

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 che è considerato lo standard di riferimento dalla comunità astronomica, il Λ CDM, che prevede l'esistenza di una costante cosmologica (o Energia Oscura) e Materia Oscura Fredda. 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; 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.

Ricerche in corso. 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 nucleo galattici attivi, o AGN, i venti stellari e i flussi di gas entranti/uscenti dalle galassie);
- 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 gli AGN e i fenomeni collegati (quasars, radiogalassie, blazars, galassie ultraluminose nell'IR e con emissione maser di molecole H₂O e OH);
- relazioni tra AGN e proprietà delle galassie ospiti, e AGN e ambiente
- ricerca e studio di oggetti ad alto redshifts mediante survey multifrequenza e spettroscopia ottica.

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, WHT, EVN, JVLA, 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, UKIDDS ecc.) e di ammasso (WINGS, ACCESS). 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 (vedi anche la Sez. sulla struttura su grande scala). 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 survey pubbliche ESO, in particolare KiDS, che si occuperà insieme alla survey VIKING di VISTA, della misura di Materia Oscura tramite weak lensing e più in generale delle proprietà delle galassie fino a redshift intermedi, e diverse survey su tempo garantito per lo più orientate allo studio dell'evoluzione delle galassie in ambienti diversi (dal campo ai superammassi). Le survey VST, coinvolgeranno, nei prossimi 4-5 anni, circa 40 ricercatori di una dozzina di istituti italiani (INAF e Università) e altrettanti collaboratori stranieri. 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, z), dal presente fino al periodo di

riionizzazione dell'Universo, e ancor più indietro al collasso delle proto-nubi e alla formazione delle prime stelle, 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.

Qui l'Italia si distingue nello studio delle **galassie a redshift elevato ($z=1-3$) e molto elevato ($z>3$)**, guidando progetti di punta, con strumentazioni da terra e dallo spazio a diverse lunghezze d'onda, per spingere lo studio delle strutture cosmiche a *redshifts* sempre più alti, e comprendere i meccanismi di formazione delle galassie a partire dalle fluttuazioni di densità primordiali.

Un ruolo primario sarà svolto anche nello **studio delle galassie in funzione dell'ambiente**, dall'Universo locale e fino a $z=1-1.5$. Diversi programmi osservativi si dedicano allo studio dell'evoluzione delle galassie (nelle loro varie morfologie – ellittiche, lenticolari, spirali, irregolari) in relazione con l'ambiente in cui vivono, dalle regioni sotto-dense (o “voids”), ai gruppi di galassie, fino agli ammassi e i super-ammassi, dove gli effetti della crescita gerarchica delle strutture sono più evidenti e dove i processi d'interazione tra galassie o con il mezzo intergalattico possono alterare l'evoluzione endogena delle galassie stesse.

Nel campo degli AGN, gli studi si concentrano sull'evoluzione cosmologica dei processi di accrescimento sui buchi neri centrali e la relazione fra attività nucleare e ambiente circostante. Tra questi, si distinguono gli studi di formazione stellare in AGN in confronto a meccanismi “normali”, che usano, fra gli altri, dati Herschel, 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 rilevanti sono attesi riguardo lo studio dell'evoluzione cosmologica dei *Supermassive Black Holes* (SMBH) e dei processi fisici connessi ai fenomeni di accrescimento. Il ruolo dell'attività nucleare e delle sue interazioni con la galassia ospite sarà studiato in grande dettaglio grazie a *survey* X, in particolare XMM e Chandra. Collaborazioni come COSMOS e CANDELS/GOODS sfruttano dati multifrequenza di ottima qualità (Herschel, VLT, JVLA) 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 è avvenuto con successo il 13 Giugno 2012. Le capacità di imaging, per la prima volta disponibili in banda hard X (10-80 keV) permetteranno di raggiungere un'alta sensibilità e di effettuare un censimento completo dei **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. Uno dei punti 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. Inoltre, la nostra comunità usufruisce di un'esperienza consolidata **in modelli per il calcolo dell'evoluzione chimica**, utili per predire in dettaglio i rapporti di abbondanze tra vari elementi (che possono essere usate come orologi cosmici, in quanto prodotte da supernovae di tipo diverso in tempi diversi) e per interpretare relazioni fondamentali quali la relazione Massa-Metallicità e la relazione Formazione Stellare-Massa-Metallicità (spiegate, p. es., da variazioni nei flussi di gas e/o dell'efficienza di formazione stellare in funzione della massa galattica), **in modelli di sintesi spettrale** di popolazioni stellari complesse e di galassie con violenta formazione stellare oscurata da polveri, **in modelli di formazione stellare e accrescimento su AGN** confrontabili con dati multi-banda dall'ottico al radio e in codici di fotoionizzazione dipendente dal tempo per modelli di ionizzazione del gas da sorgenti variabili (AGN e GRB).

