

IN QUESTO NUMERO:

- I. *Il nuovo disegno dell'eliosfera e l'origine dei raggi cosmici.*
- II. *Un anno di notizie in breve*
- III. *News da astroparticelle.it*

Il nuovo disegno dell'eliosfera e l'origine dei raggi cosmici.

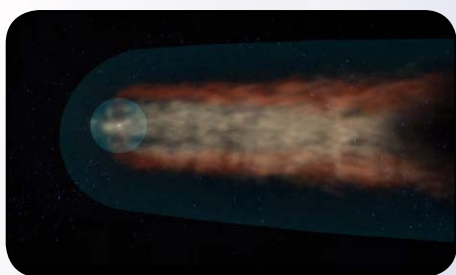


Immagine di fantasia dell'eliosfera (NASA).

Negli ultimi anni sta emergendo un nuovo disegno dell'eliosfera ("estensione" dell'atmosfera solare che avvolge il sistema solare stesso), diverso da quanto immaginato precedentemente. I dati delle sonde in esplorazione nelle zone più vicine allo spazio interstellare come IBEX, le Voyager e ora anche Cassini, mostrano che l'immagine del sistema solare ipotizzata come una grande cometa non funziona, sembra invece che le misure sui campi magnetici indichino una forma dell'eliosfera praticamente rotonda.

Il Sole rilascia costantemente materia, cioè plasma con proprietà dinamiche, elettriche e magnetiche e questo materiale è chiamato "vento solare"; esso si estende ben oltre l'orbita di Nettuno creando una sorta di bolla chiamata eliosfera.

Il sistema solare si muove nello spazio interstellare, quindi per interazione con la polvere interstellare si è sempre immaginato che l'eliosfera avesse una forma con la testa leggermente schiacciata e una coda estesa. I dati attuali che coprono un periodo di un intero ciclo solare di 11 anni, indicano che l'eliosfera è arrotondata in entrambe le direzioni, ovvero di forma esattamente sferica. La forma sferica sembra dovuta ai forti campi magnetici presenti nella zona interstellare, molto più intensi di quanto verificato in passato.

Uno strumento a bordo della sonda Cassini ha dato nuovi indizi cruciali, sulla forma dell'eliosfera nella zona terminale (che viene chiamata heliotail o "eliocoda").

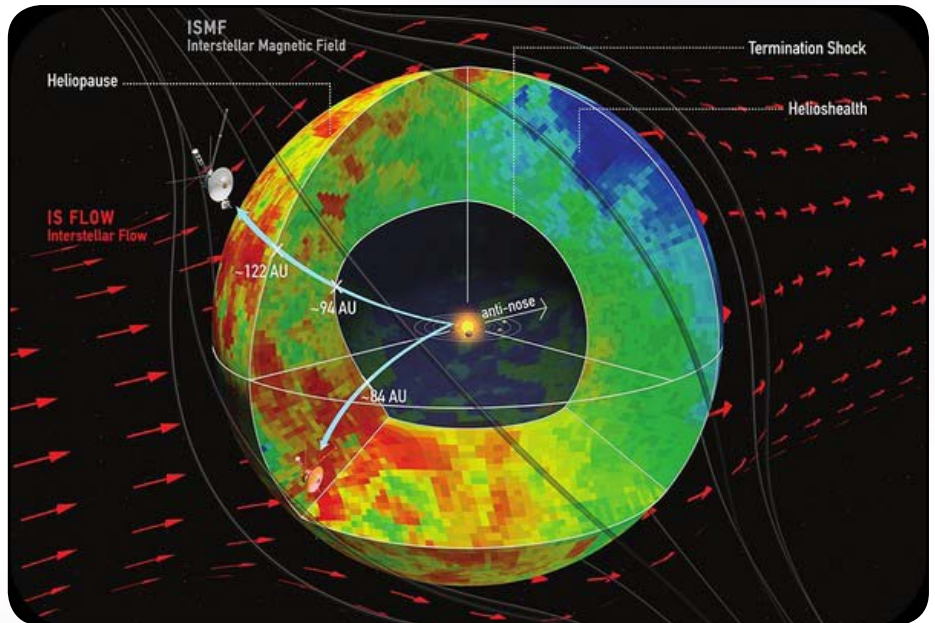
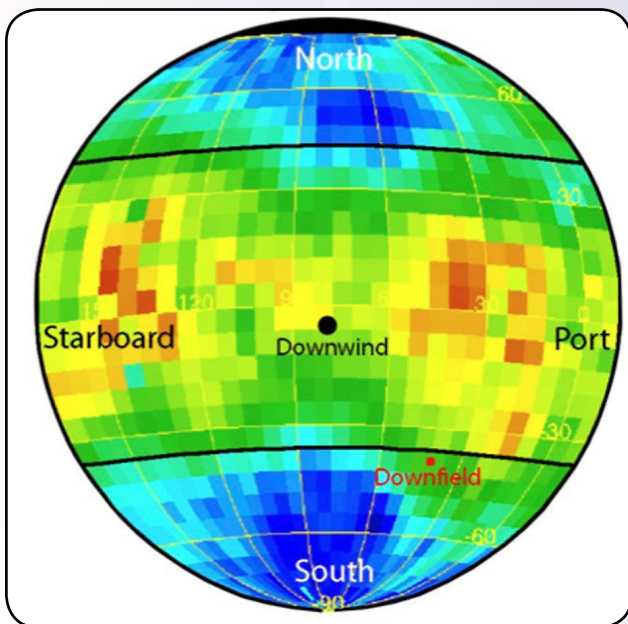


Immagine dell'eliosfera emergente dai dati delle sonde spaziali (Dialynas, et al.).

Quando le particelle cariche del vento solare raggiungono i confini dell'eliosfera, queste sono sottoposte a scambi elettromagnetici con il materiale neutro, come i gas presenti nel mezzo interstellare. Le particelle cariche pertanto spostandosi in questa vasta zona si ricombinano con gli elettroni diventando atomi neutri. In seguito a questa interazione, alcuni di questi atomi sono spinti indietro verso l'interno del sistema solare spostandosi a grandi velocità. Lo strumento di Cassini che è stato progettato per misurare ioni intrappolati nella magnetosfera di Saturno ha misurato i flussi di questi atomi neutri, per diversi anni. Siccome queste particelle si spostano a una velocità che è una piccola frazione di quella della luce, il loro viaggio dal Sole verso i confini del sistema solare dura per anni. Quando il numero di particelle provenienti dal Sole cambia - per via del suo ciclo di attività di 11 anni - ci vogliono altri anni prima che tali particelle rimbalzino indietro trasformate in atomi neutri.



