

**MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA
PROGRAMMI DI RICERCA - ANNO 2008**

**COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 20082EFSBF**

Coordinatore Scientifico	Andrea CIMATTI
Ateneo	Alma Mater Studiorum - Università di BOLOGNA
Titolo della Ricerca	Energia oscura e cosmologia con grandi survey di galassie
Finanziamento assegnato	Â EuroÂ 186.317
Durata	24 Â MesiÂ

Obiettivo della Ricerca (come da progetto presentato)

Molti esperimenti e test osservativi sono pianificati per rispondere alle domande aperte della cosmologia moderna. L' origine della espansione accelerata dell' universo è attualmente una delle domande chiave nel contesto della cosmologia di "concordanza" LambdaCDM. E' quindi cruciale organizzare in anticipo e supportare efficientemente le attività preparatorie mirate al pieno sfruttamento del vasto potenziale offerto dalle grandi survey di galassie.

Lo scopo globale del nostro progetto è di rafforzare le collaborazioni esistenti in una rete stabile ed efficiente in modo da coordinare, supportare e effettuare le attività preparatorie necessarie per sfruttare le grandi survey di galassie nel contesto della energia oscura e cosmologia.

I nostri interessi includono un ampio ventaglio di metodi ritenuti più promettenti per rispondere alle domande sulla energia oscura e cosmologia : lensing gravitazionale debole, lo spettro di potenza della materia, le oscillazioni acustiche barioniche (BAO), le distorsioni nello spazio dei redshift, il fattore di crescita, la gravità modificata, le simulazioni N-corpi, la relazione età-redshift, l' effetto Sachs-Wolfe integrato, ammassi di galassie, la formazione ed evoluzione delle strutture.

Lo scopo finale del nostro progetto è rispondere alle seguenti domande.

- Quali sono gli approcci più affidabili e promettenti per rispondere alle domande aperte su energia oscura e cosmologia ?
- Quali sono i metodi migliori e più accurati capaci di sfruttare e "decifrare" l'informazione scientifica contenuta nei dati forniti dalle grandi survey di galassie ?
- Quale è il miglior approccio per combinare metodi diversi allo scopo di controllare e ridurre le incertezze sistematiche e raggiungere la più alta accuratezza nella stima dei parametri della energia oscura e cosmologia ?
- Quali sono i requisiti richiesti per massimizzare il ritorno scientifico delle grandi survey di prossima generazione da terra e dallo spazio ?

Per rispondere a queste domande, ci proponiamo di raggiungere i seguenti obiettivi.

- Effettuare simulazioni analitiche e numeriche per capire il valore relativo e il ruolo di ogni metodo applicabile alla energia oscura e cosmologia.
- Sviluppare il software richiesto per trattare efficientemente i grandi campioni di dati attesi dalle survey di galassie.
- Per ogni metodo, sviluppare gli strumenti richiesti per estrarre l'informazione scientifica dai set di dati e stimare la accuratezza raggiungibile sui parametri stimati.
- Sviluppare gli strumenti necessari per combinare i vincoli statistici provenienti da metodi differenti (es. lensing, BAO, fattore di crescita, ...) allo scopo di ridurre gli effetti sistematici, confrontare i risultati, aumentare la precisione finale sulla stima dei parametri (es. w nella EoS).
- Verificare gli strumenti sviluppati sui dati già esistenti
- Effettuare simulazioni realistiche e dettagliate di dati osservativi di survey spettroscopiche e di "imaging". Allo scopo di definire con attenzione i requisiti scientifici delle survey future come Euclid/JDEM, sarà essenziale sviluppare delle simulazioni "end-to-end" per i casi della spettroscopia (multi-fenditura e slitless) e per il lensing debole.
- Definizione e ottimizzazione dei requisiti scientifici delle future survey da terra e dallo spazio (es. Euclid/JDEM).
- Comprendere come massimizzare le sinergie tra le grandi survey di galassie, le survey multi-frequenza e le osservazioni del fondo cosmico a microonde (CMB).
- Fornire supporto e formazione ai giovani scienziati per prepararli allo sfruttamento delle grandi survey di galassie. L'esperienza da noi acquisita fino ad ora per Euclid e VIPERS mostra molto chiaramente la complessità di questi studi e il bisogno di persone completamente dedicate ai tanti aspetti di queste attività. Quindi, è essenziale aggiungere ai nostri gruppi nuovi e giovani scienziati che lavoreranno a tempo pieno (o quasi) e che avranno l'opportunità di acquisire una estesa esperienza in questo campo di ricerca allo scopo di sfruttare in modo competitivo le nuove grandi survey di galassie. Per questo motivo, pianifichiamo di offrire nuovi posti di dottorato e assegni di ricerca per lavorare nelle aree dove c'è il bisogno di giovani scienziati aggiuntivi (es. BAO, lensing debole, effetto ISW, simulazioni di dati).
- Permettere ai nostri gruppi di mantenere, rafforzare ed espandere le collaborazioni internazionali esistenti.
- Aumentare la competitività della comunità cosmologica italiana in un settore considerato uno dei più importanti delle prossime decadi.

Maggiori dettagli su ogni attività sono forniti in modo estensivo nelle sezioni 12-14 e nei Modelli B specifici di ogni Unità di Ricerca (UNIBO, UNITOV, SISSA, INFN).

Stato dell'arte nel campo (come da progetto presentato)

I parametri cosmologici sono attualmente noti con elevata precisione e risultano in accordo con il modello LambdaCDM (Komatsu et al. 2008), mentre le osservazioni di Supernovae di tipo Ia (Riess et al. 1998, Perlmutter et al. 1999) danno una prova diretta dell'espansione accelerata dell'Universo. Tuttavia, alcune questioni chiave sono ancora aperte. L'energia oscura (Dark Energy, DE) è un'ipotetica forma di energia responsabile dell'espansione accelerata. È caratterizzata da una pressione negativa e costituisce il 70% dell'energia totale dell'Universo. La sua natura è però tuttora sconosciuta. Sono stati proposti due tipi principali di DE: la costante cosmologica, una densità di energia costante nello spazio e nel tempo, e la quintessenza, un campo dinamico la cui densità di energia varia nello spazio e nel tempo. Una possibilità alternativa è che l'espansione accelerata sia il risultato di deviazioni dalla Relatività Generale su grandi scale (gravità modificata). Distinguere questi scenari richiede un'accuratezza dell'1% sul parametro dell'equazione di stato della DE w , ma le attuali misure sono limitate a una precisione del 10%-20% (Albrecht et al. 2007; Peacock et al. 2006). Una serie di esperimenti e survey è stata pianificata per rispondere a questi interrogativi. Le misure e l'analisi dei dati richiesti sono però così impegnative ed aperte a potenziali errori sistematici che è necessario usare dati di survey complementari e combinarli assieme per aumentare l'accuratezza del risultato finale e ridurre gli errori sistematici.

I gruppi che partecipano a questo progetto sono interessati ad alcuni test per la DE e la cosmologia. Lo stato dell'arte attuale di questi test può essere brevemente esposto come segue.

1) OSCILLAZIONI ACUSTICHE BARIONICHE (BAO)

Le BAO sono una serie di picchi e depressioni, su scale dell'ordine di 100 h-1 Mpc, impressi nello spettro di potenza delle fluttuazioni di materia prima dell'epoca dell'ultimo scattering, quando le componenti di materia e radiazione dell'Universo erano accoppiate (Peebles & Yu 1970). Le BAO sono la controparte dei picchi acustici dello spettro di potenza della temperatura della radiazione cosmica di fondo (CMB), anche se hanno una fase diversa e un'ampiezza molto minore (5%-10%). La lunghezza d'onda delle BAO dipende dalla dimensione dell'orizzonte sonoro al momento della ricombinazione. Questa quantità è conosciuta con grande accuratezza e può essere usata come "lunghezza standard". La dimensione apparente di questa peculiarità nello spettro di potenza delle galassie dipende dall'equazione di stato della DE e rappresenta una scala di lunghezza ben definita che può essere misurata a diversi redshift, determinando di conseguenza in maniera puramente geometrica la relazione fra redshift e distanza di diametro angolare e l'evoluzione del parametro di Hubble, e costituisce un vincolo preciso complementare ad altri metodi (e.g. Blake & Glazebrook 2003; Hu & Haiman 2003; Wang 2006). Angulo et al. (2008) hanno dimostrato che la principale limitazione sull'accuratezza del metodo delle BAO è la varianza del campione. Quindi, le osservazioni devono semplicemente essere tali da massimizzare il volume della survey fino a scale di 1 h-3 Gpc³ e un ampio intervallo di redshift. Le BAO nella distribuzione delle galassie sono state osservate per la prima volta con le survey 2dFGRS e SDSS (Cole et al. 2005; Eisenstein et al. 2005), e successivamente combinate con altri dati per vincolare i valori dei parametri cosmologici (e.g. Tegmark et al. 2006; Blake et al. 2007; Padmanabhan et al. 2007; Percival et al. 2007). Fino ad oggi, misurazioni delle BAO hanno prodotto vincoli sull'equazione di stato della DE solo in combinazione con altri dati o assunzioni preliminari. Per sviluppare pienamente il potenziale della tecnica delle BAO, sono necessari campioni molto più grandi di galassie e una copertura in redshift molto maggiore.

