

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA  
prot. 2005025993

<b>Coordinatore Scientifico</b>	Gianni Maria NAVARRA
<b>Ateneo</b>	Università degli Studi di TORINO
<b>Titolo della Ricerca</b>	Raggi cosmici di alta energia ( $10^{15}$ - $10^{21}$ eV): spettri energetici, composizione primaria e interazioni. Misure, analisi, interpretazione, sviluppi. Connessione di energie, apparati e tecniche diverse.
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 102.000
<b>Durata</b>	24 Mesi

### Obiettivo della Ricerca

*Il progetto di ricerca si inquadra nell'ambito dei recenti sviluppi nel campo della fisica ed astrofisica delle altissime energie. Sviluppi che sono in questo momento estremamente promettenti grazie agli esperimenti Auger e KASCADE-Grande. In particolare si affronta lo studio della radiazione cosmica tra la regione energetica del "ginocchio" ( $10^{15}$ - $10^{16}$  eV) e le energie estreme ( $E_0 > 10^{20}$  eV), che sono rispettivamente considerate rappresentare il limite superiore della radiazione galattica ed il contributo delle sorgenti extragalattiche. La regione del "ginocchio" e' stata studiata dagli esperimenti KASCADE ed EAS-TOP; ed il completamento della informazione sperimentale richiede dati fino a  $10^{17}$ - $10^{18}$  eV, misura che e' attualmente in corso tramite KASCADE-Grande. Alle piu' alte energie ( $E_0 > 10^{18}$  eV) il progetto Auger e' al 70% della sua realizzazione, ed e' in presa dati. I suoi dati attorno ad  $E_0 \sim 10^{17}$ - $10^{18}$  eV si sovrappongono in parte a quelli di KASCADE-Grande (con tecniche diverse: fluorescenza atmosferica ed elettroni e mu al suolo rispettivamente). L'insieme dei gruppi di ricerca italiani partecipa in forme diverse a questi esperimenti. Obiettivo scientifico del programma di ricerca e' quindi lo sviluppo e la integrazione di queste attivita' per giungere alla interpretazione consistente dei dati su un vasto range energetico, alla definizione della regione di transizione tra i processi galattici ed extragalattici, alla miglior intercalibrazione dei rivelatori che operano necessariamente con tecniche diverse, ed alla verifica sui dati dei modelli di interazione adronica utilizzati ed estrapolati dalle energie inferiori. Lo scopo attuale e' ottenere non solo la miglior determinazione di energia e massa del primario, ma anche una corretta conoscenza delle relative incertezze statistiche e sistematiche. E questo fornira' una base essenziale per la interpretazione dei dati alle piu' alte energie. Quindi si vuole: a) fornire nuovi dati sperimentali e strumenti di analisi per la comprensione delle caratteristiche dei raggi cosmici fino a  $10^{18}$  eV; b) sviluppare ed utilizzare metodi di studio degli EAS che possano essere applicati a tecniche ed energie diverse (Auger e KASCADE-Grande); c) elaborare nuovi metodi e strumenti tecnici e intercalibrazione di apparati e di tecniche sperimentali diverse, e metterli in funzione. Nell'ambito di tali obiettivi, la ricerca, attraverso le attivita' complementari delle Unità proponenti, si concentra sui seguenti argomenti specifici: A) misura della composizione dei raggi cosmici primari nella regione energetica  $10^{16}$ - $10^{18}$  eV per completare il quadro delle osservazioni eseguite nella regione corrispondente al cambiamento dell'indice spettrale ("ginocchio", a  $10^{15}$ - $10^{16}$  eV) partecipando all'esperimento KASCADE-Grande (estensione di KASCADE al FZK-Karlsruhe), in particolare ricercando il cut-off nello spettro dei ferri primari atteso a ca.  $10^{17}$  eV. Questo confermerebbe l'interpretazione delle misure di EAS-TOP e KASCADE che sono consistenti con i modelli di accelerazione standard che prevedono cut-off dipendenti dalla rigidità negli spettri dei nuclei primari. B) Verifica della consistenza dei modelli usati per la descrizione delle interazioni adroniche e quindi delle cascate prodotte in atmosfera nella regione energetica  $10^{16}$  -  $10^{18}$  eV con i nuovi dati raccolti da KASCADE-Grande, e quindi fornendo informazioni essenziali per la analisi dei dati EAS alle energie di Auger. C) Messa a punto ed utilizzo di programmi di simulazione dei grandi sciame nell'atmosfera e della raccolta ed analisi della luce di fluorescenza tramite il rivelatore di Auger alle energie  $10^{17}$ - $10^{18}$  eV per un confronto con i dati di KASCADE-Grande alle stesse energie. D) Studio approfondito della fenomenologia degli EAS come osservata dal "fluorescence detector" di Auger (ed in parte del "surface detector"), nella regione  $10^{17}$ - $10^{18}$  eV e da confrontarsi con i dati di KASCADE-Grande. Il programma sara' realizzato sia attraverso la partecipazione agli esperimenti KASCADE-Grande ed Auger, che lo sviluppo delle tecniche sperimentali e di simulazione.*

