

UNIVERSITY OF CAMERINO



Gravity meets the dark universe: automatic tools for modeling and analyzing quasi periodic oscillations from X-ray binaries

GRAB - T

*Orlando Luongo*

Kick-off Meeting SPOKE 3 - Astrophysics & Cosmos Observations  
09 Gennaio 2025



- 1 **Introduzione**
- 2 **Motivazione scientifica**
- 3 **Obiettivi**
- 4 **Esploratori**
- 5 **Attività**

# QPOs: Oscillazioni quasi periodiche

## I buchi neri

Singularità VS orizzonte

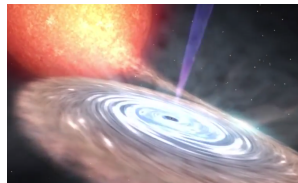
Termodinamica

↔ orizzonte

Dischi di accrescimento e  
proprietà ottiche

## Punti principali

- Investigazione rigorosa delle QPOs.
- Studio delle QPOs nei dischi di accrescimento.
- Modifica del tipo di oggetto compatto e della metrica.
- Studio delle estensioni alla gravità.
- Interazione con materia od energia oscura.
- Sviluppo di codici e software per predire lo spettro a raggi X.
- Ottenimento di algoritmi basati su intelligenza artificiale o MCMC per riconoscere le QPOs dai dati.



# Effetti misurabili VS modelli teorici

Problemi affrontati	Risoluzione in GRAB-IT
Campi gravitazionali intensi	Modifiche della RG?
QPOs da flusso di raggi X da NS	Modelli unificati con AGN e BH?
Mimickers?	Nuova fisica?

Table: *La ricerca di informazioni sui processi e sulle proprietà del disco interno per i mimickers può mostrare nuove particelle, incluse quelle di materia oscura. L'uso delle QPOs è cruciale: esse si manifestano come picchi nella banda dei raggi X e fungono da sonde per comprendere lo spazio-tempo ed estrarre informazioni su massa, dimensione e spin degli oggetti compatti.*

## Intersezione con la cosmologia: Energia e Materia oscura?

- **Energia oscura:** Accelerazione dell'universo; influenza sui dischi di accrescimento?
- **Materia oscura:** Ricerca di costituenti nuovi sotto forma di mimickers e interazione con i dischi di accrescimento.

[2] Planck Collaboration (Y. Akrami et al.), *Astron. Astrophys.* **641**, A10, 2020.

# Obiettivi del progetto

## 1 Obiettivo 1: Nuova fisica fondamentale

- Natura dei dischi di accrescimento di oggetti compatti, che includono BHs e NSs.
- Esplorare nuove soluzioni delle equazioni di Einstein con correzioni alla metrica di Schwarzschild, estensioni della metrica di Kerr.
- Inclusione di estensioni delle gravità: Teorie  $F(R)$ ,  $F(Q)$ , etc.
- Effetti della presenza di materia oscura e/o energia oscura in termini di campi (ad esempio dilatoni, scalari e fermioni) sui dischi di accrescimento.
- Soluzioni per le geodetiche in presenza di "campi oscuri".

## 2 Obiettivo 2: Simulazioni e ricostruzioni

- Metodi avanzati di risoluzione di equazioni non lineari alle derivate parziali (NLPDEs).
- Simulazioni MCMC di modelli unificati di energia e materia oscura.
- Simulazione di modelli con  $c_s^2 \neq 0$  per la materia oscura.
- Verifica dei campi ultraleggeri (assioni) nei dischi di accrescimento.
- Sviluppo di software che produca lo spettro di potenza delle QPOs.
- Strategie per collegare algoritmi di regressione basati sull'intelligenza artificiale (AI) per il riconoscimento e caratterizzazione delle QPOs.

# Team principale e partners

## Struttura del team - Unicam

- Fisica delle particelle
- Astrofisica
- Fisica quantistica
- Gravitazione e Cosmologia



Fabio  
Marchesoni



Stefano  
Mancini



Simone  
Biondini

## Enti coinvolti

INAF, INFN, Università di Camerino, Università di Napoli "Federico II", etc.

# Principali declinazioni del progetto

## 1 Realizzazione delle simulazioni

- Simulazioni con modellistica teorica includente quadrupolo.
- Simulazioni con programmi dedicati usando dati e metodi MCMC: Studio del  $\chi^2$  e AIC/BIC.

## 2 Studio degli algoritmi

- Individuare corrispondenze tra porzione di codice e output di fisica.
- Analisi delle routines delle fasi della simulazione.

## 3 Profilazione codici

- Valutare le prestazioni/identificare le porzioni di codice che richiedono ottimizzazione per la scalabilità su grandi volumi.
- Studio di fattibilità e conclusioni sulla nuova fisica.

## Persone dedicate

- Assegnisti interni/esterni: fisica delle particelle, astrofisica, gravitazione e Cosmologia.
- Assegnisti sperimentali: Fisica computazionale e analisi dati.

# Esempi schematici

