

INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica)

# La Visione Strategica dell'INAF per l'Astronomia Italiana 2015-2024



Figura di copertina: Prawn Nebula vista da VST (ESO courtesy)

Dal Consiglio Scientifico dell'INAF:  
Enzo Brocato, Stefano Covino, Silvia Masi, Francesca Matteucci, Stefano  
Orsini, Bianca Poggianti, Pietro Schipani



# Indice

<b>1</b>	<b>Prefazione</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Le sfide della scienza nel 21-esimo secolo: domande scientifiche per i prossimi dieci anni</b>	<b>7</b>
2.1	La nostra stella madre: il Sole . . . . .	7
2.2	Il Sistema Planetario del Sole . . . . .	8
2.3	Gli eso-pianeti . . . . .	10
2.4	Le strutture fondamentali dell'universo: le stelle . . . . .	11
2.5	La storia della formazione ed evoluzione della Via Lattea e delle galassie vicine .	13
2.6	Formazione ed evoluzione di galassie e strutture cosmiche . . . . .	14
2.7	Geometria dell'universo . . . . .	17
2.8	Astrofisica relativistica e delle alte energie . . . . .	19
2.9	Nuova fisica ed astronomia multi-messaggio . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Ricerca tecnologica</b>	<b>24</b>
3.1	Relazioni con l'industria . . . . .	24
3.2	Tecnologie di frontiera . . . . .	25
3.3	Tecnologie interdisciplinari . . . . .	26
3.4	Trasferimento tecnologico . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Infrastrutture</b>	<b>28</b>
4.1	Grandi progetti da terra . . . . .	30
4.2	Missioni spaziali . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Il contributo italiano all'astronomia: il presente ed il futuro</b>	<b>34</b>
5.1	Conclusioni . . . . .	40

## SINTESI DEL DOCUMENTO

Le linee guida di Horizon 2020 recitano: “Horizon 2020 migliorerá il livello di eccellenza della scienza di base in Europa e assicurerá un flusso costante di ricerca di livello mondiale per garantire all’Europa una competitività di lungo termine. Sosterrá idee, svilupperá talento in Europa, renderá possibile ai ricercatori l’accesso ad infrastrutture per la ricerca di primo livello, e renderá l’Europa un posto che possa attrarre i migliori ricercatori nel mondo”. La visione strategica dell’INAF si connette direttamente a due dei maggiori obiettivi di Horizon 2020 e specificatamente a “Excellent Science” e “Competitives Industries”. Il primo obiettivo di Horizon 2020, quello della “Scienza Eccellente”, si identifica col sostenere le persone piú dotate di talento e creatività nel portare avanti ricerca di frontiera. I temi di ricerca ed i principali obiettivi della visione strategica dell’INAF riguardo all’astronomia includono argomenti che hanno un grande impatto nei campi dell’evoluzione dell’universo, la formazione e l’evoluzione delle galassie, la formazione e l’evoluzione delle stelle e dei pianeti, la ricerca della vita nel cosmo ed i fenomeni di alta energia. La visione strategica dell’INAF é focalizzata sulle principali linee strategiche di ricerca europee quali ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures), Astronet e Cosmic Vision. In particolare, le piú alte prioritá dell’INAF riguardo ai grande telescopi del futuro sono E-ELT (European-Extremely Large Telescope), CTA (Cherenkov Telescope Array) e SKA (Square Kilometre Array). I telescopi giá esistenti, quali ALMA (Atacama Large Millimetre Array), VLT (Very Large Telescope), LBT (Large Binocular Telescope) ed SRT (Sardinia Radio Telescope) saranno dotati di nuova strumentazione e beneficeranno di ulteriori sviluppi di grande importanza strategica per la nostra comunitá. Riguardo ai telescopi spaziali, le piú alte prioritá sono per le missioni attive al momento presente quali Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics), ROSETTA ed HST (Hubble Space Telescope) e per le future missioni giá approvate quali ATHENA (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics), EUCLID, JWST (James Webb Space Telescope), JUICE (Jupiter Icy moons Explorer), Solar Orbiter, Bepi-Colombo e PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars). Piú in generale, le prioritá dell’INAF sono rappresentate dalla partecipazione a grandi progetti nell’ambito di organizzazioni europee quali l’ESO (European Southern Observatory) e l’ESA (European Space Agency), superando le limitazioni dei budgets nazionali e producendo strumentazioni competitive a livello mondiale. La comunitá astronomica dell’INAF e’ fortemente coinvolta nel perseguire quei progetti scientifici che trarranno il maggior beneficio dalle tecnologie necessarie a costruire queste strumentazioni, favorendo cosí un rapporto sinergico con l’industria italiana e perseguendo cosí l’obiettivo di Horizon 2020 “Competitives Industries” per la ricerca e l’innovazione. Infine, é importante notare che ci troviamo a convivere con una crisi economica di ampiezza mondiale ed in particolare con una grave crisi finanziaria in Italia. Proprio per questo, *augmentare* i finanziamenti per l’alta formazione e la ricerca scientifica sarebbe un passo necessario nella logica di investire di piú nel futuro e di superare la crisi attuale. Speriamo che l’Italia possa muoversi in questa direzione. In questo modo, l’INAF sará in grado di sostenere ed incoraggiare le persone piú ricche di talento e di creatività creando nuovi posti per ricercatori e finanziando la ricerca di base ed i progetti competitivi che tale ricerca richiede.

# Capitolo 1

## Prefazione

L'astronomia e' la scienza piú antica del mondo. Inizió con le osservazioni astronomiche in Cina e Babilonia migliaia di anni fa e continuó attraverso i secoli con Aristarco e Tolomeo in Grecia e poi Copernico e Galileo in Europa. Fu in Italia che Galileo Galilei nel 1609 scoprí che la striscia biancastra che solca il cielo notturno nelle notti limpide e che viene chiamata Via Lattea é fatta di stelle. Da allora fino ad oggi l'astronomia si é sviluppata enormemente ed in particolare negli ultimi anni la nostra comprensione dell'universo, sia vicino che lontano, e' incredibilmente migliorata. Sappiamo ora che il nostro universo nacque  $\sim 14$  miliardi di anni fa dal Big Bang, che sta accelerando la sua espansione e che continuerá per sempre ad espandersi spinto da una forza misteriosa chiamata *energia oscura*. Sappiamo anche che la maggior parte della materia nell'universo é *oscura* e non fatta di barioni (protoni e neutroni) che compongono la materia ordinaria, quella che conosciamo. Tutto ció implica che quello che al momento conosciamo é solo il 4% dell'universo. Sappiamo che le galassie si formarono molti miliardi di anni fa e che ci sono stelle che hanno pianeti che potrebbero ospitare la vita. Le domande principali a cui vorremmo saper rispondere nei prossimi dieci anni sono: qual é la natura della materia oscura e dell'energia oscura? Come si formarono le galassie? Come si sono evolute le galassie? Come si sono formate le abbondanze degli elementi chimici? C'e' vita su altri pianeti?

L'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) nacque per sviluppare e coordinare la ricerca scientifica in astronomia ed astrofisica in Italia. In particolare, gli obiettivi strategici dell'INAF si possono riassumere nel seguente modo:

- Promuovere e coordinare la ricerca scientifica italiana nel campo dell'astrofisica perseguendo risultati di eccellenza a livello internazionale.
- Mettere i ricercatori in grado di usufruire delle migliori possibili infrastrutture per i) osservazioni astronomiche (sia da terra che dallo spazio) a tutte le lunghezze d'onda e per ii) il controllo in situ di fenomeni astrofisici e per iii) facilitare l'accesso a strutture internazionali.
- Assicurare le necessarie risorse computazionali, la documentazione scientifica, una mobilità nazionale ed internazionale, che é di vitale importanza per stabilire e mantenere collaborazioni scientifiche su progetti sia nazionali che internazionali, e per comunicare risultati scientifici.
- Concorrere alla definizione, assieme ad altre organizzazioni internazionali operanti nel campo dell'astrofisica, degli obiettivi strategici dell'astrofisica moderna e quindi alla pianificazione, scelta e messa in opera di grandi infrastrutture per la ricerca necessarie a raggiungere tali obiettivi.

- Promuovere nuove tecnologie per potenziare le infrastrutture osservative e la strumentazione spaziale, coinvolgendo industrie nazionali e lavorando in stretto contatto con esse, favorendo così la competitività dell'industria italiana.
- Collaborare alla formazione di nuovi ricercatori con la partecipazione ai corsi di Laurea Specialistica in astronomia ed astrofisica e con la supervisione di tesi di laurea e dottorato di ricerca.
- Sostenere e finanziare i ricercatori per progetti riguardanti l'astrofisica fondamentale ed innovativa in cui i ricercatori INAF hanno acquisito una leadership mondiale.
- Sviluppare programmi per la divulgazione scientifica che consentano di comunicare la conoscenza astronomica acquisita e le scoperte astronomiche, così da contribuire all'orientamento dei giovani verso studi scientifici e tecnologici e da promuovere conoscenza scientifica per il pubblico.

## Capitolo 2

# Le sfide della scienza nel 21-esimo secolo: domande scientifiche per i prossimi dieci anni

### 2.1 La nostra stella madre: il Sole

I prossimi dieci anni saranno importanti per la soluzione di alcuni problemi ancora aperti riguardanti la fisica dell'interno e dell'atmosfera del Sole.

- Quali sono i meccanismi responsabili del quasi-periodico ciclo di 11-anni dell'attività solare?
- Perché la corona solare é così calda? (milioni di gradi Kelvin)
- Cosa produce l'accelerazione del vento solare, le espulsioni di massa coronale ed altri fenomeni che influenzano lo spazio interplanetario e l'ambiente circumterrestre?

Le attuali missioni spaziali (Hinode, Stereo, SDO) e i telescopi da terra ad alta risoluzione (SST, DST, VTT, BBSO) dedicati all'osservazione del Sole raccolgono dati sull'interazione plasma-campo magnetico a diversi livelli nell'atmosfera solare per capire la fisica dei cicli solari ed i fenomeni transienti che avvengono nell'atmosfera solare. Particolare attenzione é dedicata alle eruzioni solari (flares, jets ed espulsioni di massa coronale (CMEs), che sono potenti acceleratori di fasci di particelle, che possono raggiungere velocità quasi-relativistiche, influenzare la Terra ed altri pianeti, mettere in pericolo equipaggi spaziali e causare danni agli strumenti nello spazio. Per queste ragioni, é diventato evidente che occorre dare alta priorità alla comprensione dello spazio circumterrestre (Space weather). Nei prossimi anni, la comunità scientifica svilupperá vari progetti per capire i processi fisici che sono alla base della variabilità solare e, in particolare alla base della riconfigurazione dei campi magnetici e del rilascio di energia magnetica libera immagazzinata nella corona solare. In questo contesto, il lancio di Solar Orbiter, previsto per luglio 2017, é dedicato allo studio della struttura del campo magnetico solare, specialmente osservandolo al di sopra de i poli; altre missioni spaziali quali SOLAR-C e Solar Probe Plus sono anche previste, con lancio nel 2018. Il lancio di Solar Orbiter porterá un grande avanzamento nella comprensione del Sole e dell'ambiente circostante fino a distanze di 0.28 UA. Il profilo della missione rende possibile lo studio del Sole e dell'eliosfera grazie a strumenti di rilevazione sia in-situ che remota e fornisce osservazioni delle regioni polari del Sole al di fuori dell'eclittica, consentendo così di correlare fenomeni osservati in situ con le regioni della loro sorgente e le strutture sul Sole. L'orbita così prossima al Sole consentirá allo spacecraft di volare quasi in

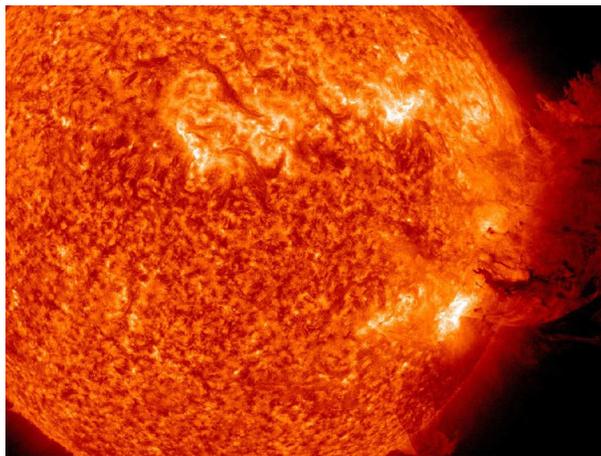


Figura 2.1: Eruzione solare osservata il 7 giugno 2013 dal Solar eruption observed Solar Dynamic Observatory (Courtesy of NASA/SDO and the AIA,EVE, and HMI science teams).

sincronia con la rotazione solare, fornendo osservazioni della superficie solare e dell'eliosfera che verranno studiate da un punto di osservazione quasi corotant

## 2.2 Il Sistema Planetario del Sole

### I pianeti

Molte domande sono ancora senza risposta riguardo ai pianeti del nostro Sistema Solare. Come si é formato il sistema planetario? I pianeti si sono formati nella posizione in cui si trovano ora? Nel passato i pianeti erano differenti? Se sí, come? E quale é stata la loro evoluzione? C'è vita su qualche altro pianeta o sulle loro lune? Sebbene molte informazioni riguardo ai pianeti siano fornite da osservazioni da strumenti a terra, una migliore conoscenza proviene dalle missioni spaziali tale da rendere possibile una piú ampia visione dei fenomeni sia generali che peculiari di ogni singolo pianeta. Importanti aspettative sono riposte, per esempio, nelle nuove missioni verso Marte (Exomars), Mercurio (BepiColombo), Giove ed il suo piccolo sistema di satelliti (Juno e JUICE). Quale é la composizione del suolo marziano al di sotto della superficie? Quali scoperte scaturiranno da investigazioni dettagliate in situ della superficie marziana? Quando e come Marte ha perso gran parte della sua atmosfera? Quali sono le peculiaritá di Mercurio, il pianeta piúdenso del Sistema Solare, e quali sono gli effetti gravitazionali indotti dal Sole? Come agisce l'imponente magnetosfera gioviana? Quale legame elettromagnetico esiste fra il pianeta e le sue lune? Che cosa possiamo dire rispetto alle aurore osservate? Quant'acqua é presente nell'atmosfera di Giove? Come é l'interno del pianeta? Possiede un nucleo? Inoltre, ci sono condizioni che possano portare ad ambienti abitabili fra i satelliti ghiacciati di Giove, i tre mondi caratterizzati da oceani in profonditá, Ganimede, Europa e Callisto? Quale varietá di processi nel sistema gioviano é necessaria per poter produrre ambienti stabili su Ganimede, Europa e Callisto sulle scale di tempo geologiche? Juno e JUICE sono pensati per dare risposte a queste ultime domande, focalizzandosi su Giove e le attivitá dei satelliti galileiani. Tanto migliore sará la conoscenza del nostro Sistema Solare, tanto migliore sará la comprensione degli eso-pianeti, per i quali quasi giornalmente abbiamo nuove identificazioni. Le diversitá nel nostro Sistema Solare sono enormi e la comprensione di questi nuovi mondi necessariamente passa attraverso ciò che noi conosciamo nelle nostre vicinanze.

