP4 al CINES, Montpellier e SGI Altix al CALMIP, Tolosa). Questo ha già prodotto una banca dati omogenea di proprietà spettrali di numerosi idrocarburi aromatici policiclici (PAHs) e aggregati di carbonio, che è liberamente accessibile con un'interfaccia web (<http://astrochemistry.ca.astro.it/database>). Questi calcoli sono un'utile guida per la pianificazione e l'interpretazione di nuovi esperimenti e rappresentano una risorsa preziosa per l'interpretazione delle osservazioni della prossima missione spaziale Herschel.

Infine, un gruppo di astronomi dell'OAPa, IASF-Pa e OACn ha intrapreso uno studio degli effetti della radiazione X su ghiacci di tipo interstellare in collaborazione con il centro de Astrobiologia (INTA-CAB) di Madrid. Questi studi saranno focalizzati a capire il ruolo della radiazione X-soffice, componente importante dell'emissione di una stella soprattutto nella prime fasi della sua vita, nella formazione di materiale organico. I fondi utilizzati fino ad ora sono di un Prin INAF.

1.3.5 Studio del mezzo interstellare e della formazione stellare in altre galassie

Ricercatori dell'OAAr e dell'IRA sono coinvolti in diversi progetti internazionali rivolti allo studio del mezzo interstellare in galassie esterne, ed in particolare in galassie a spirale vicine e in galassie nane a bassa metallicità. L'emissione di molecole, atomi e polveri viene usata come tracciante per caratterizzare la formazione stellare in diverse condizioni fisiche, e per comprendere come gli AGN vengono alimentati dal gas del disco. Tra i diversi progetti citiamo:

- Programmi osservativi all'interferometro IRAM-PdB per lo studio della cinematica del CO in galassie ospitanti AGN, come diagnostica del meccanismo di alimentazione degli AGN (collaborazione NUGA). Il progetto NUGA ha già ottenuto 300 ore di osservazione e prodotto 11 articoli in riviste referate.
- Programmi Spitzer per lo studio di M33 e di un campione di galassie nane che formano stelle a bassa metallicità. Dati complementari sono stati anche ottenuti con il 30m di IRAM e con APEX.
- Partecipazione a due Herschel open time KP, KINGFISH e HeViCS, per lo studio delle galassie vicine e dell'ammasso VIRGO attraverso immagini e spettroscopia con PACS e SPIRE.

1.4 Progetti per il futuro

Visto il grande coinvolgimento italiano in ALMA e HERSCHEL si auspica che, a differenza di quanto accaduto finora, nel triennio 2009-11 a tale coinvolgimento venga fornito un adeguato supporto, sia in termini finanziari, che in termini di personale. Si augura in particolare il supporto finanziario su programmi in tempo aperto che verranno realizzati con Herschel.

Si auspica anche di favorire la formazione di nuovi ricercatori in grado di utilizzare al meglio tali telescopi quando questi entreranno in funzione. Si nota infine come il settore della formazione stellare e mezzo interstellare sia scarsamente rappresentato a livello universitario. Di conseguenza, da una parte la formazione di giovani in questo filone è carente, dall'altra l'accesso a finanziamenti di tipo PRIN-MIUR è più difficoltoso.

1.5 Utilizzo di grandi strutture nazionali e internazionali

Oltre al menzionato utilizzo di Herschel, anche con programmi in open time, e la partecipazione alla early science di ALMA, si prevede un forte utilizzo delle facilities ESO sia attuali che di nuova generazione, quale SINFONI, CRIRES, X-Shooter, K-MOS e la strumentazione APEX.

E' inoltre da segnalare la partecipazione nell'attività scientifica preparatoria per l'utilizzo di strumentazione in fase di sviluppo o in costruzione. A titolo di esempio citiamo la partecipazione a gruppi di lavoro scientifici per LINC-NIRVANA su LBT e per l'interferometro IR di seconda generazione VSI, attività finanziata anche con fondi INAF.

Menzioniamo inoltre che l'eccellenza scientifica dei ricercatori italiani nel campo della formazione stellare ha permesso loro di accedere anche a strutture internazionali in cui l'Italia non è direttamente coinvolta, sia a livello individuale che attraverso collaborazioni.

Riteniamo inoltre importante seguire lo sviluppo di progetti internazionali, come E-ELT, JWST, SPICA, SKA, LOFAR, per favorire il possibile coinvolgimento italiano nelle grandi strutture previste per il prossimo decennio.

1.6 Tabella riassuntiva dei principali progetti e relative fonti di finanziamento

Progetto	Scopo	Strum./Teles.	status	Istituto/PI(CoI)	Risorse
Hi-GAL	mappa piano gal. 70-500 μ m	Herschel	OT-KP	IFSI (PI), OAAr, IRA	ASI
ATLASGAL	mappa piano gal. 870 μ m	Laboca	in corso	OAAr(PI), IRA, IFSI	
MIPSGAL	mappa piano gal. 24-70 μ m	Spitzer-MIPS	In corso	OAAr, IFSI	ASI
Gould Belt Survey	mappe di nubi vicine	Herschel	GT	IFSI(co-PI), OAAr, IASF-Pa	ASI
HOBYS	mappe 70-500 μ m di regioni < 3kpc	Herschel	GT	IFSI, OAAr, OARm, IASF-Pa	ASI
Surveys Star Formation	IMF/ efficienza SF	VLT/Spitzer/BLAST	in corso	OARm, OAAr, IFSI	PRIN
Interstellar masers	involuppi circumstellari di protostelle di alta massa	VLBI/VLA	In corso	OAAr (PI), IRA, IASF	PRIN
Protostar spect.survey	spettri completi 0.9-2.5 μ m di YSOs	ESO-NTT	assegnato	OARm (PI), OAAr	EC FP6
Spitzer obs. of protostellar outflows	spettroscopia mid-IR di getti molecolari	Spitzer-IRS	GO	OARm (PI)	ASI
LINC-NIRVANA Science	Simulazioni/ricostruzioni immagini spettrali	LN-LBT	in corso	OABo, OARm, OAPd	PRIN
Mm/Sub-mm observations of protostellar outflows	Eccitazione e cinematica getti protostellari	IRAM-PdB/SMA/JCMT	In corso	OAAr, IRA, OARm	EC FP6
Laboratory studies	irraggiamento di ghiacci e polveri		In corso	OACt, OACa, OACn, OAPa	PRIN
Extragal. ISM	mappe e osservazioni in riga	Spitzer/Herschel APEX/IRAM	GO e OT-KP	OAAr (PI) , IRA	



2. REGIONI DI FORMAZIONE STELLARE, AMMASSI STELLARI E STELLE GIOVANI

Preparato da Giusi Micela con il contributo di J. Alcalà, F. Bacciotti, S. Messina, S. Orlando, I. Pagano, S. Randich

2.1 Quadro di riferimento generale

Lo studio delle stelle giovani è di fondamentale importanza per la comprensione dei meccanismi della formazione stellare, degli effetti dell'ambiente e per lo studio della storia della formazione stellare e della sua evoluzione.

Lo studio delle stelle giovani più vicine al Sole consente di determinare in dettaglio i meccanismi in atto nelle stelle appena formate e durante la loro evoluzione, il ruolo delle polveri, della massa e in generale di tutte le componenti l'ambiente proto-stellare. Le osservazioni e il confronto fra le proprietà delle stelle giovani a varie distanze nella nostra Galassia o in galassie vicine permette di capire gli effetti ambientali e l'importanza delle condizioni ambientali sia sulla singola stella che sulle proprietà globali, come per esempio la funzione iniziale di massa. Dalla determinazione delle proprietà individuali delle stelle giovani così studiate è possibile comprendere fenomeni molto più complessi e violenti come quelli in atto in galassie esterne e nelle galassie starburst.

Inoltre lo studio delle stelle giovani e dell'evoluzione dei loro dischi circumstellari è funzionale alla comprensione dei meccanismi e delle condizioni di formazione dei sistemi planetari, della loro evoluzione e delle loro caratteristiche.

Infine le regioni di formazione stellare e gli ammassi aperti forniscono dei laboratori naturali per lo studio delle stelle, permettendo di fissare alcune quantità fisiche fondamentali come la distanza, l'età e la composizione chimica per potere comprendere il ruolo di altre quantità come la massa e la rotazione stellare.

La ricerca sulle stelle giovani è necessariamente multi-banda, infatti le varie componenti di un sistema stellare giovane si manifestano in bande diverse. Così, per esempio gli involucri di polveri attorno alle stelle giovani e i dischi circumstellari devono essere studiati nell'infrarosso, mentre per studiare le proprietà stellari è necessario ricorrere alla banda visibile, in assenza di estinzione significativa. Infine le osservazioni in banda X hanno dimostrato che la formazione stellare non è un processo 'freddo' ma che l'emissione ad alta energia è comune nelle stelle giovani con livelli di emissione 3-4 ordini di grandezza superiori a quelle attuali del Sole. Anche se questo budget di energia è una frazione al più di un millesimo della luminosità bolometrica stellare è di fondamentale importanza sia per l'evoluzione della stella che per l'evoluzione del mezzo circumstellare. Infatti l'emissione X che può essere in piccola parte dovuta all'accrescimento, ma è soprattutto di origine coronale è un tracciante dei campi magnetici nell'alta atmosfera, campi che guidano l'accrescimento e il vento stellare a sua volta responsabile dell'evoluzione del momento angolare. Inoltre la radiazione ad alta energia ionizza in modo sostanziale il mezzo circumstellare, incluso i dischi, cambiandone le proprietà fisiche e condizionandone l'evoluzione.

2.2 Attività in Italia negli ultimi anni

L'attività svolta in Italia si basa principalmente su numerose osservazioni in tutta la banda spettrale, dall'infrarosso fino ai raggi X. Esiste anche un'attività di sviluppo di modelli numerici idrodinamici e magnetoidrodinamici per lo studio dell'attività coronale (brillamenti, coronal mass ejections), dei getti e dell'accrescimento durante la fase di T Tauri. Le attività principali includono:

Lo studio delle stelle molto giovani in regioni di formazione stellare vicine al Sole che consentono di comprendere i meccanismi fisici in atto nelle prime fasi evolutive, durante la fase dai core protostellari fino all'innescarsi delle fusioni nucleari all'interno delle stelle. Lo studio delle proprietà dei YSOs (Young Stellar



Object) nelle diverse fasi evolutive e dei loro dischi circumstellari/proto-planetari, dell'accrescimento proto-stellare in stelle e nane brune in diverse regioni di formazione stellare e diversi ambienti.

Lo studio delle proprietà fisiche, chimiche e cinematiche dei jets. In particolare, grazie alla alta risoluzione spaziale e spettrale della strumentazione di HST, è stato possibile compiere una survey per confermare in numerosi getti da stelle T Tauri la presenza di rotazione del jet intorno al suo asse (vedi Fig. 3.1, sinistra). Ciò permette per la prima volta di validare osservativamente i modelli secondo i quali i getti operano una efficace estrazione del momento angolare in eccesso dal sistema in formazione.

Lo sviluppo di un modello numerico che permette di spiegare l'emissione in raggi X osservata in alcuni getti. La presenza di quest'emissione ad alta energia è di grande importanza perché crea un campo di radiazione energetica che irraggia il sistema stella-disco dall'alto modificando la ionizzazione del disco.

Lo studio di regioni più lontane molto massicce, con un numero rilevante di stelle calde che possono influenzare la formazione di nuove stelle e la loro evoluzione, incluso gli effetti della radiazione di alta energia (X e UV) sui dischi proto-planetari proveniente sia dalla stella centrale che dalle stelle vicine.

L'attività magnetica e coronale ed evoluzione del momento angolare in YSOs e stelle di sequenza principale. Studio della rotazione degli YSO in diverse fasi evolutive e sua relazione con le diagnostiche di attività magnetica. Studi della variabilità magnetica su varie scale temporali incluso la modulazione rotazionale e lo studio dei brillamenti.

Studi di popolazioni stellari attraverso il censimento e caratterizzazione delle popolazioni di oggetti giovani stellari e sub-stellari in regioni di formazione stellare, in ammassi giovani nella galassia e nell'intorno solare. Ad esempio lo studio della rotazione nella popolazione sparsa di YSOs nel complesso di Orione (identificati come sorgenti X da ROSAT) la quale risulta composta da oggetti significativamente più vecchi di quelli appartenenti alla ONC e alle altre regioni attive nella nube

Studio delle proprietà globali della formazione stellare (IMF, tasso di formazione stellare, efficienza e storia della formazione stellare) anche in funzione delle condizioni ambientali.

La determinazione delle abbondanze chimiche in regioni di formazione stellare ed ammassi giovani. La misura dell'abbondanza del litio ha per esempio identificato la presenza di stelle vecchie nella regione di Orione.

Alcuni highlights

Studi di oggetti stellari giovani (YSOs) in regioni di formazione stellare completamente diverse fra di loro (Orione, Camaleonte, NGC 6530, NGC 1893 e molti altri) indicano l'universalità della IMF. Questi studi hanno portato anche alla scoperta di un numero significativo di YSO con distribuzione spettrale dell'energia che indica una rapida evoluzione dei dischi proto-planetari possibilmente legata alla formazione di pianeti o a foto evaporazione indotta da stelle massicce nelle vicinanze. Alcuni oggetti studiati mostrano forte variabilità spettroscopica e fotometrica possibilmente legata alla presenza di disomogeneità nei dischi. Infine la scoperta di diversi sistemi YSO binari, i cui parametri orbitali determinati anche sulla base di osservazioni VLTI, permetteranno di determinare le masse e porre vincoli ai modelli teorici evolutivi di pre-sequenza principale.

Studio delle proprietà fisiche e chimiche dei getti protostellari e degli shocks associati alla loro interazione col mezzo interstellare. In questi studi, legati al network europeo JETSET che si concluderà nel 2009, ricercatori italiani dell'OARm e OAAR hanno avuto un ruolo di leadership nello sviluppo di metodi di diagnostica basati su righe spettrali sia ottiche che infrarosse, e tramite osservazioni con strumentazione di ultima generazione quale la spettroscopia a campo integrale e la strumentazione dell'HST. Importanti risultati si sono anche ottenuti dall'utilizzo dell'interferometro mm PdB per la caratterizzazione dei getti molecolari delle protostelle più giovani.

Studi dell'attività magnetica in diverse regioni di formazione stellare e ammassi di diversa età e in diverse condizioni ambientali. E' stata studiata statisticamente la distribuzione dei brillamenti in raggi X delle stelle ed è stata individuata nei microbrillamenti la probabile origine del riscaldamento coronale. Sono stati identificati alcuni brillamenti originati in enormi archi coronali che possono congiungere la fotosfera stellare con il disco circumstellare. In alcuni casi è stata osservata la riga di fluorescenza del ferro neutro a 6.4 keV, dovuta al materiale freddo presente nel disco, irradiato ad energie maggiori di 7 keV dalla stella. Analoghe righe del Neon sono state osservate in infrarosso. I ricercatori italiani sono significativamente coinvolti come PI di osservazioni da GO che come Co-I e PI nei Large Projects di Chandra e XMM/Newton sulle regioni di formazione stellare (Orione – Coup e NGC 1893 con Chandra e ρ Oph – Droxo e Taurus – XEST con XMM/Newton).

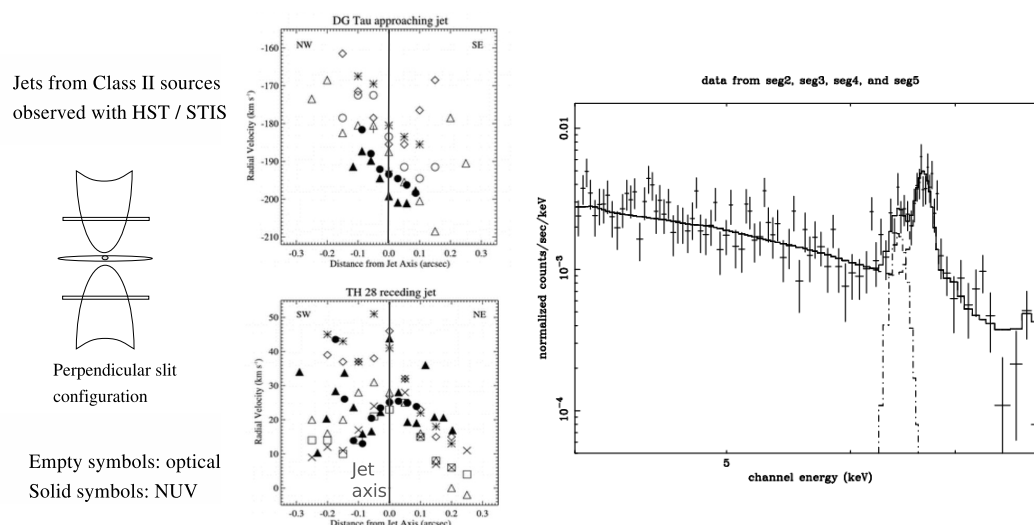


Figura 3.1: pannello a sinistra: profili della velocità radiale attraverso i jets emanati dalle stelle di Classe II DG Tau e Th 28. I profili, determinati da spettri HST /STIS in righe ottiche e UV, suggeriscono rotazione del jet intorno al loro asse di simmetria (adattato da Coffey et al. 2007).

Pannello a destra: Spettro in raggi X ottenuto con EPIC (XMM/Newton) della stella EI 29 di ρ Oph ottenuto nell'ambito del progetto Droxo fra 4 e 8 keV. E' evidente la riga di fluorescenza del ferro neutro a 6.4 keV (Giardino et al. 2007)

2.3 Programmi internazionali di attività per i prossimi 1-3 anni con un ruolo importante dell'Italia

From cores to planetary forming disks (c2d). A Spitzer legacy survey - Studio della formazione stellare, dai core proto-stellari ai sistemi con dischi proto-planetari. Partecipazione italiana di primo piano per lo studio completo di una delle cinque nubi molecolari coperte dalla survey. Attiva partecipazione allo studio delle altre quattro regioni.

PI: Neal J. Evans – Uni. Texas, Istituti: OACn, vedere <http://peggysue.as.utexas.edu/SIRTF/extended.team>

Data di avvio: Luglio 2005, Stato di completamento: 75%

VISTA Orion Survey: Verifica scientifica - Science verification di VISTA. Lo scopo principale della survey è la ricerca di YSO sub-stellari con dischi in Orione per uno studio approfondito dei dischi e della IMF nel regime sub-stellare. Partecipazione italiana di primo piano per lo studio dei YSO stellari e sub-stellari con disco, mediante analisi delle distribuzioni spettrali dell'energia.



PI: M. Petr-Gotzens (ESO), Istituti: ESO, OACn, CIDA, IAC, AIP, Exeter Univ, CfA (<http://www.eso.org/~mpetr/VISTA/workplan.html>)

Data di avvio: Novembre 2007, Stato di completamento: 10%

Gould's Belt Spitzer Legacy survey - Estensione della survey c2d ad altre regioni della Gould Belt. La partecipazione Italiana è nella determinazione dei parametri fisici dei YSO e dei dischi proto-planetari, focalizzando la ricerca sui dischi di transizione e 'debris discs'.

PI: Lori Allen (CfA), Istituti: OACn, CfA, U. Texas, Cardiff Univ., U. Maryland, SSC, U. Exeter, Leiden Obs. (<http://www.cfa.harvard.edu/gouldbelt/>)

Data di avvio: Gennaio 2007, Stato di completamento: 20%

Star Formation History in the Solar Neighborhood - Survey spettroscopica ad alta risoluzione di un grande campione di stelle di campo (>1000 stelle) con emissione X (dalla ROSAT All-Sky Survey) e con informazioni cinematiche (dalle missioni Hipparcos e Tycho). La survey è stata effettuata principalmente con spettrografi connessi ai telescopi dell'OHP, SARG al TNG e FRESCO a Serra La Nave (OACt). Essa ha lo scopo di selezionare oggetti di diversa età, caratterizzarne la fenomenologia di attività magnetica e studiarne la cinematica, evidenziando la presenza di oggetti molto giovani non appartenenti a Regioni di Formazione Stellare note.

PI: Patrick Guillout (ULP, Strasbourg), Istituti: ULP, Strasbourg, OACt, Lab. D'Astrophysique de Grenoble, ESO

Data di avvio: Gennaio 2005, Stato di completamento: 60%

CONSTELLATION. The Origin of Stellar Masses - Marie Curie RTN, Network Europea per lo studio della formazione e dell'evoluzione stellare. La Network è organizzata in tre temi principali: 1) Dalle Nubi ai Core alle Protostelle, 2) La nascita e l'influenza delle stelle massicce, 3) La fisica della coda di piccola massa dell'IMF. La network coinvolge diversi progetti di natura osservativa e teorica. Il nodo INAF è coinvolto in tutti e tre i temi. (<http://www.constellation-rtn.eu>)

Partecipanti: PI: Mark McCaughrean (Exeter Univ.), altri nodi: Academy of Sciences of the Czech Republic (Prague), Astrophysikalisches Institut Potsdam, (Germany), Service d'Astrophysique, CEA, Saclay (France), Department of Physics and Astronomy, Cardiff University (UK), École Normale Supérieure de Lyon, (France), Observatório Astronómico de Lisboa, Universidade de Lisboa (Portugal), Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife (Spain), OAPa, OAAr, (Italy), Laboratoire d'Astrophysique, Observatoire de Grenoble, Université Joseph Fourier (France), Institute of Astronomy, University of Cambridge (UK), School of Physics and Astronomy, University of St Andrews (UK).

Data di avvio: 1 Dicembre 2006 – Fine 30 Novembre 2010, Stato di completamento: 50%

Fonte di finanziamento: Commissione Europea FP6

Stellar variability and microvariability:

I. An unbiased study of rotation and stochastic variability and flaring in all Corot target stars (PI F. Favata, ESA)

II. Spot maps and modelling (PI A. Lanza OACt)

III.. Convection & short term activity (PI S. Aigrain, Exeter Univ.)

The Sun in Time: The History of the Solar Angular Momentum (PI: J.R. de Medeiros, Brazil)

Quattro programmi addizionali di Corot mirati allo studio dettagliato di vari aspetti della variabilità su diversi tempi scala nelle stelle di tipo solare. In particolare si determinerà l'evoluzione rotazionale delle stelle di tipo solare fino alle età più avanzate, si caratterizzerà la variabilità stocastica incluso i brillamenti, si



potranno ricostruire in dettaglio le disomogeneità fotosferiche e si potrà determinare come la variabilità fotosferica dipende dalle proprietà stellari.

PIs: F. Favata, A. Lanza, S. Aigrain, J.R. de Medeiros, istituti italiani: OACt, OAPa,

Data di avvio: metà 2007, Stato di completamento 30%

Fonti di finanziamento: ASI, e parzialmente EU (programma TOK ISHERPA appena scaduto)

A Corot short run of the NGC2264 young cluster – Monitoring con Corot dell'ammasso giovane NGC2264, allo scopo di studiare diversi fenomeni nelle stelle giovani, dall'accrescimento alla rotazione e attività magnetica, incluso la ricerca di pianeti e l'asterosismologia in stelle giovani. Il progetto è diviso in quattro aree: 1) Accrescimento, 2) Rotazione e attività, 3) Asterosismologia in stelle di massa intermedia, 4) Eclissi planetarie e stellari. G. Micela (OAPa) è il responsabile dell'area 2). Inoltre sono state ottenute osservazioni DDT di Chandra (PI G. Micela – OAPa) e TOO con SWIFT (PI I. Pagano – OACt) simultanee con le osservazioni di Corot

PI: F. Favata (ESA Headquarters), istituti: ESA, OAPa, OACt, Exeter Univ., Keele Univ. (UK), Caltech (USA), Meudon obs., LAM (Francia, LAEFF (Spagna)

Data di avvio: metà 2008, stato di completamento 15%

Fonte di finanziamento parziale ASI

Studio della popolazione stellare e substellare nell'ammasso della nebulosa di Orione: Studio ad ampio respiro, multi-banda della formazione stellare nella nebulosa di Orione, basato su osservazioni HST (PI M. Robberto, Baltimora), Spitzer (PI T. Megeath, Caltech) e Chandra (PI E. Feigelson, Penn State). Il progetto usa anche una serie di osservazioni J, H e K da terra (CTIO). Lo studio di Orione è fondamentale per la realizzazione dei modelli di formazione stellare. Il primo prodotto di questo progetto è la costruzione di un catalogo stellare che permette di studiare la popolazione stellare fino alle nane brune a diverse distanze dal Trapezio. I prossimi sviluppi prevedono fra l'altro la produzione del catalogo generale multibanda, la caratterizzazione delle sorgenti candidate BDs e la distribuzione spaziale dei dischi.

