

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

**Rappresentante Nazionale:** Alessandro PETROLINI

Struttura di appartenenza: GENOVA

Ricercatore responsabile locale: A. PETROLINI

Posizione nell'I.N.F.N.: INCARICO DI RICERCA

## PROGRAMMA DI RICERCA

### A) INFORMAZIONI GENERALI

<b>Linea di ricerca</b>	Astrofisica delle particelle: studio della radiazione cosmica di altissima energia
<b>Laboratorio ove si raccolgono i dati</b>	SATELLITE / International Space Station (ISS)
<b>Acceleratore usato</b>	
<b>Fascio (sigla e caratteristiche)</b>	
<b>Processo fisico studiato</b>	Studio della radiazione cosmica di altissima energia tramite l'osservazione dallo spazio degli sciami atmosferici estesi prodotti nell'atmosfera terrestre dai raggi cosmici.
<b>Apparato strumentale utilizzato</b>	Sistema per la rivelazione di fotoni ultravioletti a largo campo di vista, grande apertura, veloce e sensibile alla posizione da installarsi su satellite oppure sulla ISS.
<b>Sezioni partecipanti all'esperimento</b>	CT, FI, GE, TO, TS
<b>Istituzioni esterne all'Ente partecipanti</b>	ESA, Università italiane, Centri NASA, Università USA, NASDA, RIKEN, vari Istituti Europei. L'agenzia di riferimento per l'Italia è l'ASI, a cui il progetto sarà proposto per il 2000. Vedere gli allegati.
<b>Durata esperimento</b>	Tre anni di presa dati, con inizio a metà del 2006.

### B) SCALA DEI TEMPI: piano di svolgimento

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
Jan 2001 - Dec 2001	Studio e progetto concettuale. Definizione ed ottimizzazione degli obiettivi scientifici. Definizione dei requisiti tecnici. Tests preliminari. Suddivisione delle responsabilità.
Jan 2002 - Dec 2002	Definizione delle specifiche, globali e dei sottosistemi. Ingegnerizzazione e progettazione funzionale del fotorivelatore. Ottimizzazione del progetto, assistita dalle simulazioni. Tests di laboratorio.
Jan 2003 - Jun 2006	Progettazione esecutiva finale. Realizzazione e tests di modelli ingegneristici. Qualificazione delle tecniche. Sviluppo e tests modello strutturale. Dal 2004: realizzazione, qualificazione, collaudo e integrazione modello di volo. Tests funzionali sistema integrato. Collaudo e tests finali. Operazioni pre-lancio.

**Mod. EN. 1**

(a cura del rappresentante nazionale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO**
**2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale				
		Parziali	Totale Compet.					
Viaggi e missioni	Interno	Collaborazioni tecniche con gli altri gruppi Meetings tecnici di collaborazione Trasferte coordinatore nazionale Contatti e collaborazioni con le industrie	9 10 11 8	<b>38</b>				
	Estero	Collaborazione con il gruppo di Microelettronica del CERN Meetings tecnici con ESA Meetings tecnici con collaboratori USA/JP	24 9 5	<b>38</b>				
Materiale Consumo	Sviluppo prototipi basetta MAPMT's e accessori Sviluppo/prototipi di struttura meccanica Sviluppo/prototipi light collector	18 50 4	<b>72</b>					
Trasp.e facch.								
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette		Altro		
Affitti e manutenz. apparecchiati.								
Materiale Inventariabile	Fotomoltiplicatori multianodo Hamamatsu R7600 Generatori di funzioni Sistema di acquisizione per readout e test chip di front-end Workstation per CAD	28 10 25 10	<b>73</b>					
Costruzione Apparati								
<b>Totale</b>				<b>221</b>				
Note:								

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

## ALLEGATO MODELLO EN2

Il programma specifico della Sezione di Genova si articola nei punti descritti nel seguito.

- Completa definizione delle caratteristiche necessarie ad un rivelatore della luce di fluorescenza dell'azoto dallo spazio, con riferimento al programma AirWatch e al progetto EUSO.
- Sviluppo, ottimizzazione, progettazione, prototipazione e tests del fotorivelatore; sua ingegnerizzazione e integrazione con la struttura di supporto e con il veicolo spaziale. Il fotorivelatore include il sensore (MAPMTs), l'elettronica di front-end, il sistema di raccolta della luce sul sensore e tutti gli elementi accessori necessari al funzionamento ed al controllo del sensore ed all'estrazione dei dati.
- Contributo alla realizzazione di prototipi funzionali in scala ridotta del fotorivelatore e al loro test. Qualificazione delle metodologie e delle tecniche, e qualificazione del fotorivelatore, sia quella funzionale che la qualificazione al funzionamento nello spazio.
- La partecipazione al programma di simulazione, sia della parte fisica che del rivelatore, finalizzato alla progettazione e all'ottimizzazione delle caratteristiche del fotorivelatore.
- Contributo alla realizzazione del fotorivelatore per EUSO.
- Partecipazione all'analisi fisica dei dati.

In particolare, nel corso del 2001, si inizierà, in collaborazione con le altre Sezioni, lo studio delle problematiche connesse con la struttura ed organizzazione del fotorivelatore sulla superficie focale e lo sviluppo della struttura meccanica e dell'elettronica di front-end. Va previsto un intenso programma di R&D in quanto ci sono difficoltà tecniche da superare e tecnologie da spingere al limite delle prestazioni, a causa dei limiti e dei vincoli stringenti imposti dall'operazione in ambiente spaziale.

Si tratta di progettare ed ingegnerizzare la basetta di supporto che contiene il partitore di tensione ed effettua l'estrazione dei segnali del MAPMT e li fornisce all'elettronica di front-end. Occorre sviluppare e realizzare un chip VLSI di front-end veloce, a basso consumo, resistente alle radiazioni e ad alta integrazione che soddisfi i requisiti richiesti. Occorre studiare ed ottimizzare il trasferimento dell'informazione prodotta dall'elettronica di front-end agli stadi successivi di trigger e read-out. In particolare occorre valutare l'inclusione di un livello di trigger, il più completo possibile, già a livello del chip di front-end. Occorre infine progettare tutta la struttura e l'alloggiamento dei vari componenti in un sistema adatto all'operazione nello spazio e compatibile con tutti i requisiti richiesti dall'ambiente circostante. Vanno quindi incluse, nel progetto complessivo, le considerazioni meccaniche e strutturali, termiche, quelle di compatibilità elettromagnetica e quelle di sicurezza ed affidabilità e fault tolerance.

L'obiettivo è quello di avere prototipi funzionali completi in scala ridotta del fotorivelatore, della struttura di supporto e del chip VLSI di front-end nel 2003.

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	38	38	72				73		<b>221</b>
2002	38	38	773				25		<b>874</b>
2003	38	32	740						<b>810</b>
2004	38	19							<b>57</b>
2005	38	19							<b>57</b>
<b>TOTALI</b>	<b>190</b>	<b>146</b>	<b>1585</b>				<b>98</b>		<b>2019</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Il programma presentato in Consiglio di Sezione per l'anno 2001 è consistente con il numero di persone interessate, gli spazi e le attrezzature a disposizione.

**Mod. EN. 3**

(a cura del responsabile locale)

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

## PREVISIONE DI SPESA

### Piano finanziario globale di spesa

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	153	174	479	6			327		<b>1139</b>
2002	143	174	1188	4			215	90	<b>1814</b>
2003	123	187	1205				25	80	<b>1620</b>
2004	123	174	40				10	60	<b>407</b>
2005	123	174	40				30		<b>367</b>
<b>TOTALI</b>	<b>665</b>	<b>883</b>	<b>2952</b>	<b>10</b>			<b>607</b>	<b>230</b>	<b>5347</b>

Note: Un eventuale contributo finanziario dell'INFN alla costruzione del fotorivelatore per EUSO (di cui l'INFN curerebbe lo sviluppo, la progettazione, le fasi di prototipazione, qualificazione e tests) sarà proposto come possibile contributo addizionale, rispetto alla proposta di base, a partire dal 2004 (costruzione apparati).

Nuovo Esperimento	Gruppo
AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

## **PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO**

VEDERE LA SEGUENTE DOCUMENTAZIONE ALLEGATA:

- 1) Nota contenente la descrizione della problematica scientifica, tecnica e del programma proposto all'INFN.
- 2) Proposta EUSO, sottoposta ad ESA il 31 Gennaio 2000.
- 3) Stato della Collaborazione, del progetto EUSO e fonti di finanziamento.
- 4) Posizione ufficiale dell'ESA su EUSO.

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

**COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA**

N	RICERCATORI Cognome e Nome	Qualifica				Affer. al Gruppo	Percentuale	N	TECNOLOGI Cognome e Nome	Qualifica			Percentuale
		Dipendenti		Incarichi						Dipendenti		Incarichi	
		Ruolo	Art. 23	Ricerca	Assoc.					Ruolo	Art. 23	Ass. Tecnol.	
1	FONTANELLI Flavio			P.A.		1	30	1	CUNEO Stefano		Tecn		20
2	GRACCO Valerio			P.O.		1	55	2	MUSICO Paolo	Tecn			25
3	PALLAVICINI Marco	Ric				2	30						
4	PETROLINI Alessandro			R.U.		1	70						
5	SANNINO Mario			P.A.		1	25						
								Numero totale dei Tecnologi					<b>2,0</b>
								Tecnologi Full Time Equivalent					<b>0,5</b>
N	TECNICI Cognome e Nome	Qualifica				Percentuale							
		Dipendenti		Incarichi									
		Ruolo	Art. 15	Collab. tecnica	Assoc. tecnica								
Numero totale dei Ricercatori							<b>5,0</b>	Numero totale dei Tecnici					
Ricerca Full Time Equivalent							<b>2,1</b>	Tecnici Full Time Equivalent					

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

**COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)**

LAUREANDI Cognome e Nome	Associazione		Titolo della Tesi
	SI	NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	

Denominazione	mesi-uomo	<b>SERVIZI TECNICI</b>
		Serv. Progett. Elettronica      8 mesi-uomo
		Serv. Progett. Meccanica      3 mesi-uomo

**INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)**

DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA
	Sviluppo e realizzazione chip VLSI integrato elettronica di front-end.
	Sviluppo e realizzazione struttura della cella elementare del fotorivelatore.
	Sviluppo e realizzazione basetta di supporto e componenti accessori per il sensore del fotorivelatore.



Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>GENOVA</b>

## REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento
Gabriella Sartorelli (BO)	
Sergio Petrera (AQ)	

## MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001

Data completamento	Descrizione
31/12/2001	Verifica della compatibilità dei fotomoltiplicatori multianodo con i requisiti imposti dalla missione spaziale.
	Progettazione funzionale della cella elementare del fotorivelatore, verifica della fattibilità coerentemente coi requisiti richiesti.
	Definizione dell'architettura del chip di front-end e progettazione funzionale. Verifica fattibilità dio front-end che soddisfi ai requisiti imposti da fisica e missione spaziale.

## COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

Il programma AirWatch ed il progetto EUSO sono unici nel loro genere.

La collaborazione è internazionale e include, al momento, gruppi europei, Università degli USA, Centri NASA e i giapponesi dell'Istituto RIKEN e del NASDA. Altri gruppi hanno espresso interesse a partecipare.

## LEADERSHIPS NEL PROGETTO

Cognome e Nome	Funzioni svolte
SCARSI Livio	Principal Proposer del progetto EUSO presso ESA.
GIANNINI Gianrossano	Coordinatore sottoprogetto "Scienza" presso ASI.
STALIO Roberto	Coordinatore sottoprogetto "Missione e Payload a livello di sistema" presso ASI.
PETROLINI Alessandro	Coordinatore sottoprogetto "Fotorivelatore" presso ASI.



Prof. Dr L. Scarsi  
IFCAI / CNR  
Via Ugo La Malfa 153,  
90146 Palermo  
Italy

Ref.: MSM-GU/2000.243/RDA/HO/em

Noordwijk, 26 June 2000

**Subject: EUSO Proposal**

Dear Prof. Scarsi,

In the context of the selection of assessment studies for F2 and F3 missions the Space Science Advisory Committee (SSAC) of the Science Programme Directorate has recommended to study the EUSO proposal and assess its suitability for accommodation on the International Space Station (ISS).

The Directorate of Manned Space and Microgravity, responsible for the European utilisation of the ISS, has accepted this recommendation and has started the first steps to assess the feasibility of accommodating your instrument. This initial study is to examine the possibility to accommodate your instrument on a specific site, namely the Columbus External Payload Facility. For this opportunity consideration is given for a launch no earlier than mid-2006. In the course of this study scientific and technical trade-offs will have to be made in order to achieve a successful result.

The active participation of you and your co-investigators is therefore essential in order to demonstrate a scientifically viable project in the context of the utilisation of the ISS.

The results of this study will be available for further consideration within ESA's Directorates of Science (D/SCI) and Manned Spaceflight and Microgravity in September this year.

I am looking forward to an intensive and in-depth interaction with you and your collaborators in order to make this study a success.

Sincerely,

D. Andresen  
Head of Space Station Utilisation Division  
Directorate of Manned Spaceflight and Microgravity

H. Olthof  
Science Programme Directorate

Copy: K. Knott (ESA/ESTEC, MSM-G)

**European Space Agency**  
**Agence spatiale européenne**

*Directorate of Manned Spaceflight and Microgravity*  
ESTEC - Keplerlaan 1 - NL-2201 AZ Noordwijk  
Postbus 299 - NL-2200 AG Noordwijk - The Netherlands  
Tel. +31 (71) 565 6565 - Fax +31 (71) 565 6040

## **1 Il programma AirWatch**

Il programma AirWatch riguarda l'osservazione dallo spazio degli sciami estesi di particelle prodotti nell'atmosfera da particelle cosmiche di altissima energia. Nell'ambito di tale programma si colloca il progetto EUSO, recentemente sottoposto all'ESA da una collaborazione internazionale.