### Piccoli corpi

Nei prossimi anni ci si attendono grandi sviluppi dalle ricerche nel campo dei piccoli corpi del Sistema Solare (asteroidi, oggetti trans-nettuniani, ecc.). Questo sará il risultato di due missioni

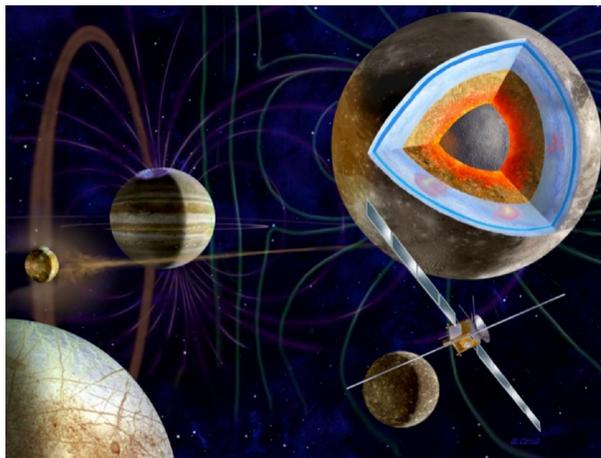


Figura 2.2: Visione artistica di JUICE con Giove e i satelliti galileiani.@ESA

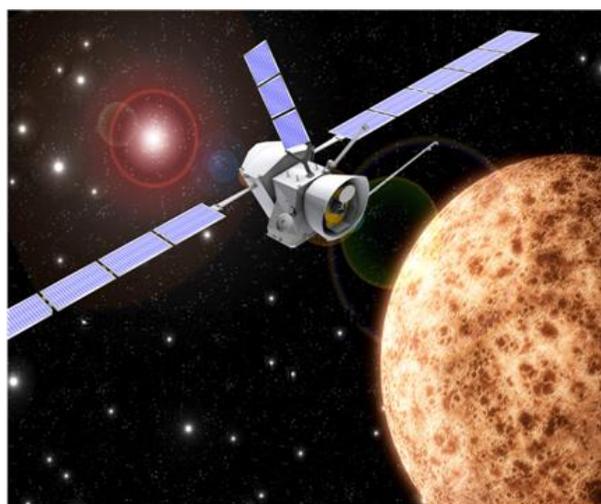


Figura 2.3: Missione ESA-JAXA BepiColombo verso il pianeta Mercurio. Il lancio è previsto verso la metà del 2016.

spaziali, Rosetta e DAWN, con la prima al momento nella fase cruciale. ROSETTA ha effettuato con successo l'avvicinamento alla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. L'atterraggio sulla stessa è avvenuto il 12 novembre 2014, e questo darà un sostanziale impulso alla conoscenza dell'origine ed evoluzione di questi oggetti. Tutto questo sarà quindi seguito nel 2015 dall'arrivo della sonda DAWN su Cerere. L'esplorazione di questo nano-pianeta seguirà alla precedente esplorazione di Vesta, portando anche informazioni sull'evoluzione termica degli asteroidi. Gaia, lanciato nel 2013, consentirà per la prima volta la stima accurate di masse e densità per circa 100.000 asteroidi della fascia principale, oltre che proprietà del periodo di rotazione, spettri di reflectance dalle lunghezze d'onda nel visibile dal blu al rosso, ed una classificazione tassonomica per circa 100.000 asteroidi. Le attività da terra porteranno nuove scoperte di cosiddette comete della fascia principale, asteroidi che mostrano attività cometaria transiente. Le osservazioni da terra consentiranno altresì lo svolgimento del programma ESA Space Situational Awareness, con lo scopo di studiare oggetti che transitano nelle vicinanze della Terra (NEO, Near Earth Objects) potenzialmente pericolosi. Il programma comprende il monitoraggio spettroscopico e polarimetrico così come lo studio delle relazioni fra i NEO e le famiglie dinamiche di asteroidi della fascia principale.

## Interazione fra il Sole ed i corpi del Sistema Solare

Lo studio delle interazioni fra un corpo solido ed il suo ambiente é fondamentale per determinare scenari realistici per la storia evolutiva del corpo stesso e degli oggetti fortemente legati ad esso. Nel caso dei corpi del Sistema Solare, il Sole gioca un ruolo principale nel loro rifornimento di energia e materia. Gli studi su questa interazione sono stati il soggetto delle missioni planetarie della passata decade (ad esempio, MEX, VEX, Cassini) e saranno una delle motivazioni principali per missioni di prossima o futura realizzazione (ad esempio Juno, BepiColombo, JUICE). In particolare, le domande fondamentali a cui dare risposta sono: quali sono i processi principali attivi in scenari differenti come la presenza o meno di campi magnetici esterni o interni, di involucri densi di gas (atmosfera), di diverse composizioni superficiali e bilancio tra massa ed energia? Come si é evoluta l'efficacia di questi processi dal tempo della formazione del Sistema Solare ad oggi? Come é stata influenzata l'evoluzione dei pianeti dall'azione del Sole? Qual é il ruolo del Sole nella perdita dell'atmosfera marziana? Il vento solare e/o l'energia irradiata sono responsabili per la perdita d'acqua? Come interagisce direttamente il vento solare con la densa atmosfera venusiana? Qual é il ruolo del Sole nell'erosione della superficie/crosta superiore di Mercurio? La Luna puó essere considerata come un oggetto della stessa categoria di Mercurio ma solo piú distante dal Sole e protetto dalla magnetosfera terrestre? Qual é il ruolo della radiazione solare nel processo di rilascio dalla superficie delle lune di Giove? Quanto sono preservate le caratteristiche primordiali degli asteroidi a causa della continua azione del vento solare e del suo irraggiamento durante il loro moto nel Sistema Solare? Un ruolo importante nell'interazione con il vento solare é giocato dallo scudo planetario causato dai campi magnetici interni, quando presenti. Quali sono le diverse scale temporali e spaziali e l'efficacia dei processi che caratterizzano le interazioni del plasma del vento solare con le varie magnetosfere planetarie come quelle della Terra, Mercurio, Giove e Saturno?

## 2.3 Gli eso-pianeti

Lo studio degli eso-pianeti (pianeti orbitanti attorno a stelle che non siano il Sole) é un campo in rapida crescita ed estremamente attuale, poiche' affronta la domanda fondamentale sull'esistenza della vita al di fuori del nostro Sistema Solare. La risposta viene dallo studio della formazione dei sistemi planetari, la ricerca di pianeti simili alla Terra ed infine di pianeti capaci di ospitare la vita. Partendo dagli studi dei pianeti del sistema solare, la scienza degli eso-pianeti copre tre vaste aree tematiche: 1) Rivelazione: censire e capire l'architettura dei sistemi planetari. 2) Caratterizzazione della struttura interna: massa e raggio e confronto con modelli strutturali. 3) Caratterizzazione delle atmosfere degli eso-pianeti: temperatura effettiva, composizione, e presenza di possibili tracce biologiche nelle loro atmosfere. Un eso-pianeta puó venire scoperto a causa dell'attenuazione della luce della stella ospitante durante il suo transito di fronte alla stella stessa; misurando l'effetto Doppler dalla perturbazione della velocità radiale della sua stella ospitante, attraverso effetti di micro-lente gravitazionale, attraverso temporizzazione, immagine diretta e molti altri modi. Grazie a queste diverse tecniche investigative la frequenza di scoperte si sta avvicinando ad un eso-pianeta al giorno. Nei prossimi dieci anni, la comunità degli eso-pianeti trarrá vantaggio dalla nuova generazione di strumenti del Telescopio Nazionale Galileo (TNG) quali HARPS-N e GIANO e dal Very Large Telescope (VLT) coi suoi strumenti ESPRESSO e SPHERE, cosí come dalle missioni spaziali Gaia, CHEOPS e JWST, TESS e PLATO. In particolare, la comunità italiana che studia eso-pianeti si avvantaggerá delle opportunità offerte da HARPS-N per studiare l'architettura dei sistemi planetari; GIANO, uno strumento per esplorare lunghezze d'onda nel vicino infrarosso altamente competitivo, caratterizzerá le atmosfere dei pianeti simili a Giove, grazie alla sua grande copertura in lunghezza d'onda; SPHERE fornirá un guadagno pari a due ordini di grandezza nel contrasto delle immagini degli eso-pianeti, grazie ad una combinazione di ottiche estremamente adattive, alla coronografia e a

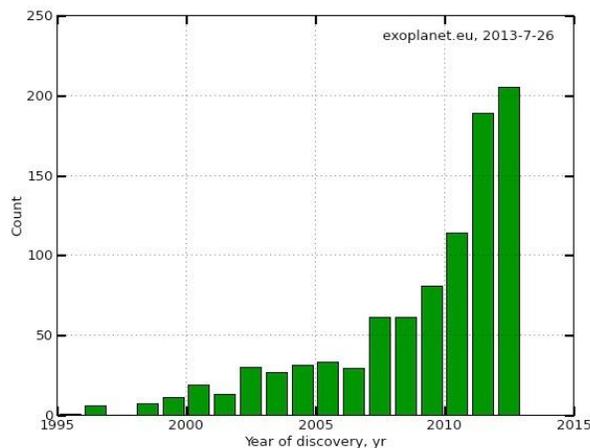


Figura 2.4: Numero di eso-pianeti scoperti per anno.

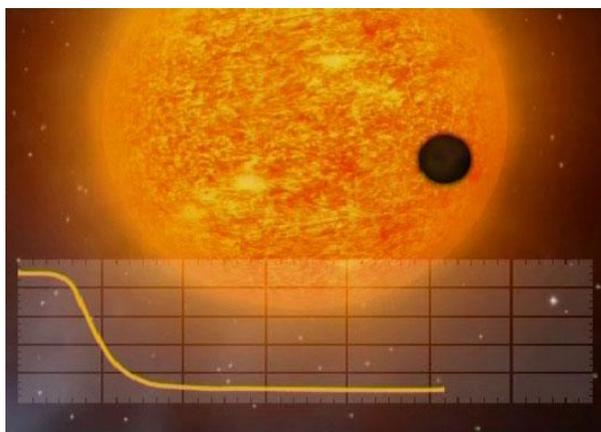


Figura 2.5: Rivelazione di un pianeta in transito (visione artistica).

fotometria differenziale; il progetto LBT/Shark si avvantaggerá dell'eccellente Ottica Adattiva che consentirá di ottenere immagini dirette di eso-pianeti giganti vicini e di determinarne la loro caratterizzazione; ESPRESSO servirá a misurare le velocità radiali con estrema accuratezza rendendo possibile la rivelazione di pianeti simili alla Terra orbitanti attorno a stelle simili al Sole.

## 2.4 Le strutture fondamentali dell'universo: le stelle

Le stelle guidano l'evoluzione dei barioni attraverso la storia dell'universo e rappresentano i nostri strumenti investigativi per svelare il percorso della materia da distanze cosmologiche, dove ha avuto luogo la formazione delle prime strutture stellari, fino alle vicinanze del Sole, dove sono stati scoperti un gran numero di sistemi planetari extrasolari. Risulta, dunque, fondamentale un solido quadro generale per spiegare come le stelle si formino e progrediscano nella loro evoluzione.

Lo studio della formazione stellare e del mezzo interstellare e' un argomento fondamentale per capire la formazione di stelle singole e binarie cosí come la funzione iniziale di massa che e', a sua volta, molto importante per capire l'evoluzione delle galassie. Le stelle si formano immerse nelle regioni piú dense e fredde delle nubi molecolari e le loro prime fasi evolutive possono essere studiate solamente a lunghezze d'onda infrarosse e del millimetro. I dati del satellite HERSCHEL (alcuni ancora da analizzare) propongono un nuovo scenario ove dense nubi sono

formate in strutture filamentose dense ed interconnesse dall'azione combinata e non ancora capita di gravità, turbolenza, rami spiraliformi e campi magnetici; mentre si formano, queste strutture si frammentano in catene di grumi formanti proto-ammassi. La susseguente formazione di dischi protoplanetari, la formazione di planetesimali attraverso la crescita di grani e la traccia dell'evoluzione dei componenti in fase gassosa verso la formazione planetaria sono scottanti domande aperte che sono oggi affrontate da ALMA. Nel futuro, le immagini nell'infrarosso (con JWST e E-ELT) e nel radio-millimetrico (ALMA, SKA e i precursori ASKAP/MeerKAT) saranno cruciali per progressi decisivi per svelare i meccanismi di come le stelle ed i sistemi planetari si formano.

I progressi e le innovazioni nelle teorie di evoluzione e pulsazione stellare forniscono modelli sempre più dettagliati e affidabili coprendo in modo completo gli intervalli di massa e composizione chimica delle stelle osservate. D'altra parte, diversi processi fisici in grado di modificare quanto conosciamo sull'evoluzione e sul destino finale delle stelle non sono ancora adeguatamente compresi o non sono completamente inclusi nei modelli standard; per esempio, la rotazione, il cosiddetto shear-mixing (possibili instabilità idrodinamiche in grado di generare il mescolamento di strati diversi nella stella), la presenza di polveri negli strati esterni dell'atmosfera stellare, onde di gravità interne e campi magnetici sono ancora oggi problemi non risolti che però trarranno grande vantaggio dai nuovi modelli idrodinamici. Inoltre, l'approccio tradizionale nel quale l'astronomia solare, quella stellare e quella extragalattica sono trattate come tematiche separate inizia a mostrare qualche seria limitazione. Conseguentemente, l'interdisciplinarietà risulterà un fattore dominante nelle ricerche di astrofisica stellare per il prossimo decennio. Nei prossimi anni i risultati della missione Gaia cambieranno profondamente la nostra visione della nostra galassia e faranno compiere un vero e proprio balzo in avanti alla nostra comprensione della formazione, evoluzione e dinamica delle stelle della Via Lattea. Queste scoperte rappresenteranno la base per ogni teoria di formazione galattica e il primo passo per portare le incertezze relative alla scala delle distanze cosmiche a valori molto inferiori a qualche per cento.

Per di più, il prossimo decennio avrà l'obiettivo di preparare la comunità degli astrofisici ad utilizzare la futura generazione di strumenti operanti da terra e dallo spazio, quali E-ELT, JWST, SKA (Square Kilometer Array), LSST (Large Synoptic Survey Telescope) al massimo livello permesso dalle loro prestazioni tecniche estreme. La sfida scientifica legata alle stelle darà risposte a quesiti fondamentali che si ritiene debbano essere inclusi nelle principali linee di ricerca astrofisica nei prossimi anni. Quali sono i meccanismi fisici che guidano la formazione di stelle di massa differente? Quali sono gli effetti dell'ambiente circostante in tale processo? La funzione di massa iniziale (IMF) è universale? Il tasso di formazione stellare (SFR) segue la stessa legge nelle galassie aventi differenti età e redshift?

Con quale precisione conosciamo le dimensioni degli oggetti vicini e di quelli più remoti nell'universo? Quali e quante sono le incertezze dovute alle Cefeidi e agli altri indicatori stellari presenti nella scala di distanza extragalattica quando sono utilizzati per la misura delle distanze astronomiche? La curva di luce delle supernovae di tipo Ia dipende dalla natura dei loro progenitori? Che cosa conosciamo realmente riguardo ai progenitori stellari che esplodono come supernovae di tipo Ia? Con quale accuratezza interpretiamo e conosciamo la crescente e molto differenziata tipologia di esplosioni di supernovae? Quale è la precisione delle nostre previsioni riguardo alla nucleosintesi degli elementi chimici nelle supernovae e nelle stelle in fase di ramo asintotico delle giganti (AGB)? È anche estremamente stimolante il fatto che siano state trovate popolazioni stellare multiple nella maggior parte degli ammassi globulari galattici (GGC), una scoperta che ha completamente rivoluzionato l'idea che le stelle osservate in questi sistemi stellari fossero formate da un singolo episodio di formazione stellare. Come e quando si sono formate queste popolazioni stellari multiple? Quali stelle (AGB, stelle di grande massa ad elevata rotazione, binarie) ed in quale modo è stato prodotto il gas necessario per formare la seconda generazione di stelle? Quali sono le conseguenze di questa completamente nuova visione

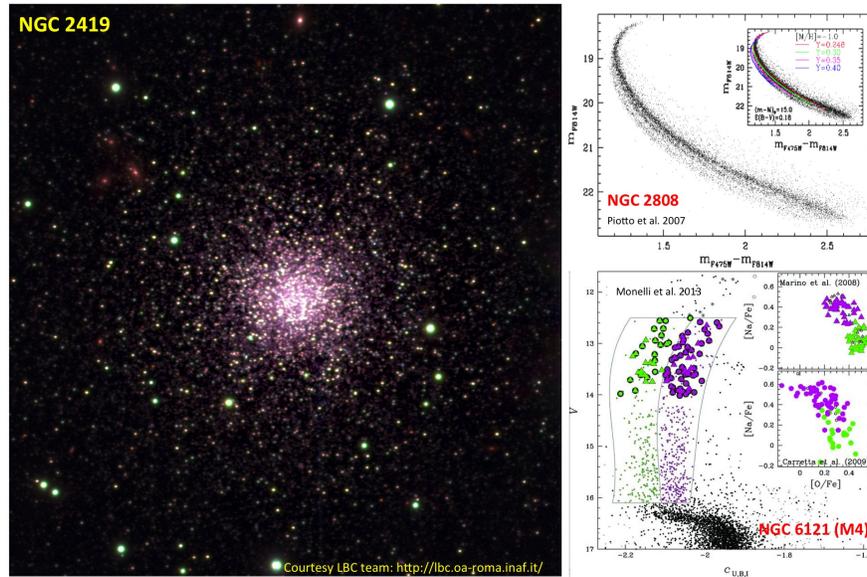


Figura 2.6: Osservazioni fotometriche e spettroscopiche, ottenute principalmente da astronomi italiani (Piotto et al. 2007 ApJ 661,L53; Monelli et al. 2013, MNRAS 43, 2126; Carretta et al. 2009 A&A 508, 695; Marino et al. 2008 A&A 490, 625), dimostrano la presenza di popolazioni stellari multiple negli ammassi globulari galattici.

sulla nostra comprensione dei sistemi stellari al di fuori della nostra Galassia?

