



**Macroarea 1 (“Galassie e Cosmologia”)  
Cosmology and fundamental physics -  
initial conditions, parameters & fundamental  
physics in PTA and PV**

**Carlo Burigana**

**IRA Bologna,**

Univ. Ferrara Dip. Fisica & Scienze della Terra, INFN-Sezione di Bologna

**on behalf of the MA1 WGs devoted to PTA & PV**

Contributors:

*Carlo Burigana, Vincenzo Cardone, Antonino Del Popolo, Sperello di  
Serego Alighieri, Stefano Ettori, Fabio Finelli, Paola Marziani*

+

*Documents by INAF CS*

# Outline

- ❑ **Initial conditions**
- ❑ **Parameters (including  $H_0$ )**
- ❑ **Fundamental physics**
  
- ❑ **In PTA 2017-2019**
- ❑ **In PV (current draft)**
  
  
- ❑ then Vincenzo Cardone on DM, DE, gravity on cosmological scales

# PTA - 1

- ❑ INAF: astrofisica teorica e sperimentale
- ❑ Tematiche, risultati, obiettivi
- ❑ **1.3.1 Cosmologia:** una frontiera per comprendere l'Universo primordiale, la fisica fondamentale e la formazione ed evoluzione delle galassie.

## **1.3.1.1 Le domande fondamentali**

- 1) *La natura della Materia Oscura*
- 2) *La natura dell'Energia Oscura*
- 3) *La comprensione della gravità su scale cosmologiche*
- 4) **Le condizioni iniziali della Cosmologia**
- 5) **I principi della fisica e le costanti fondamentali**
- 6) ***I processi fisici che determinano la formazione e l'evoluzione delle strutture cosmiche.***

# PTA - 2

- ❑ **“Standard”  $\Lambda$ CDM model and its parameters**
- ❑ **Questions: why  $\Lambda$  value vs fundamental interactions theories? What DM particle(s)? Puzzle DE vs gravity theories?**
- ❑ **CMB and early universe, inflation, parameters, initial perturbations, fundamental physics laboratory, link with direct experiments**
- ❑ **Reionization: global properties, astrophysical sources vs fundamental physics processes, high- $z$ , QSOs, SMBHs**
- ❑ *Origin and evolution of galaxies*

# PTA - 3

- ❑ **1.3.1.2 Gli strumenti di indagine**
- ❑ *DM, DE*
- ❑ **Fisica delle condizioni iniziali dell'Universo:**
- ❑ **Inflation, inflaton, energy scale, tensor vs scalar, CMB as main observable, B-modes**
- ❑ **LSS: CMB & weak lensing**
- ❑ ***Planck* maps, catalogs, foregrounds, SZ**
- ❑ **IGM: baryons, Lyman- $\alpha$ , spectroscopy at high/middle resolution, cosmic structure up to  $z=2-5.5$ , theoretical/numerical models**
- ❑ **Complementarity between observables to estimate parameters**
- ❑ *Cosmic structure formation & evolution, galaxy clusters*

## □ 1.3.1.2 Gli strumenti di indagine

### □ Calcolo Numerico:

- discussion of its relevance in all fields of MA1, from theory to data analysis, from simulations theory oriented to simulations project/mission oriented.
- Necessities: infrastructures, man power, culture

### □ La scala di distanze cosmiche:

- discussion on calibration and issues at various scales, local vs distant distance indicators, comparison/sinergy/tension with CMB
- systematics or hints on physics?

## □ 1.3.1.3 Gli obiettivi strategici

- *Nature of DM*
- **Tests of inflation: geometry of the universe, (non?)Gaussianity, perturbations, through:**
  - Galaxies surveys with wide field imaging (VST, VISTA, LSST, Euclid, SKA)
  - Spectroscopy (VIMOS-MOONS@VLT, Euclid, SKA)
  - CMB polarization, B-modes
- **Fundamental constant variation, through:**
  - high resolution spectroscopy for atomic transitions @ different  $z$  & with high accuracy (ESPRESSO@VLT, HIRES@E-ELT, SKA).
- **Extension of interaction standard model, i.e. Lorentz invariance violation, photon anomalous propagation, photon oscillations, through:**
  - CTA
  - CMB anomalies