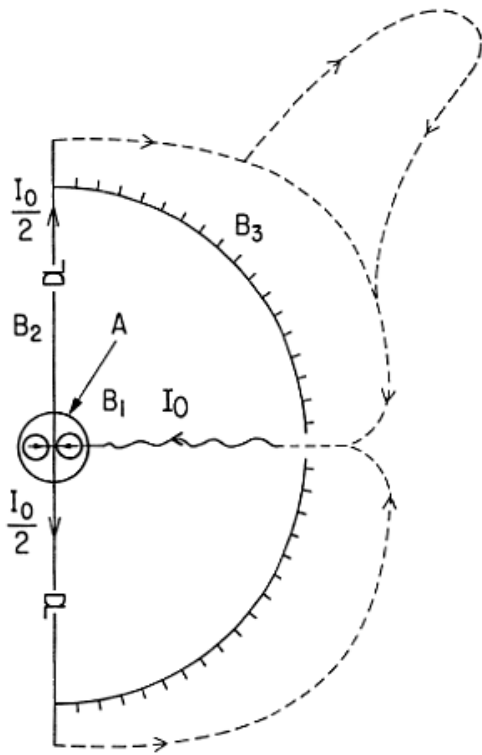
Ricostruzione dell'eliosfera con i dati di IBEX (NASA).

Le nuove misure di Cassini rivelano una cosa inattesa, le particelle provenienti dalla "coda" dell'eliosfera riflettono i cambiamenti del ciclo solare, quasi esattamente in concomitanza con quelle provenienti dal "naso" dell'eliosfera.

Se la coda dell'eliosfera fosse allungata come in una cometa, i tempi di arrivo di questi atomi sarebbero diversi, ma siccome le variazioni dell'attività solare sono registrate dall'arrivo di questi atomi praticamente nello stesso momento (sia dalla coda, sia dal naso), questo implica che la distanza sia la medesima. In sostanza la coda immaginata precedentemente non esiste affatto, invece l'eliosfera sembra una regione rotonda e simmetrica.

Un'eliosfera di forma sferica potrebbe dipendere da una combinazione di fattori. I dati della sonda Voyager 1 indicano che i campi magnetici oltre l'eliosfera sono molto intensi e possono interagire con il vento solare modellandone la forma.

La struttura dell'eliosfera gioca un ruolo importante anche sulla comprensione dell'annoso problema dell'origine dei raggi cosmici e di come questi raggiungono i pianeti all'interno del sistema solare.



Il circuito solare (sferico) di Alfvén che agisce come un induttore unipolare producendo correnti elettriche. L'idea di Alfvén è che i raggi cosmici vengono accelerati per interazione tra i getti di plasma del vento solare e lo strato esterno dell'eliosfera, che per la fisica dei plasmi altro non sarebbe se non un *double layer*. (Alfvén/NASA).

I dati di Voyager 1 e 2, di Cassini e IBEX stanno chiarendo la struttura stessa del sistema solare, esse indicano una eliosfera più compatta e sferica mostrando un nuovo modello su cui lavorare.

In realtà, la conformazione del sistema solare evidenziata ora da queste sonde fu prevista dal premio Nobel Hannes Alfvén nel 1987. Alfvén essendo un fisico del plasma immaginava il Sole (in realtà tutto l'universo) come una bolla di plasma, in cui le regole di comportamento sono determinate dalla magnetoidrodinamica, in pratica le leggi del magnetismo e delle correnti elettriche applicate alla collettività delle particelle elementari che formano un plasma, bisogna in effetti ricordare che il 99% dell'universo è nello stato di plasma.

Negli anni cinquanta Teller e Richtmyer suggerirono anche che probabilmente buona parte, se non tutti, i raggi cosmici potrebbero essere prodotti localmente. Le varie modulazioni che si osservano nel flusso dei raggi cosmici in funzione dell'attività solare, come quella diurna o quella del ciclo undecennale possono supportare questa ipotesi. Anche gli hot-spot, cioè regioni preferenziali da cui sembra provenire la radiazione cosmica risulterebbero situati a distanze locali (<1pc), ben inferiori a quanto immaginato, e situati in regioni senza possibili acceleratori cosmici conosciuti.

Del resto i meccanismi di accelerazione cosmica, come quelle ipotizzate da Fermi e considerate attualmente valide hanno grossi problemi a spiegare l'accelerazione di ioni pesanti, come quelli osservate nello spettro dei raggi cosmici.

Marco Arcani

Fonti:

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasa-s-cassini-voyager-missions-suggest-new-picture-of-sun-s-interaction-with-galaxy/>

<https://www.nasa.gov/content/nasa-s-ibex-provides-first-view-of-the-solar-system-s-tail>

Measurement of the anisotropy of cosmic ray arrival directions with ICECUBE <https://arxiv.org/pdf/1005.2960.pdf>

H. Alfvén, On the origin of cosmic radiation, PhysRev.

NASA Conference Publication 2469 Double Layers in Astrophysics

Un anno di notizie in breve:

23.11.2017 **Misure di neutrini ultra-TeV da ICE CUBE**

ICECUBE al polo sud ha determinato la "cross section" (sezione d'urto) per rivelare neutrini di altissima energia, la misura è 1.3 volte superiore al previsto ma considerando i margini di errore è compatibile con la teoria del Modello Standard delle particelle elementari.

Indagini sull'interazione del neutrino ottenute con gli acceleratori hanno definito il comportamento di queste particelle fino a solo 370 GeV, che è il massimo ottenibile artificialmente. IceCube ha analizzato neutrini con energie tra 6,3 e 980 TeV che hanno attraversato la Terra. Il significato della ricerca consiste nella potenzialità di scoprire o meno una nuova fisica. Sopra ai 10 TeV, il Modello Standard prevede che la cross section dell'interazione del neutrino aumenti in modo meno lineare.