I programmi osservativi 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, eMERLIN). Vi sono molteplici progetti finanziati con fondi PRIN-INAf, PRIN-MIUR, fondi europei FP7, un ERC starting grant e un ERC advanced grant. Vi sono diversi *Large programs* a leadership italiana (ESO-VLT, WHT, VST, ANU Telescope, Chandra, Herschel) su evoluzione delle galassie e dark matter.

2. Ammassi di galassie e mezzo intergalattico

Gli ammassi di galassie sono le strutture virializzate più massicce dell'Universo e fondamentali strumenti d'indagine astrofisica e cosmologica. In particolare, le loro proprietà chimiche e fisiche permettono di comprendere i processi di feedback galattico, l'interazione tra galassie che li popolano, studiare il mezzo intra-cluster, per capire tutti quei processi che ne hanno determinato la formazione. Le loro proprietà non termiche permettono lo studio dei campi magnetici su grande scala. Inoltre, studi dell'evoluzione in redshift dell'abbondanza di ammassi permettono di misurare parametri del modello standard di formazione delle strutture cosmiche basato sul Λ CDM. 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 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.

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 e del mezzo intergalattico nelle bande X, ottica, radio (fino alle basse frequenze), millimetrico e sub-millimetrico, anche a grande campo, sia a basso che alto redshift, per ottenere le proprietà chimiche (e.g. metallicità) e fisiche (e.g. relazioni di scala) degli ammassi e loro evoluzione col tempo cosmico;
- 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;
- 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 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 delle proprietà fisiche e chimiche dell'IGM;
- studio della sopravvivenza della polvere nel mezzo intergalattico;
- quasars come traccianti della chimica degli ammassi, dei parametri cosmologici e per misure di costanti fondamentali (spettrografo ESPRESSO@VLT);
- studio della relazione tra IGM-prime stelle e IGM-galassie (caratterizzazione del feedback).

Risultati e Prospettive. 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, Herschel, JVLA, GMRT, HST, LOFAR e spettroscopia di COS, UVES/VLT, X-Shooter/VLT e SDSS (spettri di quasars, gamma-ray bursts, o GRB, e AGN). Di notevole rilievo i *Large Programs*: 1) il programma GMRT per lo studio degli aloni radio e un HST Multicycle Treasury Program - ESO Large Programme (CLASH), 2) un Large Program Chandra 2011 per studiare la metallicità di assorbitori osservati con COS e 3) la misura dello spettro di potenza della materia con Lyman- α con X-Shooter/ESO.

La comunità scientifica è inoltre impegnata nelle seguenti linee tematiche: l'analisi delle proprietà termo e chemo-dinamiche dell'ICM; la scoperta dell'ammasso a più alto redshift conosciuto (JKCS041); lo studio numerico dei neutrini massivi; l'evidenza di aloni 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 ad alto z

nell'IGM.

Vi sono, infine, molteplici progetti finanziati con fondi PRIN-INAF, PRIN-MIUR e un ERC starting grant.

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. In particolare, l'analisi congiunta della LSS e della CMB ha 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 di queste ricerche è sottolineata dall'assegnazione del premio Nobel per la Fisica 2011 per la scoperta dell'accelerazione dell'Universo tramite misure di *supernovae* ad alto *redshift*.

L'analisi accurata della LSS, oltre che strumento fondamentale per la ricerca di diverse tipologie di non-Gaussianità delle perturbazioni primordiali, diagnostica cruciale per verificare le varie classi di modelli inflazionari (e delle alternative agli stessi), è cruciale per comprendere la natura di materia ed energia oscura, e per evidenziare se vi è dipendenza dal *redshift* dell'equazione di stato dell'energia oscura. Allo stesso fine è allo studio l'implementazione di una ricerca di *supernovae* ad alto *redshift*.

