

I RAGGI COSMICI: IERI, OGGI, DOMANI di Piero Spillantini

L'articolo descrive l'attuale stato delle ricerche nel campo dei raggi cosmici galattici ed abbraccia tutte le tematiche con un approccio storico che parte dalla esperienza personale dell'autore nel suo progressivo inserimento nel campo. Termina tracciando le linee essenziali del possibile sviluppo nel prossimo futuro.

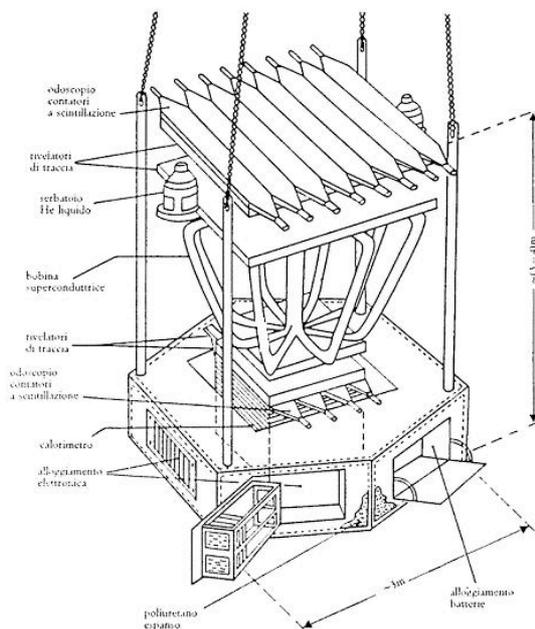
IL MIO PRIMO INCONTRO

Cominciò nel 1979, con il seminario di Peter Kiraly ai laboratori di Frascati. Fino ad allora per me i raggi cosmici erano particelle che, arrivando dall'alto, davano un po' di utili impulsi nei rivelatori, ed erano inoltre un fondo da combattere quando gli eventi da studiare prodotti agli acceleratori erano molto rari. Kiraly parlò di un eccesso di antiprotoni nei raggi cosmici, il cui studio sembrava aprire nuovi orizzonti alla conoscenza dell'universo. Non potei astenermi dall'immaginare subito come i nuovi rivelatori che da Frascati stavano diffondendosi un po' dovunque, i famosi tubi *streamer* alla 'Iarocci', potessero formare un grande cubo in cui fossero visualizzabili le interazioni di annichilazione degli antiprotoni alla fine del loro percorso. Peccato che il cubo dovesse essere proprio grande, e pesante, difficile da esporre ai raggi cosmici in orbita, od anche solo su palloni stratosferici al top dell'atmosfera terrestre! Ma ero o no noto in Italia ed al CERN per la 'passione' per i campi magnetici toroidali? E dove meglio utilizzarli se non come una grande lente magnetica per concentrare su questo cubo visualizzante gli antiprotoni e deviare i protoni? Nacque così, con Giulio Auriemma e Maurizio Spadoni, il primo schema di progetto di uno spettrometro magnetico complementato da un calorimetro visualizzante (il cubo di tubi *streamer*, appunto) da far volare su pallone stratosferico. Mi piace riprodurre in fig.1 come ce lo immaginavamo e come fu poi illustrato con uno sketch nella rivista della SIF¹.

Il seminario di Kiraly capitò proprio nel bel mezzo di un periodo di attività per me già molto intenso: era ancora intensa l'attività di analisi dei dati recentemente raccolti all'SPS, avevo appena avuto un impegnativo incarico di tipo organizzativo, ed inseguivo con determinazione una idea di apparato quasi

interamente calorimetrico per il costruendo LEP², idea che fu proprio allora integrata nel progetto L3.

Figura 1. Primo schema di progetto di uno spettrometro magnetico



Per L3 si stava procedendo con numerose riunioni in USA ed in Europa, fino alla proposta e poi successivamente nella costruzione dei prototipi. Ma degli antiprotoni e del cubo visualizzante non mi dimenticai certo.

LA COSTANZA È PREMIATA.

Quando finalmente alcuni anni più tardi a Firenze (dove nel frattempo mi ero spostato) riuscimmo a realizzare e far funzionare i primi tubi *streamer* in ottone per il calorimetro adronico di L3, avevamo in mano lo strumento per realizzare il 'cubo visualizzante' adatto a rivelare gli antiprotoni dei raggi cosmici. Diversi anni più tardi, nel 1989, sarà proprio un calorimetro costruito

¹ "MASS: uno Spettrometro Spaziale per Materia ed Antimateria", Il Nuovo Saggiatore, 3*1985*1 pag.21

² Tra l'altro in polemica con lo studio del grande apparato 'dinosaurio' che allora dominava le discussioni e i *workshops*.

riutilizzando i tubi *streamer* di una torre prototipo di *L3* ad essere portato al top dell'atmosfera su un pallone stratosferico e rivelare i primi nostri antiprotoni. Ma andiamo con ordine.

Siamo ancora nel 1982, con il gruppo magneti dei laboratori di Frascati impegnato nel progetto di una lente magnetica molto leggera, una bella idea di Spadoni, ottenuta avvolgendo un cavo superconduttore bucato al centro come un bucatino per l'amatriciana e riempito di elio liquido, percorso da tanta corrente ed inguainato in un tubo che lo mantenesse isolato nel vuoto. È l'avvolgimento che si vede in fig. 1. Ma ancora in quanto ad occasioni di collaborazione con chi operava palloni stratosferici di grande portata (solo la *NASA* in quel periodo) e collaboratori per formare la squadra, niente di concreto.

Stavo procedendo con la realizzazione di prototipi ed i test dei tubi *streamer* in ottone per *L3*, finché nel 1984 a Brookhaven in una riunione della collaborazione *L3* in concomitanza con una riunione della commissione *IUPAP*, ebbi modo di parlare della impostazione sperimentale per un apparato per misurare il flusso di antiprotoni nei raggi cosmici con un membro della commissione *IUPAP*, Tom Gaisser, un'autorità nel campo dei raggi cosmici. Subito egli telefonò a Jonathan Ormes a Washington, ed il giorno dopo tornai in Italia con deviazione New York – Washington – New York, ed entrai in un mondo nuovo. Di questo Ormes divenni presto amico e collaboratore. Egli aveva disegnato un sistema magnetico per una *facility* per raggi cosmici da collocare a bordo di una Stazione Spaziale allora in preparazione. Naturalmente di stazioni spaziali, *facility* per raggi cosmici, e di tutta la storia che ci stava dietro non sapevo nulla. Nella mezz'ora di colloquio che ebbi con lui alla Crystall City di fronte all'aeroporto National di Washington seppi solo declamare le virtù della mia lente magnetica 'concentratrice' e criticare il disegno 'anti-Helmoltz' che egli mi fece vedere.

Proprio perché avevo criticato il suo disegno mi ritrovai da lui cooptato nel gruppo di studio che la *NASA* aveva costituito per studiare una *facility* per raggi cosmici basata su un sistema magnetico con bobine superconduttrici (si chiamava allora *SCMF*, 'Super Conducting Magnetic Facility', poi ribattezzata '*Astromag*', ed è con questo meno ostico nome che vi farò riferimento nel seguito). Andai a trovare Luciano Guerriero,

che conoscevo bene ed era allora responsabile del Piano Spaziale Nazionale. Ne ebbi un pieno, direi entusiastico, supporto, con un *endorsement* ufficiale e il finanziamento della partecipazione al gruppo di studio.

