

UN PERCORSO INNOVATIVO PER LO STUDIO DELLA FISICA: L'ESPERIMENTO

"EXTREME ENERGY EVENTS"

STEFANO MARRONE

Introduzione

La Fisica è una delle materie più affascinanti che il panorama delle discipline scientifiche può proporre sui banchi del Liceo. Questo fascino ha essenzialmente due ragioni di essere. *In primis*, la disciplina si presta a numerose applicazioni di tipo tecnico-pratico, che la rendono meno astratta rispetto a materie scientifiche altrettanto importanti come la Matematica. In secondo luogo, questa disciplina, come la Matematica, cerca di spiegare in modo elegante e rigoroso i meccanismi di funzionamento della Natura. Dal mondo dell'infinitamente piccolo (atomi, nuclei, particelle elementari, etc.) a quello dell'infinitamente grande (pianeti, stelle e galassie, etc.), per proseguire con le osservazioni dei fenomeni di tutti i giorni come il meteo, le maree, l'alternarsi delle stagioni: il fisico ha il compito di studiare ogni processo nell'Universo sia tramite i modelli teorici derivanti dalla matematica sia effettuando osservazioni ed investigazioni per mezzo di esperimenti.

La nascita della Fisica come disciplina autonoma è intrinseca alla definizione del metodo scientifico e fu proposta da G. Galilei nel XVI secolo. Questo metodo si fonda su due pilastri: l'osservazione e la riproducibilità dei fenomeni investigati attraverso la sperimentazione tecnico-pratica e la loro descrizione attraverso modelli di tipo teorico-matematico. Questo modello, ripreso dai contemporanei di Galileo, sarà di fatto esportato in tutte le discipline, scientifiche e non, costituendo una delle rivoluzioni di pensiero più fruttuose dell'intera storia dell'uomo. A questo proposito vorremmo far notare come, grazie alla rivoluzione galileiana, siano cambiati dal XVI secolo in poi gli obbiettivi e le metodologie di fondamentali discipline umanistiche come la Filosofia e la Storia.

Per queste ragioni gli insegnanti di Fisica hanno svariate possibilità didattiche negli ambiti della propria lezione: essi possono sviluppare gli argomenti affrontati dai libri di testo, eseguire una pratica sperimentale nei laboratori della scuola oppure rivolgere lo sguardo a quel grande laboratorio che è la Natura, per spiegare ai ragazzi non tanto il perché avvengano determinati fenomeni, ma come si originano e quali sono le loro caratteristiche. Questi approcci devono essere percorsi con uguale cura ed attenzione, in modo da interessare maggiormente i ragazzi e stimolare il loro spirito di osservazione.

Seguendo quest'approccio, nella primavera del 2005, un gruppo di scienziati, coordinati dal Prof. A. Zichichi, ha progettato e proposto di eseguire un nuovo esperimento denominato: "*Extreme Energy Events*" (Eventi di Altissime Energie), che ha un duplice obiettivo: dal punto di vista scientifico vuole rivelare ed analizzare le particelle provenienti dal Cosmo (raggi cosmici) tramite gli strumenti e le metodologie proprie degli esperimenti di fisica più raffinati; dal punto di vista didattico mira a coinvolgere gli studenti e gli insegnanti delle Scuole Medie Superiori di tutta Europa, in modo da portare questa disciplina nei cuori e nelle menti dei nostri ragazzi.

Tra la fine del 2006 e gli inizi del 2007 l'Istituto "S. Staffa" ha aderito a questo progetto grazie alla sensibilità del Preside, Prof. A. Di Domenico, che ha messo a disposizione le strutture dell'Istituto, e all'entusiasmo di tre insegnanti: Prof.ssa M. R. Uva, Prof. G. Reggio e Prof. S. Marrone. In questo modo, un gruppo di ragazzi appartenenti a varie classi dell'Istituto avrà la possibilità di partecipare attivamente alle varie fasi dell'esperimento. Essi, infatti, contribuiranno alla costruzione degli apparati sperimentali, provvederanno all'acquisizione dati *in situ* ed infine eseguiranno l'analisi dei dati. Tutta l'attività didattica sarà coordinata dall'Istituto "E. Fermi" di Roma, che fornirà alle scuole i mezzi tecnici e le competenze necessarie per eseguire i vari percorsi di ricerca.

Motivazioni scientifiche

Il principale scopo di *Extreme Energy Events*¹ è studiare dove, come e, se possibile, quando nascano i raggi cosmici, raggi che sono stati scoperti negli anni a cavallo tra il 1925 ed il 1935 in una serie di esperimenti su palloni aerostatici condotti da F. V. Hesse e C. D. Anderson. Questi notarono che una "camera a nebbia" registrava un maggior numero di particelle man mano che veniva portata più in alto nell'atmosfera terrestre. Per questa ragione i due sperimentatori montarono la camera su un pallone aerostatico ed effettuarono osservazioni a varie altezze. Questa evidenza sperimentale era in contrasto con l'idea che le particelle giungessero dal terreno a causa della radioattività naturale, scoperta qualche anno prima dai coniugi Curie. Evidentemente ci doveva essere un flusso di particelle provenienti dal cielo che azionava più di frequente il rivelatore.