## □ **1.3.1.3 Gli obiettivi strategici**

### □ **EoR, through:**

- SKA & precursors/pathfinders: 21 cm
- Lyman- $\alpha$
- NIR galaxies (JWST, ELT)
- spectroscopy: QSOs, VIS-NIR for IGM, ELT chemistry

### □ *SMBHs, Cosmic structures*

### □ **Numerical cosmology**

- Cosmological simulations for  $\Lambda$ CDM and alternatives models, new physics, link with next surveys
- New codes aimed at using new facilities
- Calls for computing (CINECA, PRACE), Relevance of HPC

### □ **La scala di distanze cosmiche**

- Gaia for local distances, SN Ia surveys (Dolores, SOXS) for cosmological scales, improvements at intermediate scales → aim: 1% accuracy at large scales



# PTA - 7

Strumento	Tecnica/Area	Periodo	Risultati attesi	Partecipazione italiana
<b>Strumenti operanti durante il periodo 2017-2019</b>				
<b>VLT</b> <b>UVES</b> <b>X-shooter</b> <b>FORS</b> <b>MUSE</b> <b>VIMOS</b>	Dinamica di galassie, gruppi e ammassi Segnale di strong e weak lensing Tomografia IGM Surveys di galassie	2017-	Proprietà della DM e DE Parametri cosmologici Calibrazione delle SNe come candele standard EoR Formazione ed evoluzione delle galassie	Osservazioni GO INAF è PI di vari Large programme per questi strumenti
<b>SKA Precursors</b> <b>(ASKAP</b> <b>MeerKAT)</b>	Crescita della LSS Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm	2017-	Proprietà della DE e DM Formazione ed evoluzione di galassie EoR	Partecipazione INAF ai programmi EMU (ASKAP), MeerGAL e MIGHTEE (MeerKAT)
<b>HPC</b>	Tecniche numeriche N- corpi e idrodinamiche	2017-	Formazione ed evoluzione di galassie, clusters di galassie e LSS Galassie e BH primordiali, EoR Modelli cosmologici Predizioni per strumentazione e surveys future	Call competitive presso CINECA Infrastrutture EU PRACE

# PTA - 8

Strumento	Tecnica/Area	Periodo	Risultati attesi	Partecipazione italiana
<b>Strumenti operanti durante il periodo 2017-2019</b>				
<b>VST</b>	Surveys di galassie Imaging	2017-	Parametri cosmologici Condizioni iniziali dell'Universo	ESO/INAF. PI-ships
<b>VISTA</b>	Surveys di galassie Imaging IR	2017-	Parametri cosmologici Condizioni iniziali dell'Universo	ESO
<b>SDSS</b>	Surveys di galassie e QSOs BAO RSD	2017-	Parametri cosmologici Condizioni iniziali dell'Universo	SDSS collaboration
<b>LBT</b> <b>LBC</b> <b>MODS LUCI</b>	Dinamica di galassie, gruppi e ammassi Segnale di strong e weak lensing Surveys di galassie	2017-	Natura della DM DE EoR Condizioni iniziali dell'Universo	INAF con contributi altri partner LBT
<b>NTT</b> <b>Dolores</b> <b>NICS</b>	SNe come candele standard, osservazioni di galassie e QSO Imaging, spettri	2017-	Parametri cosmologici Natura della DE Formazione ed evoluzione di galassie	Infrastruttura INAF
<b>Planck</b>	Fluttuazioni e polarizzazione del CMB e delle emissioni astrofisiche mm. Gravitational lensing	2017	Condizioni iniziali dell'Universo Test della fisica fondamentale EoR	ESA. Forte impegno italiano

# PTA - 9

Strumento	Tecnica/Area	Periodo	Risultati attesi	Partecipazione italiana
<b>Strumenti futuri</b>				
<b>SKA</b>	Crescita delle perturbazioni Survey di galassie a grande campo Sandage Test Spettroscopia e imaging in riga e continuo nel cm. HI intensity mapping	2020-	Proprietà della DE e DM, EoR Parametri cosmologici Condizioni iniziali dell'Universo Variazioni delle costanti fondamentali Formazione ed evoluzione di galassie	Partecipazione INAF ai WG Cosmology, EoR, galaxies/AGN, galaxy clusters, cosmic magnetism
<b>VLT ESPRESSO</b>	Assorbitori QSO Tomografia IGM/ Spettroscopia alta risoluzione.	2018-	Natura della DM e DE Parametri cosmologici Variazioni costanti fondamentali Evoluzione delle galassie Ciclo dei barioni	ESO. CoI-ship italiana
<b>VLT MOONS</b>	Crescita della LSS  Spettroscopia multi-object	2019-	Proprietà della DM e DE, EoR Condizioni iniziali dell'Universo	Forte coinvolgimento INAF