Inoltre, non si ha ancora un chiaro scenario delle eventuali prime stelle presenti all'epoca della rionizzazione e dunque su quelle che vengono definite le stelle di Popolazione III. Come si sono formate ed evolute le prime stelle e galassie? Quale è l'interazione tra stelle, radiazione, gas e polvere in una normale galassia che evolve in modo quiescente?

## 2.5 La storia della formazione ed evoluzione della Via Lattea e delle galassie vicine

Tracciare la storia di formazione ed evoluzione delle galassie rappresenta un passo fondamentale per capire l'evoluzione dell'universo. L'evoluzione chimica e dinamica delle galassie è tracciata dalle abbondanze chimiche e dalla cinematica delle popolazioni stellari risolte. Il miglior laboratorio dove iniziare questo tipo di analisi è la nostra Galassia (La Via Lattea) e le galassie del Gruppo Locale. Nel vicino futuro, ci attendiamo nuovi ed importanti risultati relativi a distanze, velocità radiali e abbondanze chimiche di milioni di stelle da parte di grandi *surveys* sia in atto che programmate (RAVE, OGLE, APOGEE, HERMES, Ges, LAMOST, PanSTARRS, WEAVE) e da telescopi presenti e futuri (VISTA, VST, ALMA, LSST ed E-ELT) così come da missioni spaziali quali Gaia, JWST ed Euclid. Lo studio delle galassie locali ci permette di utilizzare un approccio astro-archeologico che ci porta a comprendere le prime fasi evolutive delle galassie e dell'universo, e quindi ad imporre vincoli sull'intera storia evolutiva delle galassie e quindi anche delle prime stelle, delle prime fasi di formazione delle galassie e dell'epoca della rionizzazione. Gli obiettivi più importanti da raggiungere sono:

**Capire la Via Lattea ed i suoi componenti: alone, nucleo, disco spesso e disco sottile.**

Questo puo' essere fatto attraverso lo studio di abbondanze stellari misurate in alta risoluzione ed il loro confronto con modelli dettagliati di evoluzione chimica e dinamica. Da tale confronto dovremo essere in grado di rispondere alle seguenti domande: come si formo' l'alone stellare della nostra Galassia? Le sue stelle provennero dalle galassie satellite o si formarono in situ? Che origine hanno gli ammassi globulari? Come si spiegano le varie popolazioni stellari trovate in alcuni di loro? Come fu la funzione iniziale di massa delle prime stelle? Le stelle primordiali sono sopravvissute fino ad ora? Come si formo' il nucleo (bulge) della nostra Galassia? Durante la formazione del bulge si sviluppó un vento galattico sostenuto dalle esplosioni di supernovae e dall'energia proveniente dall'attivita' del buco nero centrale? Come si formo' il disco spesso? Per accrescimento di gas o per accrescimento di stelle dalle galassie satellite? Come si formo' il disco sottile? Per accrescimento di gas freddo e da dentro a fuori? Come si formarono i gradienti di abbondanza nel disco sottile e come si sono evoluti nel tempo? Qual é il ruolo dei flussi di gas, delle fontane galattiche e della migrazione stellare nell'evoluzione del disco sottile? Qual é la distribuzione della materia oscura entro pochi kpc dal disco della nostra Galassia?

### **Capire la formazione e l'evoluzione delle galassie del Gruppo Locale.**

In connessione con la formazione della Via Lattea, nel prossimo futuro una grande attenzione verra' dedicata alla formazione ed evoluzione delle galassie del Gruppo Locale che comprendono galassie spirali come Andromeda, galassie sferoidali nane, galassie nane irregolari cosí come le recentemente scoperte galassie nane ultra-deboli (ultra-faint dwarfs). In accordo col paradigma cosmologico, le galassie giganti vennero formate attraverso un processo gerarchico di aggregazione di galassie nane. Quindi, se cio' é vero, ci si pone la seguente domanda: furono le galassie nane di ogni tipo (sferoidali, irregolari ed ultra-deboli) i mattoni con cui venne costruita la Via Lattea? Cosa sappiamo del contenuto di materia oscura presente nelle galassie nane, come indicato dai loro alti rapporti M/L? Potra' questa materia oscura essere provata dalla nuova generazione di telescopi Cerenkov (CTA)? Possiamo capire di piú sulle primissime fasi dell'evoluzione delle galassie studiando le proprieta' delle loro popolazioni stellari?

Da un punto di vista osservativo, nel prossimo futuro verranno acquisiti ed analizzati sempre piú accurati diagrammi Colore-Magnitudine delle galassie del Gruppo Locale, con l'intento di ricavarne le storie di formazione stellare. Fotometria profonda e spettroscopia ad alta risoluzione da HST, LBT e VLT, inclusa la piú grande survey spettroscopica mai approvata dall'ESO (la Gaia-ESO Spectroscopic Survey) serviranno a studiare le stelle del disco, gli ammassi aperti e globulari della Via Lattea nonche' le stelle delle galassie del Gruppo Locale.

Pertanto, per il futuro e' particolarmente importante studiare l'evoluzione chimica della Via Lattea e delle galassie del Gruppo Locale per mezzo di un'accurata analisi dei dati osservativi, unita a modelli dettagliati che includano la nucleosintesi stellare e la dinamica stellare, e per mezzo dello studio dei diagrammi Magnitudine-Colore delle galassie locali, dai quali poter derivare le loro storie di formazione stellare, unitamente all'analisi delle abbondanze delle loro stelle.

## **2.6 Formazione ed evoluzione di galassie e strutture cosmiche**

Lo studio della formazione ed evoluzione delle galassie e del modo in cui queste sono raggruppate in strutture cosmiche é uno dei campi piú attivi e in piú rapida evoluzione dell'astrofisica. La materia nell'universo non é distribuita nello spazio in modo omogeneo, ma é organizzata in una ragnatela cosmica di filamenti ai cui punti di intersezione si formano gruppi e ammassi di galassie. Le galassie sono le prime strutture auto-gravitanti che si sono formate nell'universo quando il gas in caduta nelle buche di potenziale di materia oscura ha iniziato a condensare in stelle. I meccanismi fisici che hanno guidato l'evoluzione di questi sistemi complessi non sono ancora compresi a fondo. Subito dopo il Big Bang, materia ed energia erano in buona parte, ma non

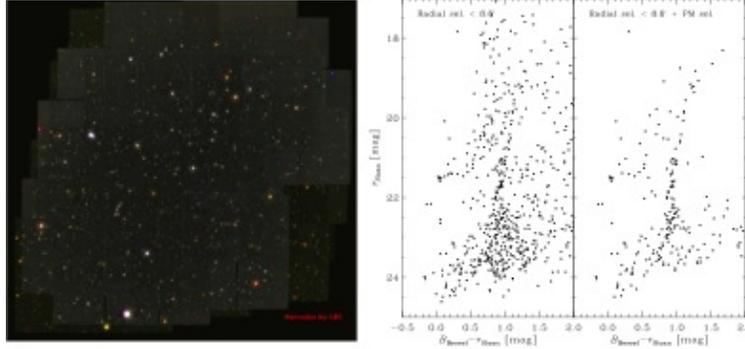


Figura 2.7: Mosaico di immagini della galassia nana ultra- debole del Gruppo Locale, Hercules, ottenuta con il telescopio LBT. La potenza di LBT e la molto accurata analisi delle immagini ha reso possibile la misura dei moti propri relativi delle stelle con l' impressionante precisione di  $\sim 5$  mas/yr (0.1pixel in  $\sim 5$  yr), così che la reale popolazione stellare di Hercules e' evidente nonostante le stelle della Galassia presenti nel fondo dell'immagine. (Fabrizio et al. 2014 arXiv 1408.5753, A&A in press).



Figura 2.8: La Via Lattea. Questa immagine copre la regione da Aquila nella parte in basso a sinistra fino a Centaurus nella parte in alto a destra. Al centro dell'immagine c'è il pianeta Marte che brilla alla magnitudine di -2.3. Figura e copyright da [www.alsonwongastro.com](http://www.alsonwongastro.com)

completamente, distribuiti in modo uniforme nello spazio. Secondo il paradigma cosmologico attuale, le piccolissime fluttuazioni di densità nell'universo primordiale si sono amplificate a causa della gravità formando l'universo fortemente strutturato che osserviamo oggi. Questo campo di ricerca ha un ruolo fondamentale nella cosmologia moderna e richiede uno sforzo concertato di osservazioni, teoria e simulazioni. Lo studio delle galassie e delle strutture cosmiche, dalle prime fasi dell'universo fino ad oggi, è uno dei scopi scientifici prioritari dei principali strumenti osservativi da terra e dallo spazio che diventeranno disponibili nella prossima decade, quali E-ELT, JWST, Euclid, SKA e ATHENA.

Le galassie sono i luoghi dove le stelle si formano ed evolvono, e sono le sorgenti che ci permettono di esplorare l'universo su scale e tempi cosmologici. Quando e come si sono formate le prime stelle? Quando e come l'universo è stato rionizzato? Come si formano ed evolvono le stelle nelle diverse galassie? Il Pianeta Terra e le molte forme di vita che conosciamo sono principalmente composte di elementi atomici pesanti che si sono formati attraverso reazioni termonucleari nelle stelle in galassie. Qual è la storia di arricchimento chimico dell'universo? Come dipende dal tipo di galassia e dalla sua massa? Le galassie sono sistemi estremamente complessi e la gravità è solo uno dei molti processi fisici che determinano la diversità delle proprietà galattiche. Comprendere l'origine della varietà di morfologie galattiche, masse e storie stellari è una delle grandi sfide dei prossimi anni. Qual è l'origine della sequenza di Hubble? Quali meccanismi conducono alla formazione di galassie ellittiche, e di sferoidi in generale, e come si differenziano da quelli che danno origine a galassie con una componente di disco dominante, più diffuse a tempi cosmici precedenti? Quanto importante è il ruolo dell'ambiente sui meccanismi di formazione delle galassie? Molte di queste domande richiedono grandi surveys di cielo, come abbiamo imparato dall'SDSS, per confrontarsi con simulazioni cosmologiche sofisticate che includono la fisica del gas, la chimica e i meccanismi di feedback. Una delle domande centrali in astrofisica, per la quale ci si può attendere progressi nella prossima decade, è la relazione tra le componenti oscure e luminose delle galassie. La materia oscura delle galassie può essere studiata usando il lensing gravitazionale o altre stime di massa (nebulose planetarie, ammassi globulari, raggi X). La natura della materia oscura ed il suo ruolo nel dare forma alle strutture cosmiche sarà una delle grandi sfide dei prossimi anni. La materia oscura è veramente fredda (Cold Dark Matter)? O è calda (Warm)? Nel caso particelle di materia oscura continuino ad eludere la nostra rivelazione, la materia oscura rimane l'unica possibile spiegazione per l'equilibrio delle strutture cosmiche?

Il grande progresso tecnologico degli ultimi anni ha permesso di osservare galassie a epoche primordiali, ad alti redshifts. La strumentazione astronomica futura della prossima decade permetterà di spingere la frontiera di esplorazione dell'Universo ancora più lontano nello spazio e nel tempo, fino a distanze ed età senza precedenti, e di osservare direttamente le primissime fasi dell'infanzia delle galassie. Sarà quindi possibile dare risposta a domande fondamentali quali: come si assemblarono i primi costituenti delle galassie? Come avvenne la formazione di stelle e l'assemblaggio della massa a epoche remote? Quali leggi fisiche governarono l'inizio della formazione delle strutture? Mappe ad alta risoluzione di galassie con la nuova generazione di strumenti saranno cruciali per studiare le galassie su tutte le scale, in particolare le loro regioni centrali. Ci si aspettano grandi progressi nella prossima decade per chiarire le caratteristiche dei nuclei galattici attivi e la loro influenza sull'evoluzione galattica. Perché la massa del buco nero supermassiccio centrale è così fortemente legata alla componente sferoidale delle galassie? Quali sono gli effetti di un nucleo galattico attivo sull'evoluzione della sua galassia di appartenenza? Per quali galassie e quando questo è stato rilevante? Solo una piccola frazione di nuclei galattici attivi mostra una forte emissione radio, mentre la maggioranza non forma jet relativistici. Questo non significa che siano oggetti privi di emissione radio. SKA, con la sua risoluzione e la sua sensibilità senza precedenti, permetterà di investigare le proprietà non termiche dei nuclei galattici attivi, per la prima volta persino ad alti redshifts. Questo consentirà di comprendere

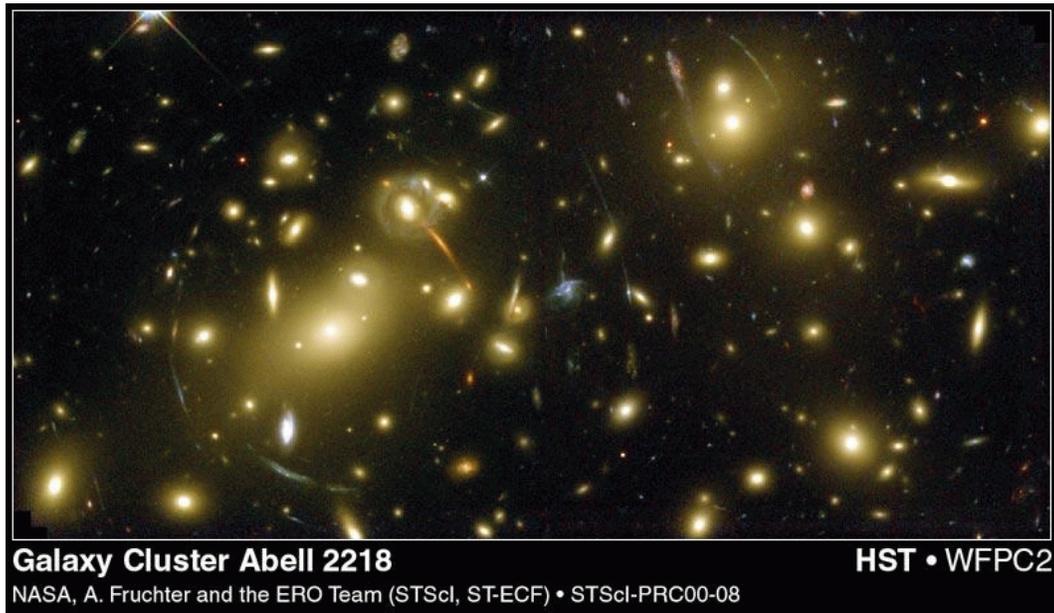


Figura 2.9: L'ammasso di galassie A2218 visto da Hubble Space Telescope.

l'influenza e il collegamento tra attività non termica dei nuclei, attività di starburst, l'evoluzione della galassia ospite e le sue proprietà'.