PIs: Robberto, Megeath e Feigelson (US). Istituti italiani OACt (Osservazioni fotometriche da terra e HST), OAPa (cross-correlazione fra i cataloghi, osservazioni in raggi X)

Data di avvio: Luglio 2006, Stato di completamento 35%

A survey of Orion A with XMM-Newton and Spitzer: SOXS: Large Project con XMM per osservare la popolazione dispersa immersa nella nube molecolare gigante L1641 di Orione A. Le osservazioni X saranno integrate con osservazioni di Spitzer nella stessa regione. Gli scopi principali sono: l'identificazione dei membri con e senza disco, lo studio dell'evoluzione del clustering e dei dischi giovani, e l'interpretazione dell'attività in raggi X nel contesto delle altre proprietà stellari come l'età, la rotazione, dischi e condizioni ambientali

PI: S. Wolk (Cfa, USA), Istituti: OAPa (analisi dati XMM), Caltech., Stony Brooks Univ., Univ. Michigan, (USA), Keele Univ. (UK)

Data di avvio: fine 2007, stato di completamento 30%

Fonte di finanziamento: ASI per la parte italiana

JETSET: Nel triennio 2009-11 verranno continuate e potenziate le attività di indagine osservativa e di diagnostica spettrale che hanno preso forma nel corso del Network Europeo JETSET (fine del progetto febbraio 2009). In particolare verranno attuati i progetti di survey a varie lunghezze d'onda (dall'ultravioletto all'infrarosso e mm) delle proprietà fisiche dei getti a varie scale e in sorgenti in diverse fasi evolutive. Questa attività, che a livello italiano vede coinvolti gli OAAr e OARm, verrà portata avanti nel quadro delle collaborazioni internazionali con Istituti già partecipanti al Network JETSET



PI: Tom Ray (Dublin Institute for Advanced Studies), Istituti: LAOG Grenoble, OAAr, OARm, Univ. di Torino, Centro de Astrof. da Universidade do Porto, Imperial College London, Thuringer Landssternwarte Tautenburg, Landessternwarte K"onigstuhl Heidelberg, Athens University, Observ. de Paris.

Data di Avvio: febbraio 2005, stato di completamento 80%

Fonte di finanziamento: EU

11. Phase-resolved X-ray study of the accreting binary T Tauri star V4046 Sgr: Large Project con XMM/Newton mirato a ottenere spettri X ad alta risoluzione prodotti dall'accrescimento su una stella giovane. L'obiettivo è misurare gli spettri corrispondenti a diverse fasi della rotazione della stella, al fine di comprendere il fenomeno dell'accrescimento magnetosferico, e della radiazione X da esso prodotta.

PI: Montmerle T. (LAOG – Francia), Istituti, , Univ. Palermo, ISDC & Geneva Observatory,, CNRS, Rochester Institute of Technology, MIT, ST. Andrews, MPI

Stato di completamento : 0%

Data di avvio: 2009

2.4 Importanti programmi di attività che riguardano l'Italia

From Disk to Planetary Systems. Understanding the Origin and Demographics of Solar and Extrasolar Planetary Systems: Progetto PRIN INAF a cavallo fra lo studio dei dischi attorno a stelle giovani e lo studio dei sistemi planetari mirato a studiare dal punto di vista osservativo e teorico l'evoluzione dei dischi circumstellari in sistemi planetari attraverso l'accrescimento dai grani in planetesimi fino a formare giganti gassosi, tenendo conto anche del ruolo della radiazione ad alta energia e di effetti dinamici in sistemi perturbati.

PI: L. Testi (INAF OAAr, ESO). Istituti: OAAr, IFSI, OAPd, OAPa, OACt

Stato di completamento 90%

Data di avvio: inizio 2007, marzo 2009

Fonte di finanziamento: PRIN INAF

From active accretion to debris disks: Studio delle proprietà di YSOs, dall'accrescimento alla formazione di pianeti, mediante determinazioni di parametri fisici come massa, età, metallicità, luminosità X e le correlazioni di questi parametri con quelli dei dischi proto-planetari. Parte della ricerca è focalizzata a YSOs con dischi di transizione.

PI: E. Covino (OACn), Istituti: OACn, OAAr; OAPa

Stato di Completamento: 50%

Data di avvio/scadenza: Marzo 2008 / Marzo 2009

Fonte di finanziamento: PRIN-INAF 2007

An X-shooter survey in galactic star forming regions: low-and sub-stellar mass objects 40 ore di GTO di X-Shooter saranno utilizzate per realizzare una survey spettroscopica di circa 100 YSO di piccola massa nelle regioni di σ -Ori, Camaleonte e TW Hydra. Lo scopo è lo studio delle proprietà fisiche dei YSO, delle loro proprietà di accrescimento, dell'attività magnetica e abbondanze chimiche. Questa ricerca fa parte del programma generale per lo sfruttamento scientifico del GTO italiano di X-Shooter.

PI: Juan M. Alcalá (INAF OACn), Istituti: OACn, OAPa, OAA, OACt, Univ. Catania, OARm

Data di avvio: Ottobre 2007

Fonte prevista di finanziamento: PRIN-INAF-2008



Characterizing the T Tauri star population in the Large Magellanic Cloud: Determinazione delle proprietà di accrescimento di T Tauri extragalattiche e il confronto con quelle delle T Tauri locali nell'ambito del GTO di X-Shooter

PI: S. Randich (OAAr), Istituti OAAr, OACn

Data di avvio: Ottobre 2007

Fonte prevista di finanziamento: PRIN-INAF-2008

Stellar rotation in different star forming environment - Monitoring fotometrico di campi selezionati in Orione, Cha II, L1616, simultaneamente nel vicino infrarosso e nell'ottico con il telescopio robotico REM e con i telescopi della sede di Serra La Nave dell'OACt con la finalità di studiare la distribuzione dei periodi di rotazione in regioni di formazione stellare in diverse condizioni ambientali (età e presenza di oggetti caldi che hanno effetto sulla formazione di stelle di bassa massa e BD e sui loro dischi)

PI: Antonio Frasca (OACt), Istituti: OACt, OACn

Data di avvio: Marzo 2006

Stato di completamento: 20%

Determinazione della metallicità in regioni di formazione stellare: Misura delle metallicità stellari mirata a studiare la formazione stellare sequenziale e connessione metallicità-presenza di pianeti e dischi di polveri. Il progetto si basa principalmente su osservazioni FLAMES.

PI: S. Randich (OAAr), Istituti OAAr, OACn.

Data di avvio: giugno 2007,

stato di completamento 25 %,

fonte parziale di finanziamento PRIN-INAF 2007 (PI Covino).

Phoenix: Programma Europeo Marie Curie per il trasferimento di conoscenza su oggetti stellari giovani, il loro ambiente circostante, ed i getti. Gli scopi includono: la determinazione delle condizioni fisiche del plasma in ambienti protostellari, delle caratteristiche dei getti protostellari e di come queste si collegano con l'evoluzione dei getti, la ionizzazione, la dinamica e l'emissione e di come i getti interagiscono con le altri componenti protostellari (ambiente circumstellare, dischi, proto pianeti etc.) attraverso radiazione e/o impatto meccanico. Il campo magnetico gioca un ruolo centrale nel determinare la dinamica ed il trasporto di energia del gas ionizzato che circonda la stella e, quindi, deve essere incluso nel modellaggio di questi sistemi.

PI: S. Orlando (OAPa) – I programmi ToK sono per singolo istituto e includono fellowship di post-doc stranieri

Data di avvio: Marzo 2006 – Febbraio 2010

Stato di completamento 70%

Fonte di finanziamento: EU FP6

The Initial Mass Function in the Outer Galaxy: The star forming region NGC 1893: Large Project Chandra e Spitzer mirata alla determinazione della funzione di massa in una regione nella parte esterna della Galassia, utilizzando dati in raggi X per selezionare le weak line T Tauri e dati infrarossi per identificare le stelle con dischi. Sono state ottenute osservazioni complementari in infrarosso JHK e nella banda visibile con il TNG e a Calar alto.

PI: G. Micela (OAPa), Istituti: OAPa, Univ. Palermo, CfA (USA), Caltech (USA), LAEFF (Spain)

Data di avvio Marzo 2007

Stato di completamento 50%

Fonte di finanziamento: ASI, EU FP6 (RTN Constellation)

RACE-OC: Rotation and Activity Evolution in Open Clusters – Progetto a lungo termine mirante a determinare la distribuzione dei periodi rotazionali negli ammassi aperti allo scopo di derivare l'evoluzione del momento angolare stellare (Fig. 3.2). Progetto osservativo basato monitoring fotometrico e osservazioni spettroscopico. Principali strumenti usati: HCT Himalayan Chandra telescope (HCT, India), - RCT Robotically Controlled telescope (AZ, USA) - Skinakas telescope (Crete) - LOAO Mt. Lemmon Observatory Telescope (AZ, USA) - APT80/2 Automatic Photometric Telescope (OAcT) - REM Rapid Eye Monut telescope (Chile) per le osservazioni fotometriche e VLT (Paranal) per le osservazioni spettroscopiche.

PI: S. Messina (OAcT), Istituti: IOAcT, Indian Inst. for Astrophysics (India), Villanova University (PA/USA), Korea Astronomy and Space Science Institute (Korea), Crete University e Athens University (Grecia).

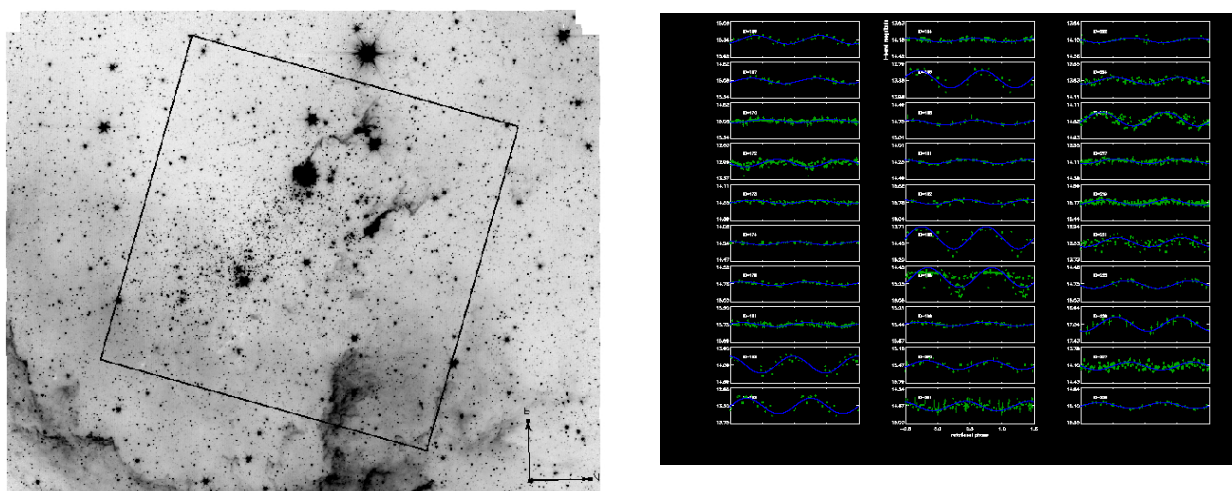


Figura 3.2: Pannello a sinistra: NGC 1893: Immagine IRAC a 4.5μ con sovrapposto il campo Chandra (quadrato) di $17'$ di lato (Caramazza et al. 2008).

Pannello a destra: Progetto RACE-OC: Esempio di curve di luce (magnitudine in funzione della fase del periodo di rotazione) ottenute per alcuni membri dell'ammasso una volta determinato il periodo di rotazione. I punti verdi sono le osservazioni; la linea continua blu rappresenta la modulazione sinusoidale (fit) con periodo uguale a quello di rotazione della stella. L'ampiezza della curva di luce dipende dal periodo di rotazione e dà una misura del livello di attività magnetica in fotosfera.

Formazione stellare nell'intorno solare: Progetto mirato a determinare la storia recente della formazione stellare nelle vicinanze del Sole nell'ultimo miliardo di anni. Lo studio utilizza dati da surveys in raggi X in determinate direzioni e a determinate sensibilità (p.es. NEP survey di ROSAT, BSS di XMM e HDFN di Chandra). I dati vengono integrati da dati spettroscopici ottici a bassa e alta risoluzione. Un approccio alternativo è basato sulla selezione di rotatori veloci osservati nei campi esoplanetari di COROT

PI: G. Micela (OAPa), Istituti: OAPa, Univ. Palermo, ESA, Universidad Complutense di Madrid

Stato di avanzamento 50%

Data di avvio 2006

Fonti di finanziamento: ASI, EU (ISHERPA, programma ToK appena scaduto)

DROXO, Deep Rho Ophiuchi XMM-Newton Observation: A XMM-Newton/ESO Key Project che mira a studiare le proprietà degli YSO nel core F della regione di formazione stellare di rho Oph. Il progetto che si basa su una lunga quasi continua osservazione della durata di circa 10 giorni mira a studiare 1) la variabilità spettro-fotometrica della emissione in raggi X di un campione di circa 100 YSO con età compresa fra 0.5 e 3 milioni di anni con particolare attenzione a quella della riga di fluorescenza K-alpha del ferro neutro,



associata ad emissione di materiale del disco circumstellare; 2) a selezionare in modo stringente i membri di rho Oph senza evidente emissione IR da dischi; 3) a correlare l'emissione nei raggi X (e la sua variabilità) con diagnostiche delle proprietà del disco e dell'accrescimento (dati ESO/VLT) e investigare la natura delle possibili interazioni fra disco, stella e processi di accrescimento tracciate dalla emissione ad alta energia.

PI: S. Sciortino (OAPa), Istituti: OAPa, Univ. Palermo, AOAr, LAOG Grenoble (Francia), Obs. de Strasbourg (Francia), ESA Estec (Olanda)

Data di avvio Giugno 2005

Stato di avanzamento 70%

Fonte di Finanziamento: ASI, PRIN - INAF – 2007

Emissione X da getti proto stellari: I getti di plasma da stelle giovani (oggetti Herbig-Haro, HH) collimati possono attraversare il mezzo interstellare a velocità supersonica, causando la formazione di shock al fronte di interazione con il mezzo ambiente imperturbato. Lo shock determinato da un getto può spiegare l'emissione in raggi X osservata in alcuni getti. Si continuerà a studiare l'origine dell'emissione X da getti protostellari attraverso lo sviluppo di modelli idrodinamici che includono gli effetti delle perdite radiative e della conduzione termica e la sintesi dell'emissione X, sia attraverso l'analisi di osservazioni X e del loro confronto con osservazioni in altre bande spettrali. Il progetto beneficerà di risorse di calcolo ottenute nell'ambito dell'accordo INAF-CINECA su "High Performance Computing resources for Astronomy and Astrophysics" ed ha avuto approvati dei programmi di osservazione con Chandra ed HST.

PI: S. Bonito (OAPa), Istituti: Univ. Palermo, OAPa, ESA

Data di avvio: 2004

Stato di avanzamento: 60%

Fonte di Finanziamento: PRIN-MIUR, ASI, EU-FP6, PON (Consorzio Cometa)

Ricostruzione tridimensionale dell'atmosfera di una stella T Tauri: Programma di monitoring della T-Tauri classica V2129 Oph tramite osservazioni simultanee o quasi simultanee in diverse bande e con differenti strumenti, al fine di ottenere una rappresentazione tridimensionale dell'atmosfera stellare, dalla corona alla fotosfera, e dei processi di accrescimento circumstellare. Il programma prevede osservazioni spettroscopiche in banda X con Chandra, spettrometria ad alta risoluzione ottica ed infrarossa (da telescopi ESO e NOAO), spettropolarimetria (CFHT), fotometria ottica e infrarossa e spettroscopia a bassa risoluzione (SMARTS e altri piccoli telescopi).

PI: E. Flaccomio: OAPa, Istituti: OAPa, St. Andrews (UK), ESO, LAOG (Francia), Laboratoire Astrophysique de Toulouse (Francia), Stony Brook University (USA), Penn State University (USA)

Stato di completamento: 0%

Data di avvio: Giugno 2009 (data osservazioni)

Fenomeni di accrescimento in CTTSs: L'alta densità osservata in banda X in stelle CTTS può essere spiegata da materiale in accrescimento. Le proprietà fisiche degli shock dovuti a fenomeni di accrescimento in CTTSs sono studiati per mezzo di accurati modelli idrodinamici e magnetoidrodinamici, tenendo conto simultaneamente per la prima volta degli effetti della gravità, della conduzione termica, delle perdite radiative, e della dettagliata descrizione della cromosfera stellare. Il progetto si basa sull'uso dei codici numerici FLASH (sviluppato presso il FLASH Center dell'Università di Chicago) e PLUTO (sviluppato presso l'OATo) e si avverrà di significative risorse di calcolo ottenute nell'ambito dell'accordo INAF-CINECA su "High Performance Computing resources for Astronomy and Astrophysics" o disponibili grazie all'infrastruttura GRID del Consorzio COMETA. Allo studio modellistico si affianca l'analisi di dati nelle bande ottica, infrarossa ed X per lo studio delle proprietà fisiche degli shock di accrescimento.



PI: S. Orlando (OAPa), Istituti, OAPa, Univ. Palermo, Harvard- Smithsonian CfA

Data di avvio:

Stato di avanzamento: 30%

Fonte di Finanziamento EU FP6 (Phoenix), ASI, PON (Consorzio Cometa)

15. Jets stellari: la regione di lancio e di collimazione: Studi ad alta risoluzione spaziale e spettrale della regione alla base del jet con dati HST acquisiti e da acquisire con tempo assegnato, con dati GEMINI + ottiche adattive su tempo assegnato, e, a scale di pochi AU, con dati da acquisire con tempo assegnato su VLTI AMBER. Ci si propone di determinare in dettaglio le proprietà fisiche (densità, temperatura, flusso di massa) e cinematiche (rotazione, momento angolare) dei getti alla loro origine, cioè nella zona più importante da un punto di vista dinamico, allo scopo di chiarirne il ruolo nel processo di formazione. Analisi comparative di getti da sorgenti di massa diversa (Nane Brune, T Tauri, Herbig AeBe), tramite anche analisi di spettri HST/STIS nell'ottico e tecniche spettro-astrometriche, per testare l'universalità del meccanismo di formazione rispetto alla massa.

PI: F.Bacciotti (OAAr) Istituti: OAAr, DIAS-Dublin, TLS-Tautenburg, LAOG-Grenoble

Data di avvio: Settembre 2008

Stato di avanzamento: 20 %

Fonte di Finanziamento: EU, PRIN-INAF

2.5 Progetti importanti in difficoltà

Il progetto per lo sfruttamento dei dati GTO di X-Shooter: con i fondi attualmente a disposizione difficilmente potrà essere portato a compimento, è in corso una richiesta PRIN-INAF per finanziare parte del progetto.

Il numero di giovani esperti in spettroscopia ad alta risoluzione/abbondanze è ulteriormente cresciuto negli anni recenti, ma ancora si tratta di precari e/o persone che stanno all'estero. Questa difficoltà si accompagna alla mancanza di corsi universitari che possano formare nuovi giovani ricercatori nel settore

I programmi spaziali che richiedono analisi dati sono finanziati da ASI, ma in modo discontinuo. Il livello di finanziamenti è generalmente adeguato, ma la discontinuità crea una serie di difficoltà critiche fra l'attivazione di un contratto e la fine del precedente. Sarebbe molto importante potere garantire una continuità su tempi abbastanza lunghi da potere pianificare e perseguire i progetti in corso senza situazioni di emergenza.

2.6 Progetti per il futuro

E' certamente molto importante seguire lo sviluppo di progetti internazionali, come ALMA, SPICA, JWST, ELT, Gaia, Simbol-X e IXO, per favorire il possibile coinvolgimento della comunità italiana per la ricerca della formazione stellare nelle grandi strutture previste per il prossimo decennio. Alcune attività scientifiche sulla ricerca delle stelle giovani come quelle nell'ambito delle missioni per raggi X Simbol-X e IXO e per ALMA sono già iniziate e hanno dimostrato come queste missioni potranno aprire nuove finestre per lo studio della fisica delle stelle giovani. Per esempio, nell'attuale piano scientifico di Simbol-X, la formazione stellare è considerata il tema della "Observatory Science" in cui la missione potrà dare il maggiore contributo.

Molto rilevante è il contributo che GAIA darà allo studio delle stelle giovani. In questo campo la comunità italiana sta già aggregandosi con i ricercatori interessati alle stesse problematiche nel resto dell'Europa (proposta GREAT per ESF)

Di notevole interesse per la ricerca sulla formazione stellare sarebbe uno spettrografo ottico a grande campo. Infatti in questo contesto i ricercatori di OACt e OACn hanno espresso interesse per l'iniziativa del Dip. progetti per uno spettrografo a grande campo per un telescopio della classe di 8m.

La ricerca in Italia sulla formazione stellare è piuttosto recente ma ha raggiunto notevoli livelli. A questo stadio sarebbe auspicabile un rafforzamento della comunità per aumentarne la massa critica nella competizione con i gruppi esteri. L'organizzazione di meetings periodici che favoriscano la comunicazione con cadenza p.es. biennale potrebbe contribuire a questo processo.

2.7 Utilizzo di grandi infrastrutture nazionali e internazionali

Lo studio delle stelle giovani richiede osservazioni in tutte le bande di energia e utilizza sia strutture da terra che dallo spazio. Inoltre utilizza sia telescopi di dimensioni moderate per il monitoring fotometrico e per l'osservazione di stelle brillanti che i più grandi telescopi per le osservazioni delle stelle più deboli e delle nane brune. In particolare gli spettrografi multi oggetto sono particolarmente utili. Per questa ragione sono utilizzate estensivamente molte infrastrutture di varie dimensioni come il TNG, i vari telescopi presenti a ESO LA SILLA, il VLT (specificatamente per la spettroscopia, per es. FLAMES, VIMOS, FORS e X-Shooter), e il GranTeCan che comincia a essere disponibile alla comunità scientifica.

Analogamente sono usati estensivamente i telescopi spaziali dall'infrarosso ai raggi X (Spitzer, HST, Corot, Chandra, XMM/Newton). Ci si aspetta anche che Herschel darà un contributo significativo allo studio delle stelle giovani. Altri ricercatori, in particolare di INAF OACn e INAF OACt stanno valutando le modalità di partecipazione ai progetti di Herschel sulla formazione stellare.

Da notare che nel settore della formazione stellare, la comunità italiana ha un notevole tasso di successo nell'ottenere tempo ai telescopi più grandi e prestigiosi da terra e dallo spazio

Per le attività di modelling vengono usate le grandi strutture di calcolo disponibili alla comunità scientifica grazie all'accordo INAF – CINECA o alle infrastrutture GRID come quella disponibile al consorzio siciliano COMETA di cui l'INAF è socio. Per queste attività vengono usati codici idrodinamici e magnetoidrodinamici molto sofisticati come quello basato su FLASH (sviluppato dal FLASH center dell'Università di Chicago e a cui collabora OAPa) e PLUTO (sviluppato a OATo).

