



# Percorso di Astrofisica

A.A. 2019-2020

# Astrofisica in Statale

---

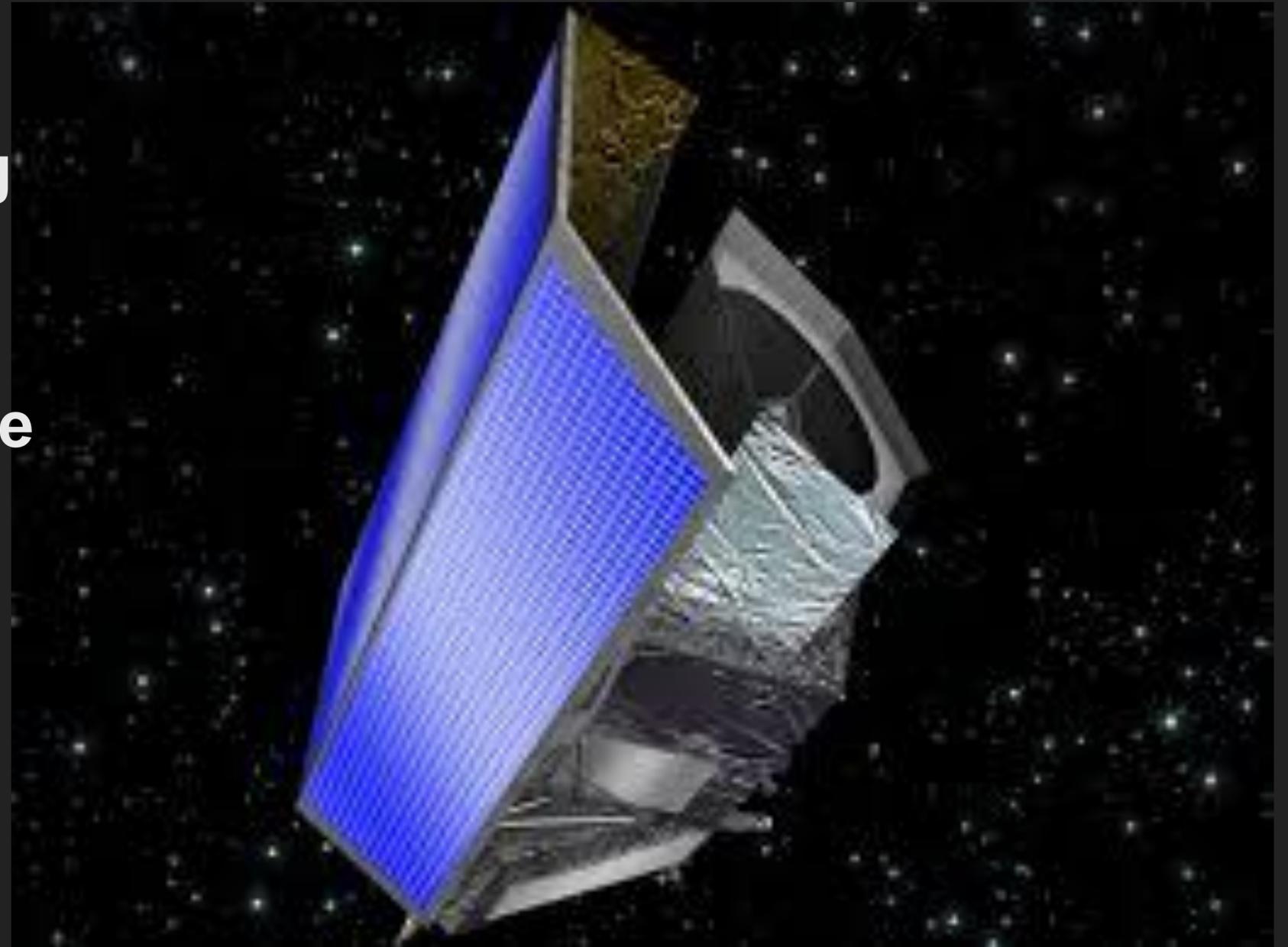
- **Formazione di stelle e pianeti (Lodato, Lombardi)**
- **Oggetti compatti: stelle di neutroni (Pizzochero) - Buchi neri (Lodato)**
- **Dinamica stellare - galassie e ammassi globulari (Bertin)**
- **Evoluzione di galassie - Cosmologia e strutture a grande scala (Guzzo, Lombardi, Grillo)**
- **Cosmologia e fondo cosmico di microonde (Bersanelli, Mennella, Maino, Tomasi, Franceschet)**
- **Strumentazione spaziale per la cosmologia (Bersanelli, Mennella, Maino, Tomasi, Franceschet)**

# Grandi missioni spaziali

---

## Missione ESA Euclid:

- **Dark Energy, Gravitational Lensing**
- **Lancio previsto per 2021**
- **Importante partecipazione italiana e del Dipartimento di Fisica**