2) CLUSTERING DELLE GALASSIE, DISTORSIONE NELLO SPAZIO DEI REDSHIFT E FATTORE DI CRESCITA

Una spiegazione alternativa alla DE per l'espansione accelerata dell'universo è rappresentata dai modelli di gravità non-standard (e.g. Carroll et al. 2004). Questi ultimi possono essere distinti dai modelli di DE misurando il tasso di crescita delle strutture cosmiche a epoche diverse, assieme con il tasso di espansione dell'Universo. Questo può essere misurato usando diverse osservazioni (BAO, lensing debole e Supernovae di tipo Ia). Il tasso di crescita è tracciato invece dalle velocità peculiari delle galassie, e una tecnica chiave per misurarle usa la distorsione nello spazio dei redshift osservata nelle survey di galassie, ossia il fatto che la distanza di una galassia ottenibile dal redshift differisce dalla distanza radiale vera a causa della sua velocità peculiare lungo la linea di vista. Queste distorsioni introducono anisotropie nella funzione di correlazione che possono essere opportunamente quantificate attraverso il parametro di compressione beta. Stime di beta sono state ottenute a $z=0$ (e.g. Peacock et al. 2001) e fino a $z=1$ (Guzzo et al. 2008). Anche se le misurazioni ad alto redshift sono ancora molto influenzate dal rumore, hanno comunque dimostrato la validità di questo approccio e condotto all'approvazione di grandi survey, come VIPERS (PI L. Guzzo), che indicheranno la strada per le grandi e profonde survey future come Euclid di ESA. Per raggiungere l'accuratezza richiesta è necessario migliorare e calibrare gli strumenti teorici. Il problema principale è come ricavare il tasso di crescita dal parametro beta ottenuto dai redshift di galassie senza usare dati aggiuntivi o assunzioni teoriche. Una possibilità è di considerare tutte le fonti possibili di distorsione, incluse quelle geometriche, concentrandosi sulle principali caratteristiche della funzione di correlazione, come i picchi delle BAO. In questo modo, si può ottenere una stima simultanea del tasso di crescita e del bias delle galassie (cioè il fatto che galassie possono non rappresentare fedelmente la distribuzione di massa), se il bias è un processo lineare. In alternativa, si può stimare direttamente il bias usando statistiche di ordine superiore, in combinazione con l'analisi del segnale di lensing debole.

3) SIMULAZIONI N-CORPI AD ALTA RISOLUZIONE

Simulazioni numeriche ad alta risoluzione sono uno strumento obbligatorio per seguire la formazione delle strutture cosmiche nel regime non-lineare. Grazie alla disponibilità pubblica di vari algoritmi a N-corpi, il trattamento numerico dei processi gravitazionali può essere considerato sotto controllo. Simulazioni sempre più grandi hanno condotto a una convergenza dell'ordine di qualche % nella descrizione dell'evoluzione degli ammassi, funzione di massa degli aloni di materia oscura (Dark Matter, DM) e profilo di densità degli aloni. Tuttavia questi esperimenti numerici considerano principalmente il cosiddetto modello standard, mentre scenari alternativi basati su DE dinamica, gravità modificata o modelli con non-Gaussianità primordiale sono stati poco investigati fino ad ora. Simulazioni a N-corpi per questi modelli dovrebbero anche far luce su problemi di fondamentale importanza per la Relatività Generale e l'inflazione. Una possibile complicazione è dovuta alla presenza della componente barionica, che è influenzata da processi fisici diversi dalla sola gravità. Una sua rappresentazione realistica richiede l'uso di appropriati schemi idrodinamici. Purtroppo, la loro applicazione a grandi volumi, necessaria per studi cosmologici, è pesantemente condizionata dal tempo di calcolo. Infine, la disponibilità di simulazioni ad alta risoluzione è uno strumento fondamentale per testare e calibrare i metodi da applicare ai dati veri, permettendo stime solide degli errori attesi.

4) LA RELAZIONE ETÀ-REDSHIFT

L'età dell'Universo a un dato redshift dipende dai parametri cosmologici (Ω_{DE} , Ω_M), da H_0 e da w nell'equazione di stato della DE. Un approccio complementare ai metodi standard per porre vincoli all'equazione di stato della DE è quindi quello di studiare la derivata del tempo cosmico in funzione del redshift (dz/dt). Questo può essere ottenuto analizzando come la distribuzione delle età relative di una popolazione di galassie in evoluzione passiva (ad esempio, galassie ellittiche) varia in funzione del redshift (Jimenez & Loeb 2002, Jimenez et al. 2003). Anche in questo caso, per ottenere una maggiore precisione nella stima dei parametri cosmologici sono necessari campioni di galassie più grandi ed una più vasta possibile copertura in redshift.

5) L'EFFETTO SACHS-WOLFE INTEGRATO (ISW)

In presenza di un'espansione accelerata dell'Universo, il potenziale gravitazionale delle strutture decade nel tempo. Questo lascia un segno nei fotoni della CMB tramite il cosiddetto effetto Sachs-Wolfe Integrato (ISW) (Sachs & Wolfe, 1967). Questo effetto, visibile in un contributo ulteriore alle fluttuazioni in temperatura a grandi scale angolari, è di secondaria importanza rispetto alle anisotropie di CMB primarie (Crittenden & Turok 1996), e può essere disaccoppiato dal segnale primario attraverso una cross-correlazione dei traccianti della materia a basso redshift. Misurare il contributo ISW alle fluttuazioni di CMB può dare importanti informazioni sulla natura dell'energia oscura. La prima rivelazione fu quella di Boughn & Crittenden (2004), usando le mappe della CMB ottenute dal primo anno di WMAP unite alle mappe del background X-ray HEAO-1. Altre analisi recenti hanno confermato questo risultato usando diversi traccianti di materia (Pietrobon et al. 2006; McEwen et al. 2008; Raccanelli et al. 2008), e hanno posto vincoli sul più semplice modello di DE, parametrizzato da un'equazione di stato costante.

6) CONNESSIONI TRA MATERIA OSCURA, DE E BARIONI

L'abbondanza di aloni di DM in funzione del tempo è ben rappresentata dalle formule analitiche di Sheth & Tormen 1999 (ST) e Jenkins et al 2001 (J01). Linder & Jenkins (2003) hanno dimostrato che la formula J01 è compatibile anche con un Universo con DE dinamica. Bartelmann, Doran & Wetterich 2006 (BDW) hanno svolto uno studio semi-analitico usando la funzione di massa ST di modelli con una quantità significativa di DE nell'Universo primordiale, la cosiddetta DE Primordiale ("Early Dark Energy", EDE). Studi con simulazioni N-corpi di cosmologie EDE (Francis et al. 2008, Grossi & Springel 2008, Francis et al. 2009) hanno dimostrato in tali modelli un accordo tra le simulazioni. Grandi simulazioni numeriche a N-corpi sviluppate in un Universo LCDM predicono un profilo di densità radiale per gli aloni con un unico parametro universale (Navarro, Frenk and White, 1996). Le proprietà degli aloni di DM contengono inoltre anche informazioni sulla DE. Dolag et al. 2004 e Grossi & Springel 2008 hanno dimostrato che gli aloni tendono ad essere più concentrati nelle cosmologie DE ed EDE rispetto a quelle LCDM. La crescita di strutture non lineari risulta modificata se la DM e la DE sono accoppiate (Amendola 2000).

Molte teorie relativistiche sono state sviluppate nell'ambito della gravità modificata per spiegare le attuali osservazioni senza chiamare in causa la DE e la DM (Fuzfa & Alimi 2007, Durrer & Maarteens 2008). In queste teorie, le equazioni che descrivono l'espansione accelerata su grandi scale sono analoghe a quelle che descrivono la DM su scala galattica. E' quindi possibile sviluppare codici adeguati a studiare entrambi i problemi. L'analisi di strutture non lineari nelle cosmologie $f(R)$ è comunque tuttora ai suoi inizi (Caroll et al 2004, Capozziello et al 2003).

Le grandi survey galattiche sono la base delle potenti tecniche finora proposte per testare le proprietà della DE. Tuttavia, è necessario conoscere l'astrofisica dei barioni per poter misurare la distribuzione degli aloni di DM e quindi le proprietà della DE, poiché il clustering osservato delle galassie non necessariamente è una mappa fedele del clustering della materia oscura: questa relazione dipende dalle proprietà della galassia, con un andamento che evolve nel tempo. L'evoluzione dei barioni può essere seguita tramite simulazioni numeriche o modelli semi analitici (De Lucia et al. 2007, Hopkins et al. 2006, Granato et al. 2006), ma molte questioni fondamentali risultano ancora aperte. La comprensione di questi problemi ci permetterà di ridurre gli errori sistematici nella determinazione dei parametri della DE.