2.8 Tabella riassuntiva dei principali progetti e relative fonti di finanziamento

Sono elencati solo i progetti con PI italiano

Progetto	Scopo	Strum./Teles.	status	Istituto/PI(Co-I)	Risorse
From disk to planetary systems...	Evoluzione dei dischi in sistemi planetari	VARI	In corso	Testi (ESO, OAAr) IFSI, OAPd, OAPa, OACt	PRIN INAF 2007
From active accretion to debris disks	Relazioni proprietà stellari e dischi	VARI	In corso	Covino (OACn) OAAr, OAPa	
XShooter GTO-T Tauri	Survey spettroscopica di pre-main sequence di piccolo massa	VLT - XSHOOTER	Iniziale.	Alcalà (OACn) OAPa, OAAr, OACt	PRIN INAF (proposta)
Xshooter GTO-T Tauri nelle		VLT-XSHOOTER	Iniziale	Randich	PRIN

LMC	LMC			(OAAr) OACn	INAF (proposta)
Stellar rotation	Monitoring ottico e fotometrico in ammassi aperti	REM/Serra La Nave	In corso	Frasca (OACt) OACn	-
PHOENIX	Marie Curie ToK su stelle giovani	CINECA, FLASH, PLUTO, Chandra, XMM -	Avanzato	Orlando (OAPa)	EU- FP6
NGC 1893	IMF nella galassia esterna	Chandra/Spitzer(LP) /TNG/Calar Alto	in corso	Micela (OAPa) CfA, Caltech, Laeff, Pal. Univ.	ASI
Race-OC	Rotation in open clusters	Vari	In corso	Messina (OACt) Indian Inst., Villanova, Koream, Crete	-
Formazione stellare nell'intorno solare	Formazione stellare nell'ultimo miliardo di anni	Chandra, XMM, Rosat, Corot, vari spettrografi	In corso	Micela (OAPa) ESA, Univ. Complut	ASI, EU
DROXO	YSO in ρ Oph	XMM, VLT (LP)	Avanzato	Sciortino (OAPa) Univ. Palermo, LAOG, ESA, Strasbourg	ASI, PRIN INAF
Getti proto stellari in X	Origine dell'emissione Xin getti	CINECA, Chandra, HST	Avanzato	Bonito (OAPa) Univ. Palermo, ESA	ASI, EU
V2129 Oph	Ricostruzione in 3-D dell'atmosfera	Chandra, ESO, NOAO, CFHT	Da iniziare	Flaccomio (OAPa) St. Andrews, ESO, LAOG, Toulouse, Stony Brook, Penn State	
Accrescimento in CTTS	Proprietà fisiche degli shock in accrescimento	CINECA, COMETA FLASH- PLUTO, ESO, Chandra	Iniziato	Orlando (OAPa) Univ. Palermo, CfA	ASI, EU, PON
Jets stellari: la regione di lancio e di collimazione	Ruolo dei jets nella formazione stellare	HST, VLT- AMBER, VLT, GEMINI	Iniziato	Bacciotti (OAAr), OAAr, DIAS-Dublin, TLS- Tautenburg, LAOG- Grenoble	EU, PRIN



Variability & microvariability	Caratterizzazione della variabilità su vari tempi scala	COROT	In corso	Lanza (OACt) per una parte del progetto OAPa	ASI
-----------------------------------	--	-------	----------	---	-----



3. FASI PRINCIPALI DELL'EVOLUZIONE STELLARE DI STELLE SINGOLE E BINARIE.

Preparato da Oscar Straniero con la collaborazione di A. Chieffi, M. Limongi, L. Piersanti, E. Brocato, L. Girardi, G. Umana, R. Silvotti, A. Bonanno, I. Pagano, G. Clementini, M. Marconi

3.1 Background scientifico internazionale (ultimi 5 anni)

La richiesta di più sofisticati *strumenti teorici* che permettano di interpretare il numero sempre crescente di dati ottenuti con strumentazione da terra e da satellite si è fatta ancora più pressante negli ultimi anni a livello internazionale. Se fino ad una decina di anni fa l'evoluzione stellare teorica trovava il suo principale campo di applicazione nell'ambito della astronomia ottica e del vicino infrarosso, negli ultimi anni si è decisamente allargato il panorama spettrale di riferimento. Le stelle nelle fasi evolutive avanzate si trovano spesso nascoste all'interno di involucri circumstellari, prodotti dai loro stessi venti, il cui studio diventa possibile se si estendono le osservazioni a lunghezze d'onda superiori ai 5-10 micron (infrarosso medio e lontano, sub millimetrico e millimetrico). Allo stesso tempo, alcuni interessanti fenomeni transienti osservati nelle bande X e gamma, possono essere interpretati alla luce dei modelli evolutivi di sistemi binari interagenti, così come la recente scoperta di millisecond pulsar nella banda radio, appartenenti a popolazioni stellari vecchie, pone interessanti quesiti alle teorie evolutive dei progenitori di stelle di neutroni (stelle massicce in sistemi binari). Nel prossimo futuro lo sviluppo delle tecniche asterosismologiche da satellite (COROT, KEPLER, PLATO) e quelle astrometriche (GAIA) offriranno nuove opportunità di verifica della fisica degli interni stellari. L'investimento in nuove tecnologie e strumentazioni deve però andare di pari passo con lo sviluppo di più sofisticati strumenti interpretativi. Questo comporta miglioramenti nella conoscenza della fisica di base, dai processi nucleari di bassa energia ad una adeguata descrizione delle proprietà termodinamiche della materia stellare anche nelle fasi evolutive più estreme, e miglioramenti negli algoritmi numerici, come quelli necessari per risolvere in tempi ragionevoli grandi network di equazioni differenziali o sviluppare calcoli in più dimensioni, laddove le deviazioni dalla simmetria sferica lo richiedano, come nel caso della rotazione e dei fenomeni ad essa connessi.

Lo studio delle variabili pulsanti come traccianti delle proprietà delle popolazioni stellari, come calibratori primari della scala delle distanze astronomiche e come indicatori della struttura e dei meccanismi di formazione delle galassie, è un importante filone della ricerca astrofisica italiana in ambito stellare. La misura delle proprietà pulsazionali delle stelle variabili (periodi, ampiezze) consente di ricavare informazioni sui parametri stellari intrinseci (massa, luminosità, temperatura effettiva e composizione chimica) e sulle distanze. D'altro canto lo studio teorico della pulsazione stellare offre un importante complemento alla teoria dell'evoluzione stellare e, al tempo stesso, mediante la stima indipendente dei parametri evolutivi, consente di vincolarne le assunzioni fisiche e numeriche.

3.2 Ricerca in Italia (ultimi 5 anni)

La comunità scientifica nazionale vanta una consolidata tradizione nel settore della modellistica stellare e dell'evoluzione stellare teorica così come nelle applicazioni dei loro prodotti (isocrone, funzioni di luminosità, sintesi di popolazioni stellari, yields, relazioni massa iniziale-massa finale, etc.) in svariati campi dell'astrofisica moderna, dalle stelle ospitanti sistemi planetari alla cosmologia. Il livello di eccellenza raggiunto da qualche decennio in campo internazionale, attestato da uno straordinario rate di pubblicazioni e citazioni (si vedano a questo proposito i rapporti dei *visiting committee* che tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 hanno esaminato l'attività scientifica delle sedi INAF dove questa ricerca è maggiormente sviluppata), ha permesso avanzamenti significativi della conoscenza in questo settore specifico, in quelli collaterali (come la fisica nucleare di bassa energia) ed in quelli a cui i risultati si applicano. In questi ultimi anni la

modellistica stellare, che tradizionalmente in Italia era volta principalmente allo studio delle stelle di massa inferiore a circa le 10 masse solari e alle sole fasi di bruciamento di H ed He nelle stelle più massicce, si è ulteriormente ampliata includendo ormai anche il *calcolo delle fasi evolutive avanzate fino al momento del collasso del nucleo e lo studio dell'evoluzione idrodinamica dell'onda d'urto* (e quindi della relativa nucleosintesi esplosiva) durante il suo passaggio nell'involuppo durante la fase esplosiva. Questo tipo di calcoli, oltre alle proprietà evolutive classiche, consentono di predire non solo la composizione chimica del materiale espulso nel mezzo interstellare (cioè gli yields dei vari elementi e isotopi sintetizzati sia dalle combustioni idrostatiche che da quelle esplosive), ma anche la relazione tra la massa iniziale della stella e la massa del resto compatto (stella di neutroni o buco nero) prodotto dopo la sua esplosione come supernova (Fig. 4.1). Queste capacità hanno permesso alla nostra comunità di affrontare problemi di grande rilevanza che spaziano dal contributo delle stelle massicce all'evoluzione chimica della galassia e alla produzione di resti compatti di varia natura, dallo studio delle primissime generazioni stellari a quello delle righe di alta energia emesse oggi da elementi instabili quali ^{26}Al ed il ^{60}Fe (quest'ultima attività ha permesso che membri della nostra comunità partecipassero a progetti osservativi e strumentali per satelliti X e gamma nonché essere chiamati a far parte del TAC di INTEGRAL). E' infine importante sottolineare come le competenze della comunità stellare-teorica italiana siano assolutamente uniche in quanto consentono di affrontare in modo omogeneo qualunque aspetto dell'evoluzione di una stella.

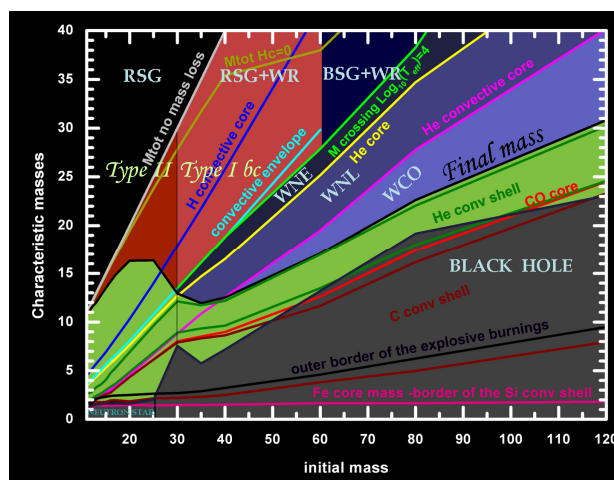


Figura 4.1. Relazione massa iniziale-massa finale (linea nera) per modelli stellari di massa compresa tra 10 e 120 $M_{\odot}$. Altre masse caratteristiche per le supernove di tipo core collapse sono riportate. (Chieffi et al. 2008)

Oltre alle stelle massicce, il calcolo dei modelli stellari di tutte le masse iniziali e in tutte le fasi evolutive avanzate e terminali è stato perfezionato negli ultimi 5 anni. Si ricordano, in particolare, i nuovi modelli *di pulsioni termiche nelle stelle di ramo asintotico (AGB) accoppiati a network nucleari estesi fino al Pb, sequenze di raffreddamento di nane bianche attraverso la cristallizzazione dei nuclei, evoluzione delle componenti di sistemi binari interagenti e progenitori delle supernove di tipo Ia* (Fig. 4.2). La capacità predittiva di questi modelli si è quindi estesa negli ultimi anni dalle pure proprietà fisiche delle stelle (come luminosità, colori, masse o età) alle loro proprietà chimiche, attraverso studi accurati della *nucleosintesi stellare*. In questo settore si registrano i maggiori risultati ottenuti negli ultimi anni, nell'ambito di 2 progetti PRIN MIUR (bando 2004 e 2006, PI M. Busso) che hanno permesso di fissare importanti punti fermi sulla conoscenza del *processo s* (catture lente di neutroni responsabili della produzione di elementi pesanti – oltre il Fe) e della *nucleosintesi idrostatica ed esplosiva delle stelle massicce* a diverse metallicità.

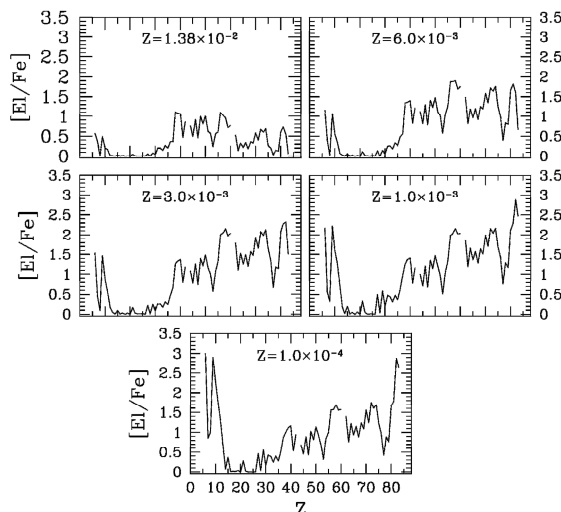


Figura 4.2. Composizione chimica finale di modelli di AGB di $2 M_{\odot}$ con diverse metallicità (Cristallo et al. 2008).

I classici studi volti alla produzione di estesi database di modelli stellari per lo studio delle popolazioni stellari risolte, hanno ricevuto negli ultimi anni un nuovo impulso legato alla scoperta di popolazioni multiple negli ammassi stellari della Galassia e delle Nubi di Magellano che hanno richiesto una estensioni dei modelli già esistenti, per includere, ad esempio, *isocrone caratterizzate da alti contenuti di elio*). Un campo che si è sviluppato negli ultimi anni è quello calcolo di *sequenze di raffreddamento delle nane bianche*, che pur non rappresentando un particolare problema dal punto di vista numerico, costituisce una sfida per le complessità della fisica fondamentale associata, in particolare, la termodinamica del plasma stellare ad alte densità e la descrizione delle transizioni di fase liquido-solido, i fenomeni di trasporto conduttivo della componente elettronica e degenerare, la convezione negli strati esterni. I modelli calcolati sono stati utilizzati per costruire isocrone e funzioni di luminosità per ammassi aperti e globulari. Parallelamente a questi studi teorici, ricordiamo anche quelli rivolti alla ricerca di nane bianche singole e in sistemi binari in ammassi aperti, basati sull'utilizzo di dati di archivio di GALEX, SDSS, 2MASS.

In crescita è la richiesta dei database di tracce evolutive estesi, omogenei e, ovviamente, accurati per le applicazioni alla *sintesi di popolazione* rivolti alla comprensione del contenuto stellare in galassie ad ogni redshift. Tra gli studi più interessanti, stimolati dalle applicazioni offerte dalla nuova strumentazione sia da terra che da satellite (IRAIT, ALMA, Spitzer, HERSCHEL), è lo sviluppo di accurati modelli descrittivi le *proprietà fotometriche e spettroscopiche delle fasi evolutive avanzate e relativamente rapide (AGB)*, il cui contributo spettrale diventa dominante soprattutto nelle bande infrarosse. Passi importanti sono stati fatti verso una miglior descrizione dei freddi stati atmosferici ricchi di carbonio, dove la radiazione è assorbita da diverse specie molecole oltre che atomiche (PRIN INAF - 2007 PI L. Girardi). Tra le applicazione emergenti della sintesi di popolazione richiedenti un rilevante contributo in termini di calcoli di tracce evolutive che in questi anni sono state sviluppate in ambito INAF vanno ricordate quelle relative alle *fluttuazioni di brillantezza superficiale (SBF)* degli ammassi stellari e delle galassie, utili sia come indicatori di distanza che come traccianti delle popolazioni stellari non risolte..

Lo studio sistematico e dettagliato dei *sistemi binari interagenti* gioca un ruolo fondamentale nella comprensione di importanti fenomeni esplosivi comunemente osservati in natura, quali *Nove e Supernove di tipo Ia*. Il processo di scambio di massa tra le componenti del sistema binario influenza la dinamica evolutiva di tali oggetti nonché le loro proprietà spettrofotometriche. Sia le Novae che le SNe Ia sono importanti contaminatori del mezzo interstellare e contribuiscono all'evoluzione chimica delle galassie. La comunità italiana ha partecipato attivamente allo studio dettagliato della risposta termica di WD in accrescimento di materia da una compagna in fase di post-MS, contribuendo alla definizione dei possibili out come in



funzione dei parametri del sistema binario (massa delle componenti, separazioni orbitali e rate di accrescimento), nell'ambito di diversi progetti finanziati (PRIN MIUR 2004 e 2006 –PI M. Busso, PRIN INAF 2007 – PI M. Orio). Nello studio dei progenitori delle SNe Ia, sono stati introdotti gli *effetti della rotazione nell'evoluzione post-merging di sistemi Doppi Degeneri* (ossia 2 nane bianche), giungendo alla formulazione di un nuovo scenario evolutivo. In particolare, questo nuovo scenario consente di spiegare gli eventi di SN Ia più brillanti, comunemente associati a progenitori più massicci della massa limite di Chandrasekar per le nane bianche non rotanti di CO (circa $1.4 M_{\odot}$). I sistemi binari interagenti sono anche comunemente associati a sequenze evolutive esotiche, come quelle delle *Blue Stragglers, delle R-star e delle millisecond pulsar negli ammassi globulari*. In questi campi la comunità osservativa e teorica italiana si è distinta per originalità e propositività in campo internazionale (PRIN INAF 2006, PI F. Ferraro).

Lo studio della fenomeni fisici che controllano la generazione e il trasporto dell'energia nelle stelle in diverse fasi dell'evoluzione è un settore nel quale già da qualche anno si registra una forte e prolifica collaborazione tra diversi gruppi nazionali ed esteri, un ponte tra le ricerche astrofisiche e quelle di fisica fondamentale. Tra gli obiettivi principali ci sono l'*astrofisica nucleare* che si occupa di misurare le sezioni d'urto nucleari di interesse astrofisico a basse energie, sia in superficie che underground, e gli sviluppi teorici e sperimentali del modello standard e non standard della fisica delle particelle elementari, disciplina nota come *astroparticle*. Questi lavori, dal carattere evidentemente interdisciplinare, coinvolgono diverse comunità appartenenti a paesi e organizzazioni scientifiche differenti. Importanti i risultati già ottenuti, riguardanti i processi di rilevanza per le sorgenti di energia stellare e l'evoluzione chimica. Tra i maggiori progetti e collaborazioni internazionali che vedono coinvolti ricercatori INAF ricordiamo LUNA (Laboratory for underground nuclear astrophysics) ed ERNA (European Recoil Separator for Nuclear Astrophysics). Di rilievo la partecipazione italiana al network europeo CARINA nell'ambito del VI programma quadro. Tra i risultati più importanti, ricordiamo la misura ottenuta dalla collaborazione LUNA della sezione d'urto della reazione $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$, il bottleneck del ciclo CNO di bruciamento dell'idrogeno, la cui importanza astrofisica si estende dalle stime di età degli ammassi globulari alla nucleosintesi delle stelle in fase di ramo asintotico.

Gli studi della *variabilità stellare* e le sue varie applicazioni costituiscono un altro campo dove la comunità italiana vanta una tradizione trentennale. Alle competenze osservative, testimoniate dall'ampio coinvolgimento in progetti nazionali ed internazionali, sia da terra che da satellite, si affiancano importanti competenze teoriche/interpretative. Ricercatori dell' INAF, in collaborazione con alcuni colleghi universitari, sono da più di un decennio impegnati nella costruzione di modelli non lineari di stelle pulsanti che includono un trattamento non locale e dipendente dal tempo del trasporto convettivo, al variare della massa stellare e della composizione chimica. Questi modelli sono in grado di riprodurre tutti gli osservabili della pulsazione stellare (periodi, ampiezze, morfologia delle curve di luce e velocità radiale, topologia della striscia di instabilità pulsazionale nel diagramma HR) e quindi offrono un'opportunità unica di vincolare le proprietà stellari e le distanze degli oggetti studiati mediante il confronto teoria-osservazioni. I principali obiettivi della ricerca in corso in Italia in questo ambito sono: (1) la stima dei parametri intrinseci stellari (massa, luminosità, temperatura effettiva e composizione chimica) di variabili pulsanti in particolare del tipo Cefeidi Classiche ed RR Lyrae, le quali sono tra i più importanti indicatori di distanza primari rispettivamente per la Pop I e la Pop II, e (2) la calibrazione delle relazioni fondamentali: periodo-luminosità, periodo-luminosità-colore, luminosità-metallicità, che consentono di utilizzare queste variabili come candele standard per la definizione della scala delle distanze extragalattiche. Il PRIN-INAF 2006 (From local to cosmological distances, P.I.: G. Clementini) è mirato allo studio degli *effetti sistematici che influenzano gli indicatori di distanza primari* e del loro impatto sulla calibrazione degli indicatori secondari, così come alla riconciliazione tra le scale delle distanze basate su indicatori di Pop.I e Pop.II. Tra gli obiettivi del progetto ricordiamo: i) la definizione delle magnitudini assolute di RR Lyrae sia di campo che di ammasso e della loro dipendenza dalla metallicità mediante il metodo del Baade-Wesselink e utilizzando relazioni PL nel vicino infrarosso; ii) la stima della distanza delle *variabili pulsanti osservate nelle galassie sferoidali nane*

recentemente scoperte dalla SDSS; iii) lo studio delle proprietà delle Cefeidi Classiche nell'ammasso stellare giovane NGC1866 appartenente alla LMC; iv) la stima della distanza e della struttura tridimensionale della Piccola Nube di Magellano (SMC) usando le relazioni PL e Wesenheit multibanda delle *Cefeidi Classiche* e le relazioni PL (nelle bande del vicino infrarosso) delle *RR Lyrae* osservate nel corpo principale della SMC e nel bridge verso la LMC, nell'ambito di un progetto per il tempo garantito di VST (P.I. V. Ripepi) e di una survey pubblica per VISTA (P.I. M.R. Cioni). Di rilievo lo studio volto alla definizione della relazione periodo-luminosità delle *variabili pulsanti di corto periodo, delta Scuti e SX Phoenixis*, basato su osservazioni negli ammassi e nei campi della nostra Galassia e nelle galassie esterne, con particolare riferimento all'alto numero di SX Phoenixis scoperto nella sferoidale nana Fornax. La costruzione di uno scenario teorico per le *Cefeidi Classiche molto povere di metalli, come quelle recentemente scoperte nella galassia blu compatta IZw18*, nel contesto di un progetto HST (GO program 10586; PI: A. Aloisi) dedicato alla stima della distanza e allo studio della formazione stellare di questa galassia (Fig. 4.3). Queste osservazioni hanno consentito di identificare le Cefeidi più povere di metalli mai scoperte fino ad oggi e di fornire una nuova stima della distanza e dell'età di IZw18, che contraddice l'idea che questa galassia possa essere l'analogo locale, di recente formazione, delle galassie primordiali.

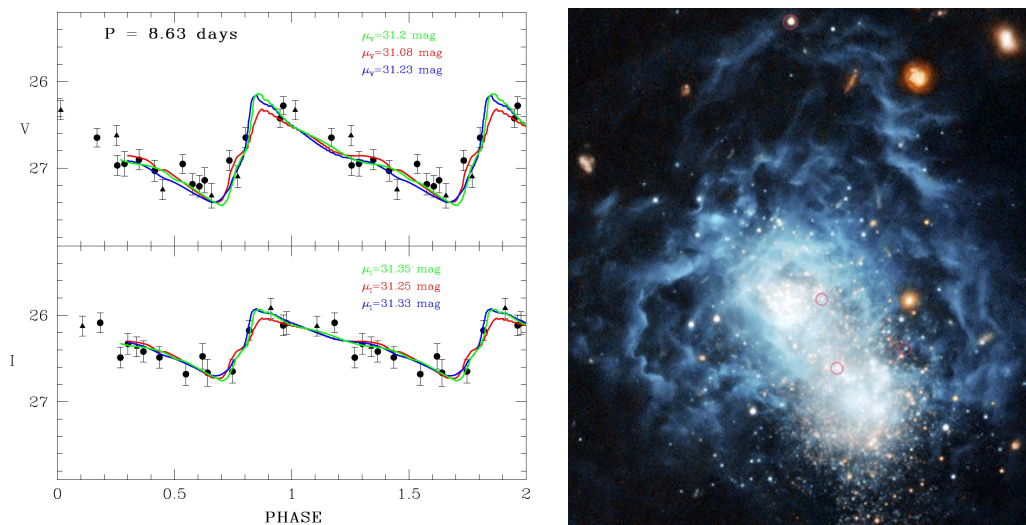


Figura 4.3. Destra: immagine in tricromia della galassia blu compatta IZw18 ottenuta con l'Advanced Camera for Surveys dell'HST. I cerchi rossi indicano le Cefeidi Classiche identificate e studiate (press release NASA/ESA/INAF, 16 Ottobre 2007). Sinistra: Fit teorico delle curve di luce V e I osservative (triangoli e cerchi pieni) di una Cefeide con periodo 8.63 giorni di IZw18. Le linee di diverso colore corrispondono a tre modelli teorici con parametri stellari diversi, che producono i tre moduli di distanza apparenti indicati nella figura.