### Innovazione rispetto allo stato dell'arte nel campo

*Lo studio della radiazione cosmica di piu' alta energia assume sempre maggior rilevanza per aspetti di fisica fondamentale (studio delle interazioni alle energie non raggiungibili con gli acceleratori, sia attraverso la misura diretta dei prodotti delle interazioni delle particelle stesse, sia indirettamente, tramite la possibile rivelazione dei decadimenti di particelle supersimmetriche prodotte nelle prime fasi di vita dell'Universo) ed astrofisici (identificazione dei processi e siti in cui questi fenomeni di accelerazione possono verificarsi). Questi studi si sono sviluppati negli ultimi anni ad opera degli esperimenti KASCADE (Forschungszentrum Karlsruhe) ed EAS-TOP (Laboratori Nazionali del Gran Sasso) nella regione energetica fino a  $10^{16}$  eV, ed AGASA ed HiRes alle energie oltre  $10^{18}$  eV. Ricordiamo che a queste energie, a causa del basso flusso dei primari, le misure devono necessariamente basarsi sullo studio dei secondari prodotti nelle interazioni con l'atmosfera terrestre, mediante apparati operanti al suolo (rivelatori degli Sciami Estesi Atmosferici, EAS). E queste misure, rispetto a quelle condotte ad energie piu' basse per mezzo di palloni o satelliti, hanno le difficolta' delle misure "indirette" (in particolare: difficolta' di separare effetti di energia e composizione, incidenza delle fluttuazioni, problemi di campionamento). Inoltre siamo lontanissimi dalle energie a cui operano gli acceleratori ed abbiamo misure dirette delle interazioni adroniche. Gli esperimenti in EAS devono quindi, in parallelo alle misure di spettri energetici e composizione primaria, controllare la validita' dei modelli usati per estrapolare i parametri delle interazioni adroniche*

dai dati degli acceleratori. E questo aspetto, come già detto, aggiunge significatività a queste misure che rappresentano l'unico mezzo per ricavare informazioni in un vasto campo della fisica delle alte energie. Dato l'indice spettrale, il flusso di primari decresce fortemente con l'energia, e quindi l'energia primaria a cui opera un apparato dipende essenzialmente dalla sua accettazione. Le aree di raccolta degli apparati citati variano da 0.1 a 3000 km<sup>2</sup>, per energie che variano da 10<sup>15</sup> a 10<sup>20</sup> eV. Devono quindi cambiare le tecniche di rivelazione, e questo fa sì che per una corretta interpretazione dei dati, i diversi esperimenti debbano essere opportunamente intercalibrati fra di loro.