Andando alle strutture gravitazionalmente legate più grandi nell'universo, gli ammassi di galassie, questi sono uno strumento potente per testare l'attuale modello cosmologico e le teorie della formazione delle strutture. Inoltre, le proprietà delle galassie variano con la loro posizione, ma come e perché esattamente l'ambiente di una galassia ne influenzi l'evoluzione è ancora largamente un mistero. Ammassi e gruppi di galassie saranno trovati e meglio caratterizzati nei prossimi anni fino a distanze maggiori e su grandi campioni. Di conseguenza, saremo in grado sia di investigare la dipendenza delle galassie dall'ambiente, sia, in congiunzione con altri metodi cosmologici, di misurare con grande accuratezza i parametri e le leggi che governano l'universo e la formazione delle strutture al suo interno. Infine, i campi magnetici sono osservati su quasi tutte le scale nell'universo, dalle stelle alle galassie agli ammassi di galassie e oltre. Infatti, gli studi attuali nel radio degli ammassi di galassie e dei filamenti che collegano ammassi hanno mostrato l'esistenza di campi magnetici su scale di alcuni Mpc. L'origine dei campi magnetici cosmici è ancora una domanda aperta, tuttavia una classe di modelli prevede che abbiano origine nell'universo primordiale. Gli studi futuri con SKA e gli SKA-pathfinders permetteranno uno studio dettagliato dei campi magnetici su larga scala e la loro evoluzione col redshift, per comprenderne l'origine e l'evoluzione.

## 2.7 Geometria dell'universo

La cosmologia moderna può racchiudersi in un insieme di ampie tematiche fondamentali: comprendere le fasi primordiali dell'universo, la sua geometria globale ed evoluzione; cogliere la natura e le proprietà dei suoi costituenti elementari, siano essi particelle già scoperte o completamente ignote; collegare la cosmologia alla fisica fondamentale, incluse le teorie della gravità. Scopo degli astronomi è la ricostruzione e la comprensione sia delle fasi recenti dell'evoluzione dell'universo, con la loro ricca fenomenologia astrofisica, sia delle fasi iniziali della formazione delle strutture, includendo la rionizzazione cosmologica e le prime stelle. La chiave di questa questione risiede nella determinazione accurata di tutti i parametri cosmologici, in scenari stan-

dard e non. La comprensione della natura della materia oscura (dark matter, DM) e quella dell'energia oscura (dark energy, DE) rappresentano due tra le tematiche più profonde che la comunità scientifica sta preparandosi ad affrontare nel prossimo decennio, in particolare grazie ad Euclid, la missione M3 dell'ESA, che vede un contributo molto importante della nostra comunità nazionale. La loro natura sarà investigata quantificando il loro impatto sulla struttura su larga scala, sulla radiazione di fondo cosmico a microonde (cosmic microwave background, CMB) e sul segnale di cross-correlazione tra di esse, misurando le loro proprietà fisiche nel tempo cosmico. Questi studi possono fornire risposte alle seguenti domande: cos'è la DM e cos'è la DE? C'è interazione tra di esse? Abbiamo compreso la gravità sulle scale più grandi? Possiamo risolvere questioni di fisica fondamentale (riguardo alle masse dei neutrini, l'eventuale violazione delle leggi fondamentali della fisica, etc.) con osservazioni cosmologiche? Tutte queste tematiche hanno un carattere fortemente multidisciplinare dato che ricerche dirette della DM e di altre particelle vengono attualmente condotte con esperimenti di fisica. Inoltre esse richiedono approcci multi-frequenza per poter identificare le impronte di tali particelle con maggiore significatività statistica e senza bias sistematici.

### **Il fondo cosmico a microonde come testimone dei misteri dell'universo**

Ci stiamo avvicinando alla realizzazione quasi definitiva delle mappe di anisotropia (in intensità totale o temperatura) del CMB e il prossimo decennio sarà dedicato ad estrarre in modo preciso tutta l'informazione cosmologica che esse contengono. In contrasto, la mappatura delle anisotropie di polarizzazione del CMB è tuttora in una fase iniziale e ancor più lo è la scoperta delle distorsioni spettrali del CMB. Questi due osservabili richiedono imprese sperimentali formidabili. Se un'identificazione solida dei modi B della polarizzazione primordiale è da vedersi come la prova cruciale dell'inflazione, e consente di fissare precisamente la scala di energia a cui sarebbe avvenuta, un ampio insieme di modelli di inflazione e dell'universo primordiale possono essere vincolati o smentiti da studi sulla polarizzazione e non-gaussianità del CMB. Lo spettro del CMB aprirà una nuova finestra sull'inflazione, grazie alle impronte lasciate in esso dalle proprietà dello spettro di potenza delle perturbazioni primordiali a scale estremamente piccole, dissipate dalla diffusione dei fotoni e quindi non osservabili grazie alle anisotropie, sulle annichilazioni e decadimenti di particelle e sulle proprietà degli atomi durante l'epoca della ricombinazione e quelle seguenti. La mappatura dei foreground, cioè tutte le emissioni astrofisiche, di origine galattica ed extragalattica, sovrapposte al segnale di CMB e il continuo miglioramento nei metodi di analisi dei dati per la separazione accurata di tali segnali sono passi cruciali e inevitabili in questa ricerca.

### **La struttura su larga scala dell'universo**

Alle grandi scale il nostro universo è ricco di strutture cosmiche, quali galassie, ammassi di galassie, filamenti del mezzo intergalattico della cosiddetta rete cosmica (cosmic web): essi sono tutti traccianti del campo gravitazionale sottostante e documentano una varietà di ambienti ed epoche cosmiche. L'analisi della struttura su larga scala è condotta confrontando simulazioni di volumi cosmologici realizzate con super computer su dati a molte lunghezze d'onda di osservabili diversi (quali il lensing gravitazionale debole e forte, l'emissione a raggi X da plasma estremamente caldo in strutture collassate, l'effetto Sunyaev-Zeldovich generato dall'interazione dei fotoni del CMB su tale plasma, l'emissione ottica e infrarossa delle galassie, le linee di assorbimento in ottico e UV lungo la linea di vista di quasar), l'analisi della distribuzione statistica degli oggetti (conteggi, clustering e momenti di ordine superiore), osservazioni di spettri di quasar per analizzare la materia collocata lungo la linea di vista. Attori chiave nei prossimi decenni in questo campo saranno le missioni dell'ESA Euclid (M3) e Athena (L2), entrambe con contributi sostanziali dalla comunità italiana. Si prevedono progressi nei seguenti campi: i) una caratterizzazione d'insieme delle proprietà fisiche e chimiche delle strutture virializzate più massicce dell'universo, gli ammassi di galassie, con enfasi particolare alla loro evoluzione cosmologica e sulle implicazioni per la formazione delle galassie e la cosmologia, usando insiemi di dati

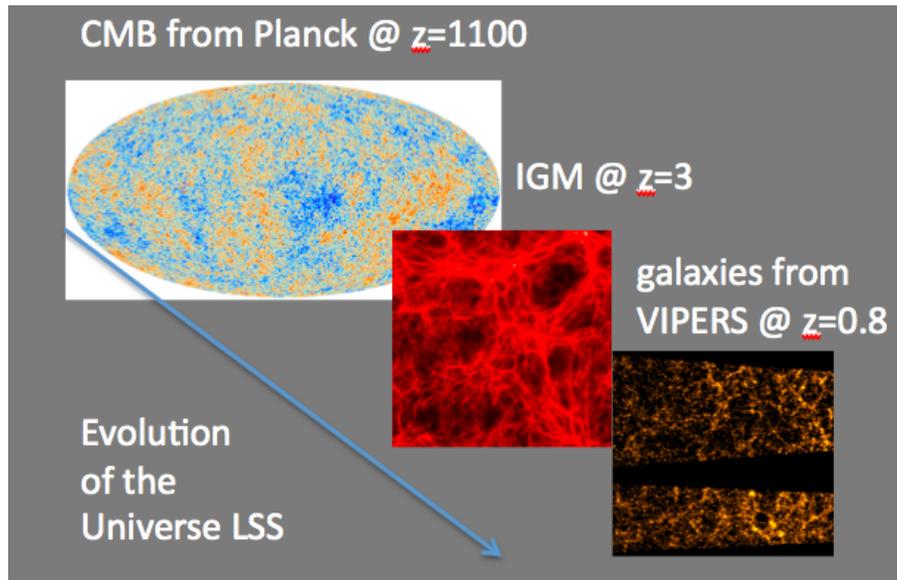


Figura 2.10: L'evoluzione della struttura su larga scala nell'universo.

a molte lunghezze d'onda; ii) lo studio della formazione delle prime strutture nell'universo ad alto redshift (in particolare le proprietà fisiche e chimiche delle prime stelle e il loro impatto sui fondi cosmici); iii) la rionizzazione dell'idrogeno e i modelli per l'idrogeno neutro internamente ed esternamente agli oggetti virializzati al fine di predirne l'identificabilità con gli strumenti futuri; iv) la formazione e l'evoluzione di buchi neri super massicci nell'universo ad alto redshift e la caratterizzazione del loro ambiente. La rionizzazione tramite la tracciatura della riga a 21 cm dell'HI in funzione del redshift rappresenterà un obiettivo scientifico chiave di SKA.

### Il ciclo cosmico dei barioni

Il legame tra materia luminosa e oscura verrà studiato inoltre con attenzione alle implicazioni astrofisiche per i modelli di formazione delle galassie. In contrasto con la stima del contributo in massa dei barioni al valore complessivo cosmologico ad alto redshift (dedotto con il CMB), ad epoche più recenti sembra emergere una penuria apparente di barioni: quelli mancanti potrebbero risiedere, elusivamente, nel cosiddetto mezzo intergalattico tiepido-caldo (Warm-Hot Intergalactic Medium). Il gas in questa fase può essere osservato nei raggi X (in assorbimento ed emissione) ma le osservazioni compiute finora non sono definitive, e questo aspetto costituirà lo scopo scientifico cruciale della missione ESA-L2 Athena. Questo gas potrebbe tenere traccia del legame con le galassie in forma di feedback (termico e meccanico) che influenza le sue proprietà chimiche e fisiche. Negli anni a venire ci si aspetta un progresso nell'analisi dell'interazione galassia/mezzo intergalattico e nel mezzo intra-ammasso negli ammassi di galassie. Le questioni principali alle quali la comunità sta cercando di rispondere sono: dove si collocano i barioni nell'universo a basso redshift? In che modo le proprietà del mezzo intra-ammasso, del mezzo intergalattico e del mezzo circostante sono influenzate dal feedback? Riusciamo a tracciare le proprietà fisiche e chimiche dei barioni da alto a basso redshift?

## 2.8 Astrofisica relativistica e delle alte energie

L'astrofisica delle alte energie è il regno dei comportamenti estremi. Dal Sole ai buchi neri più massicci lo studio di questi sistemi permette agli astronomi di sondare condizioni fisiche estreme dove tipicamente raggi X, raggi gamma e particelle di alta energia sono prodotti in gran

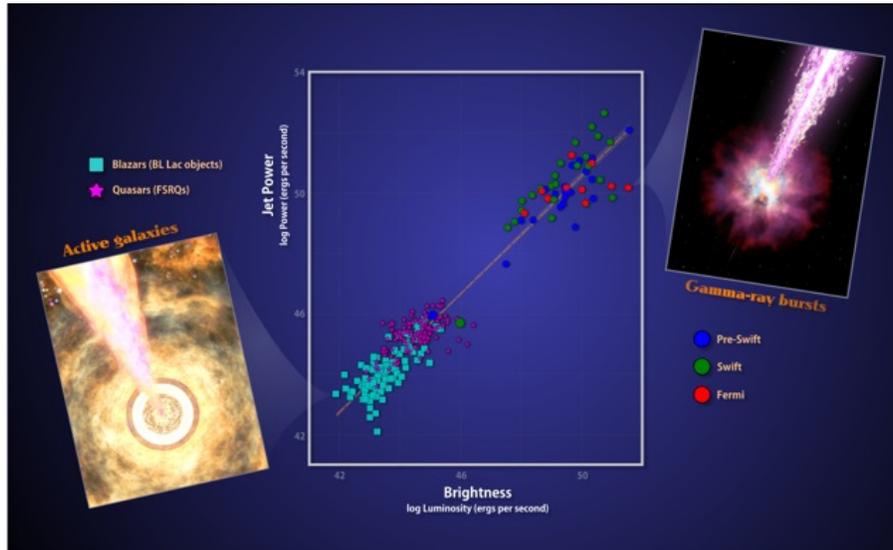


Figura 2.11: Un possibile scenario di unificazione fra i GRB ed i “blazar (Nemmen et al. 2012, Science, 338, Issue 6113, 1445).

quantità. La possibilità di studiare processi fisici fondamentali offerta da queste fenomenologie è impressionante ed ancora da esplorare pienamente.

### Oggetti compatti

I buchi neri, da quelli di dimensione stellare agli oggetti di milioni di masse solari che giacciono al centro di galassie massicce, sono tipici oggetti di studio. Ci si aspetta, infatti, che diversi quesiti fondamentali trovino risposta nel prossimo decennio. Come si formano e crescono i buchi neri? Gli oggetti compatti sono ingredienti fondamentali di alcune delle sorgenti astrofisiche più spettacolari, come i sistemi binari a raggi X, i lampi di luce gamma (GRB) ed i nuclei galattici attivi (AGN). Come è estratta l’energia da questi oggetti per alimentare la radiazione che emettono? Esiste su questo un ampio dibattito. Possono le stesse leggi essere semplicemente riscaldate dai sistemi binari ai buchi neri di scala galattica? La struttura interna degli oggetti compatti è ancora largamente ignota. Quale è l’equazione di stato corretta per le stelle di neutroni? Pulsar e ”magnetar” sono manifestazioni diverse di stelle di neutroni ruotanti. Che cosa alimenta la loro emissione?

### Lampi di luce gamma

I GRB sono una classe di oggetti di interesse in ogni settore dell’astrofisica delle alte energie e relativistica. Il coinvolgimento italiano nel campo è sempre stato al massimo livello, come testimoniato dai grandi contributi scientifici forniti dalle missioni spaziali *BeppoSAX* e *Swift* ed in generale dalla comunità astrofisica italiana. I GRB continueranno ad essere senza alcun dubbio un argomento fondamentale di ricerca nel prossimo decennio. Gli scienziati del settore tenteranno di dare risposta alle numerose questioni aperte riguardo la fisica dei GRB, i meccanismi di emissione durante la fase “prompt” e la struttura ed energetica del getto. In aggiunta, i GRB di lunga durata, quelli associati al collasso di stelle massicce, sono probabilmente le migliori sonde dell’universo giovane che abbiamo a disposizione. Questi eventi ci permettono di studiare galassie che normalmente rimangono nascoste in ricerche ad alto redshift con limiti in flusso, ed in diversi casi analisi dettagliate dei gas lungo la linea di vista per questi sistemi ad alto redshift sono possibili con un’accuratezza non raggiungibile con altre tecniche. I GRB di breve durata, quelli ritenuti essere associati alla coalescenza di oggetti compatti, sono fra i candidati più promettenti per l’emissione di onde gravitazionali durante la loro formazione, e sono anche siti per la produzione di elementi tramite i processi-r.

### **Accrescimento, getti ed accelerazione di particelle**

L'accrescimento in massa manca ancora di una comprensione dettagliata. I getti sono per altro fenomeni comuni associati all'accrescimento su oggetti compatti di ogni taglia. Come sono collimati ed alimentati i getti? Come interagiscono con l'ambiente circostante? Nel prossimo decennio tecniche osservative legate alle altissime energie raggiungeranno la maturità ed anche studi di polarizzazione saranno possibili. Molte classi di sorgenti di alta energia sono note come emettitori di fotoni e particelle di alta energia. Quali processi di emissione sono responsabili per questo? L'origine dei raggi cosmici di alta energia potrà finalmente essere identificata?