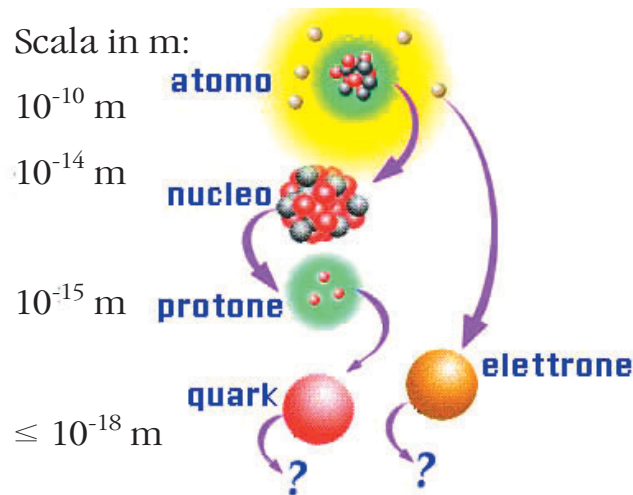


Figura 1: Vista schematica dell'atomo e delle sue sottostrutture. L'atomo è composto di nuclei ed elettroni. I nuclei sono composti di neutroni (pallini rossi) e protoni (pallini neri). Neutroni e protoni sono formati da quark. A sinistra sono indicate le dimensioni tipiche di ogni particella in metri.

Il nome di raggi cosmici, coniato dai primi scopritori, in realtà è improprio, in quanto essi sono costituiti da diverse particelle (protoni, neutroni, muoni, etc) e non da radiazione elettromagnetica, i fotoni, come ad esempio i raggi solari. Queste particelle hanno varie origini e provengono da zone differenti del cosmo. Per capire come vengano prodotti i raggi cosmici si devono introdurre alcuni semplici concetti di fisica delle particelle elementari.

La materia è costituita da molecole, che a loro volta sono aggregati di atomi (vedi Figura 1). Per esempio, l'acqua è composta dalle molecole H_2O , formata da due atomi di idrogeno (H) e da uno di ossigeno (O). Gli atomi sono formati da un nucleo centrale attorno a cui orbitano gli elettroni (e^-) particelle che hanno carica elettrica negativa. A seconda del numero di elettroni (numero atomico) presenti nell'atomo, si definiscono i vari elementi: idrogeno H, ossigeno O, ferro Fe etc. Si osserva che ogni atomo è elettricamente neutro e per questa ragione il nucleo deve contenere delle particelle che hanno carica elettrica positiva i protoni, p , in numero eguale a quello degli elettroni. Si è scoperto che il nucleo è di gran lunga più massiccio ("più pesante" diremmo in linguaggio comune) degli elettroni. La ragione è duplice: a) i protoni sono più pesanti degli elettroni; b) il nucleo è composto da un altro tipo di particella neutra elettricamente chiamata neutrone, n , avente la stessa massa del protone.

Elettroni, protoni e neutroni formano il primo insieme di particelle subnucleari scoperte nella Fisica Nucleare e costituiscono le principali componenti della materia ordinaria (vedi Figura 1). In realtà nel corso del XX secolo sono state scoperte altre particelle elementari come i quark ed i gluoni (particelle che risentono dell'interazione forte), i muoni ed i taoni (particelle che risentono dell'interazione elettromagnetica e debole) e i neutrini (particelle che risentono solo dell'interazione debole). Questo Universo Subnucleare e le sue proprietà sono state ricostruite essenzialmente mediante due tipi di sperimentazioni: la rivelazione dei raggi cosmici e gli esperimenti di urti di particelle che si tengono presso i grandi acceleratori, come quelli già costruiti (LEP) o in costruzione (LHC) al Centro Europeo di Ricerche Nucleari (CERN) di Ginevra² (vedi Figura 2).

ADRONI	BARIONI	p, n, Λ, Σ , et cet.	INTERAZIONE NUCLEARE FORTE
	MESONI	π, K, ρ, ω , et cet.	
LEPTONI	e^-, ν_e μ^-, ν_μ τ^-, ν_τ	$e^+, \bar{\nu}_e$ $\mu^+, \bar{\nu}_\mu$ $\tau^+, \bar{\nu}_\tau$	INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA e NUCLEARE DEBOLE

Tabella 1: Principali particelle elementari scoperte e loro classificazione. Sono indicate le interazioni di cui risente ogni tipo di particella. Per i leptoni sono indicate le rispettive antiparticelle.

Degli esperimenti con i raggi cosmici parleremo diffusamente nel seguito. A proposito degli esperimenti con gli acceleratori è opportuno menzionare il fatto che queste macchine producono diversi tipi di particelle e le accelerano, talvolta, a velocità prossime a quelle della luce, limite insuperabile secondo la teoria della relatività einsteiniana. Gli urti tra le particelle, che viaggiano a queste velocità, permettono di studiare le proprietà più nascoste della materia e di produrre altri tipi di particelle, che in condizioni standard non sarebbero generate.