Nel seguito si descrive brevemente lo stato del progetto, le collaborazioni e le fonti di finanziamento alla data del 7 luglio 2000.

## **2 Il progetto EUSO**

EUSO è una realizzazione del concetto AirWatch, proposto il 31 gennaio 2000 in risposta al bando dell'ESA per le missioni F2/F3. Il progetto è stato giudicato in modo molto positivo dal punto di vista scientifico e l'ESA ha raccomandato, nel marzo 2000, uno studio di accomodamento sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Le valutazioni sono disponibili in [1]. La posizione ufficiale dell'ESA è riportata nella lettera ESA allegata.

## **3 EUSO: Collaborazioni**

La collaborazione EUSO consiste di membri di 26 istituzioni: istituti di ricerca e Università di paesi europei afferenti all'ESA, Università e centri NASA degli USA e gli istituti RIKEN e NASDA giapponesi.

## **4 EUSO: Finanziamenti**

### **4.1 ESA**

EUSO è considerato parte del programma ESA per la ISS. Il costo di tutta la parte legata al veicolo spaziale, alla messa in orbita, alle operazioni in orbita e aspetti collegati è a carico dell'ESA, con un'eventuale quota da parte della NASA e del NASDA.

### **4.2 L'apparato scientifico**

L'apparecchiatura scientifica è fornita da una collaborazione internazionale composta da tre membri principali: Europa, USA e Giappone, per una quota stimata di circa un terzo ciascuno. Per la parte europea (paesi membri ESA) il contributo italiano è quantificato nella proposta all'ASI per il 2000 e si avvale del supporto di istituzioni nazionali quali Università, CNR e, in caso di approvazione del progetto, INFN.

### **4.3 INFN**

Il programma di ricerca proposto all'INFN si colloca nell'ambito del programma AirWatch, con particolare riferimento al progetto EUSO, ma senza identificarsi con esso.

All'INFN si chiedono i finanziamenti pertinenti specificamente al programma di ricerca proposto, e cioè per lo sviluppo, progettazione, ottimizzazione, prototipazione e test del fotorivelatore per il progetto AirWatch, come descritto nella documentazione allegata.

Un'eventuale contributo dell'INFN alla realizzazione del fotorivelatore per EUSO verrà proposto come possibile contributo addizionale e opzionale, che, in ogni caso, riguarderà gli anni a partire dal 2004.

#### 4.4 ASI

Nel 1998 il progetto AirWatch è stato sottoposto all'ASI che ha approvato uno studio di fattibilità finanziato con 100 milioni di Lire.

Nel 1999 il progetto AirWatch è stato sottoposto all'ASI che ha approvato uno studio concettuale finanziato con 300 milioni di Lire. I fondi, a tutt'oggi, non sono ancora stati erogati.

Nel 2000 la richiesta di finanziamento all'ASI nell'indirizzo *Costruzione di carichi utili per missioni ESA, ISS e collaborazioni internazionali*, è in fase di presentazione. L'ammontare complessivo del finanziamento richiesto all'ASI è di circa 40 miliardi, ripartiti tra gli anni 2000 e 2006. I dettagli di tale richiesta di finanziamento saranno resi noti all'INFN non appena finalizzata.

Il contributo richiesto all'ASI riguarderà esplicitamente il progetto EUSO. La richiesta di finanziamento sarà finalizzata a soddisfare, nell'ambito del progetto EUSO, le spese generali, i contratti industriali, le collaborazioni, la realizzazione dell'apparato EUSO e, in generale, tutte le spese connesse più specificamente al progetto EUSO e alla sua realizzazione.

#### 4.5 Fondi universitari e cofinanziamento MURST

Gli stessi gruppi italiani hanno presentato la domanda di cofinanziamento al MURST per gli anni 2000 e 2001 con un progetto dal titolo: *Astrofisica delle particelle alle energie estreme: strumentazione e problemi osservativi per la rivelazione in alta quota di luce di fluorescenza indotta da sciami atmosferici*. Il Coordinatore Nazionale è il Prof. Piero Spillantini, INFN ed Università di Firenze

Obiettivo della proposta è lo studio e la caratterizzazione di un sistema per la rivelazione della radiazione cosmica di energia estrema tramite l'osservazione dallo spazio della radiazione di fluorescenza ultravioletta prodotta negli sciami atmosferici estesi. La richiesta di fondi ha lo scopo di attuare un programma di ricerca e sviluppo, della durata prevista di due anni, indirizzato a definire il progetto finale del sistema di rivelazione attraverso lo studio dettagliato delle tecnologie ritenute più appropriate, l'effettuazione di tests su prototipi e la simulazione completa dei processi fisici e della risposta del rivelatore.

In tale progetto sono stati portati a cofinanziamento fondi universitari, CNR ed INFN. L'ammontare della richiesta, per un programma biennale riferito agli anni 2000 e 2001, è di 1.165 miliardi di lire, suddivisi su cinque unità operative corrispondenti alle stesse cinque Sezioni INFN. L'esito di tale domanda sarà, presumibilmente, reso noto entro ottobre 2000.

In caso di accettazione, totale o parziale, della domanda di cofinanziamento da parte del MURST, le eventuali sovrapposizioni tra le due richieste di finanziamento (all'INFN e al MURST), saranno risolte come segue. Gli eventuali finanziamenti che, nella presente domanda all'INFN, riguardano voci che saranno state già cofinanziate dal MURST, saranno utilizzati per anticipare al 2001 impegni originariamente previsti per il 2002.

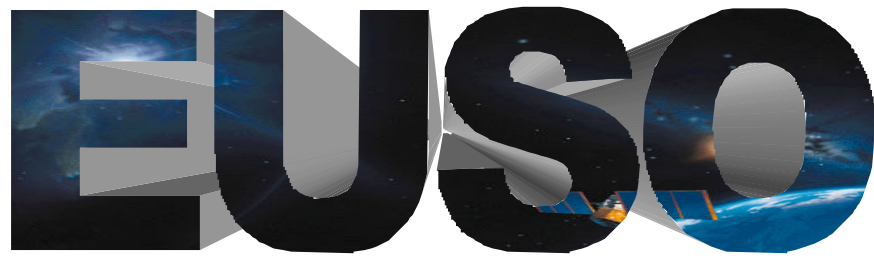
## Riferimenti bibliografici

[1] Available at:

[http://sci.esa.int/content/doc/62/14690\\_.htm](http://sci.esa.int/content/doc/62/14690_.htm)

[http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/5e/14686\\_.htm](http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/5e/14686_.htm)

[http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/76/14710\\_.htm](http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/76/14710_.htm)



## **Extreme Universe Space Observatory**



*Vincent Van Gogh, "The starry night"*

**An Explorative Mission  
Probing the Extremes of the Universe  
using the Highest Energy Cosmic Rays and Neutrinos**

A Proposal for the ESA F2/F3 Missions

# EUSO

## (Extreme Universe Space Observatory)

A proposal for the ESA F2/F3 Flexible Missions

### Proposer list

#### Principal Proposer:

SCARSI, L.

Università di Palermo & IFCAI/CNR, Palermo, Italy

#### Co-Proposers from ESA Member States:

BERNACCA, P.L. – DELLA VALLE, M.

Università di Padova, Padova, Italy

BIERMANN, P.

MPI für RadioAstronomie, Bonn, Germany

CAPDEVIELLE, J.N.

LPCC, College de France, Paris, France

CATALANO, O. – MACCARONE, M.C. – SACCO, B.

IFCAI/CNR, Palermo, Italy

D'ALF' STAITI, G.

Università di Palermo, Palermo, Italy

GALEOTTI, P.

Università di Torino, Torino, Italy

GORET, Ph.

CEA/Saclay, France

KOSTADINOV, I.

ISAO/CNR, Bologna, Italy

MAZZINGHI, P.

INO, Firenze, Italy

PETROLINI, A.

Università di Genova, Genova, Italy

RODONO', M.

Osservatorio Astronomico, Catania, Italy

SANCHEZ, N.

Observatoire de Paris, Paris, France

SPILLANTINI, P.

Università di Firenze, Firenze, Italy

STALIO, R. – GREGORIO, A.

Università di Trieste, Trieste, Italy

VIETRI, M.

Università di Roma 3, Roma, Italy

WATSON, A.A.

University of Leeds, Leeds, UK

#### Co-Proposers outside ESA Member States:

ADAMS, J. – CHRISTL, M.J.

NASA MSFC, Huntsville, USA

ARISAKA, K. – CLINE, D.B.

University of California, Los Angeles, USA

EBISUZAKI, T.

RIKEN, Saitama, Japan

ISAAC, M.C.P.

University of California, Berkeley, USA

LINSLEY, J.

University of New Mexico, Albuquerque, USA

LOH, E.C.

University of Utah & NSF, Arlington, USA

SOKOLSKY, P.

University of Utah, Salt Lake City, USA

STREITMATTER, R.E. – ORMES, J. – STECKER, F.W.

NASA GSFC, Greenbelt, USA

TAKAHASHI, Y.

University of Alabama, Huntsville, USA

WEILER, T.

Vanderbilt University, Nashville, USA

For additional copies of the *EUSO* proposal please, contact:

Prof. Livio Scarsi  
IFCAI/CNR,  
Via Ugo La Malfa 153,  
90146 Palermo  
Italy

e.mail: [scarsi@ifcai.pa.cnr.it](mailto:scarsi@ifcai.pa.cnr.it)

fax: +39 091 6882258

## Official Letters of Endorsement from International Institutions (non ESA Member States)

Official Letters of Endorsement have been received from the following Institutions:

- University of California Los Angeles / Dept. of Physics and Astronomy
- University of Alabama in Huntsville / Dept. of Physics
- Vanderbilt University / Dept. of Physics and Astronomy
- Goddard Space Flight Center – NASA
- Marshall Space Flight Center– NASA
- The Institute of Physical and Chemical Research ( RIKEN )

## Curriculum Vitae

Short CV have been provided by the following Co-Proposers:

- James H. Adams
- Katsushi Arisaka
- Pier Luigi Bernacca
- Peter L. Biermann
- Osvaldo Catalano
- Mark J. Christl
- Giacomo D'Alì Staiti
- Massimo Della Valle
- Toshikazu Ebisuzaki
- Piero Galeotti
- Anna Gregorio
- Maria C.P. Isaac
- Ivan Kostadinov
- John Linsley
- Maria Concetta Maccarone
- Piero Mazzinghi
- Alessandro Petrolini
- Bruno Sacco
- Norma Sanchez
- Livio Scarsi
- Roberto Stalio
- Robert E. Streitmatter
- Yoshiyuki Takahashi
- Alan A. Watson
- Thomas J. Weiler

The Letters of Endorsement and the CVs have been faxed and mailed to ESA HQs to the attention of Dr. G. Cavallo, as requested.



## Executive Summary

The mission proposed “*Extreme Universe Space Observatory – EUSO*” is devoted to the exploration from space of the highest energy processes present and accessible in the Universe; they are directly related to the extremes of the physical world. The results obtained will extend our knowledge about the extremes of the physical world and tackle the basic problems open in the present situation with a big impact on Fundamental Physics, Cosmology, and Astrophysics.

*EUSO* will detect the Extreme Energy Cosmic Rays (EECRs with  $E > 4 \times 10^{19}$  eV) and the high energy cosmic neutrino flux looking at the streak of fluorescence light produced when the particles interact with the Earth’s atmosphere.

*EUSO* will observe the fluorescence signal looking downward the dark Earth’s atmosphere from ~500 km altitude in a near-equatorial orbit (~10° inclination) under a 60° full field-of-view. Fluorescence light will be imaged by a large Fresnel lens optics onto a finely segmented focal plane detector. The segmentation and the time resolution will be able to reconstruct the arrival direction and shower energy with high precision. *EUSO* will detect about  $10^3$  EECR events per year, and will open a window to the high energy neutrino universe.

During the “bright Earth” phase *EUSO* will be pointed toward the dark open sky to observe transient and unpredictable phenomena such as Ultraviolet counterparts of Gamma Ray Bursts, Supernovae explosions, galactic transient sources.

*EUSO* has been designed to operate for more than 2 years mission life-time.

*EUSO* is a collaborating effort of 26 research groups from Europe, U.S., and Japan.

<b>Orbital Parameter</b>	Height Inclination	LEO 500 km nominal 10°-15° Equatorial
<b>Ground Station</b>	Equatorial	Kourou (French Guiana), Malindi (Kenya)
<b>Mass</b>	Payload Module Service Module <b>Satellite Mass</b>	1050 kg 775 kg <b>1825 kg</b>
<b>Power</b>	Payload Module Service Module <b>Satellite Power</b>	400 Watt 1300 Watt <b>1700 Watt</b>
<b>Telemetry</b>	Rate during ground contact (10 min)	100 KBit/s
<b>Attitude and Pointing</b>	3 Axis Stabilised	<200 arcsec (1/2 pixel)

Basic *EUSO* mission characteristics.

<b>Field of View</b>	60°
<b>Entrance Pupil Diameter</b>	2.6 m
<b>Operating wavelengths</b>	330-400 nm
<b>Angular resolution</b>	~ 0.1°
<b>Pixel diameter (and spot size)</b>	~ 6 mm
<b>Number of pixels</b>	~ $2.5 \times 10^5$
<b>Pixel size on ground</b>	1 km

Basic *EUSO* payload characteristics.