I ricercatori hanno setacciato più di 100 milioni di eventi e identificato 10.784 muoni che sono passati attraverso l'esperimento a oltre 90° dallo zenit, ovvero dal basso. Poiché queste particelle sembrano originarsi al di sotto dell'orizzonte, non appartengono alla famiglia di muoni che si generano in atmosfera, ma possono essere creati solo da neutrini che hanno attraversato la Terra, prima di interagire con il ghiaccio che circonda il rivelatore.

Utilizzando un modello di densità della Terra derivata da studi sismici, i ricercatori sono arrivati a una relazione tra sezione d'urto ed energia che è coerente con le previsioni del Modello standard.

Fonte: NATURE (<http://www.nature.com/articles/nature24459.epdf>)



22.11.2017 **I fulmini creano isotopi radioattivi**

I fulmini sono una continua fonte di sorprese e una risorsa per nuove ricerche, probabilmente innescati dai raggi cosmici, essi producono raggi gamma che interagiscono a livello nucleare con gli atomi in atmosfera creando vari isotopi anche radioattivi...

Fonte: <http://physicsworld.com/cws/article/news/2017/nov/22/lightning-creates-radioactive-isotopes>

3.11.2017 **I raggi cosmici scoprono un vano nella piramide di Cheope**

Il progetto "ScanPyramids" che si avvale di termocamere e rivelatori di muoni sta facendo indagini da circa due anni nella piana di Giza (vedere anche newsletter n° 11). Ora nella Grande Piramide, i muoni hanno individuato una specie di cunicolo inclinato lungo 30 metri, le indagini sono ancora in corso per cercare di capire la natura di questo vano...

Fonte: <https://www.nature.com/news/cosmic-ray-particles-reveal-secret-chamber-in-egypt-s-great-pyramid-1.22939>



2.11.2017 **Usare i muoni per sondare i depositi nucleari**

La tomografia a muoni è ormai una tecnica consolidata, un nuovo utilizzo potrebbe riguardare il controllo dei depositi di scorie radioattive. Alcuni esperimenti a Los Alamos (USA) e a Glasgow (Scozia) suggeriscono che questo potrebbe essere un buon metodo non invasivo e sicuro per il controllo della tenuta dei depositi nucleari.

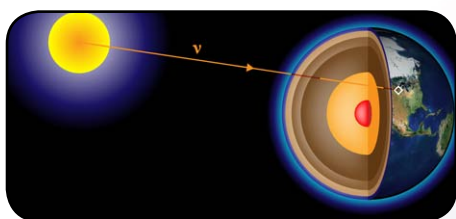
Fonte: <http://physicsworld.com/cws/article/news/2017/nov/01/cosmic-rays-probe-nuclear-waste>

03.10.2017 **Premio Nobel per la fisica 2017**

Appena due anni dopo la scoperta delle presunte onde gravitazionali da LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), la commissione per il premio Nobel ha assegnato il premio per la fisica ai tre leader del lungo progetto decennale: "per il decisivo contributo al rivelatore LIGO e per l'osservazione delle onde gravitazionali".

Fonte: <https://physics.aps.org/2017-nobel-prize-in-physics>

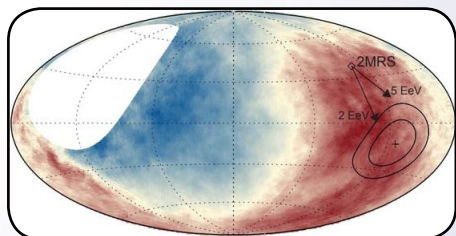
28.09.2017 **Entro pochi anni i neutrini potrebbero farci vedere la struttura interna della Terra.**



Secondo alcuni ricercatori, utilizzando il rivelatore di neutrini DUNE in USA sarà possibile una tomografia del nostro pianeta. Dune vede circa 75 neutrini al giorno provenienti dal Sole che attraversando la Terra "oscillano". Utilizzando i risultati dell'oscillazione e la differenza di *rate* tra giorno e notte, entro 5 anni sarà possibile fare la scansione del pianeta con un alto livello di affidabilità (sei sigma). Questo dovrebbe confermare (o smentire) la struttura attualmente conosciuta.

Fonte: <https://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevD.96.036005>

22.09.2017 **L'osservatorio di raggi cosmici Auger pubblica i risultati di una ricerca su Science.**



Utilizzando un campione di circa 30000 raggi cosmici con energia superiore a 8×10^{18} eV (oltre 1.2 Joule), i collaboratori di Auger in Argentina sono venuti a capo di uno dei problemi più discussi: i raggi cosmici provengono solo dall'interno della nostra Galassia?

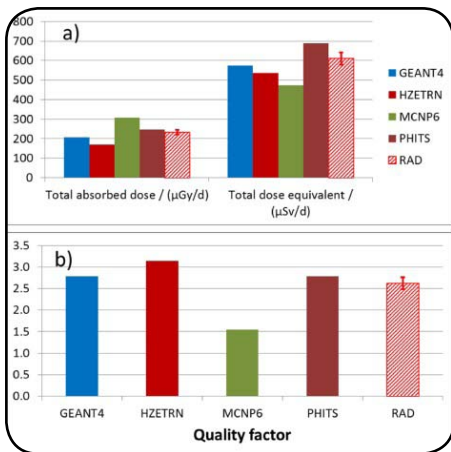
Identificare la direzione di provenienza delle particelle cosmiche è sempre stato uno dei più grossi problemi, sia perchè gli eventi sono rari, sia perchè le particelle vengono deviate dai campi magnetici e diffuse da altre interazioni.

Questa ricerca dimostra senza dubbi che a tali energie le particelle provengono da sorgenti extragalattiche, rimane però sempre ignota l'origine che come punto caldo (nell'emisfero Sud) è stato individuato ad ascensione retta 100° e declinazione -24° e si estende su un'ampiezza pari al 6,5% del cielo.

Fonte: <https://phys.org/news/2017-09-cosmic-rays-galaxy.html>

6.09.2017 **Confronto tra i dati di RAD e i modelli di calcolo per la radiazione cosmica su Marte**

RAD è uno strumento a bordo del *rover* Curiosity che dal 6 agosto 2012 indaga la superficie di Marte dal punto di vista radioattivo. RAD misura la radiazione cosmica prodotta da diverse particelle subatomiche, ora sono stati confrontati i dati ottenuti dallo strumento con i dati previsti da diversi modelli di calcolo. I risultati indicano alcune discrepanze, ma il lavoro è importante per la comprensione dell'ambiente marziano in previsione di un futuro viaggio spaziale. Senza entrare in dettagli tecnici, ad esempio la dose equivalente prevista dai modelli varia da $473 \mu\text{Sv/d}$ a $689 \mu\text{Sv/d}$ (micro Siviert/giorno) si può confrontare con $610 \pm 45 \mu\text{Sv/d}$ misurati dal RAD.