7) LENSING GRAVITAZIONALE DEBOLE

Il lensing gravitazionale debole (Weak lensing, WL) consiste nella presenza di piccole distorsioni nella forma delle galassie causate da concentrazioni di massa lungo la linea di vista. Questo fenomeno può essere usato per ricostruire la distribuzione di massa a grandi scale lungo linea di vista (e.g. Hoekstra et al. 2006, Fu et al. 2008). Misure di WL possono quindi essere direttamente confrontate con modelli teorici di formazione di strutture (e.g. Hoekstra & Bhuvnesh 2008), rappresentando potenzialmente un utile strumento per misurare i parametri cosmologici (Refregier 2003a, Heavens, 2008). Il lensing misura sia la geometria dell'Universo (e quindi $H(z)$), sia l'ampiezza dello spettro di potenza a diversi redshift ($\sigma_8(z)$), da cui il fattore di crescita e , in una cosmologia standard, la densità media di materia Ω_M . Tuttavia è richiesta una grande accuratezza nella misura (attualmente circa il 4%, e.g. Nakajima & Bernstein 2007) e una buona conoscenza della distribuzione in redshift delle galassie. Dati i limiti negli attuali campioni spettroscopici, sono necessari redshift fotometrici notevolmente accurati (Ma et al. 2006, Abdalla et al. 2008), specie se si vuole misurare il segnale e lo spettro di potenza in diversi intervalli di redshift (tomografia). Per rilevare con precisione adeguata il segnale, è necessario analizzare grandi volumi effettivi, con una risoluzione tale da poter risolvere spazialmente un gran numero di galassie che hanno subito lensing. Risultati significativi sono stati ottenuti con osservazioni spaziali (HST nel campo COSMOS, Massey et al. 2007), ma anche recentemente con osservazioni da terra (Benjamin et al. 2007, Fu et al. 2008).

8) AMMASSI DI GALASSIE

Gli ammassi di galassie sono gli ultimi prodotti dell'aggregamento gerarchico di piccole nubi in strutture non lineari, che possono arrivare a superare 10^{15} masse solari. Poiché gli ammassi hanno origine dai picchi di alta concentrazione di perturbazione di densità primordiale, la loro densità numerica e distribuzione di massa è molto sensibile ai parametri di densità di materia e di DE (Rapetti et al. 2009). Tuttavia, queste concentrazioni di massa non possono essere osservate direttamente e sono necessarie altre osservabili, come l'emissione X o la sovradensità delle galassie, anche al fine di stimarne la massa.

Il lensing gravitazionale, come descritto sopra, rappresenta un'altra tecnica promettente per misurare il profilo di massa totale di singoli ammassi tramite la distorsione del background di galassie (e.g. Hamana et al. 2004). Recenti misure della densità spaziale media degli ammassi fino a $z \sim 1$ e del clustering a grande scala implicano una $\sigma_8 \sim 0.8$ e un $\Omega_M \sim 0.3$, con incertezze del 10%-20% (e.g. Schuecker et al. 2003, Vikhlinin et al. 2009, Rosati et al. 2002, Voit 2005). Le prossime survey di ammassi basate sull'effetto Sunyaev Zeldovich (SZ) e sull'emissione diffusa di raggi X (e.g. SPT dal 2007, Planck dal 2009, eROSITA dal 2012) darà inizio ad una nuova era per tali studi, identificando migliaia di ammassi ad alti z . Numerosi studi hanno evidenziato il potenziale di questi futuri progetti per ottenere accurate misure dei parametri cosmologici (e.g. Majumdar and Mohr 2003, 2004), a condizione di avere una profonda conoscenza delle relazioni tra le quantità osservabili, come la luminosità a raggi X e la massa.

Criteri di verificabilità (come da progetto presentato)

Per valutare i risultati ottenuti con il nostro progetto, proponiamo il seguente approccio.

Ogni 3 mesi faremo una review interna finalizzata a:

- valutare lo stato del progetto (globalmente e per ogni unità di ricerca)
- valutare lo stato delle pubblicazioni
- definire un piano di lavoro per i successivi 3 mesi.

I criteri che verranno utilizzati per valutare i risultati ottenuti possono essere riassunti nel modo seguente:

- Presentazioni a conferenze internazionali.
- Presentazioni a conferenze nazionali.
- Pubblicazioni nelle principali riviste internazionali con il maggior numero di citazioni e più alto fattore di impatto.
- Presentazioni in convegni interni e esterni (e.g. riunioni, gruppi di lavoro scientifici, ESA, NASA, agenzie nazionali...).
- Creazione di siti internet dedicati al progetto, dove raccogliere le pubblicazioni e altri materiali utili. Parte del materiale verrà anche reso pubblico.
- Review interne periodiche del progetto.

- Sarà inoltre importante far conoscere il progetto e i suoi risultati con articoli in riviste divulgative e conferenze aperte al grande pubblico.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Alma Mater Studiorum - Università di BOLOGNA
Responsabile Scientifico	Andrea CIMATTI
Finanziamento assegnato	Â EuroÂ 53.726

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

L'obiettivo principale dell'Unità di Ricerca del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna (UniBO) consiste nello sviluppo di un programma centrato sugli argomenti scientifici delineati nella Sezione 11 al fine di: a) sviluppare gli strumenti necessari per sfruttare completamente i dataset provenienti dalla prossima generazione di survey, b) combinare diversi studi cosmologici e di Energia Oscura per aumentare l'affidabilità e l'accuratezza dei vincoli statistici; c) fornire supporto e formazione a giovani ricercatori che giocheranno un ruolo fondamentale in questo campo nei prossimi decenni. Questo obiettivo sarà raggiunto attraverso simulazioni per le survey future ed utilizzando i più grandi dataset esistenti (ad esempio SDSS) come punti di riferimento per testare questi strumenti. Oltre all'interesse generale nello sfruttamento scientifico delle grandi survey in corso o imminenti (es. VIPERS, SDSS-III, ...), la nostra Unità di Ricerca occupa un ruolo speciale e di primo piano nella missione ESA Euclid (o nella sua evoluzione in vista di una possibile fusione con l'equivalente missione JDEM della NASA) grazie al forte coinvolgimento in tutti gli aspetti relativi alla utilizzazione scientifica dei dati attesi dalle survey di IMAGING e spettroscopiche. In particolare, A. Cimatti è il PI della survey e dello strumento spettroscopici e L. Moscardini è nel GRUPPO GUIDA della strumentazione di IMAGING.

LA MISSIONE EUCLID

La missione Euclid dell'ESA (risultato della fusione tra le missioni SPACE e DUNE avvenuta nel 2008 e che sarà probabilmente fusa con la missione NASA/DOE JDEM nel 2009) è finalizzata al WEAK LENSING e alle BARYONIC ACOUSTIC OSCILLATIONS, due metodi d'indagine potenti ed affidabili del lato oscuro dell'Universo. La missione studierà la relazione distanza-redshift e l'evoluzione delle strutture cosmiche misurando le forme e i redshift di galassie e ammassi di galassie. Lo studio statistico di strutture in un volume di Universo grande richiede una survey di una grande porzione di cielo extragalattico. La missione include anche altri studi cosmologici come la statistica degli ammassi di galassie, l'effetto Sachs Wolfe integrato e le distorsioni nello spazio dei redshift. Il concetto scientifico di Euclid si sviluppa dalla considerazione che i risultati combinati dei metodi principali di indagine forniscono dei vincoli molto stretti all'equazione di stato dell'Energia Oscura e permettono di risolvere errori sistematici e bias che sono connessi ad ogni singolo tipo di analisi. Euclid è inoltre progettato per fornire un set di dati in grado di affrontare le questioni principali sulla formazione e l'evoluzione delle strutture e di indagare i legami tra Materia Oscura e luminosa. A questo riguardo, siamo convinti che l'"eredità" di Euclid rimarrà come un fattore chiave di immenso valore per studi in tutte le aree delle moderne cosmologia e astrofisica. Euclid produrrà un'immagine visibile di una larga frazione del cielo extragalattico (20.000 deg^2) ad una risoluzione spaziale al limite di diffrazione impossibile da ottenere da terra, ed immagini infrarosse (IR) della stessa area in una o più bande. Euclid fornirà anche spettri a media risoluzione di circa un terzo di tutte le galassie più brillanti della magnitudine limite minima di $H(AB) = 22 \text{ mag}$ nella stessa area.

BARYONIC ACOUSTIC OSCILLATIONS (BAO)

Come già accennato nella Sezione 11, il metodo delle BAO si basa sulla distribuzione della materia barionica, cioè una survey di redshift di galassie, per ricavare la relazione distanza di diametro angolare - redshift. La lunghezza di scala caratteristica della struttura è accuratamente determinata dalla radiazione cosmica di fondo ed è usata come "righello standard". Misurando questa scala caratteristica nello spettro di potenza delle galassie (o funzione di correlazione) in funzione del redshift sia in direzione tangenziale sia in direzione del redshift, si può verificare la storia dell'espansione $H(z)$ e quindi l'equazione di stato dell'Energia Oscura $w(z)$. Allo stesso tempo, la distorsione statistica del PATTERN del CLUSTERING è una conseguenza diretta della crescita delle strutture. Gli obiettivi principali della nostra Unità di Ricerca riguardo alle BAO possono essere riassunti nel modo seguente:

- Sviluppo di strumenti e software per:
 - ° il calcolo dello spettro di potenza delle galassie
 - ° la misura delle proprietà delle BAO e il confronto delle diverse tecniche
 - ° stimare l'accuratezza e la Figure of Merit raggiungibili sull'equazione di stato dell'Energia Oscura e sui parametri cosmologici seguendo le indicazioni del DETF Report e del JDEM-SWG (Albrecht et al. 2007,2009).
 - ° per combinare statisticamente i vincoli delle BAO con altre misure dell'Energia Oscura
- Studiare la dipendenza dell'accuratezza delle BAO con:
 - ° il tipo galattico e il relativo BIAS
 - ° le caratteristiche della survey (area, profondità, volume, intervallo di redshift, precisione del redshift) al fine di ottimizzare le richieste scientifiche di survey future
- Testare gli strumenti sviluppati su
 - ° dataset esistenti (VIPERS, SDSS, SDSS-III)
 - ° dataset simulati estratti dalla Millennium Simulation.

