

Piano Triennale – MA1: Galassie e Cosmologia

La ricerca nel campo della Macroarea Galassie e Cosmologia dell'Istituto Nazionale d'Astrofisica (INAF) si sviluppa preminentemente nel contesto del modello cosmologico con costante cosmologica (o Energia Oscura) e Materia Oscura Fredda, detto anche Λ CDM, che è considerato il modello standard di riferimento. In questo modello i barioni si sono condensati, seguendo una fisica molto complicata, all'interno di aloni di materia oscura che a loro volta si sono evoluti a partire dalle condizioni iniziali (iscritte nella radiazione cosmica di microonde) secondo uno schema *gerarchico* per formare le strutture così come le osserviamo oggi (galassie e ammassi di galassie) sino alla struttura su larga scala, anche detta *cosmic web*. Qui di seguito illustriamo le principali attività di ricerca e i progetti più interessanti dei ricercatori INAF da sviluppare nell'immediato futuro, divisi in tre macro argomenti:

1. Galassie e nuclei galattici attivi (AGN);
2. Ammassi e mezzo intergalattico;
3. Struttura su grande scala e fondo cosmico di microonde.

1. Galassie e nuclei galattici attivi

L'attività di ricerca nel campo della formazione ed evoluzione delle galassie e dello studio dei nuclei galattici attivi di INAF ha come scopo quello di comprendere la fisica dei processi di formazione delle galassie e la relazione con i processi di crescita gerarchica delle strutture cosmiche.

Questa ricerca raccoglie diverse tematiche quali:

- studio delle popolazioni stellari e del mezzo interstellare delle galassie, della loro storia di formazione stellare, di arricchimento chimico e dei processi che li influenzano (tra i quali il cosiddetto *feedback* in energia e metalli da supernove e AGN);
- studio delle galassie ad alto redshift (densità numerica per classi morfologiche, colori, formazione stellare, masse, cinematica interna ecc.);
- studio degli effetti dell'ambiente (dal campo ai gruppi, ammassi e superammassi) sui processi di formazione ed evoluzione delle galassie;
- relazioni di scala interne (relazione dimensione-luminosità, Tully-Fisher, Faber-Jackson, Piano Fondamentale ecc.);
- studio del contenuto di Materia Oscura delle galassie (*strong e weak lensing*, dinamica, X-rays);
- studio dei buchi neri e dei meccanismi che alimentano i nuclei galattici attivi e le diverse fenomenologie ad essi collegate (quasars, radiogalassie, blazars, galassie ultraluminose nell'IR, galassie con emissione maser dalle molecole H₂O e OH);
- relazioni tra AGN e proprietà delle galassie ospiti, e AGN e ambiente;
- studio dei meccanismi di *feedback* degli AGN sul mezzo interstellare;
- studio di spettri di quasar a $z \sim 6$ ottenuti con X-Shooter/VLT.

Risultati e Prospettive. La comunità è impegnata in molteplici e ambiziosi progetti, che fanno uso della strumentazione più avanzata da terra (ESO-VLT, VISTA, Large Binocular Telescope, ALMA, Telescopio Nazionale Galileo, Anglo-Australian Observatory, Canada-France Telescope, EVN, EVLA, VLBA ecc.) e dallo spazio (Hubble Space Telescope, Herschel, Spitzer, Galex, Chandra, XMM-Newton, SWIFT), ma soprattutto si avvale del ruolo di leadership o comunque di punta degli astronomi italiani in grandi collaborazioni internazionali tra cui importanti **grandi "surveys" di galassie** di campo (CANDELS, LSD, GMASS, VIPERS, COSMOS e zCOSMOS, MASSIV, VUDS, PEP, GOODS, SHELS, SDSS, UKIDSS ecc.) e di ammasso (WINGS, ACCESS). E' utile sottolineare che la comunità italiana negli ultimi anni ha svolto un ruolo centrale nelle survey profonde con lo spettrografo VIMOS al VLT, fino ad arrivare alla survey VIPERS attualmente in corso e coordinata da ricercatori italiani. Dall'ottobre 2011 è entrato in funzione il VLT Survey Telescope (VST), fornito all'osservatorio ESO di Paranal da INAF, e sono state avviate le surveys pubbliche e i programmi di Guaranteed Observing Time, che coinvolgeranno una componente significativa della comunità nei prossimi 4-5 anni.

