



Filippo Bouchè

**Analisi degli effetti di gravità non-locale a scala
di ammassi di galassie**

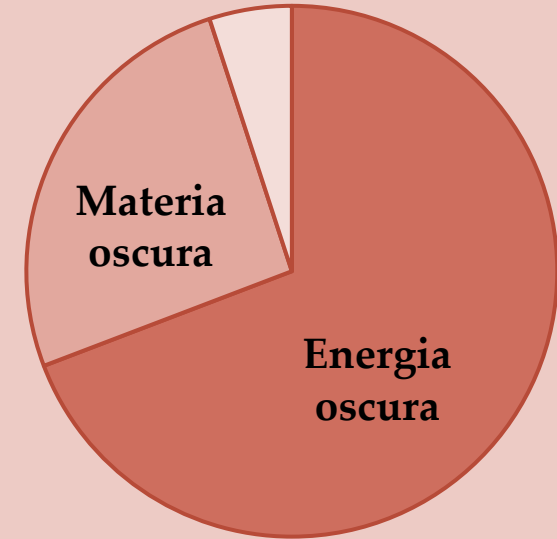
IFAE 2023 – Catania

Modello Λ CDM

**Relatività
Generale**



**Problemi a scala
ultravioletta**



**Problemi a scala
infrarossa**

- **Inquadramento**
- Teoria
- Analisi dati

Gravità di Newton

Relatività Generale

Teorie estese di Gravità (?)

Teorie non-locali
di Gravità



Termini geometrici non-locali emergono naturalmente in TQC su spazi-tempi curvi

La non-località caratterizza le teorie di campo effettive

L'estensione di \mathcal{L}_{HE} con termini non-locali migliora l'andamento IR e UV

- Inquadramento
- Teoria
- Analisi dati

Modello DW

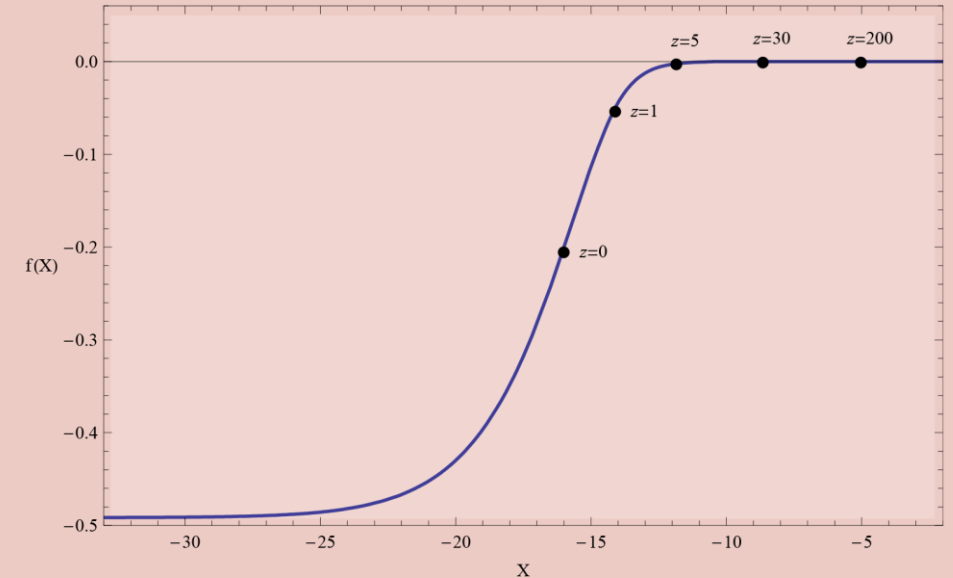
$$S = \frac{1}{2\kappa} \int d^4x \sqrt{-g} R [1 + f(\square^{-1} R)]$$



$$\begin{aligned} [\square^{-1} R](t) &= \int_0^t dt' \frac{1}{a^3(t')} \int_0^{t'} dt'' a^3(t'') R(t'') \\ &= -\frac{6s(2s-1)}{3s-1} \left[\ln\left(\frac{t}{t_{rq}}\right) - \frac{1}{3s-1} + \frac{1}{3s-1} \left(\frac{t}{t_{rq}}\right)^{3s-1} \right] \end{aligned}$$