# Contents

<b>PROPOSER LIST</b> .....	<b>I</b>
<b>OFFICIAL LETTERS OF ENDORSEMENT FROM INTERNATIONAL INSTITUTIONS (NON ESA MEMBER STATES)</b> .....	<b>II</b>
<b>CURRICULUM VITAE</b> .....	<b>II</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	<b>III</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>1 SCIENCE OBJECTIVES</b> .....	<b>4</b>
1.1 EXTREME ENERGY COSMIC RAYS – EECRs .....	4
1.1.1 <i>Historical Overview and Existing Data</i> .....	4
1.1.2 <i>The Extreme Energy Universe and the probing depth for the radiation components</i> .....	4
1.1.3 <i>The EECR sources</i> .....	5
1.1.4 <i>How to measure EECRs</i> .....	6
1.1.5 <i>What do we learn from EUSO</i> .....	7
1.2 EXPLORATION OF EXTREME ENERGY NEUTRINOS AND THE NEUTRINO UNIVERSE.....	8
1.2.1 <i>Neutrinos from Topological Defects</i> .....	8
1.2.2 <i>Z<sub>0</sub>-bursts and Tomography of Relic-Neutrinos in Cluster of Galaxies</i> .....	8
1.2.3 <i>Neutrinos from Active Galactic Nuclei</i> .....	9
1.2.4 <i>Neutrinos from Gamma Ray Bursts</i> .....	9
1.2.5 <i>GZK Secondary Neutrinos: conventional secondary source</i> .....	9
1.2.6 <i>Summary of the EE Neutrinos from the Estimated Cosmological Sources</i> .....	9
1.2.7 <i>Cherenkov detection</i> .....	11
1.3 COSMOLOGICAL NEUTRINO OSCILLATION TESTABLE BY THE TAU-NEUTRINO ABUNDANCE.....	11
1.4 POSSIBLE TESTS OF THE RELATIVITY PRINCIPLE BY EE NEUTRINOS AND GAMMA RAYS .....	12
1.5 OTHER SCIENCE GOALS .....	13
1.5.1 <i>Search for transient phenomena in the U-band sky</i> .....	13
1.5.2 <i>Earth Atmosphere</i> .....	14
<b>2. PAYLOAD CONCEPT</b> .....	<b>16</b>
2.1 OPTICS AND FILTERS .....	16
2.2 THE FOCAL PLANE DETECTOR.....	18
2.2.1 <i>Possible Detectors</i> .....	18
2.2.2 <i>Features of the MAPMTs and use in EUSO</i> .....	18
2.2.3 <i>Focal Plane Assembly Design</i> .....	19
2.3 EUSO SYSTEM ELECTRONICS AND TRIGGER SCHEME CONCEPT.....	19
2.3.1 <i>The FIRE System</i> .....	20
2.3.2 <i>The OUST and Control Module</i> .....	21
2.3.4 <i>Payload Control Electronics</i> .....	21
<b>3 ACTIVE CALIBRATION</b> .....	<b>22</b>
3.1 BACKGROUND.....	22
3.2 LASER AND/OR FLASH LAMP .....	23
<b>4 MISSION OVERVIEW</b> .....	<b>23</b>
4.1 THE LAUNCHER SYSTEM.....	23
4.2 THE SERVICE MODULE CONCEPT.....	24
4.3 THE PAYLOAD MODULE.....	24
4.4 OBSERVATIONAL STRATEGY: ORBIT AND ON-GROUND MANAGEMENT.....	25

---

4.4.1	Operational Scenario.....	25
4.4.2	Ground-Station Operation.....	26
<b>5</b>	<b>SCIENCE OPERATIONS AND ARCHIVING.....</b>	<b>26</b>
5.1	FACILITIES.....	26
5.2	OBSERVING MODES AND OPERATIONS .....	27
5.3	TELEMETRY .....	27
5.4	DATA ARCHIVES .....	27
<b>6</b>	<b>TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT REQUIREMENTS.....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>COMMUNICATIONS AND OUTREACH.....</b>	<b>29</b>
7.1	THE <i>EUSO</i> -E/PO PROGRAM.....	29
7.2	PROPOSED ACTIVITIES AND REQUIRED EXPERTISE.....	29
7.3	STRATEGY AND BUDGET.....	30
<b>8</b>	<b>INTERNATIONAL PARTNERS.....</b>	<b>31</b>
<b>9</b>	<b>MANAGEMENT AND FUNDING .....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERENCES .....</b>	<b>I</b>
	<b>LIST OF ACRONYMS.....</b>	<b>III</b>

## Introduction

The mission proposed “*Extreme Universe Space Observatory – EUSO*” has as a main objective the exploration of the domain of the highest energy processes occurring in the Universe and its accessible boundaries. The scenario is directly related to extremes of the physical world and involves the early history of the Big Bang and the framework of Grand Unified Theories (GUTs).

*EUSO*, as an astroparticle space observatory, is unique in its class.

**The Extreme Energy Cosmic Radiation (EECR)** with energy  $>10^{20}$  eV can be considered as the "Particle" channel complementing the "Electromagnetic" channel, specific of conventional Astronomy. EECRs present us with the challenge of understanding their origin in connection with problems in Fundamental Physics, Cosmology and Astrophysics. Focal points are represented by:

- The change in the spectral index at the “Ankle” ( $\sim 5 \times 10^{18}$  eV). This could correspond to: a change in the production mechanism in the original sources; a change in the primary elemental composition connected with a different confinement region; a change in the interaction process in the first collision inducing the extensive showers in the atmosphere.
- Evidence of the existence of Cosmic Rays (CRs) with energy  $>10^{20}$  eV.
- From the Astroparticle Physics point of view, the EECRs have energies only a few decades below the Grand Unification Energy ( $10^{24}$ - $10^{25}$  eV), although still rather far from the Planck Mass of  $10^{28}$  eV.
- What is the maximum Cosmic Ray energy, if there is any limit?

Two general production mechanisms have been proposed for the EECR:

- “bottom-up”, with acceleration in rapidly evolving processes occurring in Astrophysical Objects with an extreme case in this class being represented by the Gamma Ray Bursts (GRBs). The observation of “direction of arrival and time coincidences” between the optical-radio transient and Extreme Energy Neutrinos could provide a crucial identification of the EECR sources, together with a unique test of the Relativity Principle.
- “top-down” processes with the cascading of ultrahigh energy particles from the decay of Topological Defects (TD); these are predicted to be the fossil remnants of the Grand Unification phase in the vacuum of space. They go by designations, such as cosmic strings, monopoles, walls, necklaces and textures. Inside a topological defect the vestiges of the early Universe may be preserved to the present day. Topological defects are expected to produce very heavy particles (X-particles) that decay with production of ultrahigh-energy particles. Relics of an early inflationary phase in the history of the Universe can also lead to the production of extreme energy (EE) particles. These particles may survive to the present as a part of dark matter. Their decays can give origin to the highest-energy cosmic rays, either by emission of hadrons and photons, or through production of EE neutrinos. Observation of these neutrinos may teach us about the dark matter of the Universe as well as its inflationary history.

**Cosmic neutrinos** with high enough energy produce detectable Extensive Air Showers (EAS). Not suffering of the Greisen-Zatsepin-Kuzmin (GZK) effect and being immune from magnetic field deflection or from an appreciable time delay caused by Lorentz factors, these particles are ideal for disentangling source related mechanisms from propagation induced effects. The opening of the High Energy Neutrino Astronomy as a new branch of Science will allow to probe the extreme boundaries of the Universe. Astronomy at the highest energies must be performed by neutrinos rather than by photons, because the Universe is opaque to photons at these energies. Astrophysical neutrinos, however, demand a very large detector for observation. The orbiting night-sky watcher, *EUSO*, will observe a large area of Earth’s atmosphere providing several thousand nucleonic events above  $10^{20}$  eV and possibly allowing an exploration of the neutrinos flux. Some theories predict abundant neutrinos above  $10^{21}$  eV. If so, a further exploration of the Big Bang relic neutrinos in the Cluster of

Galaxies can be envisaged, since they should become observable by *EUSO* due to the  $Z_0$ -resonance by neutrinos above  $10^{21}$  eV.

### Observational approach.

The very low event rate of EECRs imposes extremely large sensitive areas. In spite of the big efforts lavished in the last 40 years, no more than a handful of events in this category has been reported by the ground based experiments. The Earth atmosphere, viewed from space with an acceptance area of  $10^6$  km<sup>2</sup> sr and target mass of the order of  $10^{13}$  tons, constitutes an ideal absorber/detector for the EECRs and for Cosmic Neutrinos. EECRs and EE Gamma Rays and Neutrinos, colliding with air nuclei, produce secondaries that in turn collide with the air atoms giving rise to a propagating cascade of particles (Extensive Air Showers, EAS). In the complex hadron-electromagnetic cascade represented by the EAS the most numerous particles are electrons; their number at shower maximum development is proportional to the energy of the Primary. Electrons moving through the atmosphere ionise the air and excite metastable energy levels in its atoms and molecules. With a short relaxation time, electrons from those levels return to ground state emitting a characteristic fluorescence light. In air the fluorescence extends from Infrared (IR) to Ultraviolet (UV), with peaks at wavelengths from 330 nm to 450 nm. The emitted light is isotropic and proportional to the shower energy at any given depth in the atmosphere.

A high energy EAS forms a significant streak of scintillation light over 10-100 km in length along its passage in the atmosphere, depending on the energy of the Primary and the angle with the vertical axis. Observation of this fluorescence light with a detector at distance from the shower axis is the best way to control the cascade profile of the EAS. The shower appears as a relatively small disc-shaped luminous object emitting a power of 100 kW; when viewed continuously, the object moves on a straight path with the speed of light. As it does so, the disc luminosity changes from so faint to be undetectable up to a maximum followed by a gradual fading. The resulting event seen by the detector looks like a narrow track in which the recorded amount of light is proportional to the shower size at the various penetration depth in the atmosphere. The integral of light recorded in the track (as well as the light signal at the shower maximum) is proportional to the Primary energy. The cascade shape (especially the position of the shower maximum as a function of the penetration depth) gives an indication about the nature of the Primary. A different shape for the cascade curve is expected for different particles initiating the EAS. Showers initiated very deep in the atmosphere indicate an origin by neutrinos because the neutrino-air nuclei interaction cross section is several orders of magnitude lower than the cross section for hadrons or photons.

The fluorescence method has been successfully implemented at operational level by the "Fly's Eye" in the past and presently by "HiRes" in Utah; it is planned, in combination with an array of Water Cherenkov particle detectors, as baseline for the Auger project. From a Low Earth Orbit (LEO) space platform the UV fluorescence induced in the atmospheric nitrogen by the incoming radiation can be monitored and studied; the luminescence coming from EAS produced by the Cosmic Ray quanta (protons, nuclei, gamma rays, neutrinos,...) can be disentangled from the general background and measured. Other phenomena such as GRBs, meteors, space-debris, lightning, atmospheric flashes, distribution of minor components in the atmosphere, can also be observed.

### Payload concept and mission requirements.

The coverage from a LEO of the observable atmosphere surface at the scale of thousands kilometres across and the measurement of very fast and faint UV-optical phenomena, requires:

- optical systems with large collecting areas and wide equivalent Field-of-View (FoV);
- high segmentation and high speed (well below the microsecond level) of the focal plane detector;
- a sophisticated on-board image processing acting as a trigger.

Mission requirements and technology development are not very stringent and do not need a long time of development. The payload foreseen for the *EUSO* mission, although based on current technology, presents innovative aspects for what concerns the optical system (wide angle and large aperture) and

the electronics system governing the imaging technique.

The payload design criteria are based on the following basic requirements:

<b>Orbit:</b> 500 km , circular, 10-15° incl.	<b>Pixel size at ground:</b> 1km × 1km	<b>Event energy threshold:</b> 4×10 <sup>19</sup> eV
<b>Optics FoV.:</b> ± 30°	<b>Total pixels at focal plane:</b> ~2.5×10 <sup>5</sup>	<b>Mission lifetime:</b> > 2 years

**Main goals for EUSO**

**EECR statistics.** About 10<sup>3</sup> events/year (10-20 times those expected by the presently planned ground based experiments) will be available with **EUSO** to allow a quantitative energy spectral definition above 10<sup>20</sup> eV, together with the evidence of possible anisotropy effects and clustering (if any) for the directions of arrival.

**Neutrino induced EAS.** Neutrinos are elusive low interacting objects which can be hardly observed as EAS initiators for all ground based detectors, present or in the planning. Even for the largest ground observatories under construction, the expected rate hardly reaches few events/year. With its effective area and target mass, **EUSO** will be sensitive to this class of events: the expected event rate ranges from several events/year to several events/day according to the effectiveness of the "topological defects" hypothesis or of other mechanisms suggested by theory. From the observational point of view, the neutrino induced EAS can be distinguished from other EECR EAS by triggering on horizontal (or upward showers) initiating deep inside the atmosphere (or Earth).

**Search for transient phenomena in the U-band sky.** The “secondary observation mode” (see Sect.5.2) gives the opportunity to study in Uband (330-400 nm) several classes of transient and unpredictable phenomena ranging from the second to the day: GRBs, Supernovae explosions, AGN variability, transient galactic sources.

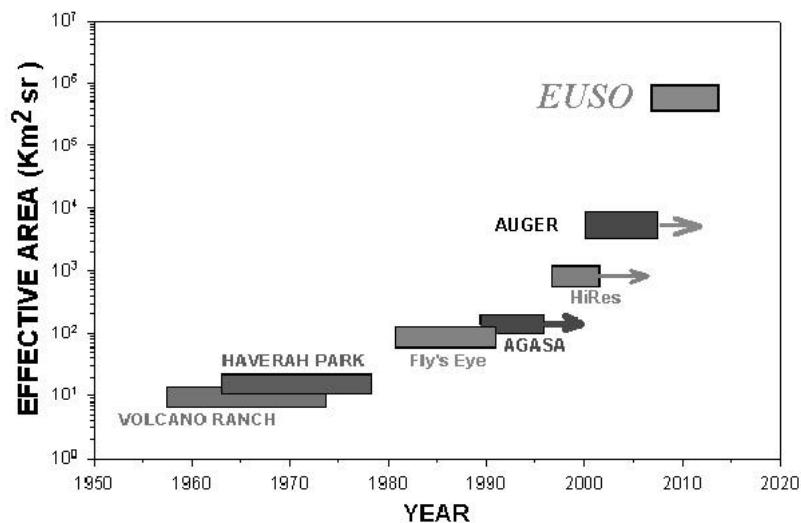
**Physics of the Atmosphere.** The optical effects of the fluorescence produced by EAS and by GRBs must be confidently distinguished from the other optical atmospheric phenomena (like lightning, meteor tracks, blue jets, elves) that represent a very interesting field of research for themselves. Balloon and micro-sat programs to measure the night sky UV background have been initiated.