Il calcolo e l'interpretazione di modelli pulsazionali per RR Lyrae con sovrabbondanza di elio, come quelle previste in ammassi globulari con popolazioni stellari multiple e il confronto tra le curve di luce teoriche (basate sui modelli pulsazionali) e quelle delle RR Lyrae

osservate in un campione di ammassi globulari peculiari, anche nel contesto di un progetto PRIN-MIUR 2007 ("Popolazioni Stellari Multiple In Ammassi Globulari: Censimento, Caratterizzazione e Origine" P.I. G. Piotto). La riproduzione con i modelli di pulsazione delle curve di luce e velocità radiale di Cefeidi Galattiche e della Grande Nube di Magellano al fine di vincolarne distanza, parametri fisici e composizione chimica e derivazione di correzioni teoriche per passare dalle curve di luce nella banda V alle curve di luce corrispondenti in altre bande fotometriche.

Di rilievo la partecipazione al data processing della missione astrometrica Gaia attraverso il management del pacchetto "Cepheids and RR Lyrae stars" nell'ambito del work-package "Gaia-Specific object studies"

dell'unità di coordinamento 7 sulla variabilità stellare con Gaia. Questo pacchetto ha il compito di verificare la classificazione e produrre i parametri specifici delle RR Lyrae e Cefeidi osservate e da inserire nel catalogo di Gaia.

L'esperienza maturata nel campo dell'astrofisica stellare in Italia non poteva non rivolgersi ai recenti sviluppi offerti dall'**asterosismologia**. Le oscillazioni stellari sono osservate in vari stadi evolutivi, consentendo di mappare tutto il diagramma HR con misure molto accurate di massa, composizione chimica, rotazione e rotazione differenziale, età, (e tutta una serie di parametri che governano la fisica degli interni stellari), ottenute dal confronto fra le frequenze di oscillazione osservate e quelle previste dai modelli teorici. L'asterosismologia sta attraversando una fase di grande crescita grazie alle missioni spaziali COROT e KEPLER e grazie anche alla straordinaria precisione raggiunta da Terra nelle misure di velocità radiali (Fig. 4.4). Fra lo studio delle pulsazioni stellari e la ricerca di pianeti extrasolari esiste una connessione sempre più stretta: da una parte le tecniche osservative sono simili, dall'altra l'asterosismologia permette una caratterizzazione molto precisa di alcune stelle che ospitano pianeti. CoRoT, in orbita da Dicembre 2006, ha appena iniziato a produrre i primi risultati sismologici, come **la misura degli effetti di granulazione e pulsazione in stelle più calde del Sole**: l'ampiezza delle pulsazioni osservate, inferiore del 25% circa ai valori teorici, testimonia la non adiabaticità dei processi che regolano le oscillazioni negli strati esterni. Sotto la diretta responsabilità italiana, le serie fotometriche di CoRoT sono affiancate da osservazioni spettroscopiche da terra, soprattutto mediante due consecutivi *Large Program* approvati da ESO per complessivi sette periodi. Questa combinazione di tecniche fotometriche e spettroscopiche permette una più sicura identificazione dei modi in stelle la cui pulsazione è mantenuta da effetti di opacità. Di particolare interesse per il confronto con i modelli sono le **variabili ibride** (ad esempio le Delta Scuti/ Gamma Doradus HD41195 o HD49434), cioè quei pulsatori che mostrano anche **modi g**, in grado di penetrare fino agli strati stellari più interni. Ricercatori INAF partecipano a numerosi *Additional Program* accettati, alcuni dei quali con PI italiano. Essi riguardano pulsazioni in variabili di pre-sequenza di massa intermedia (in particolare nell'ammasso Dolidze25), Delta Scuti, RR Lyrae e anche lo studio della binarietà (comprese le binarie con componente pulsante) e dell'attività stellare (cicli di attività simili a quelli solari sono stati misurati in CoRoT-Exo-2).

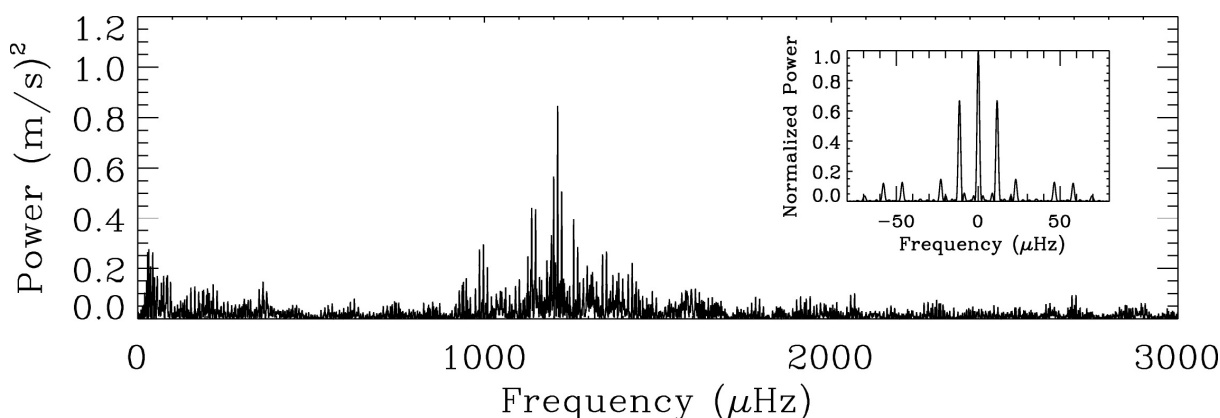


Figura 4.4. Spettro di potenza di μ Her, una stella di tipo spettrale G5 che mostra oscillazioni di tipo solare. Lo spettro è stato ottenuto con lo spettrografo SARG montato al telescopio Nazionale Galileo TNG (Bonanno et al. 2008).

Gli esperimenti asterosismologici hanno anche offerto nuove opportunità agli studi dei fenomeni di **attività magnetica** osservati nell'atmosfera del Sole e delle stelle di tipo spettrale avanzato, che sono il risultato dell'interazione della rotazione con il regime di convezione sub-superficiale all'interno di queste stelle. Lo studio dell'attività magnetica è rilevante ai fini della teoria dell'evoluzione stellare, degli interni stellari e dei sistemi binari interagenti, come nel caso delle variabili cataclismiche. Nel corso degli ultimi anni le ricerche svolte presso alcune sedi INAF (in particolare a Catania e Palermo) si sono concentrate sullo sviluppo di nuovi metodi di osservazione ed interpretazione che vengono ora applicati ai dati ottenuti con grandi telescopi

da terra (HST) e da satellite (COROT). Grazie a questi metodi, è stato possibile ricostruire mappe delle fotosfere di stelle evolute con elevato livello di attività, ottenendo informazioni sulla temperatura delle macchie, sulle disomogeneità presenti nelle loro cromosfere e corone nonché sul riscaldamento prodotto dai campi magnetici. Utilizzando sequenze di osservazioni ottiche estese per diversi decenni si sono ricavati i cicli di attività in diverse stelle, analoghi al ciclo solare undecennale. Dal punto di vista teorico, di rilievo è il contributo allo sviluppo dei modelli per lo studio della generazione e modulazione dei campi magnetici, delle loro instabilità e della loro interazione con il plasma, particolarmente nelle regioni cromosferiche e coronali. Inoltre, sono stati studiati alcuni aspetti peculiari relativi all'attività magnetica e alla dinamica nei sistemi binari stretti. Dal punto di vista strumentale, la comunità italiana che lavora in questo campo partecipa con ruolo non marginale ai programmi internazionali per la realizzazione della più moderna strumentazione nell'X (Symbol-X), ottico+NIR (XSHOOTER). Mentre dal punto di vista osservativo la comunità italiana trae vantaggio dall'integrazione di dati ottenuti con strumentazione molto diversa, che va dai satelliti X, alla spettro polarimetria ad altissima risoluzione, al VLBI.

3.3 Partecipazione Italiana a programmi nazionali e internazionali.

Nell'ultimo biennio l'astrofisica stellare ha ricevuto supporto dai programmi di interesse nazionale (PRIN) del MIUR e dell'INAF (si vedano le tabelle 1 e 2 per i dettagli). Sostegno è anche arrivato dall'agenzia spaziale italiana, in particolare, per i progetti legati all'analisi dati della missione GAIA e CoRoT, per gli studi della variabilità stellare e per gli studi teorici connessi alla sintesi di popolazione, nell'ambito dei contratti INAF-ASI COFIS I/016/07/0 ("Cosmologia" PI P. De Bernardis) e I/015/07/0 ("Esplorazione del sistema solare" PI A. Coradini). Di un certo rilievo la partecipazione della comunità di astrofisica stellare italiana ai network ARENA, HELAS, CARINA e OPTICOM, nell'ambito del VI programma quadro UE. Nel complesso, nell'ultimo biennio i progetti dedicati all'evoluzione stellare sia teorica che osservativa a prevalente partecipazione di ricercatori INAF hanno ottenuto finanziamenti per circa 1.5 milioni di euro. Vanno infine ricordati i progetti e le collaborazioni internazionali nel settore dell'astrofisica nucleare che vedono coinvolti alcuni ricercatori INAF, in particolare i già citati LUNA ed ERNA, finanziati in Italia da INFN.

Tabella 1: PRIN MIUR (ultimo biennio)

Bando	Titolo	PI	Sedi INAF coinvolte	Finanziamento (Keuro)
2006	Fasi finali dell'evoluzione stellare: nucleosintesi in supernove, AGB e nebulose planetarie	M. Busso Uni Perugia	OAPd, OATe, OATs, IASF	221
2007	Popolazioni Stellari multiple negli ammassi globulari: censimento, caratterizzazione e origine	G. Piotto Uni Padova	OAPd, OATe, OARm, OABo, OACn	321

Tabella 2: PRIN INAF (ultimo biennio)

Bando	Titolo	PI	Sedi INAF coinvolte	Finanziamento (Keuro)
2006	Probing the nature of blue straggler stars and binary milli-second pulsars: two key stellar populations to trace internal cluster dynamics	F. Ferraro Uni Bologna	OABo, OATe, OACa	85
2006	Asteroseismology: a necessary tool for the advancement in the study of stellar structure, dynamic and evolution	L. Paternò Uni Catania	OACt, OABr, OARm	75
2006	From local to cosmological distances	G. Clementini OABo	OABo, OATe, OARm, OACn	80
2007	The role of the fundamental parameters in the	M. Orio OAPd	OAPd	48

	evolution of interacting white dwarf binaries		?	
2007	Luminous Blue Variable Phenomenon: towards a better understanding of massive stars evolution	G. Umana OACt	OACt, IRA, IASF	25
2007	Resolved stellar populations in the near-,mid- and far-infrared	L. Girardi OAPd	OAPd	105

3.4Sviluppi e progetti per il prossimo triennio.

La possibilità di produrre modelli stellari teorici in un ampio spettro di masse e composizioni chimiche iniziali, a partire dalle prime fasi di contrazione in equilibrio idrostatico, seguendo tutte le fasi di combustione nucleare quiescente ed esplosiva, va ulteriormente consolidata nel prossimo triennio, considerando anche gli effetti indotti dalla rotazione, dai campi magnetici e, più in generale, da quei fenomeni secolari che su tempi scala lunghi possono produrre importanti modifiche delle proprietà fisiche e chimiche delle strutture stellari, e va continuato il lavoro di aggiornamento ogni qualvolta i progressi della fisica di base o della numerica lo richiedano. La competitività di un simile strumento teorico di ineguagliabile potenza interpretativa per le popolazioni stellari risolte e ad alto redshift può essere mantenuta solo grazie ad un continuo aggiornamento dei codici fisico-numerici. Per questo motivo risulta assolutamente strategico un maggior sostegno alle collaborazioni nazionali e internazionali volte alla determinazione accurata della fisica stellare, dall'astrofisica nucleare all'astroparticle.

L'attività dei gruppi nazionali che hanno raggiunto un livello di assoluta eccellenza in ambito internazionale nel produrre modelli di sintesi di popolazioni stellari semplici (ammassi aperti o globulari) o complesse (galassie) basati su accurate griglie di modelli stellari va decisamente sostenuta e meglio integrata con gli studi cosmologici connessi. In particolare, va perseguito lo sviluppo di quegli studi teorici necessari all'interpretazione delle osservazioni fotometriche e spettroscopiche di qualità impensabile solo fino a qualche anno fa, come, ad esempio, le osservazioni delle sequenze complete delle nane bianche negli ammassi globulari. Il confronto tra queste osservazioni e le curve di raffreddamento teoriche di nane bianche rappresenta un potente strumento per la datazione degli ammassi stellari e per la comprensione delle popolazioni stellari oggi estinte nell'alone galattico che va sicuramente esteso e perfezionato.

Le specifiche capacità fin qui accumulate nel calcolo sia delle fasi avanzate delle stelle massicce che nel calcolo del passaggio dell'onda d'urto prodotta dal collasso gravitazionale dovrebbero essere opportunamente incentivate: solo in questo modo sarà possibile proseguire sulla strada intrapresa includendo nella modellistica stellare sia effetti tridimensionali che lo studio delle varie instabilità dinamiche e secolari legate alla rotazione.

Non meno importante dovrà essere il sostegno agli studi di nucleosintesi stellare. La disponibilità di avere accurate previsioni teoriche relative alla composizione chimica del materiale espulso da stelle di masse differenti permetterà la comprensione dell'evoluzione chimica di svariati ambienti astrofisici, come, ad esempio, quelli estremamente poveri di metalli nell'alone o nelle galassie del gruppo locale (popolazione III), e gli ammassi globulari che presentano peculiari anomalie chimiche (popolazione II). Questi studi, in cui eccellono alcuni gruppi della comunità nazionale, rappresentano un test fondamentale per le previsioni teoriche sopra menzionate e una preziosa fonte di informazione sui processi di formazione e sull'evoluzione della Galassia.

Sviluppare ulteriormente i modelli delle componenti dei sistemi binari interagenti, raffinandone la trattazione della rotazione differenziale e gli effetti dei campi magnetici, consentirà un importante progresso nella conoscenza dei progenitori di Nove e Supernove di tipo Ia, nonché delle variabili cataclismiche.

Le fluttuazione di brillantezza superficiale (SBF) utilizzate come misuratori di distanza, forniscono risultati affidabili fino a circa 100 Mpc. Si suggerisce di sviluppare le estensioni teoriche e quelle applicative alle bande del vicino infrarosso. Anche per quanto riguarda la variabilità stellare nel triennio devono essere sviluppate più vaste applicazioni nell'infrarosso. Qui la relazione P-L ha una scarsa dipendenza dalla metallicità e diviene così uno strumento estremamente efficace. La teoria deve ampliare la modellistica, sia



per quanto riguarda le assunzioni sulle abbondanze chimiche e sui parametri evolutivi, sia per quanto riguarda il trattamento della convezione negli involucri pulsanti, completando il quadro delle masse pulsazionali e composizioni chimiche meno specificamente rivolte a parametri tipici delle popolazioni primarie della Galassia. Un campo di applicazione interessante è quello relativo alle variabili di lungo periodo, Mira in particolare. Sarebbe opportuno intraprendere accurate analisi teoriche ed osservative per questo tipo di variabili.

Nel prossimo triennio si potrà arrivare alla formulazione di uno scenario teorico pulsazionale per le variabili SX Phoenicis al variare della composizione chimica, per interpretare le proprietà osservate di questi pulsatori in ammassi globulari (anche quelli con evidenze di multi-popolazioni stellari) e vincolare lo scenario di formazione di queste variabili pulsanti. Imprescindibile sarà poi assicurare un adeguato sostegno ai gruppi impegnati nello sviluppo e nei test degli algoritmi e pacchetti software per la classificazione e la definizione dei parametri delle RR Lyrae e Cefeidi nell'ambito della missione Gaia.

Nel prossimo triennio si auspica la continuazione dello studio delle atmosfere stellari, con particolare enfasi al ruolo dei campi magnetici, e un adeguato sfruttamento della nuova generazione di spettrografi ad alta risoluzione nell'IR vicino (come CRIRES al VLT). Parallelamente devono essere estesi i codici numerici e le relative competenze di magneto-idrodinamica per il calcolo di modelli di atmosfera e trasporto radiativo. A fronte di una strumentazione da terra e da satellite, esistente o in corso di realizzazione, adeguata allo studio delle atmosfere stellari nelle bande IR, ottiche e nelle alte energie, si valuta negativamente la mancanza di strumentazione per lo studio della regione ultravioletta.

Altrettanto strategico sarà, nei prossimi anni, continuare ad assicurare competenza e competitività italiane in asterosismologia, sia attraverso l'analisi dei dati che ci perverranno da terra e dallo spazio, sia attraverso lo sviluppo degli strumenti necessari per l'interpretazioni dei dati. Il supporto ai gruppi di ricerca che intendono partecipare alle collaborazioni internazionali già attive o in fase di avvio deve essere assicurato.

La varietà, e al tempo stesso la complementarietà, delle varie competenze sin qui sviluppate è sicuramente un punto di forza della comunità stellare italiana. Benché esista una discreta interazione tra i gruppi teorici e quelli osservativi, si rileva l'opportunità di incrementare l'efficienza e la competitività a livello internazionale della nostra comunità attraverso una maggiore collaborazione in alcuni settori specifici. Nei prossimi anni, grazie ai risultati che ci aspettiamo debbano arrivare e dalla nuova strumentazione da terra e da satellite (in particolare HERSCHEL, GAIA e ALMA), lo studio teorico ed osservativo della stelle singole e appartenenti a sistemi binari riceverà un sicuro impulso. E' quindi necessario che anche i ricercatori italiani possano partecipare allo sfruttamento di queste opportunità, per garantire il mantenimento della leadership internazionale già acquisita in questo settore.



4. LA STORIA DELLA NOSTRA GALASSIA, DELLE GALASSIE VICINE E DEI LORO AMMASSI STELLARI

Preparato da Francesca Matteucci, con il contributo di G. Clementini, C. Cacciari, L. Origlia, F. Ferraro, M. Bellazzini, A. Bragaglia, G. Piotto, E. Held, L. Girardi, S. Zaggia, S. Ortolani, F. D'Antona, A. Renzini

4.1 Stato dell'arte a livello internazionale

La nostra Galassia e l'ampia varietà di galassie spirali e irregolari nane nel Gruppo Locale offrono due prospettive uniche e complementari per studiare i più comuni tipi di galassie nell'Universo locale e la loro evoluzione. L'arrivo sulla scena astronomica di HST (in particolare con ACS) e del VLT e dei telescopi della classe dei 10 metri ha originato progressi significativi sia nella fotometria che nella spettroscopia sia degli ammassi aperti e globulari Galattici, sia di stelle individuali e del mezzo interstellare (nebulose planetarie e regioni HII) nella nostra Galassia e nelle galassie del Gruppo Locale. Grazie a questi progressi, è ora possibile ottenere e combinare informazioni importanti per classi di oggetti rappresentativi di diverse fasi evolutive e ricostruire su basi osservative le storie di formazione stellare ed arricchimento chimico delle galassie.

Negli ultimi 3-5 anni una enorme mole di dati osservativi ha dunque consentito di ottenere le abbondanze chimiche da spettroscopia ad alta risoluzione di un grande numero di stelle nell'alone, disco spesso, disco sottile e Bulge della nostra Galassia e delle galassie sferoidali nane nonché di ottenere diagrammi colore-magnitudine di galassie del Gruppo Locale e di poter così derivare la loro storia di formazione stellare. Diagrammi H-R di ammassi globulari Galattici ad altissima definizione, ottenuti sia con HST che col VLT hanno rivoluzionato la nostra comprensione degli ammassi globulari, rivelandone una nuova complessità.

Il contributo degli astronomi italiani a questi lavori è stato molto importante, e diversi dei risultati più interessanti a livello mondiale sono stati ottenuti da gruppi con PI o addirittura interamente italiani.

In particolare, gli aspetti più importanti di queste ricerche si possono riassumere come segue:

i) Derivazione delle abbondanze di un grande numero di elementi chimici nelle stelle molto povere di metalli nell'alone galattico. Grazie ad UVES-VLT (Cayrel et al. 2004, A&A, 416, 1117; Spite et al. 2005, A&A, 430, 653; con alcuni co-autori italiani) si è stati in grado di misurare le abbondanze di stelle con metallicità nell'intervallo $-4.0 < [\text{Fe}/\text{H}] < -3.0$ dex. Questi dati sono andati ad aggiungersi a quelli già esistenti per le stelle con metallicità maggiori, ed hanno mostrato che la dispersione nei rapporti di abbondanze alle bassissime metallicità non è così grande come ci si aspettava, nell'ipotesi che le prime fasi dell'evoluzione dell'alone galattico fossero caratterizzate da una marcata disomogeneità (vedere anche Carretta et al. 2003, CITARE). Sono state trovate stelle di alone ultra-povere di metalli (Christlieb et al. 2004, ApJ, 603, 708) con rapporti di abbondanze diversi da quanto atteso e sono state suggerite diverse interpretazioni (dalle stelle di popolazione III alla contaminazione da parte di stelle compagne) benché nessuna sia del tutto soddisfacente. A questi dati si sono sommate le abbondanze derivate per le stelle del disco spesso, separate cinematicamente da quelle del disco sottile (ad esempio Bensby et al. 2004, A&A, 415, 155). Ciò ha consentito di poter verificare meglio le previsioni di modelli dettagliati di evoluzione chimica della Galassia (François et al. 2004, A&A, 421, 613; McWilliam et al. 2008, AJ, 136, 367). Grandi surveys come la SDSS hanno poi consentito lo studio di molte decine di migliaia di stelle di cui si è misurata la metallicità fotometricamente e la cinematica. Tali studi (Carollo et al. 2007, Nature, 450, 1020; Ivezić et al. 2008, ApJ, 684, 287) hanno indicato che nell'alone della Via Lattea esistono due componenti stellari diverse e sovrapposte, con diversa composizione chimica, distribuzione spaziale e cinematica (vedi anche Gratton et al. 2003).

ii) Derivazione di abbondanze, per mezzo di spettroscopia ad alta risoluzione, nelle stelle del Bulge galattico sia attraverso studi nell'ottico (Lecureur et al. 2007, A&A, 465, 799; Fullbright et al. 2006, ApJ, 636, 821; 2007, ApJ, 661, 1152) nella Baade Window che attraverso misure infrarosse (per esempio Rich et

al. 2007, ApJ, 665, L119). Questi dati hanno consentito di capire meglio la storia dell'arricchimento chimico del Bulge che suggerisce che questa componente Galattica sia tra le più vecchie e che si sia formata in tempi rapidi (Zoccali et al. 2006, A&A, 457, L1; Ballero et al. 2007, A&A, 467, 123).

iii) Misure di gradienti di abbondanza lungo il disco della Galassia attraverso misure di nebulose planetarie e di stelle O, B, Cefeidi e stelle in ammassi aperti (per esempio Daflon & Cunha, 2004, ApJ, 617, 1115; Carraro et al. 2007, A&A 476, 217; Yong et al., 2005, AJ, 130, 597; 2006, AJ, 131, 2256; Sestito et al. 2008, A&A, 488, 943). Questi dati sono andati ad aggiungersi a quelli delle regioni HII ed hanno confermato l'esistenza di gradienti negativi lungo il disco che si estendono a grandi distanze (22 kpc) anche se tendono ad appiattirsi nelle regioni più esterne. Tali gradienti sono stati misurati anche nelle spirali vicine (M31, M33, M101, Kennicutt et al., 2003, ApJ, 591, 801) e costituiscono un importante vincolo per verificare le previsioni dei modelli di evoluzione chimica. E' stato infatti dimostrato che il gradiente di abbondanza indica una formazione del disco da dentro a fuori (inside-out).

iv) Derivazione delle abbondanze in alta e bassa risoluzione delle stelle nelle galassie sferoidali nane del Gruppo Locale (Shetrone et al. 2003, AJ, 125, 684; Venn et al. 2004, AJ128, 1177, Koch et al. 2006, AJ, 131, 895). Questi dati sono relativi a stelle con metallicità non al di sotto di $[Fe/H] = -3.0$ dex, anche se molto recentemente misure di abbondanze a metallicità più basse sono state ottenute per nane ultra-deboli (Kirby et al. 2008, ApJ, 685, L43). I rapporti di abbondanze misurati in queste galassie hanno mostrato un comportamento diverso da quello delle stelle Galattiche (Fig. 5.1), indicando che le galassie sferoidali nane non possono essere state i mattoni con cui si è formata la nostra Galassia e che la loro storia di formazione stellare è stata molto diversa da quella della Via Lattea (la formazione stellare ha proceduto molto più lentamente). Un grande numero di lavori è stato dedicato a quest'argomento poiché consentirebbe di verificare la teoria cosmologica della formazione gerarchica delle galassie, secondo la quale la nostra Galassia, con l'eccezione del disco sottile, dovrebbe essere il risultato della fusione di sistemi stellari più piccoli quali le galassie sferoidali nane. Importante la derivazione dei diagrammi colore-magnitudine e conseguente derivazione delle storie di formazione stellare per le sferoidali nane e per le Nubi di Magellano (per esempio Rizzi et al. 2003, ApJ, 589, L85; Harris & Zaritsky, 2004, 604, 167; Chiosi et al. 2006, A&A, 452, 179; Noel et al. 2007, AJ, 133, 2037, Coleman & de Jong, 2008, ApJ, 685, 933).

