



GRAWITA & KM3NET:

una sinergia per l'astronomia multimessaggera

L'ingresso di INAF in KM3NeT nella prospettiva dell'astronomia multi-messaggera

L'ingresso di INAF in KM3NeT si colloca naturalmente nel quadro dell'astronomia multi-messaggera, che integra osservazioni elettromagnetiche, neutrini, onde gravitazionali e raggi cosmici per comprendere i fenomeni astrofisici più energetici dell'Universo.

Ruolo strategico di INAF

L'ingresso in KM3NeT valorizza le competenze distintive di INAF: esperienza nello studio dei transienti e delle sorgenti compatte; capacità di coordinare osservazioni multi-lunghezza d'onda e multi-messaggero; collegamento naturale con altre infrastrutture osservazionali (EM e GW).

In questa prospettiva, KM3NeT rappresenta per INAF uno strumento chiave per rafforzare il ruolo dell'astrofisica italiana nella nuova fase dell'astronomia multi-messaggera, in cui i neutrini diventano un elemento centrale per comprendere l'origine e la natura dei fenomeni più energetici del cosmo.

L'ingresso di INAF in KM3NeT rafforza la **sinergia tra la comunità astrofisica e quella della fisica delle particelle**, mettendo a disposizione del progetto un'expertise astrofisica estesa e consolidata, indispensabile per l'interpretazione delle future rivelazioni di neutrini e per la loro corretta associazione con gli eventi astrofisici corrispondenti. L'esperienza maturata negli ultimi decenni ha mostrato quanto una stretta integrazione tra queste competenze sia cruciale: una lettura pienamente astrofisica dei segnali è infatti essenziale per evitare interpretazioni fuorvianti (esperimento OPERA!!!) e per sfruttare appieno il potenziale scientifico dei neutrini come messaggeri cosmici.

L'INGRESSO DI INAF IN KM3NeT NELLA PROSPETTIVA DELL'ASTRONOMIA MULTI-MESSAGGERA

ASTRONOMIA MULTI-MESSAGGERA



Integra osservazioni EM, neutrini, GW e raggi cosmici per comprendere i fenomeni più energetici dell'Universo.

SINERGIA ASTROFISICA & PARTICELLE



Collegamento naturale con altre infrastrutture osservazionali (EM e GW).

KM3NeT: strumento chiave per rafforzare l'astrofisica italiana

RUOLO STRATEGICO DI INAF



Esperienza nello studio dei transienti e delle sorgenti compatte.



Capacità di coordinare osservazioni multi-lunghezza d'onda e multi-messaggero.

Rafforza la sinergia, con expertise astrofisica estesa. Essenziale per l'interpretazione corretta dei neutrini e per evitare errori (esp. OPERA), sfruttando il loro potenziale come messaggeri cosmici.

Science cases

La comunità INAF ha una lunga e riconosciuta tradizione nello studio dei Transienti,

i) **Supernovae core-collapse**: l'osservazione dei neutrini di SN1987A ha inaugurato l'astronomia multimessaggera. Oltre ai neutrini MeV della fase di collasso, Supernovae con interazione intensa con il mezzo circumstellare possono produrre neutrini di energia TeV attraverso processi adronici negli shock.

ii) **Novae**: la scoperta di emissione gamma in diverse novae ha mostrato che anche questi eventi possono accelerare protoni. Ciò rende plausibile la produzione di neutrini a energie GeV–TeV, aprendo una nuova finestra osservativa per rivelatori come KM3NeT.

iii) **GRB long e short, kilonovae**: rappresentano sorgenti candidate di neutrini di alta energia in quanto combinano accrescimento estremo su oggetti compatti, campi magnetici intensi e, in molti casi, la formazione di getti relativistici. In questi ambienti, protoni accelerati a energie relativistiche possono interagire sia con campi di fotoni o con il mezzo circostante, producendo neutrini attraverso processi adronici. Nel caso dei GRB short e delle kilonovae, la stretta connessione con le osservazioni di onde gravitazionali rende particolarmente rilevante la ricerca di segnali neutrino coincidenti, offrendo un accesso diretto alla fisica del motore centrale e ai meccanismi di rilascio dell'energia.

iv) **Microquasar**, analoghi galattici dei quasar, offrono un laboratorio “in scala ridotta” per studiare i meccanismi fisici di lancio dei getti e la possibile produzione di neutrini.

v) **Nuclei galattici attivi**, in particolare i blazar, dotati di getti relativistici lungo la visuale, sono tra i candidati più promettenti per la produzione di neutrini TeV–PeV.