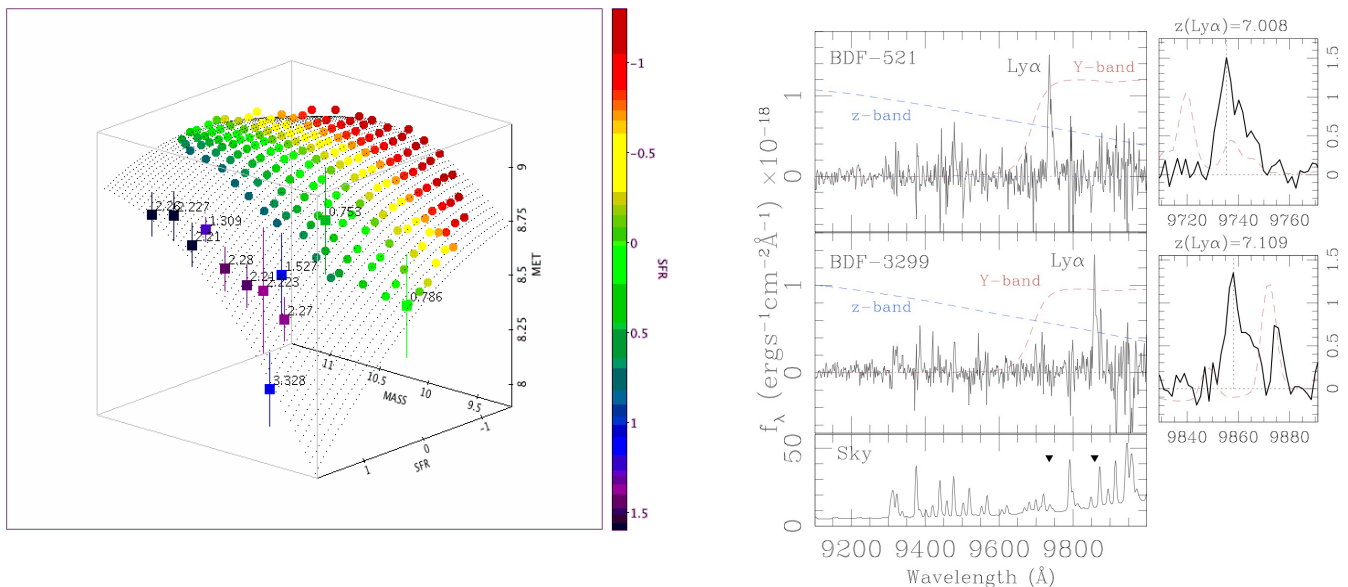
Sulla base di questi programmi si prevedono tre anni di grandi progressi nello studio dell'evoluzione delle

galassie e degli AGN, con un contributo di primo piano da parte dell'Italia.

Le galassie sono studiate in funzione delle epoche cosmiche (o redshift) per comprendere l'efficacia dei meccanismi evolutivi in atto e caratterizzarne le proprietà intrinseche da interpretare nello schema gerarchico che emerge dai modelli teorici a disposizione. In questo filone, le galassie sono individuate e studiate fino ad epoche vicine al periodo di riionizzazione dell'Universo ed oltre, fino al collasso delle proto-nubi e alla formazione delle prime stelle.

L'astronomia italiana si distingue nello studio delle **galassie a redshift elevato ($z=1-3$) e molto elevato ($z>3$)**, guidando progetti di ampio respiro. Questi mirano da un lato a spingere il limite dello studio delle strutture cosmiche a redshifts sempre più alti, e dall'altro a caratterizzare il modo in cui le galassie prendono forma a partire dalle fluttuazioni primordiali, fino alle popolazioni di galassie che si osservano oggi. Questi studi spingono la strumentazione attuale al limite delle sue possibilità, e richiedono spesso un approccio sia da terra che dallo spazio, e a diverse lunghezze d'onda.

Un altro campo in cui nei prossimi anni l'astronomia italiana continuerà a emergere con un ruolo di primo piano all'interno del panorama internazionale è lo **studio delle galassie in funzione dell'ambiente**, a partire dall'Universo locale e fino a $z=1-1.5$. Diversi programmi osservativi italiani si dedicano allo studio dell'evoluzione delle galassie (nelle loro varie morfologie – ellittiche, lenticolari, spirali, irregolari) in relazione con l'ambiente in cui esse vivono, dalle regioni sotto-dense (i cosiddetti “voids”), ai gruppi di galassie, fino agli ammassi e i super-ammassi di galassie, dove gli effetti della crescita gerarchica delle strutture sono più evidenti. È infatti negli aloni più massicci e negli ambienti più densi che diventano più efficienti i processi d'interazione tra galassie o con il mezzo intergalattico, processi che possono alterare significativamente l'evoluzione endogena delle galassie.



