

Background image NASA, ESA, COS, MO, A. Ebeling and E. Iarrott/University of Pennsylvania, et al./JPL/STScI

# EUCLID

Angelo Ferrari  
per il gruppo Euclid di





## 3.0 FTE

M. Baldi, A. G. Ferrari, F. Finelli (INAF), F. Giacomini (CNAF), N. Mauri, L. Patrizii, G. Sirri (Resp. Locale), M. Tenti, A. Tronconi, L. Valenziano (INAF)

Supporto Servizio Tecnico (2016-2020): D. Di Ferdinando, C. Valieri

### Attività principali

- Integrazione, test e qualifica funzionale (AIV) della Warm Electronics dello strumento NISP
- Coordinamento calcolo in ambito INFN
- Preparazione allo sfruttamento dei dati scientifici

### Responsabilità principali

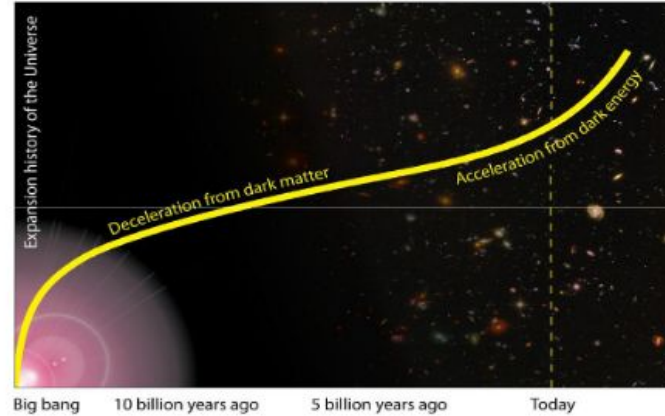
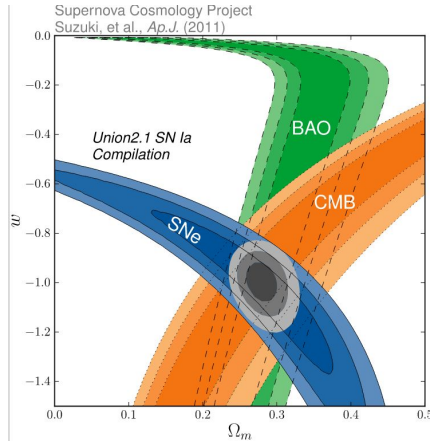
M. Tenti: Project Investigator del progetto INF21\_euclid al CINECA.

G. Sirri: ICU Application SW Integration responsible

### Status conferiti dall'Euclid Consortium

L. Valenziano (Euclid founder), G. Sirri (Euclid builder)

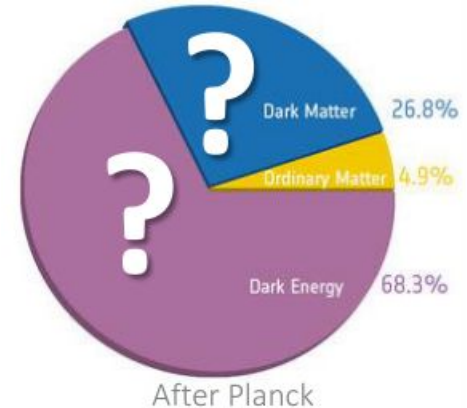
# L'Universo dopo Planck



Diversi esperimenti con osservabili complementari hanno portato alla formulazione del modello cosmologico attuale, il  $\Lambda$ CDM.

Ma rimangono questioni aperte cruciali.

La **materia** contribuisce per circa il 30% al bilancio di massa-energia dell'Universo, ed il restante 70% è rappresentato dalla cosiddetta **Energia Oscura**, causa dell'espansione accelerata dell'Universo.

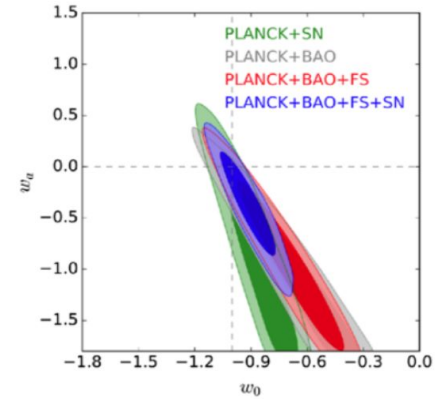


# Euclid: Motivazioni scientifiche

Due domande chiave:

1. Quali sono natura e proprietà della Energia Oscura?  
Ovvero l'accelerazione cosmica è prodotta da una costante o dall'evoluzione di un campo scalare?
2. La Relatività Generale è ancora valida a scale cosmologiche? Energia Oscura o Gravità Modificata?

Altri obiettivi primari: informazioni su Materia Oscura,  
Numero e Massa dei Neutrini



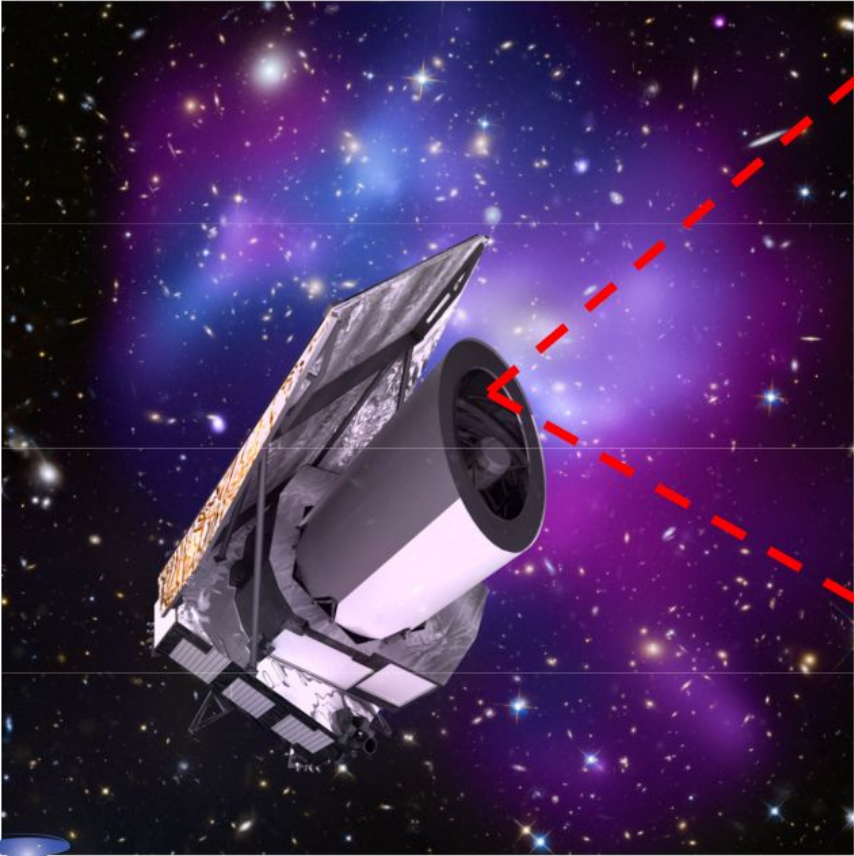
$$w(a) = w_0 + w_a(1 - a)$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^2}T_{\mu\nu}$$