LA RELAZIONE ETÀ-REDSHIFT

Come accennato nella Sezione 11, la relazione età-redshift può essere utilizzata per porre dei vincoli sull'equazione di stato dell' Energia Oscura e sul parametro di Hubble.

La nostra Unità di Ricerca intende procedere in questo studio, attraverso l'unione dei più appropriati campioni di galassie disponibili ad oggi e lo sviluppo degli strumenti necessari per survey future più grandi. Si conta di estrarre un grande campione (più di 10^4) di galassie Early Type (ETGs) (da $z=0$ a $z=2$) dai cataloghi delle survey COSMOS, GMASS, GDDS e K20. Le ETGs selezionate hanno redshift spettroscopici e Distribuzioni spettrali dell'Energia (SEDs) che vanno dall'UV al medio infrarosso. I passi principali di questa attività possono essere riassunti come segue:

- selezione del campione
- simulazioni per valutare l'accuratezza raggiungibile sulla stima dell'età stellare in funzione di redshift, metallicità, storia di formazione stellare, modelli sintetici di popolazione stellare
- sviluppo degli strumenti necessari per derivare l'età dalla SED e/o del fit degli spettri con modelli di popolazione stellare
- derivazione della relazione età- redshift ed il suo involucro superiore costituito dalle ETGs più vecchie
- confronto della relazione età- redshift con le predizioni di diversi modelli cosmologici e vincoli sull'equazione di stato dell'Energia Oscura e, possibilmente, di H_0
- combinazione dei risultati con vincoli da altre misure cosmologiche

FATTORE DI CRESCITA (Growth factor)

Come accennato nella Sezione 11, il tasso di crescita delle strutture è fondamentale per decidere se l'accelerazione cosmica è guidata da una qualche forma di Energia Oscura o può essere giustificata attraverso una modifica della Relatività Generale. Questa quantità può essere dedotta dalle anisotropie nella statistica a due punti delle galassie come la funzione di correlazione o dalla sua trasformata di Fourier, lo spettro di potenza. In questa Unità di Ricerca affronteremo il problema della misura del tasso di crescita delle strutture da un punto di vista teorico. Le anisotropie osservate, quantificate attraverso il parametro di compressione β , coincidono con il tasso di crescita solo se le galassie tracciano la distribuzione di materia sottostante mentre, in generale, le galassie le galassie rappresentano in modo distorto (biased) la distribuzione generale di massa. Tale relazione di BIAS deve essere specificate per dedurre il fattore di crescita da β . Questo problema può essere affrontato in diversi modi. Si può aggirare il problema modellizzando le proprietà di correlazione della distribuzione di massa sottostante (e.g. Cabré and Gaztanaga 2008). Alternativamente, si possono usare le anisotropie per vincolare il fattore di crescita insieme ad altre quantità che dipendono solo dalla distribuzione della massa e non delle galassie (Song and Percival 2008). In questa Unità di Ricerca preferiamo concentrarci su due ulteriori strategie che non richiedono informazioni aggiuntive teoriche o osservative.

- La prima tiene conto dell'intera struttura delle anisotropie nella funzione di correlazione alla quale contribuiscono distorsioni sia dinamiche sia geometriche. Queste ultime, note anche come effetto Alcock-Paczynski (1979), emergono quando viene assunto un modello cosmologico sbagliato per calcolare la separazione tra le galassie a partire dai loro redshift. Individuare e sbrogliare queste due sorgenti di distorsione permette di stimare il fattore di crescita e di vincolare il bias. Tentativi di effettuare questa analisi utilizzando le survey attualmente disponibili sono stati in genere infruttuosi a causa del limitato numero di oggetti e del piccolo volume delle survey (Ross et al. 2007). Useremo cataloghi di galassie estratti da simulazioni cosmologiche molto grandi effettuate da questa Unità di Ricerca o dai nostri collaboratori all'Università di Durham per ottimizzare gli strumenti statistici per l'analisi di survey di redshift tipo Euclid, spingendoci alle tipiche scale delle BAO dove il BIASING è verosimilmente lineare.

- La seconda strategia consiste nell'affrontare direttamente il problema del BIASING. Grazie al grande numero di galassie, questo può essere fatto utilizzando statistiche di ordine elevato, come per la 2dFGRS (Verde et al. 2001) o usando tecniche di inversione autoconsistenti che coinvolgono la funzione di distribuzione di probabilità totale delle galassie (e.g. Sigad, Branchini & Dekel 2000). In particolare ci piacerebbe concentrarsi su questa seconda strategia che vincola l'intera funzione

di BIASING, permettendo di individuare possibili deviazioni dalla linearità e di sottrarli da altri effetti non lineari come le non gaussianità primordiali e la dinamica non lineare. Per ottimizzare e calibrare questi strumenti useremo cataloghi di aloni di Materia Oscura, il cui BIAS può essere stimato analiticamente, e galassie estratte da simulazioni cosmologiche a N corpi molto grandi come quelle della Millennium run (De Lucia & Blaizot 2007)

- Vincoli aggiuntivi indipendenti sul BIASING delle galassie verranno ottenuti combinando i risultati di queste analisi con quelli ottenuti dalla tomografia della struttura attraverso il segnale di SHEAR dal WEAK LENSING ottenuto dai redshift fotometrici. L'esperienza chiave su questo argomento è fornita dall'Unità di Ricerca INAF di questa proposta. Inoltre, il nostro successo nel caratterizzare il BIAS delle galassie fornirà un bonus aggiuntivo nella stima del fattore di crescita poiché effettuare l'analisi utilizzando due diversi tipi di galassie con BIAS noti permette di abbattere la varianza cosmica (McDonald & Seljak 2008). Sottolineiamo che lo studio del BIAS delle galassie aggiunge pezzi importanti al quadro complicato della formazione ed evoluzione delle galassie, e quindi integra nel modo corretto tutte le attività in questa Unità di Ricerca mirate a comprendere le proprietà delle galassie e la loro evoluzione. Come detto, questa attività verrà svolta in stretta collaborazione con i membri dell'Unità di Ricerca dell'INAF che ottimizzeranno questi stessi estimatori del fattore di crescita considerando gli effetti di selezione della survey e la strategia osservativa.

SIMULAZIONI N CORPI AD ALTA RISOLUZIONE

Come accennato nella Sezione 11, le simulazioni numeriche sono uno strumento fondamentale per estendere le previsioni teoriche anche nel regime non lineare. La loro disponibilità renderà possibile un confronto più diretto con le osservazioni, permettendo di valutare la robustezza statistica delle corrispondenti misure. Grazie ad una stretta collaborazione di lunga durata con i gruppi numerici di Garching e Durham, insieme con l'accesso facilitato alle risorse di calcolo al CINECA, nell'abito dell'accordo esistente INAF-CINECA, parte dell'attività scientifica della nostra Unità di Ricerca (in collaborazione con quella della SISSA) sarà dedicata alla produzione e al POST-PROCESSING di simulazioni idrodinamiche N corpi ad alta risoluzione. Le simulazioni verranno effettuate con il codice Tree-SPH GADGET, ampiamente utilizzato in passato da membri del nostro gruppo. Grazie alla collaborazione con il gruppo dei suoi inventori, possiamo avere accesso a versioni aggiornate e non pubbliche del codice, che nella versione attuale include diversi processi fisici rilevanti per la formazione delle strutture, quali RADIATIVE COOLING, STAR FORMATION, feedback da supernove, riscaldamento dal fondo UV, conduzione termica, arricchimento chimico, ecc.). Cosa molto importante per questo progetto, sono state fatte o sono in corso d'opera modifiche al codice GADGET che permettono di indagare scenari non standard, come quelli in cui vengono considerate la Quintessenza, la gravità modificata o le non gaussianità primordiali. Un primo gruppo di simulazioni cosmologiche idrodinamiche per diversi modelli di Energia Oscura è già stato effettuato e sarà immediatamente utilizzabile all'interno di questa proposta. Considerano grandi box (300-500 Mpc) con quasi un miliardo di particelle, seguono un vasto insieme di processi fisici e indagano modelli con costante cosmologica e Quintessenza sia ordinaria sia estesa. L'insieme di simulazioni verrà progressivamente esteso durante questo progetto, considerando altri modelli di Energia Oscura (come Quintessenza accoppiata, EARLY DARK ENERGY, gravità modificata) e realizzando risimulazioni concentrate su singoli ammassi di galassie con la tecnica ZIC (Tormen et al. 2006). I passi principali di questa attività possono essere riassunti in questo modo:

- calibrazione della evoluzione non lineare del CLUSTERING in diversi modelli di Energia Oscura, studiando gli effetti prodotti dalla componente barionica, le loro implicazioni per l'analisi delle BAO e del WEAK LENSING;
- calibrazione degli ammassi di galassie come sonde cosmologiche: funzione di massa degli aloni, relazioni di scala tra massa e quantità osservabili, valutando i vantaggi di un approccio multi lunghezza d'onda;
- produzione di un grande campione di realizzazioni di coni di luce passati dalla possibile combinazione di diversi OUTPUT di simulazioni (Roncarelli et al. 2006): questo rappresenterà l'INPUT per la simulazione di osservazioni di lensing che saranno effettuate dall'Unità di Ricerca dell'INAF per studiare i requisiti delle survey future e per la calibrazione degli strumenti per identificare gli ammassi di galassie in survey profonde;
- produzione di cataloghi di galassie simulati adatti per lo studio degli effetti sistematici nelle analisi basate sul fattore di crescita e sulle distorsioni del redshift.