Sinistra: relazione tra massa, tasso di formazione stellare e metallicità in galassie locali (punti circolari) e fino a $z=2.5$ (punti quadrati con barre di errore), da Mannucci et al. 2010. Destra: spettri che confermano il redshift di due galassie a $z>7$ (da Vanzella et al. 2011).

Nel campo degli AGN, si cerca di ottenere una stima dell'evoluzione cosmologica dei processi di accrescimento sui buchi neri centrali e della relazione fra attività nucleare e ambiente circostante. In particolare, si distinguono gli studi di formazione stellare in AGN in confronto a meccanismi “normali” e gli studi dell'evoluzione cosmologica di AGN oscurati e delle proprietà dei buchi neri mediante osservazioni profonde con Chandra, XMM, Suzaku, osservazioni radio (in continuo e in riga) e multifrequenza.

Risultati di particolare rilievo sono attesi per il prossimo triennio per quanto riguarda lo studio dell'evoluzione cosmologica dei Supermassive Black Holes (SMBH) e dei processi fisici più strettamente

connessi ai fenomeni di accrescimento. Il ruolo dell'attività nucleare e delle sue interazioni con la galassia ospite potrà essere studiato in grande dettaglio grazie a survey X, in particolare XMM e Chandra. Collaborazioni come COSMOS e CANDELS/GOODS possono avvalersi di dati multifrequenza di ottima qualità (HERSCHEL, VLT, EVLA) in termini di accuratezza e copertura uniforme dello spettro elettromagnetico. Sarà quindi possibile ottenere misure affidabili dei parametri fondamentali legati all'**accrescimento su BH** (massa ed Eddington Ratio) e della galassia ospite (massa stellare, tasso di formazione stellare, massa in gas) e studiare l'evoluzione delle relazioni di scala, su di un ampio intervallo di redshift e di luminosità'.

Osservazioni con Herschel e nella banda radio, per grandi campioni di AGN opportunamente selezionati, permetteranno uno studio quantitativo del legame esistente fra processi di accrescimento e di formazione stellare e di outflows (getti e venti) e in ultima analisi dei **meccanismi di feedback**.

Il lancio di NuSTAR, la prima missione con imaging nella banda hard X (10-100 keV) permetterà di scendere di quasi tre ordini di grandezza rispetto al flusso limite attualmente raggiunto e permetterà di ottenere un censimento completo della popolazione di **SMBH fortemente oscurati** predetti dai modelli del fondo X e da studi sulla funzione di massa dei BH in galassie non attive e in AGN.

Dal punto di vista teorico, gli approcci utilizzati sono molteplici e complementari. Da un lato, punto di forza in Italia sono i **codici di simulazione numerica (semianalitici e idrodinamici)**, quali la Millennium Simulation, Gadget, Morgana, Galform+Grasil, Gasoline, Enzo, Fly, Flash) che hanno goduto della convenzione INAF-CINECA e sono orientati allo studio di, e.g., meccanismi di formazione delle galassie e formazione stellare, funzioni di massa e luminosità, distribuzione in colore e studio dei meccanismi di feedback (SNe e AGN), produzione di *light-cones* per varie surveys osservative, comprendendo anche simulazioni idrodinamiche di galassie a disco, barrate e early-type. Le simulazioni idrodinamiche di ammassi di galassie vengono usate sia per studiare la popolazione di galassie in ammasso che per applicazioni cosmologiche. Inoltre, l'astronomia italiana può contare su un'esperienza consolidata per l'elaborazione di **modelli di sintesi spettrale** di popolazioni stellari complesse e di galassie con violenta formazione stellare oscurata da polveri, così come di modelli dettagliati di formazione stellare e accrescimento su AGN confrontabili con dati multi-banda dall'ottico al radio. Infine, esistono codici di fotoionizzazione dipendente dal tempo per modellare la ionizzazione di gas da parte di sorgenti variabili (AGN e Gamma Ray Burst).

Dal punto di vista osservativo, i programmi in corso consentono alla comunità di prepararsi al meglio allo sfruttamento della futura strumentazione da terra e dallo spazio (E-ELT, JWST, EUCLID, WFXT, LSST, LOFAR, SKA, SRT). Vi sono molteplici progetti finanziati tramite fondi ASI e PRIN-INAFF, PRIN-MIUR, fondi europei FP7, un ERC starting grant e un ERC advanced grant. Vi sono inoltre diversi Large programs a leadership italiana (ESO-VLT, Herschel, Australian National University, Chandra) per studi di evoluzione delle galassie.