Gli esperimenti con le macchine acceleratrici di particelle hanno permesso di studiare vari fenomeni che adesso andiamo a descrivere³. Oltre i protoni e i neutroni vi sono altre particelle denominate secondo le lettere greche dell'alfabeto: $\Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega$ etc. Tutte queste particelle formano la classe dei barioni e sono le particelle elementari più massicce conosciute in natura. I barioni si scambiano le interazioni tramite particelle più leggere chiamate mesoni. Tra i più importanti mesoni si devono menzionare i pioni (π) e i kaoni (K). I mesoni e i barioni

sono composti da ulteriori particelle elementari denominate quarks e gluoni. Tutte queste particelle interagiscono principalmente tramite l'interazione nucleare forte ovvero l'interazione che tiene legati i nuclei tra loro e si definiscono adroni. Un altro gruppo di particelle elementari ampiamente investigato negli acceleratori è composto dai leptoni ovvero: elettroni, muoni, μ , e taoni τ e dai rispettivi neutrini: ν_e , ν_μ , ν_τ . Questo tipo di particelle interagisce tramite due forze: l'interazione elettromagnetica e l'interazione nucleare debole. L'interazione elettromagnetica è ben conosciuta, infatti governa la maggior parte delle apparecchiature presenti nella vita quotidiana (elettrodomestici e telefono, tanto per fare due esempi). L'interazione nucleare debole è alla base della radioattività naturale. Un esempio è dato dal decadimento dei nuclei radioattivi utilizzato nei radiofarmaci. A tutte queste particelle (vedi Tabella 1) si sono aggiunte nel corso degli ultimi decenni la scoperta e lo studio delle caratteristiche delle relative antiparticelle come: positrone (e^+), anti-protone (\bar{p}), anti-neutrone (\bar{n}), anti-neutrino ($\bar{\nu}$) etc. Questi oggetti hanno molte proprietà identiche rispetto ai loro partner naturali. Quando reagiscono con i loro omologhi normali, le antiparticelle producono generalmente quanti di radiazione elettromagnetica, i fotoni γ . Ad esempio, elettrone e positrone, quando urtano tra loro, reagiscono producendo due fotoni ovvero in simboli: $e^+ e^- \rightarrow 2\gamma$.

Negli acceleratori le particelle sono prodotte artificialmente attraverso complicate ed alquanto costose procedure. Gli esperimenti con queste macchine sono particolarmente adatti a studiare le interazioni fondamentali della materia, in quanto le particelle e le antiparticelle sono create in condizioni controllate e di loro si conoscono tutte le loro caratteristiche dinamiche (massa, velocità, direzione etc.).

Viceversa, le particelle cosmiche sono originate da fenomeni naturali in maniera diffusa in tutto l'universo⁴. Le loro proprietà dinamiche non possono essere stabilite a priori, ma possono essere solo rivelate. Esse sono caratterizzate da alti flussi di particelle prodotti ad elevata energia. Il flusso di particelle è definito come il numero di particelle prodotte nell'unità di superficie e nell'unità di tempo. Fasci di particelle con queste caratteristiche non sono attualmente riproducibili in laboratorio. I raggi cosmici viaggiano praticamente indisturbati nel mezzo interstellare che è estremamente rarefatto, di conseguenza essi bombardano costantemente l'intero cosmo e naturalmente anche il nostro pianeta. La loro origine è legata a fenomeni importantissimi che avvengono o sono avvenuti lontano sia nello spazio che nel tempo. Uno di essi è il Big Bang ovvero la "Grande Esplosione", che ha portato alla nascita dell'universo. Altri processi di produzione sono collegati alla nascita e alla fine delle stelle (il nostro Sole è una stella) ovvero, nel caso più generale, ai processi di modificazione delle intere galassie (insiemi di stelle). Entrambi questi eventi hanno manife-

stazioni catastrofiche e producono effetti di tipo esplosivo come le *Novae* e le *SuperNovae*. Nelle condizioni in cui si trova la materia durante queste esplosioni (alte densità di materia, elevate temperature e grande emissione di energia sotto varie forme) si genera una serie di particelle elementari e soprattutto antiparticelle, che vengono espulse con notevole energia e quindi hanno la forza necessaria per attraversare l'intero universo. Queste particelle cosmiche sono, quindi, messaggere di quanto accade o meglio è accaduto durante le esplosioni di questi oggetti. Se rivelate, esse forniscono informazioni essenziali sulle galassie lontane e pongono limiti severi ai modelli astrofisici, che cercano di spiegare la creazione delle stelle, ed ai modelli cosmologici, che descrivono invece la nascita dell'universo. Si vuole, infine, notare che molti degli eventi che intendiamo studiare (Big Bang, esplosione di *SuperNovae*, etc...) sono avvenuti milioni o addirittura miliardi di anni fa. Le particelle cosmiche hanno viaggiato nello spazio e nel tempo fino a noi. Quindi, lo studio di queste particelle permette anche un'analisi dell'evoluzione temporale dell'universo dalla sua nascita, 15 miliardi di anni fa, sino ad oggi.