Ricerche in corso. La ricerca svolta nelle Strutture INAF si riassume nelle seguenti linee tematiche:

- ricostruzione 3D della struttura a grande scala dell'Universo con survey spettroscopiche di galassie;
- distribuzione degli ammassi di galassie attraverso survey multi-banda (ottico, infrarosso, X);
- misura statistica della disomogeneità a diverse scale ("clustering") a diverse epoche cosmiche come diagnostica del modello cosmologico e dei suoi parametri fondamentali;
- utilizzo di simulazioni numeriche per studiare le fasi non-lineari dell'evoluzione delle strutture;
- 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 gravità modificata) da grandi survey (e.g. BOSS, VIPERS, ATLAS, etc.);
- analisi e interpretazione delle anisotropie primarie della CMB (intensità totale e polarizzazione) e utilizzo del loro spettro per la stima accurata dei parametri cosmologici e vincoli ai modelli;
- ricerca delle anisotropie secondarie su piccola scala angolare con progetti da terra, dedicati alla CMB e all'effetto Sunyaev-Zel'dovich, o multi-purposes quali ALMA, LOFAR, SKA;
- studio dello spettro in frequenza della CMB, per indagare, ad alto e basso *redshift*, la termodinamica e la fisica fondamentale del plasma cosmico, in processi complementari a quelli delle 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.

Risultati e Prospettive. L'INAF è impegnato nella realizzazione e analisi scientifica di molteplici *survey*, da terra e dallo spazio. Le osservazioni recenti hanno consentito di identificare, nello spettro di potenza della distribuzione, l'impronta delle oscillazioni del plasma cosmico, che hanno stretta analogia con le oscillazioni acustiche del *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 quest'ambito l'Italia è impegnata nella survey Pubblica ESO ATLAS con VST per lo studio della equazione di stato dell'Energia Oscura ed è leader della più grande *survey* di *redshift* mai realizzata all'ESO, la VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey (VIPERS), cui fornisce il principale supporto strutturale. Il progetto si propone di ricostruire la distribuzione spaziale di 100.000 galassie su scale cosmologiche a un'epoca in cui l'Universo aveva circa metà dell'età attuale. Già più di 60.000 *redshifts* sono stati raccolti e il completamento del progetto è atteso per il 2014. VIPERS studierà lo spettro di potenza della

materia a un'epoca mai esplorata prima, misurerà i parametri cosmologici a quest'epoca e sfrutterà l'effetto delle "distorsioni dinamiche" per capire l'origine dell'accelerazione cosmica, un metodo già usato da una ricerca italiana nella *survey* VVDS. La comunità e l'INAF in particolare sono coinvolti nella **missione Euclid**, in cui hanno assunto impegni e ruoli di particolare rilevanza nella realizzazione degli strumenti di bordo, del segmento di terra e nello studio scientifico della missione. Euclid, dedicata allo studio della materia e energia oscura, adottata dall'ESA nel 2011 con lancio previsto nel 2020, realizzerà in 6 anni una *survey*, su circa 15.000 gradi quadrati del cielo extragalattico, in imaging nel visibile e in spettroscopia e fotometria infrarossa tra 0.9 e 2.0 micron. Si prevede di ricostruire la distribuzione spaziale di oltre 50 milioni di galassie e la "shape" di quasi 2 miliardi di galassie, indagando come l'accelerazione cosmica modifichi la storia di espansione e la distribuzione tridimensionale della materia nell'Universo. Questo si potrà ottenere combinando diverse e indipendenti analisi cosmologiche, dal lensing debole prodotto dalle strutture su grande scala, al clustering delle galassie per tracciare le oscillazioni acustiche dei barioni (BAO), allo studio della forma e dell'evoluzione della funzione di massa degli ammassi di galassie. La legacy dei dati Euclid sarà inoltre di immenso valore per la comunità nazionale. L'estrazione ottimale dei parametri cosmologici dalle misure di clustering delle galassie rappresenta il tema centrale del progetto quinquennale INAF finanziato nel 2011 da un ERC Advanced Grant. Le metodologie sviluppate permetteranno ai ricercatori dell'INAF di sfruttare nel modo migliore i dati provenienti dalle diverse *survey* qui menzionate.