### **Fisica fondamentale**

Il modello standard è verificato fino alle più alte energie raggiungibili con i più avanzati acceleratori. Potranno i raggi cosmici permettere di spingere queste verifiche sperimentali ad energie virtualmente inaccessibili dai laboratori terrestri? Il regime ad alte energie è quello dove ci si aspetta che effetti non classici diventino importanti. Varie alternative alla teoria della relatività saranno verificate e vincolate. La velocità della luce è influenzata dalla struttura dello spazio tempo alle alte energie? Strutture osservative future permetteranno di studiare regioni molto vicine agli oggetti compatti aprendo possibilità senza precedenti per l'esplorazione dei regimi di gravità forte. C'è evidenza di effetti quantistici ed a quale scala diventano importanti? La materia che orbita nelle vicinanze dell'orizzonte degli eventi segue le predizioni della relatività generale? Si osserveranno direttamente distorsioni dello spazio-tempo nelle vicinanze dell'orizzonte degli eventi di un buco nero? La stessa esistenza dell'orizzonte degli eventi sarà finalmente provata senza ambiguità? Inoltre, osservazioni ai raggi X ad alta efficienza e buona risoluzione spettrale sono uno strumento unico per affrontare alcune delle questioni chiave sopra elencate, così come per investigare le equazioni di stato delle stelle di neutroni e quindi anche fornire indizi sul comportamento della materia in condizioni estreme di densità ed a basse temperature. Questi sono regimi fondamentali per mettere alla prova il modello standard e complementari alle misure di bassa densità ed alte temperature compiute ai grandi acceleratori come LHC.

### **Le esplosioni cosmiche e l'universo transiente**

Uno scenario di ricerca interamente nuovo è quello del cosiddetto universo transiente. Molte classi di oggetti transienti, spesso alle alte energie, sono ancora ignote e si pensa verranno identificate e classificate nella prossima decade. Per le categorie già note diversi problemi aperti verranno affrontati. Ad esempio, quali stelle concludono la loro evoluzione come GRB e SNe, e come? Quale è la connessione fra questi due fenomeni? Ricerche su grande scala caratterizzeranno la prossima decade, e permetteranno agli astronomi di definire un censimento più affidabile delle varie classi di sorgenti astrofisiche. Quale è la vera popolazione di oggetti compatti in un tipico ambiente della Galassia? Infine, avanzamenti sostanziali sono attesi a causa della disponibilità di super-computer di alte prestazioni insieme al miglioramento delle tecniche di analisi numerica. In questo contesto domande fondamentali riguardo la composizione e l'energetica dei flussi relativistici saranno affrontate. Come avviene l'accelerazione di particelle in flussi (ultra-) relativistici? La relatività numerica appare essere uno strumento di analisi promettente.

### **Cosmologia da emissioni di alta energia di sorgenti astrofisiche**

L'emissione X e gamma di alcune classi di sorgenti astrofisiche è di rilievo anche in cosmologia. Le proprietà ai raggi X del mezzo intra-ammasso possono aiutare ad ottenere informazioni importanti sul processo gerarchico di formazione degli ammassi galassie, e di conseguenza sulla cosmologia (ad esempio parametri cosmologici). Potenzialmente la combinazione di studi nei raggi X e nel radio (non termico) possono dare informazioni sul tasso di fusione degli ammassi nell'universo, specialmente se consideriamo le prossime campagne osservative condotte nei raggi X (eROSITA) e radio (ASKAP, SKA). Un altro esempio di rilievo è legato ai GRB di lunga durata. La combinazione di elevata luminosità, distribuzione in redshift fino alle primissime fasi dell'Universo e l'associazione con il collasso di stelle molto massicce fa di questi fenomeni uno strumento potenzialmente molto importante per la cosmologia. Da una parte, il segnale

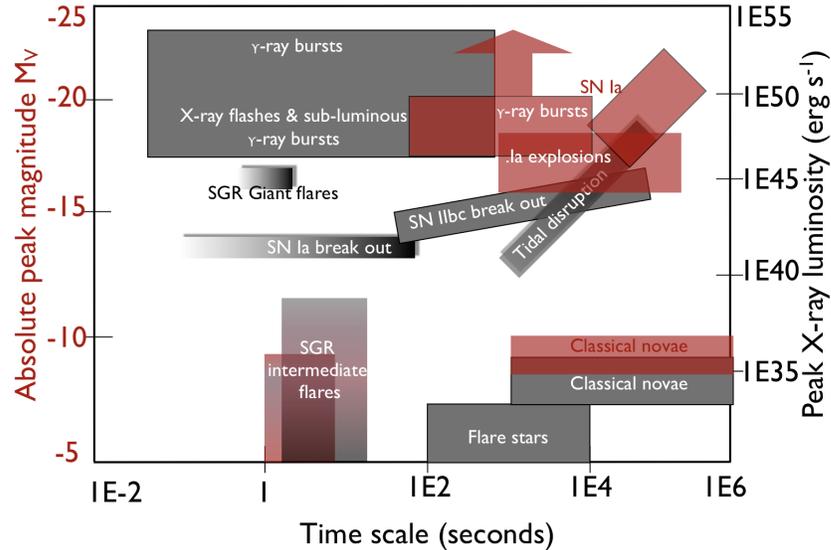


Figura 2.12: Lo “spazio di scoperta per l’Universo transiente (Jonker et al., 2013,arXiv:1306.2336).

ad alte energie fornisce una prima localizzazione dell’evento, poi rifinita tramite osservazioni ottiche/NIR che possono permettere di identificare la galassia ospite e, quindi, lo studio della storia della formazione stellare, dell’evoluzione della metallicità e delle stelle di popolazione III fino all’epoca di rionizzazione. Dall’altra, le proprietà spettrali e di luminosità ai raggi X/gamma sono ampiamente sotto indagine per una possibile standardizzazione di questi eventi e, quindi, per il loro uso per la misura di parametri cosmologici e le proprietà dell’energia oscura.

## 2.9 Nuova fisica ed astronomia multi-messaggio

Nel prossimo decennio ci si aspetta un’autentica rivoluzione scientifica in seguito all’avvento di strumentazione innovativa nel contesto della fisica di frontiera. I rivelatori di neutrini diventeranno sufficientemente efficienti da permettere comunemente osservazioni di sorgenti astrofisiche, ed i rivelatori di onde gravitazionali si ritiene saranno in grado di osservare direttamente le onde gravitazionali per la prima volta, quindi confermando uno dei pilastri della fisica moderna, la teoria della relatività generale. Il miglioramento nella tecnologia di questi rivelatori sta portando la cosiddetta astronomia non elettromagnetica alla maturità, rendendo possibile la nascita dell’astronomia multi-messaggio (come definita nel documento Horizon 2020). I progressi nella ricerca sono ottenuti utilizzando tutti i veicoli di informazioni fisiche (onde elettromagnetiche, neutrini e onde gravitazionali) e ciò potrebbe potenzialmente aprire una finestra osservativa completamente nuova sull’Universo. Gli studi multi-messaggio richiederanno di sviluppare sinergie stimolanti fra comunità scientifiche diverse: astrofisici, fisici delle particelle e delle onde gravitazionali. Le possibilità di una conoscenza completa dei fenomeni astrofisici tramite i vari “messaggi” è uno delle più interessanti e promettenti prospettive della moderna astronomia. Le domande fondamentali a cui rispondere attraverso i differenti “messaggi” sono: siamo in grado di rivelare le onde gravitazionali? Siamo pronti ad organizzare osservazioni multi-messaggio e compiere analisi congiunte e sviluppare adeguate interpretazioni? I neutrini e le onde gravitazionali sono realmente emessi come suggerito dalla teoria e come evidenze indirette sembrano confermare? Quale è il tasso reale di GRB di corta durata, di supernovae e delle varie sorgenti di onde gravitazionali? Ed infine queste frequenze possono essere confrontate con i risultati delle osservazioni elettromagnetiche e dei modelli di sintesi di popolazione? In particolare, l’or-

ganizzazione della ricerca ed identificazione delle controparti elettromagnetiche di osservazioni multi-messaggio rappresenta un'enorme sfida per l'INAF e per l'intera comunità scientifica internazionale. Le ampie incertezze posizionali tipiche delle GW e dei neutrini di alta energia, i brevi tempi scala dei fenomeni coinvolti e la bassa luminosità apparente delle sorgenti di onde gravitazionali e neutrini di alta energia in alcune bande elettromagnetiche richiedono grandi campi di vista, tempi di reazione molto rapidi ed alta sensibilità. In aggiunta, l'identificazione certa delle controparti elettromagnetiche richiede una dettagliata conoscenza della popolazione di transienti (transienti astrofisici ottenuti da ricerche spazio-temporali non direttamente associati con il segnale gravitazionale). Da tutto questo conseguono ulteriori quesiti chiave: abbiamo la capacità tecnologica di rivelare le elusive controparti elettromagnetiche dei segnali dei transienti gravitazionali? Quale è l'attuale conoscenza del cielo transiente e come potremmo migliorarla? Abbiamo telescopi e satelliti con la capacità di fornire una sorveglianza continua delle pulsar radio, X e gamma e di garantire misure temporali di precisione? Ne consegue quindi la necessità di sviluppare le capacità tecnologiche ed organizzative per svolgere tali compiti e di migliorare la nostra conoscenza del cielo transiente con strumenti capaci di garantire un'adeguata sorveglianza a tutte le lunghezze d'onda.

## Capitolo 3

# Ricerca tecnologica

Per raggiungere grandi risultati in astronomia, affrontando le sfide necessarie per raggiungere gli ambiziosi obiettivi descritti al capitolo precedente, è indispensabile accompagnare la ricerca di base con ricerca di alto livello in molteplici altri settori, quali ad esempio lo sviluppo di strumentazione, la fisica applicata, l'ottica, l'informatica, l'analisi di segnali e immagini, la fisica dell'atmosfera.

Questa attività di ricerca tecnologica è anche essa caratterizzata da fondamentali interrogativi e obiettivi di base, quali ad esempio: come annullare le perturbazioni indotte dall'atmosfera sulle immagini ottenute dai telescopi a terra, come ricostruire la risoluzione originaria dell'immagine alle diverse lunghezze d'onda, come ottimizzare l'accesso ai dati astronomici e la loro disseminazione (Virtual Observatory), come concepire metodi, tecniche e dispositivi intelligenti per rispondere alle sfide tecnologiche e superare le limitazioni attuali, come processare nel modo più efficace i segnali per ricostruire le informazioni astrofisiche da una immagine o da uno spettro, come predire il futuro stato della turbolenza atmosferica per limitare il suo effetto nel modo più efficiente.

Certamente, lo sviluppo di nuove tecnologie da applicare alla strumentazione astronomica necessita di uno sforzo in Ricerca & Sviluppo che deve avvenire in parallelo. I progetti strumentali hanno schedule temporali precise e necessitano normalmente di tecnologie già mature; per farle maturare al livello richiesto è necessario affiancare ad essi una consistente attività parallela di Ricerca & Sviluppo, che richiede tempo e finanziamenti adeguati. Attività mirate devono dunque essere finanziate a sostegno della ricerca tecnologica applicata, in modo da portare al livello adeguato le tecnologie necessarie per trasformare in realtà i progetti innovativi di infrastrutture per la ricerca astronomica, dove gli investimenti sono tali da non rendere immaginabili né ritardi né prestazioni inferiori a quelle previste. In questa maniera, il lavoro di ricerca nelle tecnologie astronomiche potrà continuare ad essere un misto di ricerca applicata e sviluppo di strumenti sempre più avanzati.

Il potenziale di innovazione tecnologica di INAF deve essere mantenuto e possibilmente migliorato cooperando strettamente con l'industria nazionale, anche attraverso le iniziative di aggregazione pubblico-privata favorite dalla Comunità Europea e dal Governo Italiano, come la partecipazione a grandi Distretti Tecnologici (INAF è infatti già socio di alcuni distretti regionali nei settori dell'aerospazio e delle micro e nano-tecnologie, in collaborazione con Università, Enti di Ricerca, piccole e medie imprese e grandi imprese).

### 3.1 Relazioni con l'industria

Un compito fondamentale per un Ente Pubblico di Ricerca come INAF deve anche essere quello di favorire ritorni industriali, economici e sociali. Pertanto, INAF intende supportare la piccola, media e grande industria italiana attraverso collaborazioni e programmi di trasferimento

tecnologico, allo scopo di aiutarla a competere nel mercato mondiale degli strumenti ad elevata tecnologia, dove può essere più competitiva a livello globale rispetto al mercato delle produzioni a basso costo. INAF intende rafforzare la sua collaborazione con l'industria condividendo i risultati della ricerca tecnologica innovativa svolta presso i suoi laboratori, che pur essendo primariamente rivolta ad accrescere la conoscenza dell'universo ha anche molte possibili applicazioni al di fuori dell'ambiente astronomico.

A titolo di esempio, un paradigma totalmente nuovo nelle relazioni fra la ricerca astronomica e l'industria sta per essere stabilito dal progetto SKA, che sarà un sistema costituito da circa 3000 antenne a disco e 1 milione di altre antenne di minori dimensioni sparse in un territorio di alcune migliaia di chilometri in due continenti, Africa e Oceania. I ricevitori saranno connessi da una rete in fibra ottica che trasporterà un volume di dati approssimativamente uguale a cento volte il traffico attuale di Internet; la lunghezza complessiva delle fibre ottiche adoperate in SKA sarà circa il doppio della circonferenza terrestre; per memorizzare i dati prodotti annualmente sarebbe necessaria una pila di dischi blue-ray alta 250 chilometri; la potenza computazionale del computer centrale di SKA sarà equivalente a quella di cento milioni di personal computer. L'enormità di questo progetto è quindi tale da richiedere un deciso avanzamento tecnologico per la sua realizzazione, compreso ad esempio un supercalcolatore tre volte più potente del migliore esistente ad oggi. Di fatto, le tecnologie necessarie per il processamento e la memorizzazione dei dati di SKA ancora non esistono: l'intera industria dei supercomputer ha bisogno di evolvere per affrontare le sfide di questo progetto.

Pertanto, si può ben dire che progetti come questo non riguardino solo la costruzione di infrastrutture per la ricerca astronomica: le tecnologie che progrediranno anche per effetto di progetti come SKA sono più in generale parte di quel motore di innovazione che fa progredire l'umanità. I risultati saranno tangibili nella vita quotidiana di ognuno come nel caso delle tecnologie dei rivelatori, sviluppate inizialmente per la strumentazione astronomica ma poi confluite negli smartphone che ognuno oggi porta con sé.

La visione di INAF è che la partecipazione congiunta con l'industria a progetti ambiziosi come questo debba andare a beneficio della ricerca, dell'industria, e su tempi più lunghi dell'intera società.

## 3.2 Tecnologie di frontiera

Un altro ottimo esempio di stretta collaborazione fra i ricercatori INAF e l'industria è il settore dell'ottica adattiva, ove l'Italia occupa una posizione di leadership. Le industrie italiane sono leader a livello mondiale nella produzione di grandi specchi adattivi per la maggior parte dei grandi (ed estremamente grandi) telescopi di oggi e del futuro. Ciò è immediatamente visibile dalle straordinarie capacità del sistema di ottica adattiva di LBT. Inoltre, il modulo di ottica adattiva multi-coniugata MAORY, progettato per il più avanzato telescopio ottico del futuro E-ELT, ha leadership italiana e, a ulteriore riprova dell'eccellente livello dei ricercatori italiani, il sensore di fronte d'onda a piramide è stato inventato in Italia. Tutti questi risultati sono stati conseguiti a valle di un lungo periodo di ricerca applicata. In campo astronomico, il pieno sfruttamento dell'ottica adattiva avverrà in futuro, con la costruzione o il completamento di telescopi che adottano questa tecnologia; per l'industria italiana invece, significativi ritorni ci sono già stati. Adottando la terminologia di Horizon 2020, l'ottica adattiva è quindi un tipico esempio di come la ricerca in INAF non sia solo dedicata al progresso della conoscenza di base ma anche *technology oriented*, ovvero vicina ad aspetti tecnologici con risvolti economici e sociali.