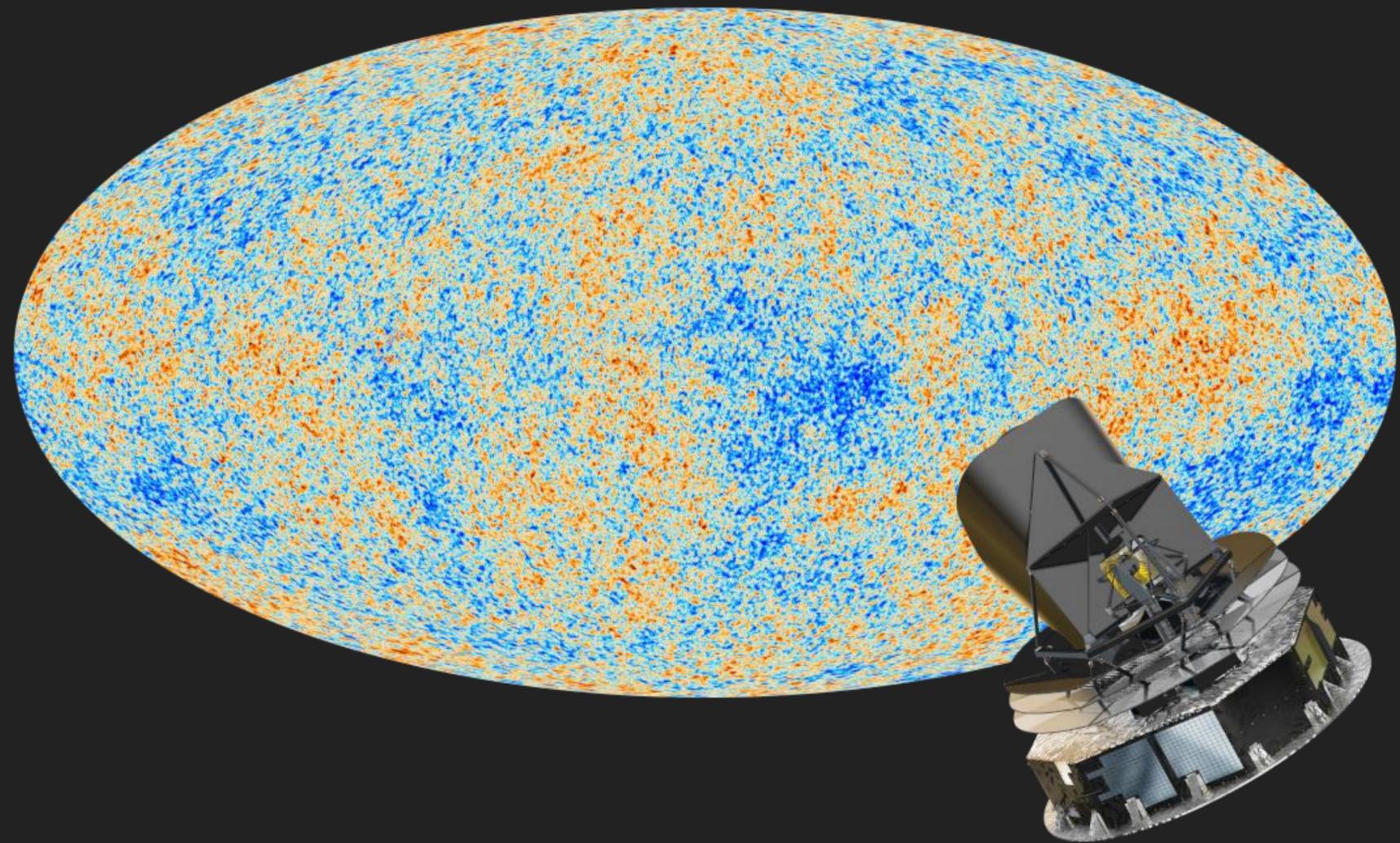


# Grandi missioni spaziali

---

## Missione ESA Planck:

- **Cosmologia con il fondo cosmico di microonde**
- **Lancio nel 2009, terminata nel 2013**
- **Analisi dati ancora attiva**
- **Importante partecipazione italiana e del Dipartimento di Fisica**



# Grandi missioni spaziali

---

## Missione JAXA/ESA Litebird:

- Ricerca onde gravitazionali primordiali con la polarizzazione del fondo cosmico di microonde
- Approvata dall'agenzia JAXA
- Lancio previsto per il 2029
- Importante partecipazione italiana e del Dipartimento di Fisica

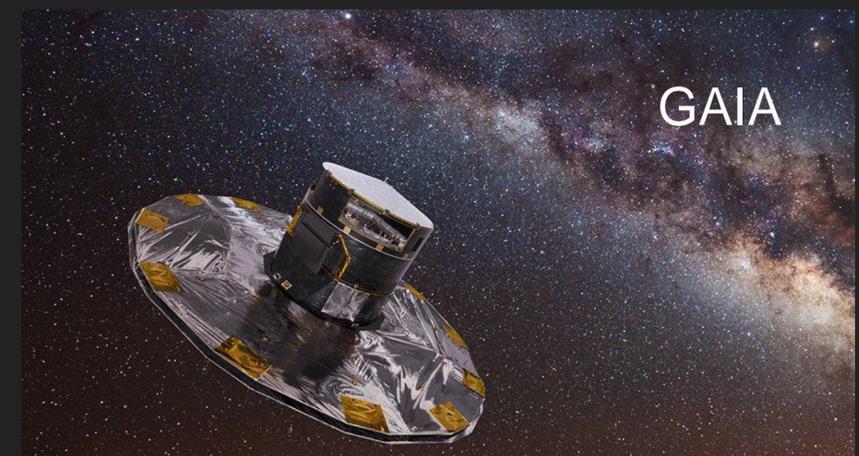
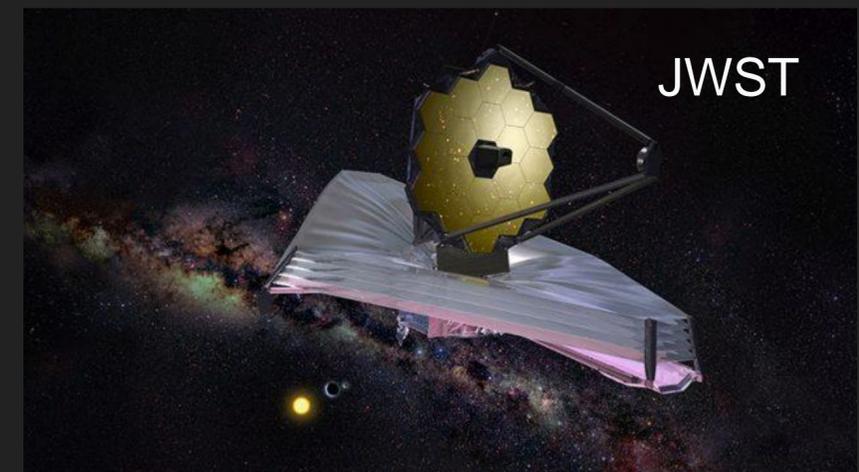