LA 'FACILITY' ASTROMAG.

Partecipai ai lavori del gruppo di studio *Astromag* con assiduità e ciò fu per me una grande esperienza, non solo di conoscenza di problematiche di fisica per me nuove, ma anche delle persone che se ne occupavano. Agli inizi degli anni 80 c'erano diversi gruppi che conducevano ricerche sui raggi cosmici, una comunità non molto piccola, ma molto parcellizzata. Si sarebbe facilmente potuto pensare ad un fenomeno 'residuale' di gente che non era passata a fare esperimenti presso acceleratori e continuava per inerzia ad occuparsi di tematiche 'residuali'. Ma non era affatto così. Le tematiche di fisica erano fondamentali per l'astrofisica, e coinvolgevano anche le nuove idee della fisica delle particelle. Pur tuttavia di singole persone e piccoli gruppi si trattava, ben lontano dalla organizzazione in vaste collaborazioni proprie della fisica delle alte energie, ma già allora operanti anche nell'astrofisica, nell'astronomia e nella fisica solare.

Per la fisica dei raggi cosmici il gruppo di studio per *Astromag* rappresentava veramente un salto di "qualità organizzativa", in cui si tentava di mettere insieme conoscenze e tecniche sperimentali per costruire una impresa comune di grande respiro e grande ambizione scientifica. Quasi tutta l'attività internazionale vi era ben rappresentata: i gruppi della *NASA* e gli altri gruppi nelle altre istituzioni americane, molti europei attivi nel campo³ ed il gruppo giapponese di Akira Yamamoto. Io c'ero capitato per caso, ma mi ci trovai subito bene. Portavo avanti un mio disegno per il 'core' magnetico della *facility* che, tra i molti discussi, fu l'unico che resistette in contrapposizione al disegno 'anti-Helmoltz' di Jonathan Ormes, e che servì a far entrare la industria italiana nel gioco, con attribuzione ad essa della responsabilità della

³ Non c'erano russi, ancora inconcepibile la loro presenza a quel tempo in un campo basato sull'uso di mezzi spaziali (ma ora so che ciò rifletteva anche il calo di attività nel campo dei raggi cosmici in URSS).

realizzazione delle bobine superconduttrici⁴. La responsabilità della realizzazione dello spettrometro magnetico di *Astromag* fu condivisa tra me e George Smoot di *LBL*.

Avevo in mente un duplice disegno 'strategico': cogliere l'occasione di *Astromag* per coinvolgere il più possibile l'industria italiana nello studio e realizzazione di parti di apparecchiature per lo spazio che potessero essere alla sua portata, ed aprire per l'*INFN* un nuovo campo di attività pienamente rispondente ai suoi fini istituzionali ed alla sua storia che potesse costituire una valida alternativa ai sempre meno numerosi e sempre più affollati e complessi esperimenti con gli acceleratori. Tra l'altro stavo imparando che il progresso delle tecniche sperimentali, dei mezzi di volo e delle tematiche stesse della fisica dei raggi cosmici aprivano una stagione di 'revival' del loro studio, propiziatrice di possibili risultati importanti anche per il campo delle particelle elementari. Insomma ero arrivato sull'argomento al momento giusto, tra l'altro come dipendente di un ente, l'*INFN*, che già, con la costruzione dei laboratori sotto il Gran Sasso e la partecipazione ad esperimenti *underground* o sulla superficie terrestre, si avviava per quella strada, anche se ancora con osservazioni molto indirette, alcune delle quali sottoprodotto di altre ricerche, quali la stabilità del protone o la ricerca di monopoli.

Fin dai primi momenti del mio impegno nel gruppo di studio *Astromag* mi dedicai a convincere colleghi a seguirmi in questo disegno, cercando anche di creare un inizio di attività sperimentale su cui attrarli ed investire risorse. L'occasione era a portata di mano: la realizzazione di un calorimetro tracciante molto compatto (e cosa meglio dei tubi a *streamer* in ottone di cui ho detto sopra?) per la 'New Mexico Balloon Facility' della *NASA*, che altro poi non era che lo spettrometro con magnete superconduttore con cui Robert Golden aveva a suo tempo rivelato i primi antiprotoni nei raggi cosmici⁵.

⁴ L'ing. Sergio Barabaschi rese disponibile personale Ansaldo per il progetto, che partecipò anche alle riunioni del gruppo di studio per *Astromag*. In seguito i membri dello *steering committee* del gruppo di studio visitarono l'Ansaldo con cui misero a punto i dettagli della realizzazione delle bobine.

⁵ Robert Golden, della New Mexico State University, era stato il primo (in contemporanea con il gruppo russo dell'istituto Joffe di Leningrado) a rivelare antiprotoni nei raggi cosmici.

Questo Golden era una persona di una vivacità, cultura e, qui lasciatemelo dire, bontà unica, uno dei membri più autorevoli del gruppo di studio di *Astromag*. Egli voleva continuare a misurare con voli su pallone stratosferico la componente di antimateria nei raggi cosmici, e provare nel contempo i nuovi tipi di rivelatori che si intendeva usare per gli esperimenti con la *facility Astromag* a bordo della Stazione Spaziale "Freedom". In quegli anni ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'*INFN* dividevo l'ufficio con Giuseppe Basini: fu il primo entusiasta 'sostenitore' del mio approccio, e trascinatore di altri: il giovane Marco Ricci, e poi Antonio Codino e Piergiorgio Picozza, mentre insieme si 'irretiva' anche Guido Barbiellini.

Nacque così un consistente gruppo italiano, fedelissimo alleato di Robert Golden nella formazione della proposta per l'esperimento che poi chiamammo *WIZARD* e nella competizione per la sua selezione per *Astromag*. E nel 1990 *WIZARD* fu selezionato per essere installato per primo lassù in orbita! Troppo bello per credere veramente che ciò stesse per realizzarsi. Già quando lo *Challenger* era esploso quattro anni prima, un primo brivido aveva percorso e turbato i sogni di tutti, i voli degli *Shuttle* erano stati sospesi, la realizzazione della stazione ritardata. Proprio nello stesso periodo erano stati sospesi anche i lanci di palloni stratosferici, in attesa di riuscire a produrre palloni più affidabili. Tuttavia la progettazione e lo sviluppo dei prototipi per la stazione spaziale erano proseguiti, e con essi i preparativi per la *facility* per i raggi cosmici che ci doveva ospitare.

LA "FREEDOM": SI CHIUDE!

La chiusura del programma della Stazione Spaziale "Freedom" avvenne appena un anno dopo, nel 1991. Fu improvvisa, uno *shock* per i molti programmi che vi afferivano. Viene subito in mente lo shock prodotto sulla comunità dei fisici delle particelle elementari dalla chiusura del programma del *Super Sincrotron Collider*, l'*SSC*, in Texas. La ricerca sperimentale nel campo delle particelle ne risentì sicuramente, ed il suo sviluppo ne fu rallentato. Ma nel mondo la fisica delle particelle aveva altre risorse, in Europa con il *CERN*, e poi in molti altri paesi con altre macchine ed iniziative.

