

# Analisi dei dati di H.E.R.M.E.S. Pathfinder: una costellazione di nanosatelliti per l'astrofisica delle alte energie

Carlo Cabras<sup>1</sup>, Alessandro Riggio<sup>1</sup>, Luciano Burderi<sup>1</sup>, Andrea Sanna<sup>1</sup>,  
Tiziana Di Salvo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli studi di Cagliari, <sup>2</sup> Università degli studi di Palermo

**Abstract.** HERMES Pathfinder è un progetto che riguarda lo sviluppo ed il lancio di un nuovo tipo di osservatorio a raggi X composto da uno sciame di nano-satelliti, nato dalla collaborazione tra diverse Università e Centri di Ricerca italiani. Il suo scopo è di rivelare, osservare e localizzare con precisione la posizione nel cielo di eventi astrofisici brevi e molto luminosi, tra i quali i Gamma Ray Burst. La natura distribuita di HERMES pone delle sfide tecniche relative al raccoglimento e l'analisi real-time dei dati.

In questo contributo, presentiamo la missione HERMES e discutiamo le sfide principali, con particolare enfasi su algoritmi innovativi per la misura dei ritardi temporali tra i nano-satelliti, specialmente in presenza di segnali molto deboli.

**Keywords.** Nanosatellites, Gamma-ray bursts, Gravitational waves, Constellation of satellites, Scintillators

## 1. Introduzione

### 1.1 L'astronomia multimessaggero

Grazie alla rilevazione diretta delle onde gravitazionali, siamo entrati nell'era dell'astronomia multimessaggero, ovvero la possibilità di osservare lo stesso evento astronomico attraverso la sua emissione di onde elettromagnetiche e gravitazionali (GW).

Il 17 agosto 2017, un tale evento (GW170817, Abbott et al. 2017a,b) è stato osservato sia come onda gravitazionale che come lampo gamma e, grazie alla precisa determinazione della sua posizione, è stato possibile osservarne l'evoluzione con i principali telescopi radio, ottici e X.

### 1.2 I lampi gamma

I lampi gamma, o Gamma-Ray Burst (GRB), sono esplosioni brevi ed altamente energetiche di origine extragalattica. Sono gli eventi più luminosi che si conoscono e possono durare da 10 millisecondi fino a un migliaio di secondi (Abdo et al. 2009a,b, Bloom et al. 2009, Flores et al. 2013, Zhu et al. 2013).

L'evento fisico all'origine dei GRB si ipotizza sia l'esplosione di una supernova (per i GRB lunghi) e la coalescenza di sistemi binari formati da due stelle di neutroni o una stella di neutroni e un buco nero (GRB brevi).

Questi ultimi sono forti emettitori di onde gravitazionali e quindi rilevabili dagli osservatori

LIGO e Virgo. I GRB, pur essendo estremamente brillanti, hanno una durata molto breve che attualmente non permette di determinarne la posizione con una precisione adeguata così da poter puntare i telescopi per osservarne il cosiddetto afterglow.

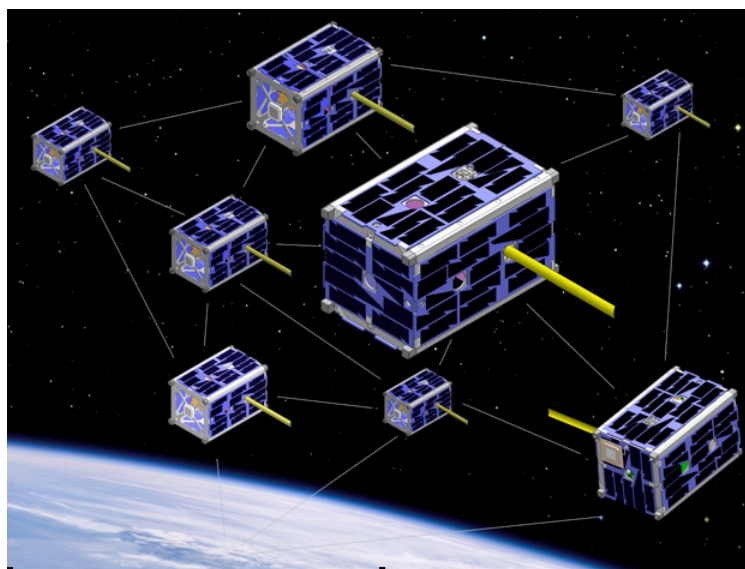
## 2. HERMES

HERMES (High Energy Rapid Modular Experiment Scintillator) è un osservatorio a tutto cielo di raggi X (2keV - 1 MeV) in grado di determinare con precisione ( $\approx 1^\circ$ ) la posizione nel cielo di eventi fortemente energetici come i GRB.

È costituito da una costellazione di nano-satelliti in orbita bassa (LEO, 500 km di quota), ognuno dei quali è in grado di rilevare autonomamente i raggi X e gamma.

La costellazione (Fig. 1) ha come suo punto di forza la ridondanza: al crescere del numero dei componenti, cresce la robustezza dell'intero sistema.