2. **Ammassi di galassie e mezzo intergalattico**

Gli ammassi di galassie sono tra le strutture virializzate più massicce presenti nell'Universo e sono fondamentali strumenti di indagine astrofisica e cosmologica. In particolare, la caratterizzazione delle proprietà chimiche e fisiche degli ammassi permette di comprendere i processi di feedback galattico, investigare l'interazione tra galassie che popolano l'ammasso, studiare approfonditamente il mezzo intra-cluster, capire quali processi fisici determinano la formazione degli ammassi stessi. Le loro proprietà non termiche permettono lo studio dei campi magnetici su grande scala. Allo stesso tempo, studi dell'evoluzione in redshift dell'abbondanza degli ammassi permettono di misurare parametri del modello standard di formazione delle strutture cosmiche basato su materia oscura fredda ed energia oscura. Il mezzo intergalattico (IGM) è il materiale diffuso presente tra le galassie: è una fondamentale predizione del modello di formazione delle strutture e le sue proprietà sono determinate sia da aspetti dinamici sia da fenomeni astrofisici quali per esempio i venti galattici o la radiazione emessa dalle galassie. L'IGM si configura sia come riserva di materiale barionico che permette alle strutture di formarsi, sia come deposito dei barioni galattici stessi. Entrambe queste linee di ricerca hanno ricevuto in tempi recenti un grosso impulso grazie a fondamentali campagne osservative e ai progressi avvenuti

nella modellizzazione numerica.

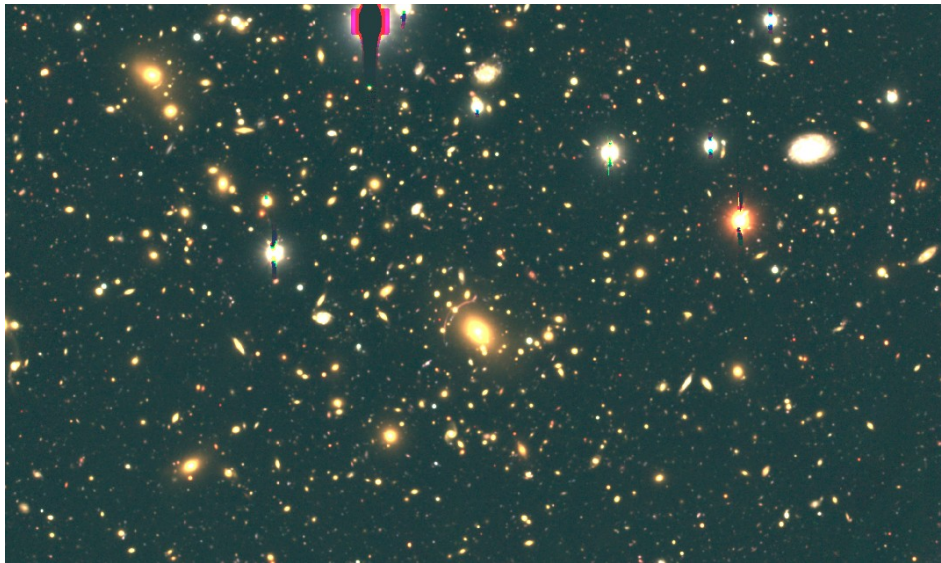


Immagine dell'ammasso di galassie Abell 611. Si nota l'effetto del lensing debole e forte.

Ricerche in corso. La ricerca nel campo degli ammassi e dell'IGM si sviluppa pertanto lungo le seguenti linee, sia osservative che teorico/interpretative:

- studio delle proprietà osservative di ammassi in banda X, radio (anche a basse frequenze) e ottica, sia a basso che alto redshift (mezzo intra-cluster);
- misure di parametri cosmologici da ammassi di galassie;
- studio della materia oscura e dell'energia oscura e della formazione delle strutture con analisi multiwavelength di ammassi (progetto CLASH);
- simulazioni idrodinamiche di ammassi e di IGM con feedback e arricchimento chimico;
- studio di aloni radio dei clusters e loro correlazione con proprietà dinamiche dell'ammasso;
- studio delle relazioni di scala degli ammassi in funzione del redshift;
- studio delle proprietà delle galassie (morfologie, formazione stellare, masse, dimensioni etc) d'ammasso in funzione del redshift;
- studio di campi magnetici a scale superiori al Mpc, negli ammassi e nell'IGM;
- lensing gravitazionale debole e forte prodotto da ammassi;
- studio di shock e turbolenza in ammassi di galassie (componenti termiche e non termiche);
- analisi di strutture di "super-ammasso";
- modellizzazione dinamica degli ammassi;
- survey a grande campo nel millimetrico e sub-millimetrico;
- previsioni e misure di parametri cosmologici dall'IGM, con sinergie con altri osservabili di LSS;
- studio del warm-hot IGM e dei barioni a basso redshift (emissione e assorbimento) anche nei dintorni della galassia;
- caratterizzazione proprietà fisiche e chimiche dell'IGM;
- studio della sopravvivenza della polvere nel mezzo intracluster;
- limiti misurati su variazioni di costanti fondamentali da righe di assorbimento di quasar;
- studio della relazione tra IGM-primarie stelle e IGM-galassie;
- studio di coppie di quasar per misurare la geometria dell'Universo e l'arricchimento chimico dell'IGM.

Vengono utilizzate risorse nazionali e internazionali di calcolo parallelo per la simulazione dei processi

fisici rilevanti per la formazione degli ammassi, mentre dal punto di vista osservativo vi è un **approccio “multi-wavelength”** che si basa su dati Chandra, XMM-Newton, Swift, EVLA, GMRT, HST, LOFAR. Vi sono molteplici progetti finanziati tramite fondi ASI e PRIN-INAF e vi è un Large Programme GMRT per lo studio degli aloni radio e un HST Multicycle Treasury Program -- ESO Large Programme (CLASH).

Una particolare menzione meritano le analisi delle proprietà termico e chemo-dinamiche dell'ICM; la scoperta dell'ammasso a più alto redshift conosciuto (JKCS041); lo studio della non-gaussianità primordiale in simulazioni idrodinamiche di IGM; il Large Programme 2011 (Chandra) per studiare la metallicità di assorbitori osservati con COS; l'evidenza di alone radio doppio nella coppia di ammassi di galassie A401-A399; l'evidenza di cool core sviluppati in ammassi a $z=1$; la misura dell'evoluzione dello ione CIV a $z=2-4$ nell'IGM.

Si utilizzano dati COS, XMM-Newton, Chandra, UVES/VLT, X-Shooter/VLT, Herschel, SDSS (spettri di quasars, gamma-ray bursts e AGN). Vi sono molteplici progetti finanziati con fondi ASI e PRIN-INAF e un ERC starting grant. Vi sono inoltre due large programme: X-Shooter/ESO (misura dello spettro di potenza della materia con Lyman- α) e Chandra (assorbitori a basso redshift per lo studio dei barioni mancanti).

3. Struttura su grande scala e fondo cosmico di microonde

L'attività di Ricerca nel campo della radiazione di fondo di microonde (CMB) e della struttura su larga scala (LSS) mira alla comprensione degli aspetti globali dell'Universo, dalle sue fasi primordiali a quelle più recenti – e future –, e della loro interconnessione con l'origine delle strutture cosmiche e la fisica fondamentale. Dall'inizio degli anni '90 la cosmologia è sempre più una scienza di precisione, in cui i diversi scenari possono essere confrontati in modo quantitativo con gli osservabili cosmologici, CMB e LSS *in primis*, e i loro parametri caratteristici misurati con accuratezza via via crescente. Al riguardo si rileva come l'analisi congiunta della LSS e della CMB ha per prima trainato la transizione dal modello CDM al modello Λ CDM, a bassa densità e geometria piatta, affermatosi poi come modello di concordanza grazie all'osservazione cosmologica delle Supernovae di tipo Ia e alla consistenza dello stesso con altri osservabili cosmologici. L'importanza delle ricerche cosmologiche in questo settore è stata sottolineata anche dall'assegnazione del premio Nobel per la Fisica 2011 proprio per la scoperta dell'accelerazione dell'Universo tramite misure di supernovae ad alto redshift.