Invece per la ricerca sui raggi cosmici poco o nulla rimaneva al di fuori delle ricerche a bordo della Stazione Spaziale "Freedom", non

si davano alternative. Si doveva ripartire dagli esperimenti su palloni stratosferici con la prospettiva di progredire assai lentamente nelle tematiche di fisica da studiare, in attesa di altre occasioni di volo e pagando il prezzo della dispersione della comunità che si era formata attorno a tali ricerche. Insomma più che un rallentamento fu una paralisi quasi totale, da cui solo ora si sta lentamente recuperando, con quasi 20 anni di ritardo già accumulati. Solo una breve sintesi delle tematiche di ricerca sui raggi cosmici può dare la misura di questa paralisi e dei suoi effetti.

OSSERVAZIONE DIRETTA DEI RAGGI COSMICI NELLO SPAZIO: UN SINTETICO SOMMARIO.

È noto l'alto indice dello spettro in energia del flusso dei raggi cosmici: il flusso integrato cala di un fattore tra 50 e 100 per ogni decade di energia. Quando ci si avvicina ad energie molto alte, dove si pongono gli interrogativi più interessanti sull'origine ed accelerazione dei raggi cosmici, il loro flusso è così basso che non c'è speranza di registrarne nello spazio, si deve aspettare e studiare a terra lo sciame di particelle che il raggio cosmico produce nell'atmosfera. Con apparati a terra che ricoprono centinaia, e ora anche migliaia, di km², si è giunti a registrare raggi cosmici di energie sempre più alte, ma se ne ricava ben poco nonostante il numero di fisici e le risorse impiegate ormai da decine di anni, quasi nulla oltre la valutazione del flusso totale.

E poi c'è un'altra difficoltà, la 'proton dominance': 9 raggi cosmici su 10 sono protoni, meno di 1 su 10 nuclei di elio, gli elettroni e positroni meno dell'1% e solo tracce di tutti gli altri nuclei. Proprio questi ci potrebbero dire tanto, ciascuno con la sua storia, come e dove si sono formati, quale processo li ha denudati di tutti gli elettroni e lanciati con enorme energia⁶ nello spazio,

⁶ Il "bulk" è a poco meno di un GeV/nucleone; dice poco detto così ma bisogna pensare che quando furono scoperti era difficile accettare che dallo spazio arrivassero particelle con energie 1000 volte e più superiori alle 'folli' energie con cui erano emesse le particelle dai nuclei radioattivi, scoperti poco prima, già esse emesse ad energie 1000 e più volte quelle con cui anche gli elettroni più energetici riuscivano ad essere espulsi dagli atomi o che si riusciva ad accelerare in laboratorio ricorrendo alle più potenti apparecchiature elettriche!

cosa hanno incontrato o come si sono trasformati durante il lungo viaggio attraverso la galassia. Sono infatti proprio gli spettri energetici di tutti i nuclidi ad essere importanti per l'astrofisica. Ma il gruppo cosiddetto CNO (carbonio, azoto ed ossigeno) ha abbondanze del per mille, il gruppo del ferro del per diecimila, poi il resto dopo il ferro, potenzialmente ancora più ricco di informazione sui processi fondamentali di accelerazione e per i suoi legami con la fisica delle particelle elementari, va da 10⁻⁹ per gli elementi dallo Zirconio al Bario fino a meno di 10⁻¹¹ per gli attinidi.

ASTROFISICA: I GRANDI OSSERVATORI.

Prima di analizzare l'effetto della chiusura della SS "Freedom" sullo sviluppo dei programmi per i raggi cosmici, soffermiamoci un momento, allargando la visuale su tutta l'osservazione dell'universo.

Dal primo momento che apparati scientifici poterono essere lanciati fuori dell'atmosfera, l'osservazione astronomica, confinata fin da sempre alla stretta finestra del visibile, e da pochi decenni anche alla 'giovane' radioastronomia, si allargò includendo lo studio a tutte le lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica che ci arriva dallo spazio, includendo le regioni dell'infrarosso, dell'ultravioletto e dei raggi X e gamma. L'immagine dell'universo ne fu rivoluzionata, nuove inaspettate domande si posero, e per rispondere ad esse era necessario provvedere una presenza continuativa nello spazio di osservatori astronomici che potessero ricoprire tutto lo spettro elettromagnetico non accessibile da terra. Il nuovo rivoluzionario mezzo di volo pianificato dalla NASA, lo Shuttle, avrebbe consentito un tale ambizioso programma, sia per la sua straordinaria capacità di trasporto in termini di massa e volume, sia per la presenza a bordo dello stesso mezzo degli astronauti per la manipolazione degli oggetti trasportati. Ed è così che negli anni '70 furono pianificati e si cominciarono a realizzare i grandi osservatori: l'Hubble Space Telescope (HST) per il visibile, il Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) per gli X duri ed i gamma, l'Advanced X-ray Astrophysics Facility (AXAF)⁷ per gli X soft, ed infine, ultimo

⁷ È la zona di energia dove la rivelazione sperimentale è più difficile e richiede una strumentazione più complessa e costosa. In

messo in orbita alla fine del 2002, la *Space InfraRed Telescope Facility (SIRTF)* per la parte dello spettro elettromagnetico oltre il visibile verso le lunghezze d'onda maggiori.

Il più della radiazione elettromagnetica emerge da processi che producono anche particelle energetiche, e i raggi cosmici divennero una importante componente dell'astrofisica, e quindi del programma dei grandi osservatori. Sono essi infatti all'origine di gran parte dello spettro elettromagnetico, e veri e propri 'pezzetti' di lontanissimi corpi celesti che ci arrivano da enormi distanze, seppure 'smemorati' della posizione della loro sorgente e trasformati per la loro interazione con gli estesi ed intensi campi elettromagnetici che incontrano, ma pur tuttavia preziosi messaggeri per la loro storia individuale e la loro energia. Su invito della *National Academy of Sciences* degli USA la NASA formò un gruppo di studio per integrare il programma dei grandi osservatori con un programma sistematico di studio dei raggi cosmici. Lo schema di tale programma, che doveva ricoprire il decennio dal 1985 al 1995, è riportato in figura 2.

Vale senz'altro la pena esaminare e commentare alcuni punti importanti di tale programma, soffermandoci in particolare sulla *facility* per i raggi cosmici di alte energie e su altri strumenti previsti a bordo della Stazione Spaziale "Freedom", allora in costruzione.

IL PROGRAMMA USA 1985-1995 PER LO STUDIO DEI RC: C'ERA GIÀ TUTTO.

