



Machine learning techniques for multimessenger and multiwavelength astrophysics

Elisabetta Bissaldi e Silvia Rainò

Dipartimento Interateneo di Fisica "M. Merlin"
Politecnico, Università & INFN Bari

elisabetta.bissaldi@poliba.it, silvia.raino@uniba.it

Gruppo astroparticle - Dipartimento Interateneo di Fisica di Bari

- Personale afferente sia all'Università che al Politecnico di Bari
 - Affiliati all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Sezione di Bari
- Potenziale interesse a sviluppare 2 macro-tematiche, **trasversali agli esperimenti** nei quali siamo coinvolti localmente (Fermi, CTA, DAMPE, Hyper-K, etc.):
 1. Classificazione di dati di esperimenti con tecniche di machine learning per estrarre dati da database multimessenger e multiwavelength;
 2. Tecniche di machine learning per identificazione di particelle in esperimenti a terra (Cherenkov e/o neutrini).
- Al momento attuale non abbiamo a disposizione le risorse per portare avanti tali progetti

Fermi

- La missione Fermi, operativa dal 2008, monitora il cielo nella banda gamma mediante due esperimenti: il Gamma-Ray Burst Monitor (GBM, 8 keV-40 MeV) e il Large Area Telescope (LAT, 30 MeV-1 TeV).
- *Le numerose scoperte di Fermi comprendono risultati nei campi di ricerca di diverse sorgenti astrofisiche e cosmologiche, come i nuclei galattici attivi (AGN), le pulsar, i lampi di raggi gamma (GRB), i brillamenti solari, nonché la ricerca di materia oscura.*

- Gli **obiettivi relativi al CN** che ci si pone comprendono:
 - Sviluppo di tecniche di **Machine Learning** per **l'identificazione e catalogazione delle sorgenti alle alte energie** (come pulsar, AGN, novae, ...) sia nello stato di quiete (steady) che variabili (flaring), anche tramite confronto di mappe morfologiche a lunghezze d'onda differenti (multiwavelength, radio, X, UV, ...)
 - Sviluppo di tecniche di **Machine Learning** per **l'identificazione di possibili controparti elettromagnetiche transienti alle alte energie** di segnali di onde gravitazionali registrati dagli interferometri di LIGO/Virgo durante i run futuri di presa dati degli strumenti

Cherenkov Telescope Array (CTA)

- **CTA** sarà il più grande osservatorio terrestre di rilevamento di raggi gamma alle altissime energie al mondo, con più di 100 telescopi negli emisferi settentrionale e meridionale. Grazie alla elevata precisione, sensibilità e risoluzione energetica, alla ampia copertura energetica, area di raccolta e velocità di rilevamento dei raggi gamma, l'esperimento risulterà almeno 10 volte superiore agli strumenti attuali.
- Si prevede che l'Osservatorio genererà circa 100 petabyte (PB) nei primi cinque anni di attività (1 PB = 1 milione di GB).
- *I dati CTA forniranno nuove informazioni su come funzionano gli acceleratori di particelle cosmiche ed aiuteranno a esplorare le frontiere della fisica, dalla ricerca della natura della materia oscura alla rivelazione di segni rivelatori di una natura quantistica dello spazio-tempo.*

Cherenkov Telescope Array (CTA)

- Gli **obiettivi relativi al CN** che ci si pone comprendono:
 - Sviluppo di algoritmi di **Machine Learning basati su Convolutional Neural Network** per **l'identificazione del segnale** attraverso la separazione gamma/carichi per alcune tipologie di telescopi (piccoli, medi e grandi), con particolare enfasi sui telescopi medi di tipo Schwarzschild-Couder (SCT) e su quelli grandi (LST);
 - Sviluppo di **algoritmi per la fast identification di muoni** dalle immagini di telescopi di diverse dimensioni (piccoli medi grandi), per la calibrazione atmosferica di gamma di altissima energia.

DAMPE/HERD

- **DAMPE (Dark Matter Particle Explorer)** è un rivelatore di particelle di alta energia lanciato in orbita nel 2015 da una collaborazione di istituzioni Cinesi, Italiane e Svizzere. Consiste di un calorimetro elettromagnetico, di un tracciatore a silicio-tungsteno, di un sistema di scintillatori e di un rivelatore di neutroni.
- **HERD (High Energy cosmic Radiation Detector)** è un rivelatore di particelle e di raggi gamma di alta energia che avrà prestazioni ancora superiori e sarà installato sulla Stazione Spaziale Cinese nel 2027. Sarà formato da un grande calorimetro racchiuso in sistemi di tracciatori a fibre, di scintillatori plastici e di rivelatori al silicio, più un rivelatore di radiazione di transizione.