**Table 1** and **Fig.1** show how **EUSO** compares with the present and future ground experiments.

**Table 1** - Effective area size of observation in unit of km<sup>2</sup> sr.

	AGASA	HiRes	Auger	<b>EUSO</b>
	<i>presently in operation</i>		<i>under construction</i>	
Effective km <sup>2</sup> sr	150	500	~ 7 000	<b>~ 100 000</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volcano Ranch, Haverah Park, Yakutsk, Fly’s Eye operated for a total of ~1700 km<sup>2</sup> sr yr providing 7 EECR events with E&gt;10<sup>20</sup> eV.</li> <li>▪ AGASA has provided 6 events for a total exposure of 1050 km<sup>2</sup> sr; HiRes 7 events for an equivalent exposure</li> </ul>				

Estimated flux for EECR with E>10<sup>20</sup> eV: ~ 1 event per 100 km<sup>2</sup> per year.



**Fig.1** – **EUSO** compared with previous and future ground-based experiments.

# 1 Science Objectives

## 1.1 Extreme Energy Cosmic Rays – EECRs

### 1.1.1 Historical Overview and Existing Data

During the last 40 years five experiments have detected a total of 13 events above  $10^{20}$  eV (one event from Volcano Ranch [1], four from Haverah Park [2], one from Yakutsk [3], one from Fly's Eye [4] and six from AGASA [5]) corresponding to a flux of about 1 event per square kilometre and century. Additional 7 events have been provided recently by the HiRes experiment [6,7]: this establishes beyond doubt the existence of these particles, although the number is too low to allow a quantitative investigation about their origin. At present the highest energy cosmic ray measured has an energy of  $3 \times 10^{20}$  eV [4].

### 1.1.2 The Extreme Energy Universe and the probing depth for the radiation components

The Universe is filled with the ubiquitous Cosmic Microwave Backgrounds (CMB) and is so opaque to photons at the extreme energy that it can hardly be visualised by this probing component: one optical depth for EE gamma rays ( $10^{20}$  eV) is merely 1~10 Mpc.

Soon after the discovery of the CMB radiation by Penzias and Wilson in 1965, Greisen, and, independently, Zatsepin and Kuzmin pointed out that this radiation would make the Universe opaque to CRs of sufficiently high energy (GZK effect). For protons, this occurs when the pion production threshold is reached. The reaction  $p + \gamma \rightarrow \Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$  or  $n + \pi^+$  will quickly slow down the proton and lead to an effective attenuation length of 50 Mpc for a proton of  $10^{20}$  eV. 50 Mpc is about the size of the Virgo cluster to which our galaxy belongs, and is just a small fraction of the size of the Universe.

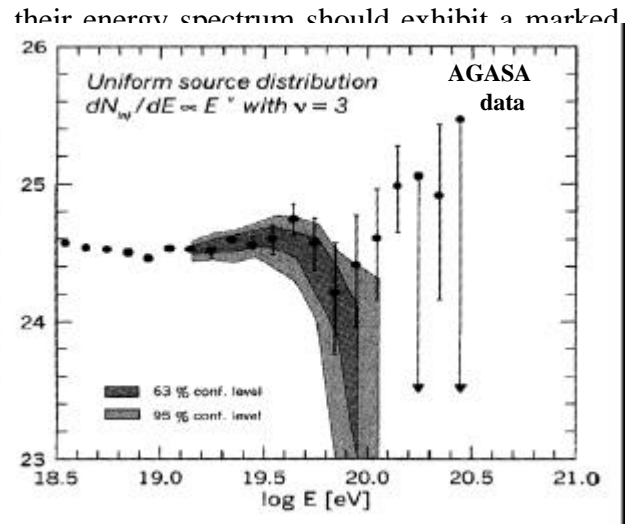
**Table 1.1** - Extreme energy processes that cutoff the energy spectrum of particles in Universe.

	Process	Cutoff Energy	Mean free path
<b>g-rays</b>	$g + g_{2.7K}$	$\geq 10^{14}$ eV (at $10^{20}$ eV)	10 Mpc (at $10^{20}$ eV)
<b>Protons</b>	$p + g_{2.7K} \rightarrow \pi^0 + X$	$\geq 5 \cdot 10^{19}$ eV	50 Mpc
<b>Neutrinos</b>	$n + n_{1.95K} \rightarrow (W/Z_0) + X,$	$\geq 4 \cdot 10^{22}$ eV	40 Gpc

If the sources of the EECR are universal in origin their energy spectrum should exhibit a marked decrease at about  $5 \times 10^{19}$  eV. Current summa observed cosmic ray spectrum does not show the protons and nuclei. The world wide data do not show the direction of arrival of the EECRs.

Many particle sources should exist in the Universe at distances beyond the GZK length of 50 Mpc. The predicted sharp cutoff of energy spectrum above  $5 \times 10^{19}$  eV may not be discernible, if nearby sources or cosmological neutrino events are dominant. A significant bump should, nonetheless, exist at  $10^{19} \sim 10^{20}$  eV due to the very GZK effect for protons, because cosmological protons that were accelerated to the super-GZK energies decay down to the trans-GZK energies and pile up at about sub-GZK energies due to redshift (Fig.1.2a and 1.2b).

The detail of the energy spectrum in the trans-GZK energy regime depends on the model of the evolution of Universe since about 10 billion years ago (or  $z \sim 5$ ) (Fig.1.2b). High statistics of data can provide the information on the evolution of the highest energy Universe. This illuminating information on the evolution of Universe might be distorted by the likely existence of super-GZK neutrinos. However, *EUSO* can identify the neutrino energy spectrum directly from the neutrino events, and the non-neutrino spectrum can be statistically

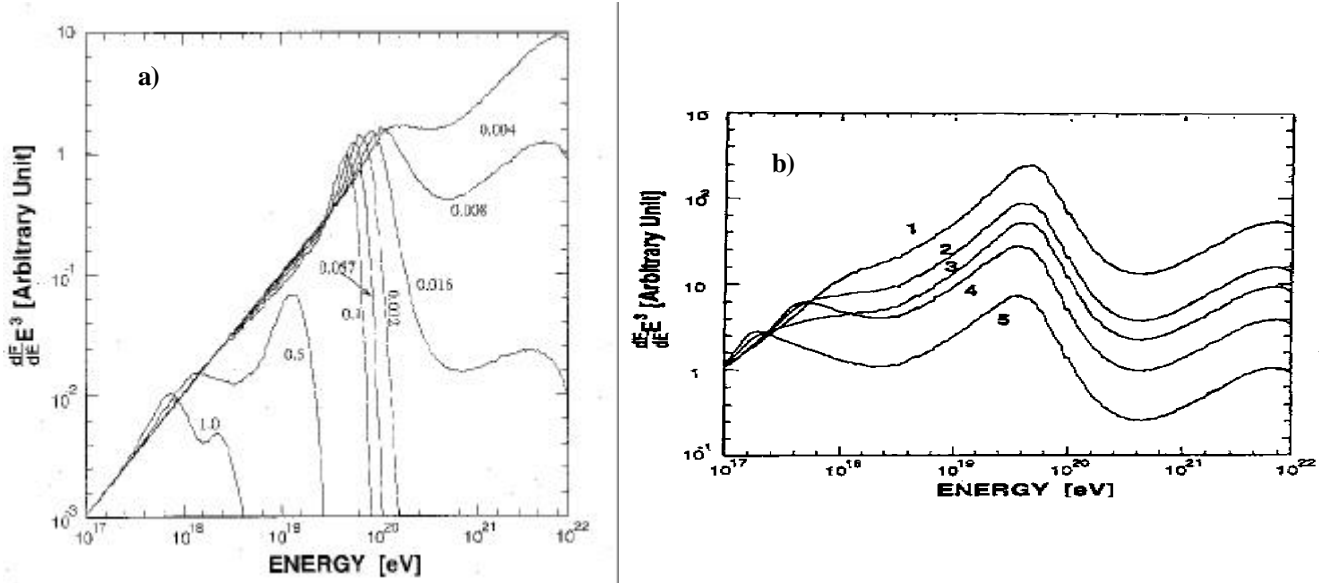


**Fig. 1.1** – Energy spectrum and GZK cutoff

corrected by subtracting relevant neutrinos and their secondaries. The evolution of energetic sources in Universe will be examined by such statistical means.

### 1.1.3 The EECR sources

Several explanations for the EECR sources have been suggested, either employing known astrophysical objects by assuming extreme values of key parameters or invoking new physics and new



**Fig.1.2 - a)** Energy spectra from a single source of protons with an  $E^2$  spectrum, for various source distances between  $z = 0.004$  and  $1$  (i.e. between  $2$  and  $5000$  Mpc) [9]. **b)** The nucleon spectrum at the trans-GZK and super-GZK energies predicted from different models of the cosmic evolution, including the hypothetical component at EE up to  $10^{23}$  eV. The curve 1 is for the case of homogeneous evolution for the redshifts  $0 \leq z \leq 2$ . The curve 5 shows non-homogeneous distribution up to  $z = 4$  in which early cosmological era has more active EE sources. Curves 2 ~ 4 are for intermediate models. Cosmological neutrinos and their secondaries are not included in this figure.

particles. In a first class of explanations, particles are assumed to be accelerated up to highest energies (bottom-up scenarios) in objects like AGNs and radio galaxies [10,11,12,13].

Pulsars [14,15], long-lived shocks of galaxy collisions or the formation of galaxy clusters [16] and Gamma Ray Bursts [17,18,19] have been discussed as possible sources of EECRs.

A second line of thought assumes that the particles come from the decay of super-heavy relic particles which were created during the Big Bang and are gravitationally bound within our galactic halo [20,21,22]. Here the problem of energetics is solved by postulating super-heavy X-particles with mass  $m_X > 10^{20}$  eV which decay into observable EECRs with energies close to  $m_X$  (top-down scenario). The sources of the X-particles could be for example topological defects (cosmic strings or monopoles) produced in the early Universe during the symmetry-breaking phase transitions envisaged in GUTs.

A third line attempts to overcome primarily the distance restrictions provided that the high energy particles are produced in suitable sources. Obviously neutrinos would not suffer from energy losses during propagation but with this assumption the problems at production, where now even more energetic particles would have to produce the neutrinos, and at Earth, where the neutrinos have to react in the atmosphere with the observed hadron-like cross sections, are severely aggravated. Other explanations postulate exotic strongly interacting massive particles (UHECRons) with a significantly longer range in the CMB than nucleons. Those particles, e.g. the  $S_0$  particle, a uds-gluino bound state [23,24], are predicted in certain supersymmetric models. As other, rather desperate, ways of solving the puzzle even the violation of the (very basic) Lorentz invariance [25, 26] and the acceleration of Dirac monopoles in the galactic magnetic field [27] have been proposed.

With the limited statistics available none of the proposed explanations is conclusively testable. Now experimentalists face the challenge of increasing significantly the data base, to achieve full sky coverage (up to now all experiments viewed the northern sky only), and also to improve the quality of



the measurement of the energy, the arrival direction, and possibly to identify the primary particle.

#### 1.1.4 How to measure EECRs

The very small flux of EECRs demands huge detector areas such as  $10^6 \text{ km}^2 \text{ sr}$  to obtain the necessary statistics. The Earth's atmosphere serves as a suitable “particle amplifier” in the sense that one primary CR particle produces an EAS with billions of secondaries. Those, rather than the primary, are the ones registered by detectors. A  $10^{20} \text{ eV}$  proton produces a shower with more than  $10^{11}$  secondaries which are spread out, basically by multiple scattering, over an area of  $\sim 20 \text{ km}^2$ .

The experimental approaches so far have been either to deploy arrays of particle detectors over many square kilometres (e.g. [2,28]) or to use the Earth's atmosphere as an active medium and observe the fluorescent light produced by the shower particles (e.g. [29,6]). The former technique is sensitive to the shower particles reaching the ground level and works independently of day and night. The arrival direction of a CR particle is determined with a precision of  $2^\circ$  from the arrival times of the shower particles at the individual detector stations. The energy is deduced from the secondary particle densities. With suitable detectors, the fraction of muons in the shower can be measured which is indicative for the identity of the primary CR. The fluorescence technique images the shower in the atmosphere onto a camera of fast photo detectors. Each pixel covers a patch of sky and a shower will show up as a line source of light. It allows to measure the longitudinal development of the shower leading to a rather reliable calorimetric energy measurement. The shower profile, specifically the height of the shower maximum, depends on the primary particle and, therefore, permits the determination of the CR composition. The arrival direction is determined via the imaging of the shower in conjunction with a precise arrival time measurement.

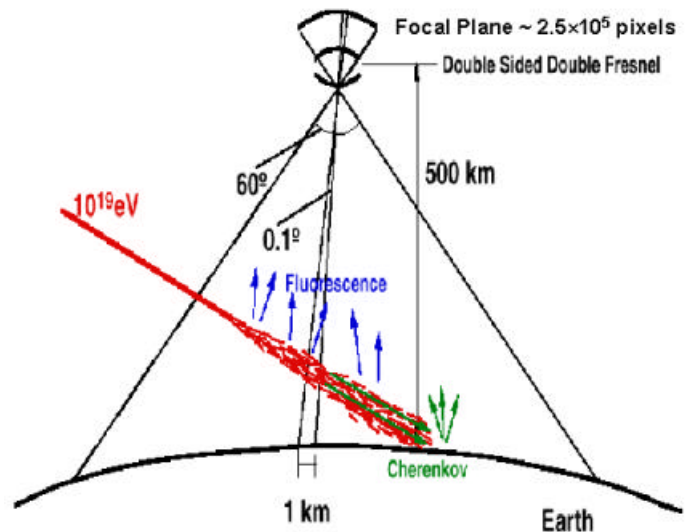
##### 1.1.4.1 The EUSO approach

A cosmic ray event with energy  $10^{19} \text{ eV}$  generates a relativistic shower of particles containing about  $10^{10}$  electrons that penetrate Earth's atmosphere at the speed of light for a length as long as 10–100 km (or longer) depending on the incident angle. The duration of this passage correspondingly lasts for 30–300  $\mu\text{s}$ . **Fig.1.3** illustrates this shower track and *EUSO* on orbit.