Fino alle energie di circa 10<sup>15</sup> eV l'origine dei raggi cosmici è generalmente attribuita a processi di accelerazione in onde d'urto da esplosioni di supernovae nella nostra galassia. Questi meccanismi comportano cut-off negli spettri energetici, ad energie che per i diversi elementi sono proporzionali al numero atomico dell'elemento stesso, ed un irrigidimento è effettivamente osservato (normalmente denominato "ginocchio") ad  $E_k \sim 4.10^{15}$  eV. I risultati, consistenti, di KASCADE ed EAS-TOP lo attribuiscono ad un cut-off nello spettro di una componente "leggera" (p-He), e quindi per confermare la validità della tipologia del modello di accelerazione, è di fondamentale importanza il misurare il cut-off dello spettro del ferro, che è atteso ad  $E_{Fe} = 26 \cdot E_k \sim 10^{17}$  eV. E questo necessita di una misura specifica con un apparato che abbia la accettazione necessaria a raccogliere un numero sufficiente di eventi fino a ca 10<sup>18</sup> eV. Questo esperimento (KASCADE-Grande) è attualmente in presa dati presso il FZK Karlsruhe, ed è stato realizzato estendendo l'apparato KASCADE con un rivelatore della componente elettromagnetico degli EAS tramite la reinstallazione dei moduli di EAS-TOP.

Alle più alte energie dello spettro, primari con energie superiori a 10<sup>20</sup> eV sono stati riportati dagli esperimenti AGASA e Fly's Eye. Una loro origine galattica sembra esclusa per ragioni di "contenimento" ed assenza di grandi anisotropie, mentre d'altro canto se si propagassero nello spazio intergalattico interagirebbero con la radiazione cosmica di fondo (2.7 K) perdendo energia. Questo, noto come effetto Greisen-Zatsepin-Kuzmin (GZK), comporterebbe un cut-off nello spettro alle energie di ca. 7.10<sup>19</sup> eV, se le sorgenti fossero uniformemente distribuite nello spazio. Una possibile spiegazione è che le sorgenti siano relativamente vicine, su scala cosmologica, si trovino cioè entro circa 50 Mpc. In questo caso i primari non perderebbero energia, ma la loro traiettoria non sarebbe significativamente deviata dai campi magnetici intergalattici e le loro direzioni di arrivo alla Terra conserverebbe essenzialmente l'informazione della direzione iniziale e quindi della sorgente. Ciò permetterebbe di identificare le sorgenti e quindi di aprire un nuovo canale osservativo nel campo dei fenomeni e della astrofisica di più alta energia. Se così non fosse, dovremmo immaginare che queste particelle siano generate attraverso processi nuovi, e quindi si aprirebbe un problema di fisica nuova (es. i citati decadimenti di particelle supersimmetriche, connessioni con i gamma-ray bursts, neutrini...), da indagare tramite lo studio accurato della natura dei primari. Il progetto Auger si propone di studiare in dettaglio questi eventi. È basato su un rivelatore ibrido costituito da una matrice di rivelatori di superficie (SD, che osservano componenti e.m. e muonica al suolo) e telescopi che osservano la luce di fluorescenza indotta dagli elettroni nell'atmosfera (FD). Ognuno dei due osservatori di Auger (emisferi Sud e Nord) ha area di raccolta di 3000 km<sup>2</sup>, cioè quasi due ordini di grandezza superiore a quella degli esperimenti attualmente in funzione, e permetterà di estendere lo studio dello spettro primario ben oltre 10<sup>20</sup> eV, studiare l'effetto GZK ed il problema delle "sorgenti vicine" grazie alla statistica del rivelatore di superficie, che ha una soglia di rivelazione  $E_{SD} \sim 10^{18}$  eV ed efficienza di operazione del 100%. Il rivelatore di fluorescenza ha invece un tempo effettivo di operazione del 10%, ed energia di soglia  $E_{FD} \sim 10^{17}$  eV. I dati del rivelatore di fluorescenza fornendo una informazione sullo sviluppo longitudinale delle cascate e sull'integrale della luce prodotta (e quindi sul numero totale di particelle della cascata), saranno determinanti per la calibrazione in energia di tutto l'apparato e permetterà una misura (sia pure "model dependent") della natura dei primari. Un confronto puntuale dei risultati di KASCADE-Grande (apparato ottimale per risoluzione) ed Auger/FD nella regione energetica 10<sup>17</sup> eV - 10<sup>18</sup> eV permetterà quindi (ed è l'unica possibilità esistente) di estendere con continuità le misure sui primari e la conoscenza acquisita sulle interazioni adroniche a tutto lo spettro delle misure di Auger, tramite una calibrazione di Auger/FD.