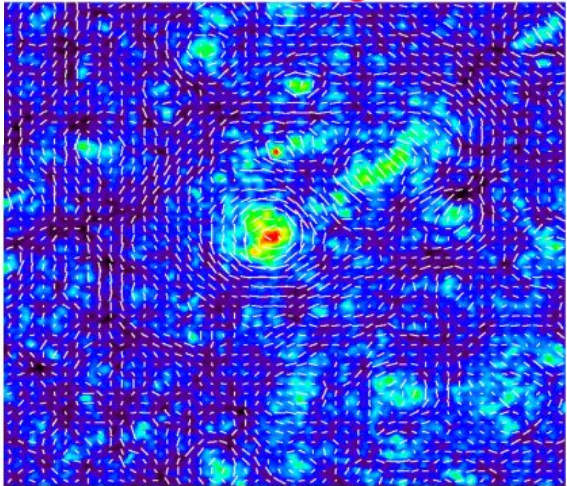
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^2}(T_{\mu\nu} + \tilde{T}_{\mu\nu})$$

An orange arrow points from the  $\Lambda g_{\mu\nu}$  term in the first equation to the  $\tilde{T}_{\mu\nu}$  term in the second equation, indicating the redefinition of the energy-momentum tensor.

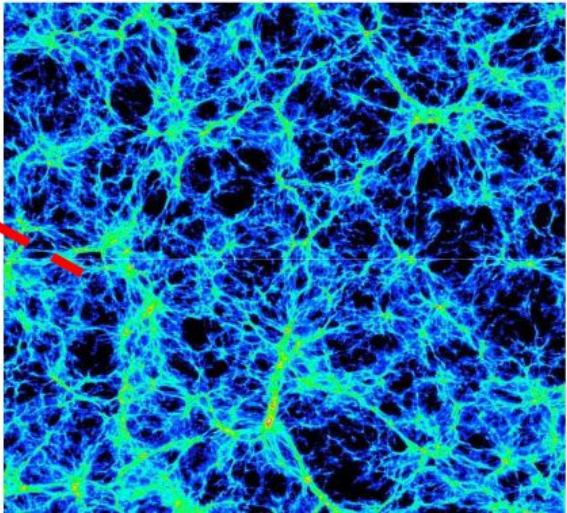
Euclid può rispondere grazie al suo approccio duale



An artist view of the Euclid Satellite – © ESA



Weak lensing



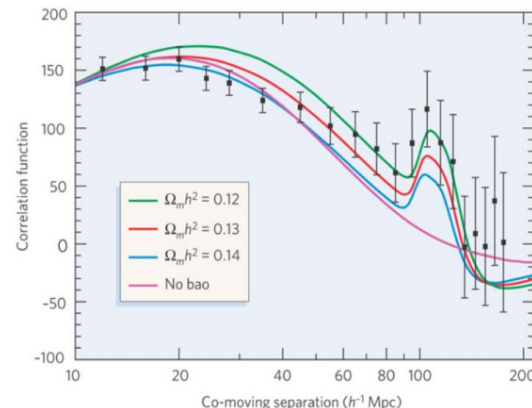
Galaxy Clustering

# Euclid può rispondere ad entrambe le domande

D1. Measure the **expansion history of the Hubble parameter -  $H(z)$**  - to high accuracy as to detect % variations of Dark Energy equation of state  $w(z)$  with robust control of systematics:

Achieve this through two probes:

- A. Using the scale of **Baryonic Acoustic Oscillations (BAO)** in the clustering pattern of galaxies as a standard ruler
- B. Using shape distortions induced by **Weak Gravitational Lensing**