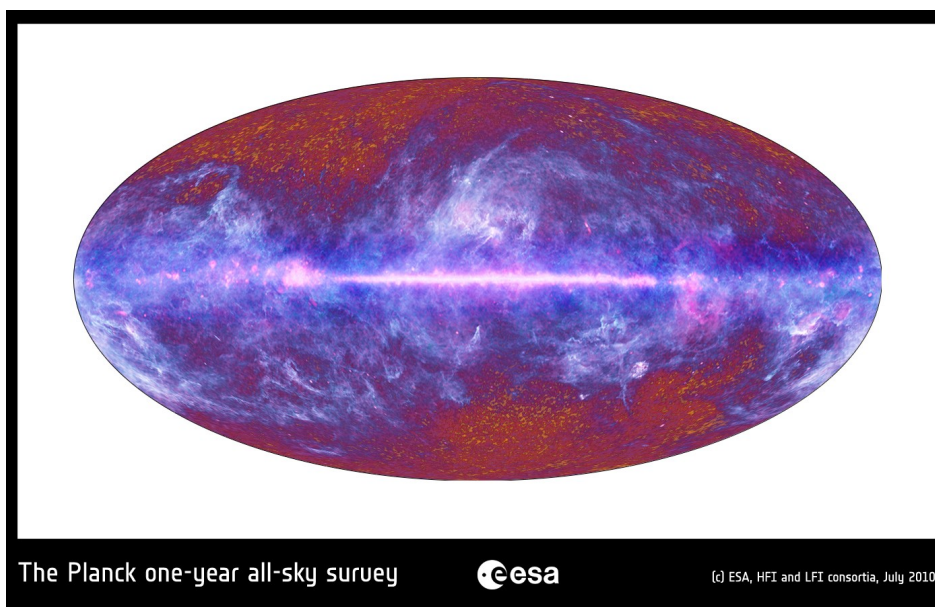
L'analisi accurata della LSS è cruciale per comprendere la natura della materia oscura e dell'energia oscura, e per evidenziare l'eventuale dipendenza dal redshift dell'equazione di stato dell'energia oscura. Inoltre, è uno strumento fondamentale per la ricerca delle diverse tipologie di non-Gaussianità delle perturbazioni primordiali, diagnostica cruciale per verificare le varie classi di modelli inflazionari (e delle alternative agli stessi).

Ricerche in corso. La ricerca svolta all'interno delle Strutture di INAF può essere riassunta nelle seguenti linee tematiche:

- ricostruzione 3D della struttura a grande scala dell'Universo attraverso survey spettroscopiche di galassie;
- ricostruzione della distribuzione degli ammassi di galassie attraverso survey multi-banda (ottico, infrarosso, X);
- misura statistica della disomogeneità a diverse scale ("clustering") all'epoca attuale e a diverse epoche cosmiche, come diagnostica del modello cosmologico e dei suoi parametri fondamentali;
- confronto con simulazioni numeriche per studiare le fasi non-lineari dell'evoluzione delle strutture cosmiche;
- misura delle scale caratteristiche (es. Oscillazioni Acustiche Barioniche) e delle distorsioni

dinamiche nelle mappe di galassie, come test dell'espansione accelerata e della sua origine (energia oscura o gravita' modificata);

- analisi e interpretazione delle anisotropie primarie della CMB sia come intensità totale, sia come polarizzazione;
- stima accurata dei parametri cosmologici e vincoli ai modelli cosmologici dallo spettro delle medesime anisotropie;
- ricerca delle anisotropie secondarie su piccola scala angolare, ponte tra la cosmologia e l'astrofisica, che trae grande impulso da progetti da terra, sia specificatamente dedicati alla CMB e all'effetto Sunyaev-Zel'dovich, sia multi-purposes quali ALMA, LOFAR, SKA;
- studio dello spettro in frequenza della CMB, che porta preziose informazioni sui processi termodinamici e di fisica fondamentale nel plasma cosmico sia ad alto sia a basso redshift, complementari a quelle contenute nelle anisotropie;
- analisi congiunta del CMB e della LSS (per la ricerca di non-Gaussianità e lo studio di signature, quali l'effetto Sachs-Wolfe integrato) e loro studio congiunto con la distribuzione degli ammassi di galassie e l'effetto Sunyaev-Zel'dovich (per la ricerca di impronte da multiversi e per la dinamica e geometria dell'Universo su scala molto larga);
- ricerche per l'identificazione diretta di onde gravitazionali.