La regione attorno a 10<sup>18</sup> eV è inoltre considerata di transizione tra la radiazione galattica ed extragalattica. La comprensione del fenomeno può venire solamente da misure il più accurate possibile dello spettro energetico ed una chiara indicazione della composizione primaria. E questo è un preciso tema che può al momento essere affrontato esclusivamente da una interpretazione comune e puntuale dei risultati di Auger e KASCADE-Grande.

L'approccio: EAS-TOP KASCADE ( $E_0 = 10^{15} - 10^{16}$  eV), KASCADE-Grande ( $E_0 = 10^{16} - 10^{18}$  eV), Auger fluorescenza ( $E_0 > 10^{17}$  eV), Auger superficie ( $E_0 > 10^{18}$  eV, fino ad  $E_0 > 10^{20}$  eV) fornisce quindi una catena completa di rivelatori intercalibrati su tutto lo spettro energetico studiato con gli EAS.

Da queste considerazioni si deduce come la partecipazione a KASCADE-Grande e lo studio abbinato degli eventi alla soglia di Auger siano elementi essenziali e forniscano dati determinanti per la comprensione dei fenomeni di altissima energia.

KASCADE-Grande ed Auger rappresentano al momento i due esperimenti significativi in campo internazionale in questo settore.

## **Criteri di verificabilità**

Attualmente sia Auger (per la parte montata, più del 70%) che KASCADE-Grande sono in presa dati. Le prime informazioni sperimentali sono attese entro i prossimi mesi. Lo sviluppo di tecniche e metodi di confronto ed analisi combinate, e la loro implementazione sono quindi di stretta attualità.

La funzionalità degli apparati ed il contributo dei gruppi italiani coinvolti nel presente progetto è e sarà chiaramente visibile dalle loro responsabilità, e dalle loro presentazioni in occasioni di discussioni pubbliche dei risultati dei due esperimenti.

I risultati saranno testimoniati e saranno riportati in lavori su riviste internazionali, presentazioni a congressi, tesi di Laurea e di Dottorato.

Giovani dottorati saranno avviati alla attività di ricerca attraverso questo programma.

## **Elenco delle Unità di Ricerca**

**Sede dell'Unità** Università degli Studi di TORINO  
**Responsabile Scientifico** Gianni Maria NAVARRA  
**Finanziamento assegnato** Euro 21.500

### **Compito dell'Unità**

*Il ruolo fondamentale dell'Unità di Torino riguarda l'esperimento KASCADE-Grande, in cui ha la responsabilità del rivelatore Grande (cioè della estensione di KASCADE). I ricercatori dell'Unità devono quindi: partecipare alla gestione generale dell'esperimento, curare il funzionamento, test, calibrazioni ed analisi dei moduli di Grande. Al momento il rivelatore in configurazione base funziona, ed i dati sono integrati con KASCADE. Il presente programma consiste in: a) messa a punto del sistema di taratura e controllo on-line dell'apparato; b) manutenzione, riparazioni, gestione della misura e partecipazione ai relativi shift; c) analisi dati, ricostruzione degli eventi, simulazioni, interpretazioni e trasferimento della informazione ad Auger. Gli impegni riguardano quindi: i) fornitura di elementi di elettronica necessari per rendere gestibile in linea il sistema di taratura; ii) installazione nuovo software per calibrazioni on-line; iii) partecipazione a presa dati, manutenzioni e riparazioni del rivelatore Grande; iv) analisi dati di Grande e KASCADE; v) sviluppo studio funzionalità e risposta di Auger SD alla soglia ( $10^{18}$  eV) per confronti relativi.*