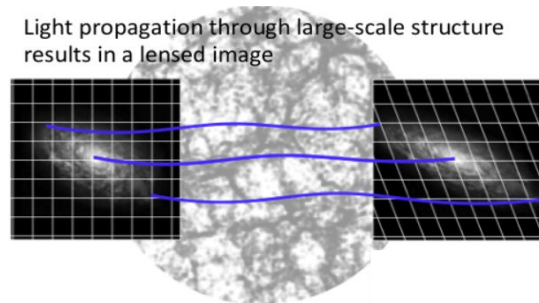


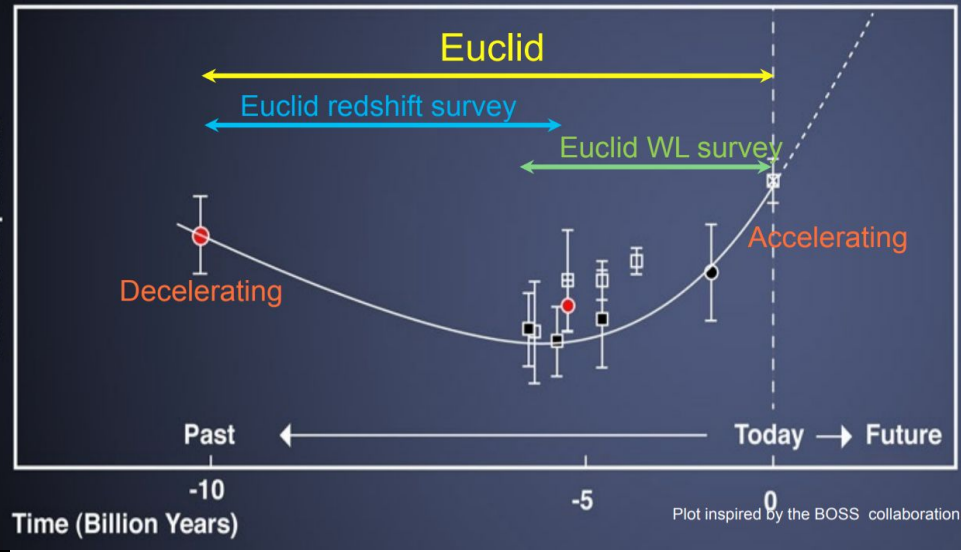
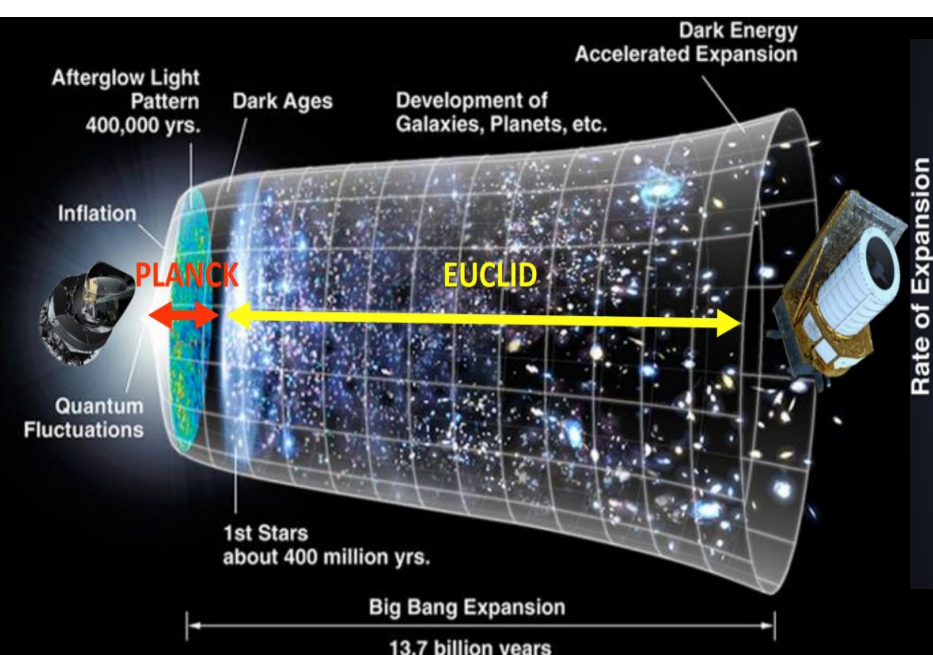
Charles L. Bennett  
Nature 440, 1126-1131(27 April 2006)

D2. Measure at the same time the **growth rate of structures** from the same probes, to detect modifications of gravity:

- A. Clustering redshift-space distortions (RSD)
- B. Weak Lensing (WL) Tomography

As a “free by-product”: information on dark matter, neutrino masses and number

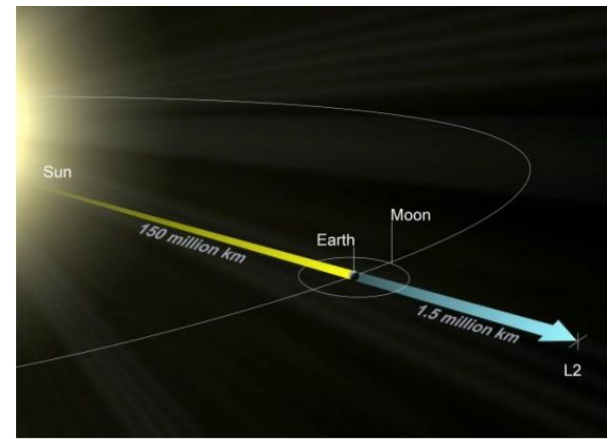




La missione studierà l'evoluzione delle strutture cosmiche misurando forme e redshift di 10 miliardi di galassie e gruppi di galassie fino a una distanza  $z \sim 2$ , equivalente ad osservare l'universo fino a 10 miliardi di anni fa. Euclid coprirà l'intero periodo durante il quale l'energia oscura ha svolto un ruolo significativo accelerando l'espansione dell'Universo.

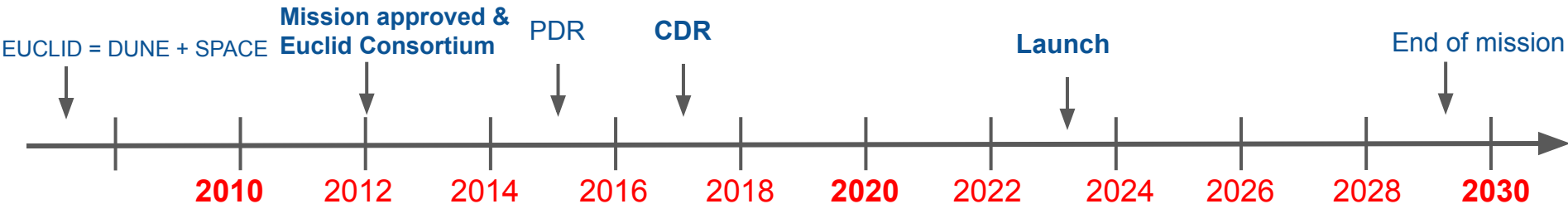
# La missione Euclid

- Euclid è una missione di classe media dell'ESA CosmicVision program (2015-2025)
- **Lancio: 2023** dall'ESA spaceport in Kourou (Guyana Francese) con Ariane
- **Orbita:** punto lagrangiano **L2** del sistema Sole-Terra. 1.5 milioni di km dalla Terra
- **Vita operativa: 6 anni**
- **Science lead: Euclid Consortium (EC)**



- Cost: ~850 Meuro (~2/3 ESA; ~1/3 EC)
- Ground Segment: ESA (50%) + EC (50% science + ext. data)

## EUCLID timeline







14 countries + NASA, >1400 members

- Lead: Chair (Y. Mellier - IAP France) + EC Board
- France, Italy & UK are the major contributors

### “Euclid-Italy” Team



- ~160 members
- Financial support from **ASI**, partly from **MIUR (PRIN)**, **INFN**
- **Universities** : Bologna, Milano, Napoli, Padova, Roma I, Roma2, Roma3, Trieste, SISSA, SNS (Pisa)
- **INAF** : OASBO, OABrera, OACT, OAA, OANA, OAPD, OARM, OATO, OATS, IASFMI, IAPS
- **INFN** : Bologna, Lecce, Milano, Padova, Roma I, Ferrara, Torino, Genova