A livello pratico questo livello di radioattività assorbita, come ordine di grandezza si può equiparare in questo modo:

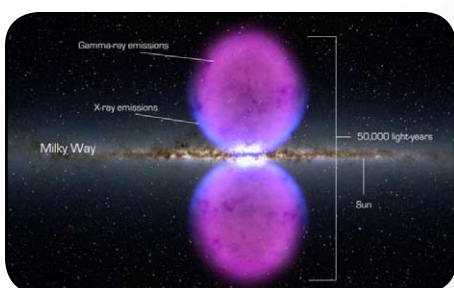
- Ogni giorno su Marte equivale alla radiazione di una mammografia al giorno.
- 10 giorni su Marte equivalgono a una passeggiata di un'ora nell'area contaminata di Chernobyl (nel 2010).
- Ogni giorno su Marte equivale alla radiazione dovuta ai raggi cosmici assorbita per un anno intero sulla Terra.

M.A.

Fonte: Elsevier

<https://www.journals.elsevier.com/life-sciences-in-space-research/highlighted-articles/how-to-avoid-martian-radiation>

18.08.2017 **Un nuovo modello per spiegare i raggi cosmici di altissima energia**



Lo spettro di energie dei raggi cosmici si estende indicativamente dai GeV (Giga-elettronVolt) fino agli EeV (Exa-elettronVolt), particelle con energie fino a 10^{15} eV sono spiegate come prodotte dall'accelerazione delle esplosioni di supernove, sopra a quella soglia la spiegazione è frutto di speculazioni, ma l'unica teoria ancora valida oggi è quella elaborata da Enrico Fermi e chiamata accelerazione di Fermi di II ordine: brevemente, particelle confinate in una bolla magnetica possono rimbalzare all'interno e progressivamente guadagnare elevatissima energia tale da sfuggire alla bolla stessa.

Nel 2010 alcuni astronomi utilizzando il telescopio per raggi gamma Fermi-GLAST della NASA hanno osservato gigantesche caratteristiche bolle di gas che sembrano propagarsi dal nucleo della Via Lattea. Queste palle simmetriche che si estendono sopra e sotto il piano galattico sono state (inevitabilmente) chiamate "Fermi Bubbles" e sono costituite da nubi di gas che si estendono per circa 30.000 anni luce sia sopra, sia sotto il piano della nostra galassia. Le "bolle di Fermi" sono costituite da emissioni a raggi gamma e raggi X di altissima energia, quindi invisibili a occhio nudo.

Non è chiaro se queste "Fermi Bubbles" abbiano qualcosa a che fare con le bolle magnetiche ipotizzate da Fermi, in quanto la loro natura è sempre stata un mistero.

Ora un team di scienziati russi e cinesi ha elaborato un nuovo modello per spiegare la presenza di raggi cosmici di altissima energia.

Utilizzando i dati del telescopio per raggi gamma Fermi-GLAST e ipotizzando la presenza di un buco nero al centro della Galassia, gli scienziati pensano che le bolle sarebbero create dall'interazione della materia stellare precipitata nel buco nero. Secondo il loro modello, raggi cosmici, in particolare protoni con energia di 10^{15} eV che attraversino le bolle di Fermi possono subire una re-accelerazione fino a valori di altissima energia. Lo spettro di energie prodotto dal loro modello mostra un'estrema somiglianza con i dati osservati per particelle da 3×10^{15} a 10^{18} eV.

Fonte: <https://phys.org/news/2017-08-astrophysicists-mysterious-behavior-cosmic-rays.html>

14.08.2017 **Lanciato ISS-CREAM**

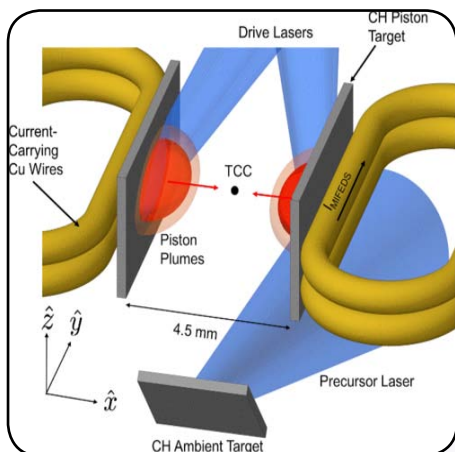


Un nuovo rivelatore di raggi cosmici si aggiunge alla stazione spaziale internazionale, si tratta del modulo CREAM (Cosmic Ray Energetics and Mass), da anni sperimentato con successo su palloni stratosferici. L'esperimento è in grado di misurare energia, carica e massa delle

particelle cosmiche su un range di energie tra 10^{11} e 10^{15} eV su nuclei con Z (numero atomico) tra 1 e 26.

Fonte: <https://cmns.umd.edu/news-events/features/3948>

17.07.2017 **Onde "shock waves" artificiali per studiare l'accelerazione dei raggi cosmici**



Per la prima volta un esperimento ha dimostrato la possibilità di poter replicare le onde d'urto (o shock waves), che si creano durante le esplosioni di supernove e che possono accelerare i raggi cosmici fin quasi alla velocità della luce. La scoperta è stata fatta quasi per caso all'Omega EP laser facility dell'Università di Rochester. I ricercatori facendo esperimenti con plasma magnetizzati e controllati dai laser si sono accorti che venivano prodotte onde supersoniche ad alto numero di Mach. La costruzione di un esperimento mirato a comprendere il comportamento delle particelle nelle onde d'urto potrebbe far chiarezza sugli acceleratori di particelle "naturali" e sulle sorgenti che accelerano i raggi cosmici.