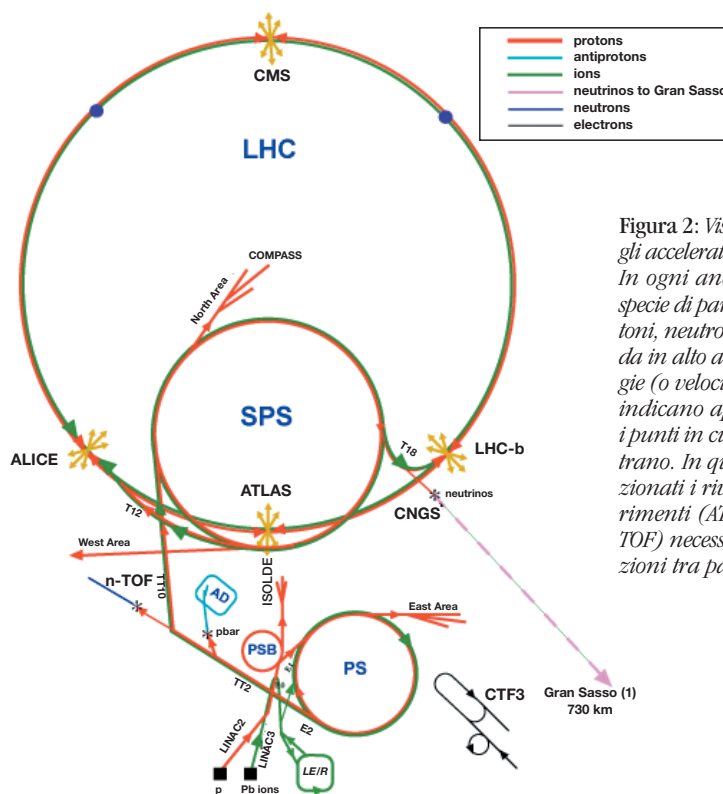


Figura 2: Vista schematica di tutti gli acceleratori operanti al CERN. In ogni anello ruotano diverse specie di particelle (elettroni, protoni, neutroni et cet...vedi legenda in alto a destra) a varie energie (o velocità). Le scritte in nero indicano approssimativamente i punti in cui le particelle si scontrano. In questi punti sono posizionati i rivelatori dei vari esperimenti (ATLAS, CMS, ALICE, n-TOF) necessari a studiare le reazioni tra particelle.

Per concludere, si vuole evidenziare come gli studi sulle particelle cosmiche sono legati a studi in campi completamente diversi dalla Fisica delle Particelle. Si pensa, infatti, che gli sciami cosmici possano essere correlati con le mutazioni climatiche attraverso il campo magnetico della Terra e del Sole. Non solo, ci sono numerosi legami con la biologia. Infatti, gli studi effettuati sulle cellule irradiate hanno mostrato importanti e significative variazioni genetiche di questi organismi elementari non sempre di tipo degenerativo. Sulla base di queste esperienze, si può ipotizzare che le mutazioni genetiche negli esseri viventi siano sostanzialmente innescate da flussi elevati di radiazioni, in cui i raggi cosmici giochino un ruolo predominante. Molti altri esempi potrebbero essere riportati, per i quali si rimanda alla bibliografia⁵. Tuttavia, è da sottolineare l'interesse che questo tipo di studi stanno esercitando tra gli addetti ai lavori e nell'opinione pubblica.

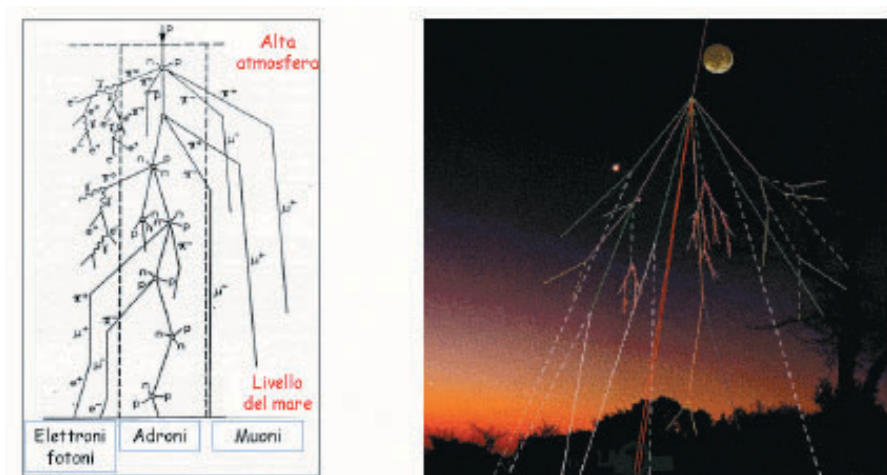


Figura 3: Immagini schematica (sinistra) e pittorica (destra) di uno sciame esteso di particelle indotto dall'interazione di un raggio cosmico primario con un nucleo dell'atmosfera terrestre.

Gli Esperimenti con i Raggi Cosmici

Le particelle cosmiche finora rivelate sono di due tipi: primarie e secondarie. Le particelle primarie provengono direttamente dai siti galattici sotto osservazione. Quando entrano nell'atmosfera terrestre queste particelle urtano e reagiscono con i nuclei e le particelle presenti nell'atmosfera terrestre, generando a loro

volta raggi cosmici secondari (sciame cosmico) (vedi Figura 3). Il meccanismo di produzione degli sciami è utile per capire dove e come eseguire questo tipo di misure. Infatti, gli esperimenti si dividono in due classi: gli esperimenti a terra o a bassa altitudine e gli esperimenti in volo o ad alta quota. Gli esperimenti a terra devono tenere conto del numero elevato di particelle secondarie prodotte. In questo caso, il numero di particelle rivelate sarà maggiore e la loro energia media sarà più bassa. Infatti, per un ben noto principio fisico, l'energia totale della particella primaria incidente si deve conservare e così viene distribuita tra i molti prodotti della reazione. Negli esperimenti ad alta quota, viceversa, le condizioni sperimentali di rivelazione sono più pulite. Il numero di particelle da registrare risulta minore e le particelle in media hanno un'energia superiore. In questo tipo di esperimenti i problemi maggiori sono di natura tecnica.