## Euclid Consortium

### Italian Participation



# Spacecraft

Mass: 2200 kg

Size: 4.5 x 3 x 3 m<sup>3</sup>

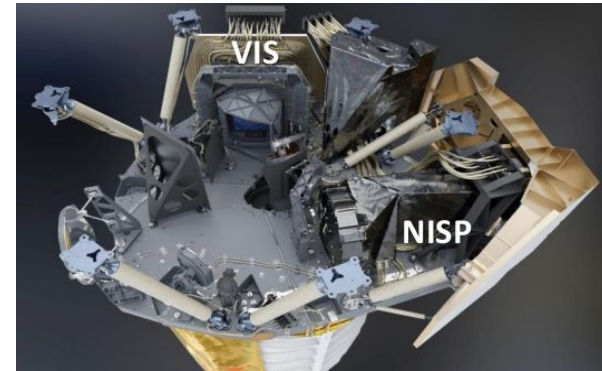
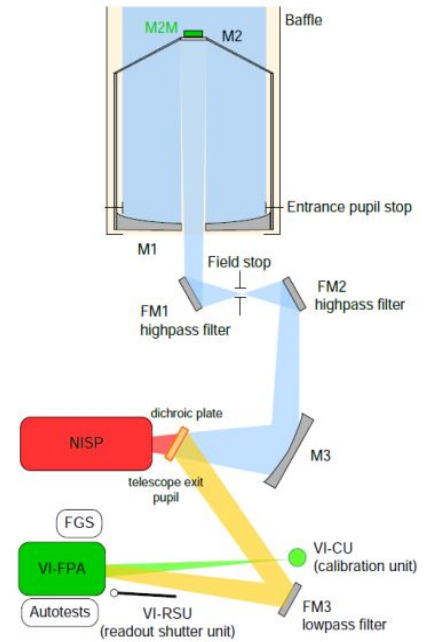
Telescope: 1.2 aperture Korsch configuration

Mirror and structure in Silicon Carbide  
(rigidity and stability)

850 Gbit(K-band) downlink in 4 hour/day

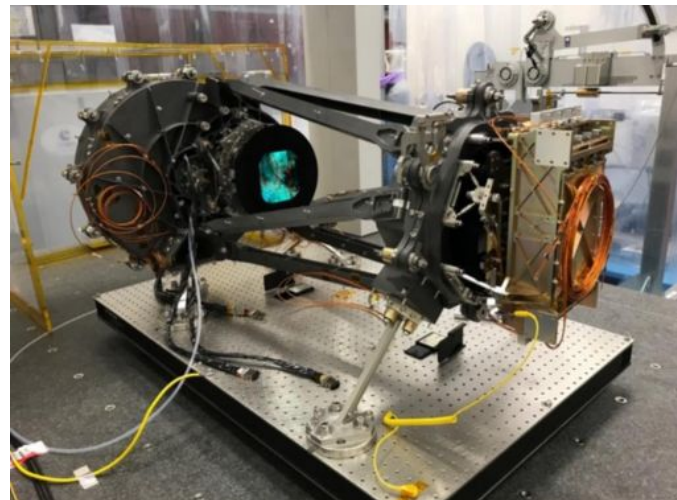
Two instruments:

- Visible Imager (VIS)
- Near Infrared Spectrometer & Photometer (NISP)



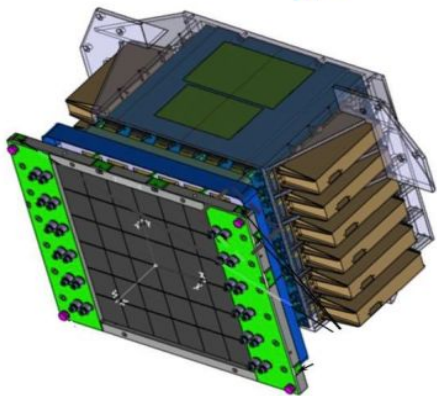


VIS



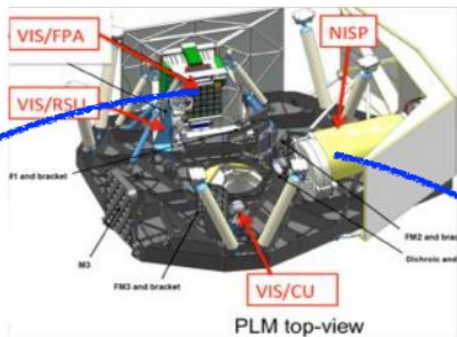
NISP

## VIS



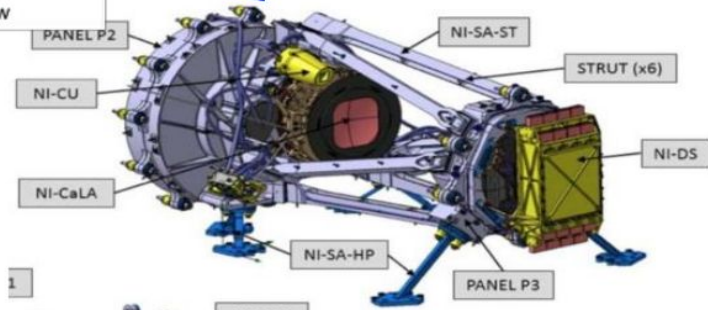
Focal Plane Array (FPA)

36 CCDs, 4k x 4k, 12 micron pixels  
0.1 arcsec pixel on sky  
0.54 deg<sup>2</sup> per field  
1 filter Y (R+I+Y)  
Bandpass 550-900 nm  
Data volume 520 Gbit/day  
Mass 135 Kg