Fonte1: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.119.025001>

Fonte2: <https://phys.org/news/2017-07-scientists-laboratory-astrophysical.html>

28.06.2017 **Ancora nessuna materia oscura**

Anche le speranze di un ipotetico neutrino "sterile", particella candidata per spiegare la fantomatica materia oscura sembra svanire. Nel 2011 il gruppo di Daya Bay (reattori nucleari in Cina) aveva mostrato un deficit nell'oscillazione di sapore dei neutrini spiegabile con un nuovo tipo di neutrino, quello "invisibile" definito appunto sterile. In questi anni gli studi di Daya Bay e altri istituti hanno mostrato che il deficit è dipendente dalle frazioni di materiale radioattivo presenti nel reattore al momento delle misure (U-235, Pu-239, U-238, e Pu-241), un parametro prima non preso in considerazione. In sostanza il neutrino sterile usciva da errori di calcolo nella previsione del flusso di neutrini atteso.

Fonte: <https://physics.aps.org/articles/v10/66>

26.04.2017 **L'eliosfera non ha la coda.**

Si è sempre pensato che la "bolla di plasma" prodotta dal vento solare - e che racchiude il sistema solare stesso - avesse una forma allungata come una cometa, questo per uno sbilanciamento tra campo magnetico solare, pressione del vento solare e campo magnetico interstellare... Dopo decenni di raccolta di dati dalle sonde Cassini, le Voyager e Ixob, è ormai certo che la forma dell'eliosfera sia più simile a quella di una sfera. Questo studio è importante anche per comprendere il ruolo di protezione dell'eliosfera sui pericolosi raggi cosmici (vedere articolo in apertura).



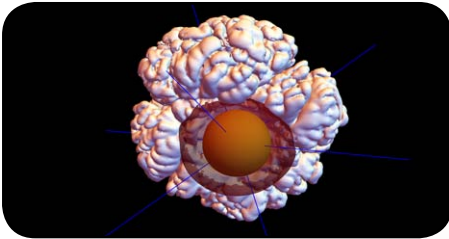
25.04.2017 **EUSO**

Un pallone aerostatico è stato lanciato dalla NASA in Nuova Zelanda. Il pallone dell'international Extreme Universe Space Observatory (EUSO) osserverà un'ampia fascia dell'atmosfera terrestre per

rivelare la fluorescenza ultravioletta emessa dai raggi cosmici quando colpiscono l'aria. L'esperimento ha il proposito di misurare particelle con energia superiore a 10^{18} eV. Se il rivelatore avrà successo sarà probabilmente installato sulla stazione spaziale internazionale, in modo di osservare una superficie ancora più ampia.

Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/wallops/2017/nasas-super-pressure-balloon-takes-flight-from-new-zealand>

Neutrini misurabili anche da supernove tipo Ia



Una ricerca pubblicata sul "Physical Review D" indica che anche i neutrini emessi da supernove di tipo Ia (una nana bianca che ruota intorno a una stella compagna) sarebbero rilevabili. Tramite nuove simulazioni computerizzate, i ricercatori hanno calcolato che se la supernova esplodesse entro poche migliaia di anni luce, i neutrini sarebbero rilevabili in tutti gli osservatori del mondo. Questi nuovi modelli di calcolo sarebbero migliori rispetto ai precedenti e permetterebbero di risalire anche al modo in cui la stella esplode.

Fonte: <http://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevD.94.025026>

CARI7



La Federal Aviation Administration (agenzia federale dell'aviazione americana) ha rilasciato la nuova versione del programma CARI. CARI7, come le precedenti versioni serve per calcolare e prevedere la radiazione dovuta ai raggi cosmici (e non solo) nei voli aerei. Specificando aeroporto di partenza e destinazione, oppure tramite coordinate geografiche esso permette di risalire alla dose radioattiva assorbita. La nuova versione è stata provata e recensita su questa pagina: <http://www.astroparticelle.it/cari-faa-dose.asp>

Fonte: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari7/

Aggiornamenti sul progetto ADA (Astroparticle Detector Array)



Nel 2017 è stata creata anche una nuova mappa interattiva che riporta le stazioni installate e i dati in tempo reale. (<http://www.astroparticelle.it/public/ada-interactive-map/>).

Il progetto sperimentale ADA è nato nel 2013, esso consiste in una rete composta da rivelatori di raggi cosmici distribuiti sul territorio nazionale, anzi oramai possiamo dire internazionale. Quest'anno infatti si è aggiunta anche una postazione nel Liceo "Ermesinde" di Mersch in Lussemburgo.

Il fine primario dell'esperimento ADA è quello di promuovere la divulgazione scientifica e portare la fisica moderna nelle scuole, attraverso una didattica multidisciplinare. Questi sono i motivi che negli ultimi anni spiegano una vera e propria esplosione di iniziative ed esperimenti simili, in particolare in questo campo della fisica che ben si presta a tali attività.

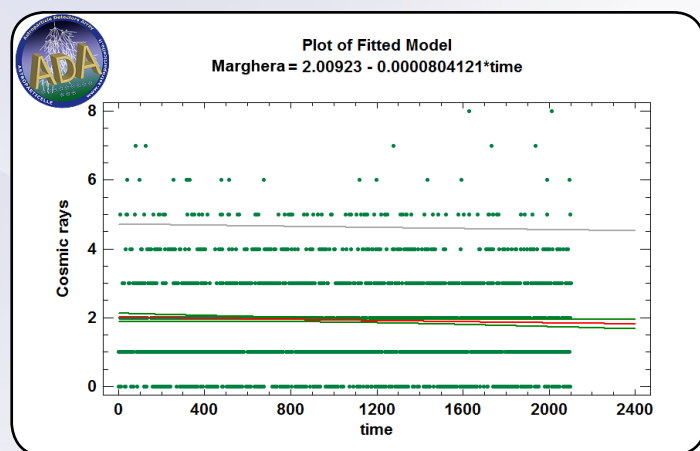
ADA utilizza semplici ma efficaci rivelatori di particelle subatomiche ionizzanti (come i muoni); tutti insieme questi telescopi per raggi cosmici - chiamati AMD5 - formano anche un osservatorio astronomico di astroparticelle volto a individuare segnali contemporanei tra rivelatori, come ad esempio: particelle prodotte da esplosioni di supernove, ioni ad altissima energia come gli UHECRs (Ultra High Energy Cosmic Rays) o indizi sull'attività solare. Attualmente sono circa 20 le stazioni di rivelazione situate tra Italia, Svizzera e Lussemburgo.