---

**Sede dell'Unità** Università degli Studi di CATANIA  
**Responsabile Scientifico** Antonio INSOLIA  
**Finanziamento assegnato** Euro 30.000

### **Compito dell'Unità**

*Scopo della attività dell'Unità di Catania è quello di ottenere una determinazione chiara della banda di incertezza nella determinazione della composizione primaria dovuta ai problemi "teorici" e di calcolo. Intendiamo cioè dovuti sia all'uso di diversi modelli di interazione adronica che agli effetti "di approssimazione" (thinning) inevitabili nel calcolo dello sviluppo della cascata. Il secondo passo sarà effettuare una analisi dei parametri sperimentali in modo da ottenere gli estimatori il meno sensibili possibile al particolare modello usato. Uno di questi parametri è lo sviluppo longitudinale completo della cascata atmosferica attraverso la componente elettromagnetica dello sciame misurata utilizzando la luce di fluorescenza. E questo dovrà essere confrontato con il rapporto  $\mu$ /elettroni ottenuto dal SD di Auger ed in parallelo con i risultati di KASCADE-Grande. Lo sviluppo del programma richiede un notevole lavoro di simulazione. Come nel caso del gruppo di Napoli, la struttura da usare è, oltre a risorse locali, il centro di calcolo di Lyon (Francia) che vede impegnate un centinaio di cpu dedicate alla simulazione di EAS. La analisi della composizione in massa dei primari punterà ad assegnare, evento per evento, la probabilità che lo sciame sia stato generato da un primario di determinata energia e massa (tecnica in gran parte già sviluppata in stretta collaborazione con il gruppo di Napoli). Questi compiti implicano la attività di un assegnista post-doc esperto sia negli aspetti informatici che fisici e di simulazione. Inoltre la Unità si assume il compito (molto importante per tutti i gruppi impegnati nel progetto) di organizzazione un momento di incontro della comunità che lavora nel campo per una discussione comune (CRIS2006).*

---

**Sede dell'Unità** Università degli Studi di NAPOLI "Federico II"  
**Responsabile Scientifico** Fausto GUARINO  
**Finanziamento assegnato** Euro 25.500

### **Compito dell'Unità**

*La attività è particolarmente integrata con quella del gruppo di Catania, in quanto riguarda due aspetti complementari delle tecniche di studio e determinazione delle incertezze relative alla conoscenza della composizione primaria. Il gruppo si propone di sviluppare metodi di analisi più completi e generalizzati che possano portare alla analisi della composizione primaria sfruttando tutte le possibili osservabili. E quindi applicabili immediatamente al FD di Auger e quindi a KASCADE-Grande, od eventualmente a possibili rivelatori di  $\mu$  di grande area in Auger. La tecnica passa attraverso lo studio dello sviluppo longitudinale ottenibile con la luce di fluorescenza in Auger od i  $\mu$  nei rivelatori di superficie. Il lavoro richiede un notevole sviluppo di simulazioni, soprattutto nella regione di sovrapposizione dell'informazione. I criteri generali della tecnica sono già stati sviluppati. Le risorse di calcolo che si intendono utilizzare per il presente progetto sono sia locali, sia quelle disponibili all'interno della collaborazione AUGER (Centro di Lione) per le alte energie. Il sistema locale del gruppo di Napoli è composto da un server e da 6 biprocessori oltre che da capacità di storage ed è inserito nel progetto GRID. I dati verrebbero immagazzinati nel sistema locale per essere analizzati e per questo si rende necessario ampliare la capacità di storage di tale sistema di calcolo. Questi compiti implicano la*

attività di un assegnista post-doc esperto sia negli aspetti informatici che fisici e di simulazione.