DAMPE/HERD

- Gli **obiettivi relativi al CN** che ci si propone sono:
 - Sviluppo di **tecniche di AI per ottimizzare l'identificazione e la misura dell'energia delle particelle** nei dati raccolti da DAMPE, al fine di analizzare le proprietà di elettroni, protoni, nuclei leggeri e nuclei pesanti, che forniscono informazioni sulla origine dei raggi cosmici, sul funzionamento delle loro sorgenti, sulla presenza di materia oscura;
 - Sviluppo di **tecniche di simulazione** per la messa a punto, l'analisi dei test su fasci di particelle e la calibrazione dei rivelatori che saranno installati in HERD al fine di conoscerne il comportamento in maniera ottimale;
 - Applicazione e sviluppo di **tecniche di AI** ai dati che saranno raccolti da HERD con particolare riferimento alla identificazione delle particelle e alla ricerca di segnali da materia oscura.

Hyper-K

- **Hyper-Kamiokande (HK)** è la naturale evoluzione dell'esperimento Super-Kamiokande (SK) i cui risultati scientifici hanno condotto al premio Nobel per la fisica 2015. L'esperimento HK sarà costruito nella miniera di Kamioka (Prefettura di Gifu, Giappone) e costituirà il rivelatore lontano (far detector) per le misure delle oscillazioni dei neutrini prodotti dall'acceleratore di J-PARC, a propria volta oggetto di upgrade.
- Contemporaneamente a ciò, HK opererà in modalità autonoma passiva (stand-alone) per l'osservazione dei neutrini di origine atmosferica, di origine astronomica e per decadimento del protone.
- L'esperimento HK è realizzato in modo da incrementare di gran lunga la sensibilità rispetto al suo predecessore SK, permettendogli di **misurare i parametri di oscillazione di neutrino con una precisione mai raggiunta fino ad ora, nonché di osservare la violazione di CP nel settore leptonic.** L'osservazione di tale fenomeno spiegherebbe la prevalenza della materia rispetto all'anti-materia nell'universo (Leptogenesis).

Hyper-K

- Gli **obiettivi relativi al CN** che ci si pone comprendono:
 - Sviluppo di algoritmi di Machine Learning per il “pattern recognition” utili ad identificare i vertici di interazioni del neutrino.
 - Sviluppo di algoritmi per l’identificazione del tipo di particella prodotta dall’interazione dei neutrino (PID) al fine di ottenere campioni ad alta purezza che permettano di migliorare la comprensione delle interazioni neutrino-materia a bassa energia.

Esperimenti futuri in banda gamma MeV

- Di recente, la comunità di fisica delle astroparticelle sta concentrando i suoi sforzi nello sviluppo di una nuova generazione di telescopi per raggi gamma a bassa energia (fino al MeV). **Questi strumenti hanno lo scopo di monitorare tutto il cielo per rivelare fenomeni transienti, come brillamenti solari e lampi di raggi gamma (GRB), con alta efficienza ed eccellente risoluzione energetica e angolare.** Osservazioni recenti di Fermi-GBM e degli interferometri delle onde gravitazionali LIGO/Virgo hanno dimostrato che i GRB brevi possono essere le controparti delle onde gravitazionali prodotte dalla fusione di stelle di neutroni. Un osservatorio ad ampio campo visivo che fornisca precise localizzazioni di transienti in banda gamma svolgerebbe un **ruolo chiave nello studio della nuova fisica associata a questi fenomeni.**

Esperimenti futuri in banda gamma MeV

- Gli **obiettivi relativi al CN** che ci si pone comprendono:
 - Studio di algoritmi di ricostruzione di eventi di raggi gamma di bassa energia (100 keV - 10 MeV) tramite l'identificazione e la ricostruzione di tracce prodotte tramite interazione Compton e produzione di coppia. Sviluppo ed implementazione di tali algoritmi su CPU e GPU.

Gruppo astroparticle - Dipartimento Interateneo di Fisica di Bari

A) Università di Bari (UNIBA)

- p1. Silvia Rainò <Silvia.Raino@uniba.it>
- p2. Piergiorgio Fusco <Piergiorgio.Fusco@uniba.it>
- p3. Francesco Giordano <francesco.giordano@uniba.it>
- p4. Francesco Loparco <francesco.loparco@uniba.it>
- p5. Leonardo Di Venere <leonardo.divenere@uniba.it>

B) Politecnico di Bari (POLIBA)

- p6. Elisabetta Bissaldi <Elisabetta.Bissaldi@poliba.it>
- p7. Nicola Giglietto <nicola.giglietto@poliba.it>
- p8. Vincenzo Berardi <vincenzo.berardi@poliba.it>
- p9. Lorenzo Magaletti <lorenzo.magaletti@poliba.it>
- p10. Francesca Romana Pantaleo <francesca.pantaleo@poliba.it>