EREDITÀ SCIENTIFICA

La nostra Unità di Ricerca è interessata anche all'"eredità" scientifica che sarà possibile affrontare con la prossima generazione di survey galattiche. La nostra unità di Ricerca utilizzerà i dati delle survey più grandi e più profonde esistenti (ad esempio COSMOS, SDSS) per sviluppare e testare le tecniche che verranno applicate ai DATASET delle prossime survey. Il nostro interesse specifico è l'assemblamento di massa in galassie ed ammassi in funzione di redshift, ambiente e proprietà delle galassie e il confronto con le predizioni della cosmologia LambdaCDM. Inoltre, studieremo come massimizzare il successo scientifico delle sinergie tra le prossime survey multi lunghezza d'onda (e.g. Planck, Herschel, JWST, eROSITA, SPT ...). Il nostro gruppo ha una vasta esperienza in questo campo di ricerca, ed ha durature collaborazioni, e talora una vera e propria unità operativa con altre unità di ricerca (ad esempio INAF - OABO).

Sede dell'Unità	Istituto Nazionale di Astrofisica (CESSATO DAL SERVIZIO)
Responsabile Scientifico	Roberto SCARAMELLA
Finanziamento assegnato	Â EuroÂ 74.601

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Per ottenere utili informazioni cosmologiche da dati astronomici sono necessarie risposte sicure alle seguenti domande: quanto differenti campioni di galassie seguono la struttura su grande scala della materia (ossia, quanto bene misuriamo il "bias")? Con che precisione siamo in grado di separare gli effetti lineari e non lineari della distorsione dei redshift? Le luminosità e temperature ottenute dai raggi X forniscono una misura precisa della massa totale degli ammassi? Quanto sono influenzate le misure di weak lensing da effetti strumentali o da allineamenti intrinsecamente coerenti delle galassie lungo i filamenti e i super-ammassi? Quale è l'effetto dell'evoluzione delle galassie quando sono utilizzate come traccianti cosmologici? Quanto influisce la selezione del campione sulle stime cosmologiche? Qual è il migliore uso di informazioni complementari ottenibili da metodi differenti?

E' necessario un intenso lavoro su queste problematiche per contribuire a risolvere il mistero dell'accelerazione cosmica, utilizzando sia la futura generazione di survey a terra, quali Pan-STARRS, SPT, VIPERS, BOSS, DES che quella di esperimenti spaziali come E-ROSITA, EUCLID (in cui la nostra UdR è significativamente coinvolta), JDEM. A questo scopo progettiamo di lavorare sia sulle simulazioni che su dati già disponibili (VVDS, zCOSMOS, CFHTLS) allo scopo di migliorare la comprensione degli strumenti disponibili, svilupparne di nuovi e ottimizzarne l'utilizzo.

WEAK LENSING

Il programma previsto per la nostra UdR riguarda l'analisi combinata di simulazioni dettagliate e dati osservativi, in modo da migliorare e validare l'accuratezza e le prestazioni dei metodi di analisi del "weak lensing" [WL]. Al fine di misurare i parametri cosmologici non c'è probabilmente altra tecnica così potente e tuttavia così sensibile agli errori sistematici come quella del WL, quindi molti sforzi devono essere dedicati agli aspetti tecnici.

Un ingrediente chiave per le analisi "tomografiche" di WL è la conoscenza esatta della distanza delle galassie ma, a causa dei flussi limite deboli e del grande numero di galassie, è essenziale l'uso di redshift fotometrici precisi (z-phot), ottenuti con osservazioni in più bande. Anche se meno preciso del redshift spettroscopico, quello fotometrico è utile anche per stimare le BAO o selezionare sottocampioni dalla popolazione generale (Blake et al 2007, Abdalla et al. 2008). Le tecniche standard sono oggi robuste, e usano tecniche di minimizzazione del Chi-quadro, metodi bayesiani, o reti neurali artificiali. Sia queste che nuove tecniche oggi allo studio possono ulteriormente migliorare la già ottima precisione degli z-phot (Ilbert et al. 2009; progetto COSMOS). E' perciò necessario un ottimo controllo degli effetti sistematici. Un'attenzione specifica sarà dedicata a questi aspetti, grazie alla nostra esperienza e competenza sulle tecniche di redshift fotometrici (Grazian et al. 2006). Verificheremo inoltre mediante simulazioni la precisione degli z-phot in funzione della profondità, della copertura in lunghezza d'onda, dell'uniformità fotometrica delle survey e dell'uso di diversi template che riflettono differenti storie di formazione stellare.

Nello studio del WL, errori sistematici possono essere prodotti durante le osservazioni, l'elaborazione delle immagini, la separazione tra stelle e galassie, la rimozione di segnali artificiali e infine nella misura della forma delle galassie stesse: ciascuno di questi processi deve essere compreso, modellato e il suo effetto valutato

attentamente. Fra questi aspetti, il trattamento dei problemi della PSF (dovuta alla turbolenza atmosferica per le osservazioni a terra o da instabilità strumentali negli strumenti spaziali) è il più importante. Finora il metodo più utilizzato per rimediare a questi problemi è il cosiddetto metodo KSB (Kaiser et al. 1995). Le simulazioni numeriche (Bacon et al. 2001, Heymans et al. 2006, Massey et al. 2007) indicano che il metodo di KSB è sufficientemente accurato (~10-20%), ma con alcune limitazioni intrinseche che richiedono approcci differenti.

Nella comunità scientifica è in atto il tentativo di comprendere meglio le attuali tecniche di analisi e lo sviluppo di nuove procedure più esatte, che includono i metodi di deconvoluzione di modelli di PSF, di "shape-fitting" (Miller et al. 2007, Kitching et al. 2008), o di decomposizione in "shapelets" (Refregier 2003b, Refregier & Massey 2005, Kuijken 2006). A causa delle iniziali discrepanze nei risultati ottenuti da gruppi differenti sugli stessi dati, è diventato importante negli ultimi anni l'uso delle simulazioni di immagini realistiche per valutare la robustezza dei differenti metodi (Heymans et al. 2006, Massey et al. 2007). Le simulazioni mostrano che, usando profili regolari delle galassie, le misure di distorsione possono raggiungere una precisione di ~2%. Tuttavia, quando morfologie realistiche sono incluse nelle simulazioni, sono stati evidenziati parecchi problemi non sufficientemente studiati (i.e. effetti di pixelization, morfologie complesse etc). Questi ed altri aspetti, quale la corretta modellizzazione della PSF in osservazioni a grande campo, effetti di rumore di fondo correlato etc., restano ancora da approfondire.

In questa UdR è stata sviluppata una procedura specifica (SkyLens) per la produzione di realistiche osservazioni simulate (Meneghetti et al. 2008). Il codice utilizza le immagini di galassie distanti osservate con HST in varie bande e le combina utilizzando sia il redshift che SED di galassie per riprodurre osservazioni a più bande di ampie regioni del cielo. Sono inclusi anche il rumore di fondo, gli effetti atmosferici e tecniche di ray-tracing per includere gli effetti di WL da parte di strutture cosmiche simulate, ottenute da simulazioni numeriche ad alta definizione da questa UdR (GalCOS in OACT) e da simulazioni N-body+hydro dalla UdR UniBo. Tramite SkyLens analizzeremo i seguenti aspetti cruciali: (i) Calibrazione delle procedure di analisi dati in uso per survey attuali e future: effetti della discretizzazione delle immagini e di una PSF variabile nel campo. (ii) Precisione delle misure cosmologiche di WL con simulazioni di parecchie centinaia di gradi quadrati del cielo in bande e profondità differenti, usando le specifiche adottate nelle prossime survey di WL. Ciò produrrà cataloghi di galassie "lensed" in vari ambienti cosmici e permetterà di capire meglio gli effetti della selezione del campione, delle variazioni nella distribuzione delle galassie di fondo, degli allineamenti intrinseci e dell'evoluzione morfologica

