

# Neutrini, fotoni e onde gravitazionali: nuove prospettive per l'astrofisica di alte energie

26-28 November 2019

Laboratori Nazionali del Sud

*Domande, osservazioni e risposte nella discussione generale del  
28/11/2019*

## Introduzione

**Vissani:** Questo è il secondo incontro dopo il <<a *v-day*>> che tenemmo a Brera tre anni fa. Come la prima volta, esso riunisce persone provenienti da vari osservatori, università e centri di ricerca, soprattutto italiani ma non solo, e coinvolge in modo importante sia l'INAF che l'INFN. Vorrei partire raccontandovi una circostanza curiosa: questa iniziativa nasce grazie all'intraprendenza della dottoressa Chiara Righi, che nel 2016 ha presentato il suo advisor Fabrizio Tavecchio ad un suo insegnante di un corso di PhD, il sottoscritto. Le altre persone che hanno collaborato più direttamente alla realizzazione di questi eventi sono Enzo Brocato, Rosa Coniglione, Stefano Covino, Maurizio Spurio e Corrado Trigilio; vorrei ringraziare Rosa e Corrado per il grandissimo lavoro fatto qui a Catania. Il motivo per cui sono io a dirigere la tavola rotonda è che stavolta ho latitato un po' troppo mentre gli altri organizzatori lavoravano davvero.

Come nella prima edizione il programma scientifico è contenuto: pochi interventi ben selezionati. Inoltre, in questa edizione abbiamo arricchito il piano di lavoro con una serie di presentazioni divulgative offerte alla cittadinanza di Catania, che sono state molto partecipate. E per venire a noi, vi ringrazio per essere intervenuti tanto numerosi a questa mattinata di discussione: siamo qui proprio per scambiare idee, e mi piace sottolineare che lo faremo in quella terra che un tempo era detta Magna Grecia, una delle culle del mondo moderno e della scienza.

Il concetto di questo convegno può essere introdotto con la spiegazione di cosa sia un astronomo, che trovate nel sito dell'Unione nazionale astronomi (IAU). Tra le altre cose, si dice che un astronomo "deve usare qualsiasi tipo di luce, dal radio ai raggi gamma, e particelle (dai raggi cosmici ai neutrini) che arriva sulla terra [...]" Non ho trovato una affermazione altrettanto chiara di cosa sia un fisico delle alte energie ma considerando il fatto che l'INFN si impegna molto attivamente nella ricerca di raggi cosmici, gamma, neutrini e onde gravitazionali, e che molti dei nostri padri scientifici erano interessati a questi temi, oso credere che si possa arrivare ad una definizione condivisa ed armoniosa. Anzi, penso che sia nell'interesse della scienza che si lavori con convinzione in questo senso. Nello spirito del convegno abbiamo raccolto alcune proposte per la successiva discussione, da non considerare in modo esclusivo:

- Apporti scientifici alla discussione del rivelatore di neutrini con volume  $\sim \text{km}^3$ .
- Collegamenti dei dati di IceCube, ed in futuro di KM3NeT/ARCA, con le osservazioni nell'ottico e nell'infrarosso.
- Necessità osservative correlate con blazars (TXS) e con star-forming galaxy.
- Kilonovae, neutrini di alta energia e SN.
- Connessioni e osservazioni multi-messaggere.

Abbiamo parlato relativamente poco dell'astronomia gamma, e non abbiamo dato risalto ai numerosi avanzamenti tecnici di ARCA, ma spero non ci sia bisogno di dire che questi temi sono in cima ai nostri pensieri. Conosco molti degli amici che lavorano da più di 20 anni alla realizzazione di ARCA e sono certo che non solo noi presenti ma un gran numero di colleghi, fisici ed astronomi, sono pronti ad aiutarli e ad offrire il loro apporto scientifico per il successo di questa coraggiosa impresa. Maurizio Spurio ha gentilmente accettato di annotare le principali questioni che verranno toccate oggi, dimodoché se ne possa tenerne traccia, in una forma del tipo **Scenziato 1**: Pensate che sia meglio focalizzarsi sulle basse energie / sulla gerarchia di massa? **Scenziato 2**: NO. A questo punto inizierei invitando i colleghi che vorrebbero integrare la discussione dei giorni scorsi presentando qualche lucido in più; poi, pian piano, passeremo alla discussione vera e propria.