Il cielo visto da Planck (crediti; ESA/LFI & HFI Consortia)

Risultati e Prospettive. L'INAF è profondamente impegnato nella realizzazione e nell'analisi scientifica di molteplici survey sia da terra sia dallo spazio. Le osservazioni recenti hanno consentito di identificare lo spettro di potenza della distribuzione della materia e di riconoscere in esso l'impronta delle oscillazioni del plasma cosmico, che hanno stretta analogia con le oscillazioni acustiche osservate nel pattern di anisotropia del CMB. Un obiettivo fondamentale delle survey in corso e future è l'aumento sostanziale della copertura in cielo della mappatura 3D della LSS, cruciale per la misura accurata dei parametri cosmologici. In questo ambito l'Italia è alla guida (e fornisce il principale sostegno strutturale) della VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey (**VIPERS**), la più grande survey di redshift mai realizzata all'ESO e attualmente circa a metà della sua opera. Il progetto si propone di ricostruire la distribuzione spaziale di 100.000 galassie su scale cosmologiche ad un'epoca in cui l'Universo aveva circa metà dell'età attuale, utilizzando il VLT. Oltre a ricostruire lo spettro di potenza della materia ad un'epoca mai esplorata prima, la survey misurerà i parametri cosmologici a quest'epoca e sfrutterà l'effetto delle "distorsioni dinamiche" allo scopo di capire l'origine dell'accelerazione cosmica, un metodo a sua volta messo in luce da una ricerca italiana utilizzando

la survey VVDS. La stessa tecnica ha rappresentato uno degli ingredienti del successo della proposta Italiana (originariamente denominata SPACE), per una missione spaziale spettroscopica nell'ambito del programma ESA "Cosmic Vision". Unitamente ad un secondo esperimento con simili obiettivi, ma dedicato alla misura del "lensing gravitazionale" da immagini ad alta risoluzione, questa ha dato luogo all'attuale **missione Euclid**. La missione è stata selezionata da ESA nell'Ottobre 2011 per il lancio nel 2019 e vede l'Italia come nazione leader del progetto. Le ricadute di queste survey orientate alla cosmologia saranno notevolissime anche per lo studio dell'evoluzione delle galassie e dell'interazione galassie-ambiente.

Nell'ambito delle anisotropie della CMB su scale angolari maggiori di qualche minuto d'arco, nel triennio 2012-2014 saranno fondamentali i dati del **satellite Planck dell'ESA**, cui l'INAF sta contribuendo in modo fondamentale, che consentiranno di andare ben oltre i risultati già eccezionali dei satelliti COBE e WMAP della NASA. Oltre a raffinare le stime dei parametri cosmologici, *Planck* rivelerà dettagli più complessi su geometria dell'Universo, modelli inflazionari e difetti topologici, varie tipologie di perturbazioni primordiali, teorie modificate della gravità e teorie alternative di fisica delle particelle elementari, incluse loro annichilazioni e decadimenti, variazioni delle costanti fondamentali, modelli fisici di energia e materia oscura, estensione del modello di Λ CDM a componenti "warm", riionizzazione cosmologica da scenari astrofisici e di fisica non-standard, campi magnetici cosmici primordiali, ecc. Uno degli obiettivi più ambiziosi sarà l'analisi accurata delle anisotropie in polarizzazione e la ricerca dei diversi modi di polarizzazione e, in particolare, quelli associati alle perturbazioni tensoriali, prova indiretta del campo stocastico di onde gravitazionali primordiali, la cui ampiezza è correlata alla scala di energia a cui avvenne l'inflazione.

I gruppi di ricerca dell'INAF sono inoltre attivamente impegnati nelle ricerche teoriche e verso progetti futuri volti a **misure di polarizzazione ultra-accurate**, e, in particolare, dei modi B primordiali, contribuendo a progetti di **future missioni ESA** (e.g. Cosmic Origins Explorer, **CORe**) e collaborando o sviluppando **progetti sperimentali preliminari da terra e da pallone**.

Una menzione particolare merita la ricerca sulle **emissioni di foreground Galattico ed extragalattico** (da galassie dominanti nel radio o nell'infrarosso e da ammassi di galassie) e del fondo cosmico infrarosso, sinergica alle altre linee di ricerche in INAF, ma in questo contesto finalizzata all'estrazione dell'informazione cosmologica, e lo sviluppo di metodi specifici di simulazione, di analisi dati e di separazione dei segnali cosmologici e astrofisici dalle mappe multi-frequenza in intensità totale e polarizzazione.

Infine, merita di ricordare la stretta **complementarietà tra gli studi e gli esperimenti di cosmologia e quelli di fisica fondamentale e particellare**, in particolare quelli condotti al CERN con LHC, che riproducono le condizioni dei primi istanti dell'Universo e che potrebbero nei prossimi tempi rivelare il bosone di Higgs.