Vi sono naturalmente anche svariati altri settori dove i ricercatori italiani sono all'avanguardia: l'ottica attiva, con esempi di sistemi realizzati in stretta cooperazione con l'industria nazionale di optomeccanica di precisione; la produzione di specchi con tecnologie innovative, proposta per il futuro sistema di telescopi CTA (progetto ASTRI); i sistemi di controllo per

telescopi e strumenti, sviluppati per svariati progetti internazionali; lo sviluppo di payloads per missioni spaziali, con trasferimento bidirezionale di know-how da e verso l'industria; lo sviluppo di rivelatori e della loro elettronica di controllo in diverse bande della radiazione elettromagnetica; lo sviluppo di sistemi criogenici per uso da terra o dallo spazio; lo sviluppo di sensori di impatto per la rivelazione delle polveri, nati in ambiente spaziale per lo studio delle comete ma con possibili applicazioni anche sulla Terra; lo sviluppo di concetti innovativi per camere stereo tridimensionali in missioni planetarie; il progetto e lo sviluppo di sistemi ottici per l'astronomia a raggi X; lo sviluppo di elementi ottici olografici riscrivibili fotocromici e di VPHG (Volume Phase Holographic Grating) basati su fotopolimeri; lo sviluppo di strumentazione avanzata per la coronografia e spettrometria del Sole nelle bande ultravioletta (UV) e ultravioletta estrema, (XUV).

### 3.3 Tecnologie interdisciplinari

Le attività di ricerca tecnologica in INAF sono spesso correlate con altri ambiti e discipline, come dimostrano alcuni significativi esempi citati nel seguito.

- I rivelatori di raggi gamma sviluppati per CTA ereditano l'esperienza di altri progetti quali HESS, Magic, Veritas, in sinergia con le attività di INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare).

- Le tecniche sviluppate per TES (Transition Edge Superconductors), per i microcalorimetri a raggi X (missione spaziale ATHENA) e per i bolometri per la ricerca della radiazione cosmica di fondo (Planck, OLIMPO, PRISM ecc.) presentano significative sinergie e offrono opportunità di importanti collaborazioni multidisciplinari.

- La tecnologia dei rivelatori sviluppata per la fisica delle particelle può essere adoperata per l'astrofisica delle alte energie: per esempio, nella proposta per la missione spaziale LOFT i rivelatori a grande area SDD (Silicon Drift Detectors) sono derivati dai rivelatori sviluppati per l'inseguimento delle particelle nell'ambito dell'esperimento ALICE del CERN.

- Gli accelerometri nella missione spaziale BepiColombo e i gratings sviluppati in collaborazione con INFN.

- Lo sviluppo di sensori innovativi per la rivelazione della fuga di particelle neutre (grazie alla collaborazione con CNR-ISC e IFN (Istituto di Fotonica e Nanotecnologie)) consente all'INAF di promuovere nuove tecnologie di uso interdisciplinare nell'ambito dell'interazione della radiazione di particelle con vari materiali.

- Le tecniche sviluppate per il raffreddamento dei rivelatori a temperature criogeniche sono utili per i radio-ricevitori, rivelatori a onde millimetriche, rivelatori infrarossi, microcalorimetri a raggi X. La necessità di operare questi sistemi da remoto ha prodotto tecniche di controllo utili per applicazioni in siti remoti come palloni stratosferici, satelliti, o l'Antartide.

- Le tecnologie di lavorazione di specchi ottici e UV.

- Il lavoro sulle ottiche a raggi X e ad energie di MeV, consolidata attraverso la partecipazione a diverse missioni spaziali.

- Lo sviluppo di competenze interdisciplinari fra astronomia e fisica dell'atmosfera, nel campo della modellazione e predizione della turbolenza ottica in regimi stabili, che può giocare un ruolo fondamentale anche per aspetti sociali come il problema globale del cambiamento climatico.

- Lo sviluppo di tecnologie all'avanguardia per radiotelescopi, per le antenne italiane di Medicina, Noto e SRT e per il futuro progetto globale SKA: ricevitori a bassa frequenza, ricevitori multi-pixel ad alta frequenza, metrologia per superfici attive, polarizzazione e spettroscopia.

Essendo la ricerca tecnologica intrinsecamente molto interdisciplinare, la cooperazione di INAF con altri attori fondamentali della ricerca nazionale e internazionale dovrà sempre essere favorita e possibilmente rafforzata.

### 3.4 Trasferimento tecnologico

INAF collabora con l'industria italiana in svariati programmi tecnologici, sia per la realizzazione di infrastrutture che per lo sviluppo di tecnologie di frontiera. Alcune industrie italiane hanno raggiunto posizioni di leadership in campi legati all'astronomia da terra, quali ad esempio l'ottica adattiva, la realizzazione di edifici e impianti per telescopi, l'optomeccanica di precisione per telescopi e strumenti.

Inoltre, INAF è regolarmente partner in progetti di cooperazione pubblico-privata finanziati dal MIUR, trasferendo tecnologie all'industria che vengono adoperate con successo anche in ambienti molto differenti dalla ricerca astronomica, potenzialmente contribuendo anche a creare nuova occupazione (a titolo di esempio, un programma congiunto ha riguardato il monitoraggio del contrabbando di materiale fissile nei porti marini).

Queste opportunità sono una tendenza crescente negli schemi di finanziamento del governo italiano al mondo della ricerca: INAF ha il potenziale di coglierle attraverso la sua componente tecnologica e dovrà continuare a farlo in modo sinergico rispetto alle sue attività istituzionali.

## Capitolo 4

# Infrastrutture

Le infrastrutture per la ricerca astronomica sono i grandi strumenti utilizzati dalla comunità scientifica per condurre ricerca di frontiera. Oggi, gli astronomi italiani possono accedere a potenti telescopi che rimarranno operativi per tutto il prossimo decennio, in molti casi con aggiornamenti del parco di strumenti. Questo accadrà in particolare per i telescopi dello European Southern Observatory (ESO), ovvero per il VLT, il più avanzato telescopio ottico al mondo, recentemente affiancato dai due telescopi di survey VISTA per l'infrarosso e VST per il visibile (vedi Figura 4.1), e per il sistema di radiotelescopi ALMA. Si noti a tal proposito che VST è un telescopio totalmente progettato e realizzato in Italia da INAF e da industrie italiane, nell'ambito di un accordo con ESO; tale strumento è integrato in quello che è considerato il migliore osservatorio astronomico del mondo. Gli strumenti dell'osservatorio ESO sono stati spesso realizzati con contributi significativi di INAF all'interno di consorzi internazionali; nel caso specifico di VST la realizzazione è stata esclusivamente italiana (la figura 4.2 mostra una spettacolare immagine che dimostra la sua eccellente qualità ottica in un grande campo di vista). INAF deve continuare ad avere un ruolo attivo nella costruzione della prossima generazione di strumenti per ESO, mantenendo il suo ottimo posizionamento nel settore.

Dallo spazio, missioni ormai mature come HST, NuStar, XMM/Newton, Integral e Swift stanno ancora fornendo una grande mole di dati e saranno utilizzati anche per gli anni a venire; il coinvolgimento italiano in queste missioni è avvenuto ai massimi livelli.

Le infrastrutture nazionali da terra nella prossima decade continueranno ad essere i telescopi ottici LBT e TNG con i loro nuovi strumenti e il radiotelescopio SRT, recentemente completato. Dallo spazio, le missioni che ci invieranno dati scientifici nella prossima decade saranno quelle già lanciate o prossime al lancio.

Inevitabilmente, un piano di sviluppo di un singolo paese come l'Italia deve inquadrarsi nell'ambito di strategie europee e mondiali. Il livello di competizione nel mondo della ricerca è molto elevato e spinge verso grandi investimenti, che possono essere sostenuti esclusivamente attraverso collaborazioni internazionali e/o con organizzazioni transnazionali quali ESO o ESA. Questa strategia mira a scavalcare i limiti imposti dalle politiche nazionali locali, fornendo all'Europa infrastrutture per la ricerca astronomica competitive a livello mondiale. Infatti, le future infrastrutture saranno uniche in Europa e talvolta nel mondo, a causa dei costi per la loro realizzazione e funzionamento. Pertanto, la loro scelta deve essere estremamente accurata e guidata dagli obiettivi scientifici e dalle sinergie fra gli stessi. Inoltre, l'intero piano deve essere concordato (almeno) a livello europeo. Uno sforzo di coordinamento non limitato solo all'astronomia è stato fatto con la creazione di ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures), la cui missione è supportare un approccio strategico alle infrastrutture per la ricerca a livello europeo. La roadmap di ESFRI è stata tracciata nel 2008 e da allora viene periodicamente aggiornata.



Figura 4.1: L'osservatorio di Cerro Paranal, il migliore al mondo secondo le statistiche di produttività scientifica.

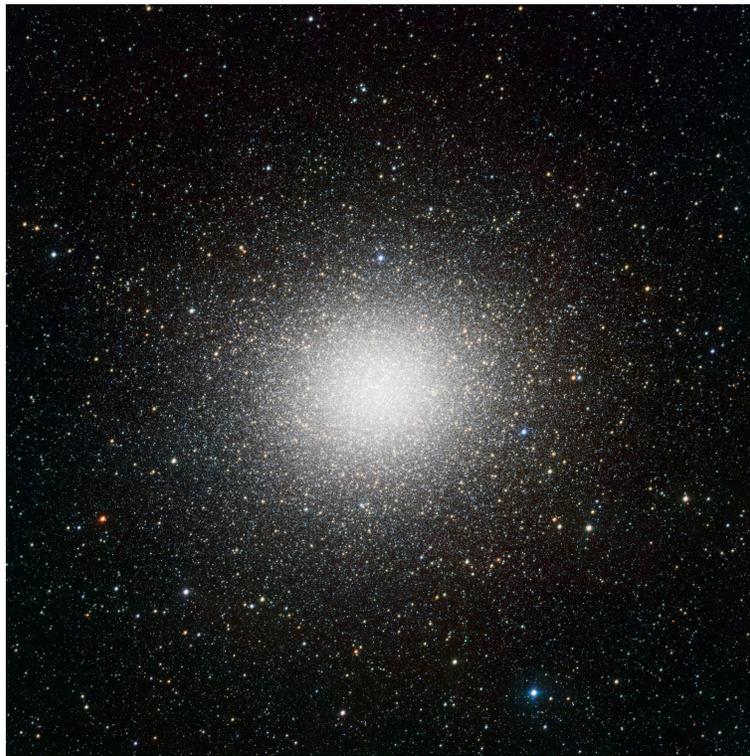


Figura 4.2: La galassia Omega Centauri ripresa da VST.

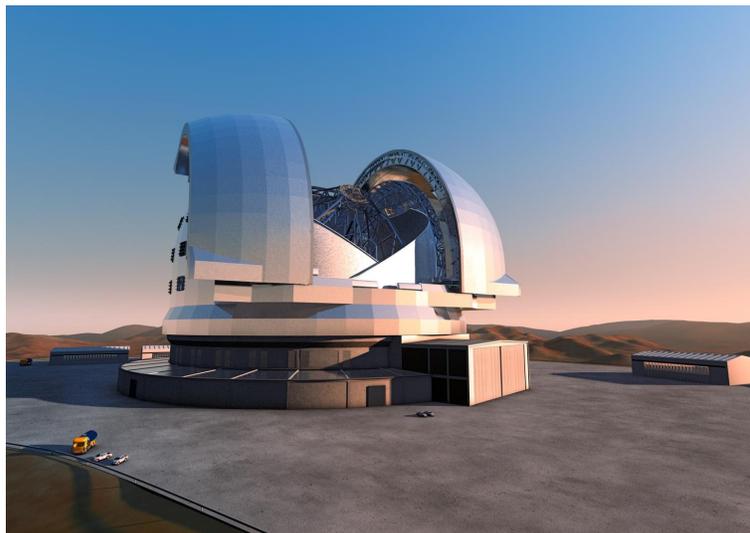


Figura 4.3: Lo European Extremely Large Telescope (E-ELT)



Figura 4.4: Lo Square Kilometre Array (SKA)

## 4.1 Grandi progetti da terra

Nel dominio dell'astronomia da terra, fra i grandi progetti identificati come priorità per il futuro della ricerca astronomica dalla Roadmap Astronet per le infrastrutture, INAF è coinvolto in tutti i progetti a priorità più elevata elencati nel seguito e si propone di supportarli fortemente nella prossima decade.

Lo European Extremely Large Telescope (E-ELT) è un enorme telescopio per il visibile e l'infrarosso, un progetto approvato di ESO che lo installerà in Cile nella località di Cerro Armazones (Fig. 4.3), nel deserto di Atacama. Il progetto prevede un telescopio riflettore da 39.3 metri di diametro diviso in circa 800 segmenti, uno specchio secondario di 4.2 metri, un sistema di ottica adattiva e un insieme di strumenti di piano focale per i quali esiste un piano di sviluppo temporale a lunga scadenza. E-ELT consentirà all'Europa di mantenere il primato a livello mondiale nel campo dei telescopi ottici da terra. L'Italia è uno stato membro di ESO e ha già garantito il suo supporto finanziario al progetto.

Lo Square Kilometre Array (SKA) sarà il più grande e sensibile radio telescopio mai concepito, costituito da migliaia di antenne ospitate in Oceania e Africa (Fig. 4.4). Il nome deriva dal fatto che combinando i segnali dalle antenne disseminate su un territorio vastissimo, si creerà

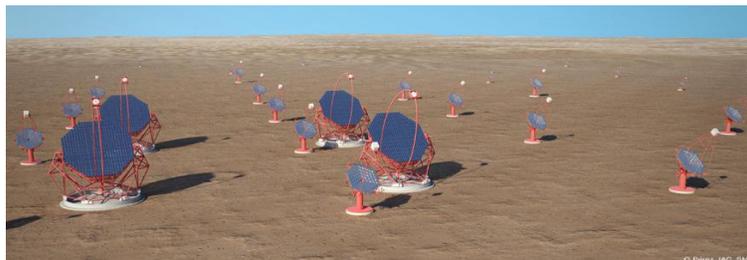


Figura 4.5: Il Cherenkov Telescope Array (CTA)

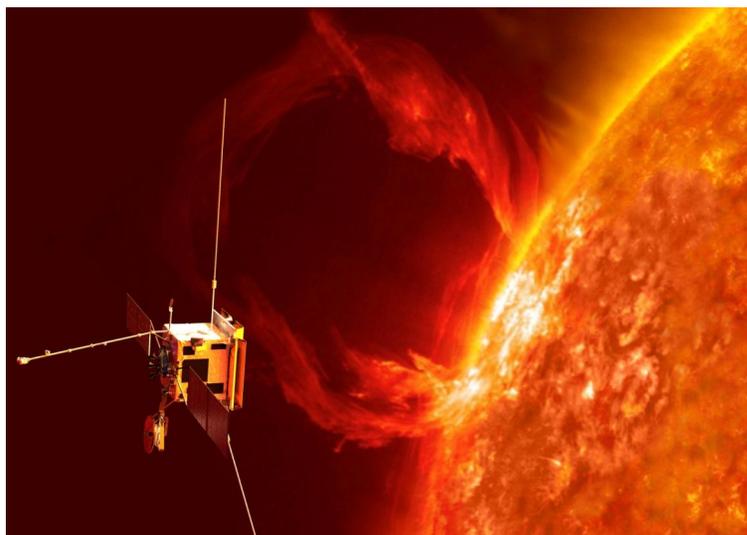


Figura 4.6: La missione Solar Orbiter

uno strumento con un'area di raccolta equivalente a una singola antenna di circa un chilometro quadrato. SKA è un progetto globale scientifico e ingegneristico guidato da un'organizzazione che vede la partecipazione italiana attraverso INAF. Il sistema di antenne si estenderà in 8 paesi africani intorno a una regione centrale situata nel deserto di Karoo in Sudafrica, che ospiterà anche antenne a media frequenza. Un più piccolo sistema di antenne a disco e di antenne a bassa frequenza sarà installato in Australia occidentale presso il Murchison Radio-Astronomy Observatory.