# Grandi missioni spaziali

---

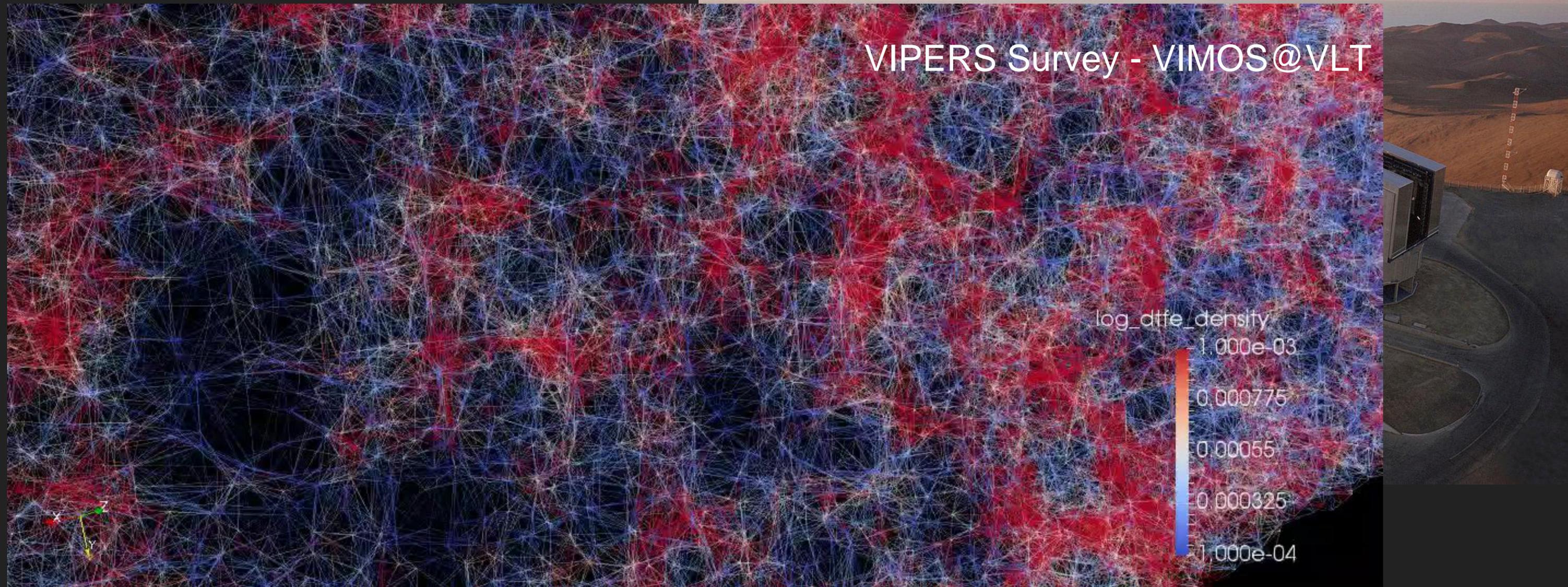
## Altre collaborazioni internazionali

- Hubble Space Telescope (HST)
- James Webb Space Telescope (JWST)
- GAIA



# Osservazioni da terra

- Very Large Telescope (VLT: VIMOS, SPHERE)