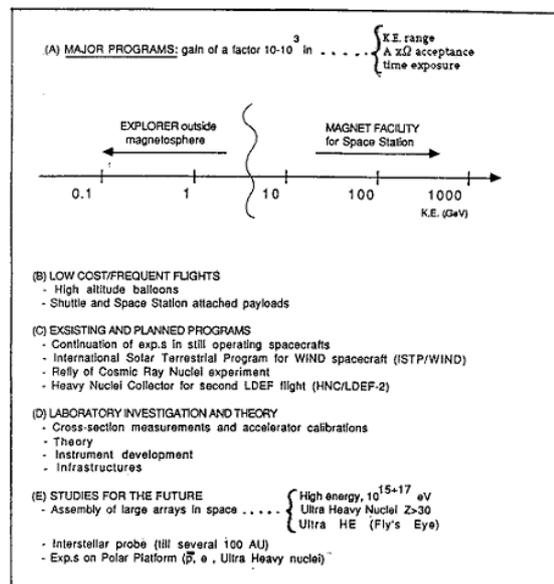
Partiamo dal punto (A) "the major programs", cioè l'*explorer* per le energie fino a pochi GeV e la *facility* magnetica per la stazione spaziale (*Astromag*, anche se ancora non si chiamava così) per le energie più alte. L'*explorer*, che prese poi il nome di 'Advanced Composition Explorer' (*ACE*) è l'unica parte realizzata del programma, se pur in grande ritardo. Finalmente lanciato nell'agosto 1997 sta producendo una gran quantità di dati preziosi sui processi di nucleosintesi, di interazione dei raggi cosmici con il mezzo

ragione di ciò le due funzioni di *AXAF*, individuare sorgenti e studiarne il loro spettro, furono separate in due osservatori distinti, *XMM* realizzato dall'Agenzia Spaziale Europea e lanciato nel 1999, e *CXO* realizzato dalla NASA lanciato anch'esso nel 1999.

interstellare e con il sistema solare stesso per penetrarvi ed arrivare fino a noi.

Figura 2. Programma schematico NASA 1985-95 per lo studio dei raggi cosmici.

TAB. 1 - Particle Astrophysics Program for 1985-1995. Schematic from the report of NASA Cosmic Ray Program Working Group, dec. '85.



ACE opera assai lontano dalla Terra, dovendo misurare raggi cosmici di energia relativamente bassa (ma vedi⁶) e quindi operare ben fuori del disturbo dovuto al campo magnetico terrestre. Ma un *explorer* può avere una massa totale molto piccola, e quindi apparati di piccolissima accettazione, ed è quindi confinato a dare dati alle energie più basse dove i flussi sono sufficienti per le misure. Ad energie più alte doveva lavorare *Astromag*, da collocare necessariamente a bordo della Stazione Spaziale sia per la sua complessità e servibilità sia per permettere l'alternarsi degli esperimenti operati nel suo campo magnetico.

GLI ESPERIMENTI PER ASTROMAG, UN PROGRAMMA LUNGO E RICCO.

Dal lavoro del gruppo di studio per *Astromag* erano nate diverse proposte, almeno 6 se ben ricordo. Tre di esse erano state selezionate per la prima fase della sperimentazione, della durata di 3 anni:

- la proposta *WIZARD* citata sopra per lo studio delle componenti particellari, p, e-, antip ed e+, e per la caccia agli antinuclei;
- una proposta (*LISA*) per lo studio sistematico degli spettri energetici degli elementi e di una ottantina di nuclidi fino al gruppo del ferro, ed

- una terza proposta (*SCINATT/MAGIC*) per ottenere gli spettri energetici degli elementi alle più alte energie possibili per capire il cambiamento di dipendenza del flusso dei raggi cosmici dalla energia nella cosiddetta 'zona del ginocchio', oltre 10^{14} eV/nucleo, dove il flusso diviene così tenue che non si può ottenere un gran che anche con molti esperimenti su palloni stratosferici.

Voglio commentare brevemente i campi di ricerca ricoperti da questi esperimenti, confrontando anche con la situazione sperimentale attuale.

WIZARD e lo studio della componente di antimateria.

Per ciò che riguarda la tematica che doveva essere affrontata da *WIZARD*, la collaborazione proponente non si è dispersa ed ha effettuato diverse misure su palloni stratosferici del flusso dei positroni e degli antiprotoni, ad energie via via più alte, fino a qualche decina di GeV. Lo strumento utilizzato era proprio la 'New Mexico Balloon Facility' citata sopra, operata da Golden, ed equipaggiata con il calorimetro ad immagine di cui si è già parlato, che era il contributo della componente italiana. Il gruppo giapponese che partecipava allo studio di *Astromag* ha costruito e fatto volare più volte su palloni stratosferici uno spettrometro magnetico superconduttore (*BESS*), con il quale ha registrato una grande quantità di antiprotoni a basse energie, sotto la soglia della loro produzione come prodotti secondari nella interazione dei raggi cosmici con il mezzo interstellare; inoltre ha portato il limite di esistenza di nuclei di antielio a meno di 10^{-6} rispetto al flusso di nuclei di elio.

Pur trattandosi di risultati importanti, solo ora, 15 anni più tardi, con gli esperimenti attualmente in preparazione *PAMELA* ed *AMS*, si può affrontare la tematica al livello della proposta *WIZARD* originale. La iniziale collaborazione tra *NASA* ed *ASI* per l'esperimento *WIZARD* era stata impostata su un piano di pari responsabilità, ed aveva coinvolto i colleghi che ho ricordato sopra, e molti altri, per cui attualmente *PAMELA* è prevalentemente italiana con oltre 50 ricercatori italiani coinvolti. Alcuni anni dopo l'inizio della realizzazione di *PAMELA* un gruppo di fisici operanti nel campo delle fisica delle particelle elementari, decise di seguire l'approccio sperimentale di *PAMELA* e propose uno spettrometro magnetico di grande accettazione, l'"*Antimatter Matter Spectrometer*" (*AMS*), da installare sulla costruenda *International Space Station (ISS)*,

nata dalla revisione sia tecnica che organizzativa della *SS "Freedom"*). Anche *AMS*, proprio in ragione della sua storia iniziale, coinvolge un forte impegno italiano. *AMS* sarà installato sulla stazione spaziale qualche anno dopo l'inizio della sperimentazione con *PAMELA*, e fornirà una grande statistica date le sue grandi dimensioni.

LISA e lo spettro in energia dei nuclidi.

Invece poco o nulla è stato fatto e sarà fatto nel prossimo futuro per gli spettri energetici degli 80 nuclidi che avrebbe dovuto misurare *LISA*, alcuni dei quali importanti 'sensori' o perché molto rari, o per la loro instabilità con tempi di decadimento confrontabili con i loro tempi di residenza nella galassia. Non si intravedono ancora imprese sperimentali significative in tale direzione, e per molto tempo ancora i risultati sperimentali verranno solo come sottoprodotto di *PAMELA* ed *AMS*. Negli anni '90 una parte della collaborazione che aveva proposto *LISA* affrontò la realizzazione di uno spettrometro magnetico con bobine superconduttrici a grande accettazione, *ISOMAX*, per proseguire la ricerca in questo campo con voli su pallone stratosferico. Sfortunatamente, dopo un lungo periodo di preparazione ed un ingente investimento lo strumento è andato distrutto in un incidente in seguito ad una errata manovra di recupero del carico in uno dei primi voli.

SCINATT/MAGIC e la composizione chimica al ginocchio.

Ed infine un commento anche sulla tematica della composizione chimica dei raggi cosmici al cosiddetto ginocchio. *SCINATT/MAGIC* avrebbe dovuto utilizzare rivelatori passivi, cioè basati sul deterioramento strutturale di materiali sensibili, da evidenziare con processi chimici una volta che questi materiali fossero riportati a terra dopo l'esposizione nello spazio. Le tecniche erano state a lungo preparate, specialmente dalla componente giapponese con esperimenti di fisica del nucleo agli acceleratori, in particolare all'*SPS* del *CERN*. Dopo la chiusura del programma *Astromag*, i proponenti di *SCINATT/MAGIC* hanno affrontato questa tematica con una serie nutrita di voli su pallone stratosferico dell'apparato *JACEE*. Negli ultimi anni con questo strumento sono stati effettuati anche voli di lunga durata, 10 e più giorni, in Antartide. Alla attività di questa collaborazione si è aggiunta quella di una

collaborazione russo-giapponese, che con vari voli dell'esperimento *RUNJOB* dal Kanchatka alla regione del Volga, contribuisce anch'essa al lento crescere della statistica di eventi di raggi cosmici raccolti alla energia del ginocchio.