PLM top-view

## NISP

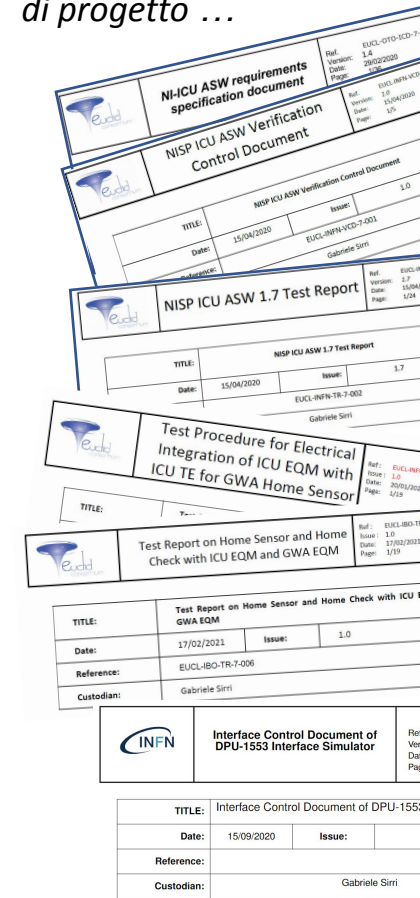


16 2k x 2k H2RG (HgCdTe), 18 micron pixel  
0.3 arcsec pixel on sky  
0.55 deg<sup>2</sup> per field  
limiting  
3 filter Y, J, H  
4 grims 1xB(920-1350 nm), 3xR(1250-1850)  
Data volume 290 Gbit/day  
Mass 159 Kg

# INFN BOLOGNA: Attività sullo strumento NISP

## Integrazione, test e qualifica funzionale (AIV)

Molti report e documenti di progetto ...



Attività INFN supportata da contratto ASI (6 RTD\*anno equivalenti)

A partire dal **2014** il gruppo **INFN Bologna** ha fornito un contributo fondamentale alla qualifica di diversi modelli di NISP: avionico (AVM), elettrico (EM) e di volo (FM).

In particolare, il gruppo INFN di Bologna avuto la responsabilità di diverse attività sulla unità di controllo (ICU):

- i) **Progettazione e Realizzazione di una Piattaforma per sviluppo e qualifica del software di volo della ICU**
- ii) **Integrazione HW-SW della Instrument Control Unit (ICU) su NISP**  
attività svolta presso AIRBUS DEFENSE AND SPACE (Madrid) e il Lab di Astrofisica di Marsiglia
- iii) **Progettazione e Conduzione dei test funzionali del SW della Instrument Control Unit (ICU)**  
per le review milestone del progetto:  
**Critical Design Review (2019), Qualification Review (2020)**

Tutte queste attività di integrazione e test necessitano di personale specializzato e addestrato ed è stato possibile grazie alle competenze acquisite del gruppo di Bologna e dai tecnici INFN sugli standard e i tool di test richiesti da ESA e dalle industrie (THALES ALENIA, AIRBUS D.A.S.)

# Piattaforma per sviluppo e qualifica del software di volo della ICU

Si tratta di realizzare un Test equipment, ovvero tutte le controparti HW-SW delle interfacce dalla unità di controllo (ICU) provvedendo al controllo, monitoraggio e stimolazione del SW di volo e alla verifica delle sue funzionalità

## Framework e procedure di test

Progettazione delle procedure di qualifica e programmazione delle sequenze di test nel framework di test richiesto da ESA.

*Contributo Servizio Tecnico Generale  
Claudia Valieri e Donato Di Ferdinando.*

## Simulatore delle interfacce verso lo Spacecraft e le Unità di processamento

SW di controllo dell'interfaccia e la simulazione puntuale del protocollo di comunicazione compresa la possibilità di iniettare errori.

@INFN Bologna

**Unità di controllo ICU**  
unità su cui testare e qualificare il software di volo a BOLOGNA

**Simulatore delle interfacce verso i dispositivi di calibrazione e slow control**

*Contributo Servizio Elettronica  
Riccardo Travaglini*

Tempo di sviluppo della piattaforma: **~3 anni.**

Tempo di esecuzione del test di qualifica del SW: **3 ore** (da ripetere su ogni modello e per ogni release)

# ...dopo test equipments, test procedures, test sequences e plan ....

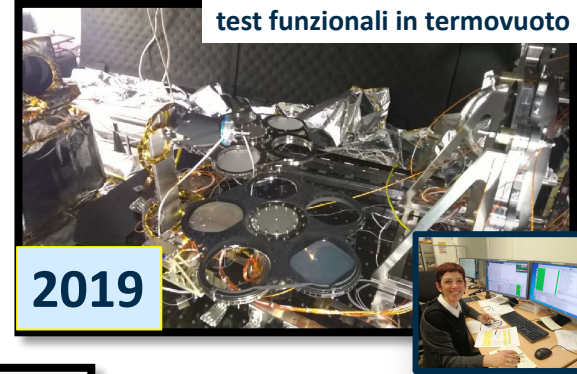
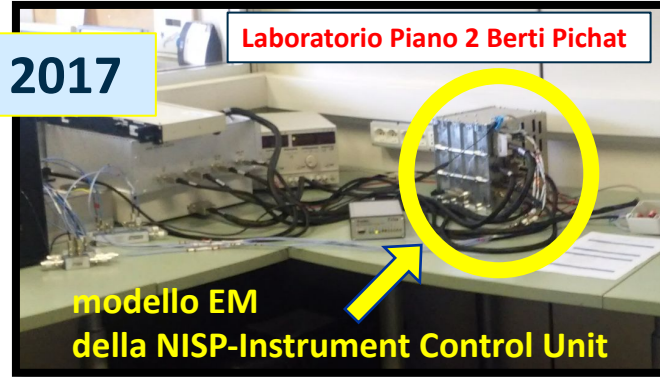
## ovviamente i TEST!!

Varie sessioni di test condotte su diversi modelli.

Per ogni modello:

- integrazione
- sviluppo delle procedure
- conduzione dei test
- stesura dei Test Report
- ... tutto secondo standard ESA

2017



Modello Avionico di NISP



Consegnati a  
ThalesAlenia  
Space



Attività conclusa con successo nel **marzo 2020** con la **consegna del modello di volo NISP-FM a Thales Alenia** per l'integrazione nel payload di EUCLID.

Prosegue il supporto ai test di **integrazione Payload-Service Module** condotti dall'industria.