# Osservazioni da terra

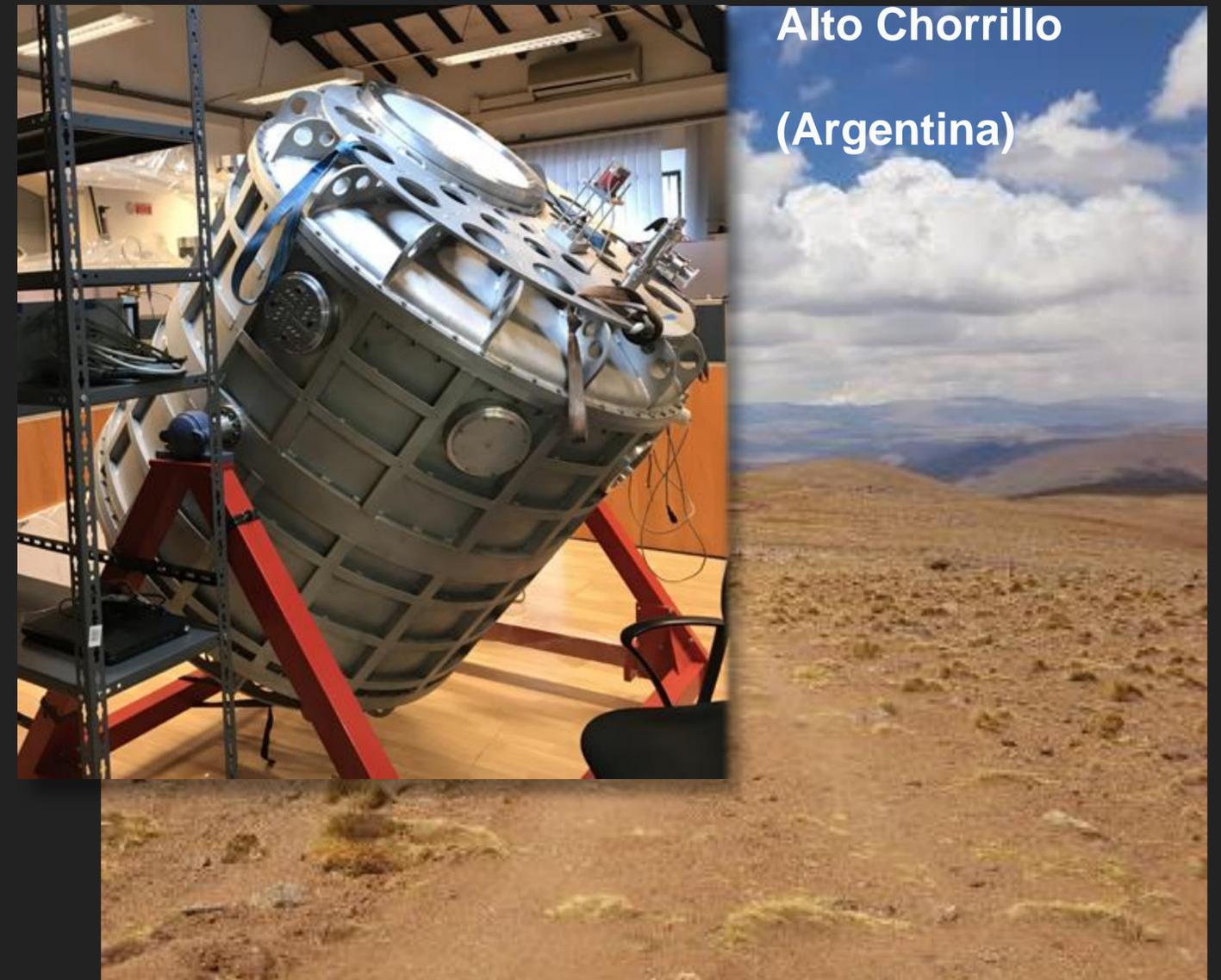
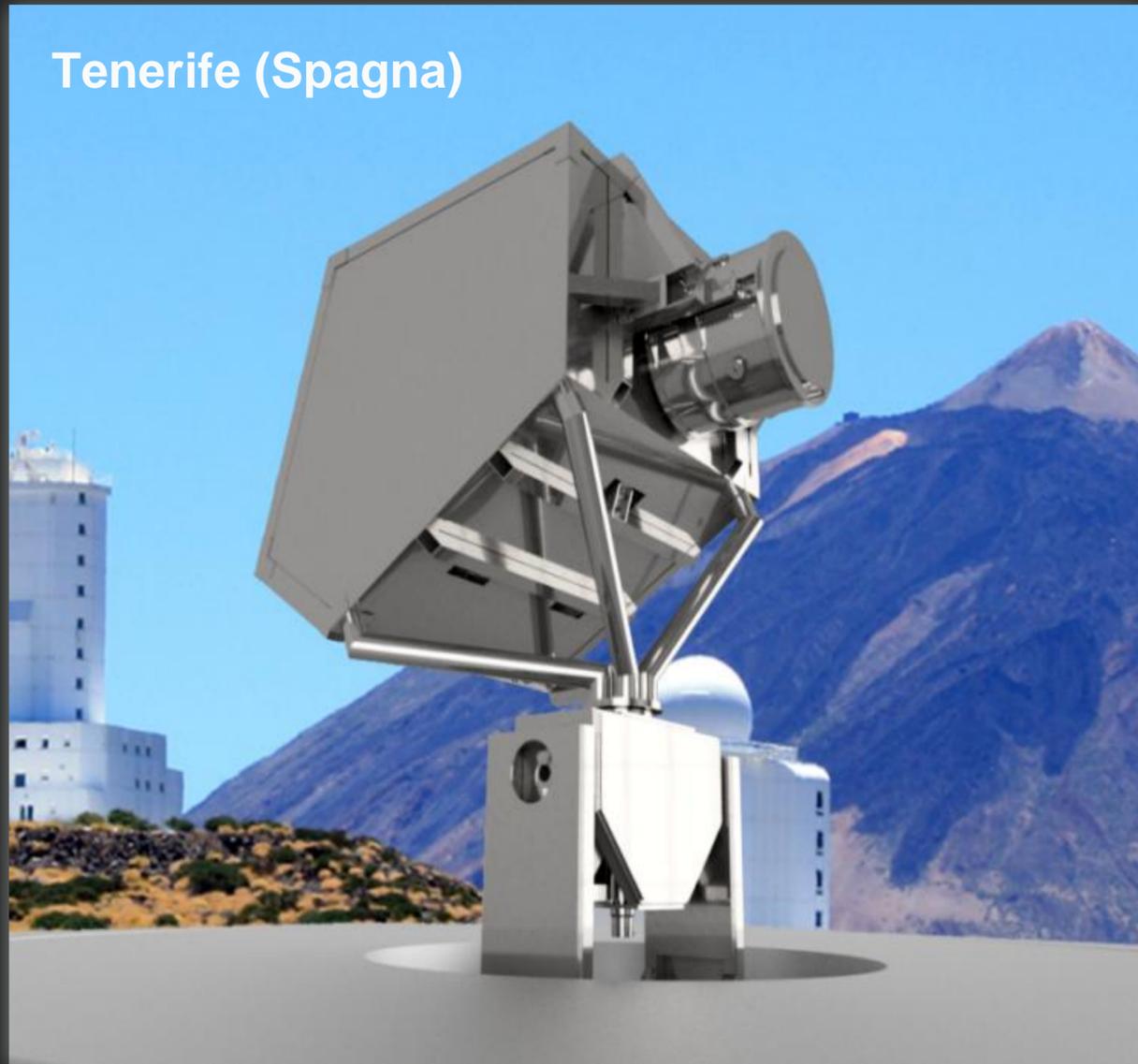
---