The atmospheric fluorescence light is the main signal we measure to detect showers. The fluorescence signal of a shower that has the number of electrons  $N_e$  is converted in photoelectrons number  $N_{pe}$ , by using the shower theory, fluorescence emissivity, atmospheric transmissivity, and the efficiencies of the optics and detectors. The average background including nightglow is evaluated, by using the data from satellite [30] and balloon-flight [31] measurements in the relevant wavelength range, as  $\sim 200 \text{ photons m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ ns}^{-1}$ . The sequence of the shower development along the vertical depth of air can be analysed by the spatial and temporal transition of the fluorescence intensity, as well as by using the landmark Cherenkov signal, as shown in **Fig.1.3**. This quantitative assessment of the fluorescence and background yields the detectable shower energy above  $4 \times 10^{19} \text{ eV}$  with energy resolution of about  $\pm 15\text{--}20\%$ .

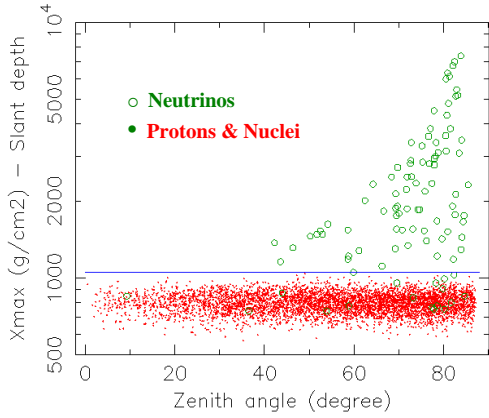
Downward going neutrino events penetrate deep into the atmosphere before starting an EAS. They can be discriminated from protons (and photons) with nearly 100% efficiency by a selection criterion on the depth of the starting point of the shower deeper than  $10^3 \text{ g cm}^{-2}$  (**Fig. 1.4**).

Tracing of a particle back to the astrophysical source requires adequate angular resolution. Monte

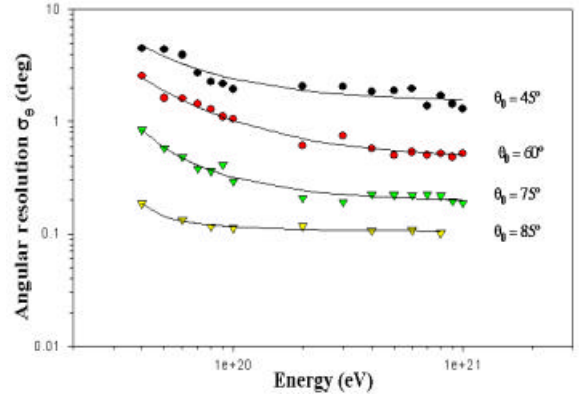


**Fig.1.3** – Orientation of the fluorescence (left) and Cherenkov (right) lights for detection by the *EUSO* satellite (not on

Carlo simulations of atmospheric fluorescence signals of ordinary downward events show that it is from  $0.2^\circ$  to  $\geq 2$  degrees, depending on the zenith angle (**Fig.1.5**). It will be much better than these values if we use the Cherenkov landmark signal (see Sect.1.2.7 for a detailed description). On the other hand, the direct Cherenkov method for upward showers automatically holds the precise angular resolution  $0.1^\circ$  (equivalent to 1pixel) at any given zenith angle.



**Fig.1.4** - Shower depth distribution from Monte Carlo simulations, by which neutrino events can be distinguished from proton events [32].



**Fig.1.5** - Angular resolution of showers (see text) [33].

We already illustrated in **Table 1** how the observational area size of *EUSO* mission compares with present and future ground experiments. The corresponding aperture size for neutrino observation is not proportional to the area size, but to the target volume shown in **Table 1.2**, which is more significant for a space observatory due to the usefulness of the upward going neutrino events.

### 1.1.5 What do we learn from EUSO

#### 1.1.5.1 High Statistics and All-sky Coverage

*EUSO* is conceived as a satellite-based instrument viewing about  $10^6 \text{ km}^2 \text{ sr}$  (!) of atmosphere from above. It will image the fluorescence light through large Fresnel lenses onto a finely segmented focal plane. The segmentation and the time resolution will be fine enough to reconstruct the arrival direction and shower energy to a precision comparable to what is reached in existing or planned experiments. Since fluorescence measurements are only possible over the dark side of Earth, the resulting duty cycle is, similar to Earth-bound fluorescence detectors, only about 10-25%. Still a few thousand events above  $10^{20}$  eV will be registered during the mission life-time.

In the case that no GZK cutoff is observed, a high statistics measurement can test the extension of the spectrum to about  $10^{21}$  eV and therefore put even more stringent limits on the sources and acceleration mechanism. If a cutoff is observed the detailed shape of the spectrum reveals the distance distribution of the sources, as illustrated in **Fig.1.2** shown earlier.

In addition, in an orbit with  $10^\circ$ - $15^\circ$  inclination and with good sensitivity for large zenith angle showers, *EUSO* provides full sky coverage allowing a sensitive search for anisotropy over the whole sky with a single instrument. As described above, nearby sources are expected to induce anisotropy in the arrival direction distribution which should be the more distinct the higher their energy is. Up to now no such anisotropy is established, possibly just due to the small number of events. Especially an isotropic distribution, which is expected for the super-heavy relic scenario, can only be well established with sufficient statistics (as the case of the GRBs has recently shown). With *EUSO*, a  $\sim 2\%$  level anisotropy can be measured.

The results from *EUSO* will extend our knowledge about the highest energy cosmic rays and help solving most of the problems being posed in the present situation (**Fig.1.6** and **Fig.1.7**). This will have a big impact on Astrophysics, Cosmology, and Particle Physics.

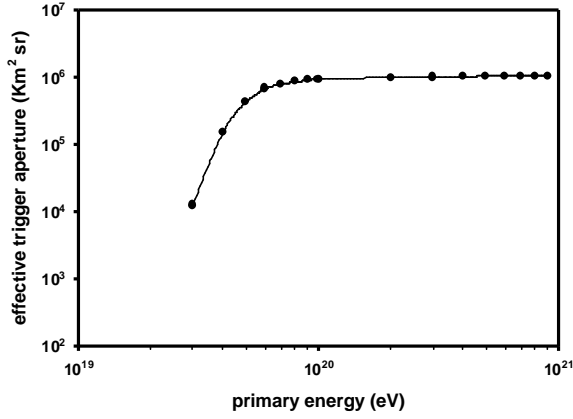


Fig.1.6 – EUSO effective trigger aperture.

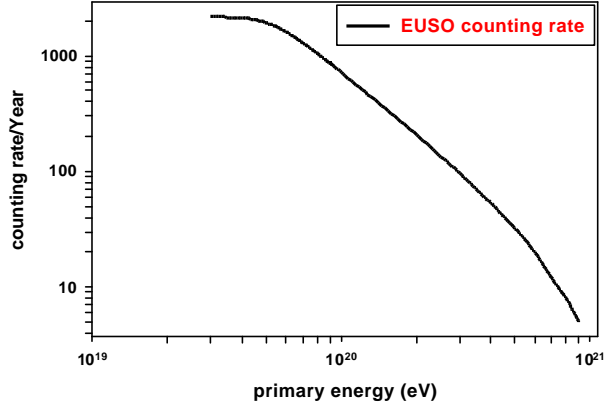


Fig.1.7 – EUSO expected counting rate (10% duty  $Z_0$  are gamma rays, nucleons and neutrinos, as firmly established by the CERN LEP experiments [42].

### 1.1.5.2 Absolute Energy Calibration at Extreme Energies

Air showers induced by cosmic rays have so high energies as 100 million times the highest energy proton synchrotron accelerator beam ( $10^{12}$  eV, Fermilab Tevatron) that no **artificial** energy calibration is feasible. Nonetheless, the **nature** gives the peak energy of the GZK bump which can be identified in the expected abundant **EUSO** data, which then would by itself permit a calibration of the measured energies (**Fig.1.2b**). Whatever the cosmic accelerators are, or whatever the uncertainties of interactions at such high energies may be, the universal CMB temperature of 2.7 K presents **EUSO** such a clear means to calibrate the absolute energy and experimental methods.

## 1.2 Exploration of Extreme Energy Neutrinos and the Neutrino Universe

The flux of the EECRs above  $10^{20}$  eV is so low, and the rate of the detectable neutrino events is far less, that a very large target is necessary. An orbiting observatory which can much extend the observable target size is essential to explore the neutrino universe. In the standard Electro-Weak and Quantum Chromodynamics (QCD) theory the  $\nu N$  cross-section continues to increase above the centre of mass energy  $\sqrt{s} = M_W \approx 90$  GeV due to the increase of partons with energy. This cross section has been established by DESY at energy  $E_{eP}$  (LAB)~10 TeV and the QCD theory predicts  $\sigma_{\nu N} \propto E_{LAB}^{0.4 \pm 0.1}$  [38,39]. It is 0.1 microbarn at  $10^{20}$  eV and sufficiently high for cosmic neutrinos to produce showers in the atmosphere.

### 1.2.1 Neutrinos from Topological Defects

The topological defects models predict a high neutrino flux  $I_\nu$  ( $E > 10^{20}$  eV)  $\sim 5 \times 10^{-18}/\text{cm}^2 \text{ s sr}$ , and several tens of events per year could be observed by **EUSO**. Very large fluxes of neutrinos which would exhibit a hard spectrum above  $10^{19}$  eV might provide evidence of a phase transition predicted by GUTs [40]. Alternatively, such fluxes may be evidence of superheavy particles [41] which could make up the mysterious “dark matter” (DM) that comprises the bulk of the mass of the Universe.

### 1.2.2 $Z_0$ -bursts and Tomography of Relic-Neutrinos in Cluster of Galaxies

The annihilation cross section of massive EE neutrinos with anti-neutrinos is 42 nb (**Fig.1.8**). Because this annihilation process is resonant, the event energy is unique in terms of the neutrino mass,  $E_{Z\text{-burst}} = 4 \times 10^{21} (m_\nu c^2/\text{eV})^{-1}$  eV. The conservative estimate of the target neutrino density of Cosmic Neutrino Background (CNB) in Cluster is 100 times the average ( $54/\text{cm}^3$ ) or higher (up to  $10^4$  times).

Secondaries of  $Z_0$ -bursts are gamma rays and nucleons, which travel only within the Cluster before reaching the Earth and thus unaffected by the GZK cutoff. Recent data suggests that the observed EE particles do not seem coming from much farther than the GZK propagation length. Furthermore, the AGASA experiment reported the non-statistical pairing of the observed EE particles [43]. Such a pairing and the abundance of the Super-GZK-energy events are in favour of the  $Z$ -bursts. **EUSO** may

use not only Earth's atmosphere, but also the CNB in Virgo Cluster as a huge cosmic "target" for EE neutrinos that come from cosmological distances and produce EE cosmic rays in Cluster.

### 1.2.3 Neutrinos from Active Galactic Nuclei

Quasars are most powerful continuous emitters of energy in the known Universe. These remarkable objects are fuelled by the gravitational energy released by matter falling into a supermassive black hole at the centre of the quasar core. The infalling matter accumulates in an accretion disk, which heats up to temperature high enough to emit large amount of UV and soft X-radiation. The mechanism responsible for the efficient conversion of gravitational energy to observed luminous energy is not yet completely understood. In a subcategory of quasars, known as blazars, these jets are pointed almost directly at us with their observed radiation, from radio to gamma-ray wavelengths, beamed toward us. It has been found that most of these blazars actually emit the bulk of their energy in the high-energy gamma-ray range. If, as has been suggested, the gamma-radiation from these objects is the result of interactions of relativistic nuclei, then high-energy neutrinos will be produced with energy fluxes comparable to the gamma-ray fluxes from these objects. Although its acceleration mechanism is not yet justifiable, a particular blazar model [60] implies  $\sim 10$  events above  $4 \times 10^{19}$  eV. On the other hand, if purely electromagnetic processes involving only electrons produce the gamma radiation from blazars, then no neutrino flux will result. *EUSO*'s upward tau showers above  $10^{15}$  eV can answer this question.

### 1.2.4 Neutrinos from Gamma Ray Bursts

Gamma Ray Bursts are nature's most energetic transient phenomenon. In a short period (0.1~100 s) these bursts release an energy in gamma rays alone of the order of  $10^{52}$  erg. GRB's are detected as frequent as 1 event/day  $\sim 4.5 \times 10^{-8} \text{ h}^3 \text{ Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ . Its total output in the Universe is  $3 \times 10^{44} \text{ erg Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ , coinciding with the total EECR energy above  $10^{19}$  eV,  $\sim 3 \times 10^{44} \text{ erg Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$ . It has been proposed that particles can be accelerated in these bursts to energies above  $10^{20}$  eV, either by shocks [19,44,17,45] or photonically driven plasma waves [46,47]. If cosmic rays are accelerated in them, interactions in the sources to produce pions have been suggested as a mechanism for producing very high energy neutrinos as well. These neutrinos would arrive at Earth together with gamma rays and are testable by *EUSO*.

Some estimations of the neutrino production from GRB energies showed  $3 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$  at  $E=10^{20}$  eV [17,18], but later corrections by synchrotron radiation loss and range staggering of mesons in GRB fireball reduced the original prediction substantially, at least for inner shock models [48,49]. It now predicts no events in the EE region [49]. Other GRB model with plasma-wave photonic acceleration which is relatively immune for these losses suggests a higher yield of neutrinos up to  $10^{23}$  eV. These point sources could possibly yield a detectable number of air shower events for the *EUSO*. Estimates above  $10^{19}$  eV with the Waxman [49] and Vietri [45] models and the wakefield model suggest that *EUSO* should be able to see about 3 and 100 events per year, respectively. Tests about the existence of neutrinos from GRBs and their energy spectrum allow us to verify understanding of fireball models.