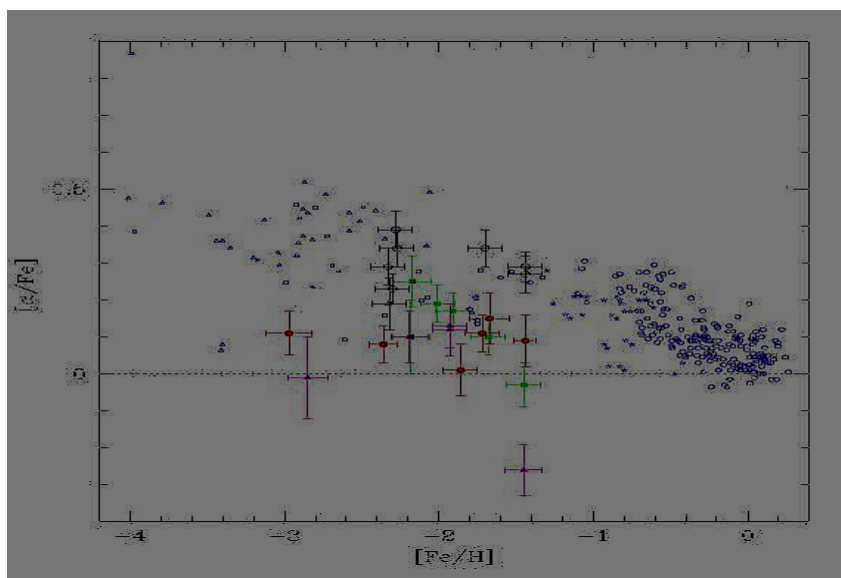


Figura 5.1. Rapporti tra elementi alfa e ferro nelle galassie sferoidali nane (punti con la barra d'errore) e nella Galassia (punti blu).
Figura da Shetrone et al. 2001, ApJ, 548, 592.

v) **La storia della formazione degli ammassi globulari** dallo studio delle popolazioni stellari. L'ultimo decennio, grazie al contributo decisivo dato dagli astronomi italiani, ha contribuito fortemente a chiarire che la formazione degli ammassi globulari deve essere stata molto diversa da quella finora considerata, e cioè un burst intenso di formazione stellare che dà origine a una popolazione stellare semplice, facilmente interpretabile con l'applicazione di tecniche di datazione ormai standardizzate dagli anni '70 del secolo scorso. Praticamente tutti gli ammassi globulari esaminati con cura dal punto di vista spettroscopico e/o fotometrico, mostrano al contrario più o meno evidenti peculiarità. Negli ultimissimi anni, si è giunti a concludere che gli ammassi globulari contengono almeno due diverse popolazioni stellari dal punto di vista chimico (vedi Gratton et al. 2004, ARA&A, 42, 385 per una review). Le caratteristiche di queste popolazioni si possono riassumere in questi punti schematici: in genere, tranne che nel caso di ω Cen, le due popolazioni differiscono nelle abbondanze degli elementi che vengono sintetizzati per catture protoniche (C, N, O, Na, Mg, Al), ma non negli elementi, come il Ferro, che vengono sintetizzati nelle supernovae. Alle variazioni di questi elementi, si associa almeno in alcuni casi, un evidente incremento dell'abbondanza di elio rispetto al valore primordiale dal quale dovrebbe essere nata la prima generazione. Ciò è ben evidenziato dalle sequenze principali multiple di alcuni ammassi, e dalla morfologia del ramo orizzontale, come risulta dalle recenti osservazioni e interpretazioni degli ultimi anni. Si è interpretato tutto ciò come la prova di due diverse popolazioni stellari che si differenziano chimicamente. La prima generazione di stelle dovrebbe liberare nel mezzo intramasso involucri che hanno subito il processo CNO. Queste stelle potrebbero essere sia stelle di AGB massicce che stelle rotanti molto massicce.

4.2 Ricerche svolte in Italia negli ultimi 3-5anni (highlights):

i) La formazione ed evoluzione della nostra Galassia.

Dallo studio delle abbondanze chimiche di vari elementi nella nostra Galassia si può risalire, in un approccio astroarcheologico, alla formazione ed evoluzione della Galassia. Vari gruppi in Italia si occupano di evoluzione chimica sia da un punto di vista osservativo che modellistico. Ricercatori italiani sono stati tra i **primi pionieri** della creazione di modelli raffinati di evoluzione chimica galattica, con un approccio rigoroso e multicomprendivo che li ha portati ad un indiscusso primato internazionale. I risultati ottenuti dai ricercatori italiani nello studio dell'evoluzione chimica della nostra Galassia e di galassie di tutti gli altri tipi morfologici sono stati e sono tuttora all'avanguardia e di fondamentale impatto.

Il primato italiano in questo filone di ricerca è anche merito dell'impegno e dell'attività di formazione di alcuni universitari associati all'INAF da anni leader nel settore, che portano giovani leve ad interessarsi e a lavorare su queste problematiche. **Dare sbocchi a queste giovani leve è da considerarsi di primaria importanza per il mantenimento dell'attuale livello di eccellenza.**

F. Matteucci (Università di Trieste) ha ottenuto un PRIN per 2007-2009 come PI nazionale per lo studio dell'evoluzione chimica della nostra Galassia e delle galassie del Gruppo Locale a cui partecipa una UdR INAF con ricercatori di Padova, Firenze e Trieste più una UdR universitaria di Bologna (vedi Tabella in seguito). In tale progetto si intende studiare in grande dettaglio la storia evolutiva della nostra Galassia e dei suoi satelliti, le galassie sferoidali nane, sia dal punto di vista delle abbondanze chimiche misurate che dal punto di vista della teoria. Per fare ciò si intendono confrontare dati di abbondanze chimiche con le previsioni di modelli sia chimici che dinamici di evoluzione galattica. Le abbondanze già misurate, in galassie sferoidali nane e nella nostra Galassia, mostrano andamenti diversi, eccetto alle basse metallicità. Risultati rilevanti sull'evoluzione chimica della Galassia sono stati pubblicati da Colavitti et al. (2008, A&A, 483, 401) su evoluzione chimica in ambito cosmologico, da Chiappini et al. (2006, A&A 449, L27) su l'evoluzione del C e N utilizzando yields stellari ottenuti da modelli di stelle massicce in rotazione e da Cescutti et al. (2006, A&A, 448, 557) sull'evoluzione degli elementi molto pesanti (r ed s) e sui loro gradienti lungo il disco (Cescutti et al. 2007, A&A, 462, 943). Importanti risultati si sono ottenuti anche per i modelli del Bulge

galattico (Ballero et al. 2007, A&A, 467, 123) che hanno suggerito per il Bulge una formazione rapida (non più di mezzo miliardo di anni) ed una funzione iniziale di massa più piatta che nel disco. Dal punto di vista osservativo varie surveys sia fotometriche che spettroscopiche sono in corso aventi per oggetto il bulge galattico. Spettroscopia ad alta dispersione di un numero senza precedenti di stelle in vari campi del bulge sono state condotte con il VLT dell'ESO, con importanti risultati riportati nei già citati lavori di Zoccali et al. (2006) e Lecureur et al. (2007) e in Zoccali et al. (2008, A&A, 486, 177) che includono contributi di OAPd. Spettroscopia ad alta risoluzione è stata pure condotta in infrarosso (con NIRSPEC al Keck e CRIRES al VLT) di un campione di ammassi stellari e di campi di bulge a diverse latitudini galattiche, anche fortemente oscurate dalle polveri (Rich, Origlia & Valenti 2007, ApJ 665 L119; Origlia, Valenti & Rich 2008, MNRAS 338, 1419; Origlia et al. 2008, ApJ 687, L79). Tutti tali studi spettroscopici sono poi accompagnati da fotometria profonda sia ottica con HST (Clarkson et al. 2008, ApJ, 684, 1110; Brown et al. 2008, ArXiv:0812.0023) che infrarossa (con SOFI a NTT e NACO e Hawk-I al VLT). Scopo di questi progetti nel prossimo triennio è una caratterizzazione sistematica delle popolazioni stellari del bulge galattico in termini di età, composizione chimica e cinematica. Tale studi avranno un'impatto cruciale nella ricostruzione della storia di formazione ed evoluzione del bulge Galattico. Sempre dal punto di vista osservativo, studi importanti sulla distribuzione di abbondanze nella nostra Galassia sono stati ottenuti da ricercatori italiani mediante derivazione omogenea di metallicità, età e distanze di un grande campione di ammassi aperti (programma "Bologna Open Cluster Chemical Evolution", vedi Bragaglia & Tosi 2006, AJ, 131, 1544; Tosi et al. 2007, MNRAS, 378, 730) e di abbondanze da ammassi aperti (Sestito et al. 2006, A&A, 458, 121; Bragaglia et al. 2008, A&A, 480, 79; Magrini et al. 2008, astro-ph/08120854).

Citiamo anche il progetto "Studio dei meccanismi di formazione ed evoluzione della Via Lattea con la survey Structure and Evolution of the Galaxy" (STREGA@VST, P.I. M. Marconi, Napoli) su tempo garantito VST. Questo progetto si propone di esplorare le interazioni tra l'alone della Galassia con sistemi stellari di varia massa e proprietà dinamiche, inclusa la parte meridionale di Fornax Stream, utilizzando variabili pulsanti e stelle di turn-off come traccianti delle popolazioni stellari.

Infine citiamo un importante lavoro di dinamica fatto da Momany, Zaggia, Gilmore et al. 2006, A&A, 451, 515 che suggerisce che non ci sia attualmente un accrescimento di galassia nana da parte del disco della nostra Galassia, come invece suggerito da altri recenti lavori. Questo risultato è stato ulteriormente confermato da Lopez-Corredoira et al. 2007, A&A, 472, L47.

ii) Confronto tra l'evoluzione della della Via Lattea e dei suoi satelliti.

La ricerca delle sottostrutture residue del processo di *merging* gerarchico, generalmente ritenuto uno dei meccanismi fondamentali del processo di formazione delle galassie, ha conosciuto una grande fioritura nell'ultimo decennio, sotto l'impulso di alcune scoperte fondamentali e della disponibilità di grandi survey di nuova generazione come 2MASS e SDSS.

Il caso più emblematico di una galassia nana osservata nel pieno corso della sua distruzione e progressivo inglobamento nella Via Lattea (galassia sferoidale nana del Sagittario, Ibata et al. 1994, Nature, 370, 174) è oggi stabilito oltre ogni ragionevole dubbio e suggerisce un esempio del possibile fenomeno di progressivo assemblaggio dell'alone stellare (Majewski et al. 2003, ApJ, 599, 1082) e del sistema di ammassi globulari della nostra Galassia (Bellazzini et al. 2003, AJ, 125, 188). La grande profondità, accuratezza e vastità di campo della SDSS hanno permesso di scoprire un'intera nuova classe di galassie nane con una componente barionica davvero esigua che potrebbero rappresentare i relitti delle primissime fasi dell'assemblaggio della Galassia (Belokurov et al. 2007, ApJ, 654, 897; Simon & Geha, 2007, ApJ, 670, 313).

In questo contesto un nucleo ristretto ma determinato di **ricercatori italiani, benché escluso dall'accesso privilegiato alla più rilevante fonte di dati per questo tipo di ricerca, ovvero SDSS**, è riuscito ad emergere a livello internazionale in questo settore in grande espansione, in particolare grazie alla capacità di far fruttare un vasto e ramificato know-how di astrofisica stellare e fotometria in campi affollati.

Fra gli sviluppi e contributi più rilevanti dei ricercatori INAF negli ultimi anni in questo campo, ricordiamo:

- 1) Lo studio a larga scala della popolazione stellare della galassia nana del Sagittario e della coda mareale ad essa associata, con il primo caso di confronto incrociato fra i tempi scala della formazione stellare e quelli della evoluzione dinamica (Bellazzini et al. 2006a, A&A, 446, L1; 2006b, A&A, 457, L21) e l'analisi dettagliata della cinematica della regione nucleare della galassia medesima (Bellazzini et al. 2008, AJ, 136, 1147; Fig. 5.2).
- 2) Il completamento, da parte dei ricercatori dell' OATo in collaborazione con lo *Space Telescope Science Institute* di Baltimora, del *Second Guide Star Catalog* (GSC-II), uno dei più grandi cataloghi astronomici moderni contenente posizioni, magnitudini fotografiche $B_J R_F I_N$ e classificazione di quasi un miliardo di stelle e galassie fino a $R_F=20.5$. Il lavoro per la costruzione di questo catalogo e le proprietà della versione GSC 2.3 (2006) sono descritti in un ampio articolo (Lasker et al. 2008, AJ, 136, 735).

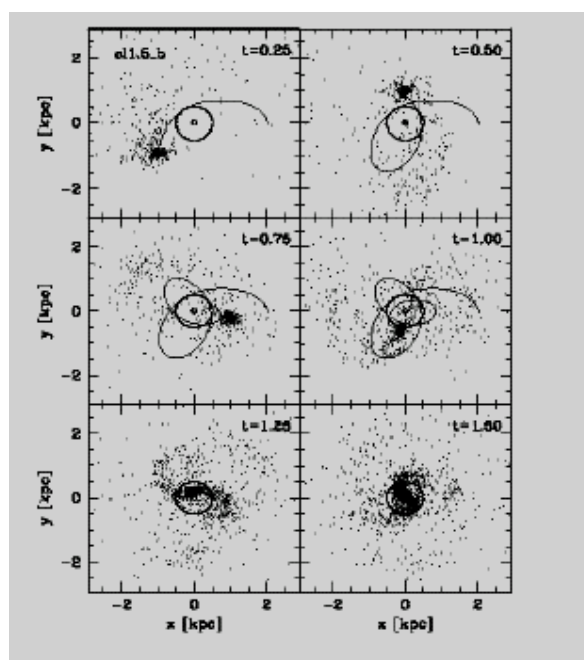


Figura 5.2. Evoluzione di un modello ad N-corpi che descrive il decadimento orbitale di M54 all'interno della galassia Sagittarius. Vengono mostrate solo particelle appartenenti ad M54. I cerchi concentrici sono centrati nel centro di Sgr ed hanno raggio di 60 pc e 500 pc, rispettivamente. Le linee sottili sono l'orbita dell'ammasso. Figura da Bellazzini et al. (2008, AJ, 136, 1147).

- 3) La pubblicazione della *Second Release* di RAVE (Zwitter, T., Siebert, A., Munari, U. et al. 2008, AJ 136, 421), una grande survey di velocità radiali frutto di un'importantissima collaborazione internazionale **all'interno della quale i ricercatori dell'OAPd svolgono un ruolo di primaria importanza** (Fig. 5.3). La nuova *Release* oltre alle velocità radiali, fornisce stime accurate di temperatura superficiale, gravità e metallicità per oltre 365000 stelle. RAVE apre una finestra formidabile sulle strutture locali dello spazio delle fasi Galattico. Risultati del massimo interesse sono stati recentemente pubblicati in Munari, et al. (2008, A&A 488, 969), Seabroke, G.M. et al. (2008, MNRAS 384, 11), Veltz et al. (2008, A&A 480, 753).

Questo settore di ricerca ha ottenuto un finanziamento PRIN-INAF per il biennio 2005-2007 (progetto: *A hierarchical merging tale told by stars: age, chemical composition and kinematics of structures and substructures of the Milky Way*, P.I. nazionale M. Bellazzini, con partecipazione di UdR degli OABo, OAPd, OATo, OATs; concluso) e per il biennio 2007-2009 (progetto: *The local route to galaxy formation. Tracing the relics of the hierarchical merging process in the Milky Way and in other nearby galaxies*. P.I. nazionale M. Bellazzini).

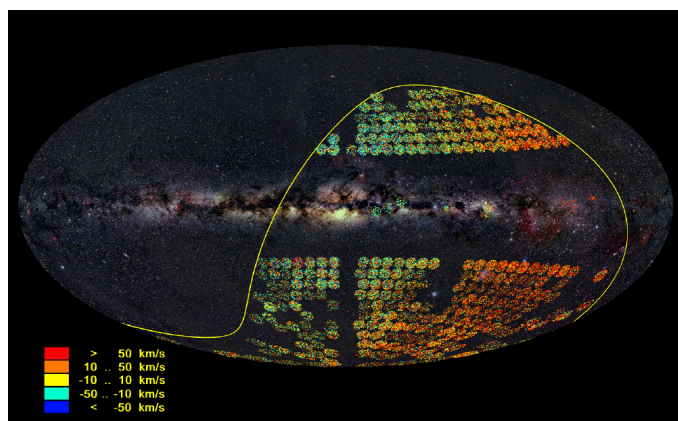


Figura 5.3. Mappa delle velocità radiali finora ottenute dal progetto RAVE (The Radial Velocity Experiment); questa survey misurerà le velocità radiali e la composizione chimica di più di un milione di stelle per il 2010.

4) Ricordiamo anche **lo studio delle stelle variabili e delle popolazioni stellari nei nuovi satelliti della Galassia scoperti da SDSS**. Questi nuovi satelliti, scoperti in numero via via crescente negli ultimi anni, sono importanti nell'ambito del modello gerarchico di formazione della Galassia. Osservazioni in modalità time-series sono state ottenute per più della metà delle nuove galassie della SDSS ottenendo diagrammi Colore-Magnitudine profondi fino al turn-off e identificando stelle variabili (Bologna e Napoli; Dall'Ora et al. 2006, ApJ 653, L109, Greco et al. 2008, ApJ 675, L73, Kuehn et al. 2008, ApJ 674, L81, Musella et al. 2009, ApJL, submitted).

La comunità italiana in questo settore di ricerca ha dimostrato di poter avere largo accesso alle migliori *facilities* osservative del mondo, grazie all'eccellenza delle proposte scientifiche e alla capacità di costruire e mantenere collaborazioni internazionali al massimo livello. **Sarebbe tuttavia di cruciale importanza (a) la favorevole negoziazione a livello nazionale della partecipazione INAF alle estensioni della SDSS (es. progetto APOGEE) o a progetti di analoga portata (LSST), (b) il continuo e pieno sostegno all'impegno italiano in GAIA.**

I ricercatori italiani vantano anche una **tradizione di eccellenza** di risultati e di metodologie innovative nello studio fotometrico, astrometrico e spettroscopico, delle popolazioni stellari risolte. Una delle applicazioni attualmente di maggior successo internazionale delle teorie di evoluzione stellare è la derivazione della storia della formazione stellare dalle caratteristiche evolutive e dai diagrammi colore-magnitudine di popolazioni stellari risolte. Negli ultimissimi anni, questi studi hanno consentito di capire che nell'Universo locale non esistono galassie che stiano formando ora le loro prime stelle, perché tutte contengono stelle vecchie, e che l'attività di formazione stellare differisce da una regione all'altra anche in galassie piccolissime. **Ricercatori italiani (operanti principalmente a Bologna e a Padova) sono stati i primi a proporre e a sviluppare i metodi numerici per la derivazione della storia di formazione stellare dai diagrammi colore-magnitudine delle popolazioni risolte**, che sono poi stati ripresi da un numero sempre crescente di gruppi stranieri. Si tratta di un filone di ricerca ad altissima competizione, in cui la qualità dei risultati non è sufficiente a garantire il primato internazionale, se non è affiancata da una rapida e cospicua produzione.

In anni recenti ci sono stati importanti contributi allo studio delle storie di formazione stellare in galassie irregolari nane locali quali IZw18, NGC1569, NGC1705, NGC4449 (ad esempio Aloisi et al. 2007, ApJ, 667, L151; Annibali et al. 2008, AJ, 135,1900) per mezzo di dati HST.

Un altro importante contributo italiano è stato dato nel campo dell'evoluzione chimica delle galassie sferoidali nane (Lanfranchi & Matteucci, 2004, MNRAS, 351,1338; Lanfranchi et al. 2008, A&A, 481,635): partendo dalle storie di formazione stellare derivate dai diagrammi magnitudine-colore si sono messi a punto modelli in grado di riprodurre i principali rapporti di abbondanze in queste galassie quali elementi-alfa/ferro



ed elementi s- ed r/ferro. Questi modelli, che hanno spiegato le differenze nei rapporti di abbondanze tra la Galassia e le nane sferoidali come dovute ad una più lenta formazione stellare in queste ultime, sono considerati i modelli di riferimento nella maggior parte degli studi osservativi.

Dal punto di vista delle osservazioni, si sono misurate (Held e collaboratori) le metallicità di 78 giganti rosse in Leo I dal tripletto del Ca II osservate con FORS2 al VLT (ESO). Questi studi sono attualmente in corso e fanno parte del progetto PRIN-MIUR 2007 P.I. nazionale F. Matteucci (*Galactic astroarchaeology: a local route to cosmology*). Le popolazioni stellari evolute delle galassie del Gruppo Locale sono oggetto di una survey nel vicino infrarosso in corso a Padova (e.g., Gullieuszik et al. 2008, MNRAS 388, 1185).

Ricercatori INAF di Padova sono coinvolti in ANGST (ACS Nearby Galaxy Survey Treasury), un proposal HST (PI Julianne Dalcanton, University of Washington, Seattle) il cui scopo principale è di misurare direttamente la storia di formazione stellare di un campione di galassie completo e limitato in volume tramite l'analisi fotometrica delle loro stelle risolte. Il campione comprende 69 galassie entro 4 Mpc e include galassie spirali, irregolari e nane sferoidali. Il progetto è unito ad un proposal di archivio (ANGRR, Archive of Nearby Galaxies: Reduce, Reuse, Recycle). ANGST/ANGRR ha finora fornito fotometria multi-colore e omogenea per più di 14 milioni di stelle in 69 galassie. E' stato confermato che le spirali massicce come M81 hanno formato la maggior parte delle loro stelle più di 7 miliardi di anni fa (Williams et al. 2009, AJ, 137, 419). Le analisi sono state realizzate utilizzando nuove tabelle di trasformazioni tra le quantità stellari teoriche ed osservate (Girardi et al. 2008, PASP, 120, 583).

Un altro progetto internazionale importante che vede il coinvolgimento di ricercatori italiani è "The VISTA survey of the Magellanic System" (L. Girardi e S. Rubele, Padova; G. Clementini, Bologna; V. Ripepi e M. Marconi, Napoli), con P.I. Maria Rosa Cioni, University of Hertfordshire (UK). Questo progetto è una delle 6 surveys approvate dall'ESO che saranno condotte con VIRCAM del nuovo telescopio VISTA, diametro 4 metri, al Cerro Paranal. La survey coprirà un'area di 184 gradi quadrati, che comprende tutta la regione dentro al limite di brillantezza superficiale D_{25} di entrambe le Nubi. Saranno utilizzate le bande Y, J e K_s . La profondità della survey, $K_s=20.3$ Mag per $S/N=10$, cioè 6 mag più profonda di 2MASS, è stata scelta in modo da poter raggiungere il turn-off delle stelle più vecchie nell'area campionata. Diverse epoche di osservazione forniranno inoltre le magnitudini medie delle stelle variabili.