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi del PIEMONTE ORIENTALE "Amedeo Avogadro"-Vercelli
<b>Responsabile Scientifico</b>	Mauro DARDO
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 7.500

### **Compito dell'Unità**

*Il programma del gruppo di ricerca dell'UPO consiste nell'effettuare sia gli studi sperimentali che teorici sui rivelatori dell'apparato KASCADE-Grande per la rivelazione di EAS. In particolare i ricercatori del gruppo parteciperanno: i) alla calibrazione dei rivelatori di KASCADE-Grande (in collaborazione con i ricercatori dell'Università di Torino); ii) allo sviluppo di nuovi codici di simulazione; usando codici già disponibili (CORSIKA), ed integrandoli al fine di introdurre le caratteristiche dell'apparato; iii) allo studio dei meccanismi di interazione adronica e di tecniche statistiche al fine di ottenere informazioni sulla composizione e sull'energia primaria. Attività specifiche saranno quindi: a) collaborazione per la calibrazione dell'apparato nell'acquisizione dei dati; b) studio delle caratteristiche dei rivelatori da includere nelle simulazioni; c) confronto dei dati simulati con i risultati sperimentali.*

---

<b>Sede dell'Unità</b>	Università degli Studi di ROMA "Tor Vergata"
<b>Responsabile Scientifico</b>	Giorgio MATTHIAE
<b>Finanziamento assegnato</b>	Euro 17.500

### **Compito dell'Unità**

*Scopo della Unita' di Ricerca nell'ambito del presente programma e' lo studio fenomenologico degli sciame estesi atmosferici come osservati in luce di fluorescenza, con l'obiettivo di eseguire in modo sistematico la misura della 'profondita' del massimo dello sciame,  $X_{max}$ , in funzione dell'energia ( $10^{17}$ - $10^{20}$  eV). Ed in particolare studiandone gli errori sistematici e le possibili ottimizzazioni nella tecnica di misura. Si tratta di una attivita' preliminare e basilare per ogni tipo di analisi ulteriore. Il gruppo ha gia' portato a termine tale analisi su un campione di dati preliminare di statistica assai limitata. Con l'aumentare del numero di eventi disponibili, si riduce l'errore statistico ed e' quindi necessario controllare le incertezze sistematiche. Il programma di lavoro si articola nel modo seguente: i) simulazione del trigger dei telescopi di fluorescenza (e' necessario studiare con opportune simulazioni gli effetti che possano produrre "bias" nella selezione degli eventi e falsare quindi la misura, soprattutto verso le basse energie, che sono quelle significative nell'ambito del presente progetto di ricerca); ii) studio dettagliato della calibrazione eseguita con il fascio laser, che forniscono una simulazione diretta degli sciame prodotti dai raggi cosmici; iii) studio di tutti gli eventi fisici la cui geometria puo' essere ricostruita, ed il cui profilo longitudinale puo' essere ben determinato in modo da ricavare una misura di  $X_{max}$  e dell'energia del primario. A questo punto potra' essere studiato "l'elongation rate" ( $X_{max}$  vs  $E_0$ ). Il vantaggio di uno studio fenomenologico e' l'indipendenza da modelli di simulazione che non intervengono nell'analisi. Soltanto i risultati finali dell'analisi saranno confrontati con le simulazioni. La attivita' pratica deve essere svolta da un assegnista dedicato al progetto, che possa allo stesso tempo svolgere attivita' sul sito di Auger per acquisire la necessaria sensibilita' sperimentale partecipando direttamente all'acquisizione dei dati.*