### 1.2.5 GZK Secondary Neutrinos: conventional secondary source

The least hypothetical flux within the conventional knowledge is that of GZK neutrinos. They are secondaries from the GZK process ( $p + \gamma_{2.7^\circ\text{K}} \rightarrow \pi \rightarrow \nu$ ) at the cosmological distances [50,51]. Extreme energy protons above  $10^{20}$  eV will collide with CMB photons. Conventional estimate of this flux is, however, uncertain to a factor of about 10 or more, depending on the evolution model of the Universe, proton intensity in inter-cluster space, and others. The number of observable GZK-neutrinos with the *EUSO* would be a few events per year at  $10^{20}$  eV. Nonetheless, those above the fluorescence threshold energy are about 10 events per year.

### 1.2.6 Summary of the EE Neutrinos from the Estimated Cosmological Sources

The *EUSO*'s usable amount of target can come from three different categories: (1) air target for ordinary downward fluoresce method, (2) Earth crust for near-horizontal upward showers, and (3):

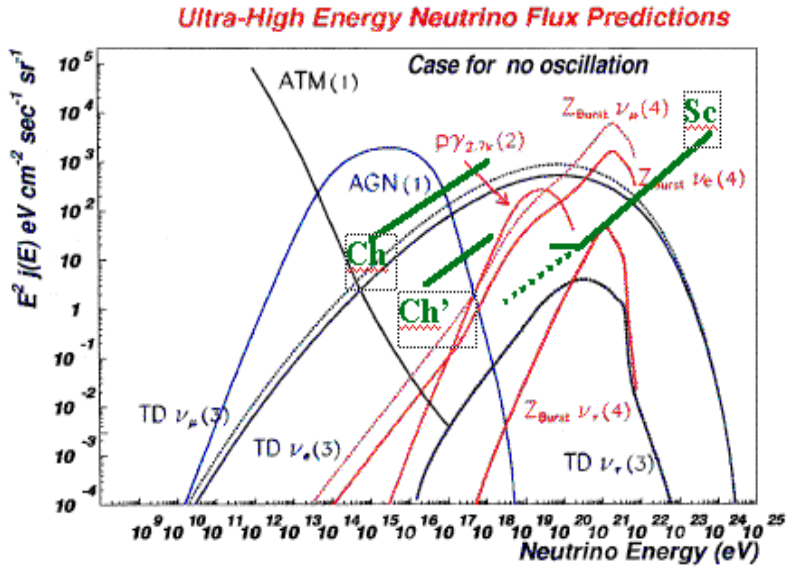
Earth for vertical, upward tau-neutrino  $\nu_\tau$  showers ( $E > 10^{15}$  eV) which increases with energy due to the lifetime of tau. **Table 1.2** summarises them.

**Table 1.2** - Target mass for the *EUSO* satellite. The target amount is: (1) air target for ordinary downward fluorescence method, (2) Earth crust for near-horizontal upward showers, (3) Earth crust for vertical, upward  $\nu_\tau$  showers ( $E > 10^{15}$  eV).

<i>EUSO</i>	Air (1)	Earth Crust (2)	Earth crust (3) (0.5 km at $10^{15}$ eV)
$\nu$ -Target mas	$\sim 10^{13}$ tons	$\sim 2 \times 10^{12}$ ton (crust)	$6.5 \times 10^{14} \times (E/10^{15} \text{ eV})$ tons

The largest planned ground experiment for neutrino observation (ICECUBE) has  $10^9$  tons target mass.

**Fig. 1.9** - Predicted spectrum and the detector sensitivity of *EUSO*. All the curves are for the case without oscillations. (The tau-neu lines should be raised to  $\sim 1/2$  of the  $\nu_\mu$  lines for  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$  oscillation.) Predictions from GRB's are not shown, but they are close to the curves (4). The uppermost line (Ch) denotes the one-event detection level by Cherenkov method for upward showers whose axes must lie within  $1.3^\circ$  from the axis of the *EUSO* satellite. The middle (Ch') line indicates the same, but for off-axis events, whose upper atmospheric Cherenkov signals are generated by the winding electrons along the spirals which are dictated by the Earth's magnetic field. The lowermost dotted-line (Sc) is for the horizontal showers whose threshold energy can be reduced as shown by taking account of the additional fluorescence from the magnetic-winding of electrons in the upper atmosphere. The solid line (Sc) above  $2 \times 10^{19}$  eV shows the standard detection by the regular fluorescence method.



Major components of high energy neutrinos are shown in **Fig.1.9** including upward showers. Compared also in **Table 1.3** are prominent neutrino sources, showing the number of events which *EUSO* can observe. Due to the significant difference of the spectral indices of these different predictions, the sources, if observed, can be discriminated in the energy regime  $10^{19}$ - $10^{21}$  eV. One of the most striking fact is that the number of low energy ( $10^{15}$ - $10^{18}$  eV) upward tau-neutrino events is expected to be several hundreds per year for the *EUSO*. Some nearby AGN sources may be identified with statistics greater than 20 events for each. Should they be really observed by *EUSO*, they would prove that proton accelerations above  $10^{15}$  eV were occurring in AGN, and would prove that tau-neutrinos  $\nu_\tau$  were indeed appearing from the cosmological  $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$  oscillation.

**Table 1.3** - Neutrino event rates with *EUSO* for four major origins. The energy dependence of the neutrino cross section ( $\sigma \propto E^{0.5}$ ) is applied to the calculations. Targets used here are one-half of atmosphere and a partial Earth crusts (2000 r.l. at  $10^{20}$  eV). The ratio of the event rate in the atmosphere and Earth-crust at  $10^{20}$  eV is  $\sim 1:2$ . The numbers represent the interacted events of only  $\nu_\mu$  and  $\nu_e$ .

Sources	#/yr ( $E > 10^{19}$ eV)	#/yr ( $E > 10^{20}$ eV)	Source Location	$\beta$ for ( $E^{-\beta}$ dE)
Greisen $\nu$ 's	2 - 10	0.1 - 2	Isotropic & uniform	$> 3$
TD $\nu$ 's	10 - 100	5 - 40	Discrete	$\sim 1.5$
GRB $\nu$ 's	0 - 80	0 - 50	Point source; isotropic	$\sim 2; \sim 1$
Blazar $\nu$ 's	$< 10$	$< 1$	Point source; isolated	$\sim 3.5$

### 1.2.7 Cherenkov detection

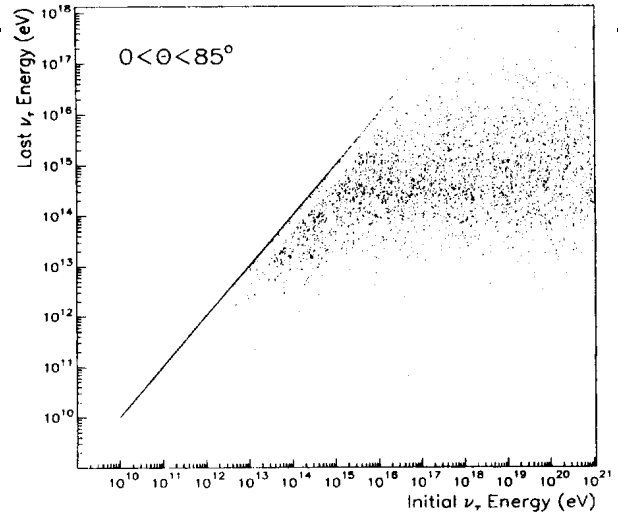
An EAS also emits **Cherenkov light**. While the fluorescence emission from  $N_2$  molecules is isotropic, the Cherenkov emission is highly collimated within  $\sim 1.3^\circ$  along the direction of motion of the shower. The detection of Cherenkov light produced in EECR showers is a distinctive feature for *EUSO*, giving an unique signature of two different kinds of events. On one hand, an ordinary downward air shower sends back to the *EUSO* satellite the Cherenkov light only as diffusely reflected by the Earth's surface (**Fig.1.3**). It gives a landmark signal of the air shower, which precisely indicates the position and time of the landing point on the Earth surface, helping the measurements of the atmospheric height of the shower maximum and of the zenith angle of the initiating cosmic ray. On the other hand, an upward moving shower that is generated by an Earth-penetrating neutrino beamed to the *EUSO* optics can be detected via its direct Cherenkov light yield. Its intensity in the wavelength range 330-400 nm from an upward going shower is very high for the *EUSO* satellite:  $\sim 40$  pe ( $E/10^{15}$  eV)/pixel. This direct signal is extremely useful for the observation of neutrinos, because its threshold energy is a few times  $10^{14}$  eV, much lower than that of the fluorescence method,  $\sim 4 \times 10^{19}$  eV. It allows to open a wide window of neutrino observation within the energy range from  $\leq 10^{15}$  eV to  $\sim 10^{21}$  eV or more.

The Cherenkov signal generally forms a “short track”, as seen by the ground gamma Cherenkov observatories (Whipple and Cangaroo). *EUSO* views the Earth's night sky with the pixel size of 1-km square, and therefore, the Cherenkov signal from a shower is contained within one pixel due to the extremely narrow viewing angle of the on-axis width and length of the shower. The duration of this Cherenkov signal of upward showers for an orbiting satellite is only  $\sim 10$  ns. In contrast, the downward proton events that emit the mimicking Cherenkov signal can only make it detectable by the surface reflection on Earth. These downward events must have shower energies above  $4 \times 10^{19}$  eV, and therefore discernible fluorescence signals accompany them. Furthermore, the duration of the surface reflection of the Cherenkov lights from the downward air showers spreads over several hundred nsec at the end of the time-wide detectable fluorescence, which lasts for 10-100  $\mu$ s (**Fig.1.3**). This difference of the characteristic signals permits *EUSO* a unique signature for the upward neutrino events and the regular downward species.

### 1.3 Cosmological Neutrino Oscillation Testable by the Tau-Neutrino Abundance

A horizontal tau-neutrino event at energies greater than  $10^{19}$  eV can be identified by a “double bang” structure. Both the initial shower at the  $\nu_\tau \rightarrow \tau$  interaction, and another, by the  $\tau$ -decay, can be seen because of the long enough path-length ( $\sim 1000 [E/10^{20}$  eV] km) for tau-decays observable by *EUSO*. Tau-neutrinos above  $10^{15}$  eV, on the other hand, will be observed and identified as Earth-penetrating “upward” showers (by Cherenkov). High  $\nu_\tau$  flux by the  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  oscillation and the low detection threshold energy for them allow *EUSO* to make oscillation experiments in space as well as  $\nu_\tau$  astrophysics of AGN above  $10^{15}$  eV.

While most neutrinos ( $\nu_e$  or  $\nu_\mu$ ) above  $4 \times 10^{13}$  eV are absorbed by Earth, the  $\nu_\tau$ 's survive throughout  $\nu_\tau \rightarrow \tau \rightarrow \nu_\tau \rightarrow$  cascading in the path through the Earth. Therefore, all the higher energy tau-neutrinos ( $E_{\nu_\tau} > 10^{15}$  eV) through Earth pile up at the shower energies  $10^{14}$ - $10^{18}$  eV at any zenith angle. This window of upward shower at energies  $10^{15}$ - $10^{18}$  eV makes the astrophysical and cosmological tau-appearance quite unique (**Fig.1.11**). The probability of a flavour-changing oscillation in flight over a distance  $L$  is



**Fig.1.11** - Upward tau-showers up to  $10^{18}$  eV by Earth penetrative tau-neutrinos [52].

$$P_{a \rightarrow b} = \sin^2 2q \times \sin^2 \left[ \frac{1.27 \Delta m^2 (eV)^{-2} L (km)^{-1}}{E (GeV)^{-1}} \right],$$

where,  $\sin^2 2\theta > 0.82$  and  $5 \times 10^{-4} < \Delta m^2 < 6 \times 10^{-3} (eV)^2$  [53]. If the  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  oscillations are taken to explain the deficiency of atmospheric mu neutrinos, tau neutrinos should appear as abundant as muon neutrinos, and yield a definitive proof of oscillation. Several long-baseline accelerator experiments have been planned to see tau appearance. However, the sensitivity to the range of  $\Delta m^2$  implied by the Super-Kamiokande results are not completely covered by the planned long baseline accelerator experiments. Since the oscillation length at  $E_\nu = 1$  GeV is  $\sim 10^3$  km, as defined by  $L = \frac{p \times (E/GeV)}{2.54 \times \Delta m^2 / (eV)^2} km$ , it is only  $\sim 10$  lt yr for EECR neutrinos at  $E \sim 10^{20}$  eV. This means that almost all the astrophysical EE neutrinos fly longer than the oscillation length, while atmospheric neutrino oscillation at this energy is negligibly small due to the very small  $L/E_\nu$  factor. Assuming that the mixing angle is large ( $\nu_\tau, \chi_{(R)} / \nu_\mu \sim \sin^2 2\theta \sim 1$ ), the cosmological oscillations can narrow the mass difference down to  $\Delta m^2 \sim 10^{-17} eV^2$  if tau-neutrinos above  $10^{20}$  eV come from GRB's ( $L \sim 1$  Gpc).