Di scala inferiore rispetto a E-ELT e SKA, CTA (Fig. 4.5) sarà un sistema di alcune decine di telescopi progettati per la rivelazione della radiazione Cherenkov su ampia area. CTA sarà costituito da 3 tipi di telescopi con specchi di differenti misure, per coprire l'intero intervallo di energie necessario: telescopi da 24 metri per le basse energie; telescopi da 10-12 metri per le medie energie; un numero più elevato di telescopi piccoli da 4-6 metri per le alte energie. INAF è attivo nello sviluppo di precursori di CTA attraverso il progetto bandiera ASTRI ed è socio dell'organizzazione che gestisce il programma.

## 4.2 Missioni spaziali

Lo sviluppo di missioni spaziali scientifiche in Europa nella prossima decade è ben tracciato dai piani dell'agenzia spaziale europea ESA, il cui piano Cosmic Vision 2015-2025 contiene le domande fondamentali alle quali ci si propone di rispondere attraverso le missioni future.

I ricercatori INAF hanno un ruolo attivo in tutte le missioni scientifiche ESA approvate finora, nello sviluppo tecnologico dei payload e nei gruppi scientifici per lo sfruttamento dei

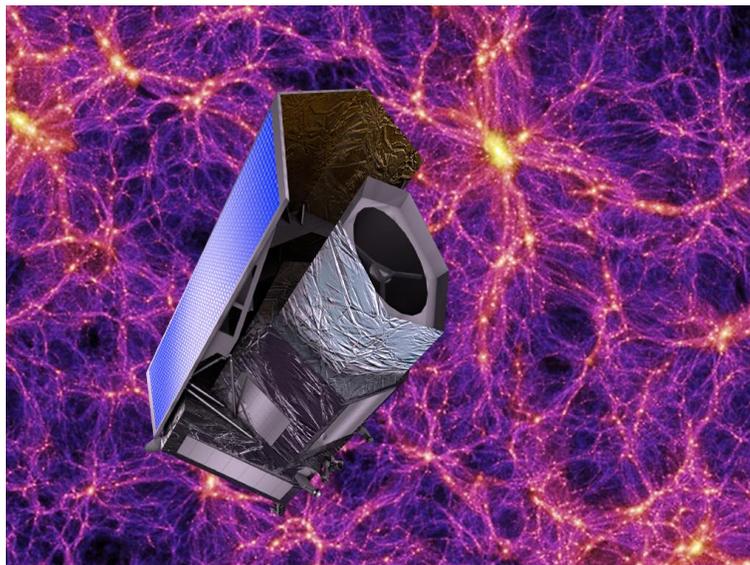


Figura 4.7: La missione EUCLID

dati.

La missione Gaia, lanciata a Dicembre 2013, misurerà con accuratezza senza precedenti le distanze e le velocità radiali di miliardi di stelle. ROSETTA è la più ambiziosa missione per l'esplorazione planetaria mai tentata; orbiterà intorno alla cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko attraverso il suo viaggio nel Sistema Solare interno, rilasciando un lander nel Novembre 2014. Rosetta analizzerà la chioma e il nucleo di questa cometa primordiale, fornendo informazioni sulle condizioni presenti nella nebulosa protosolare all'epoca della formazione del Sole.

Altre missioni sono quasi pronte e saranno lanciate negli anni a venire.

Fra le missioni ESA di classe large, la missione planetaria JUICE diretta verso Giove e le sue lune è stata selezionata per il primo lancio previsto nel 2022. La missione studierà le lune galileiane prima di entrare in orbita intorno a Ganimede. Un insieme di ben 11 strumenti (camere, spettrometri, radar, ecc.) aprirà nuove frontiere nella conoscenza del sistema gioviano.

La missione ATHENA (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics) per un osservatorio in banda X ha vinto invece la competizione per il secondo lancio, previsto per il 2028.

Fra le missioni di classe medium, Solar Orbiter (Fig. 4.6) è stata selezionata per il primo lancio nel 2017, Euclid (Fig. 4.7) per il secondo lancio nel 2020 e PLATO per il terzo lancio nel 2022-2024.

Solar Orbiter è una missione che si avvicinerà al sole, per eseguire misurazioni ad esempio del vento solare e dei campi magnetici e produrre immagini ad alta risoluzione e spettri del sole e del suo ambiente.

Euclid si propone di studiare la geometria e la natura dell'universo con un'accuratezza senza precedenti. La missione è equipaggiata con un singolo telescopio da 1.2 metri di diametro e due strumenti di piano focale, ovvero una camera nel visibile (VIS) e un foto-spettrometro nel vicino infrarosso (NISP).

PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars) sarà composto da svariati piccoli telescopi a grande campo, otticamente veloci, per la scoperta e la caratterizzazione di sistemi di eso-pianeti.

Fra le missioni di categoria small è stata invece selezionata la missione CHEOPS (CHARacterising ExOPlanets Satellite), il cui lancio è pianificato per il 2017: si tratta di una missione a leadership ESA/Svizzera (Fig. 4.8).

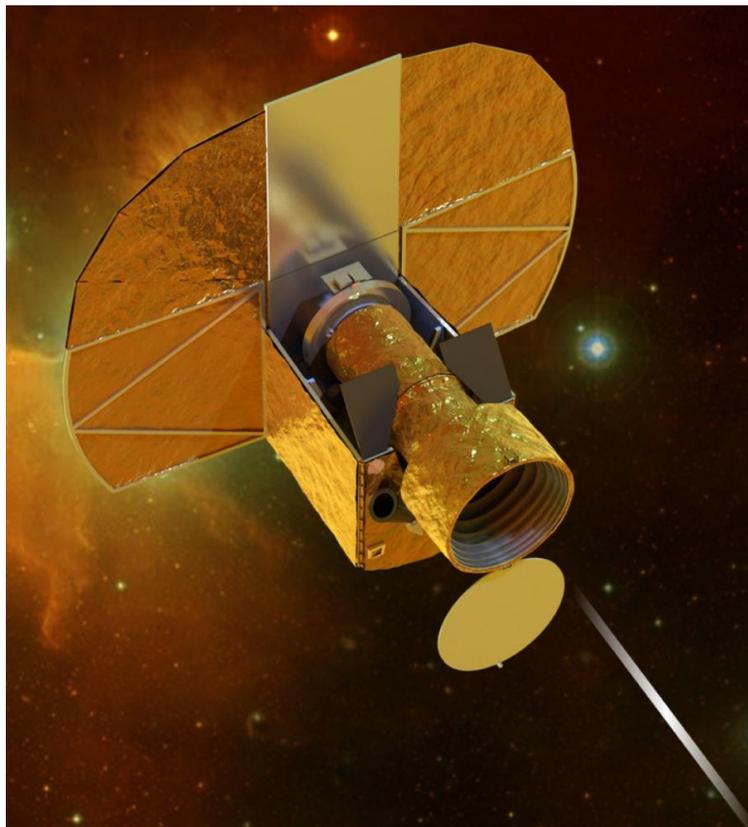


Figura 4.8: Il satellite CHEOPS

Oltre a quelle previste dal piano Cosmic Vision, vi sono altre rilevanti missioni spaziali con significativi contributi INAF ormai in rampa di lancio. Fra queste, BepiColombo è la missione planetaria cornerstone del programma ESA. E' una missione che porterà alla migliore conoscenza di Mercurio mai avuta, e sarà lanciata nel 2016. Sviluppata in collaborazione fra le agenzie spaziali europea (ESA) e giapponese (JAXA), include due satelliti; sul satellite MPO (Mercury Planetary Orbiter) di ESA sono previsti 11 strumenti, dei quali ben 4 a leadership italiana.

Il programma ExoMars è invece volto allo studio dell'ambiente marziano, e sarà articolato in due missioni: la prima nel 2016 prevede un orbiter più un modulo di atterraggio dimostratore Entry, Descent and Landing Demonstrator Module con a bordo uno strumento italiano, la seconda avrà un rover e sarà lanciata nel 2018.

Il celeberrimo telescopio spaziale Hubble (HST) continuerà ad operare almeno fino al 2016, probabilmente fino al 2020. Il suo successore, il James Webb Space Telescope (JWST), sarà un grande telescopio spaziale infrarosso con uno specchio primario di 6.5 metri. Il progetto è frutto di una collaborazione internazionale fra NASA, ESA e l'agenzia spaziale canadese, con lancio previsto nel 2018 e durata prevista di almeno 5 anni. Sebbene JWST non sia una missione con leadership europea come quelle ESA precedentemente menzionate, può essere considerato il principale osservatorio spaziale del prossimo decennio e sarà utilizzato da astronomi di tutti i paesi del mondo, inclusa ovviamente l'Italia.

Altre attività relative a sviluppi tecnologici con coinvolgimento italiano sono nella banda X, nel campo delle osservazioni ad elevata risoluzione temporale e della polarimetria.

## Capitolo 5

# Il contributo italiano all'astronomia: il presente ed il futuro

La comunità astronomica italiana è pronta ad affrontare le sfide scientifiche dei prossimi decenni. Gli astronomi e gli astrofisici italiani sono attori chiave sullo scenario internazionale. Usando uno qualsiasi dei parametri maggiormente indicativi di eccellenza scientifica, l'Italia si posiziona fra i Paesi migliori al mondo. Se si misura l'impatto scientifico per mezzo del numero di citazioni per articolo, l'astronomia italiana è la quinta al mondo, ed è quarta quando viene considerato il gruppo d'élite nella produzione scientifica mondiale nell'ambito astronomico, ovvero sia i 200 articoli maggiormente citati negli ultimi anni il cui primo autore è uno scienziato italiano (vedi il Documento sulla Valutazione della produzione astronomica italiana: 2010-2012 Gratton 2014, arXiv:1402.4080).<sup>1</sup> Per un'analisi sulla presenza delle donne nell'Astronomia Italiana, invitiamo il lettore a leggere Matteucci & Gratton (2014, arXiv:1402.1952).<sup>2</sup> Qui rammentiamo solo che più del 26% dei membri italiani dell'IAU è rappresentato da donne: questa frazione è la più grande se si considerano i Paesi guida, al mondo, in Astronomia. Ciò nonostante, il numero di donne in posizioni di alto livello nel settore astronomico è ancora basso, sia nelle università italiane sia nell'INAF, per quanto in quest'ultima il quadro risulti migliore.

Infine, un altro parametro interessante da considerare è come si distribuisce l'*h-index* globale (J.E. Hirsch 2005, da cui fattore H), che sta ad indicare il numero di articoli e le loro citazioni (ad esempio, un *h-index* di 20 significa che il ricercatore in esame ha 20 articoli citati più di 20 volte) ed è significativo soprattutto da un punto di vista statistico. Noi abbiamo analizzato l'*h-index* globale degli astronomi che sono membri del personale scientifico dell'INAF, raccogliendo dati per un totale di 506 ricercatori da ADS ed escludendo le persone coinvolte nell'ambito della Strumentazione, che non possono essere esaminate nel contesto di un'analisi come questa. La distribuzione dell'*h-index* è riportata in Fig.5.2. Il valor medio è 25. Ci sono 43 ricercatori con un *h-index* al di sopra di 50, che è considerato *eccellenza scientifica* da topitalianscientist.org. Possiamo anche raffrontare l' *h-index* medio degli astronomi italiani con i risultati delle statistiche di Abt (2012, in Organizations, People and Strategies in Astronomy (OPSA) 245-252 Ed. A.Heck@2012 Vennggeist), il quale fornisce i seguenti *h-index* medi per i vari membri dell'IAU: Francia = 21.1; Germania = 24.2; Regno Unito = 23.5; Stati Uniti d'America = 24.5. I valori risultanti per gli astronomi dell'INAF sono leggermente superiori, nonostante questa differenza possa essere dovuta al tempo trascorso fra i due studi.

Le priorità che si pone l'astronomia Italiana sono connesse ai campi in cui gli italiani sono stati e sono maggiormente competitivi, ed allo sviluppo delle tecnologie e delle strumentazioni future. Queste priorità possono essere riassunte come di seguito:

---

<sup>1</sup> [http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/consiglio-scientifico /Evaluation of Italian astronomy production - v4.pdf](http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/consiglio-scientifico/Evaluation%20of%20Italian%20astronomy%20production%20-%20v4.pdf)

<sup>2</sup><http://www.inaf.it/it/sedi/sede-centrale-nuova/consiglio-scientifico/WomeninItalianastronomy.pdf>

Rank	Country	2001-2003	2004-2006	2007-2009	2010-12	Average	trend
1	United States	0.354	0.342	0.346	0.346	0.346	-0.004
2	Germany	0.110	0.118	0.114	0.114	0.114	+0.002
3	United Kingdom	0.093	0.092	0.088	0.080	0.090	-0.086
4	France	0.065	0.068	0.067	0.068	0.067	+0.012
<b>5</b>	<b>Italy</b>	<b>0.065</b>	<b>0.062</b>	<b>0.061</b>	<b>0.059</b>	<b>0.062</b>	<b>-0.060</b>
6	Canada	0.039	0.033	0.046	0.050	0.041	+0.329
7	Japan	0.037	0.036	0.033	0.030	0.035	-0.121
8	Spain	0.030	0.033	0.035	0.045	0.034	+0.284
9	Netherland	0.035	0.030	0.024	0.028	0.029	-0.203
10	Australia	0.027	0.022	0.021	0.021	0.023	-0.136

Figura 5.1: Tabella 1- L'impatto di diverse nazioni nel mondo astronomico negli ultimi 12 anni. L'impatto é definito come il numero di citazioni (nazione del primo autore) relativamente al totale mondiale.

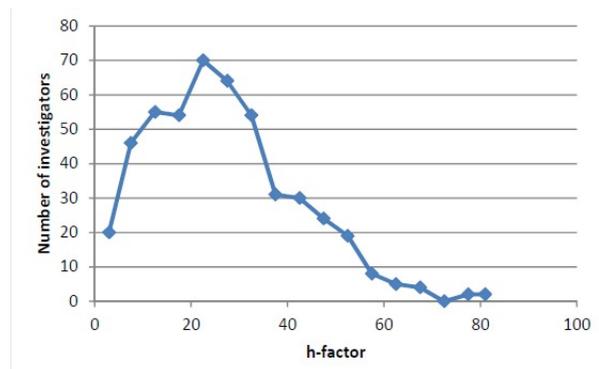


Figura 5.2: Distribuzione dell'indicatore  $h$  globale per gli scienziati membri dell'INAF.

- **Cosmologia: universo primordiale e fisica fondamentale**

Molti dei quesiti aperti in cosmologia sono connessi a problemi di fisica fondamentale e di fisica dell'universo primordiale. Gli scenari inflazionari, che includono l'inflazione causata da un campo di Higgs, che é compatibile con i dati a disposizione, collegano le proprietà dell'universo su grande scala alla fisica fondamentale e alla fisica delle particelle. La radiazione cosmica di fondo rappresenta lo strumento piú potente per affrontare questi temi, in quanto pone vincoli alla scala di energie e alla dinamica dell'inflazione, attraverso limiti superiori al segnale di polarizzazione in *B-mode* ed alla non-gaussianità; attraverso distorsioni nello spettro di potenza, alle cosiddette scale di *damping*, ed attraverso la dipendenza delle proprietà del CMB dagli stadi successivi, cruciali, di evoluzione dell'universo. Fino alla realizzazione di missioni future sul CMB (come COBE e/o PRISM), i risultati di riferimento saranno i dati finali della missione Planck, la quale si configura come la sfida piú eccitante nell'ambito degli studi cosmologici sul CMB, che vede un forte coinvolgimento della comunità scientifica italiana. I programmi osservativi da terra e le missioni spaziali, dall'ottico e vicino infrarosso (ATLAS, KiDS, DES, Euclid) alle frequenze radio (SKA), da poco progettati, saranno in grado di fornire misure precise del contenuto di materia oscura nelle galassie e della distribuzione della materia oscura nell'universo, per mezzo - ad esempio - del *lensing* gravitazionale; sarà a nostra portata anche la determinazione dell'equazione di stato dell'energia oscura, andando a studiare la relazione distanza-redshift e le proprietà di raggruppamento (*clustering*) di centinaia di milioni di galassie a differenti epoche evolutive dell'universo. E' questa una delle sfide piú stimolanti del prossimo decennio e vede una grande partecipazione della comunità scientifica italiana.