Si tratta comunque di una strada troppo lunga, e nessun decisivo progresso nella conoscenza dei meccanismi di accelerazione alle alte ed altissime energie si potrà ottenere per questa via. Ci sono diversi progetti (*ACCESS*, *INCA*, *NUCLEON*) per installare o sulla *ISS* o su satelliti apparati di grandi dimensioni per accrescere significativamente la raccolta statistica, ma per il momento nessuno di loro è finanziato dalle agenzie spaziali oltre il livello dello studio di fattibilità. Si può sperare qualcosa dal possibile convergere di essi in un'unica missione, ma in ogni caso i primi risultati non saranno a tempi brevi. È una problematica fondamentale, ma per almeno 10 anni potrà essere appena scalfita. Anche l'enorme sforzo sperimentale che si sta facendo nella regione del ginocchio con molte ben attrezzate matrici di rivelatori a terra (per esempio *KASCADE*) non promette un gran che data la difficoltà di estrarre una informazione affidabile da misure così indirette.

C'era anche ASTROGAM per i gamma oltre il CGRO.

Voglio anche accennare ad un argomento di grande attualità, fortemente connesso, sia per ragioni di fisica che strumentali, alla misura diretta dei raggi cosmici nello spazio. Si tratta della estensione delle misure del flusso di gamma di alte energie oltre la decina di GeV raggiunta dallo strumento *EGRET* sul *CGRO*, l'osservatorio orbitante nominato sopra, per la individuazione delle sorgenti gamma e la misura del loro spettro energetico.

Un importante e ben concepito esperimento promosso da Jim Adams per i gamma di alta energia, *ASTROGAM*, non selezionato per la prima fase della sperimentazione su *Astromag* e postposto ad una seconda fase, doveva estendere le misure del *CGRO* fino ad energie di alcune centinaia di GeV. Sono passati oltre 15 anni, e solo tra anni ancora un nuovo esperimento su satellite, il '*Gamma Large Acceptance Space Telescope*' (*GLAST*) avrà la possibilità di ricoprire questa lacuna lasciata dalla cancellazione della *facility Astromag*. C'è da rilevare che le tecniche di '*imaging calorimetry*' (il grande cubo di cui parlavo all'inizio) sviluppate negli anni passati per i voli su

pallone e per *PAMELA* dalla collaborazione *WIZARD* hanno permesso ad una gran parte di questa collaborazione di partecipare fin dall'inizio allo sviluppo del progetto *GLAST*, per cui la partecipazione italiana a *GLAST* è ora di grande impegno in persone ed investimenti. E va aggiunto che proprio dallo sviluppo di queste tecniche di '*imaging*' è nata, inizialmente nell'ambito della collaborazione *WIZARD*, la missione *AGILE*, anello di congiunzione e continuità tra *EGRET* su *CGRO* e *GLAST*. È una missione tutta italiana, che messa in orbita quasi equatoriale da un razzo Soyuz, comincerà a dare dati fin dall'anno prossimo.

GLI ALTRI 'PEZZI' DEL PROGRAMMA NASA

A bordo della *SS Freedom*, oltre alla *facility Astromag* erano previsti molti altri strumenti dedicati alla astronomia, allo studio della polvere cosmica ed anche ad altre tematiche dello studio dei raggi cosmici. In particolare era previsto uno strumento di grande area, circa 30 m², tutto 'passivo' (e quindi da riportare a terra per lo sviluppo e l'analisi), lo "*Heavy Nuclei Collector*" (*HNC*). La grande area e il lungo tempo di esposizione erano concepiti per assicurare la rivelazione di almeno un centinaio di nuclei del gruppo degli attinidi, che come abbiamo visto sopra hanno flussi inferiori a 10⁻¹¹ del flusso dei protoni. Infatti i nuclei oltre il gruppo del ferro non possono essere formati con processi di nucleosintesi nel nucleo delle stelle. Essi possono essere prodotti in stelle di grande massa o con processi cosiddetti lenti, gli '*s-processes*', tramite la '*neutronizzazione*' della materia per accumulo di nuclei sovraccarichi di neutroni ed il loro successivo decadimento beta, o da processi rapidi, gli '*r-processes*', in eventi astrofisici violenti, quali le supernovae. Particolarmente importante è la misura dell'abbondanza dei nuclei del gruppo degli attinidi a causa della loro instabilità e la lunga vita media, che permettono la misura di diversi parametri della galassia (quali la sua età e la frequenza delle supernovae), e la ricerca di elementi superpesanti.

Gli "*Heavy Nuclei Collector*" ed "*eXplorer*" per andare oltre il ferro.

Si tratta di informazioni di primaria importanza per l'astrofisica, ed in particolare per la valutazione della quantità totale di raggi cosmici che risiedono nella galassia, ed

ancora oggi esse mancano. Questa tematica compariva anch'essa nel programma decennale 1985-1995 elaborato dalla NASA. Al quarto punto della voce C) (vedi fig. 2) era previsto di mettere in orbita con un volo *Shuttle* un secondo esperimento del tipo di quello (*UHERE*) fatto volare anni prima a bordo della *Long Duration Exposure Facility* (*LDEF*), da recuperare dopo alcuni anni con un secondo volo *Shuttle*. Il disastro dello *Challenger* consigliò di spostare il programma *HNC* sulla *SS "Freedom"*. Ora, dopo quasi due decenni, si è ritornati all'idea iniziale, e si sta studiando un esperimento di grande area (*ECCO*, 23 m²) portato in orbita con un volo *Shuttle*, aperto ed esposto per molti anni nello spazio, e poi richiuso e riportato a terra per lo sviluppo e l'analisi. Nello stesso veicolo spaziale che lo porterà in orbita, il "*Heavy Nuclei Explorer*" (*HNX*), un altro strumento, *ENTICE*, basato su tecniche elettroniche, studierà gli elementi tra il gruppo del ferro ed il gruppo degli attinidi. Una delle caratteristiche dell'esperimento *ECCO* è il lungo tempo necessario ad estrarre l'informazione dopo l'esposizione in orbita, nonostante i molti progressi nei materiali sensibili e nelle tecniche di sviluppo ed analisi. Il gruppo proponente è relativamente piccolo, seppure ben attrezzato e con lunga esperienza, per cui necessita collaborazione da parte di altre istituzioni. In Italia, in seguito agli esperimenti con emulsioni fatti al *CERN* per i neutrini e all'esperimento *Opera* in preparazione per i Laboratori del Gran Sasso, esistono in molte sedi preparazione ed attrezzature, per cui se l'esperimento *ECCO* andrà avanti è da prevedere una partecipazione a questo tipo di fisica. È da notare che già negli anni '90 una collaborazione tra Bologna e Firenze, facente capo a Stefano Cecchini e Alfredo Cecchi, propose il *Medium Nuclei Analyser* (*MNA*) per la misura sia su pallone che su piattaforma in orbita polare dei nuclei più pesanti del ferro, e fu finanziata dall'*ASI* e dall'*INFN* per lo sviluppo delle tecniche passive adatte e il loro *test* su fascio al *CERN*.