Ricordiamo inoltre i progetti per lo studio delle stelle variabili pulsanti nel campo e negli ammassi globulari della Via Lattea, Fornax, Ursa Minor, SMC e LMC (Ripepi et al. 2007, ApJ 667, L61; Greco et al. 2007, AJ 670, 332; Poretti et al. 2008, AJ 685, 947) condotte da ricercatori di Bologna, Napoli, Padova e Merate, ed in particolare la survey STEP (P.I. V. Ripepi, Napoli). Questa survey, su tempo garantito VST, si propone di ricostruire la storia di formazione stellare della SMC e di studiare, per la prima volta, la struttura e la distribuzione spaziale delle popolazioni del "Bridge" verso la LMC utilizzando le variabili pulsanti come traccianti di popolazione e per ricostruire la struttura 3D della galassia."

iii) Ammassi globulari e aperti nella nostra Galassia e nelle galassie vicine.

Uno dei risultati più recenti e rivoluzionari nel campo dell'astrofisica stellare riguarda la scoperta delle popolazioni multiple in ammassi stellari. L'idea della presenza di popolazioni diverse in ammassi è stata presente in letteratura fin dalla fine degli anni '70, quando si è iniziato a capire che le stelle in ammasso, in particolare negli ammassi globulari, non hanno una composizione chimica omogenea. Varie interpretazioni sono state date, tra queste le più plausibili risultavano: i) una contaminazione del materiale da cui si sono formate le stelle che oggi osserviamo da parte delle stelle massicce che iniziano ad evolvere mentre le meno massicce non hanno completato il processo di formazione; ii) la presenza di due generazioni distinte di stelle, la seconda formata da materiale contaminato da materiale proveniente da SNe e/o da stelle AGB di massa intermedia. La seconda ipotesi divenne sempre più probabile man mano che si scoprivano (negli anni '90 dello scorso secolo) stelle sempre meno evolute (fino ad arrivare a stelle in sequenza principale) con forti anomalie di abbondanza derivanti dalla presenza di elementi che non possono essere prodotti nelle stelle che

attualmente vediamo negli ammassi globulari (si veda Gratton et al. 2004, ARA&A, 42, 385, per una rassegna). La questione è stata definitivamente risolta quando, grazie alla fotometria di alta precisione in ambienti affollati resa possibile in particolare dalla camera ACS su HST, si sono iniziate a scoprire sequenze principali (Bedin et al. 2004, ApJ, 605, L125, Piotto et al. 2007, ApJ, 661, L53: Fig. 5.4) e rami sub giganti (Villanova et al. 2007, ApJ, 663, 296, Milone et al 2008, ApJ, 673, 241; Fig 5.5) distinti nei diagrammi cm di uno stesso ammasso. Le proprietà fotometriche e spettroscopiche di alcune di queste sequenze possono essere interpretate solo assumendo che le corrispondenti stelle abbiano un contenuto di elio estremamente anomalo, fino a $Y=0.40$ (Piotto et al. 2005, ApJ, 621, 777, D'Antona et al. 2005, ApJ, 631, 868, Piotto et al. 2007), che implica che 40% della loro massa è in He. La presenza di anomalie chimiche, e in particolare la presenza di correlazioni definite, come l'anticorrelazione NaO in tutti gli ammassi finora studiati, fa sospettare che il fenomeno delle popolazioni multiple sia diffuso tra gli ammassi globulari (Fig. 5.6). Recentemente, un doppia popolazione è stata identificata anche in ammassi globulari di età intermedia nella Grande Nube di Magellano, dove il fenomeno sembra pure diffuso (Milone et al. 2008). Gli italiani, in particolare i gruppi dell'OAPd e OABo per quanto riguarda lo studio della chimica, il gruppo del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova per quanto riguarda gli studi fotometrici e i gruppi degli OABo, OAPd, OARm e OATe per quanto riguarda l'interpretazione dei fenomeni osservati (D'Antona et al. 2005, Cassisi et al. 2008 ApJ, 672, L115, Carretta et al. 2008, arXiv:0811.3591, D'Ercole et al. 2008, MNRAS, 391, 825, Renzini 2008, MNRAS, 391, 354) sono non solo in prima linea in questa ricerca, ma sostanzialmente quelli che hanno aperto questo filone che in pochi anni ha portato a dover rivedere il concetto stesso di ammasso globulare. Se da una parte lo scenario emergente è molto interessante, esso è comunque ben lontano dall'essere compreso: punti cruciali quali la diffusione delle generazioni stellari multiple, il collegamento tra le popolazioni di ammasso e di campo, la natura degli inquinanti che danno origine alle peculiari abbondanze viste nelle stelle di ammasso e i loro effetti sull'evoluzione stellare e dinamica degli ammassi sono ancora poco investigati. E' facilmente prevedibile che nei prossimi anni questo settore di ricerca avrà notevoli sviluppi, sia a livello osservativo che teorico e che i gruppi italiani saranno assolutamente in prima linea, a livello internazionale nel coordinare gli sforzi verso la comprensione delle popolazioni stellari in ammasso.

E' importante ricordare che i risultati di questo progetto oltre allo studio degli ammassi globulari avranno un impatto anche sulla conoscenza dell'alone Galattico, sulla capacità di datare gli ammassi globulari e sull'abilità nell'interpretare le popolazioni stellari in galassie distanti non risolte.

Questo importante progetto sullo studio delle popolazioni stellari negli ammassi globulari ha ottenuto finanziamento PRIN-MIUR 2007-2009 , P.I. G. Piotto (Padova) (vedi Tabella di seguito).

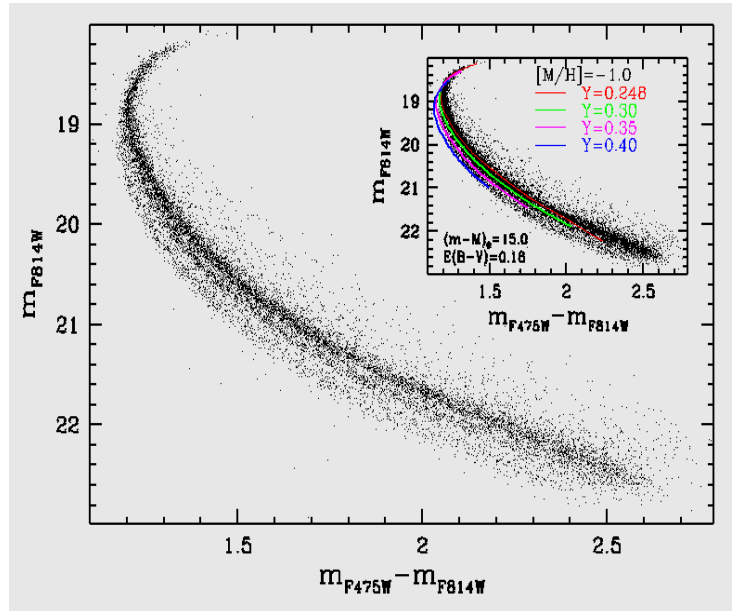


Figura 5.4. La spettacolare tripla sequenza principale nell'ammasso globulare NGC 2808. La sequenza più blu può essere riprodotta solo assumendo che le stelle che la popolano abbiano ~40% della loro massa fatto di He ($Y=0.40$) (da Piotto et al. 2007).

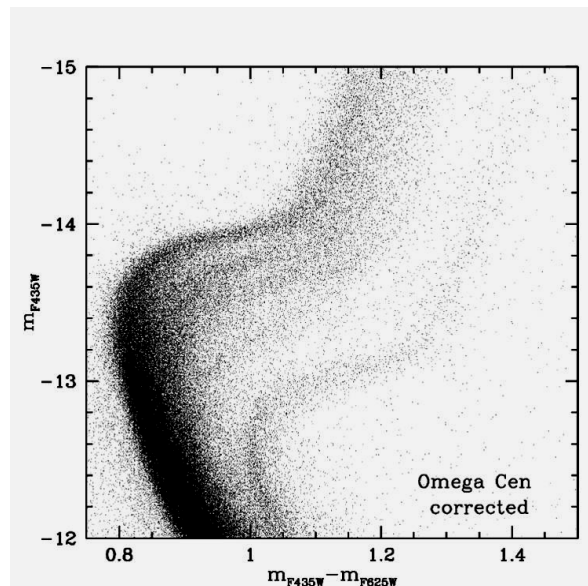


Figura 5.5. Diagramma Colore-Magnitudine di ω Cen. Si vedono chiaramente diversi rami sub-gigante, indicativi di diverse popolazioni stellari all'interno dell'ammasso. Da Villanova et al. 2007 (ApJ 663, 296).

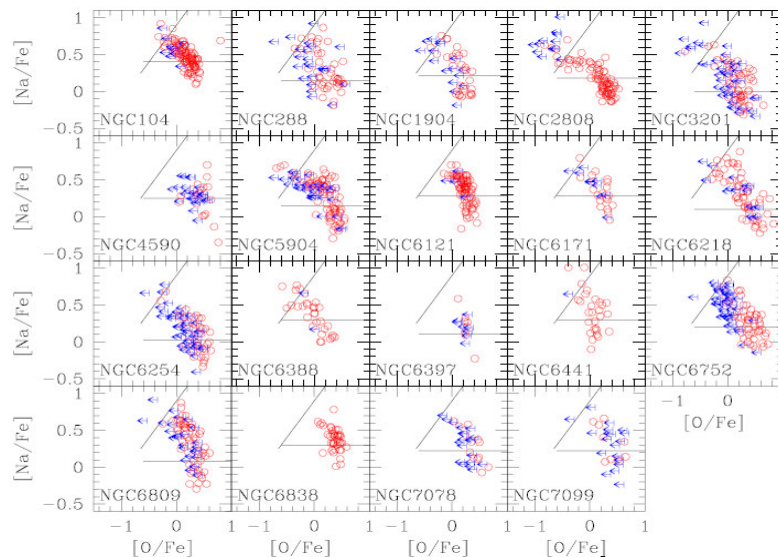


Figura 5.6. L'anticorrelazione sodio-ossigeno è stata trovata in tutti gli ammassi dove è stata cercata. Questa anticorrelazione implica che le stelle attualmente visibili negli ammassi globulari contengono materiale che deve provenire da una generazione precedente di stelle più massicce (da Carretta et al. 2008)

Da un punto di vista osservativo è bene ricordare il lavoro di S. Ortolani e collaboratori sugli **ammassi globulari del bulge galattico**. Le ricerche sono condotte nell'ambito di collaborazioni internazionali. In particolare con B. Barbuy, E. Bica (Brasile), V. Hill (Francia), M. Zoccali (Cile). Particolare attenzione viene posta sulle abbondanze chimiche di elementi singoli nelle stelle di ammassi poveri di metalli situati nella direzione del bulge galattico e contemporaneamente sulla scoperta di nuovi ammassi globulari nelle regioni di bassa latitudine galattica, dove notoriamente c'è una carenza di detti oggetti per migliorare la statistica. Non è chiara l'origine di detti ammassi che si trovano assieme a stelle di campo con metallicità di circa un fattore 10 più elevata. Potrebbero essere ammassi provenienti dall'esterno (alcuni esempi associati con gli streams sono già noti, ma con metallicità intermedie) oppure potrebbero essere i più vecchi campioni formati nella nostra galassia prima del rapido arricchimento chimico del bulge. La sovrabbondanza di elementi alfa, tipica di arricchimento da SNeII, trovata in NGC 6558 e HP1, tenderebbe a suggerire un'età avanzata. Ulteriori analisi sono programmate con il VLT. Per quanto riguarda la scoperta di nuovi ammassi, sono stati identificati diversi ammassi nuovi, oggetto di corrente analisi dettagliata. Alcuni risultano essere effettivamente ammassi poveri di metalli nel bulge, altri semplicemente ammassi globulari molto vicini al sole, altri ammassi di età intermedia probabilmente catturati da galassie nane. Si intende proseguire questo lavoro sulla base di dati recentemente ottenuti con NTT e TNG.

Anche lo studio di **popolazioni stellari esotiche in ammassi globulari galattici** è un filone di ricerca italiano. Le regioni centrali di ammassi stellari ad elevata densità sono ambienti ideali per la formazione di oggetti esotici quali le binarie interagenti, le millisecond pulsars in sistemi binari e le Blue Stragglers (Ferraro et al. 2003, ApJ 588, 464; Lanzoni et al. 2007, ApJ 670, 1065; D'Alessandro et al. 2008, ApJ 677, 1069). Si ritiene che questo tipo di oggetti derivino dall'evoluzione di sistemi binari originati e/o resi più stretti da interazioni stellari. E' in corso una survey fotometrica di queste popolazioni esotiche in un ampio campione di ammassi globulari Galattici, sia in ottico (con HST e dati a grande campo da terra con LBT e il WFI dell'ESO) che in



ultravioletto (con HST e Galex). Un tale database fotometrico, che include sia osservazioni ad alta risoluzione spaziale per risolvere il *core* degli ammassi, che a grande campo per coprire le regioni più esterne, permette di costruire diagrammi colore-magnitudine e funzioni di luminosità su tutta l'estensione dell'ammasso, e quindi studiare accuratamente la distribuzione radiale di tali popolazioni. Inoltre sono in corso anche osservazioni spettroscopiche multi-oggetto ad alta risoluzione (con FLAMES al VLT) che permettono di evidenziare possibili anomalie chimiche sulla superficie di tali stelle (Ferraro et al. 2006, ApJ 647, L53), probabilmente dovute ai processi di trasferimento di massa in sistemi binari.

Nei prossimi tre anni si aspettano risultati di grande rilievo in questo settore: in particolare la campagna osservativa in corso permetterà di verificare l'universalità della distribuzione radiale (bimodale) delle BSS in sistemi stellari con differenti parametri strutturali. Specifiche simulazioni dinamiche permetteranno inoltre di interpretare tali distribuzioni peculiari in funzione del grado di evoluzione dinamica di ciascun sistema.

Gli ammassi globulari vengono anche usati per calibrare la legge di perdita di massa, in particolare gli ammassi globulari di diversa metallicità e morfologia del Braccio Orizzontale. Si sono utilizzati dati ISO (Origlia et al. 2002, ApJ 571, 458), e sono state ottenute 60 ore di osservazione col telescopio Spitzer per acquisire immagini profonde nel medio IR di un campione di 17 ammassi globulari galattici (Origlia et al. 2007, ApJ 667, L85) e 10 ammassi nelle Nubi di Magellano.

Riguardo agli ammassi globulari in galassie vicine, è in corso uno studio sistematico delle proprietà fotometriche e della composizione chimica dettagliata delle popolazioni stellari degli ammassi globulari (e dei campi adiacenti) delle Nubi di Magellano. L'approccio osservativo è articolato: osservazioni fotometriche nel vicino IR (con SOFI a NTT) permettono di studiare in dettaglio le proprietà delle popolazioni evolute di RGB e AGB (e.g. Mucciarelli et al. 2006, ApJ 646, 939), osservazioni HST di stimare accuratamente l'età dalla misura del Turnoff (Mucciarelli, Origlia & Ferraro 2007, AJ 134, 1813) e la spettroscopia ad alta risoluzione di ottenere le abbondanze chimiche dettagliate (Ferraro et al. 2006, ApJ 645, L33; Mucciarelli et al. 2008, AJ 136, 375). Lo scopo di questo progetto è molteplice ed è l'oggetto dell'attività del prossimo triennio. Da una parte si vuole calibrare una nuova e più accurata scala di età e metallicità per questo sistema di ammassi globulari, basata su osservazioni ad alta risoluzione e modelli di ultima generazione; dall'altra si vuole utilizzare queste popolazioni stellari sia come traccianti della storia di formazione stellare ed evoluzione chimica delle Nubi stesse, sia come *templates* per lo studio delle galassie lontane.

Alcuni ricercatori italiani (Bologna) sono particolarmente attivi e competitivi nello studio degli ammassi globulari della galassia di Andromeda (M31), sia attraverso l'analisi del diagramma Colore-Magnitudine e delle proprietà delle stelle variabili ottenute tramite HST che attraverso lo studio delle proprietà integrate." Tra le problematiche degli ammassi globulari di M31 ricordiamo: i) la determinazione dell'età (sono stati trovati ammassi giovani con età < 2 miliardi di anni), ii) l'esistenza o meno di ammassi di età intermedia, iii) l'uso degli ammassi globulari come traccianti delle popolazioni del bulge e dell'alone di M31, iv) la compilazione di un catalogo completo ed esauriente dei candidati ammassi globulari e delle loro caratteristiche. Sono in corso anche studi di sistemi di ammassi globulari in altre galassie, quali NGC253 in Sculptor. **Per questo tipo di studio risultano essenziali survey fotometriche multibanda e spettroscopia multi oggetto.**

Infine, riguardo agli **ammassi aperti**, oltre quanto già detto ricordiamo altri studi italiani che coinvolgono vari ricercatori (Padova, Bologna, Firenze): i) determinazione della funzione iniziale di massa, con particolare riferimento alle stelle di massa piccola ed intermedia, ii) derivazione dell'età



e/o dispersione di età degli ammassi aperti giovani con l'intento di capire la durata del processo di formazione stellare, iii) determinazione dell'età di ammassi vecchi, in particolare l'analisi di sequenze di raffreddamento delle nane bianche, iv) caratterizzazione ed identificazione di stelle binarie, v) misure di moti propri ed orbite di ammassi aperti, vi) ricerca di ammassi aperti vecchi (1-5 miliardi di anni): lo studio si basa su un'analisi durata diversi anni di identificazione di candidati dalle survey 2MASS e ottiche.

4.3 Progetti italiani in atto già finanziati

Progetto	P.I. Nazionale	Titolo	Udr e P.I. locali
PRIN-MIUR 2007-2009	F. Matteucci	Galactic Astroarchaeology: a local route to Cosmology	Trieste (F.Matteucci) Bologna(F.Brighenti) INAF(E. V.Held)
PRIN-MIUR2007-2009	G. Piotto	Popolazioni Stellari Multiple in Ammassi Globulari: Censimento, Caratterizzazione e Origine	Padova (G. Piotto) INAF(R. Gratton) Roma (R.Buonanno) Pisa(S.Degl'Innocenti)
PRIN-INAF 2007-2009	M. Bellazzini	The local route to galaxy formation. Tracing the relics of the hierarchical merging process in the Milky Way and in other nearby galaxies	Bologna(M.Bellazzini) Padova(U. Munari), Torino(A.Spagna) Teramo(S. Cassisi), Roma(L. Pulone) Trieste (C. Morossi)
PRIN-INAF 2007-2009	L. Girardi	Resolved Stellar Populations in the near-mid- and far-infrared	Padova (L. Girardi)
ASI-COFIS 2007	L. Girardi	Exploring ANGST data:toward a direct determination of the star formation history in the nearby Universe	Padova (L. Girardi)
ASI-COFIS 2007	M. Tosi	Stellar populations, star formation history and evolution of galaxies resolved with HST	Bologna (M.Tosi) Napoli (M.Marconi)
ASI-COFIS 2007	E.V. Held	Evoluzione delle galassie nane nell'universo vicino	Padova (E.V. Held)
ASI-COFIS 2007	A. Renzini	Understanding galaxy	Padova (A. Renzini)



		formation from local and high redshifts observations	
--	--	--	--

4.4 Collaborazioni internazionali con partecipazione italiana

Nome Progetto	Tipo di Progetto	Italiani coinvolti
VISTA	ESO Survey per studiare le Nubi di Magellano.	OAPd, Un. Padova, OABo, OACn, P.I. Maria Rosa Cioni (UK)
STEP	Survey su tempo garantito al VST. Progetto: "The SMC in time: evolution of a prototype interacting dwarf galaxy"	OACn
STREGA	Survey su tempo garantito al VST. Progetto: "Structure and Evolution of the Galaxy".	OACn
ANGST/ANGRR	Survey Treasury, HST, per misurare le storie di formazione stellare di 69 galassie entro 4 Mpc.	OAPd, Un. Padova, P.I. J. Dalcanton (USA)
GAIA	Survey. Fornirà astrometria e spettrofotometria di 1 miliardo di oggetti, e velocità radiali di un sottoinsieme. Lancio previsto per fine 2011.	OATo, OABo, OARm, OACn, OATe, OAPd, OACt
TRILEGAL	Codice numerico in linguaggio C per la simulazione di popolazioni stellari risolte. E' stato concepito per aiutare nella preparazione e analisi dati di grandi surveys pubbliche.	OAPd Altri Istituti: Royal Observatory of Belgium; Observatorio Nacional,UFSC,UFRG (Brazil); Johns Hopkins Univ. (USA)
RAVE	Survey. Misura le velocità radiali, temperatura, gravità superficiali e composizione chimica di più di un milione di stelle	OAPd

4.5 Utilizzazione delle grandi strutture nazionali ed internazionali

- Telescopi ottici da terra/classe 8-10 metri (VLT, Keck, Gemini, LBT) (spettroscopia ad alta risoluzione in popolazioni stellari risolte, surveys fotometriche multibanda e spettroscopia multi-oggetto)
- Telescopi ottici da terra di classe inferiore agli 8 metri (TNG, ESO 2.2m, ESO-NTT, CFHT, VISTA, Magellan, SOAR, WHT) (studio degli ammassi stellari e stelle di campo nella nostra Galassia e nelle galassie vicine)



- Telescopi spaziali (Chandra, XMM, HST, Spitzer, GALEX) (evoluzione galattica, storia della formazione stellare, binarie, stelle variabili di ammasso)
- Telescopio VST (ESO) (studio di stelle variabili e di turn-off per caratterizzare le popolazioni stellari)

5. PIANETI EXTRASOLARI

Preparato da Giusi Micela con il contributo di J. Alcalà, S. Desidera, L. Girardi, R. Gratton, M. Lattanzi, I. Pagano, R. Silvotti

5.1 Quadro di riferimento generale

La ricerca dei pianeti extrasolari è una delle aree dell'astrofisica che ha ricevuto il maggiore impulso negli ultimi anni grazie all'uso di tecniche di osservazione, riduzione ed analisi dati sempre più sofisticate. Dato l'ovvio interesse scientifico dell'argomento e dell'impatto sul grande pubblico, il campo è in continuo sviluppo e si stanno pianificando nuovi strumenti sempre più potenti.

A fine 2008 sono stati scoperti più di 330 pianeti extrasolari (vedi Fig. 6.1) e nuove scoperte si susseguono continuamente. La maggior parte dei pianeti scoperti sino ad ora sono di tipo gioviano con piccole distanze orbitali, a causa della maggiore facilità con cui questi pianeti possono essere rivelati con le tecniche di velocità radiale (Fig. 6.2). Recentemente comunque è stato possibile rivelare un certo numero di pianeti di massa nettuniana fino alle cosiddette super-Terre, attorno a stelle di piccola massa per le quali il contrasto di massa stella-pianeta è più favorevole, e le caratteristiche dello spettro della stella permettono misure più precise.

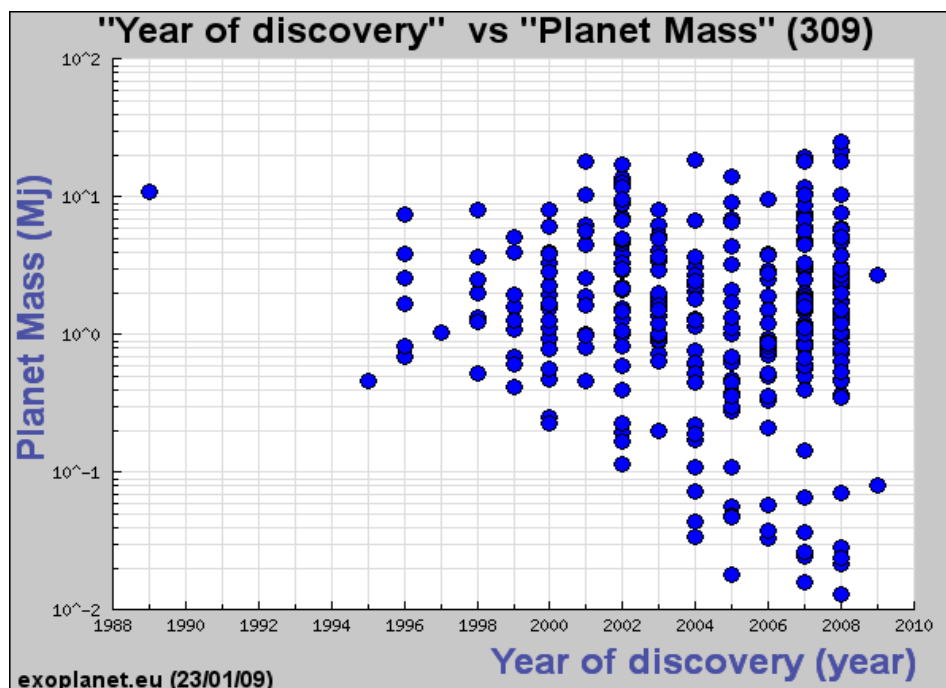


Figura 6.1. Massa del pianeta in funzione dell'anno di scoperta. Si nota il progressivo miglioramento nella capacità di rivelare pianeti via via meno massicci.