In realtà questa classificazione è alquanto grossolana e non tiene conto delle varie possibilità. Gli esperimenti a terra, specie quelli più innovativi, sempre più di rado si effettuano sulla superficie terrestre, generalmente avvengono in siti particolari, come in miniere, ad esempio HOMESTAKE in South Dakota⁶; sotto grandi montagne, ad esempio MACRO ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso⁷ dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN); nelle profondità marine, come l'esperimento NEMO⁸ dell'INFN, che si svolgerà al largo di Catania oppure sotto la calotta ghiacciata del Polo Sud per l'esperimento ICE3⁹. Questi siti sono stati scelti in base ad un criterio preciso, minimizzare i segnali di fondo provenienti da altre sorgenti di radiazione ed ottimizzare, quindi, la ricezione dei segnali di maggior interesse. I fondi di radiazione sono in larga parte dovuti a due sorgenti: i raggi cosmici secondari di bassa energia e la radioattività naturale. Ovviamente questi fondi di radiazione nascondono i segnali principali che si vogliono rivelare, cioè i raggi cosmici primari. I siti (sotteranei o sottomarini), che abbiamo indicato, generalmente schermano i raggi cosmici secondari meno energetici e per questo meno penetranti dei raggi cosmici primari e con accorgimenti opportuni minimizzano la radioattività naturale.

Gli esperimenti in volo sono generalmente di due tipi: quelli condotti su palloni aerostatici e quelli condotti su satelliti. Il primo tipo di misure, effettuate per esempio nell'esperimento WIZARD¹⁰, cerca di minimizzare i fondi indotti da altre sorgenti salendo in quota fino agli strati più esterni dell'atmosfera a circa 10 km dalla superficie terrestre. In questi strati le reazioni dei raggi cosmici primari con i nuclei dell'atmosfera sono meno probabili e quindi vengono osservati più facilmente i fenomeni di interesse. I satelliti, come GLAST¹¹, non hanno questo tipo di problematiche, perché operano completamente al di fuori dell'atmosfera terrestre. In questo tipo di esperimenti, come detto, i problemi sono di natura prevalentemente tecnica, in quanto è complicato e costoso portare in orbita questo tipo di oggetti. Le strumentazioni hanno dimensioni

e funzionalità ridotte e devono dare garanzia di robustezza e di buon funzionamento anche in condizioni critiche. Si pensi, ad esempio, alle sollecitazioni che devono subire gli strumenti e gli equipaggi al momento del lancio dei vettori o al passaggio tra i vari strati dell'atmosfera terrestre, dove pressione, temperatura e composizione chimica variano in maniera repentina.

L'esperimento "Extreme Energy Events".

L'esperimento *Extreme Energy Events* (EEE) consiste nel rivelare gli sciame cosmici di più alta energia che giungono sulla superficie terrestre. Il Progetto EEE è strutturato su base modulare e prevede che in numerose scuole d'Italia (Licei o Istituti Tecnici) venga costruito un modulo di apparato sperimentale, ossia un "telescopio" di rivelatori denominati *Multigap Resistive Plate Chamber* (MRPC), dedicato all'osservazione e alla misura delle particelle cosmiche. In ogni scuola i ragazzi parteciperanno alla realizzazione e alla messa in funzione del telescopio. Potranno così rendersi conto di come si impiegano materiali semplici per costruire uno strumento di altissima precisione, fondamentale per l'investigazione nel campo scientifico. Partendo da questi segnali, gli studenti potranno partecipare in prima persona all'elaborazione dei dati fino all'analisi e alla loro interpretazione. I dati che verranno raccolti in ciascuna scuola saranno un contributo originale per lo studio dei raggi cosmici appartenenti alla classe EEE. Il Progetto EEE si articola nelle seguenti fasi:

- 1) Costruzione dei rivelatori MRPC.
- 2) Realizzazione del telescopio con MRPC e messa a punto della strumentazione.
- 3) Presa dati e analisi.
- 4) Confronto con i modelli teorici che predicono la produzione di raggi cosmici.