- **L'universo ad alto redshift**

Dopo una possibile fase di quiescenza, che seguí l'epoca in cui elettroni e ioni si ricombinarono, circa 380.000 anni dopo il Big Bang, la formazione delle prime stelle e delle prime strutture cosmiche permise all'Universo di uscire dalla cosiddetta età oscura, provocando la rionizzazione ed il riscaldamento del mezzo intergalattico. Questo tema é uno dei principali elementi scientifici portanti per i prossimi grandi telescopi, sia nello spazio (JWST) che da terra (E-ELT), operanti nell'ottico e nel vicino infrarosso. La formazione delle strutture nel cosmo puó dare origine, e/o amplificare pre-esistenti campi magnetici cosmici, il cui ruolo in astrofisica ed in cosmologia é di crescente interesse. Il dominio radio, tra gli altri, é particolarmente sensibile a questi temi, poiché permette di osservare gli oggetti cosmici e di produrre una mappa della loro distribuzione fino a stadi molto primitivi dell'universo. LOFAR, SKA ed i suoi precursori si configurano come una nuova fase per le installazioni radioastronomiche, dove una forte partecipazione italiana é raccomandata. Il processo di rionizzazione, dovuto all'emergere delle prime strutture in grado di formare stelle, verrà studiato in profondità da SKA, allo scopo - ad esempio - di derivare le proprietà delle prime sorgenti di luce nell'Universo.

Le stelle di Popolazione III ed il tasso di formazione stellare fino a redshift  $z \sim 10$  verranno determinati dallo studio dei *gamma ray bursts* (GRBs, lampi di luce gamma), un campo in cui numerosi italiani sono coinvolti con successo. Temi di intensa ricerca scientifica saranno anche l'evoluzione della componente barionica fino a redshift  $z \sim 10$  ed il problema dei barioni mancanti. Fondamentale in questo senso sarà la missione ATHENA, dedicata all'osservazione nei raggi X.

- **Formazione ed evoluzione delle galassie: dall'alto al basso redshift**

Le grandi *survey* fotometriche e spettroscopiche hanno aperto nuove finestre sulla conoscenza dei meccanismi di formazione delle galassie. Un progresso significativo é stato fatto nella comprensione di come le galassie sono evolute da redshift  $z \sim 1$  fino al tempo presente.

In vista della prossima generazione di telescopi estremamente grandi (come, ad esempio, E-ELT), nei decenni a venire il ruolo di un *imaging* altamente dettagliato, per lunghezze d'onda che vanno dall'ottico al submillimetrico, e di grandi *survey* spettroscopiche (ad esempio, SDSS IV), specialmente nell'infrarosso, diverranno importanti in misura sempre crescente per caratterizzare i processi di formazione stellare e di aggregamento della massa, fino alle epoche in cui le prime galassie che si formarono apparvero dalla cosiddetta età oscura. Le strutture dell'ESO, come VST, VISTA, ALMA, i telescopi sinottici di prossima generazione come LSST, le missioni spaziali come Euclid e JWST, e la prossima generazione di spettrografi come KMOS e MUSE, sono attesi perché giochino un ruolo decisivo in questo campo e siano di primario interesse per l'ampia e forte comunità scientifica italiana che lavora in questo campo. L'astro-archeologia, per mezzo di dettagliati modelli chemo-dinamici in grado di predire le abbondanze chimiche nelle galassie (un altro campo in cui la comunità italiana è fortemente coinvolta e riconosciuta a livello internazionale), sarà applicata alla Via Lattea - sfruttando lo spazio 9D di Gaia ed i dati da grandi *survey* Galattiche (Gaia, Gaia-ESO, RAVE, HERMES-GALASH, SDSS, MOONS, 4MOST, LAMOST, PANSTARRS, WEAVE) - ed alle galassie del Gruppo Locale.

- **Formazione, evoluzione e morte delle stelle**

Lo studio dei processi di formazione stellare sarà compiuto per mezzo di modelli teorici e numerici che tengono conto dell'evoluzione del mezzo interstellare e della formazione stellare (grandi simulazioni numeriche che necessiteranno di grandi strutture hardware, equivalenti al progetto di un grande strumento). Un nuovo quadro teorico sulle relazioni intercorrenti fra i filamenti interstellari, i nuclei protostellari e le protostelle risulterà grazie a studi in banda radio, submillimetrica e nel lontano infrarosso (HERSCHEL, ALMA, IRAM/PdB, ATCA, JVLA, JWST, CCAT, MILLIMETRON, SKA). Lo studio dei *jet* in stelle di massa piccola e grande e della cinematica nei processi di formazione stellare verranno compiuti attraverso XSHOOTER at VLT, JVLA, SKA, JWST, E-ELT. La formazione e l'evoluzione di dischi protostellari/protoplanetari ed i fenomeni di accrescimento saranno studiati attraverso ALMA, JVLA, SKA, XSHOOTER at VLT, LBT, JWST ed E-ELT. Lo studio dei processi di *feedback* nella formazione stellare, del ruolo degli ammassi e dell'arricchimento chimico dei sistemi pre-planetari si avvarrà di ALMA, SKA, HIRES at E-ELT, METIS at E-ELT, JWST. L'evoluzione delle stelle e la loro interazione con l'ambiente circostante sarà analizzata guardando direttamente negli interni stellari dalle fasi successive alla Sequenza Principale fino alle fasi evolutive più avanzate (astrosismologia con 2-Wheel KEPLER e TESS). Gli stadi finali dell'evoluzione delle stelle massicce saranno rivelati studiando i processi di perdita di massa, le esplosioni stellari ed il loro impatto sulla formazione stellare e l'evoluzione della Galassia (JVLA, ALMA, SKA, Euclid, VLT). L'analisi degli ultimi stadi di evoluzione delle stelle di massa piccola ed intermedia trarrà vantaggio dallo studio delle stelle che si trovano sul ramo asintotico delle giganti (AGB), così come dallo studio del loro impatto sul sistema che le ospita (FLAMES at VLT, Gaia). Gli italiani sono riconosciuti internazionalmente per il loro lavoro sull'evoluzione stellare e le pulsazioni stellari: nuovi modelli saranno sviluppati, assieme a modelli numerici di evoluzione dell'eco-sistema galattico (transizioni di fase, formazione stellare, *feedback*, ciclo di arricchimento chimico), che verranno verificati sulla base dei dati provenienti dalle *survey* Galattiche di ampia area (Gaia, Gaia-ESO, VST, Herchel, SKA precursor, JVLA, APEX, CCAT). Le *survey* ad ampio campo forniranno l'opportunità di derivare calibrizioni chiave per gli indicatori primari di distanza, aprendo una nuova era nell'accuratezza e precisione della scala delle distanze cosmiche (*Cosmic Distance Ladder*). La profonda esperienza della comunità astronomica italiana nello studio degli ammassi stellari giocherà un ruolo cruciale per capire la formazione e l'evoluzione delle popolazioni stellari nel cor-

so delle età evolutive del cosmo. L'origine e la natura delle popolazioni stellari multiple negli ammassi globulari della Galassia e nei sistemi stellari del Gruppo Locale saranno fra le questioni più affascinanti che saranno comprese nei prossimi anni. Lo stato dell'arte presente e futuro delle installazioni osservative sia da terra che nello spazio permetterà di svelare quantità fondamentali, come il tasso di formazione stellare, la funzione iniziale di massa, l'età, la composizione chimica, ed il rapporto M/L di aggregati stellari di diversa dimensione, dai giovani ammassi stellari ai vecchi ammassi globulari, passando per le poco luminose galassie nane, fino ad arrivare alle distanti galassie a spirale ed ellittiche. Le supernovae (SNe) corrispondono alle fasi finali di stelle massicce (supernovae di Tipo II, Ib, Ic) o di stelle di massa piccola ed intermedia (supernovae di Tipo Ia). La comunità italiana è fortemente coinvolta nello studio delle supernovae e dei loro progenitori. In futuro, il centro di interesse sarà focalizzato a studiare come l'evento corrispondente ad una supernova si verifica e cosa viene prodotto in termini di elementi chimici e di *feedback* energetico. Le proprietà, i progenitori ed il tasso di supernovae di Tipo Ia saranno studiati per mezzo di VLT, LBT e VST. Differenti classi di *core-collapse* supernovae (supernovae che si verificano a seguito del collasso del nucleo della stella progenitrice) saranno anch'essi osservati con VLT, LBT e VST. Tutti questi studi avranno importanti ripercussioni sulla cosmologia e sull'evoluzione chimica dell'Universo.

- **Il Sistema Solare**

Per quanto riguarda il Sole, un interesse di fondamentale importanza risiede negli studi della dinamo solare globale; come il flusso del campo magnetico emerge nell'atmosfera solare; il problema del trasporto di energia dalla fotosfera alla corona; l'irradianza totale e l'irradianza spettrale del Sole, e l'interazione tra i plasmi ionizzati ed i campi elettromagnetici. Un altro interesse fondamentale risiede nello studio del vento solare e cioè della sua interazione con le magnetosfere del Sistema Solare, dell'accelerazione e del trasporto delle particelle solari, e degli effetti che queste ultime hanno sull'ambiente terrestre: dallo Space Weather allo Space Climate, cioè alle previsioni sia a lungo che a brevissimo termine, e la modulazione dei raggi cosmici. Questi sono tutti aspetti necessari a sviluppare il cosiddetto Space Situational Awareness Program, che si può tradurre come programma di conoscenza delle situazioni nello spazio. Le missioni spaziali SOLAR ORBITER, SOLAR-C e SOLAR PROBE+ e, nel contest generale del programma SOLARNET, l'osservatorio da terra EST, condotto in Italia principalmente da un consorzio di istituti universitari, (o l'americano ATST), sono i programmi chiave per gli studi futuri sul Sole e l'eliosfera. Le interazioni della stella madre con le esosfere, le atmosfere e le varie superfici planetarie, così come le connesse implicazioni per l'evoluzione del Sistema Solare, saranno studiate in situ, per mezzo dei rivelatori di particelle a bordo delle missioni spaziali, in modo tale da esplorare sia i corpi vicini che quelli remoti del Sistema Solare. Queste missioni si concentreranno sulle scoperte di pianeti terrestri, come Mercurio (BEPICOLOMBO), Marte (EX-OMARS), Venere; di pianeti giganti, come Giove (JUNO, JUICE), Saturno, Urano e Nettuno; di satelliti rocciosi o ghiacciati come la Luna, Ganimede-Europa-Callisto (JUICE), Titano; degli asteroidi della fascia principale e dei nuclei cometari (ROSETTA).

- **Eso-Pianeti**

Lo studio del Sistema Solare sarà considerato come un paradigma per lo studio dei sistemi extrasolari. Infatti, la scoperta e le osservazioni degli eso-pianeti rappresenteranno un argomento di punta per la comunità astronomica italiana che utilizzerà le risorse di HARPS-N@TNG. La comprensione della formazione, della storia e dell'evoluzione dei pianeti e dei sistemi planetari sarà grandemente facilitata dall'utilizzo di telescopi e strumentazioni ad essi connesse quali HARPS-N@TNG, LBT, Gaia, GIANO@TNG,

SPHERE@VLT, ESPRESSO@VLT, CHEOPS, TESS, PLATO, JWST and HIRES@E-ELT, mentre la caduta di solidi, materiale chimico volatile e processato sui pianeti sarà studiato con ALMA e aggiornamenti, CCAT, CRIRES+@VLT, VISIR@VLT, HIRES@E-ELT, METIS@E-ELT. Altri campi importanti saranno rappresentati dalla caratterizzazione delle atmosfere e delle strutture interne dei pianeti (HARPS-N@TNG, LBT, Gaia, GIANO@TNG, SPHERE@VLT, ESPRESSO@VLT, CHEOPS, TESS, PLATO, JWST and HIRES@E-ELT) e dalle interazioni stella-pianeta (HARPS-N@TNG, SKA ed I suoi pathfinders).

- **Astrofisica relativistica e delle alte energie**

Le priorità in questo campo possono essere riassunte come: 1) astrofisica TeV: nell'ultimo decennio una nuova finestra osservativa nella banda delle alte energie ( $> 100$  GeV) si è resa fondamentale per la comprensione di molte classi di fenomeni astrofisici. In questo contesto, INAF in collaborazione con IFN (Istituto di Fotonica e Nanotecnologie) sta giocando un ruolo chiave e sarà molto importante per il futuro consorzio CTA. 2) Controparti elettromagnetiche delle onde gravitazionali: una nuova generazione di rivelatori di onde gravitazionali sarà operante intorno al 2015 (advanced VIRGO e advanced Ligo) e su un tempo scala più lungo la missione spaziale LISA sarà possibilmente lanciata. Questi avanzamenti apriranno l'era dell'astronomia delle onde gravitazionali. Le principali classi di sorgenti che ci si aspetta emettano onde gravitazionali avranno verosimilmente controparti elettromagnetiche ed è fondamentale che l'INAF dedichi ogni sforzo nell'identificazione e caratterizzazione di queste sorgenti (ad esempio con le possibilità all-sky monitoring). 3) Astrofisica della materia sotto condizioni estreme: campi gravitazionali molto forti in vicinanza dell'orizzonte dei buchi neri e proprietà della materia a densità sopranucleari dentro le stelle di neutroni. Ciò implica l'utilizzo della rapida variabilità e delle diagnostiche spettrale e di polarizzazione nei buchi neri e nelle stelle di neutroni che accrescono materia. Uno strumento di alta capacità di trasmissione e con buona risoluzione spettrale nella banda dei raggi-X (1-50 keV) ed un polarimetro ad alta sensibilità saranno la chiave per studiare questi temi. 4) Accelerazione e propagazione di raggi cosmici rappresentano uno dei campi più misteriosi. Le risorse Cherenkov forniranno importanti vincoli osservativi, insieme alle informazioni che proverranno da missioni spaziali quali PAMELA e future risorse. 5) Studiare le parti più interne dei dischi di accrescimento ed i jets intorno ai buchi neri super massivi: nell'intervallo dei mm ci sarà la possibilità di ricavare immagini delle parti più interne dei dischi di accrescimento e dei jets e, in particolare, di ottenere immagini dell'ombra dell'orizzonte degli eventi nei buchi neri. Le forme e le dimensioni di questa ombra e dell'anello di fotoni che la circonda sono predette esattamente dalla relatività generale, così queste osservazioni rappresenteranno dei tests non solo per il paradigma del buco nero ma anche per la radiazione gravitazionale nel suo limite di campo-forte. 6) Formazione delle strutture a larga scala: una missione spaziale nel campo dei raggi X (ATHENA) rappresenterà uno strumento chiave per comprendere come si accrescono i barioni nei gruppi e negli ammassi di galassie e come evolvono dinamicamente negli aloni di materia oscura, per studiare la natura e le proprietà di oggetti compatti (ad es. buchi neri) in un estremamente grande intervallo di redshift, e per derivare informazioni riguardo a cosa guida l'evoluzione chimica e termodinamica delle più grandi strutture nell'universo. 7) L'universo transiente: una finestra interamente nuova sarà aperta grazie alle avanzate capacità di surveys che stanno diventando completamente operative. Una missione spaziale con capacità almeno confrontabili con Swift è uno strumento indispensabile e deve essere programmato per il prossimo decennio con la massima priorità.

## 5.1 Conclusioni

In conclusione, il piano strategico dell'INAF per i prossimi dieci anni consisterá, come prima prioritá, nel fornire il massimo supporto alla ricerca di base la quale e' necessariamente connessa alla realizzazione di futuri progetti fondamentali quali, E-ELT, CTA, ATHENA, JUICE e SKA.