Science cases

La comunità INAF ha una lunga e riconosciuta tradizione nello studio dei Transienti,



i) **Supernovae core-collapse:** l'osservazione dei neutrini di SN1987A ha inaugurato l'astronomia multimessaggera. Oltre ai neutrini MeV della fase di collasso, Supernovae con interazione intensa con il mezzo circumstellare possono produrre neutrini di energia TeV attraverso processi adronici negli shock.

ii) **Novae:** la scoperta di emissione gamma in diverse novae ha mostrato che anche questi eventi possono accelerare protoni. Ciò rende plausibile la produzione di neutrini a energie GeV–TeV, aprendo una nuova finestra osservativa per rivelatori come KM3NeT.

iii) **GRB long e short, kilonovae:** rappresentano sorgenti candidate di neutrini di alta energia in quanto combinano accrescimento estremo su oggetti compatti, campi magnetici intensi e, in molti casi, la formazione di getti relativistici. In questi ambienti, protoni accelerati a energie relativistiche possono interagire sia con campi di fotoni o con il mezzo circostante, producendo neutrini attraverso processi adronici. Nel caso dei GRB short e delle kilonovae, la stretta connessione con le osservazioni di onde gravitazionali rende particolarmente rilevante la ricerca di segnali neutrino coincidenti, offrendo un accesso diretto alla fisica del motore centrale e ai meccanismi di rilascio dell'energia.

iv) **Microquasar,** analoghi galattici dei quasar, offrono un laboratorio “in scala ridotta” per studiare i meccanismi fisici di lancio dei getti e la possibile produzione di neutrini.

v) **Nuclei galattici attivi,** in particolare i blazar, dotati di getti relativistici lungo la visuale, sono tra i candidati più promettenti per la produzione di neutrini TeV–PeV.

Il contributo dell'astrofisica alla fisica dei neutrini

La partecipazione di INAF a KM3NeT non è solo funzionale all'identificazione delle sorgenti, ma contribuisce in modo sostanziale anche alla fisica dei neutrini.

Il fatto che i neutrini interagiscano debolmente con la materia fa sì che l'informazione prodotta alla sorgente non venga rielaborata durante il viaggio, e questo ci dice qualcosa sui processi che li hanno prodotti all'origine. D'altro canto se ci sono modifiche rispetto alle previsioni queste sono avvenute durante il viaggio su distanze cosmologiche: quindi stiamo probabilmente indagando:

a) Oscillazioni (ν_e, ν_μ, ν_τ)

b) effetti cinematici, se ha massa allora $v < c$, su distanze cosmologiche i ritardi sono misurabili e quindi mi aspetto una dispersione temporale nei tempi di arrivo perché $\Delta t \sim (m/E)^2$ e quindi:

c) Nuova fisica attraverso il confronto temporale tra neutrini e segnali elettromagnetici violazioni di Lorentz per esempio: $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$ diventa $+ \delta(E, p)$ con termine piccolissimo dipendente dall'energia e dalla lunghezza del percorso

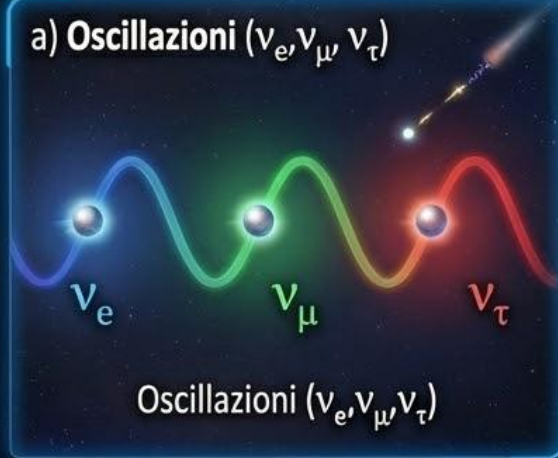
Il contributo dell'astrofisica alla fisica dei neutrini

La partecipazione di INAF a KM3NeT non è solo funzionale all'identificazione delle sorgenti, ma contribuisce in modo sostanziale anche alla fisica dei neutrini.

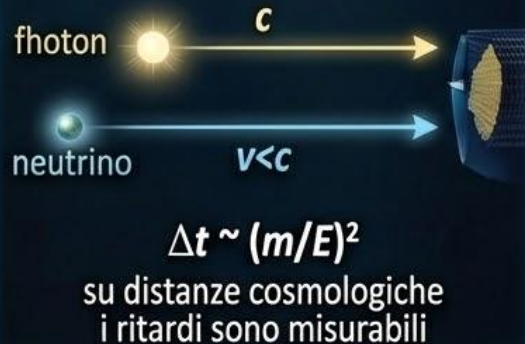
Il fatto che i neutrini interagiscano debolmente con la materia fa sì che l'informazione prodotta alla sorgente non venga rielaborata durante il viaggio, e questo ci dice qualcosa sui processi che li hanno prodotti all'origine.