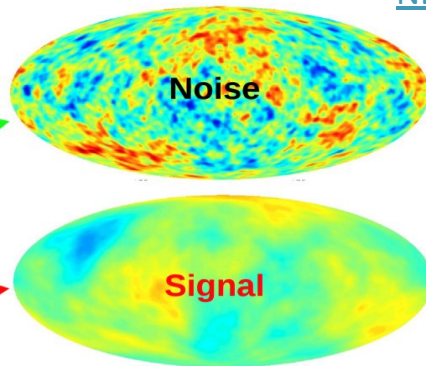
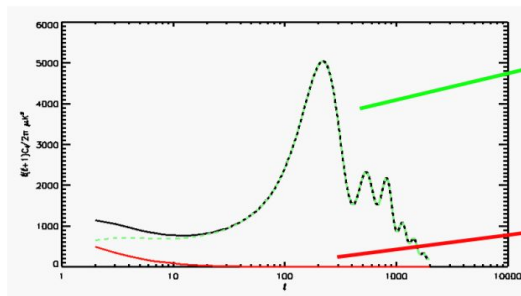
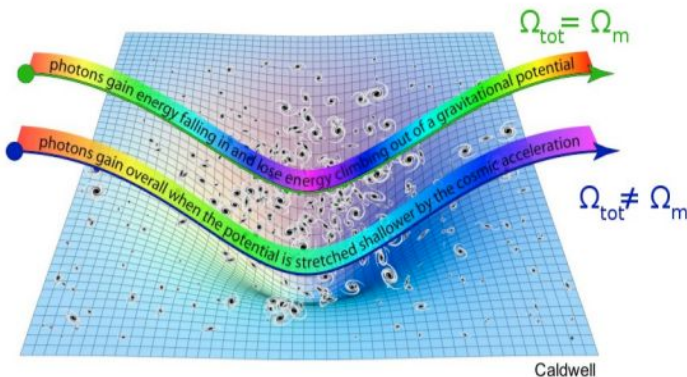
# INFN BOLOGNA: Preparazione allo sfruttamento dei dati scientifici

il gruppo **INFN Bologna** fornisce un contributo al **Science-Working-Group CMBXC** (**Cross Correlazione con la CMB**), soprattutto per lo studio dell'effetto ISW.

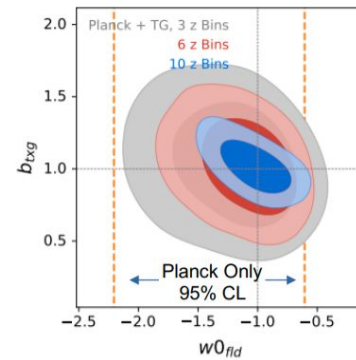
## Cosa è la CMBXC e cosa è l'effetto ISW?

**CMBXC:** Correlazione tra un'osservabile della CMB, per esempio le anisotropie in Temperatura, e una di struttura a grande scala, come per esempio la distribuzione delle galassie

**Effetto ISW:** Interazione gravitazionale dei fotoni della CMB con potenziali variabili nel tempo



## NEED OF XC TO OBSERVE IT



Courtesy of S.Alvi  
(INFN Ferrara)



## INFN BOLOGNA: Preparazione allo sfruttamento dei dati scientifici

il gruppo **INFN Bologna** fornisce un contributo al  
**Science-Working-Group CMBXC (Cross Correlazione con la CMB)**

1. Sviluppo e validazione della Likelihood ISW-CMBXC per la misura dell'effetto ISW (collaborazione con INFN Ferrara)
2. Forecast in modelli estesi (contributo per Gravità Modificata): Previsioni teoriche in modelli estesi che possono essere vincolati o esclusi dalla XC.

# 1. Sviluppo e validazione della likelihood per la misura dell'effetto ISW

Theory (Our code also computes the theoretical predictions, with some approximations to be validated)

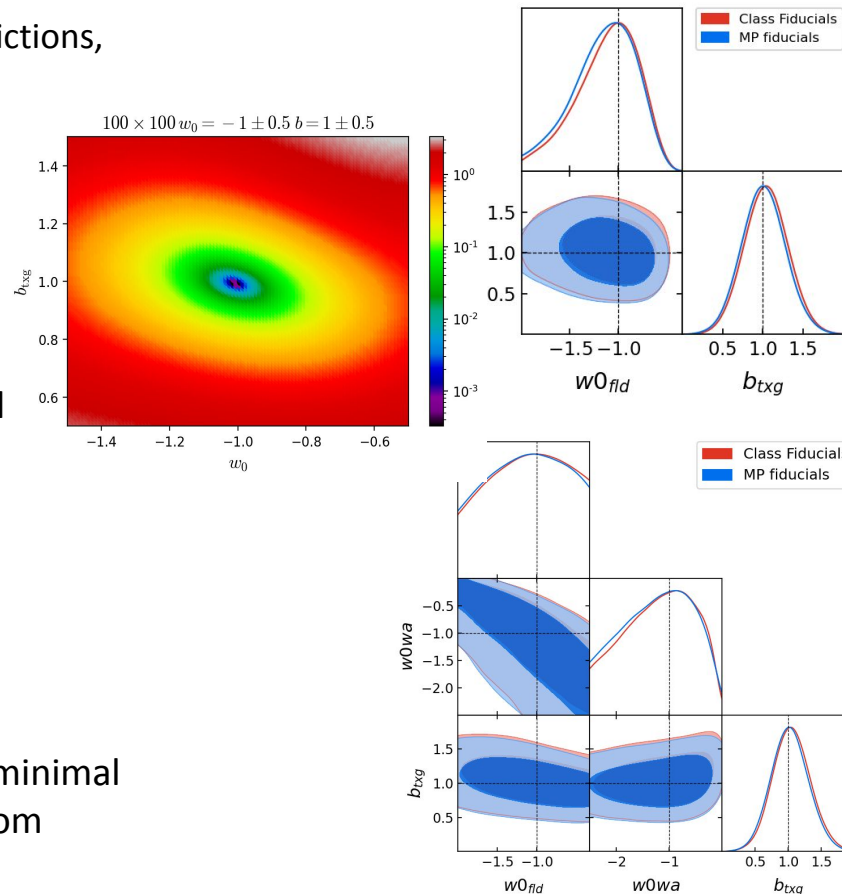
$$\chi^2 = (\hat{C}_\ell - C_\ell) \Sigma^{-1} (\hat{C}_\ell - C_\ell)$$

Data

No data yet: Use simulated data assuming a certain fiducial Cosmology and test if initial (fiducial) parameters are obtained

- Generate data with the same code used for theory
- Generate data with an independent code

Validated our implementation (so far) in  **$\Lambda$ CDM** and its minimal extensions (**dynamical Dark Energy**) using mock data from Einstein-Boltzmann Code