- **Atacama Large Millimetre Array (ALMA)**



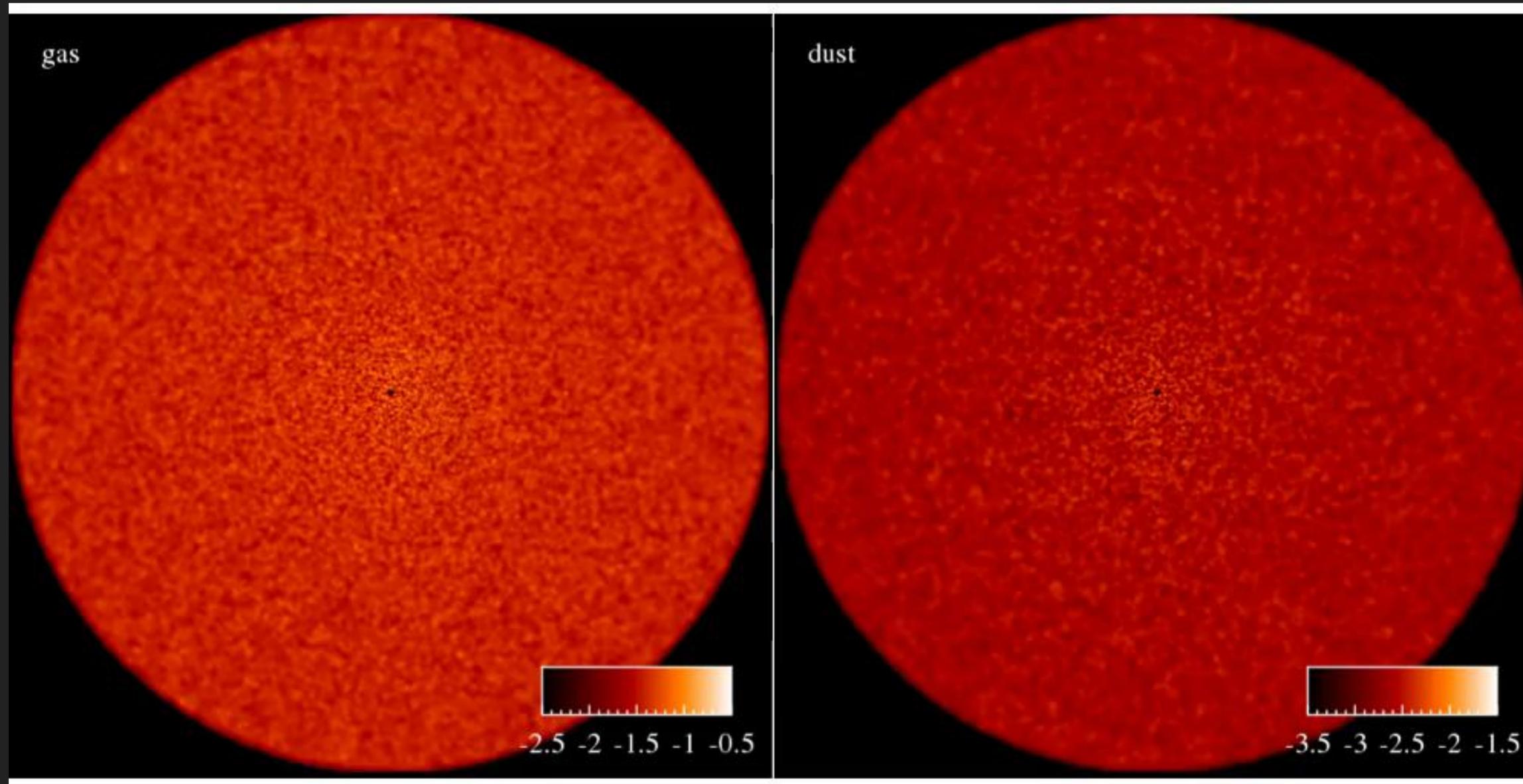
# Osservazioni da terra del fondo cosmico di microonde

- **Large Scale Polarization Explorer (STRIP)**
- **Q&U bolometric interferometer for cosmology (QUBIC)**