Fig. 1.  
Rappresentazione  
artistica di una  
costellazione di  
cubesat. (NASA)

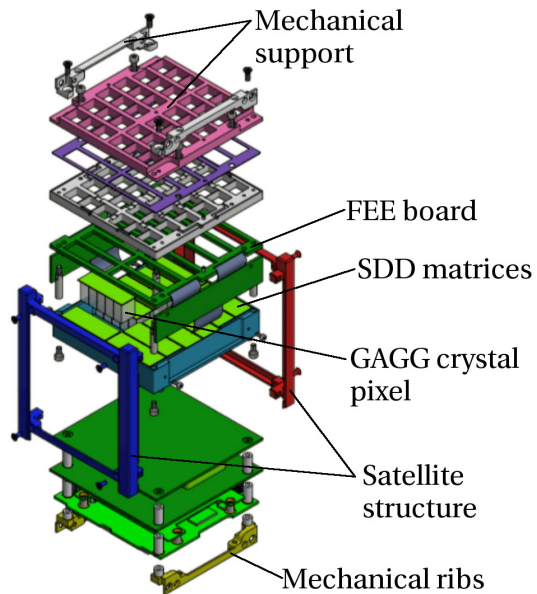


Il nano-satellite è progettato per essere semplice, economico e veloce da costruire; è di tipo 3U (10x10x30 cm) ed è in grado di rilevare i raggi X/gamma grazie a degli innovativi rivelatori a stato solido SDD (Silicon Drift Detector) accoppiati a cristalli scintillatori che costituiscono il payload del nanosatellite (Fig. 2). Ognuno è munito di GPS al fine di determinare la posizione con sufficiente accuratezza ( $< 100$  m).

## 3. Localizzazione dei GRB

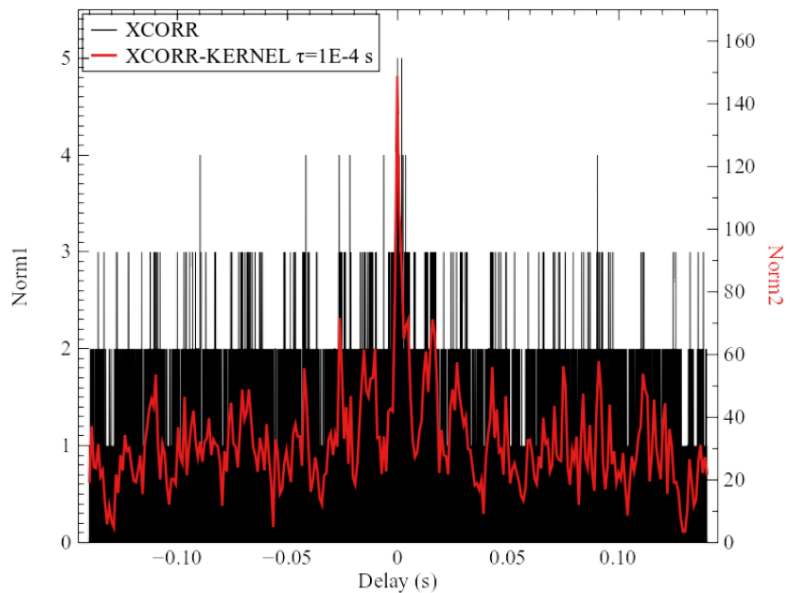
La posizione dei GRB nel cielo sarà stimata per triangolazione attraverso la misura dei brevi ritardi ( $< 0,05$  s) tra le rilevazioni dei diversi satelliti dovuti alla diversa distanza di ogni nano-satellite dalla sorgente. Per misurarli il rivelatore deve avere un'ottima risoluzione temporale ( $< 10$  microsecondi) e la loro posizione deve essere nota con una grande accuratezza ( $< 100$  metri): si potrà così determinare la posizione dei GRB che sarà tanto più precisa quanto è più alto il numero di satelliti.

Fig. 2  
Esploso del payload  
del nano-satellite.  
(Fuschino et al. 2018)



Per determinare il ritardo tra due satelliti che osservano lo stesso GRB, il metodo migliore è la Cross-Correlation Function (CCF) (Papoulis 1962), il cui costo computazionale non dipende dal numero dei fotoni ma solo dalla risoluzione temporale delle curve di luce. Mentre per i GRB luminosi non ci sono problemi, nel caso di segnali deboli la CCF diventa troppo rumorosa (Fig. 3, dati in nero). Per superare questo problema abbiamo sviluppato il metodo kernel che pesa la distanza tra i singoli fotoni usando una funzione kernel (Fig. 3, dati in rosso). Il metodo è promettente ma pesante, stiamo cercando di ottimizzare l'algoritmo parallelizzandolo ed implementandolo su GPU.

Fig. 3.  
Comparazione tra diverse  
tecniche per determinare  
i ritardi temporali.  
In nero: funzione di  
cross-correlazione.  
In rosso: funzione kernel.