- **Gabici**: Ritengo il workshop molto riuscito, che spero possa ripetersi; nel futuro è importante includere anche una presentazione su futuri esperimenti per raggi X. In particolare per l'hard X non si misura solo la componente leptonica. **Bernardini**: concordo sull'importanza dell'astronomia X per misure del budget calorimetrico di particolari eventi/sorgenti.

#### **Ruolo della risoluzione angolare dei telescopi di Neutrini**

- **Kulikovskiy**: una domanda essenziale alla comunità astrofisica: quale risoluzione angolare dobbiamo avere nei telescopi di neutrini per poter vedere le sorgenti? Intervento **Palladino** (slides con compilazione eventi IceCube, e plot con flussi di gamma, neutrini e UHECRs, Ackermann et al arXiv1903.04334). **Spurio**: quel plot in cui si uniscono raggi gamma, neutrini e CR con la sola componente extragalattica è a mio avviso fuorviante. Il flusso di CR primari esiste anche sotto  $10^{18}$  eV, e non è detto che gli eventi di IC siano dovuti a primari di energia  $>10^{18}$  eV. Inoltre, neutrini cosmici sotto 60 TeV esistono, ma non sono selezionati dalla risoluzione angolare non ottimale di IceCube. **Bernardini**: La risoluzione angolare di IC raggiunge 0.5 gradi per  $\nu_\mu$ . Occorre tuttavia non dimenticare la risoluzione intrinseca dello scattering del neutrino (angolo tra muone e neutrino, legato alla cinematica). Concordo che il plot di Ackermann et al. Sulla SED di gamma,  $\nu$  e UHECRs deve essere preso con opportune attenzioni.

#### **Evento TXS di IceCube, modelli teorici e possibili popolazioni di sorgenti di neutrini**

- **Coniglione**: L'evento TXS è importante, ma ora serve avere una idea sulla popolazione delle sorgenti di neutrini. Ritengo che il ruolo della risoluzione angolare sia fondamentale, come lo è stato per la sorgente TXS; l'ottima risoluzione angolare di quell'evento ha avuto un ruolo fondamentale anche per triggerare le informazioni "multimessenger". **Vissani**: quale è il miglioramento della risoluzione angolare nella misura dei neutrini usando un rivelatore in acqua? A quale energia si arriva a precisioni di 2 gradi negli sciami? In risposta, **Coniglione** mostra un grafico con la risoluzione angolare di eventi cascata e traccia per KM3NeT. L'angolo di scattering tra  $\nu$  e  $\mu$  è trascurabile per eventi sopra il TeV. **Bernardini**: in base all'esperienza di IceCube, ritengo comunque importante la presenza di un veto per gli eventi cascata anche in KM3NeT.
- **Sapienza**: Le prospettive di IceCube e prospettive di KM3NeT mi sembrano diverse. In particolare, ora KM3NeT deve chiedersi: in base ai risultati di IC, che cosa dobbiamo guardare? Quali sono le sorgenti su cui puntare (galattiche e extragalattiche)? Rivolgo la domanda alle comunità "elettromagnetica"/teorica: è possibile avere delle "ricette"? **Gabici**: come teorico, ritengo che nel

tentare di dare questa risposta la comunità debba procedere con cautela e forse con qualche autocritica. Fino a pochi anni fa, GRB e microquasars erano gli oggetti preferiti, ora la situazione è cambiata in base alle osservazioni. Ritengo che la risposta debba essere fornita dai dati stessi. Ad esempio: neutrini al PeV sono prodotti da gamma al PeV e da protoni da decine di PeV. Quindi, prendere forse la cosa migliore per la scelta delle sorgenti è usare la mappa di HAWC di gamma sino a 100 TeV. **Palladino**. Se le sorgenti degli eventi di IceCube sono le galassie star burst, non si vedrà mai nulla, perché di sorgenti ce ne sono troppe e con flusso di nu troppo bassi. **Caraveo**: però le sorgenti più vicino potrebbero essere più visibili.