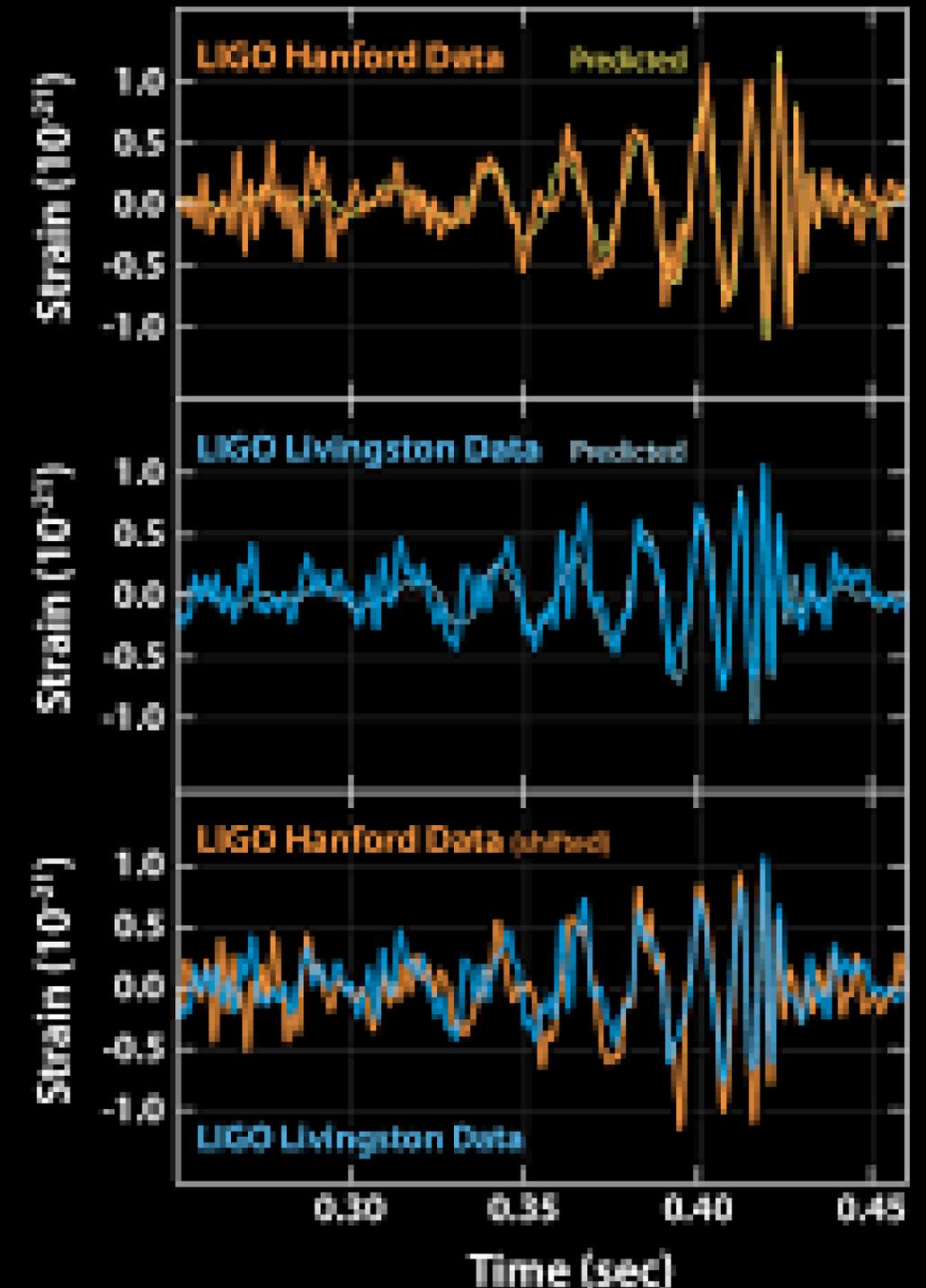
# Simulazioni numeriche ad alta risoluzione

- Phantom SPH code



# Stretti legami con altri ambiti

- **Struttura della materia (fisica del plasma ottica)**
- **Fisica teorica**
- **Fisica nucleare**
- **Fisica delle particelle (neutrini, onde gravitazionali)**



# I corsi del percorso di Astrofisica

---

- **Corso obbligatorio:**
  - Elettrodinamica Classica
- **Corsi fortemente consigliati:**
  - Astronomia 1 (6 CFU), Astronomia 2 (6 CFU),
  - Laboratorio di Strumentazione Spaziale 1 (6 CFU),
  - Metodi Matematici della Fisica: Equazioni Differenziali (6 CFU)
- **Corsi a scelta:** uno tra i caratterizzanti di ambito Microfisico e Struttura della Materia, gli altri liberi.

# Corsi astrofisici caratterizzanti

---

- **Astrofisica teorica 1 (6 CFU): galassie a spirale - Bertin**
- **Astrofisica teorica 2 (6 CFU): galassie ellittiche - Bertin**
- **Cosmologia (6 CFU): Universo omogeneo, hot Big Bang + lensing - Lombardi, Maino**
- **Cosmologia 2 (6 CFU): Universo disomogeneo, formazione strutture cosmiche - Guzzo**
- **Radioastronomia 1 (6 CFU): strumentazione radio astronomica e interferometria - Mennella, Maino**

# Corsi astrofisici caratterizzanti

---

- **Astrofisica teorica 1 (6 CFU): galassie a spirale - Bertin**
- **Astrofisica teorica 2 (6 CFU): galassie ellittiche - Bertin**
- **Cosmologia (6 CFU): Universo omogeneo, hot Big Bang + lensing - Lombardi, Maino**
- **Cosmologia 2 (6 CFU): Universo disomogeneo, formazione strutture cosmiche - Guzzo**
- **Radioastronomia 1 (6 CFU): strumentazione radio astronomica e interferometria - Mennella, Maino**
- **Radioastronomia 2 (6 CFU): L'Universo dal radio al lontano infrarosso, sorgenti diffuse e discrete - Mennella, Maino**
- **Fisica Cosmica 1 (6 CFU): Processi radiativi, Fluidodinamica - Lodato**
- **Fisica Cosmica 2 (6 CFU): Formazione di stelle e pianeti - Lodato**
- **Astrofisica Nucleare e Relativistica 1 (6 CFU): Evoluzione stellare - Pizzochero**
- **Astrofisica Nucleare e Relativistica 2 (6 CFU): Oggetti compatti - Pizzochero**