ADA e l'eruzione solare del 6.09.2017



GoogleMap dei rivelatori installati (al 01.12.2017) che partecipano al progetto ADA.

I rivelatori collegati con ADA possono essere utilizzati individualmente per fare diverse attività, però è bello vedere che insieme funzionano come un gigante osservatorio. Durante l'intensa attività solare del 6 settembre 2017, il Sole ha generato un intenso CME (getto di plasma) che si è diretto verso il nostro pianeta; quest'ultimo ha prodotto un effetto (chiamato Forbush) che ha fatto diminuire i raggi cosmici a terra. La diminuzione del flusso di raggi cosmici è stata registrata da tutti gli osservatori nel mondo e anche la rete di ADA ha visto calare il flusso di particelle (<http://www.astroparticelle.it/effetto-forbush.asp>).



La stazione di Marghera (Gruppo Astrofili Santa Maria Di Sala e di Mestre) è quella che ha visto la maggiore attività "Forbush" ovvero la temporanea diminuzione dei raggi cosmici.

Rivelatori tematici AMD5

E' stata creata una pagina web in cui periodicamente vengono messi in "vetrina" alcuni rivelatori tipo AMD5, o con caratteristiche tecniche analoghe: <http://www.astroparticelle.it/AMDdetectors-availability.asp#>.

Generalmente gli AMD5 sono costruiti utilizzando come involucro un comune contenitore (case) per computer. Per aumentarne il valore didattico si è pensato che poteva essere interessante qualche versione con l'elettronica "a vista". Sono quindi stati costruiti alcuni apparati che oltre ad avere tale caratteristica ricordano gli esperimenti utilizzati nella storia della fisica dei raggi cosmici.



Una "replica" di una delle camere di ionizzazione di R. Millikan, che data la forma qualcuno chiamò "the Millikan's bomb".



Mapa delle postazioni ICD2017.

International Cosmic Day 2017

Il 30 novembre 2017 si è tenuta la sesta "Giornata Cosmica Internazionale", dove giovani studenti in tutto il mondo hanno esplorato i messaggeri dell'universo.

L'International Cosmic (ray) Day è un evento introdotto il 26 settembre 2012 dal Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) in collaborazione con NetzwerkTeilchenwelt in Germania e il centro di ricerca Fermilab con la sua rete di insegnanti QuarkNet negli Stati Uniti.

La data non è stata scelta a caso, infatti nel 2012 ricorreva il centenario della scoperta dei raggi cosmici. Da allora, ogni anno l'evento si ripete periodicamente verso i mesi invernali e quest'anno siamo giunti alla conclusione della sesta edizione. In occasione di ICD2017, le istituzioni di ricerca in Italia e in tutto il mondo hanno aperto le proprie porte e si sono organizzate per offrire ai giovani, una giornata emozionante nella ricerca della fisica delle astroparticelle.



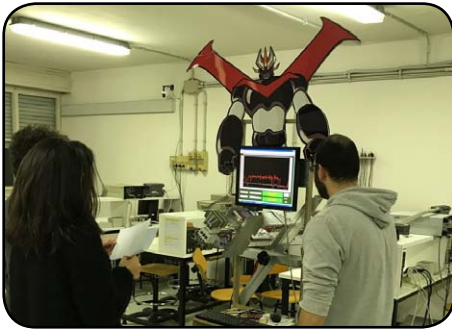
Un bel detector di raggi cosmici dalla Bolivia.

Tramite rivelatori appositamente costruiti, gli studenti hanno indagato il flusso dei raggi cosmici in funzione dell'angolo di zenit, ovvero la direzione di provenienza dei raggi cosmici in atmosfera.

Quest'anno hanno partecipato all'ICD più di 100 gruppi di studenti di 20 paesi in tutto il mondo, dalla Cina alla Bolivia, compresi USA ed Europa.

In provincia di Varese solo due istituti hanno partecipato al Cosmic Day, il Liceo Scientifico "Ferraris" di Varese e il Liceo Scientifico "Curie" di Tradate. Gli studenti di Varese sono stati guidati da Michela Pavan, docente di fisica del medesimo istituto, utilizzando un rivelatore a scintillazione fornito dall'Università

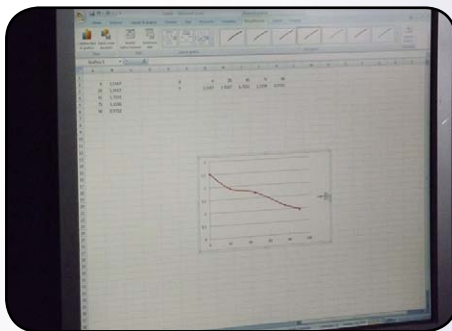




Non sono mancate le soluzioni più stravaganti come questo rivelatore "Mazinga".



Uno dei nostri rivelatori AMD5 posizionato a 90° di zenit.



Intorno alle 12.00 sugli schermi iniziano a comparire i primi grafici!

dell'Insubria; gli studenti di Tradate guidati dai professori Enrica Borghi e Gianluigi Carbone si sono recati all'Osservatorio astronomico FOAM13 dove hanno fatto gli esperimenti tramite i rivelatori AMD5.

A Tradate il workshop è stato tenuto durante il normale orario scolastico (dalle 9.00 alle 13.00) questo ha significato un intenso lavoro per i diversi punti in agenda. Marco Arcani (fondatore del progetto ADA) ha coordinato le attività aprendo la giornata con una conferenza introduttiva sui raggi cosmici.

Durante il seminario sono intervenuti anche Cesare Guaita, presidente del Gruppo Astronomico Tradatese e Don Maurizio Canti, parroco di Gornate superiore e conduttore di una stazione ADA.

In seguito al benvenuto di Fabrizio Piacentini, presidente dell'Osservatorio FOAM13, gli studenti hanno iniziato ad analizzare i dati. Alcuni set di dati sui raggi cosmici sono stati presi in tempo reale, ma dato che il tempo a disposizione era limitato, sono stati utilizzati anche dati raccolti nei giorni precedenti.