- **Morlino**: contrariamente a quanto detto prima, la risoluzione angolare per certe sorgenti diffuse potrebbe non essere cruciale (ad esempio RXj1713). **Sapienza**: non è detto, la produzione adronica sembra essere localizzata in regioni angolari piccole. **Tavecchio**: Concordo con Gabici che le teorie sono ancora in costruzione, e non sappiamo predire in maniera sicura ancora nulla. Il quadro è complicato e stiamo rincorrendo i dati. **Vissani**: l'esperienza ci ha insegnato che i modelli teorici debbono essere presi con prudenza. **Righi**: non sapendo come sono fatte le sorgenti, non sappiamo modellare accuratamente l'emissione.

#### Onde gravitazionali, supernovae, sorprese e multimessenger

- **Caraveo**. Non vorrei che la discussione prenda una piega troppo pessimista. Ricordo lo shock, la sorpresa, nella comunità astrofisica alla notizia che per spiegare il primo GW fossero necessari BH di massa dell'ordine di 40 Ms. Non era assolutamente atteso, e si sarebbe scommesso che la prima rivelazione sarebbe stata quella della coalescenza di NS. Ci vuole quindi una buona dose di modestia. Siamo spesso stupiti dai dati e sorprese sono possibili. Come ha detto ieri Della Valle, talvolta è davvero meglio essere ottimisti e sbagliare che pessimisti e prenderci. I BH di 40 Ms NON erano attesi, la natura ci stupisce. **Modestino**: vorrei discutere sulla correttezza di chiamare misura (diretta) della massa di BH: a) un valore calcolato dalla variazione di frequenza e non misurato dall'ampiezza  $h$  del segnale; b) lo stesso valore scelto ad hoc tra centinaia di migliaia di soluzioni dettate dalle simulazioni numeriche? (Risposte varie) **Cappellaro**: la chiave di volta è la possibilità di osservare il transiente. La statistica a lungo termine è decisiva. Osservare eventi tipo TXS che si ripetono due-tre volte sarebbe un fattore importante. **Della Valle**: a mio avviso occorre puntare (anche con la fortuna) ad oggetti vicini. Pensate come sarebbe stato lo stato della situazione teorica per i modelli di SN senza i neutrini della SN1987a. La stessa cosa per il GRB980326 (associazione dei Long GRB). Avere a che fare con sorgenti lontane è un problema.
- **Bernardini**: per questo aspetto del multimessenger, a mio avviso c'è molto da fare, in particolare con gli allerta pubblici. Non si fa abbastanza in risposta a quelli di IceCube, forse perché il costo corrisponde ad ore di osservazioni. Inoltre, le risposte dei telegrammi sono talvolta laconiche e non contengono informazioni. La comunità di IC è piccola e composta in prevalenza di particellari.
- **(Kulikovskiy** mostra la sensibilità di KM3NeT ai neutrini di bassa energia da SN). Piccola discussione su come i telescopi di neutrini, e IceCube, possono rivelare neutrini di bassa energia da SN. **Vissani**: il tempo assoluto dell'evento è importante e gli esperimenti devono essere sincronizzati al ms.
- **Sapienza**: sinora abbiamo avuto un solo evento BNS osservato da GW. Ci sono modelli che predicono neutrini da BBH? **Covino**: non ho una risposta precisa: ci sono in corso diversi tentativi di predire possibili controparti elettromagnetiche di questi eventi, ma sui neutrini non molto. In ogni caso è un fatto che nella coalescenza hai tanta energia a disposizione, ma non sai come convertirla in osservabili non gravitazionali, e gli scenari sono difficili da predire. I rates di BNS nella situazione osservativa attuale sono da 1 al mese a 1 anno. **Brocato**: anche la distanza è importante, avere BNS

sopra 100 Mpc dal punto di vista osservativo sarebbe difficile da trattare, visto che il numero di oggetti diventa così grande che è difficile trovare qualcosa.

