

# Millisecond pulsars in globular clusters: characterization of the companions and of the host environment

## RESEARCH PROJECT:

Pulsars are fast-spinning, highly magnetized neutron stars (NSs), which result from the death of a massive star through a supernova explosion. The best pulsars to carry out high-precision experiments, such as testing general relativity, studying stellar and binary evolution, constraining the equation of state of NS interiors and detecting low-frequency gravitational waves, are the so called millisecond pulsars (MSPs), i.e. binary systems where the NS is spun up by matter accreted from its companion star according to the recycling process.

A large fraction of MSPs are found in globular clusters (GCs). The extremely cramped environments greatly favor 2- and 3-body gravitational interactions between stars, which promote the formation of binaries in which the NS can be recycled. Hence, GCs are remarkably efficient MSP factories: the number of MSPs per unit mass in the GC system is  $\sim 10^3$  times larger than in the Galactic field.

The dynamic environment of GCs also favors the formation of exotic systems, as well as pulsars with extreme properties: e.g. the most eccentric relativistic binaries may enable the measurement of multiple relativistic effects and in turn of the binary component masses, which is of greatest importance for the determination of the equation of state at supra-nuclear densities. For instance, GCs are the most likely hosts of double-MSP binaries and of the long-sought pulsar/black hole systems, the holy grail of compact object astronomy. In addition, GCs are also the best laboratory to study the so-called spiders: i.e. binary pulsars which suffer eclipses of their radio signal due to the effect of plasma released in the binary by the companion star. They are unique systems to study the plasma/radio waves interaction, as well as the latest stages of the pulsar binary evolution, with the possible formation of isolated MSPs.

The aim of the project consists in widen the zoology of the pulsar systems, searching for peculiar and extreme new pulsars and link the current population properties to the internal dynamical status of the host cluster, in order to finally clarify the role of the most massive objects/binaries in the evolution of the GCs. In order to achieve these goals it is essential to combine a multi-wavelength observational approach (in particular radio and optical) with a solid theoretical modeling framework.

In this contest, this research project will focus on **optical data analysis** which plays a fundamental role on two fronts.

The first is *the identification and characterization of companions to binary MSPs* through the photometric data analysis, using archive high spatial resolution data (e.g. HST and JWST). High-priority targets will be (i) both candidate supermassive binaries that may constrain the largest ever measured NS masses, with strong implications for the equation of state for the nuclear matter; and (ii) spider MSPs that allows one to address two basic and still open questions: are the spiders progenitors of the isolated millisecond pulsars? What physical mechanism is causing the radio eclipses observed in many of these systems?

On the second front the optical observations are also needed *to establish the major structural properties of the host GCs* a key ingredient to perform dedicated dynamical simulations. Whenever necessary (e.g. only estimates from surface brightness profile are available from Literature), the density and eventually velocity dispersion profiles of GCs will be determined through the analysis of observations obtained with the most advanced telescopes (such as. HST, MUSE/NFM@VLT).

**ACTIVITY PLAN:**

The research project will focus both on the search for optical companions to binary Millisecond Pulsars, with particular priority to candidate supermassive systems and “spiders” binaries, and on the determination of structural parameters of the host Globular clusters.

The successful applicant will perform a dedicated photometric analysis, with particular care to the variability, of archive data from high spatial resolution instruments mounted on the major telescopes (e.g. HST and JWST) in order to identify and characterize the companions to a selection of high priority targets. A second activity will consist in the determination of structural parameters, through the study of the density and/or the velocity dispersion profile, of a couple of still poorly studied Globular Clusters in the Literature.

# “Millisecond pulsars” in ammassi globulari: caratterizzazione delle compagne e dell’ambiente di formazione

## PROGETTO DI RICERCA:

Le pulsars sono stelle di neutroni (NS) in rotazione veloce e altamente magnetizzate, che discendono dalla morte di una stella massiccia mediante un’esplosione di supernova. Tra le pulsars si distinguono le “millisecond pulsars” (MSPs), ovvero sistemi binari in cui la NS è stata accelerata a seguito del trasferimento di massa da parte della compagna come previsto dal processo di “riciclaggio”. Queste ultime sono tra gli oggetti astrofisici ideali per condurre test di relatività generale, vincolare l’equazione di stato degli interni delle NS, la detezione di onde gravitazionali a bassa frequenza ed effettuare studi relativi all’evoluzione stellare e di sistemi binari compatti.