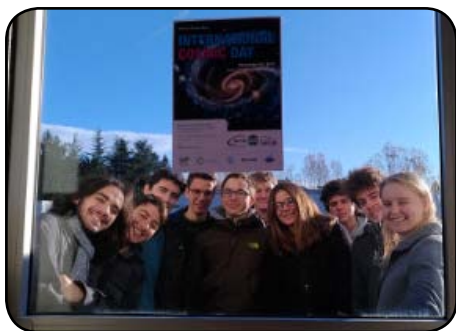
Abbiamo diviso i nostri studenti in quattro gruppi, ognuno con un gruppo di dati prodotti da rivelatori differenti. I giovani scienziati sono stati molto impegnati a dare il meglio per completare il compito assegnato, ossia generare un grafico dell'andamento dei raggi cosmici e compilare un *report*, una specie di mini pubblicazione scientifica.

La giornata è terminata con il collegamento Skype in video-chat a livello mondiale, dove a rotazione ogni istituto ha presentato la propria scuola con la ricerca della giornata in corso d'opera; al termine e per confronto, gli studiosi di due rinomati centri di ricerca: ATLAS (CERN) e IECUBE (al Polo Sud) hanno mostrato i dati registrati dai loro grossi esperimenti, sullo stesso tema assegnato agli studenti.

Nei prossimi mesi tutti i lavori svolti saranno raccolti in un libretto (in formato elettronico) che sarà inviato a tutti i partecipanti.



Momenti durante la video-chat, in compagnia della nostra *mascot* Vanessa A., già testimonial della omonima spedizione in mongolfiera del 2012.



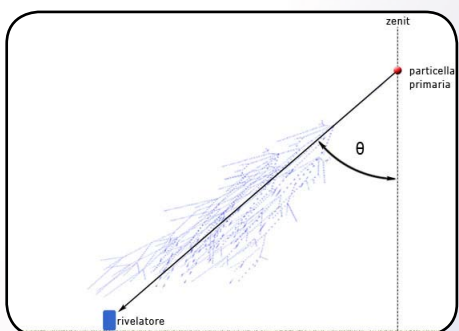
I "colleghi" del Liceo "Ferraris" di Varese.

L'International Cosmic Day è stata un'esperienza molto positiva, di grande valore per gli studenti che hanno iniziato a imparare come si analizzano i dati, come si collabora (con sana competizione) e come si scrive una pubblicazione scientifica. Per questo ringraziamo DESY e i suoi partner per l'impegno nell'organizzazione di questa manifestazione mondiale a cui diamo sicuramente appuntamento per l'anno prossimo.



Foto di rito in conclusione di ICD2017, con i partecipanti del Liceo "Curie".

La dipendenza dei raggi cosmici dallo Zenit



Rappresentazione dell'angolo di zenit θ .

Il flusso dei raggi cosmici è fortemente dipendente dalle coordinate altazimutali. Se quella dell'azimut può essere trascurata (a parte l'effetto est-ovest che dipende anche dalla latitudine), quella dello zenit è invece dominante. I raggi cosmici pertanto diminuiscono con l'aumento dell'angolo zenitale, poiché più la loro traiettoria è inclinata, più materia devono attraversare e perdendo energia si estinguono prima; per certi angoli di incidenza (ad esempio ad alta quota) va considerata addirittura la curvatura terrestre.

Generalmente il flusso misurato dipende dalla seguente formula:

$$I_i(\theta) = I_i(0^\circ) \cos^{n_i}(\theta)$$

dove l'esponente n_i è in funzione dell'energia delle particelle e dello spessore dell'aria che si indica come profondità di interazione (X) e si misura in g/cm^2 .

Per i neutroni ad esempio tale proporzionalità si può approssimare a:

$$I(\theta) = I(0^\circ) \cos^n(\theta)$$

dove n vale circa 3.5 (1971, Heidebreder et al.)

Per gli elettroni le misure sperimentali indicano un valore di n pari a 2, dove però diventa 3.6 per particelle con energie pari o superiori a 100MeV.

Per quanto riguarda i muoni, cioè le particelle che ci interessano maggiormente dato che interessano per la maggior parte i nostri strumenti, la questione è molto articolata. Siccome i muoni nascono dal decadimento di pioni e kaoni, la loro produzione già dipende dall'interazione con l'aria dei loro progenitori, i quali hanno comportamenti diversi, inoltre lo spettro energetico dei muoni a livello del mare è molto esteso.



ICD2017 a Tradate.

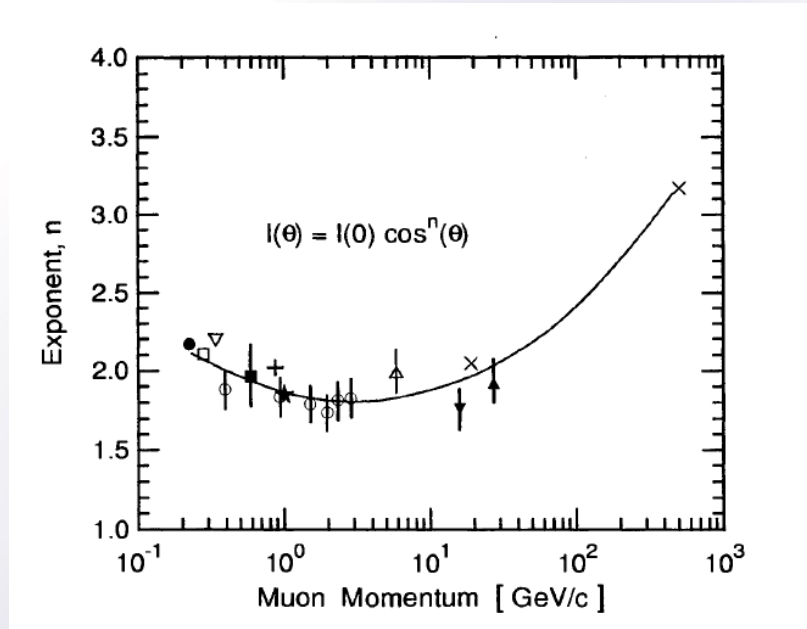
In qualsiasi caso è ancora valida l'espressione:

$$I(\theta) = I(0^\circ) \cos^n(\theta)$$

dove n è direttamente proporzionale a p (momento) e se la media di p è nel range di 1 GeV, n vale 1.85.

Per i muoni intorno ai 3 GeV, la distribuzione si può più semplicemente considerare proporzionale al \cos^2 dell'angolo di zenith θ ^[1].

Per sussidio, il grafico seguente ricavato dai dati sperimentali, indica il valore di n in funzione del momento in GeV.