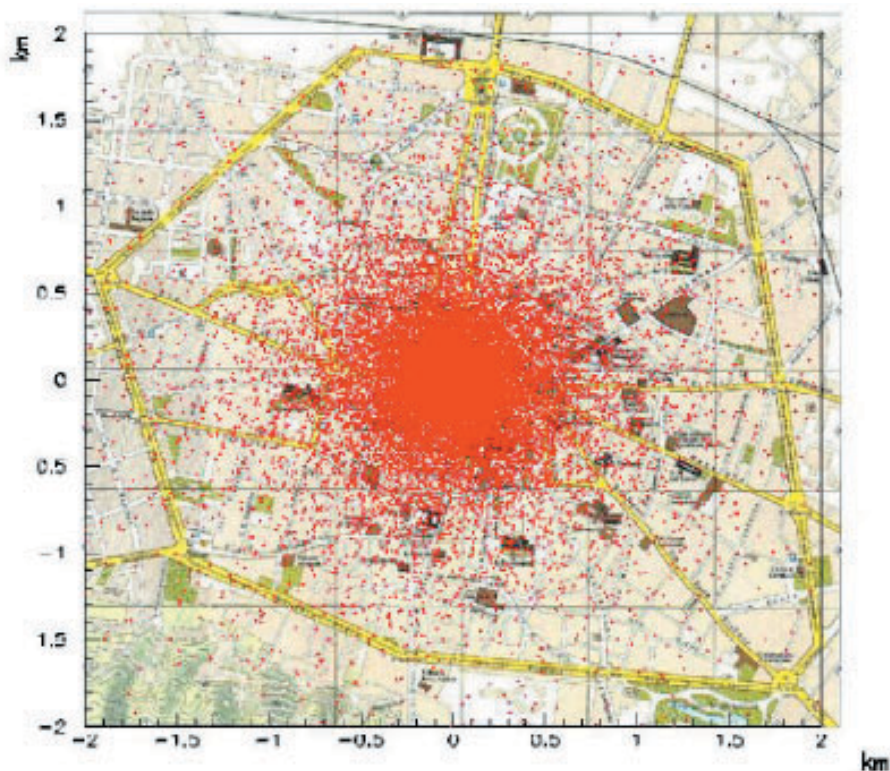


Figura 4: Simulazione al computer di uno sciame cosmico generato a 15 km di quota da un protone di altissima energia. Al suolo arrivano 1 milione di muoni che si distribuiscono su un'area di oltre 10 milioni di m². Nell'esempio i muoni ricoprono la città di Bologna.

Un esempio di sciame cosmico simulato al computer è mostrato in Figura 4. Si osservi l'alto numero di particelle secondarie prodotte e la grande apertura angolare ovvero l'angolo che si forma tra il vertice d'interazione della particella primaria (in Figura 4 il vertice d'interazione è a 15 km di quota) e i punti a Terra dove la particella è rivelata. Come menzionato in precedenza, gli esperimenti in superficie soffrono del rumore provocato dalle particelle cosmiche secondarie e da quelle che decadono a causa della radioattività naturale. Per evitare di accecare gli strumenti a causa di questi effetti, si è deciso di costruire rivelatori che selezionino solo gli eventi di altissima energia. Purtroppo, questi eventi sono più rari degli altri e quindi sono più difficilmente osservabili. La possibilità di avere un gran numero di scuole partecipanti sia in Italia che in Europa ha un duplice vantaggio: se si copre una vasta area geografica in modo omogeneo

e continuo la probabilità di rivelare tutte le diramazioni dello sciame cosmico aumenta (vedi Figure 3 e 4); d'altra parte, l'alto numero di strumenti operanti a terra permette di aumentare significativamente la probabilità di rilevare almeno una parte dello sciame stesso.

Il rivelatore di particelle alla base del telescopio denominato MRPC è stato inventato¹² allo scopo di misurare con grande precisione sia temporale che spaziale il tempo di volo delle particelle subnucleari (muoni, elettroni, etc.). Il suo principio di funzionamento è quello di un semplice condensatore piano nella cui intercapedine è presente un gas. Una particella dotata di carica elettrica, nell'attraversare il gas, vi lascia una scia di cariche elettriche in virtù del fenomeno detto "ionizzazione". Infatti, vi è una certa probabilità che la particella incidente urti un atomo (o molecola) del gas e che da quest'ultimo salti fuori un elettrone. L'atomo (o molecola) è inizialmente neutro, ossia con carica elettrica totale nulla, per effetto della compensazione di tutte le cariche elettriche presenti al suo interno. Avendo perso un elettrone in seguito all'urto, l'atomo (o molecola) diventa uno ione con carica positiva. La particella incidente ionizza vari atomi (o molecole) lungo il suo percorso e genera così una scia di cariche. Il fenomeno è di natura elettromagnetica e non avviene se la particella incidente è priva di carica elettrica. Le cariche elettriche generate nel gas all'interno del condensatore si muovono verso le armature del condensatore stesso: gli elettroni verso l'armatura positivamente carica (detta anodo), gli ioni positivi verso l'armatura negativamente carica (detta catodo) (vedi Figura 5). Il movimento di queste cariche verso le armature è all'origine del segnale elettrico indotto sulle armature. È questo segnale elettrico che viene usato per rivelare il passaggio della particella. Per essere sicuri di rivelare ogni particella carica che attraversa il gas, è necessario che il segnale prodotto sulle armature sia sufficientemente grande. Ciò è possibile se lo spessore di gas nell'intercapedine è adeguato e se il campo elettrico nel condensatore è molto elevato, ossia se la differenza di potenziale tra le armature è molto grande (in tal caso si dice che il sistema è operato ad alta tensione). Infatti, gli elettroni prodotti nel gas per ionizzazione, essendo circa duemila volte più leggeri degli ioni, vengono fortemente accelerati dal campo elettrico e sono in grado, a loro volta, di ionizzare altri atomi (o molecole) del gas. Si creano così, per moltiplicazione del numero iniziale di cariche di ionizzazione, delle piccole valanghe elettromagnetiche lungo il percorso della particella incidente. Il moto collettivo delle valanghe verso le armature assicura che il segnale sia ben evidente e, dunque, che il dispositivo abbia un'elevata efficienza di rivelazione delle particelle incidenti.