# 1. Sviluppo e validazione della likelihood per la misura dell'effetto ISW

## Ongoing activities and next steps

- Validations in extended models, in particular **Modified Gravity**, with the use of mock spectra extracted from **simulated maps** (note the difference, in the previous case the validation was done using directly spectra without going through maps). This is similar to a real life scenario and it allows to test the **estimators**.
- Implementation of the ISW-CMBXC likelihood within the official Euclid Likelihood suite **CLOE: Cosmology Likelihood for Observables in Euclid**
- **Final goal:** Development of an **integrated CMBXC analysis pipeline**
  - 1 – Spectrum estimation
  - 2 – Likelihood
  - 3 – Parameter estimation

## 2. Forecast in modelli estesi (contributo per Gravità Modificata)

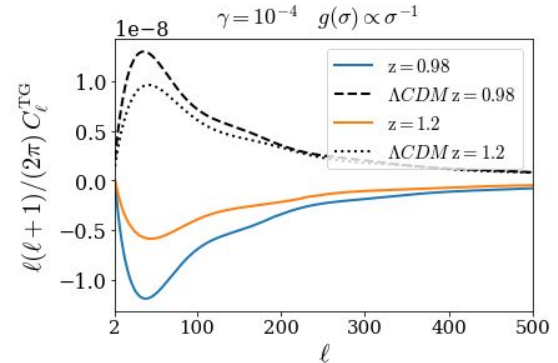
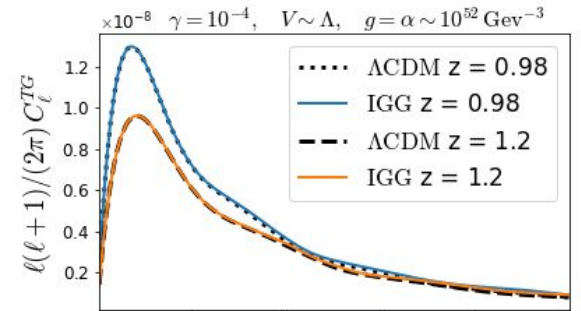
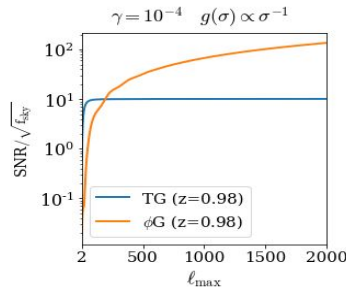
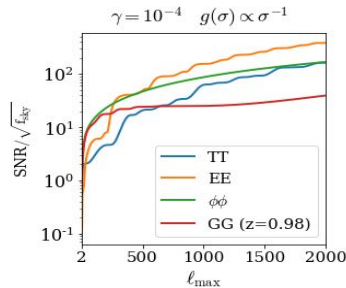
Identify models for which the XC is relevant and then through **Fisher Forecast** predict how Euclid+XC will be able to constrain them and their parameter spaces

Simplest Modified gravity models (JBD, K-Mouflage) already taken care of by other members of the group, we want to go beyond that



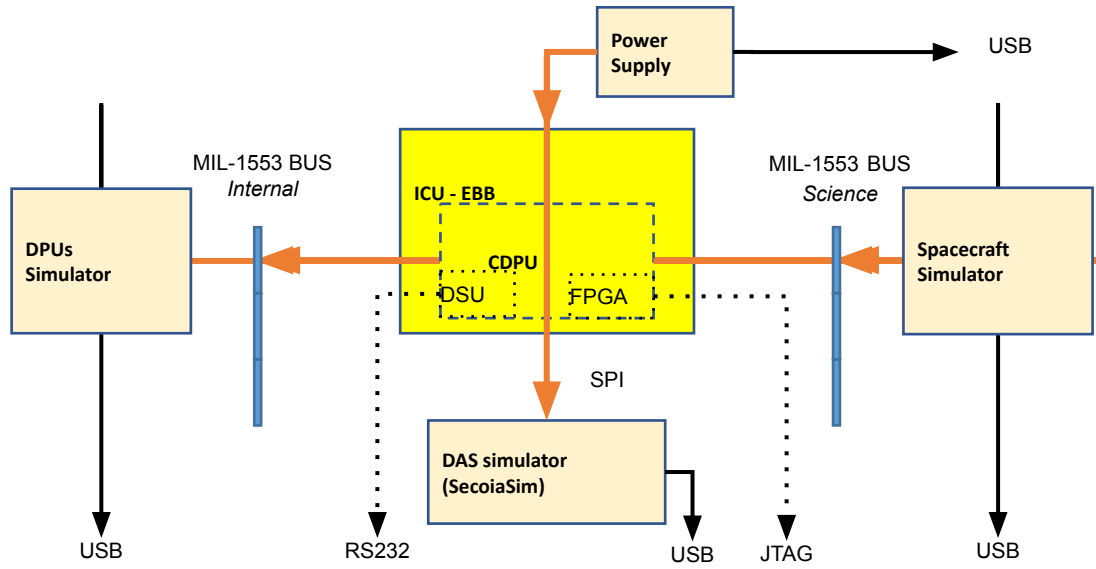
Development of a dedicated Einstein-Boltzmann code (extension of ClassG, a code for JBD) to study models such as **Galileons**

$$S_{grav} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \phi R - \frac{\omega}{\phi} (\partial\phi)^2 + V(\phi) + f(\phi) (\partial\phi)^2 \square\phi \right]$$




**Grazie per l'attenzione**

backup



**Trasferimento Tecnologico** (insieme a CNAF e PD)  
 fornitura a Temis s.r.l. del software di simulazione delle  
 interfacce dell'unità di controllo di NISP.