### 1.4 Possible Tests of the Relativity Principle by EE Neutrinos and Gamma Rays

Relativity Principle irreconcilably contradicts with the finiteness of the space-time that is principally limited by the Planck length of Quantum Physics. A possible violation of the Relativity Principle for extreme Lorentz factors has been proposed in several theoretical works [54,55,26,56]. Sato and Tati [54] discussed a possible existence of the local vector ( $N_\mu$ ) of the rest frame of the expanding Universe. More recently, Coleman and Glashow [26] surmised a universal vector component of symmetry-breaking vacuum in addition to the scalar energy density. If the vector density exists, the Relativity Principle on the maximum Lorentz factor could be set in our local system. In addition, the asymptotic velocity of massive particles ( $c'$ ) can be different from the ordinary light velocity  $c$ . Several high-sensitivity tests of the Relativity Principle can be performed with EE cosmic rays and neutrinos:

- (a) The Equivalence Principle can be proven for Lorentz factors of the order of  $5 \times 10^{10}$  if EE protons really show the GZK cutoff. High statistics of observed events from a few times  $10^{19}$  eV to beyond  $10^{21}$  eV would provide a clear test of relativity up to  $\gamma_p \approx 10^{12}$  or velocity  $1 - \beta \approx 10^{-25}$ .
- (b) EE neutrinos can provide much more robust tests of the Relativity Principle, because they have far greater Lorentz factors ( $\geq 10^{20}$ ). We would experience highest Lorentz factors in the physical world,  $\gamma_\nu$  (or  $\gamma_p$ )  $\geq 10^{20}$ , by an observation of neutrino events at  $10^{20}$  eV. The  $\nu + p$  interaction at  $E_\nu = 10^{20}$  eV is equivalent to the process of  $p + \nu$  at  $E_p = 10^{29}$  eV. We note that the de Broglie wavelength of protons in the latter case is  $1.3 \times 10^{-35}$  cm, which is already smaller than the Planck length ( $\lambda_p = (Gh/c^3)^{1/2} = 4.05 \times 10^{-33}$  cm) and is beyond the quantum physics domain.
- (c) Cosmological ( $10^{21} eV/m_\nu c^2$ ) neutrino annihilation with a relic neutrino in Cluster is relativistically equivalent to that of the CMS annihilation at  $Z_0$  mass-energy of 90 GeV. Relativity Principle is valid for Lorentz factor of the order of  $\gamma_\nu \geq 10^{21}$  if the  $Z_0$  production in Virgo Cluster becomes verified. The ultrahigh Lorentz factor of EE neutrinos allows a modern, high sensitivity version of the Michaelson-Morley experiment. Any void of both (1)  $Z_0$ -burst events ( $p$  and  $\gamma$ ) and (2)  $\nu$ -induced air shower events in some direction could lead to the cosmological rest frame to the highest sensitivity of the velocity,  $1 - v/c \leq 5 \times 10^{-43}$ . The best limit of sensitivity so far obtained for the "rest system search" is that obtained as  $1 - v/c < 3 \times 10^{-22}$  by the COBE's CMB

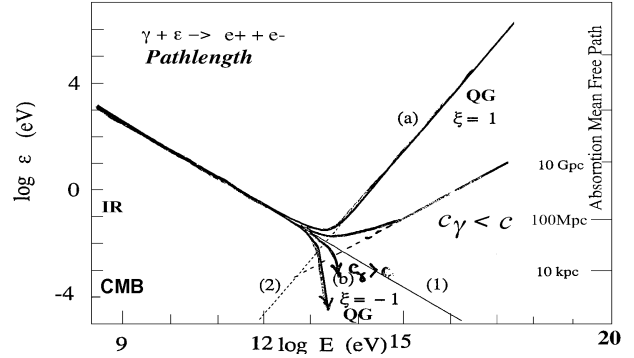


Fig.1.12 - Long path length of  $\gamma$ -rays above  $10^{15}$  eV in the hypothetical Quantum Gravity vacuum.

- experiments with the system velocity  $\sim 10^{-3} c$ .
- (d) High-energy of gamma rays normally decay by pair production with CMB photons within 10 kpc – 10 Mpc (for  $10^{13} - 10^{20}$  eV), and no events from GRB's can be expected. However, EE gamma rays in Coleman-Glashow space or quantum gravity vacuum can survive over much longer pathlength ( $\gg 10$  Gpc, **Fig.1.12**) than in ordinary continuum vacuum ( $\sim 10$  Mpc) due to the absence of pair-production loss owing to the energy-momentum conservation law [57]. Thus, a possible observation of EE gamma rays, if any comes from cosmological GRB's, could be an evidence for the difference of asymptotic velocities of lights and massive particles, or a symmetry-breaking vector component.
- (e) Some quantum gravity approach toward the Planck mass scale ( $E_p = 10^{28}$  eV,  $4 \times 10^{-33}$  cm) proposes a medium effect for gamma ray velocity [58,59]. Although the foundation of the quantum gravity does not yet exist and the medium effect is debatable, these approaches suggest that the speed of light is reduced at very high energies by the formula,  $v = (1 - E/E_{QG} + O(E^2/E_{QG}^2)) \times c$ , where  $E_{QG}$  is of the order of the Planck scale,  $E_{CG} = E_p$ . The first-order term in the dispersion relations predicts 1-year delay of the arrival time of EE gamma rays from GRB's. It is, however, only  $\sim 10$  s delays if only the second-order term  $(E/E_p)^2$  is valid. *EUSO*'s temporal sensitivity  $10$  s  $\sim 1$  year can determine the EE light velocity in the corresponding measurable range  $(1 - 10^{-17 \sim -7}) \times c$ .

## 1.5 Other Science Goals

### 1.5.1 Search for transient phenomena in the U-band sky

The Secondary Observation mode (see Sect. 5.2) active for about one half of the overall observation time gives the opportunity to study in U-band (330-400 nm) several classes of transient and unpredictable astronomical phenomena ranging on times scale from a few seconds to days or weeks. Ground or space based optical telescopes are obviously better than *EUSO*, in terms of angular resolution and limiting magnitude; however they are strongly limited from their small field of view, typically not larger than a few arcmin<sup>2</sup>. The very large *EUSO* field of view ( $60^\circ$ ) represents an unique opportunity to monitor in U-band a large portion of the sky, aimed at localising possible flux time variations with a few arcminute precision. As matter of fact the sky brightness in the U-band from space is primarily due to the sum of zodiacal light, starlight and starlight scattered by interstellar dust [61], and because the instrumental background is negligible respect to the sky component, we expect an average steady state signal of about 7-8  $m_U$ /pixel. These constraints allow the detection of phenomena such as UV counterpart of GRBs, Supernovae (SN), Galactic transient sources, and Active Galactic Nuclei (AGN) activity. The variability search technique will be based on the ‘‘blink’’ between sky images obtained with an appropriate exposure time and reference frames previously secured.

**Supernovae:** The main interest for searching SN with *EUSO* is obvious: it gives us an unique opportunity of ‘‘near-maximum light’’ discovery of ‘‘nearby’’ core-collapse Supernovae (Supernovae of type II and Ib). Detection of Supernovae at maximum light (or even better during the rise to maximum) provides a remarkable science impact in the field of: a) late stages of stellar evolution; b) neutrinos (in principle nearby Supernovae could solve the problem of the rest mass of neutrino via time of flight delay over astronomical distances); and c) gravitational waves (emitted during a  $\sim 20$  solar masses stellar explosion). By assuming a conservative background magnitude (due to the parent galaxy surface brightness) of  $U \sim 20$  mag/arcsec<sup>2</sup> and an absolute magnitude at maximum of type II Supernovae of  $M_U \sim -18$  [62], we can monitor (with signal-to-noise ratio  $>10$  in 600 s exposure) a volume of space as large as  $\sim 10^6$  Mpc<sup>3</sup>. This implies (keeping in mind the estimates of Supernova rates [63]), 12 potential detections of core-collapse Supernovae in one year (all sky).

**GRBs:** The recent discoveries from *BeppoSAX* satellite [64] and the optical [65] and radio follow-up observations have shown a most complex scenario of the GRB phenomenology, particularly it is not clear at all whether or not these powerful explosions are connected with core-collapse Supernovae (as for SN 1998bw, see for example [66]). An important piece of information derives



from the study of the afterglow phenomenon. Indeed, the measure of the delay between optical and gamma-ray emission and the shape of the optical light curve are fundamental to discriminate parameters in the fireball model class [67]. Unfortunately, current observations at low frequency of GRBs can be usually performed many hours after the discovery of the gamma burst. As a consequence of the delay due to the time needed to alert the optical and radio telescopes, we can normally follow up the late stages of the afterglow (with some notable exception like, GRB 990123 [68]). Gamma Ray Bursts are rarer than SNe of type II, by about a factor  $10^4$  [69]. However, they are about  $10^3$  brighter. This implies that, in a low density Universe [70], GRBs are detected from a volume larger by  $\sim (10^3)^{1.5} = 10^{4.5}$ , therefore compensating the smaller density of events and causing the rate of potential detectable GRBs to be of the same order of magnitude (all sky) with respect to the one previously computed for type II SNe (+Ib).

**By product:** (a) AGN and in particular Blazars show a strong variability in all the electromagnetic spectrum from optical to TeV range; the very large EUSO field permits to monitor a relevant fraction of the most intense objects, for large time span, making possible multi-band variability studies, in correlation with other experiments. (b) Flare stars as RS CVn stars and T-tauri stars showing a continuing changing brightness are examples of galactic objects to be monitored together with the search for new eclipse binary systems which can be discovered by their periodic signal decreasing. (c) Galactic Novae (with a frequency of 3-4 per year) having a magnitude at maximum ranging between U~3-7, can be promptly detected. (d) Large EUSO field of view can be used also to follow the orbits of space debris, i.e. unusable artificial objects around the Earth, helping the control authorities in their activity.

### 1.5.2 Earth Atmosphere

The correct interpretation of the *EUSO* observational data needs to take into account all Optical Phenomena (OP) which could take place in the atmosphere during the detection. The fluorescence caused by EECR appears mainly in the troposphere and its duration is expected to be of the order of several nanoseconds, while the duration of the known atmospheric OP varies from hours (nightglow) down to milliseconds (blue jets, blue starters, red sprites).

The nightglow in the 330-400 nm interval contains mainly molecular emissions of O<sub>2</sub> Herzberg band, 2<sup>nd</sup> positive band of N<sub>2</sub> and the 1<sup>st</sup> negative band of N<sub>2</sub><sup>+</sup>. Their intensity, in some limits, depends on the season, local time, longitude, latitude, solar activity, geomagnetic activity, ..., while the brightness depends also on the geometry of the observation. Generally, the nightglow lasts throughout the night, with declining brightness after sunset, very low values around the midnight period and increasing brightness towards sunrise. The nightglow in the interval under examination has planetary distribution and is located in the mesospheric region, with specific small variations due to the particular local conditions.

In the equatorial zone, free from auroral interference but where thunderclouds could be formed after sunset, it should be expected that short-lived OP such as blue jets and blue starters [71] will probably be detected during observations. Such kinds of effects in the Earth's atmosphere have a mainly vertical structure extending from the troposphere up to the mesosphere. Their spectral characteristics are not sufficiently well determined yet. Elves, another type of OP, are horizontal developed structures observed in the mesosphere. There are very few measurements of Elves [72,73] up to now, so their occurrence, duration and spectral composition are not completely clear.

Although reports for observation of similar short-lived OP have been published at the beginning of the 20th century [74], only during the last decade have different theories and models been developed as attempts to explain the experimental results. One of these theories [75] is based on the assumption that during thunderstorm activity a strong electrostatic field arises between the top of the thunderclouds and the ionosphere. Under such conditions, the charged secondary products created by the interaction of the CRs with the atmosphere are accelerated and an avalanche process initiates leading to substantial increasing of the relativistic particle formation. This provokes runaway air breakdown combined with generation of  $\gamma$ -rays and optical emissions. A model study [76] confirms such a scenario, but it is not enough to explain all experimental data. Theoretical considerations [77],

based on kinetic simulation of electromagnetic pulses from the clouds towards the ionosphere, show that different atomic and molecular emissions are generated. The main contributions of the OP to the *EUSO* wavelength interval are the emissions in the 2<sup>nd</sup> positive band of N<sub>2</sub> and the 1<sup>st</sup> negative band of N<sub>2</sub><sup>+</sup>.

Some characteristics of short-lived OP are summarised in **Table 1.4** where it is evident that the information regarding their spectral properties is not sufficient. This is due to the fact that the experiments, carried out till now for OP's study, usually employ broadband filters.

The OP listed in **Table 1.4** could be considered as atmospheric phenomena which could be studied extracting information from the recorded *EUSO* images which relate to EECRs events (their spatial and temporal characteristics are distinctively different from the EAS tracks). It will make it possible to also identify the tracks caused by meteorites or space debris: these tracks last from milliseconds up to a few seconds; spectrally they cover the UV, VIS and NIR spectral intervals.