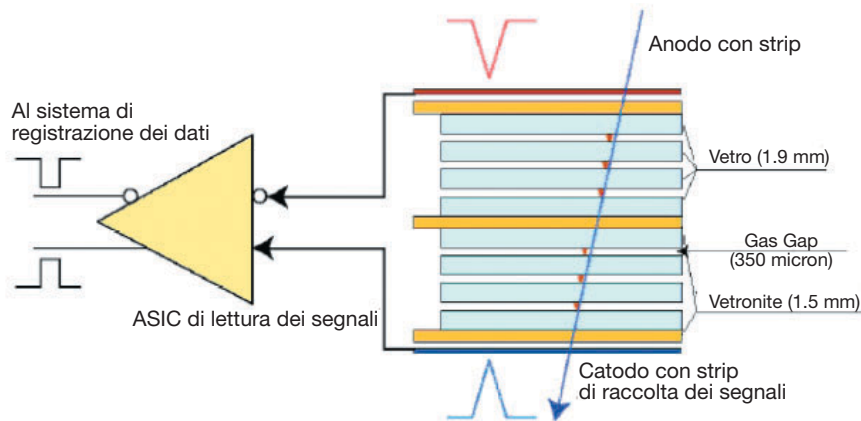


Figura 5: Rappresentazione schematica del rivelatore MRPC e del suo sistema di lettura e acquisizione dati.

Il sistema di rivelazione modulare del Progetto EEE, che sarà installato in ogni Scuola, è un telescopio costituito da tre piani di rivelatori MRPC (Figura 6). Ogni piano sarà capace di misurare con grande precisione il punto d'impatto (accuratezza spaziale) della particella cosmica incidente e il suo tempo di attraversamento (precisione temporale). L'area sensibile di ogni piano è di $1.6 \times 0.82 \text{ m}^2$. Il sistema di lettura dei segnali avviene tramite elettrodi metallici suddivisi in strisce longitudinali (strip), ciascuna lunga 1.6 m e larga 34 mm. La precisione nella determinazione della coordinata trasversale del punto d'impatto sarà dunque di 34 mm, ma potrà anche risultare migliore nel caso in cui due strisce vicine diano segnale. Ogni striscia sarà connessa, a ciascuna delle sue estremità, con un sistema elettronico di lettura e di acquisizione del segnale. La differenza in tempo tra i segnali ai due estremi di ogni striscia produrrà la coordinata longitudinale del punto d'impatto, con una precisione di circa 1 cm. Gli elettrodi a striscia saranno posizionati in corrispondenza alle due superfici esterne del rivelatore. Tramite la misura della posizione dei tre punti d'impatto (uno per piano) sarà quindi possibile ricostruire la traiettoria rettilinea della particella che ha attraversato il telescopio. Sarà inoltre possibile conoscere il verso di attraversamento della particella (dall'alto verso il basso o viceversa) grazie alla misura del suo tempo di volo tra un piano e l'altro. Ogni rivelatore consisterà in una pila di lastre di vetro intervallate da sei strati di gas. Un elettrodo centrale suddividerà la pila in due sotto-pile di tre strati ciascuna, in maniera tale da poter applicare l'alta tensione separatamente a ognuna di esse. Ciò consentirà di utilizzare una tensione di lavoro inferiore ai

5000 Volt. Il sistema di alimentazione in tensione dei rivelatori MRPC sarà gestito tramite calcolatore. Il gas che flusserà attraverso il rivelatore MRPC sarà del Freon ($C_2F_4H_2$) puro, non infiammabile e facilmente reperibile poiché comunemente utilizzato nei dispositivi di refrigerazione (frigoriferi, condizionatori d'aria). Il telescopio sarà quindi dotato di un opportuno sistema di gas controllato tramite calcolatore.

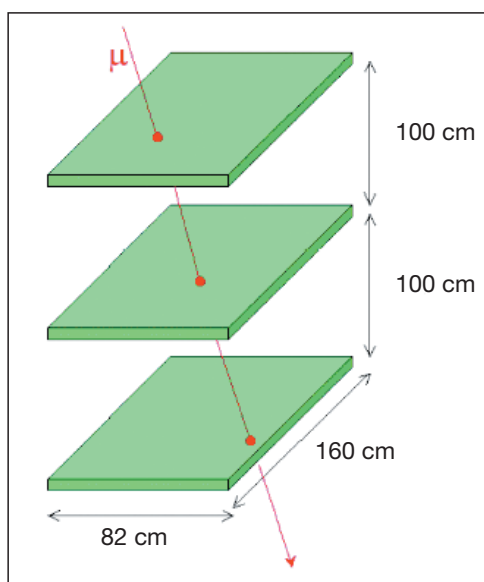


Figura 6: Schema del Telescopio EEE formato da tre piani di rivelatori MRPC.