Con la UdR-UniRoma2 studieremo l'accoppiare il WL con il CMB (ISW, Douspis et al. 2008, Hirata et al. 2008). Sempre con la stessa UdR un obiettivo primario è studiare nuovi e migliori metodi per le misure di forma delle galassie, che dovrebbero permettere di raggiungere almeno una precisione < 5% per le sorgenti con SNR~20. A questo scopo verranno esplorati nuovi metodi come l'uso degli shapelets o la misura bayesiana dei profili di luminosità superficiale della galassia. Inoltre studieremo l'uso della flessione e la decomposizione nei modi B e E. Una volta che tutti i test appropriati ed il controllo delle sistematiche saranno completati sulle immagini simulate, applicheremo le nostre procedure di misura della forma ad una gran mole di dati disponibili. La CFHTLS, survey che copre un'area totale di 170 gradi quadrati in cinque bande ottiche (ugriz), è ora completata e fornisce un set di dati unico per le misure di WL (cosmic shear, lensing tra galassie, rilevazione e misura della masse degli ammassi). La maggior parte dei dati sono pubblici e stiamo iniziando una specifica collaborazione con Y.Mellier (IAP, Parigi), uno dei maggiori esperti in WL e nella riduzione dei dati provenienti dal CFHT: sarà quindi immediatamente possibile verificare i nostri metodi sui dati reali. Saremo quindi pronti a sfruttare i dati di survey future, per esempio KIDS+VIKING, una survey pubblica di 1500 gradi quadrati ai telescopi VISTA e VST dell'ESO, di cui Radovich è co-I, con inizio previsto nel 2009. Su scale temporali più lunghe, progettiamo di essere pronti a trattare i dati forniti da missioni spaziali quali EUCLID, cui questa UdR partecipa (R. Scaramella è co-PI del canale di imaging), che per essere pienamente sfruttate richiederanno precisioni anche maggiori (< 1%) sulle misure di forma.

REDSHIFT-SPACE DISTORTIONS

L'applicazione pratica delle distorsioni nello spazio dei redshift per studiare l'accelerazione cosmologica è ancora giovane: i campioni spettroscopici a $z > 0.5$ cominciano solo ora ad essere sufficientemente grandi da permettere sia l'estrazione dal rumore del segnale lineare che superare la varianza cosmica. I membri di questa UdR hanno svolto un ruolo importante proponendo l'applicazione delle distorsioni dei redshift come sonde dell'accelerazione cosmica (Guzzo et al. 2008). L'estrazione del segnale di distorsione dalle misure di clustering a 2 punti richiede una modellizzazione precisa degli effetti non lineari e di selezione del campione. L'unico approccio corretto a questo problema richiede simulazioni Monte Carlo basate su grandi campioni sintetici di galassie, realisticamente costruiti da simulazioni numeriche. In collaborazione con membri della UdR-UniBO, abbiamo accumulato un'esperienza significativa su questi aspetti tecnici. Estenderemo questi test a volumi molto più grandi, attesi dalla prossima generazione di survey spettroscopiche. Le nostre previsioni Monte Carlo (MC) indicano che è possibile raggiungere errori statistici su beta dell'ordine di pochi % con survey che arrivano a $z \sim 1$, con densità di galassie dell'ordine $10^{-2}-10^{-3}$ (h/Mpc) 3 e che esplorino volumi circa 10^8-10^9 (Mpc/h) 3 . I membri di questa UdR sono direttamente coinvolti in diversi progetti osservativi (VVDS; zCOSMOS; L. Guzzo è PI di VIPERS, una survey spettroscopica di 10^5 galassie a ESO), e hanno diretta esperienza dei vincoli strumentali e osservativi. Questi progetti sono utili per i prossimi sviluppi che verranno raggiunti con le redshift survey previste su satelliti dedicati allo studio dell'energia oscura (DE), come EUCLID e JDEM. Tali progetti, fornendo più di 10^7 redshift in 10 intervalli tra $z=0.5$ e 2, otterranno accurate determinazioni di beta in ogni bin, vincendo non solo un semplice "gamma-model" per il tasso di crescita delle strutture, ma anche l'evoluzione dettagliata della $f(z)$ nel tempo. Questa UdR ha diretti legami con la progettazione e lo sviluppo dei due importanti progetti spaziali dedicati alla DE, con membri che fanno parte dei gruppi di lavoro scientifici di EUCLID ed hanno partecipato alla definizione dei requisiti scientifici di JDEM (Albrecht et al. 2009).

Il lavoro della nostra unità su questo argomento sarà sviluppato anche in stretta collaborazione con la UdR-UniBO, in particolare per la misura e comprensione del "galaxy bias". Infatti, le distorsioni nello spazio dei redshift vincolano la combinazione $\sigma_8(m,z) \times f(z)$ che, nell'ipotesi di bias deterministico e lineare, corrisponde al prodotto osservativo $\beta \times \sigma_8$ (da galassie) (Percival & White 2008). Una volta combinato con la normalizzazione ad alto z dello spettro di potenza dalle osservazioni di CMB (Planck), questo permetterà di determinare il prodotto $G(z) \times f(z)$. Una determinazione indipendente del bias delle galassie, per esempio utilizzando il bispectrum, permetterebbe di misurare separatamente sia $G(z)$ che $f(z)$. Il collegamento alle misure di anisotropia di CMB è assicurato sia da membri di questa stessa UdR che mediante l'interazione con altre UdR di questo PRIN, che fanno parte del progetto Planck (Roma e SISSA).

Progettiamo inoltre di verificare nuovi metodi per combinare campioni diversi per migliorare la stima di beta e verificare l'effetto della selezione ed evoluzione delle galassie sulla sua determinazione. Lavori teorici recenti (McDonald & Seljak 2008) suggeriscono che l'uso di due classi di galassie (traccianti con diversi bias), dovrebbe permettere di raggiungere precisioni migliori di quelle fornite dalle nostre previsioni MC. Ciò dà una chiara indicazione degli intensi sviluppi in questo campo. Questi nuovi sviluppi vanno verificati usando survey simulate con dimensioni e "noise" realistici, utilizzando l'esperienza di questa UdR e quella UniBo per costruire ed utilizzare campioni simulati che includano al meglio anche i vincoli osservativi. Rapidi progressi sono previsti in questo campo, e nella prossima decade questa tecnica emergerà come uno degli strumenti di ricerca fondamentali per lo studio dell'accelerazione cosmica. Lo sviluppo di questo campo di ricerca relativamente nuovo e tuttavia estremamente promettente sarà condotto dalla nostra UdR.

CLUSTERS

L'obiettivo principale di questa UdR in questo campo è studiare sia la precisione che le sistematiche che riguardano i vincoli sulla determinazione di Ω_M , σ_8 e w che possono essere raggiunti con la prossima generazione di survey di ammassi, comprese le previsioni dettagliate per future missioni spaziali quali Euclid/JDEM. Queste forniranno la conferma spettroscopica di tutti gli ammassi rilevati nelle prossime survey nel vicino-IR, quelle basate sull'effetto SZ e quelle su grande area nei raggi X. Queste survey localizzeranno parecchie decine di migliaia di ammassi fino a $z \sim 2.5$ e con un vasto intervallo in massa, permettendo di identificare le strutture autenticamente virializzate da paragonare con la funzione di massa teorica degli ammassi, con basse incertezze statistiche limitate soltanto dal volume di Universo osservato. Paragonando queste concentrazioni di galassie con mappe sia nei raggi X che da SZ, potremo derivare la concentrazione relativa di barioni sia nella fase calda che fredda fino a $z \sim 2$, un'epoca in cui si pensa che il gas si sia termalizzato per la prima volta nelle buche di potenziale di ammassi massicci. La distribuzione del gas che emette i raggi X può essere usata come strumento cosmologico sia per ricavare la massa gravitante totale in equilibrio idrostatico con l'ICM, che per dedurre i parametri cosmologici che soddisfano la condizione di mantenere costante col redshift la frazione barionica negli oggetti voluminosi e rilassati (Ettori et al. 2003, Allen et al. 2008). Allo stesso tempo, lo studio del clustering e della funzione di massa degli ammassi fornirà una misura complementare della storia cosmica di crescita delle strutture e fornisce un confronto incrociato dei risultati ottenuti usando le singole galassie. Tali studi procederanno insieme all'analisi degli errori sistematici che possono influenzare le future ricerche di ammassi distanti, come la contaminazione da sorgenti radio puntiformi e AGN in survey nei raggi X e SZ (Branchesi et al. 2007), o gli effetti di proiezione in campioni selezionati nell'ottico. Inoltre, le attuali survey pubbliche multi-banda, come per esempio COSMOS (Scoville et al. 2007, Finoguenov et al. 2007) di cui fanno parte membri di questa UdR, permettono di esplorare quantitativamente i risultati dei metodi di rilevazione degli ammassi in funzione della lunghezza d'onda usata (in particolare ottica contro raggi X), di scoprire eventuali "popolazioni nascoste" o effetti di selezione osservativi. Ancora, confrontando alle varie epoche le proprietà sia generali degli ammassi che delle galassie che ne fanno parte, è possibile ricostruire la formazione ed evoluzione dei primi ammassi di galassie, che hanno un ruolo importante negli studi cosmologici. Queste survey presentano generalmente degenerazioni nel vincolo dei parametri differenti da quelli di altre tecniche, quali CMB, SuperNovae di Tipo-Ia e BAO. L'utilizzo di questi strumenti complementari, basati su differenti proprietà fisiche dell'Universo, rappresentano il metodo più potente per rivelare la natura dell'energia e della materia oscura.