Le tecniche di rivelazione si sono estese e, oltre al metodo delle velocità radiali, fondamentale per la determinazione dei periodi e delle masse, molti nuovi pianeti vengono ora scoperti con il metodo dei transiti che permette di ricavare i raggi oltre i periodi orbitali. Recentemente alcuni pianeti sono stati scoperti anche con tecniche di imaging diretto e con il metodo del timing. Altri metodi

includono le lenti gravitazionali, tecnica molto efficiente, ma che dà poche informazioni sulle proprietà fisiche dei pianeti.

Oltre alle survey da Terra sono molto importanti le missioni spaziali, che grazie alla loro stabilità fotometrica, permettono la rivelazione di transiti di pianeti di piccole dimensioni. Attualmente l'unica missione di questo tipo in orbita è CoRoT ma il lancio della missione NASA Kepler (che potrebbe osservare il transito di pianeti terrestri) è previsto per il 6 marzo 2009. Altre missioni simili sono in fase di progetto.

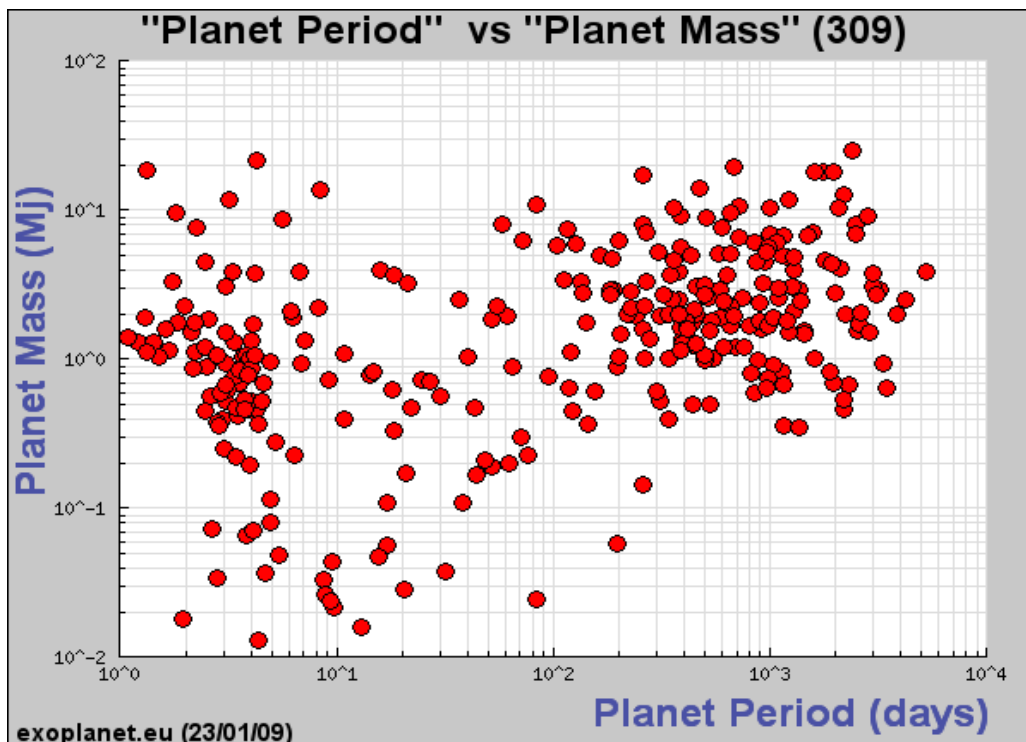


Figura 6.2. Massa dei pianeti finora scoperti in funzione del periodo orbitale

In generale, i sistemi planetari finora scoperti evidenziano una grande e inaspettata varietà di configurazioni: pianeti giganti molto vicini alla stella centrale, con periodi orbitali fino a un giorno sono presenti attorno a circa l'1% delle stelle; la maggior parte dei pianeti con periodo superiore a 10 giorni mostra eccentricità maggiori rispetto ai pianeti del Sistema Solare; una frazione significativa dei sistemi (almeno il 20%) contiene almeno due pianeti giganti; si osservano sistemi con pianeti in risonanza orbitale e altri con invece pianeti ben separati

Attorno alle stelle di tipo solare, la frequenza di pianeti giganti con periodo inferiore a 2000 giorni è di circa il 10%, con una forte dipendenza dalla metallicità della stella. Pianeti di piccola massa (nettuniani e super-terre) sono probabilmente più frequenti, mentre binarie sufficientemente strette (separazione <100-150 AU) mostrano una frequenza inferiore. Poco nota è invece la frequenza di pianeti di lungo periodo, come quelli osservati nel Sistema Solare.

Mentre la maggior parte dei progetti in corso osserva stelle di tipo solare, negli ultimi anni ci sono state importanti estensioni ad altri tipi di stelle. I primi risultati mostrano che la frequenza di pianeti giganti è inferiore intorno alle nane M rispetto alle stelle di tipo solare. La frequenza di pianeti massicci (oltre 5 masse gioviane) sembra invece più elevata per le stelle giganti con progenitori tipicamente superiori alla massa solare. Inoltre la frequenza dei pianeti attorno alle stelle giganti non sembra dipendere dalla metallicità. Attorno a diverse stelle A di sequenza principale sono stati recentemente scoperti (da immagini dirette) pianeti giganti a separazioni dell'ordine di un centinaio di UA. Questo sembra indicare sia una maggiore frequenza di pianeti giganti attorno a stelle di massa più grande di quella solare, e sia una maggiore separazione, probabilmente collegati alla presenza di dischi protoplanetari di massa maggiore e più estesi attorno a queste stelle.

La scoperta di un numero significativo di pianeti che transitano (oltre 50) consente lo studio della relazione massa-raggio e della densità media e delle sue variazioni in funzione dei parametri planetari e stellari (Fig. 6.3). I pianeti che transitano sono oggetti particolarmente adatti per ulteriori studi di follow-up, come ad esempio la caratterizzazione delle atmosfere, la determinazione della configurazione geometrica del sistema (allineamento o meno dell'asse di rotazione della stella e della normale al piano di rivoluzione orbitale del pianeta mediante lo studio dell'effetto Rossiter McLoughlin), la rivelazione dell'emissione termica del pianeta e lo studio delle variazioni longitudinali di temperatura.

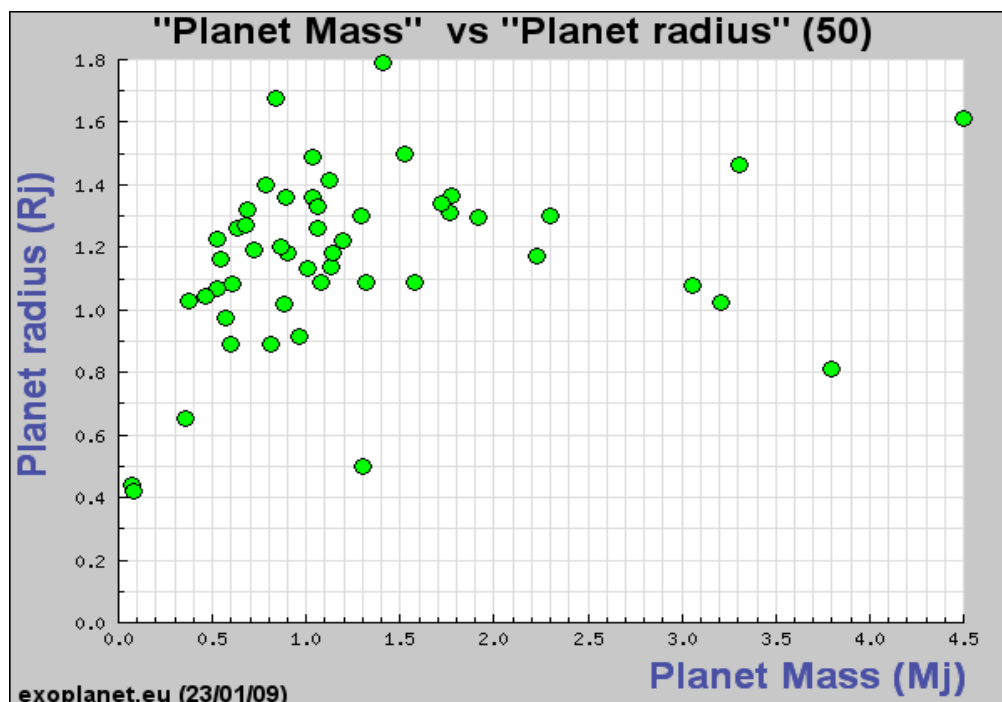


Figura 6.3. Relazione massa-raggio per i pianeti che transitano la loro stella



Grazie a queste osservazioni è possibile cominciare a studiare i meccanismi di formazione planetaria in un contesto più ampio del nostro sistema solare. In particolare la scoperta degli "Hot Jupiter" ha messo in discussione i meccanismi finora accettati per la formazione e l'evoluzione dei pianeti dimostrando che possono esistere sistemi planetari molto diversi da quello solare anche in ambienti complessi apparentemente non adatti. La presenza di questi pianeti, che non possono essersi formati dove sono attualmente osservati, ha richiesto sostanziali modifiche dei modelli di formazione dei sistemi planetari, ed ora appare chiaro che un ruolo molto notevole è svolto da processi di migrazione, connessi all'interazione tra il proto-pianeta e il disco da cui esso si forma. Inoltre, i valori notevoli dell'eccentricità delle orbite e l'osservazioni di configurazioni risonanti ha stimolato una grande quantità di studi sulla stabilità dinamica di questi sistemi. Infine la prospettiva di misure dirette dell'emissione dai pianeti ha stimolato lo sviluppo di modelli di formazione ed evoluzione dei pianeti. La letteratura su questi campi è vastissima.

Grazie ad osservazioni spaziali con HST e Spitzer è stato possibile osservare i transiti secondari (cioè il passaggio del pianeta dietro la stella). Questo ha permesso di determinare la luminosità – e dato che il raggio è noto dalla profondità del transito principale, anche la temperatura superficiale di alcuni pianeti. L'osservazione a diverse lunghezze d'onda ha permesso di ricavare informazioni sullo spettro (Figura 6.4). Informazioni ancora più dettagliate sullo spettro del pianeta sono ricavabili sia dallo spettro della stella durante i transiti, che dalla diversa durata dei transiti a diverse lunghezze d'onda. Nel complesso, queste tecniche hanno permesso di identificare la presenza di diverse specie atomiche e di alcune delle molecole nelle atmosfere di alcuni pianeti gioviani, con alcuni risultati sorprendenti come la identificazione di molecole d'acqua anche in pianeti caldi. Queste osservazioni aprono la possibilità di studiare la composizione delle atmosfere planetarie, e di confrontare questi risultati con previsioni teoriche. Per questa ragione si stanno sviluppando sia in Europa che in USA concetti di missioni spaziali con l'obiettivo finale di potere identificare molecole che indichino la presenza di vita in pianeti di tipo terrestre. Il percorso per raggiungere questo obiettivo è lungo ed estremamente ambizioso e richiederà una serie di passi intermedi che includono la caratterizzazione completa dei pianeti in termini di massa, raggio, composizione, struttura interna, abitabilità e proprietà magnetiche e delle atmosfere planetarie come le condizioni climatiche, le distribuzioni di temperatura e densità e la composizione chimica.

Infine, l'esistenza di pianeti molto vicini alla stella ospite pone il problema dell'interazione fra la stella e il pianeta (tramite i venti e l'emissione X e UV, particolarmente cospicua nelle prime fasi della vita stellare) e fra il pianeta e la stella dato che i pianeti giganti hanno masse sufficienti a produrre effetti mareali rilevabili, soprattutto nel caso delle stelle di tipo F le quali hanno zone convettive di massa paragonabile a quella del pianeta stesso. Inoltre in alcuni pianeti molto vicini alla stella è stato osservato materiale in evaporazione attribuito agli effetti della radiazione energetica proveniente dalla stella. La radiazione ad alta energia può essere responsabile di una sostanziale evaporazione dell'atmosfera planetaria, e della vaporizzazione dell'intero sistema nei casi più estremi, con un impatto sulla evoluzione della funzione di massa dei pianeti. Per quanto riguarda l'influenza che un pianeta vicino può avere sulla stella ospite, recentemente è stato osservato qualche caso in cui la rotazione stellare risulta sincronizzata con il moto orbitale del suo hot Jupiter. Oltre all'interazione di tipo mareale, è stata rilevata anche un'interazione di tipo magnetico con una relazione fra una hot spot cromosferica e il moto del pianeta. Si sono quindi sviluppati modelli teorici per la struttura dei campi magnetici nelle corone delle stelle accompagnate da hot Jupiter e per l'interazione magnetica stella-pianeta.

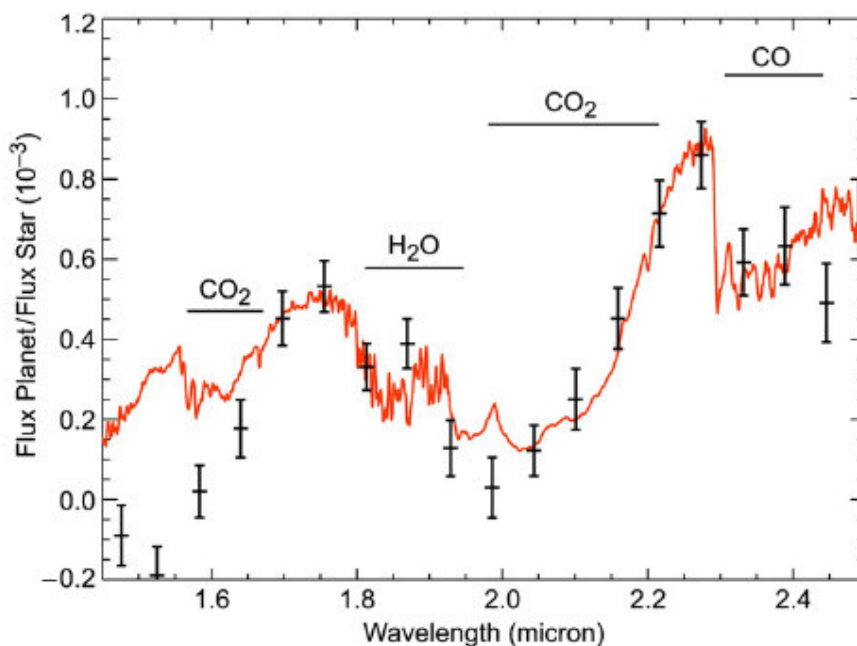


Figura 6.4. Lo spettro daytime dell'Hot Jupiter HD 189733b (da Swain et al. 2009)

Ci si aspetta che nel prossimo futuro, mentre la rivelazione di nuovi pianeti permetterà di ricostruire le condizioni e il tipo di stelle attorno a cui si possono formare e di ricavare alcune quantità globali come la funzione di massa in funzione della separazione dalla stella, diventerà via via più importante la caratterizzazione fisica dei pianeti stessi, per mezzo dei transiti per i pianeti in orbita stretta e con l'imaging diretto per i pianeti più distanti dalla stella.

5.2 Attività in Italia negli ultimi anni

In questa sezione riportiamo le attività di tipo scientifico, incluse le attività preparatorie per nuovi strumenti dedicati principalmente a pianeti extrasolari (le attività tecnologiche sono invece descritte altrove).

5.2.1 SPHERE

SPHERE è il Planet Finder in costruzione per il VLT; il consorzio include una significativa presenza italiana, SPHERE dovrebbe permettere di determinare la frequenza di pianeti giganti a grandi separazioni da stelle su un ampio intervallo di masse; per ottenere questo risultato SPHERE riuscirà osserverà soprattutto pianeti giovani, la cui luminosità è principalmente intrinseca; per questo motivo, è molto importante identificare stelle giovani nelle vicinanze solari e caratterizzarne accuratamente le proprietà, in particolare l'età. Nell'ambito del progetto SPHERE, il gruppo INAF ha la responsabilità della preparazione della survey GTO (cui sono state assegnate 260 notti al VLT) e della compilazione del catalogo dei target e delle loro caratteristiche. Vari lavori preparatori sono in corso per questo scopo.

5.2.2 EPICS

Nell'ambito del progetto EPICS – Planet Finder per E-ELT si è lavorato in particolare alla definizione degli scopi scientifici del progetto e dei requisiti fondamentali dello strumento. Lo



scopo di EPICS è la rivelazione di pianeti in un grande intervallo di massa, fino alle super-Terre, e la loro caratterizzazione. Inoltre EPICS dovrebbe essere in grado di ottenere spettri di molti dei pianeti scoperti con velocità radiali e tecniche astrometriche, permettendo un'accurato confronto delle loro caratteristiche con i modelli.

5.2.3 PLATO

PLATO è una missione proposta per il programma Cosmic Vision dell'ESA, ed attualmente in fase A. Lo scopo è identificare una grande quantità (un migliaio) di pianeti che transitano, sufficientemente brillanti da permettere una successiva caratterizzazione. Nell'ambito dell'assessment study della missione PLATO per la rivelazione di transiti planetari di pianeti di tipo terrestre i ricercatori italiani coinvolti nel progetto si sono occupati in particolare della definizione degli scopi scientifici della missione e della selezione dei campi osservativi

5.2.4 Interazione stelle-pianeti

Lo studio della interazione fra stelle e pianeti in orbita stretta è uno dei temi di ricerca attivi in Italia grazie alla notevole esperienza sviluppata nell'ambito dello studio dell'attività stellare. L'interazione stella-pianeta è particolarmente importante nelle prime fasi della vita stellare, durante la formazione del sistema planetario e durante il primo miliardo di anni di vita della stella sulla sequenza principale, quando una stella emette radiazione ad alta energia a un livello fino a 3-4 ordini di grandezza maggiore del Sole. In questa fase, non solo un pianeta in orbita stretta può perdere una parte sostanziale della sua massa, ma anche a distanza di 1AU le sue condizioni di abitabilità possono essere modificate sostanzialmente. Questi studi sono stati condotti presso OAPa e OACa in collaborazione con ricercatori dell'Austrian Academy of Science (Graz) e della Russian Academy of Science (Murmansk) usufruendo di fondi ASI e del progetto ToK Europeo ISHERPA (The Influence of Stellar High Energy Radiation on Planetary Atmospheres).

L'influenza di un pianeta sulla stella è rilevante quando il pianeta è abbastanza vicino e la sua massa è tale da potere esercitare una forza di marea significativa sugli strati convettivi della stella. E' anche possibile che il pianeta che si trova immerso nella corona della stella ne influenzi la struttura dei campi magnetici. Studi teorici su modelli che possano spiegare la relazione osservata in alcuni casi fra pianeta e macchie stellari e studi osservativi basati su dati di CoRoT sono in corso presso OACt.

L'attività stellare infine può rendere più difficile la rivelazione dei pianeti. In questo settore ricercatori di OACt hanno volto ricerche su metodi per ridurre l'impatto della attività stellare e della microvariabilità nella rivelazione dei transiti planetari, con particolare riferimento alla individuazione di pianeti di tipo terrestre intorno stelle simili al Sole mediante CoRoT e Kepler, e sull'impatto dell'attività nella ricerca di pianeti con tecniche astrometriche che può essere rilevante per GAIA e SIM.

5.2.5 Formazione planetaria: il ruolo della stella centrale e dell'ambiente circostante

Un contributo italiano significativo è stato dato alla comprensione dell'importanza relativa di alcune proprietà della stella centrale (metallicità) e caratteristiche dell'ambiente circostante (binarietà, ammassi) nei processi di formazione planetaria.

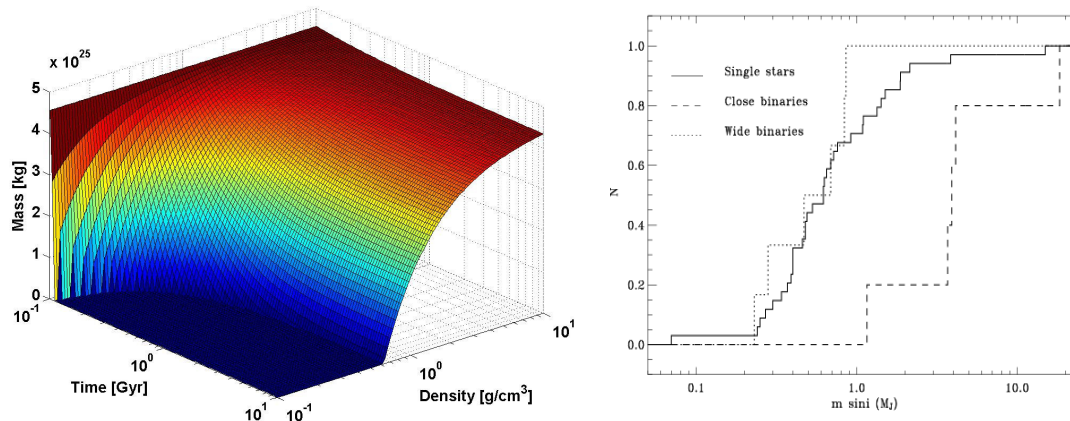


Figura 6.5. A sinistra: Evoluzione della massa di un pianeta nettuniano che orbita a 0.02 Unità Astronomiche attorno a una stella dM, dovuta all'attività stellare in funzione della densità. Il caso riportato corrisponde a G876d. (Figura adattata da Penz & Micela 2008); a destra: Distribuzione cumulativa della massa dei pianeti attorno a stelle singole (linea a tratto continuo), a stelle in sistemi binari larghi (linea punteggiata) e a stelle in sistemi binari stretti (linea tratteggiata). (Figura adattata da Desidera & Barbieri 2007)

La problematica degli effetti della molteplicità stellare sulla presenza e sulle caratteristiche dei pianeti è studiata sia dal punto di vista osservativo sia da quello teorico (Fig. 6.5). Una survey di ricerca di pianeti in binarie è in corso presso OAPd con lo spettrografo SARG al TNG. Il campione è formato da sistemi con componenti simili e separazione tipica tra 100 e 300 unità astronomiche. Alcuni candidati pianeti di piccole ampiezza o lungo periodo stanno emergendo, ma i risultati della survey suggeriscono una frequenza di pianeti più bassa rispetto alle stelle singole. Inoltre alcune caratteristiche (es. la distribuzione di massa) sono significativamente diverse dai pianeti che orbitano stelle singole. Dal punto di vista teorico vengono studiati gli effetti dalla gravità della stella compagna sul processo di accumulazione planetesimale. L'obiettivo è la stima dei valori di separazione ed eccentricità della binaria per cui i pianeti possono formarsi, considerando anche la frizione del gas nel calcolo della traiettoria dei planetesimi che può portare all'allineamento delle orbite e influire sulla velocità mutua all'impatto. Questo parametro determina se gli incontri tra i planetesimi portano alla formazione di oggetti più grossi o alla frammentazione e riduzione ad un disco di polvere della popolazione planetesimale. Si studia inoltre l'evoluzione di dischi circumstellari in sistemi binari con codici idrodinamici (mesh e SPH) per stimare la loro eccentricità causata dalle perturbazioni della binaria e l'influenza che tale eccentricità ha sulla formazione ed evoluzione dei planetesimi.