Dal punto di vista teorico-computazionale e di analisi dati, gli approcci utilizzati sono molteplici e complementari. Da un lato i codici numerici (quali CAMB, KYPRIX, Millennium Simulation, ecc. per le predizioni e simulazioni teoriche), dall'altro pipeline di analisi dati dedicate nei Data Processing Center di progetto che includono moltissimi tool specifici propriamente di riduzione e analisi dati ed altri di confronto teoria-osservazione, come ad esempio COSMOMC, opportunamente rielaborati per includere le specifiche dei dati considerati. In molti casi sono state attivate convenzioni con CINECA e ci si avvale della convenzione INAF-CINECA, come pure (nell'ambito ad esempio del progetto *Planck*) esistono collaborazioni internazionali di analisi dati e progetti su GRID.

Vi sono molteplici progetti finanziati con fondi ASI, PRIN-MIUR e PRIN-INAF e un ERC Advanced grant assegnato.

4. Conclusioni

I team scientifici in INAF, attivi sul fronte osservativo e teorico con numerosi progetti mirati e collaborazioni internazionali di ampio respiro, sono in grado nel triennio in corso di sviluppare una ricerca di altissimo livello su questi filoni tra loro complementari

La comunità che lavora nell'ambito della Macroarea Galassie e Cosmologia svolge ricerche che avranno bisogno in futuro di strumentazione di nuova generazione per mantenere l'alto livello di produzione

scientifica e di competitività internazionale.

Di primaria importanza per la comunità scientifica della Macroarea I è l'accesso alle facilities dell'European Southern Observatory, con la partecipazione allo sviluppo e il fondamentale contributo scientifico della strumentazione d'avanguardia dell'ESO: gli strumenti attuali e di prossima generazione del **VLT**, e il nuovo **VLT Survey Telescope** italiano a Paranal in grado di ottenere surveys a grande campo con grande efficienza dall'Universo vicino a quello lontano. Proseguirà inoltre l'utilizzo dell'**LBT**, telescopio a doppia pupilla di concezione innovativa con una forte partecipazione italiana collocato in Arizona.

Nel presente e prossimo futuro, i team di INAF sono profondamente impegnati nelle ricerche spaziali in grandi progetti quali **Chandra**, **XMM-Newton**, **Planck** ed **Herschel**, per i quali sarà cruciale mantenere alto il livello degli investimenti per l'analisi scientifica anche seguente al periodo proprietario. L'impegno in cosmologia dallo spazio continuerà inoltre nel futuro, sia dal punto di vista dello sviluppo dello strumento che degli studi scientifici, con la missione **Euclid** che dovrà essere fortemente sostenuta.

Riguardo al futuro, si evidenziano inoltre alcuni programmi importanti in cui INAF dovrà essere sempre più profondamente coinvolta e in cui si auspica di mantenere alto il livello degli investimenti. Tra questi (*non in ordine di importanza*): 1) **E-ELT** (European Extremely Large Telescope): contributo ai casi scientifici e alla strumentazione, con particolare rilievo per HIRES e le ottiche adattive; 2) **SKA**: Square Kilometer Array (forte interesse cosmologico e per interazioni AGN/ICM); 3) **CCAT** (<http://ccatobservatory.org/>): survey a grande campo ed alta sensitività nel (sub-)millimetrico per lo studio di ammassi di galassie tramite l'effetto Sunyaev-Zeldovich; 4) **SPICA** (JAXA, ESA): il prossimo osservatorio spaziale infrarosso per proseguire gli studi iniziati da Herschel e Spitzer; 5) **Origin-XENIA** e **WFXT** al vaglio del Community Science Team della NASA per uno studio di fattibilità (Wide Field Imager notional mission concept), e le missioni in fase di studio **Aegis**, **WHIM-Ex**, **WFRX**; 6) **LSST** (Large Synoptic Survey Telescope) per lo studio della natura della dark energy e della dark matter, con un forte impatto anche su studi di formazione ed evoluzione di galassie e AGN; 7) **Athena** (Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics, <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=49835#>), osservatorio in banda X candidato al ruolo di prossima Large mission dell'ESA per studi di gravità forte e cosmologia; 8) **NuSTAR** (<http://www.nustar.caltech.edu/>; lancio atteso nel 2012), prima missione spaziale X a focalizzarsi sui raggi X "duri" (6-79 keV) per studi di buchi neri e componenti non-termiche in ammassi; 9) **BOSS** (Baryonic Oscillations Spectroscopic Survey) parte di **SDSS-III** e il suo successore **BigBOSS** per lo studio della Large Scale Structure e delle oscillazioni barioniche acustiche.