D'altro canto se ci sono modifiche rispetto alle previsioni queste sono avvenute durante il viaggio su distanze cosmologiche: quindi stiamo probabilmente indagando:

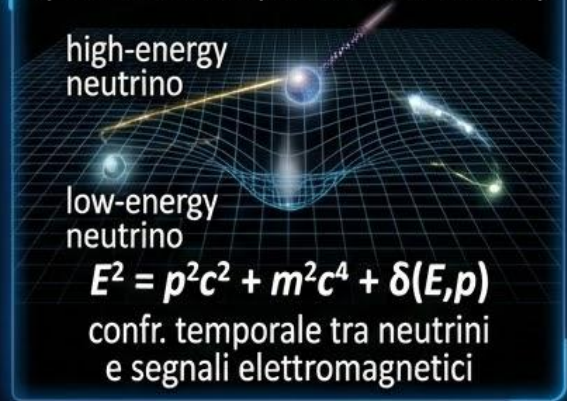
a) Oscillazioni (ν_e, ν_μ, ν_τ)



b) Effetti cinematici (massa, $v < c$)



c) Nuova fisica (Violazioni di Lorentz)



Coordinamento tra i WGs di KM3NET e GRAWITA

Alerts

L'aspetto cruciale più delicato è la gestione delle allerte.

In caso di una rivelazione significativa di neutrini da parte di KM3NeT, l'informazione deve essere rapidamente diffusa attraverso **canali di allerta dedicati** (da definire), permettendo l'attivazione tempestiva della comunità INAF impegnata nella ricerca delle controparti EM e del loro follow-up.

Il flusso di comunicazione tra KM3NeT e la rete osservativa INAF rappresenta quindi l'elemento chiave per sfruttare appieno il potenziale multi-messaggero dell'esperimento, trasformando una rivelazione di neutrini in un'opportunità scientifica quasi unica.

In questa prospettiva, appare opportuno individuare un ristretto gruppo di riferimento INAF–INFN incaricato di attivare e gestire tali canali con la necessaria rapidità ed efficacia.

Che informazioni rilascerà KM3?

Quali informazioni sono necessarie per la ricerca delle controparti EM?

Coordinamento tra i WGs di KM3NET e GRAWITA

Alerts

L'aspetto cruciale più delicato è la gestione delle allerte. In caso di una rivelazione significativa di neutrini da parte di KM3Net, l'informazione deve essere rapidamente diffusa **attraverso canali di allerta** dedicati, permettendo l'attivazione tempestiva della comunità INAF impegnata nella ricerca delle controparti iEM e del loro follow-up.



FLUSSO DI COMUNICAZIONE & CANALI DEDICATI

Il flusso di comunicazione tra KM3Net e la rete osservativa INAF rappresenta quindi l'elemento chiave per sfruttare appieno il potenziale multi-messaggero dell'esperimento.



GRUPPO DI RIFERIMENTO CONGIUNTO INAF-INFN

In questa prospettiva, appare opportuno individuare un ristretto gruppo di riferimento INAF-INFN incaricato di attivare e gestire tali canali con la necessaria rapidità ed efficacia.



Che informazioni rilascerà KM3?



Quali informazioni sono necessarie per la ricerca delle controparti EM?

Coordinamento tra i WGs di KM3NET e GRAWITA: Analisi dati

I casi scientifici potenzialmente affrontati da KM3NeT, che spaziano dai transienti esplosivi alle sorgenti persistenti come AGN e microquasar, sono molto diversi tra loro sia per la scala energetica che per quella della loro evoluzione temporale.

ipotesi di lavoro: working group tematici, in cui competenze astrofisiche e di fisica delle particelle possano interagire in modo strutturato. Gruppi dedicati a

i) Supernovae,

ii) Novae,

iii) GRB e kilonovae,

iv) AGN e getti relativistici,

consentirebbero di ottimizzare sia l'analisi dei segnali neutrino sia la loro interpretazione astrofisica.

Coordinamento tra i WGs di KM3NET e GRAWITA

Analisi dati

I casi scientifici potenzialmente affrontati da KM3NeT, che spaziano dai transienti esplosivi alle sorgenti persistenti come AGN e microquasar, sono molto diversi tra loro sia per la scala energetica che per quella della loro evoluzione temporale.





Thank you!

Take home messages for the internal discussion