## 4. I dati

Un aspetto critico della missione è costituito dalla trasmissione e analisi dei dati. Per essere efficace, la notifica di un evento GRB deve arrivare alla comunità scientifica in un tempo dell'ordine di un'ora dal GRB.

Con la configurazione iniziale di 6 nano-satelliti, le uniche comunicazioni possibili sono con la superficie terrestre, dato che essi non hanno abbastanza potenza per comunicare tra di loro. Avendo poche stazioni riceventi è difficile che tutti i satelliti potranno inviare i dati in tempi brevi: si potrebbe creare una fitta rete di piccole antenne riceventi a terra e interconnesse o porre i nanosatelliti su orbite polari sincrone al sole (SSO) e sfruttare antenne presenti sulle isole Svalbard.

Nel caso invece del raggiungimento della configurazione a pieno regime (decine di satelliti), la distanza media diventa si ridurrà rendendo possibile l'intercomunicazione tra i satelliti. Saranno implementati algoritmi che renderanno i satelliti sensibili agli eventi transitori X/gamma, comparando il flusso di dati che si sta ottenendo con i dati di background rilevati in precedenza. L'evento rilevato viene salvato in un buffer e poi inviato a terra tramite pacchetti di telemetria.

## 5. Conclusioni

HERMES darà alla comunità scientifica uno strumento per studiare i GRB con una precisione senza precedenti, aprendo le porte alla comprensione di fenomeni cruciali nel settore dell'astrofisica e della fisica fondamentale. La fase corrente prevede la realizzazione di 3 nano-satelliti che saranno lanciati nel 2020 e che dimostreranno la fattibilità dell'approccio adottato e le sue performance.

## Riferimenti bibliografici

- [1] Abbott et. al. (2017) Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A, *The Astrophysical Journal Letters*, 848:L13 (27pp), 2017 October 20, <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa920c>
- [2] Abbott et. al. (2017) Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, *The Astrophysical Journal Letters*, 848:L12 (59pp), 2017 October 20, <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa91c9>
- [3] Abdo et. al. (2009) Fermi observations of high-energy gamma-ray emission from GRB 080916C, *Science*. 2009 Mar 27;323(5922):1688-93. doi: 10.1126/science.1169101
- [4] Abdo et. al. (2009) A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects, *Nature* volume 462, pages 331-334 (19 November 2009)
- [5] Bloom et. al. (2009) Observations of the naked-eye GRB 080319B: implications of nature's brightest explosion, *The Astrophysical Journal*, 691:723-737, 2009 January 20, doi:10.1088/0004-637X/691/1/723
- [6] Fuschino et. al. (2018) HERMES: An ultra-wide band X and gamma-ray transient monitor on board a nano-satellite constellation. *Nuclear Instrumentation and Methods*

in Physics Research, A. <https://arxiv.org/abs/1812.02432>

[7] Flores et al. (2013), GCN Circ. 14491, <https://gcn.gsfc.nasa.gov/other/130427A.gcn3>

[8] Papoulis, A. (1962) The Fourier Integral and Its Applications. New York: McGraw-Hill, pp. 244-245 and 252-253, 1962.

[9] Zhu et. al. (2013) GCN Circ. 14471, <http://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn3/14471.gcn3>

## Autori



**Carlo Cabras** - [carlocabras21@gmail.com](mailto:carlocabras21@gmail.com)

Studente del secondo anno del Corso di Laurea Magistrale in Informatica ed appassionato di astronomia, in passato si è occupato dello sviluppo di software per l'analisi di dati astrofisici.

**Alessandro Riggio** - [alessandro.riggio@dsf.unica.it](mailto:alessandro.riggio@dsf.unica.it)

Ricercatore TD/B presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari, si occupa dello studio di sorgenti transienti X galattiche. In particolare si occupa dello studio delle variabilità spettrali e temporali di pulsatori X al millisecondo.

**Luciano Burderi** - [burderi@dsf.unica.it](mailto:burderi@dsf.unica.it)

Professore associato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari. Il suo campo di ricerca è l'astrofisica delle alte energie. Si concentra sullo studio di sistemi binari galattici che ospitano un oggetto compatto (stella di neutroni o buco nero) che accresce materia da una stella compagna. L'attività di ricerca si basa su un approccio teorico e di osservazione, utilizzando i dati provenienti dai satelliti a raggi X.

**Andrea Sanna** - [andrea.sanna@dsf.unica.it](mailto:andrea.sanna@dsf.unica.it)

Ricercatore TD/A presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari. I suoi attuali interessi di ricerca sono proprietà spettrali e temporali di binarie a raggi X di piccola massa, con particolare attenzione alle proprietà delle stelle di neutroni a rotazione rapida che accrescono la materia dagli inizi di compagni di massa ridotta.

**Tiziana Di Salvo** - [tiziana.disalvo@unipa.it](mailto:tiziana.disalvo@unipa.it)

Professore associato presso il Dipartimento di Fisica e Chimica dell'Università di Palermo. La sua attività di ricerca concerne l'astrofisica delle alte energie, e in particolare sullo studio di sistemi binari X galattici.