**Ordine Fornitore**



TEMIS SRL UNIP.  
 Via G. Donizetti N.20  
 20011 - CORBETTA (MI)

P. Iva: 05493850969  
 Tel +39 02-9038.0812 - Fax +39 02.9010.059 - Amministrazione  
 Tel +39 02.9038.0812 - Fax +39 02.9010.059 - Acquisti  
 Indirizzo E-Mail: amministrazione@temissrl.com

**Destinatario:**

00000000426  
 INFN  
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
 Via Enrico Fermi, 40  
 00044 Frascati ( RM ) ( IT )

Cod.fornitore 00000000426	Partita IVA o codice fiscale IT 04430461006	Valuta EU	RAS	Pagamento RD9 B.B./ R.D 30 GG			
Vs. banca:			Trasporto a mezzo di		Pag. 1		
Ns. banca:		Responsabile Vincente Carbone +02 90380812 int.106		Contatto: Stefano Dusini Offerta: OFFERTADel: 24/05/2019			
		Data documento 19/06/2019		Numero documento 133/A			
Descrizione della merce o servizio		U.M.	Quantità	Prezzo	Data consegna	Importo	C.I.
Completamento del WP1		n.	1,000	17.500,00000	31/08/2019	17.500,00	22
Commissa 01002-M8-ENG		CIG	7275730A53	CUPPF43D17000280005			
Completamento del WP3		n.	1,000	17.500,00000	31/10/2019	17.500,00	22
Commissa 01002-M8-ENG		CIG	7275730A53	CUPPF43D17000280005			
Codice interno no: TTA_19PD_007					31/10/2019		



# Euclid FOM

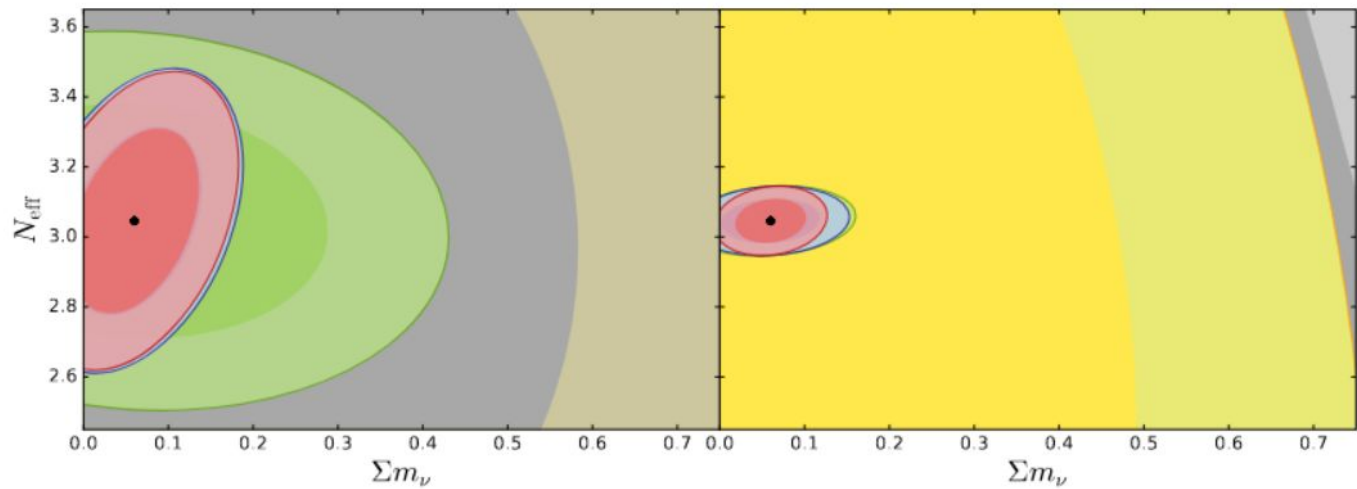
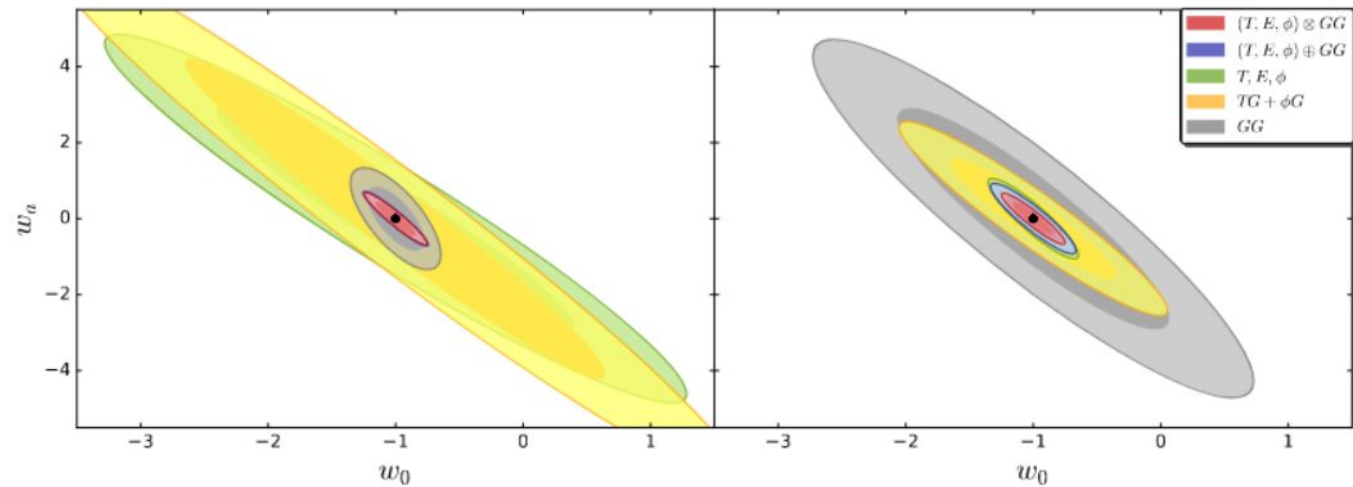
$$\text{FoM} = 1/(\Delta w_0 \times \Delta w_a)$$

Assume systematic errors are under control

Ref: Euclid RB arXiv:1110.3193	Modified Gravity	Dark Matter	Initial Conditions	Dark Energy		
Parameter	$\gamma$	$m_\nu / eV$	$f_{NL}$	$w_p$	$w_a$	FoM <small>= 1/(\Delta w_p \times \Delta w_a)</small>
Euclid (WL+GC) <span style="color: red;">primary</span>	0.010	0.027	5.5	0.015	0.150	430
EuclidAll (clusters, ISW)	0.009	0.020	2.0	0.013	0.048	1540
Euclid+Planck	0.007	0.019	2.0	0.007	0.035	<b>6000</b>
<b>Improvement Factor</b>	<b>30</b>			<b>&gt;10</b>	<b>&gt;40</b>	<b>&gt;400</b>

From Euclid data alone if data consistent with  $\Lambda$ , and FoM > 400

→  $\Lambda$  favoured with odds of more than 100:1 = a “decisive” statistical evidence.



Bermejo-Climent et al  
[arXiv:2106.05267](https://arxiv.org/abs/2106.05267)