Valore dell'esponente n in funzione del momento p ^[2]

Di seguito una tabella che espone esperimenti a diverse latitudini per muoni di bassa energia.

Exponent n of Zenith Angle Distribution $\cos^n(\theta)$ of Low Energy Muons at Sea Level.

Momentum [GeV/c]	Geomagn. Latitude	n	Reference
0.3	47°S	3.3	Moroney and Parry (1954)
> ~0.33		2.1	
>0.4	12°N	1.91±0.10	Bhattacharyya (1974b)
>1.0		1.85±0.11	
>1.5		1.81±0.12	
>2.0		1.75±0.11	
>2.4		1.81±0.08	
>3.0		1.83±0.09	
>0.33	50°N	2.1	Greisen (1940)
> ~10	-	1.6±0.1	Sheldon and Duller (1962)
>0.7	53°N	1.96±0.22	Judge and Nash (1965)
>0.35	53°N	2.16±0.01	Crookes and Rastin (1972)

[3]

In conclusione per i muoni misurati dai nostri strumenti si considererà valida la relazione dipendente dal \cos^2 dell'angolo di zenit θ .

C'è però una caratteristica da notare: anche se a 90° il cos vale zero, il flusso non risulta quasi mai essere nullo. Quali sono i motivi di questo comportamento?

1 Introduction to Particle and Astroparticle Physics, De Angelis, Pimenta (Springer)
2,3 Cosmic Rays at Earth - P.K.F.Grieder (Elsevier, 2001)



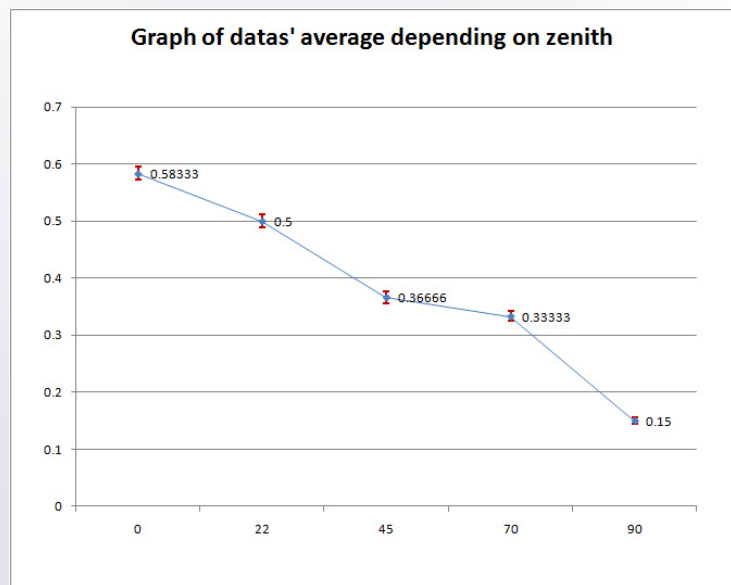
ICD2017 a Tradate.

Alcuni possono essere di natura strumentale, il telescopio posto in orizzontale può registrare due muoni che contemporaneamente attraversano entrambi (o più) sensori, siano essi scintillatori, GMT o altro. È questo chiamato effetto *shower*. Un altro effetto è quello dello scattering, sempre tra i sensori dello strumento, tipicamente un muone può interagire e produrre particelle secondarie che interessano simultaneamente i "sensori". Per finire non sono da escludere muoni (o altre particelle rilevabili) che viaggiano in orizzontale.

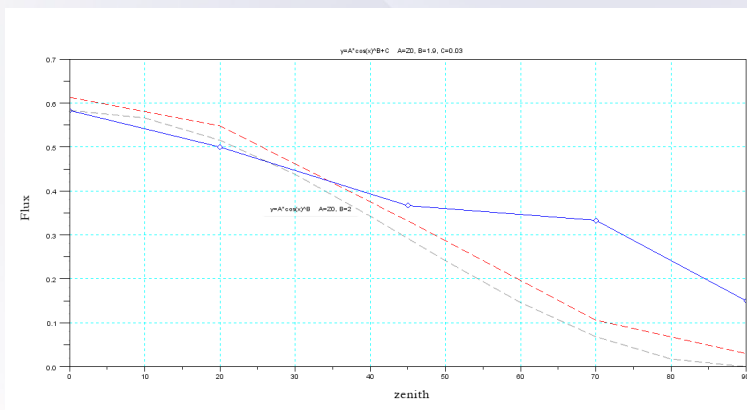
Pertanto potremmo dire che i risultati sperimentali seguono un'espressione più simile a:

$$I_{\theta} = I_{(0^{\circ})} \cos(\theta)^2 + k$$

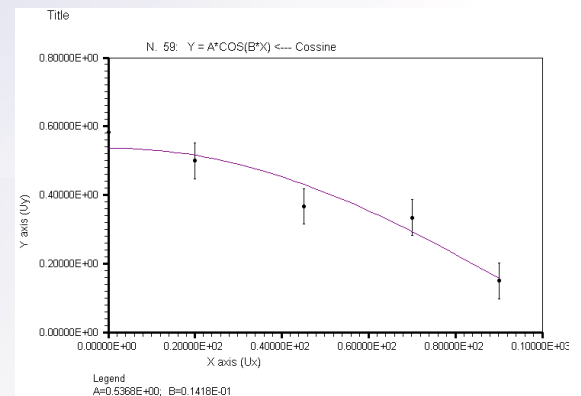
Riportiamo un esempio prodotto da un gruppo di studenti di Tradate durante l'ICD 2017, il grafico è stato ottenuto con 5 misure di un ora ciascuna con lo strumento AMD5^[4].



Facendo il fit di questa curva, in effetti si può ottenere una proporzione relativa al cos di θ (vedere grafici seguenti), non lontana dalle previsioni, anche se questa è una misura ottenuta in poco tempo e non va considerata come un "campione" sperimentale. ■



I dati a confronto con il fit ideale (\cos^2) in grigio e il fit ipotizzato in rosso (Scilab).



Un fitting dei dati estratto automaticamente dal calcolatore con risultato: $y = A \cos(B \cdot X)$ (Labfit).

⁴ Con finestra temporale di coincidenza minima (vedere anche il nuovo manuale di AstroRad e AMD5: http://www.astroparticelle.it/public/handbook_v4016.pdf).