Sede dell'Unità	Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati di TRIESTE (CESSATO DAL SERVIZIO)
Responsabile Scientifico	Luigi DANESE
Finanziamento assegnato	Â EuroÂ 30.008

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Nel modello di concordanza di LCDM, la formazione delle strutture è determinata dalle perturbazioni del campo di densità della materia oscura che portano alla formazione di aloni di materia oscura quasi sferici. Al centro di questi aloni i barioni si raggruppano e formano le galassie e gli ammassi di galassia che osserviamo. La presenza di Energia Oscura nell'Universo costringe la struttura di Materia Oscura a seguire una evoluzione differente rispetto al caso di un Universo con costante cosmologica. Il modo con cui le galassie si formano ed evolvono viene anche cambiato.

In questo progetto esamineremo un certo numero di teorie differenti di EO o di teorie alternative di Gravità ognuno dei quali da effetti differenti alla formazione di strutture e alla loro evoluzione. L'approccio più semplice è il cambio della velocità di espansione del background dovuto all'energia oscura che è assunta non interagente con la materia oscura eccetto che attraverso l'attrazione gravitazionale e che non "clustera" su piccola scala. Il passo successivo è considerare l'accoppiamento tra materia oscura e energia oscura (Amendola 2000). Terzo, considereremo le modificazioni della gravità (MG) conosciute genericamente come $f(R)$ (Capozziello & Salzano 2009). Questi MG modelli sono un'alternativa che vuole spiegare i dati cosmologici senza l'energia oscura.

Le osservazioni che tracciano l'espansione globale dell'universo come le Supernovae 1a non possono differenziare il caso EO da quello MG. Tuttavia la relazione tra la velocità di espansione e la formazione delle strutture sarà differente nei due casi. Il comprendere ciò è necessario per discriminare i due modelli ed ambedue dal caso di costante cosmologica.

Un obiettivo fondamentale per questo scopo è lo sviluppo di un set di strumenti numerici che possono trattare modelli diversi in un modo uniforme. I due strumenti più importanti sono un codice per calcolare lo spettro di potenza lineare della materia che sarà un input fondamentale delle simulazioni ed un codice a N-corpi per realizzarle. Noi useremo codici pubblici Boltzmann code CMBEAS (Doran 2005) per calcolare lo spettro di potenza lineare, con le modificazioni del caso del modello MO-materia oscura. La simulazione a N-corpi si basano sul codice GADGET-2 (Springel 2005), modificato in modo adeguato.

Come passo finale, includeremo nelle simulazioni anche i barioni, per riprodurre risultati direttamente comparabili con quelli delle survey esistenti (e.g. SDSS and 2dFGRS) e future come EUCLID, con molti più galassie. Lo sviluppo della parte numerica del progetto verrà fatto in stretta collaborazione con il lavoro numerico fatto dalla UdR di Bologna.

MATERIA OSCURA IN UN UNIVERSO CON ENERGIA OSCURA CHE EVOLVE NEL TEMPO

Studi recenti con le simulazioni (Francis, Lewis & Linder 2008, Grossi & Springel 2008) hanno dimostrato che negli universi con Energia Oscura e Materia Oscura la funzione di massa degli oggetti virializzati, rispetto al caso LCDM, mostra un numero maggiore di aloni, particolarmente quelli più massicci. Per caratterizzare l'effetto si una Energia oscura che varia col tempo noi procederemo a realizzare singoli obiettivi coordinati nel tempo.

a) Realizzeremo simulazioni cosmologiche a grande scala con la nostra versione modificata di GADGET-2 che considera diverse possibilità per l'equazione di stato $w(a)$ dell'energia oscura. Identificheremo gli aloni di materia oscura nelle simulazione e costruiremo le funzioni di massa per ogni modello. Ciò sarà comparato rispetto alle formule semi-analitiche esistenti (Jenkins et al 2001, Sheth & Tormen 1999). L'applicabilità di queste formule ai modelli con Energia Oscura sarà testata e miglioramenti saranno ricercati se richiesti. Queste simulazioni provvederanno una biblioteca di osservazioni "mock" che possono essere comparate con i dati.

b) In Universi con la materia Oscura e Energia oscura la relazione tra la concentrazione di un alone di materia oscura e la sua massa è diversa rispetto a quella esistente in LCDM; i modelli con energia Oscura producono aloni con un core più concentrato. (Dolag et al 2004). Con il nostro codice modificato GADGET-2 useremo la potenza di calcolo parallelo presente in SISSA (3.5 Teraflop) per realizzare simulazioni N-corpi ad alta risoluzione di aloni di ammassi. Partendo da un set comune di condizioni iniziali, noi realizzeremo una serie di simulazioni in cui varieremo i parametri della Energia Oscura che regolano l'espansione del background. Dai risultati delle simulazioni identificheremo gli aloni attraverso i metodi Friends-of-Friends and Spherical Over-density (see Lukic et al 2008) e misureremo il profilo di densità per ogni alone. Otterremo, per ogni modello di energia oscura una relazione concentrazione-massa che sarà comparata rispetto a risultati esistenti in LCDM (Dolag et al 2004, Eke et al 2001). Verrà prodotta una libreria di simulazioni che potrà essere paragonata alle osservazioni.

c) Compareremo la cinematica ad alta risoluzione individuale o coaggiunta di un campione di spirali con le predizioni derivate dalle simulazioni a N-corpi in un universo con Energia Oscura.

ALONI DI MATERIA OSCURA IN UN UNIVERSO CON L'ENERGIA OSCURA E LA MATERIA OSCURA ACCOPPIATE

a) Noi realizzeremo simulazioni a N-corpi di clusters di materia oscura nel caso di accoppiamento tra MO e EO. Da un set comune di condizioni iniziali, realizzeremo simulazioni con la costante cosmologica, e modelli con un diverso livello di accoppiamento e modelli senza accoppiamento ma con una espansione del background che lo mimica. Noi identificheremo gli aloni di materia oscura nelle simulazioni e paragoneremo le densità radiali in ognuno dei modelli. Le simulazioni con un background che mimica l'accoppiamento permettono di determinare con precisione come l'espansione del background da una parte e l'accoppiamento MO-EO dall'altra alterino il profilo di densità. Paragoneremo i nostri risultati ai risultati contrastanti trovati Maccio et al (2004) e Baldi et al (2008) e al profilo standard in LCDM. Misureremo le deviazioni dal profilo standard di NFW che i modelli con accoppiamento mostreranno e se necessario troveremo empiricamente un nuovo profilo che possa rappresentare la densità radiale in questi modelli.

b) realizzeremo simulazioni a N-body di cluster di materia oscura con teorie modificate di gravità. Una serie di simulazioni con parametri variabili descriveranno le differenze rispetto ai risultati trovati in teorie con EO. Gli aloni saranno identificati e i profili di densità saranno misurati. Verrà studiata la dipendenza dei profili di densità degli aloni dalla forma assunta per la gravità, isolando gli effetti dell'espansione del background. Successivamente confronteremo i risultati dell'insieme delle simulazioni con le osservazioni.

ALONI DI MATERIA OSCURA IN UNIVERSI DI GRAVITÀ MODIFICATA COME ENERGIA OSCURA

Realizzeremo N-corpi simulazioni di aloni di materia oscura nel caso in cui la gravità modificata $F(r)$ mimichi l'energia oscura. Le simulazioni saranno fatte usando sia una versione modificata di GADGET-2, sia un codice che ha anche un adeguato risolutore del potenziale. Nelle simulazioni di aloni di materia oscura saranno ben identificati. La loro funzione di correlazione sarà determinata come funzione della loro massa. Da questa calcoleremo il clustering come una funzione della loro massa e i risultati saranno paragonati con quelli di LCDM.

DAGLI ALONI DI MATERIA OSCURA ALLE GALASSIE

Infine un obiettivo cruciale di questo progetto: lo sviluppo di un insieme di strumenti numerici che, partendo dai risultati sugli aloni di materia oscura tracci la formazione delle galassie, trattando propriamente i barioni. Infatti noi ci aspettiamo che la formazione e l'evoluzione delle strutture barioniche siano differenti in modelli, alternativi alla LCDM, di Universi con energia oscura, in quanto la densità degli aloni galattici e le loro proprietà strutturali cambiano fortemente con il framework cosmologico.

a) Noi realizzeremo simulazioni cosmologiche a grande scala con una nostra versione modificata di GADGET-2 in cui noi modelliamo forme diverse dell'equazione di stato $w(a)$. Noi identificheremo gli aloni di materia oscura nelle simulazioni e costruiremo la funzione di massa per ciascun modello. Questo sarà paragonato con formule analitiche già elaborate (Jenkins et al 2001, Sheth & Tormen 1999), la cui applicabilità sarà testata. Se necessario procederemo a nuove formulazioni analitiche. Le simulazioni forniranno una libreria di osservazioni simulate che potranno essere comparate con i dati.

b) Nel caso una equazione di energia oscura che evolve col tempo il parametro di concertazione degli aloni di materia oscura è maggiore rispetto al valore stimato per il modello standard LCDM. Noi esploreremo le conseguenze di questa accresciuta concentrazione degli aloni di materia oscura, sulla storia della formazione stellare, sull'evoluzione chimica e sul ruolo della polvere nella formazione delle galassie. Questo studio verrà fatto sia con metodi numerici che analitici.

c) i risultati di a) e b) saranno messi insieme in uno strumento che fornirà osservazioni simulate che saranno comparabili ai dati di grandi surveys (e.g. SDSS and 2dFGRS). In particolare noi vogliamo definire la distribuzione del numero di occupazione degli aloni come funzione della luminosità. Questo obiettivo è particolarmente rilevante per lo studio delle BAO e della crescita di perturbazioni per mezzo di grandi survey. Infine, le osservazioni simulate saranno sfruttate per rendere sempre più efficaci le future grandi survey di galassie da spazio come EUCLID.