### Osservazioni gamma future con satelliti, GRB

- **Spurio:** nel talk di Caraveo si è discusso del futuro degli esperimenti per gamma dopo Fermi-LAT. Sento il problema (per KM3NeT che parte nei prossimi anni e funzionerà per un decennio almeno) di eventuali successori di Fermi, che si è rivelato una pedina fondamentale nel multimessenger. **Caraveo:** la comunità è convinta dell'importanza di un osservatorio gamma con grande angolo solido, ma le vicende di Fermi sono fortemente influenzate dalle agenzie americane, in particolare il DOE. Fortunatamente, l'evento Agosto 2017 ha fatto risalire il ranking di Fermi nelle missioni NASA. Il problema è il budget finito delle agenzie spaziali, e la competizione con i nuovi progetti. **Morlino:** ritengo comunque che l'interesse verso i GRB sia diminuito, se non ci fossero state le GW a rivitalizzarlo. **Caraveo:** bisogna fare attenzione su questo calo di interesse, i GRB sono uno strano oggetto, in particolare quelli vicini permettono di imparare molte cose. Ritengo comunque che l'interesse per i GRB sia ancora vivo, come dimostrato dall'evento di Gennaio visto da Magic. **Modestino:** i dati degli interferometri GW sono studiati in correlazione con i cataloghi correnti di eventi GRB? Questi ultimi offrono la reale possibilità di validi studi sperimentali multi-messenger.

### Sullo spettro degli eventi misurati da IceCube, nu cosmogenici

- **Vissani:** l'informazione sullo spettro (distribuzione energetica) dei neutrini cosmici è affidabile? **Bernardini:** In base ai dati mostrati all'ultimo ICRC, allo stato attuale non è possibile distinguere una o due power law. **Palladino:** per il meccanismo p-gamma, un power law non funziona per descrivere la produzione di neutrini. **Morlino:** di quanto deve essere aumentata la statistica per distinguere tra una o due power law nei dati di IceCube? **Bernardini:** (mostra il proceeding dell'ICRC con l'analisi statistica sugli HESE (PoS(ICRC2019)1004)). Un lavoro globale è in preparazione. Gli aspetti sulla sistematica sono importanti (bontà ricostruzione, proprietà del ghiaccio, incertezze intrinseche spettro atmosferici, prompt, sezioni d'urto del neutrino...) e rendono difficili le stime.
- **Vissani:** UHE e neutrini cosmogenici; l'ipotesi di un flusso di nu cosmogenici si basa sul fatto che i RC siano protoni. Fino a che punto ce ne fidiamo? **Riccobene, Morlino:** le indicazioni di Auger vanno verso una composizione di UHECRs più pesante. Quindi i neutrini attesi sono in numero inferiore. (Descrizione del modello GZK per protoni e nuclei). **Sapienza:** ma come è possibile che Auger trovi simultaneamente associazioni con sorgenti/oggetti specifici e il fatto che i UHECRs siano nuclei? Questo peggiora fortemente la direzionalità degli eventi. **Morlino:** è vero, ma ci sono incertezze molto grandi anche sul campo magnetico extragalattico. Auger esclude solo una composizione pura di p, ma potrebbero essere leggermente pesanti. **Condorelli:** La correlazione di Auger con sorgenti è statisticamente fragile.

### Conclusioni

- **Coniglione:** ringrazio tutti gli intervenuti per un workshop che ritengo molto riuscito, anche a seguito della discussione odierna.
- **Brocato** (a nome di tutto il comitato organizzatore): grazie a Rosa e Corrado e a tutti i componenti del comitato locale del LNS. Appuntamento tra due anni!

Sipario, pranzo, visita a Serra la Nave / LNS