Una grande frazione di MSPs è localizzata all’interno degli ammassi globulari (AG). Tali ambienti estremamente affollati favoriscono le interazioni gravitazionali tra le stelle rendendo altamente probabile la formazione di binarie in cui le NS possano essere riciclate. Di fatto, gli AG sono quindi efficienti progenitori di MSPs. Essi, infatti, sono caratterizzati da un numero di MSPs per unità di massa  $\sim 10^3$  volte più grande rispetto a quello del campo galattico.

La dinamica degli AG non solo favorisce la formazione di tali sistemi ma rende probabile anche l’esistenza di MSPs dalle proprietà estreme. Ad esempio, le binarie relativistiche ad alta eccentricità, oggetti ideali per permettere lo studio di effetti relativistici con la possibilità di derivare le masse delle componenti, che è di estrema importanza per la determinazione dell’equazione di stato della materia a densità sovranucleari. Gli AG sono tra i più promettenti candidati per ospitare binarie a doppia MSP o ancora più estremi sistemi pulsar/buco nero. Infine, gli AG sono anche il miglior laboratorio per studiare le MSPs cosiddette “spiders”: pulsar binarie caratterizzate da eclissi del segnale radio a seguito degli effetti del plasma rilasciato dalla stella compagna. Questi sono sistemi unici per studiare le interazioni tra il plasma e le onde radio come anche gli stadi finali dell’evoluzione di pulsar binarie che potrebbero spiegare la formazione di MSPs isolate.

L’obiettivo del progetto consiste nell’incrementare la zoologia dei sistemi di pulsar, nella ricerca di pulsar estremamente peculiari e nel correlare le proprietà della popolazione con lo stato dinamico interno dell’AG ospitante, al fine di anche di chiarire il ruolo degli oggetti/binarie più massicce nel contesto dell’evoluzione negli AG. A tal fine è essenziale combinare osservazioni a diverse lunghezze d’onda (in particolare radio e ottico) e contestualizzarle all’interno dei modelli teorici.

Nello specifico questo progetto di ricerca si occupa dell’**analisi dei dati ottici** con diversi obiettivi.

Il primo consiste nell’*identificazione e caratterizzazione delle compagne delle MSPs binarie* mediante l’analisi fotometrica di dati ad alta risoluzione spaziale (HST e JWST). I target a maggior priorità saranno sia (i) le candidate binarie supermassive, che potrebbe portare all’identificazione delle NS più massicce mai misurata con forti implicazioni per quel che riguarda l’equazione di stato della materia nucleare; (ii) sia le “spiders” MSPs col fine di dare risposta ad alcune questioni aperte: sono tali sistemi i progenitori delle MSPs isolate? Quali sono i meccanismi all’origini delle eclissi osservate in radio?

Un secondo obiettivo di questo progetto di ricerca è quello di utilizzare i dati in banda ottica per *determinare i principali parametri strutturali degli AG* ospitanti la popolazione di MSPs. Essi, infatti, rappresentano un ingrediente chiave per poter eseguire simulazioni dinamiche ad-hoc. Qualora necessario, ad esempio per quegli AG per cui i parametri disponibili in letteratura sono stati determinati mediante il solo profilo di brillantezza, il profilo di densità e/o di dispersione di velocità sarà determinato mediante l’analisi di osservazioni ottenute con i più avanzati strumenti presso i maggiori telescopi (ad esempio HST e MUSE/NFM@VLT).

## **PIANO DI ATTIVITÀ:**

Il progetto di ricerca si concentrerà sia sulla ricerca di compagne ottiche di Millisecond pulsars, con particolare attenzione verso i sistemi candidati supermassivi e le binarie cosiddette “spiders”, sia sulla determinazione dei parametri strutturali degli ammassi globulari ospitanti tali sistemi.

Il vincitore effettuerà un’analisi fotometrica specifica, con particolare attenzione alla variabilità, di dati di archivio ottenuti con strumenti ad alta risoluzione spaziale montati sui maggiori telescopi (HST e JWST), al fine di identificare e caratterizzare le compagne di una lista di sorgenti ad alta priorità. Una seconda attività consisterà nella determinazione dei parametri strutturali, mediante lo studio del profilo di densità e/o di dispersione di velocità, di alcuni ammassi globulari ancora poco studiati in Letteratura.