# PTA - 10

Strumento	Tecnica/Area	Periodo	Risultati attesi	Partecipazione italiana
<b>Strumenti futuri</b>				
<b>E-ELT – HIRES</b>	Spettroscopia IGM Sandage Test/ Spettroscopia alta risoluzione.	2026-	Natura della DM e DE Parametri cosmologici Variazioni costanti fondamentali EoR, formazione ed evoluzione delle galassie	ESO. PI-ship italiana
<b>LSST</b>	Segnale di strong e weak lensing / Immagini	2021-	Proprietà della DM e DE Condizioni iniziali dell'Universo	NSF-DOE- LSST Corp. INAF partecipa con 15 PI/progetti
<b>CTA</b>	Emissione da annichilazione di DM, LIV, propagazione anomala di fotoni Imaging gamma/TeV	2019	Proprietà della DM Test della fisica fondamentale	Forte impegno italiano INAF-INFN
<b>JWST</b>	Immagini, Spettri nel NIR e MIR ad alta risoluzione/ Segnale di strong e weak lensing	2019-	Proprietà della DM Formazione ed evoluzione di galassie EoR	Collaborazione INAF con NASA-ESA.
<b>Euclid</b>	Segnale di strong e weak lensing Crescita delle perturbazioni BAO RSD	2020-	Proprietà della DE e DM, EoR Condizioni iniziali dell'Universo Formazione ed evoluzione di galassie	ESA. Forte impegno italiano

# PTA - 11

- ❑ **LE PROFESSIONALITÀ RICHIESTE**
- ❑ **cosmologia teorica e numerica per lo studio di formazione delle strutture cosmiche,**  
in un framework teorico/interpretativo per la progettazione e lo **sfruttamento dei dati osservativi di infrastrutture presenti e future**  
(per es. VLT, LBT, XMM, Euclid, SKA, E-ELT, Athena)
- ❑ sfruttamento scientifico di ALMA, **dei precursori di SKA e in preparazione di SKA**
- ❑ **analisi della LSS/CMB da survey di prossima generazione ed inferenze cosmologiche**
- ❑ ***preparazione e sviluppo di software scientifico di analisi dati per strumenti di prossima generazione; progettazione, sviluppo e ottimizzazione di tecniche e modelli di Astroinformatica e Astrostatistica.***

## 8. Cosmology and Fundamental Physics

*Keywords: Geometry of the Universe, Cosmological parameters, Dark Matter, Dark Energy, Fundamental Physics.*

### **Key questions:**

- **The nature of Dark Matter**
- **The nature of Dark Energy**
- **Understanding gravity on large cosmological scales**
- **Initial conditions of Cosmology**
- **Fundamental constants and principles of physics**
- **The cosmic distance ladder and the Hubble constant debate**

# PV - 2

- **Similar in content to PTA but in a different (although preliminary) form & language (PTA Italian, PV English)**
- **More literary** (... a bit of history), **less technical, less structured**
- **A note: some more technical details on Cosmic distance ladder**
  - "All the above studies require a high temporal frequency, a wide wavelength range, and a good spectral resolution. The ESO public survey (PESSTO) taught that a rapid access to specialised instruments like X-Shooter at VLT, SOXS at ESO-NTT and NTE at NOT is mandatory."

# PV - 3

Initial conditions of Cosmology	Strong and weak lensing Surveys of Galaxies	LSST VST VISTA
Fundamental constants and principles of physics	Variation of fundamental constants	VLT, ELT
	High energy interactions Anomalous photon propagation	CTA
The cosmic distance ladder and the Hubble constant debate	Parallaxes Standard candles/sticks SNIa, BAO	GAIA EUCLID HST NTT VLT JWST ELT

## **Add SKA & precursors/pathfinders!**

FUNDAMENTAL PHYSICS WITH THE SQUARE KILOMETRE ARRAY

**CONFERENCE PRESENTATIONS NOW AVAILABLE [HERE](#)**

1st-5th May 2017, [La Pirogue Resort](#), Flic en Flac, Mauritius