Un altro progetto nell'ambito dello studio degli effetti dinamici in corso presso OAPd è la ricerca di pianeti in ammassi stellari. In questo caso si usa la tecnica dei transiti, particolarmente adatta per ammassi aperti, grazie alla disponibilità di wide-field imagers. Sono state effettuate campagne multi-sito su due ammassi ricchi di metalli (l'elevata metallicità dovrebbe favorire una maggior frequenza di pianeti), con l'identificazione di un buon candidato, di cui è in corso il follow-up spettroscopico.

Una survey Doppler per la ricerca di pianeti attorno ad un campione di 200 stelle di bassa metallicità ($[\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$) con Keck/HIRES è stata recentemente conclusa (PI, Sozzetti OATo, fondi: Keck PI Data Analysis Fund). Data la sensibilità della survey a pianeti di massa gioviana entro 2 UA, il fatto che non siano stati trovati ha permesso di derivare un limite superiore di $\sim 1\%$



alla loro frequenza attorno a stelle 'metal-poor'. Questo risultato permette di meglio caratterizzare la dipendenza proposta della frequenza planetaria in funzione di $[Fe/H]$, e dà l'opportunità di meglio comprendere il ruolo relativo di diversi meccanismi proposti per la formazione dei pianeti giganti gassosi.

5.2.6 Dinamica e stabilità di sistemi planetari extrasolari

Progetto di ricerca in atto all'Università di Padova in cui vengono utilizzati strumenti quali l'analisi di frequenza e indicatori di caos basati sul coefficiente di Lyapunov per valutare la stabilità a lungo termine di sistemi planetari multipli, anche risonanti. Si intende inoltre valutare le possibili zone nello spazio delle fasi dove possibili pianeti di tipo terrestre potrebbero esistere nonostante le perturbazioni dei pianeti già identificati.

5.2.7 Contributo della missione Gaia alle osservazioni planetarie

Programma di 'double-blind tests' per determinare il potenziale di Gaia per la caratterizzazione di sistemi planetari entro 200 pc (OATo) nell'ambito del DPAC consortium di Gaia (Fondi ASI)

5.2.8 Osservazioni di follow up

Osservazioni spettroscopiche di follow-up di candidati pianeti extrasolari in transito con Keck/HIRES (OATo). Fondi: Kepler Mission, NASA Cooperative Agreement.

5.2.9 Pianeti attorno a stelle giganti

Il monitoring della velocità radiale di un campione di stelle giganti, prima con FEROS e poi con TLS e HARPS ha rivelato 13 pianeti extrasolari con il sorprendente risultato che le stelle giganti con pianeti sono, contrariamente a quanto succede per le nane, a bassa metallicità. Si tratta di un progetto mirato a determinare l'origine delle variazioni di velocità radiale in stelle giganti. PI: A. Hatzes, con partecipazione italiana di L. Girardi (OAPd).

5.2.10 Rivelazione di pianeti col metodo del timing

Recentemente si è cominciato a cercare pianeti intorno a stelle evolute per studiare gli effetti sui pianeti delle fasi più critiche dell'evoluzione stellare quali l'espansione di gigante rossa e di AGB, i puls termici e l'eiezione della nebulosa planetaria. Recentemente il gruppo di OACn (PI Silvotti) ha utilizzato il metodo del timing, già utilizzato per trovare i primi pianeti extrasolari attorno alle pulsar, per trovare V391Pegb, il primo (e tutt'ora unico) pianeta conosciuto di una stella che ha già superato la fase di gigante rossa ed è una stella pulsante di estremo braccio orizzontale. La tecnica del timing è interessante considerando che per stelle evolute, con piccolo raggio e alta gravità, gli altri metodi sono poco efficienti.

5.3 Programmi di attività per i prossimi 1-3 anni

SPHERE (Planet Finder per VLT): Strumento ottimizzato per la rivelazione diretta e caratterizzazione di pianeti giganti con la tecnica di direct imaging. Approvato (final design review dicembre 2008). PI: Beuzit (LAOG). Istituti coinvolti: LAOG, LAM, INAF, Univ. Ginevra, ETH Zurigo, MPIA Heidelberg, Un. Amsterdam, ESO. Resp. It. Turatto (OACt). Istituti coinvolti: OAPd, OACt, OACn, OABr, IFSI-Mi. Ruolo dell'Italia: Responsabilità dell'Integral Field Spectrograph, del Software di controllo, della survey GTO. Oltre al progetto tecnologico è in programma la preparazione della survey GTO (260 notti di VLT), con osservazioni e analisi preparatorie di vario tipo. Lo scopo principale della survey GTO è quello di determinare la



frequenza dei pianeti giganti a separazioni $> 5-10$ AU dalla stella centrale. In questo modo, insieme ai dati delle velocità radiali, sarà possibile ottenere una visione completa della distribuzione della separazione dalla stella centrale. Verranno osservate stelle di diversa massa per valutare la dipendenza della frequenza e caratteristiche dei pianeti dalla massa della stella.

EPICS (Planet Finder per E-ELT): Strumento ottimizzato per la rivelazione di pianeti con la tecnica del direct imaging. Studio di fattibilità in corso (finanziato da ESO e comunità europea). PI: Kasper (ESO). Istituti coinvolti: ESO, LAOG, LAM, INAF, Univ. Oxford, ETH Zurigo, MPIA Heidelberg, . Resp. Naz. Gratton. Istituti coinvolti: OAPd Ruolo dell'Italia: Partecipazione all'Integral Field Spectrograph, Resp. gruppo scientifico. I principali scopi scientifici dello strumento sono la rivelazione di pianeti che brillano di luce riflessa di massa gioviana, nettuniana e terrestre, la rivelazione diretta di molto pianeti precedentemente scoperti con altre tecniche come le velocità radiali, la rivelazione di pianeti in regioni di formazione stellare, per studiare i tempi scala e i meccanismi di formazione planetaria e la caratterizzazione fisica dei pianeti.

PLATO: Missione spaziale ESA per ricerca di transiti planetari di pianeti terrestri, anche nella zona abitabilità. Selezionata per assessment study (2008-2009) nell'ambito del Cosmic Vision Program. PI Català (LESIA), Polacco (Belfast). Nazioni coinvolte: Francia, Germania, Gran Bretagna, Italia, Svizzera, Spagna, Belgio, Danimarca, Austria. Resp. Naz: Piotto Istituti coinvolti: UNIPd, OAPd, OACt, OACn, OABr, OAPa, UNIFI. Ruolo dell'Italia: Resp. Telescopi, Resp. ICU, Resp. Simulazioni e selezione del campo osservativo. Partecipazione significativa alla definizione del caso scientifico. Fondi ASI.

From Disk to Planetary Systems. Understanding the Origin and Demographics of Solar and Extrasolar Planetary Systems: Progetto PRIN INAF a cavallo fra lo studio dei dischi attorno a stelle giovani e lo studio dei sistemi planetari mirato allo studio della formazione dei sistemi planetari a partire dai dischi circumstellari .PI: L. Testi (OAAr, ESO). Istituti: OAAr, IFSI, OAPd, OAPa, OACt, Fondi: PRIN INAF

Analisi dati delle osservazioni di COROT: Si intende continuare l'analisi dei dati di CoRoT per lo studio del ruolo dell'attività da un lato sulla rivelabilità dei pianeti e dall'altro l'interazione tra stelle e pianeti (OACt, OAPa). La popolazione stellare presente nei campi osservati dal telescopio consentirà uno studio in funzione di diversi parametri stellari, come massa, età e metallicità (Fondi ASI)

Interazione pianeta-stella: Il gruppo di OACt continuerà lo studio osservativo e teorico dell'interazione tra stelle e pianeti, utilizzando in particolare dati dell'esperimento spaziale CoRoT per caratterizzare l'attività fotosferica, dati spettroscopici nell'ottico per l'attività cromosferica, e quindi studiare la sincronizzazione per effetti mareali e/o di interazione magnetica. Dal punto di vista teorico, si intende proseguire lo sviluppo di modelli della struttura e dinamica del campo magnetico in corona per ottenere predizioni dell'energia liberata negli eventi di interazione magnetica tra stella e pianeta.

Interazione stella-pianeta: Il gruppo di OAPa svilupperà l'attività iniziata con il programma europeo ISHERPA per lo studio degli effetti termici e dinamici sulle atmosfere planetarie in collaborazione con OACa , CfA e Austrian Academy of Science (Graz). Oltre agli aspetti teorici si cercherà di identificare delle diagnostiche spettroscopiche e la loro osservabilità

Partecipazione alla missione GAIA: sviluppo ed implementazione di algoritmi di fit astrometrico di orbite planetarie singole e multiple nella pipeline di riduzione dati preparata per il Gaia DPAC, e



preparazione alle operazioni in volo (OATo, Sozzetti, Lattanzi, Spagna). Fondi: Contratto ASI-Gaia. Durata: 2009-2011.

Utilizzo di tempo GTO VLT per osservazioni astrometriche da terra di sistemi planetari con VLT/PRIMA (Sozzetti, Lattanzi, Ligi). Durata: 2010-2011.

Pianeti con SIM-Lite: Programma di 'double-blind tests' per determinare il potenziale di SIM-Lite per la caratterizzazione di sistemi planetari contenenti pianeti di massa terrestre attorno a stelle nei dintorni del Sole, con la partecipazione di INAF-OATo e STScI. FONDI: Contratto JPL. Durata: 2009.

Stellar and Planetary Parameters of Transiting Planet Systems Discovered by KEPLER: progetto continuo per lo scambio di ricercatori nel contesto del programma esecutivo di collaborazione Italia-Stati Uniti d'America, con la partecipazione di OATo e Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (PI Italiano, Sozzetti). Fondi: Ministero degli Affari Esteri. Durata: 2009-2011.

Pianeti in sistemi binari: programma di ricerca di pianeti al TNG, completamento previsto nel triennio. Finora finanziato tramite COFIN INAF e MIUR. PI: Gratton (OAPd) Istituti coinvolti: OAPd, OACt, TNG, McDonald Obs.

Pianeti in ammassi: programma di ricerca di pianeti con vari telescopi da terra, completamento previsto nel triennio. Finora finanziato tramite COFIN INAF e MIUR. PI: Piotto (UNIPd) Istituti coinvolti: UNIPd, OAPd, OABr, Univ. Victoria, IAC, Univ. Munchen.

Modelli di formazione di pianeti in sistemi binari: programma di ricerca, finora, finanziato tramite COFIN INAF e MIUR. PI: Marzari (UNIPd). Collaboratori: P. Thebault (Obs. Stockholm) e H. Scholl (Obs. Nice)

OMEGATRANS: ricerca di transiti planetari con OMEGACAM a VST (progetto che verrà svolto nel tempo garantito di OMEGACAM, PI Saglia (Un. Monaco), Resp. Naz. Alcalá (INAF OABr), Istituti coinvolti: OABr, OAPd, UNIPd.

RATS: ricerca di transiti planetari con il telescopio Schmidt di Cima Ekar-Asiago PI Claudi (OAPd), Istituti coinvolti: OAPd, OACt, OAPa, OAAr, UNIPd, ESA

Pianeti attorno a stelle giganti: Continuazione del monitoring del campione di 200 stelle giganti con TLS e HARPS allo scopo di 1) determinare l'origine delle variazioni della velocità radiale, 2) la distribuzione in massa, età, e metallicità delle stelle giganti con pianeti, 3) indicazioni sulla frequenza di sistemi planetari multipli. PI A. Hatzes (TLS), altri istituti: ESO, MPA, MPIA, Observatorio Nacional e UFRN (Brasile), OAPd..

EXOTIME: EXOplanet search with the Timing Method. Ricerca di pianeti in stelle di estremo braccio orizzontale (subnane calde o sdB). Utilizza una rete di telescopi a varie lunghezze, di classe 1-3m. PI: Silvotti (OACn), co-PI Schuh (Goettingen Univ.). Istituti coinvolti: OACn, Goettingen Univ., OACt, OAPd. (Vedi <http://www.na.astro.it/~silvotti/exotime/> per maggiori dettagli)

KEPLER-KASC: Nell'ambito del consorzio KASC (Kepler Asteroseismic Science Consortium), si vuole estendere la ricerca di pianeti extrasolari con il metodo del timing ai pulsatori osservati con Kepler (principalmente sdB e WD ma potenzialmente anche Delta Scuti e RR Lyrae). Una proposta per la ricerca di pulsatori compatti (sdB e WD) è stata accettata (PI Silvotti; istituti coinvolti: INAF-



OACn, Wien Univ., Goettingen Univ., Aarhus Univ., ESO) e 43 potenziali pulsatori verranno osservati per un mese da Kepler nella "survey phase"

5.4 Progetti importanti con difficoltà

La comunità italiana si è inserita relativamente da recente nel settore della ricerca dei pianeti extrasolari. Molti ricercatori sono pienamente inseriti nella progettazione e sviluppo di nuova strumentazione specifica per questa ricerca. Esistono comunque anche un gran numero di progetti di ricerca di dimensioni più moderate ma con grandi potenzialità. Alcuni di questi progetti sono in Italia al di sotto della soglia critica per avere un impatto significativo e per ottenere finanziamenti adeguati. In alcuni casi sono sostenuti dai fondi della ricerca di base locali ma sarebbe importante che alcuni di questi progetti potessero coordinarsi per potere raggiungere il peso necessario per accedere a fondi finalizzati e per potere attirare i giovani ricercatori. Una situazione analoga si ritrova per alcuni progetti con PI straniero, in cui la partecipazione italiana è e resta limitata a causa della difficoltà ad accedere a risorse.

5.5 Progetti per il futuro

Oltre alla partecipazione in SPHERE, EPICS e PLATO, che si dovrebbe prolungare per il prossimo triennio, consideriamo:

APACHE, una survey da terra per pianeti in transito nella regione di abitabilità di nane M nei dintorni del Sole per cui è stato proposto un progetto Starting Grant ERC (PI, Sozzetti). Di particolare interesse perché permetterebbe di individuare pianeti di raggio dell'ordine di 2-3 raggi terrestri utilizzando strumentazione relativamente modesta, e perché la regione di abitabilità corrisponde a un periodo orbitale di pochi giorni.

Se SIM-Lite vola, sarebbe cruciale mantenere la presenza 'italiana' nella missione. Risultati preliminari del programma di 'double-blind tests' con SIM-Lite confermano la possibilità di individuare e caratterizzare con precisione pianeti di massa terrestre (potenzialmente abitabili) attorno a stelle normali entro 15-20 pc dal nostro Sole, anche in presenza di altri pianeti. SIM-Lite appare essere l'unico strumento in grado di individuare e determinare la massa e l'intera geometria orbitale di pianeti terrestri potenzialmente abitabili attorno a stelle vicine. Tali oggetti costituiscono i target ideali per i futuri ambiziosi progetti di imaging diretto e caratterizzazione spettroscopica delle loro atmosfere, alla ricerca di elementi (i cosiddetti 'biomarkers') che possano rivelare la possibile presenza di una biologia complessa sulla superficie.

5.6 Utilizzo di grandi infrastrutture nazionali e internazionali

Per la sua natura, se si fa eccezione per la ricerca mediante transiti e microlenti, la ricerca dei pianeti extrasolari richiede grandi telescopi e in alcuni casi strumenti dedicati. Le misure di velocità radiale richiedono spettroscopi a alta risoluzione e estremamente stabili (p.es. SARG per pianeti di tipo gioviano, HARPS per pianeti di massa minore) su telescopi di media apertura e strumenti ancora più sofisticati per l'imaging con gli strumenti di prossima generazione.

Anche per le osservazioni dei, la rivelazione dei pianeti terrestri è possibile solo grazie all'utilizzo di telescopi dallo spazio dedicati specificatamente allo studio dei pianeti extrasolari (vedi p.es. CoRot e il progetto per la missione PLATO)

5.7 Tabella riassuntiva dei principali progetti attivi e relative fonti di finanziamento

Progetto	Scopo	Telescopi	Status	PI/Partecipanti	Risorse
L'origine dei sistemi planetari	Evoluzione dai dischi ai pianeti	Vari	In corso	Testi (OAAr/ESO) IFSI, OAPd, OAPa, OACt	PRIN/INAF
Analisi dati di Corot	Relazione attività - pianeti	CoRoT	In corso	Pagano (OACt, per gli esopianeti) OACt, OAPa	ASI
Interazione pianeta-stella	Effetti degli hot Jupiter sulle stelle	Corot Spettroscopi Modelli	In corso	Lanza (OACt)	ASI
Interazione stella-pianeta	Effetti sulle atmosfere	Modelli	In corso	Micela (OAPa)	ASI EU
DPAC Gaia- Italia	Algoritmi orbite planetarie	Gaia	In corso	Resp.it. Lattanzi (OATo)	ASI
GTO VLTI	Osservazioni astrometriche	VLTI PRIMA	Da iniziare	Sozzetti, Lattanzi, Liori (OATo)	
Test SIM-LITE	Studio potenziale SIM-LITE	SIM-LITE	Da iniziare	Partecipazione OATo (Lattanzi, Sozzetti)	
Transiting Planet	Parameters of planets discovered by Kepler	Kepler	Da iniziare	Partecipazione OATo (Sozzetti)	Programma MAE ITALIA-USA
SPHERE	AO estrema	VLT		Beuzit (LAOG) Resp. it. Turatto (OACt) OACt, OAPd, OANa, IFSI, OABr	ESO Consorzio(in cl. INAF)
EPICS	AO estrema	E_ELT	Iniziato	Kasper(ESO) Resp.it. Gratton (OAPd)	ESO
E_ELT			Iniziato	Gilmozzi (ESO) Resp. It. Gratton	FP7
PLATO	Studio di fattibilità missione per CV di ESA,		Iniziato	Catala (LESIA), resp.it. Piotto (Unipd) OAPd, OACt, OAPa, OACn, OABr, Unifi	ASI
Pianeti in sistemi binari	Ricerca di pianeti in sistemi binari	TNG	In corso	Gratton (OAPd) OACt, TNG, McDonald Obs.	COFIN PRIN & MIUR
Pianeti in ammassi	Monitoring di ammassi	VARI	In corso	Piotto (UniPd) OAPd, OABr, Univ.	COFIN PRIN &



				Victoria, IAC, Univ. Munchen	MIUR
Formazione di pianeti	Modelli di formazione di pianeti in sistemi binari		In corso	Marzari (UniPd) Obs. Sthokolm, Obs Nice	COFIN PRIN & MIUR
OMEGATRANS	Transiti al VST (GTO)	VST	Da iniziare	Alcalà (OACn) OAPd, UniPd	
RATS	Transiti da Terra	ASIAGO	In corso	Claudi (OAPd) OACt, OAPa, OAAr, UniPd, ES	
Giganti	Pianeti attorno a stelle giganti	TLS HARPS	In corso	Hatzes (TLS) ESO, MPA, MPIA, Ons Nacional UFRN OAPd	
EXOTIME	Pianeti col metodo del timing	VARI	Iniziato	Silvotti (OACn) Goettingen, OACt, OAPd	
Kepler-Kasc	Pianeti attorno ai pulsatori	KEPLER	Da iniziare	Silvotti (esopianeti OACn), Wien Univ. Goettingen, Aarhus Univ.	



Indice Analitico

2	
2MASS; 27; 37; 40; 45	
A	
ACS; 34; 40; 41	
ALMA; 5; 10; 21; 27; 33	
AMBER; 21; 23	
APACHE; 58	
APEX; 5; 7; 8; 10; 11	
APOGEE ; 39	
APT80/2; 19	
ASIAGO; 60	
B	
BLAST; 5; 8; 11	
C	
CARINA; 28; 31	
CFHT; 20; 23; 46	
Chandra; 14; 16; 18; 19; 20; 22; 23; 47	
CINECA; 10; 20; 22; 23	
Constellation; 5; 19	
COROT; 19; 24; 25	
CRIRES; 10; 33; 37	
CSO; 5	
E	
E-ELT; 11; 52; 56	
e-MERLIN; 8	
EPICS; 52; 56; 58; 59	
ERNA; 28; 31	
ESA; 15; 16; 19; 20; 23; 29; 53; 56; 59	
ESF; 21	
ESO; 7; 8; 10; 11; 15; 17; 19; 20; 22; 23; 30; 37; 40; 43; 46; 47; 55; 56; 57; 58; 59; 60	
F	
FEROS; 55	
FLAMES; 18; 22; 44	
FRESCO; 15	
G	
GAIA; 21; 25; 31; 33; 39; 46; 53	
GALEX; 27; 47	
GEMINI; 21; 23	
GRID; 20; 22	
GSC-II; 38	
H	
HARPS; 55; 57; 58; 60	
	Hawk-I; 37
	HCT; 19
	Herschel; 5; 7; 8; 9; 10; 11; 22
	Hi-GAL; 7; 11
	Hipparcos; 15
	HIRES; 54; 55
	HST; 5; 7; 13; 14; 16; 20; 21; 22; 23; 29; 34; 37; 39; 40; 41; 43; 44; 45; 46; 47; 51
	I
	IASF; 8; 10; 11; 31; 32
	IFSI; 7; 8; 9; 11; 17; 22; 55; 56; 59
	INFN; 31
	INTEGRAL; 26
	IRA; 8; 10; 11; 32
	IRAM; 5; 8; 10; 11
	IXO; 21
	J
	JCMT; 5; 8; 11
	JETSET; 5; 7; 9; 13; 16
	JWST; 11; 21
	K
	Keck; 37; 46; 54; 55
	KEPLER; 25; 57; 60
	K-MOS; 10
	L
	LBT; 5; 10; 11; 43; 46
	LINC-NIRVANA; 10; 11
	LOAO; 19
	LOFAR; 11
	LSST ; 39
	LUNA; 28; 31
	M
	Medicina; 6
	N
	NACO; 37
	NASA; 29; 49; 55
	NIRSPEC; 37
	NOAO; 20; 23
	NTT; 8; 11; 37; 43; 44; 46
	O
	OAAr; 7; 8; 9; 10; 11; 13; 15; 17; 18; 21; 22; 23; 56; 57; 59; 60
	OABo; 11; 31; 46
	OABr; 31; 55; 56; 57; 59
	OACa; 9; 11; 31; 53; 56



OACn; 9; 10; 11; 14; 15; 17; 18; 22; 23; 31; 46; 55; 56; 57;
58; 59; 60
OACt; 9; 11; 15; 16; 17; 18; 19; 22; 23; 24; 31; 32; 46; 53;
55; 56; 57; 59; 60
OAPa; 10; 11; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 53; 56;
57; 59; 60
OAPd; 11; 17; 22; 31; 32; 46; 54; 55; 56; 57; 59; 60
OARm; 7; 8; 9; 11; 13; 17; 31; 46
OATe; 31; 46
OATo; 20; 22; 46; 54; 55; 57; 59
OATs; 31
OHP; 15
OMEGACAM; 57

P

PdB; 6; 7; 10; 11; 13
PdB; 5; 9
PLATO; 25; 53; 56; 58; 59
PRIMA; 57; 59

R

RAVE; 38; 39; 46
RCT; 19
REM; 18; 19; 23
ROSAT; 13; 15

S

SARG; 15; 30; 54; 58
SDSS; 27; 29; 34; 37; 39
Serra La Nave; 15; 18; 23

Simbol-X; 21; 31
SIM-Lite; 57; 58
SINFONI; 6; 10
SKA; 11
Skinakas; 19
SMA; 5; 9; 11
SMARTS; 20
SPHERE; 52; 55; 58; 59
SPICA; 11; 21
Spitzer; 5; 7; 8; 9; 10; 11; 14; 15; 16; 18; 22; 23; 27; 44; 47;
51

T

TLS; 9; 21; 23; 55; 57; 60
TNG; 15; 18; 22; 23; 30; 43; 46; 54; 57; 59
Tycho; 15

V

VISTA; 14; 15; 29; 40; 46
VLA; 5; 6; 8; 9; 11
VLBI; 5; 6; 8; 11; 31
VLT; 5; 6; 8; 11; 19; 20; 22; 23; 33; 34; 37; 40; 43; 44; 46;
52; 55; 59
VLTI; 5; 13; 21; 23; 57; 59
VSI; 10
VST; 29; 37; 40; 46; 47; 57; 60

X

XMM; 14; 16; 17; 19; 22; 23; 47
X-Shooter; 10; 17; 18; 21; 22