Per la lettura e l'acquisizione dei dati¹³, a ogni telescopio sarà associata una catena elettronica costituita da: a) un sistema per l'amplificazione e la discriminazione dei segnali forniti dagli elettrodi terminali dei rivelatori MRPC; b) un sistema detto di conversione, per la digitalizzazione delle informazioni acquisite; c) un sistema detto di *trigger*, per la selezione delle particelle. La catena elettronica sarà connessa con un calcolatore tramite un'opportuna scheda elettronica di interfaccia. Il calcolatore sarà a sua volta connesso in rete (Internet).

Il telescopio di ogni scuola, collocato all'interno dell'edificio scolastico, sarà dunque in grado di acquisire dati e di trasmetterli via rete ad un opportuno centro di raccolta. Ogni telescopio sarà inoltre geograficamente localizzato e

temporalmente sincronizzato via satellite tramite un sistema GPS. È dunque prevista anche l'installazione di un'apposita antenna GPS. Così facendo i telescopi delle varie Scuole potranno essere messi in coincidenza in fase di analisi dei dati, allo scopo di rivelare eventi cosmici aventi diverse caratteristiche, ad esempio: gran numero di ramificazioni, grande apertura angolare e/o eventi estremamente energetici. Ogni tipologia di sciame può fornire informazioni specifiche sui modelli di produzione delle particelle cosmiche e quindi merita di essere rivelato ed analizzato con la massima accuratezza. I dati trasmessi da tutti i telescopi nelle varie scuole saranno raccolti e archiviati presso il CNAF dell'INFN di Bologna. L'analisi dei dati sarà effettuata tramite il sistema innovativo di calcolo distribuito GRID, usufruendo dell'esperienza del CERN e dell'INFN in tale settore.

Conclusioni

In conclusione, vogliamo riassumere e sottolineare gli aspetti fondamentali dell'intero progetto. Lo studio dei raggi cosmici è importante in diversi campi delle Scienze. I raggi cosmici sono un insostituibile laboratorio per la Fisica delle Particelle. Essi, infatti, forniscono indicazioni fondamentali sia sulla presenza di nuove particelle elementari sia sulle proprietà di quelle già scoperte. Dal punto di vista astrofisico e cosmologico, questi oggetti sono messaggeri di quello che è accaduto milioni se non addirittura miliardi di anni fa in galassie lontane ed attualmente inaccessibili con qualsiasi altro mezzo di rivelazione. Infine, i raggi cosmici sono alla base di studi che riguardano l'evoluzione degli esseri viventi, l'evoluzione delle specie viventi sulla Terra e l'evoluzione geologica stessa del nostro pianeta. Tutte queste ragioni ci inducono a studiare in maniera molto approfondita queste tematiche, ricorrendo alle più raffinate sperimentazioni.

Allo stesso tempo l'interesse ed il fascino di questi studi ci inducono a coinvolgere le giovani generazioni attraverso la scuola, al fine di diffondere la cultura scientifica. L'esperimento *Extreme Energy Events* ha anche questo scopo. Il Progetto EEE potrà portare la Scienza nel cuore dei giovani, facendoli diventare protagonisti nella costruzione di uno strumento e nella elaborazione di dati che sono alle frontiere del pensiero scientifico.



Bibliografia

¹A. Zichichi (ed.), *Progetto La Scienza nelle Scuole. EEE Extreme Energy Events*, Bologna 2005.

²Per una conoscenza completa ed approfondita di cosa è il CERN oggi e cosa diventerà domani visitate il sito web: www.cern.ch.

³M. Basile et al., *Search for quarks in proton-proton interactions*, in “Nuovo Cimento”, Vol. 45A, 1978, p. 171.

⁴Aa. Vv., LVD, *Muon depth intensity relation measured by LVD underground experiment and cosmic-ray muon spectrum at sea level*, in “Physical Review D”, Vol. 58, 1998, p. 092005 .

⁵J.-M. Griessmeier, Cosmic Ray Impact on Extrasolar Earth-Like Plants in Close-in Habitable Zones, in “Astrobiology”, Vol. 5, 2005, p. 587.

⁶B. R. Martin e G. Shaw, *Particle Physics*, Wiley & Sons, New York 1999.

⁷M. Calicchio et al., *The MACRO Detecotr at the Gran Sasso Laboratory*, in “Nuclear Instruments and Methods A”, 264, 1988, p.18.

⁸E. Migneco et al., *Status of NEMO*, in “Nuclear Instruments and Methods A”, Vol. 567, 1996, p. 444.

⁹W. Chinowsky et al., *The IceCube prototype string in Amanda*, in “Nuclear Instruments and Methods A”, Vol. 556, 2006, p. 169.

¹⁰M. Circella et al., *Measurements of primary cosmic-ray hydrogen and helium by the WiZard collaboration*, in “Advances in Space Research”, 27, 2001, p. 755.

¹¹J. E. McEvery et al., *The GLAST Large Area Telescope*, in “Bulletin of the American Astronomical Society”, Vol. 36, 2004, p. 1345.

¹²E. Cerron Zeballos et al., *A New Type of Resistive Plate Chamber: The Multigap RPC*, in “Nuclear Instruments and Methods A”, Vol. 374, 1996, p. 132.

¹³M. Caporaloni and R. Ambrosini, *Time Synchronization measurements with a combination of GPS receiver and the Internet*, in “The European Journal of Physics”, Vol. 22, 2001, p. 351.