# Astronomia 1 e 2 (Bersanelli)

---

- **Quadro “completo” dell’Astronomia contemporanea**
  - **Fondamenti, struttura stellare, evoluzione stellare (modulo 1)**
  - **Strumentazione per astrofisica, astrofisica galattica ed extragalattica, cosmologia, sistema Solare e astrobiologia (modulo 2)**
- **Esperienza “sul campo” al telescopio a Merate (facoltativo)**
- **Lezioni tenute insieme a Tomasi**

# Astrofisica teorica 1 e 2 (Bertin)

---

- **Modulo I (fenomenologia, modelli generali, galassie a spirale):**
  - **Caratteristiche fisiche delle galassie.**
  - **Descrizione fluida e cinetica delle galassie. Sistemi di N corpi. Meccanismi di rilassamento. Il problema della dinamica “autoconsistente”.**
  - **Dinamica delle galassie a spirale. Dalle orbite stellari, all’instabilità di Jeans, alle onde di densità e ai modi globali discreti responsabili del “grand design” a spirale.**
- **Modulo II (materia oscura, ammassi globulari, galassie ellittiche, contesto cosmologico):**
  - **Materia oscura nelle galassie e negli ammassi. Dinamica dei sistemi stellari non-collisionali.**
  - **Dinamica degli ammassi globulari e delle galassie ellittiche. Collasso non-dissipativo e formazione delle galassie. Leggi di scala e evoluzione delle**

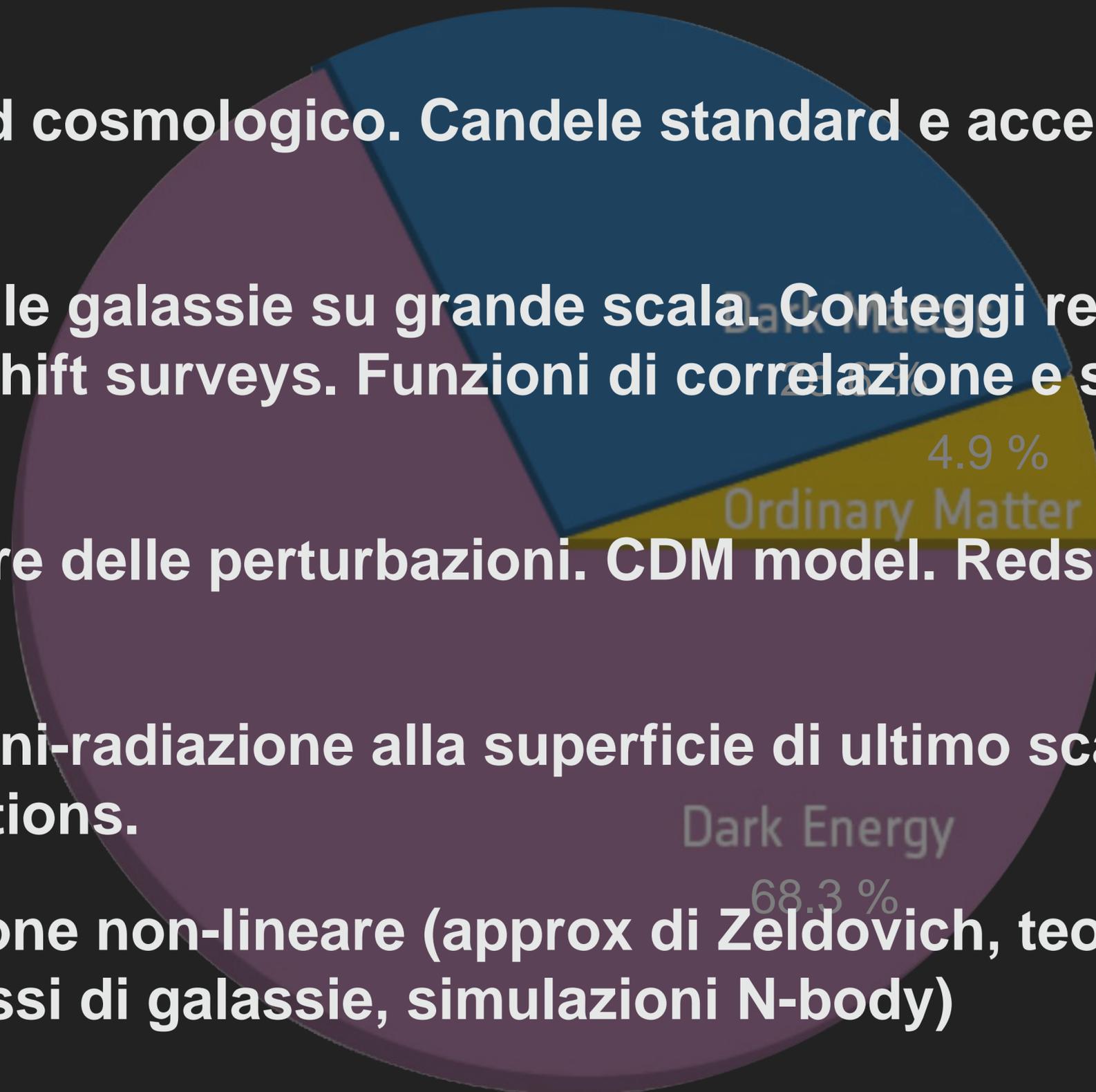
# Cosmologia (Lombardi - Maino)