$$a \sim t^s, \quad s_{rad} = \frac{1}{2}, \quad s_{mat} = \frac{2}{3}$$

C. Deffayet, R. Woodard, *J. Cosmol. Astropart. Phys.* 2009, 023-023 (2009). DOI: 10.1088/1475-7516/2009/08/023



- Inquadramento
- Teoria
- Analisi dati

Equivalente scalar-tensoriale

$$S = \frac{1}{2\kappa} \int d^4x \sqrt{-g} \{ R[1 + f(\eta)] - \partial_\mu \xi \partial^\mu \eta - \xi R \}$$



$$\begin{aligned} \square \eta &= R \\ \square \xi &= -R \frac{\partial f(\eta)}{\partial \eta} \end{aligned}$$

Simmetria sferica

$$ds^2 = e^{v(r,t)} dt^2 - e^{\lambda(r,t)} dr^2 - r^2 d\Omega^2$$

Condizione di Noether

$$X^{[1]} \mathcal{L} + \mathcal{L} \left[\frac{d\alpha}{dt} + \frac{d\beta}{dr} \right] = \frac{dh^{(t)}}{dt} + \frac{dh^{(r)}}{dr}$$

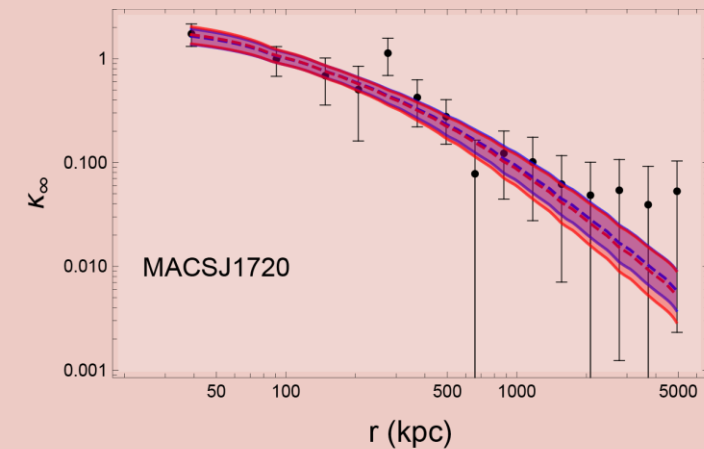
Funzione di distorsione

$$f(\eta) = 1 + e^\eta$$



Convergenza di lensing

$$\kappa(R) = \frac{1}{c^2} \frac{D_{ls} D_l}{D_s} \int_{-\infty}^{+\infty} \nabla_r^2 \left[\frac{\Phi(R, z) + \Psi(R, z)}{2} \right] dz$$