I "*Fly's Eyes*".

C'è un altro punto non ancora realizzato che compare nel programma NASA per il 1985-1995, cui è importante far cenno.

È interessante notare che per il costo e rischio della *Extra Vehicular Activity* degli astronauti (*EVA*), in particolare dopo il disastro dello *Challenger*, è estremamente difficile e costoso pianificare esperimenti che prevedano l'assemblaggio di strutture nello

spazio. Questo del resto si è riflesso anche nella stessa concezione della attuale *ISS* (che è portata in orbita a pezzi già assemblati a terra, a differenza della *SS "Freedom"*, che era prevista essere assemblata in gran parte direttamente nella spazio).

Non sfugge certamente all'attenzione di chi si occupa di raggi cosmici che al primo punto della voce E) del programma NASA per il 1985-1995 (vedi ancora fig. 2) si prevedeva già allora di utilizzare la tecnica "*Fly's Eye*" per osservare dallo spazio gli sciami di particelle prodotti nell'atmosfera dai raggi cosmici di energia estrema, cioè di raggi cosmici con energie 10⁶ volte quelle tipiche al ginocchio e ben 10¹¹ volte quelle tipiche al massimo del flusso dei raggi cosmici galattici. Solo ora si lavora a recuperare questo punto del programma, con il progetto *EUSO* ed altre proposte (*TUS*, *KLYPVE*, *OWL*) e speranze (*GODS*). Fa piacere che l'impresa che attualmente si trova allo stadio più avanzato di studio ed investimento, lo "*Extreme Universe Space Observatory*" (*EUSO*) sia nata dalla iniziativa di Livio Scarsi e del suo gruppo di Palermo, e del suo amico John Linsley (una autorevole figura di Albuquerque, colui che più di tutti aveva sostenuto l'opportunità di ricorrere alla tecnica "*Fly's Eye*" dall'orbita per i raggi cosmici di estrema energia).

Nata come una iniziativa italiana con il coinvolgimento di molte istituzioni e sedi, *EUSO* si è sviluppata fino a divenire una impresa internazionale, promossa ora dalla Agenzia Spaziale Europea *ESA*. Se *EUSO* passerà tutte le selezioni previste e sarà finanziato dalle molte agenzie implicate (*ESA*, *NASA*, *NASDA*, e molte agenzie nazionali, ed in Italia anche l'*INFN*) potrà essere installato sulla *ISS* già alla fine di questa decade, e quindi dare i primi risultati di fisica tra una decina di anni. Se ne parlo qui pur trattandosi di una rivelazione non diretta dei raggi cosmici è perché lo sciame atmosferico prodotto da un raggio cosmico di oltre 10¹⁹eV produce tanta luce di fluorescenza da poterlo rivelare e poterne misurare il profilo di sviluppo, e la informazione che se ne può ricavare è ben più ricca del solo spettro energetico globale. Inoltre la possibilità di tenere sotto osservazione da strumenti in orbita volumi di atmosfera insistenti su aree di milioni di km² di superficie terrestre⁸ comporta l'uso di

⁸ Qui mi piace compiacermi (!!) per la mia personale insistenza fin d'allora nel proporla per l'installazione sulla *ISS* (vedi 25-th *ICRC*, Durban

mezzi di volo come per la osservazione diretta dei raggi cosmici, ed è molto promettente per possibili sviluppi futuri.

La stessa fisica proposta da *EUSO* sarà nel frattempo affrontata con installazioni a terra ricoprenti molte migliaia di km² dal progetto *AUGER* (con le tecniche di osservazione con *Fly's Eyes* possibili a così alte energie anche gli esperimenti a terra possono fornire una informazione più ricca del semplice spettro globale in energia, unico limite essendo la estensione della superficie equipaggiata, e quindi la massa di aria nella quale i raggi cosmici di energie estreme possono produrre sciami). Nel frattempo un esperimento in orbita di piccole dimensioni, *TUS*, dovrebbe operare a bordo del satellite *RESURS-DK1-n.2* per alcuni anni, accumulando alle energie estreme una statistica di eventi circa uguale a quella di *AUGER*. *TUS* è supportato essenzialmente da istituzioni russe e dai laboratori internazionali di *Dubna* (il *CERN* dei paesi orientali), con la partecipazione di piccoli gruppi di altri paesi, ed è previsto raccogliere dati a partire dal 2007.

È ORA DI RIASSUMERE.

Tra storie, anche personali, e sigle di esperimenti diversi, il lettore che sia arrivato fin qui rischia di rimanere confuso. Serve uno schema di riferimento.

Coerentemente con la trattazione fatta sopra, le tematiche più importanti nello studio dei raggi cosmici possono essere schematizzate in cinque punti, elencati qui di seguito in funzione crescente della zona di energia che si può esplorare:

1. studio del gruppo degli attinidi, naturalmente possibile solo sulla gran massa dei raggi cosmici, e cioè intorno al GeV/nucleone;
2. spettri dei singoli nuclidi fino ad energie di alcune decine di GeV/nucleone;
3. studio della componente antiparticellare e ricerca di antinuclei, fino ad almeno alcune centinaia di GeV/nucleone;
4. studio della composizione chimica in funzione dell'energia spinta fino ad alcune centinaia di TeV/nucleone;
5. studio dei raggi cosmici ultraenergetici, fin oltre 10²⁰eV/particella.

I punti da 1 a 4 possono essere studiati solo 'acchiappando' la particella che ci arriva dallo spazio prima della sua interazione con

l'atmosfera, e quindi il loro studio coinvolge l'uso di mezzi spaziali. L'evoluzione di questi studi è perciò strettamente connessa con la evoluzione e utilizzazione di questi mezzi, e la storia della *SS "Freedom"* e del programma *NASA* per i raggi cosmici sopra delineata sta a dimostrarlo.

Per il punto 5 la rivelazione del raggio cosmico è indiretta, studiando le caratteristiche dello sciame di particelle che esso produce nell'atmosfera. Può essere fatta a terra, ma il vantaggio di riuscire a condurla dallo spazio è così promettente che anche lo sviluppo di questo punto viene ad essere strettamente connesso alla evoluzione ed utilizzazione di mezzi spaziali.

LA SCOPERTA DEL PASSATO.

Dice Giorgio Salvini nel suo discorso in occasione della cerimonia inaugurale per le celebrazioni del cinquantenario dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare⁹:

"L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, del quale parlo, rappresenta la nostra volontà di ripresa per partecipare in modo concreto alla aspirazione Europea, anzi mondiale, di accrescere il patrimonio scientifico del nostro Pianeta,...."

Inizierò un po' alla lontana, da Enrico Fermi e da Bruno Rossi nei primi anni trenta del secolo appena trascorso.

Fermi [...] credè dal nulla la scuola di Fisica del Nucleo Atomico con i suoi indimenticabili compagni ed allievi [...].

Bruno Rossi, anch'egli ancor giovanissimo, apre la ricerca nel campo dei raggi cosmici, guidando il "gruppo di Arcetri" [...].

Obiettivo di queste due scuole, di Firenze e di Roma, era chiaramente lo studio degli atomi, del nucleo e delle nuove radiazioni. La fisica dei raggi cosmici sembrava felicemente avviata."