---

- **Introduzione elementare usando la fisica classica. Legge di Hubble. Leggi di Friedmann**
- **Introduzione alla relatività generali e sue applicazioni in cosmologia (Redshift. Effetti della distanza su luminosità e dimensioni angolari di oggetti osservati)**
- **Nucleosintesi cosmologica. Disaccoppiamento di neutrini e radiazione. Campi di velocità e deviazioni al flusso di Hubble. Misure di geometria ad alto redshift. CMB.**
- **Paradigma inflazionario, teoria lineare delle perturbazioni e spettro di potenza delle anisotropie del fondo cosmico.**
- **Lenti gravitazionali**

# Cosmologia 2 (Guzzo)

- **Modello standard cosmologico. Candele standard e accelerazione dell'Universo**
- **Distribuzione delle galassie su grande scala. Conteggi relativi e funzioni di luminosità. Redshift surveys. Funzioni di correlazione e spettro di potenza. Concetto di bias**
- **Evoluzione lineare delle perturbazioni. CDM model. Redshift space distortions**
- **Interazione barioni-radiazione alla superficie di ultimo scattering. Baryonic Acoustic Oscillations.**
- **Cenni di evoluzione non-lineare (approx di Zeldovich, teoria di Press-Schechter, ammassi di galassie, simulazioni N-body)**



# Radioastronomia 1 (Mennella) e 2 (Mennella, Maino)

- **Radioastronomia 1: Strumenti e metodologie osservative nel radio**
  - Ricevitori coerenti ed incoerenti
  - Telescopi ed antenne
  - Interferometria: elementi di interferometria e esempi rilevanti (ALMA)
- **Radioastronomia 2: panoramica delle osservazioni astronomiche radio**
  - Emissione galattica diffusa (emissione anomala, idrogeno molecolare)
  - Sorgenti discrete: Sole, pulsar, radio-galassie, formazione stellare
  - Emissione di background: CMB, CIB, fondo a 21 cm

# Laboratorio di strumentazione spaziale 1 (Mennella - Maino)

- **Progettazione e realizzazione di un ricevitore per misurare la radiazione solare emessa a 30 GHz**
- **Caratterizzazione e integrazione dei vari componenti e dell'intero ricevitore**
- **Simulazione di un telescopio a riflettore a specchio singolo di tipo fuori asse**
- **Integrazione e allineamento del ricevitore con il telescopio**
- **Misura della risposta ottica dell'intero sistema ottico**
- **Osservazione della radiazione emessa dal Sole a 30 GHz**



# Fisica cosmica 1 e 2 (Lodato)

---

- **Fisica cosmica 1: processi fondamentali di interesse astrofisico**
  - Processi radiativi: scattering Thomson, scattering Compton, effetto Compton inverso, Radiazioni di bremsstrahlung, radiazione di ciclotrone e di sincrotrone, trasporto radiativo
  - Astrofisica dei fluidi: concetti di base di fluidodinamica, equilibri idrostatici, sfere politropiche e isoterme, sfere di Bonnor-Ebert, perturbazioni ed onde, instabilità fluide (Jeans, Kelvin-Helmholtz, Rayleigh-Taylor), shock, turbolenza
- **Fisica cosmica 2: formazione stellare e planetaria**
  - Quadro osservativo della formazione stellare, nubi molecolari e IMF
  - Dischi di accrescimento e dischi protostellari
  - Osservazioni di sistemi planetari
  - Teoria della formazione planetaria e della migrazione planetaria

# Astrofisica nucleare e relativistica 1 e 2 (Pizzochero)

- **Modulo 1: introduzione alla struttura stellare**
  - Principi generali dell'Astrofisica Stellare (proprietà e equazione di stato della materia stellare; struttura e evoluzione stellare, stabilità gravitazionale, produzione e trasporto di energia, diffusione radiativa e atmosfera stellare, modelli stellari analitici).
  - Interpretazione del diagramma HR. Condizioni fisiche della materia stellare nei vari stadi evolutivi.
  - Dalle equazioni della struttura stellare alle proprietà osservate in sequenza principale.
- **Modulo 2: Astrofisica delle stelle compatte**
  - Studio delle stelle compatte (nane bianche, supernovae, stelle di neutroni e pulsars, sorgenti X e  $\gamma$  compatte, magnetars, GRBs).
  - Effetti indotti dalla forza gravitazionale sulle interazioni deboli (neutronizzazione della materia, emissione e diffusione di neutrini) e sulle interazioni forti (stelle di quarks, superfluidità nucleonica nelle pulsars).
  - Caratteristiche fisiche della materia all'interno delle stelle compatte e proprietà osservabili. Stabilità gravitazionale.

# Tesi di laurea

---

- **Circa un anno di durata**
- **Può essere svolta in collaborazione con enti di ricerca milanesi**
  - **INAF/IASF di Via Bassini**
  - **Osservatorio di Brera (sia sede di Brera che di Merate)**
- **Viene spesso svolta in collaborazione con importanti enti stranieri: STScI (Baltimore, USA), ESO (Garching, Germania)...**

# Sbocchi post-laurea

---

- **PhD sia in Italia che all'estero**
- **Carriera nella ricerca universitaria**
- **.. o negli osservatori astronomici**
- **Applicazione all'industria spaziale, ottica e meccanica**
- **Data scientist, finanza**