- Inquadramento
- Teoria
- Analisi dati

CLASH
Cluster Lensing and Supernova
survey with *Hubble*

19 ammassi di galassie selezionati da cataloghi di osservazioni in banda X

15 valori misurati della convergenza di lensing $\kappa(R_i)$

4 misure di $\kappa(R_i)$ da osservazioni di strong lensing

11 misure di $\kappa(R_i)$ da osservazioni di weak lensing

Intervallo di masse
 $5 \lesssim M_{200}/10^{14}M_{\odot} \lesssim 30$

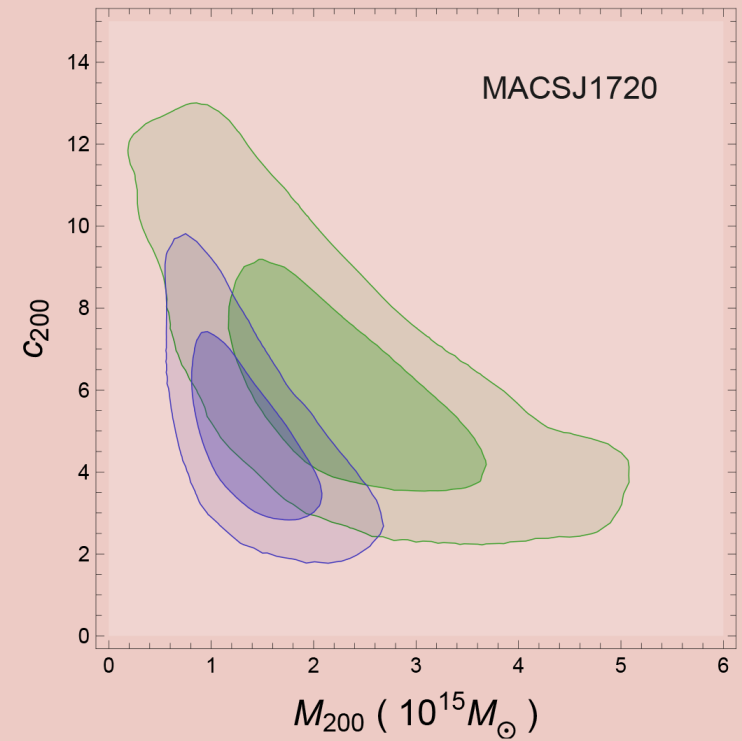
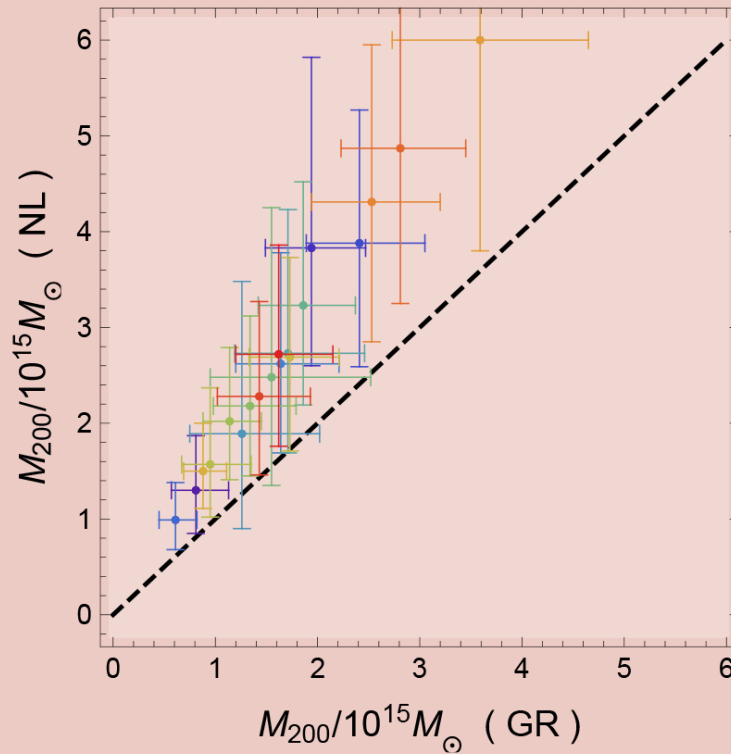
Intervallo di redshift
 $0.187 < z < 0.686$

Redshift mediano
 $z_{med} = 0.352$

Risoluzione (a z_{med})
 $\sim 10 \text{ arcsec} \approx 35 h^{-1} \text{ kpc}$

- Inquadramento
- Teoria
- **Analisi dati**

MCMC \Rightarrow $\theta = \{c_{200}, M_{200}, r_{\eta}, r_{\xi}\}$ \Rightarrow $\chi^2 = [\kappa^{theo}(\theta) - \kappa^{obs}] \cdot C^{-1} \cdot [\kappa^{theo}(\theta) - \kappa^{obs}]$



- Inquadramento
- Teoria
- Analisi dati

- **Esistono due regimi in cui il modello non-locale riesce a riprodurre le osservazioni con lo stesso livello di Evidenza Bayesiana della Relatività Generale :**

Nel limite per alti valori delle lunghezze di scala non-locali, il modello DW si riduce a 2/3 di RG. Ne consegue un incremento delle stime della massa degli ammassi di galassie.

Nel limite per bassi valori dei parametri non-locali, le correzioni non-locali al potenziale gravitazionale divengono comparabili con i termini di ordine zero. I dati vengono fittati senza variazioni delle stime di massa.

- **I parametri caratteristici della teoria non-locale sono due lunghezze di scala che potrebbero essere interconnesse con le scale caratteristiche e la gerarchia delle diverse strutture virializzate**

F. Bouchè, S. Capozziello, V. Salzano and K. Umetsu, "Testing non-local gravity by clusters of galaxies", *Eur. Phys. J. C* 82, 652 (2022), DOI: 10.1140/epjc/s10052-022-10586-5

- **Inquadramento**
- **Teoria**
- **Analisi dati**