Edoardo Amaldi riferisce della riunione del consiglio della Società Italiana di Fisica (*SIF*) del novembre 1945, allargato a vari fisici interessati ai problemi generali:

"La riunione fu straordinariamente importante. [...] Molti erano sfiduciati, soprattutto i colleghi dell'Italia settentrionale che erano stati in condizioni di guerra ed occupazione tedesca fino a pochi mesi prima. In quella occasione io mi mostrai piuttosto ottimista e sostenni che potevamo recuperare una posizione decente in campo internazionale a condizione di impegnarci molto fortemente e solo in un ristretto numero di settori della ricerca. Sostenni che a mio

1997, vol.5, p.385), come ora sta effettivamente avvenendo per la missione *EUSO*.

⁹ L'intervento di Giorgio Salvini è riportato anche a pag.5 del n.3, anno 2002, di *Analysis*.

avviso il più promettente era costituito dai raggi cosmici, campo in cui il paese aveva ormai una lunga tradizione e in cui non ci trovavamo svantaggiati rispetto ad altri per quello che riguardava la sorgente."

E fu così che poco dopo, grazie alla indefessa attività di questuanti sistematicamente svolta da Amaldi e dagli altri fisici italiani, fu possibile realizzare il laboratorio per i raggi cosmici della Testa Grigia. Scrivono Battimelli, de Maria e Paoloni nello speciale di questa rivista dedicato all'INFN¹⁰: "La Testa Grigia divenne un punto di incontro tra i fisici di varie sedi universitarie, tra i quali si stabilirono forti legami personali e scientifici che costituirono uno degli ingredienti della nascita e dello sviluppi dell'INFN."

Perché tutte queste citazioni? Perché per me la storia precedente al mio lavoro è stata una scoperta fatta poco a poco nell'immergermi in un campo di attività, che all'inizio consideravo 'nuovo' perché lo stavo appena scoprendo, ed invece mi rendevo conto che affondava le sue radici molto lontano. Specie per me, che se pure del 'contado' toscano avevo studiato a Roma, ed avevo sviluppato tutta la mia attività scientifica prima nel CNEN e poi nell'INFN a Frascati, con Firenze visto da quella prospettiva come una sede 'marginale' nella fisica e nella sua storia, fu una sorpresa scoprire che spostandomi a Firenze mi ero portato su una delle due colonne storiche cui era dovuta la eccellenza della fisica nucleare e subnucleare italiana, e per giunta in coincidenza con il mio impegno crescente nella fisica dei raggi cosmici, che di Firenze era la gloria storica.

LA VISIONE DEL FUTURO...

Il futuro vicino della ricerca nel campo dei raggi cosmici è abbastanza ben delineato, e credo bastino gli accenni fatti sopra parlando delle varie tematiche di fisica da 'recuperare' dopo la stasi degli anni '80 per farsene un'idea.

Esiste un futuro 'lontano', una visione a lunga scadenza per lo studio di queste tematiche? Io credo di sì. Non voglio parlare di 'sogni', vere e proprie fantasie, come esperimenti su basi lunari, enormi apparati in silenziosa attività nello spazio tali da richiedere un improbabile progresso tecnico nello sviluppo dei sistemi di volo ed una

ancora più improbabile concentrazione di risorse. Voglio essere 'un visionario moderato' a media scadenza, diciamo circa venti anni.

Per chiarezza mi rifaccio allo schema in cinque punti tracciato più su.

1 Attinidi. Della possibile partecipazione ad ECCO (o ad altra simile impresa che avesse a svilupparsi) ho parlato sopra. Aggiungo solo una frase: ne hanno bisogno i proponenti, molte nostre sedi hanno attrezzature adatte ed esperienza, perché non utilizzarle? I risultati ottenuti con ECCO ci indicheranno se procedere oltre ed in quale direzione.

2 Spettri dei nuclid. I risultati come sottoprodotto di esperimenti dedicati ad altre tematiche non sono in grado di chiudere il discorso. Sarà difficile concentrare persone e risorse per arrivare ad un esperimento della classe del progetto LISA, manca la struttura magnetica a cui attaccarlo, e ritengo anche che manchino le condizioni per pianificarne una di caratteristiche equivalenti ad Astromag¹¹. C'è tuttavia la possibilità di fare un lavoro 'a pezzi', con esperimenti su pallone e se possibile su satellite, dedicati a singoli nuclid o gruppi di nuclid. La ragione fondamentale è che la quantità e qualità dei risultati è legata solo in parte all'accettazione, e quindi alla massa dello strumento, ma piuttosto alla qualità dei rivelatori, essendo la prestazione dello strumento basata essenzialmente sulla sua risoluzione in impulso e sulla sua risoluzione in massa, per le quali i rivelatori mutuati dalla ricerca particellare agli acceleratori continuano ad evolversi.

3 Antiparticelle e caccia agli antinuclei. Se i tre esperimenti che effettueranno misure in questo campo, BESS su pallone in Antartide, PAMELA su satellite ed AMS sulla ISS, non otterranno indizi né di nuova fisica né della esistenza di antinuclei, non vale la pena di inseguire questo canale con strumenti più grandi, sarebbe un enorme sforzo con poco ed incerto guadagno. Se si troverà qualche indizio sarà la sua consistenza e la

¹¹ In occasione della conferenza internazionale sui raggi cosmici di Durban del 1997 fu organizzato un *workshop* a questo scopo. I fisici dei raggi cosmici vi parteciparono nella loro totalità ma poi non si riuscì a concretizzare nulla sia per i molti impegni ormai divergenti dei membri della comunità sia per la presenza di un elemento esterno alla comunità, AMS, seppure assente (ma forse proprio perché assente) sia al *Workshop* che alla conferenza.

¹⁰ Analysis, n.3 anno 2002, pag.17.

sua natura ad indicare in quale direzione procedere. Infatti se si trovasse qualche antinucleo sarà senz'altro fondamentale studiare la possibilità di misurare questa nuova componente con apparati di accettazione ben più grande di AMS, eventualmente con lenti magnetiche dispiegate in orbita¹² ed equipaggiate con strumentazione di nuovo tipo. Se si scoprissero invece deviazioni dai flussi previsti per positroni e/o antiprotoni si dovrà sì aumentare l'accettazione, ma soprattutto l'intervallo di energie esplorabile, aumentare cioè quello che i fisici dei raggi cosmici chiamano il massimo momento rivelabile. È forse questo il solo caso in cui tornerebbe di attualità la necessità di studiare un nuovo 'Astromag', fosse esso per la ISS o per qualche nuovo veicolo che apparisse nel frattempo.

4 Composizione chimica al ginocchio.

Come sopra accennato la prima cosa da fare è far decollare una delle iniziative in studio. Quella che ha più possibilità per il prossimo futuro è ACCESS, ma una unificazione di questo programma con quelli proposti dai russi ne aumenterebbe la probabilità di realizzazione, specialmente per la reperibilità dei mezzi di volo, dei quali la NASA non abbonda.