Sede dell'Unità	Università degli Studi di ROMA "Tor Vergata"
Responsabile Scientifico	Amedeo BALBI
Finanziamento assegnato	Â EuroÂ 27.982

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

PIANO GENERALE

Lo scopo principale del progetto di ricerca svolto da questa unità è di completare l'attività degli altri nodi esplorando la sinergia tra i grandi survey di galassie e i dati di CMB. L'applicazione di questo approccio a dati esistenti si è già rivelato utile nel vincolare i parametri del modello cosmologico standard, in particolare per quanto riguarda la componente di energia oscura. Esso promette di essere anche più utile nel prossimo futuro. Ciò è dovuto da un lato alla sempre maggiore accuratezza dei dati di CMB attesi sia da osservazioni ad alta risoluzione che verranno effettuate da numerosi esperimenti futuri sia dalle mappe prodotte dalla missione da satellite Planck; dall'altro lato, ci si aspetta che la conoscenza della distribuzione di materia nell'universo locale cresca immensamente grazie alle osservazioni in corso, pianificate o proposte, in particolare quelle pensate specificamente per lo studio dell'energia oscura, quali Euclid o JDEM.

Poiché i dati attuali di CMB su grandi scale angolari hanno già raggiunto un livello di accuratezza tale da essere dominati unicamente da inevitabili incertezze teoriche (ovvero la varianza cosmica e di campione), ci si aspetta che ogni miglioramento nella ricostruzione del segnale di ISW verrà dalla sempre maggiore accuratezza dei survey di galassie. In particolare, è stato mostrato che la conoscenza del redshift e del bias delle sorgenti può aumentare considerevolmente il livello della detezione del segnale di ISW e, quindi, fornire vincoli molto più stretti sui parametri di energia oscura.

In effetti, la sinergia tra la CMB e i survey di galassie non termina con la detezione del segnale di ISW. Altre informazioni complementari che intendiamo sfruttare sono quelle attese alle scale angolari più piccole, come ad esempio quelle provenienti dallo studio dell'effetto RS e dall'evoluzione non lineare delle strutture e, ancora più importante, l'effetto SZ dagli ammassi di galassie e il lensing gravitazionale. Il compito è particolarmente arduo a causa dei molti effetti non-cosmologici che si sovrappongono a piccole scale contaminando le mappe di CMB. Dati di alta risoluzione e sensibilità sono attesi da osservazioni future quali quelle dell'Atacama Cosmology Telescope (ACT) o del South Pole Telescope (SPT). La traccia lasciata dal lensing debole della materia sulla CMB e la sua correlazione con il segnale di ISW è particolarmente promettente per quanto riguarda lo studio delle proprietà di clustering della componente di energia oscura e anche perché consente di rimuovere la degenerazione geometrica tra il parametro di densità totale dell'universo e l'equazione di stato dell'energia oscura (Lewis & Challinor 2006). La correlazione con i cataloghi di galassie è essenziale in quanto permette di distinguere l'attenuazione delle fluttuazioni di temperatura primarie indotte dal lensing da quelle provocate da altri effetti, come la reionizzazione del mezzo intergalattico.

L'attività di questa unità di ricerca può essere divisa in sotto-aree, ognuna riguardante uno specifico compito necessario a raggiungere lo scopo complessivo. Queste sotto-aree sono: 1) lo sviluppo di tecniche per l'analisi di dati esistenti e futuri; 2) la produzione di previsioni teoriche e di simulazioni da confrontare con i dati; 3) la previsione delle accuratezze attese per eventuali osservazioni future. E' interessante notare che le attività delle varie aree possono essere condotte in parallelo, il che non crea particolari colli di bottiglia nel raggiungimento degli obiettivi della ricerca. I risultati attesi saranno quindi diffusi lungo tutta la durata del progetto. Sottolineiamo inoltre che tutti gli argomenti affrontati otterranno benefici dall'interazione con altri nodi del progetto. Nel seguito esponiamo brevemente i dettagli dell'attività delle varie sotto-aree.

TECNICHE DI ANALISI DATI

Uno dei compiti di questa unità sarà di fornire gli strumenti matematici e statistici per sfruttare la combinazione dei futuri dati di CMB e dei survey di galassie. Uno di questi strumenti, sviluppato da membri di questa unità e già applicato con successo a dati esistenti (Pietrobon, Balbi & Marinucci 2006), si basa su una nuova base di wavelet, chiamata needlet, che è particolarmente indicata per analizzare dati su una sfera, avendo interessanti proprietà di correlazioni sia nello spazio armonico che in quello reale. Ciò sarà utile quando dovranno essere analizzate regioni incomplete del cielo, o per separare il segnale proveniente da specifiche direzioni del cielo, ad esempio per quantificare la presenza di contaminazioni o effetti sistematici. Un'altra area di applicazione che sarà interessante esplorare è l'identificazione di sorgenti specifiche, che producano fluttuazioni secondarie nelle mappe di CMB: per esempio, il segnale di SZ prodotto dagli ammassi di galassie. Andrà inoltre investigata l'applicazione alla ricerca di correlazione su piccola scala, indotta dal lensing.

Oltre alle tecniche esistenti, esploreremo possibili sviluppi e proveremo a ipotizzare approcci interamente nuovi, qualora sia necessario, in modo da raggiungere la maggiore accuratezza possibile nella ricostruzione del segnale e da gestire la sempre maggiore complessità degli insiemi di dati futuri.

Questa attività ha una sovrapposizione naturale con l'attività del nodo INAF che si occupa delle problematiche osservative.

PREVISIONI TEORICHE

Un altro aspetto della nostra attività sarà di natura strettamente teorica. Mentre il modello di concordanza standard con una costante cosmologica è attualmente un buon fit a una serie di osservazioni, ci si può aspettare che dati futuri aumenteranno la nostra capacità di mostrare possibili deviazioni dallo scenario più basilare. Dovremo quindi essere pronti a produrre stime teoriche del segnale di ISW per una varietà di modelli di energia oscura (si veda ad es. Davis et al. 2007 per una rassegna di modelli e dei corrispondenti vincoli osservativi): tra questi--solo per menzionarne alcuni--la più semplice parametrizzazione con equazione di stato costante; equazioni di stato più elaborate e variabili nel tempo; parametrizzazioni basate sulla velocità del suono del fluido oscuro; modelli unificati di materia ed energia oscura; modelli di gravità modificata; e così via. Produrremo le nostre stime teoriche basandoci su versioni modificate di codici numerici esistenti e di alta accuratezza, come ad esempio CMBfast (Seljak & Zaldarriaga 1996).

Mentre la produzione di previsioni teoriche e di simulazioni di dati di CMB è una competenza ben riconosciuta di questa unità di ricerca, la nostra attività beneficerà dalle interazioni con le altre unità. In particolare, sarà cruciale avere accesso a simulazioni n-body in modo da modellare l'effetto del clustering e dell'evoluzione del potenziale gravitazionale per analizzare al meglio le correlazioni tra la distribuzione di materia e la CMB. Questo sarà particolarmente utile nel tenere conto degli effetti non lineari nella formazione delle strutture cosmiche. Inoltre, nell'indagare il segnale SZ atteso, una conoscenza delle assunzioni fisiche e dell'evoluzione degli ammassi di galassie sarà cruciale, per esempio per produrre un confronto con la controparte X.

Questa attività richiederà una forte coordinazione e interazione con l'unità di ricerca di Bologna e di Trieste.

PREVISIONI PER LE FUTURE OSSERVAZIONI

Un aspetto cruciale nel pianificare ogni esperimento o osservazione è quello di ottimizzare il suo progetto e le sue specifiche tecniche in modo da massimizzare il ritorno scientifico. Questo in generale è ottenuto attraverso simulazioni dettagliate e l'adozione di appropriate figure di merito. Affronteremo questo tema usando tecniche ben note, come quelle basate sulla matrice di Fisher (Tegmark et al. 1997), in modo da fornire una stima dell'accuratezza aspettata nel ricostruire i parametri di energia oscura dai dati futuri. In particolare, porremo l'attenzione su futuri cataloghi di galassie ottimizzati per lo studio delle proprietà dell'energia oscura, come Euclid e JDEM, e ci occuperemo della loro interazione con dati futuri di alta qualità della CMB, come Planck, ACT, e SPT.

Questa attività sarà condotta in stretta coordinazione con il nodo INAF che è responsabile degli aspetti osservativi della proposta.