Nell'ambito delle anisotropie della CMB su scale angolari maggiori di qualche minuto d'arco, si attendono i risultati cosmologici del **satellite Planck di ESA**, cui l'INAF sta contribuendo in modo fondamentale, che consentiranno di andare ben oltre i risultati dei satelliti COBE, premiati con il premio Nobel per la Fisica nel 2006, e WMAP della NASA. *Planck* raffinerà le stime dei parametri cosmologici, rivelerà dettagli complessi su geometria dell'Universo, modelli inflazionari e difetti topologici, varie tipologie di perturbazioni primordiali, teorie modificate della gravità e violazioni di simmetrie fondamentali (parity, CPT), nel contesto di teorie non standard dell'elettromagnetismo e di fisica delle alte energie, anche studiando l'impatto di particolari canali di decadimento di particelle non standard, modelli di inflazione basati su Higgs, variazioni delle costanti fondamentali, modelli fisici di energia e materia oscura, estensione del 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 dei diversi modi di polarizzazione come 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 in ricerche teoriche e in progetti futuri per **misure di polarizzazione ultra-accurate**, e, in particolare, dei modi B primordiali, contribuendo a idee e progetti per **future missioni ESA** (e.g. Cosmic Origins Explorer, **CORe**, o sue evoluzioni che possano includere anche misure di temperatura assoluta) e a altri **progetti sperimentali preliminari da terra e da pallone, quali** il progetto LSPE (Large Scale Polarization Explorer) su pallone stratosferico, finanziato da ASI e con INAF come partner, finalizzato alle grandi scale angolari e basato su rivelatori di nuova concezione ad elevata sensibilità. Cruciale per questi studi risulta 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 ad altre ricerche in INAF, ma qui finalizzata all'estrazione dell'informazione cosmologica e allo sviluppo di metodi specifici di simulazione e di analisi dati. Infine, si evidenzia la stretta **complementarietà tra gli studi e gli esperimenti di cosmologia e quelli di fisica fondamentale e particellare**, quali quelli condotti al CERN con LHC, che, riproducendo le condizioni dei primi istanti dell'Universo, hanno dato vincoli importanti sull'esistenza del 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, GADGET, ENZO, ecc. per le predizioni e simulazioni teoriche), dall'altro pipeline di analisi dati dedicate nei Data Processing Center di progetto e relativi *tool* specifici di riduzione e analisi dati ed altri di confronto teoria-osservazione, come ad esempio COSMOMC. Risultano cruciale la partecipazione italiana a PRACE tramite CINECA e le collaborazioni internazionali di analisi dati e progetti su GRID (nell'ambito ad esempio del progetto *Planck*). Al momento non esiste una convenzione tra INAF e supercomputing facilities, che sarebbe di fondamentale importanza per la ricerca numerica in astrofisica (infrastrutture di calcolo di medie dimensioni, sviluppo e ottimizzazione di codici, ecc). Infine, vi sono molteplici progetti finanziati con fondi PRIN-MIUR e PRIN-INAF e l'ERC Advanced grant sopra menzionato.

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 sarà l'accesso alle *facilities* dell'European Southern Observatory, con la partecipazione allo sviluppo della strumentazione d'avanguardia dell'ESO e all'utilizzo scientifico degli strumenti attuali e di prossima generazione del VLT e del nuovo VLT Survey Telescope (VST), dedicato a *surveys* a grande campo dal vicino al lontano Universo. Proseguirà inoltre l'utilizzo del 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 saranno impegnati in ricerche spaziali e grandi progetti quali **Chandra**, **XMM-Newton**, **Planck** ed **Herschel**, per i quali sarà necessario supportare per l'analisi scientifica degli stessi (eventualmente tramite accordi con ASI, i PRIN-INAF non risultano essere sufficienti). L'impegno in cosmologia dallo spazio continua con la missione Euclid, che dovrà essere fortemente sostenuta per lo sviluppo dello strumento, delle attività del segmento scientifico di terra e per la preparazione allo sfruttamento scientifico dei dati da parte della comunità nazionale, e, sperabilmente, con una futura **missione post-Planck** dedicata alle anisotropie in polarizzazione della CMB, eventualmente in combinazione con misure assolute di temperatura della CMB.

Altri programmi importanti in cui INAF dovrà essere sempre più profondamente coinvolta nel futuro e in cui si auspica di mantenere alto il livello degli investimenti sono (*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 sensibilità nel (sub-)millimetrico per lo studio di ammassi di galassie tramite l'effetto Sunyaev-Zeldovich; 4) **LSST** (Large Synoptic Survey Telescope) per lo studio della natura della dark energy e della dark matter, oltre che per studi di formazione ed evoluzione di galassie e AGN; 5) **SPICA** (JAXA, ESA): osservatorio spaziale infrarosso per proseguire gli studi iniziati da Herschel e Spitzer; 6) profili di missione per satelliti in banda X quali ad esempio **WFXT**, **Athena**, un nuovo Hard H-ray telescope, **Aegis**, **WHIM-Ex**, in vista delle future call ESA per M4 e L2/3; 7) **NuSTAR** (<http://www.nustar.caltech.edu/>), prima missione spaziale X a focalizzarsi sui raggi X "duri" (6-79 keV), lanciato nel giugno 2012; 8) **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 con galassie e Lyman- α ; 9) **eROSITA** (www.mpe.mpg.de/eROSITA) lancio atteso a fine 2014 che ha come obiettivi principali lo studio della dark energy e della cosmologia con i cluster di galassie, le surveys di AGN e galassie mediante la prima survey del cielo in banda medium-hard X (2-10 keV).