5 Ultra alte energie. È probabile che per investire in modo sostanziale sulla realizzazione dell'osservatorio dallo spazio EUSO le agenzie attendano che l'esperimento a terra AUGER abbia dato i primi risultati. È una questione di fisica rilevante: non è ancora sicuro che lo spettro dei raggi cosmici continui al di là dei 10^{20} eV ed AUGER dovrebbe dare questa risposta in un tempo relativamente breve, due o tre anni. Supponiamo per un momento che lo spettro dei raggi cosmici non arrivi oltre tale energia. Infatti i protoni ultraenergetici dovrebbero arrivare a noi degradati in energia a causa della loro interazione con i fotoni del fondo cosmico a microonde, con i quali interagiscono per fotoprodurre pioni. Dovrebbe la linea che intende aprire EUSO fermarsi? Sicuramente no, ed EUSO stesso non lo dovrebbe! Infatti i protoni ultraenergetici cedono energia producendo pioni che decadendo producono muoni, ed infine neutrini, molti neutrini essendo molte le interazioni di questi protoni con i fotoni del fondo cosmico, e tutti di energie elevatissime,

oltre 10^{18} eV. Inoltre a queste energie il fiotto di neutrini prodotti da uno stesso protone dovrebbe essere estremamente collimato e permettere di individuare la sorgente del protone ultraenergetico.

È una vera e propria astronomia dei fenomeni più violenti nell'universo che si aprirebbe; per non parlare poi della possibilità ancora più allettante per i fisici delle particelle elementari che queste sorgenti non esistano e i protoni ultraenergetici siano prodotti di decadimento delle particelle primordiali di grandissima massa, previste da alcune teorie di grande unificazione delle particelle elementari. L'esperimento EUSO, con le molte limitazioni imposte da varie condizioni strumentali ed economiche, vedrà solo un piccolo numero di tali neutrini ultraenergetici. Ma dotandolo di una ottica dispiegabile, un sistema di grandi ma non enormi dimensioni, la sua soglia energetica potrebbe essere abbassata di almeno un ordine di grandezza, il che porterebbe ad alcune decine l'anno il numero di neutrini registrati. Non è stato finora possibile proporre una soluzione di questo tipo soprattutto a causa del costo che comporta la garanzia che la ISS richiede che quanto dispiegato a bordo possa dopo il suo uso essere richiuso. Se poi si concepisce un insieme di alcuni rivelatori EUSO-like¹³ la massa di atmosfera osservabile dalla ISS aumenterebbe di almeno un ordine di grandezza, ed i neutrini rivelabili sarebbero alcune centinaia all'anno. Neutrini 'sicuri', che devono esserci, perché la fotoproduzione è un fenomeno noto da tempo e ben studiato!

Già, i neutrini!

Sono raggi cosmici a tutti gli effetti. Vengono dal cosmo, sono particelle, sono rivelabili, sono appropriati per l'osservazione astronomica in quanto puntano alla sorgente non essendo deviati da campi

¹³ J.Linsley et al., "Space Air Watch: Observation of the Earth Atmosphere from ISSA Space Station", 25-th ICRC, Durban, August 1997, proc.vol.5, pag.385. - O.Catalano et al., "GODS for EUSO; A Grand Observatory Deployed from the Space Station for the Extreme Universe Space Observatory", International workshop on 'Space Factory on International Space Station', Tsukuba Space Center of NASDA, June 1999, proc. Pag.7. - S.Bottai and P.Spillantini, "From the Extreme Universe Space Observatory (EUSO) to the Extreme Energy Neutrino Observatory", proceedings of the "10-th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics", Moscow August 2001, pag.45.

¹² G.Basini et al., "Toroidal coil configurations for a large acceptance space spectrometer", Il Nuovo Cimento, 9c (1986) 953.

elettromagnetici, né sono assorbiti da corpi celesti, e tanto meno dal materiale interstellare ed intergalattico. Certo alcuni decenni fa sarebbe stato improprio parlare di essi come 'raggi cosmici'. Si rivelavano quelli che ci arrivano dal Sole, e quindi il loro studio riguardava lo studio dei modelli stellari, cioè delle reazioni che li producono nel Sole e nelle stelle, e l'eventuale cambiamento del loro 'sapore' nel loro viaggio fino alla Terra, e quindi lo studio delle loro proprietà come particelle. La speranza di utilizzarli come sonde astronomiche, cioè come raggi cosmici, ha dovuto fare i conti con l'enorme fondo dei neutrini prodotti dai raggi cosmici nell'atmosfera. Di questo fondo ci si libera solo ad energie enormemente alte, e ci si deve accontentare di poter rivelare quei neutrini che sono in grado di attraversare tutta la Terra e investono gli apparati dal di sotto, perché se sono troppo energetici la Terra li assorbe e non arrivano. Proprio dal fondo dei neutrini non cosmici, atmosferici o prodotti da centrali nucleari a fissione, sono stati ottenuti i risultati più importanti riguardanti le loro proprietà. Certo ora che sappiamo che hanno massa e che il loro sapore oscilla tra due e forse tre 'combinazioni' siamo venuti a conoscenza di proprietà fondamentali della fisica delle particelle elementari, ed anche a restringere il campo delle ipotesi concernenti

la cosiddetta 'materia oscura' dell'universo. Tuttavia una astronomia fatta a terra con questi elusivi messaggeri è ancora di là da venire, nonostante gli ingenti investimenti per i grandi esperimenti in funzione o costruzione, tanto che viene da domandarsi, "ma ne vale la pena?". O non è piuttosto bene indirizzarsi verso la rivelazione dei neutrini ultraenergetici, che sicuramente ed in gran numero arrivano sulla Terra, hanno sezioni d'urto di interazione più alte, segnature caratteristiche, e possono essere rivelati senza il fondo dovuto ad altri processi?

Basta pensare agli sforzi organizzativi, di persone e di mezzi che si stanno facendo per vedere (o forse è meglio dire per il momento 'non' riuscire a vedere) i neutrini di origine galattica in osservatori sotto terra, sott'acqua o sotto il ghiaccio, per domandarsi se non valga la pena di rallentare in questa corsa di poche speranze e puntare invece ad un osservatorio orbitante per neutrini ultraenergetici, che sicuramente arrivano sulla Terra, hanno sezioni d'urto di interazione relativamente alte, e che le tecniche attuali già possono rivelare con segnature caratteristiche e senza il fondo dovuto a processi concorrenti.

Ora qui la visione rischia di sconfinare nella fantasia e mi fermo, alle soglie del sogno.

PIERO SPILLANTINI

Laureatosi in fisica nel 1964 all'Università 'La Sapienza' di Roma, ha svolto la sua attività di ricerca presso i Laboratori nazionali di Frascati fino al 1988, per poi spostarsi a Firenze, prima come dipendente INFN e poi dal 1991 come ordinario di Fisica. A Frascati ha lavorato in diversi esperimenti all'elettrosincrotrone ed all'anello di accumulazione Adone. Ha poi partecipato ad esperimenti all'ISR, all'SPS ed al LEP del CERN. L'interesse per la fisica dei raggi cosmici è iniziato nel 1979 e si è poi sviluppato progressivamente per divenire il suo campo principale di ricerca negli anni '90. Attualmente è impegnato in diverse esperimenti dei raggi cosmici, ed in particolare nella preparazione di strumenti per satellite (PAMELA) e per la stazione spaziale internazionale (EUSO).

Contatti:

Università Firenze, Dip.Fisica
Tel. 055.4572261

Via Sansone 1
Email Spillantini@fi.infn.it

50019 Sesto Fiorentino FI