**Table 1.4** – Some short-lived Optical Phenomena in the Earth's atmosphere [71].

	<b>Blue Jets</b>	<b>Blue Starters</b>	<b>Elves</b>
<b>Colour</b>	Deep blue	Deep blue	/
<b>Min Altitude, km</b>	~ 20 (cloud tops)	~17 (cloud tops)	75
<b>Max Altitude, km</b>	40-50	25.5	105
<b>Width, km</b>	~ 3 (cone about 15°)	~2	100-300
<b>Emission</b>	Not measured	Not measured	N <sub>2</sub> <sup>+</sup> 1P
<b>Brightness, kR</b>	~500	≥1MR	> 1000
<b>Duration, ms</b>	~250	shorter than BJ	1
<b>Association lightning</b>	Often follow blue starters	~25 km away from -CG	"intense" +CG
<b>Occurrence rate</b>	2.8/min (few samples)	5.3/min (few samples)	

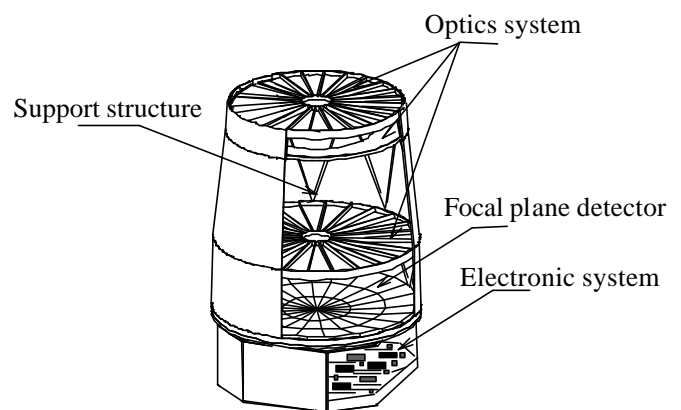
## 2. Payload Concept

*EUSO* will record the fluorescence light of CR-induced EAS from a distance of about 500 km. The form of the shower and its geometric orientation in the atmosphere will allow to reconstruct the arrival direction and the energy of the primary particle. The width of the longitudinal profile, and specifically the height of the shower maximum, will give information on the nature of the particle. For the instrument design and an optimum data analysis, Monte Carlo simulations of all the process involved (i.e. the interaction of CR particles with the nuclei of the atmosphere, the subsequent shower development in time and space, the production of fluorescence light and its transport to the instrument, and the response of the instrument's optics, photo detectors and electronics) have been performed by using various codes. Preliminary simulations have been carried out by using the software package CORSIKA [78], that is presently the most advanced tool for air shower simulations up to the highest energies observed. For the reconstruction of the CR arrival direction, which coincides with the axis of the EAS, the projection of the axis onto the image plane and the arrival times are sufficient. The energy reconstruction depends on the fraction of the primary energy that is emitted as fluorescence light. Eventually all the shower energy is converted in low energy particles and then lost by ionisation. Since the fluorescence light yield is proportional to the ionisation, this energy measurement is calorimetric and therefore basically independent from the details of the shower development. The fluorescence yield is sufficiently well known and determined in laboratory experiments. Only the fraction of energy drained into invisible channels such as neutrinos and muons affects the total energy calibration. This correction can be derived from simulations. A storage requirement for the simulation output would be about 1 TeraByte; one of the participating institutions in *EUSO* has already implemented the world largest storage facility (RIKEN, Japan, up to 200 TB). The *EUSO* scientific payload is presented schematically in the artistic view of **Fig.2.1**. The instrument consists of three main parts: *optics, focal plane detector, and electronics system (trigger, read-out and on-board data handling)*. The scientific requirements have been of guidance for the design of the apparatus and in the choice among various possible technical solutions. The design criteria is based on the assumption that the instrument has to be **compact** as much as possible, highly efficient, and with a built-in modularity in its detection and electronics parts. In particular, the modularity offers the required redundancy that guarantees against single point failures.

### 2.1 Optics and Filters

The design specifications are summarized in

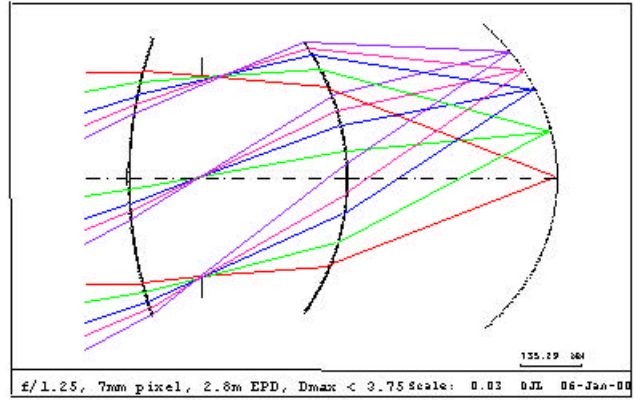
**Table 2.1**. The optical system views a circle of radius  $\sim 300$  km on the Earth and resolves  $1 \times 1$  km<sup>2</sup> ground pixels: this determines the detector size that is required to observe the events. The forgiving resolution requirements of *EUSO* suggest the consideration of unconventional solutions, identified in the Fresnel lens technology [79] \*. Fresnel lenses provide large-aperture, wide-field systems with drastically reduced mass and absorption. The use of a broader range of optical materials (including lightweight polymers) is possible for reducing the overall weight. A two Fresnel lenses system has been designed to meet the *EUSO* specifications (**Fig.2.2**). Each lens is cut on a spherical substrate and has grooves in both sides. All of the elements are  $< 3.7$  m in diameter and will fit, without folding, into a medium size rocket shroud. The system has been optimized for  $\lambda=357$  nm. Chromatic aberration limits the performance but more than 85% of energy in the 337 nm and 391 nm bands is



**Fig.2.1** - Artistic view of the *EUSO* payload.

\* The solution based on a catadioptric system, which offers many advantages, has been investigated but disregarded at this stage because of the requirement of deployable mechanism in orbit.

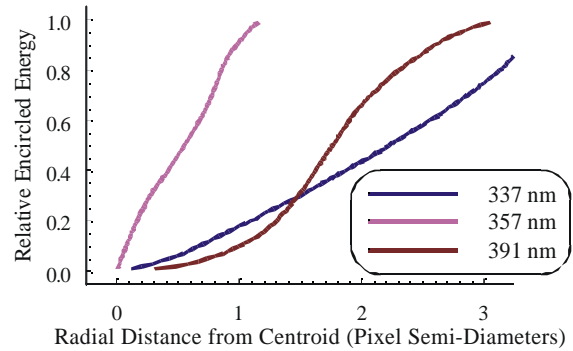
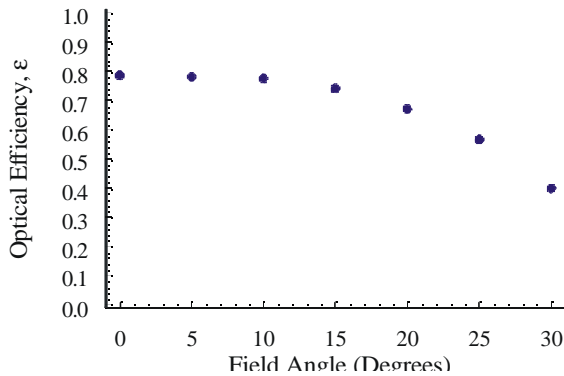
contained within a single pixel on either side of the central pixel. This allows sufficient image quality to yield a reliable trigger. The drawback deriving from the faceted nature of the Fresnel surface causes a portion of the incident light to deviate from its intended imaging path. This reduces the signal available to the photon detector and results in scattered light and a reduction in image contrast. These effects have been analyzed via computer modeling and fabrication and testing of prototype optics [80,81]. The results of this analysis (**Fig.2.3**) indicate that the signal losses are acceptable.



**Fig.2.2** - The proposed *EUSO* optical system. It consists of 2 curved Fresnel lenses and a spherical focal surface. The entrance pupil is 2.6 m.

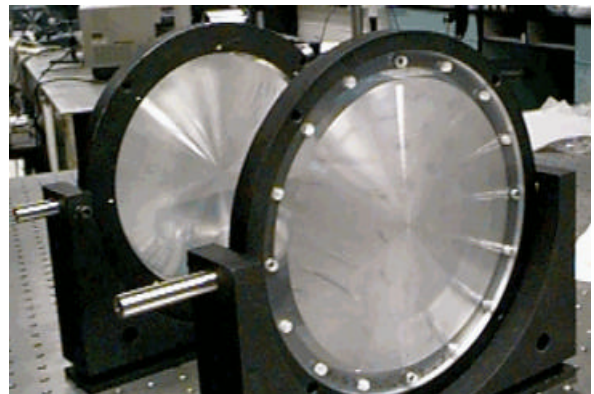
**Table 2.1** - Specifications for the *EUSO* optics

<b>Field of View (FoV)</b>	60°	<b>Orbit height (nominal)</b>	500 km
<b>Entrance Pupil Diameter (EPD)</b>	2.6 m	<b>Angular resolution</b>	~ 0.1°
<b>Operating wavelengths</b>	337, 357, 391 nm	<b>Pixel diameter (and spot size)</b>	~ 6 mm



**Fig.2.3.** – **left**) optical efficiency as a function of field angle indicating the total amount of flux that transmits images through the system. **right**) the encircled energy for three  $\lambda$  in the axial spot distribution, the horizontal scale of this plot is pixel semi-diameters as measured from the center of the pixel.

Prototype Fresnel lenses were manufactured at the University of Alabama in Huntsville by directly diamond turning acrylic blanks with no post-polishing; test for radiation damage have been carried out at large dosage and the tests validated the material for use in space. The *EUSO*-scale optics will most likely be “pie-slice” segmented and molded rather than directly turned. The diamond turned metal mold will have an inherently smoother surface than a turned polymer, and a mold can easily be polished. Surface scattering is readily controlled in large scale Fresnel lenses. The prototype optics (**Fig.2.4**) are approximately 1/25<sup>th</sup> the *EUSO*-scale.



**Fig.2.4** – Finished prototype optics system.

An optical filter will be needed to limit the band-pass of the optics in the 330÷400 nm band where most of N<sub>2</sub> fluorescence is emitted. Bulk absorption filters, dielectric coatings or combinations can be used for this purpose. The preferred solution is related to the overall optical design. An interference filter has been designed [82] transmitting 90% of the desired flux over a large range of incidence

angles. It also blocks more than 80% of the flux in the ranges 200÷300 nm and 425÷800 nm. The filter consists of 44 layers of MgF<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and NaCl, and each layer ranges in thickness from 0.1-0.99 waves at 357 nm. This filter can be placed at the focal plane and modified for regions experiencing a different range in incidence angle.

## 2.2 The Focal Plane Detector

General requirements for the focal plane detector are:

- Single photon sensitivity in the 330÷400 nm band, which includes the main emission bands of the N<sub>2</sub> fluorescence light and where atmosphere is relatively transparent (for what concerns the detection method, the single photon counting technique has been preferred to the charge integration alternative, because of better statistical response in presence of the few photoelectrons expected by the faint UV fluorescence signal)
- Fast response (of the order of 10 ns) to follow the space-time development of the EAS and to be able to determine the shower direction from a single observation point
- Low noise and good signal to noise ratio to detect the faint signal by less energetic showers,
- To be able to determine the position of the arriving photons as a function of time in order to follow the space-time development of the shower
- Large total area (of the order of a few square meters) because of the large field of view.

Only a moderate spatial resolution (order of mm) is required. The large FoV and the spatial granularity require a large number of pixels (hundreds of thousands) and a sophisticated read-out electronics, capable to handle such a large number of channels. Low power consumption, low weight, mechanical robustness, radiation hardness, low sensitivity to magnetic fields, high reliability and operating stability over long periods, are the other major requirements.

### 2.2.1 Possible Detectors

Commercial multi-anode photomultipliers (MAPMT) are now available [83] with characteristics close to the *EUSO* requirements. We have also considered Hybrid Photon Detectors (HPDs) [84,85]: however their use would require some Research and Development (R&D) program and they probably cannot be considered a viable solution in the short time. Flat Panels PMTs represent a very appealing solution but as of today they are not yet released on the market (its release is scheduled in April 2000). We are therefore proposing the use of commercially available MAPMT [86,87] as the most convenient option. They use a well-established technology with a solid basis in industry and with characteristics and price that are easily quantifiable.

### 2.2.2 Features of the MAPMTs and use in EUSO

Hamamatsu Corporation produces MAPMTs (R5900, R7600 [88]) with a range of pixel sizes. The physical dimension of the MAPMT section is 25.7×25.7 mm<sup>2</sup>, with length of ~33 mm and weight 30 g. The tube is equipped with a bialkali photocathode and a UV-transmitting window 0.8 mm thick. This ensures good quantum efficiency for wavelengths longer than 300 nm with a peak of 20% at  $\lambda=420$  nm. The device has a Metal Channel Dynode structure with 12 stages, providing a gain of the order of  $3 \times 10^5$  for a 0.8 kV applied voltage using a standard tapered voltage divider. This large gain allows the use of simple front-end electronics without the need for sophisticated fast, low noise preamplifiers. The availability of different pixel sizes proves to be extremely useful to match the Point Spread Function (PSF) of the optics. The small number of channels of commercial units (a maximum of 64 channels per devices) requires close packing of a very large number of small elements on the focal plane: the drawback to overrule in the final assembly is represented by the dead ring at the devices periphery. With the baseline parameters described in the previous chapters the required pixel size is about 6 mm, which should be matched by the PSF of the optics. The optical matching between the MAPMT array and the focal plane image can be assured by a suitable light collector system placed in front of each device performing the required de-magnification. This might be a lens system, a system made of a bundle of tapered light pipes or a fiber optic taper [86]. One possible system consists of a plano-convex hemispherical lens placed in front of the MAPMT, with

the plane face in optical contact or separated by a small gap from the MAPMT input window and coincident with the original focal surface. The system is very attractive because it is very simple and cheap. Preliminary simulations of the performance of the light collection system have been carried out. The results show that an overall 62% efficiency can be reached for the 30° maximum incidence angle of the photons, with the lens introducing a degradation of the spatial resolution of about 1 mm<sup>†</sup>. The power consumption required to operate the MAPMT has to be determined by considering the average MAPMT anode current due to the background light. Decoupling capacitors in parallel with the last dynode stages must then be sized to sustain the higher anode current during the short time when an EAS signal is detected. At low rates some output non-linearity is acceptable in case of binary readout. In the case of *EUSO*, with binary readout and relatively low light levels, a high linearity of the output is not critical. Assuming to require a maximum output gain variation of about 10% with an applied voltage of 0.9 kV the total power required by the MAPMTs is about 500 W. Power consumption can be reduced by means of some standard methods: for instance, by using two power supplies, the power consumption can be reduced to about 200 W. In case the power is still too high and/or the output linearity is not good enough one can gain even more by using three (or more) power supplies. Limiting the bleeder current also has the additional advantage to put an upper limit to the anode current, protecting the MAPMT from accidental overcurrents. Due to the short orbital period and to the stabilisation time of the MAPMTs after High Voltage changes, the MAPMTs have to be kept on continuously to avoid the gain instability connected with voltage changes. The MAPMTs will be operated at the lowest possible voltage to increase the lifetime and to have room to increase the voltage during the mission to compensate for possible gain decrease due to ageing. The lower gain is more than enough for the most recent front-end electronics chip (see Sect.2.3.1). Actually, by using the most recent front-end chips one might consider to operate the MAPMT at an even lower gain, saving lifetime and power. The expected minimum lifetime is compatible with the *EUSO* two years of operation according to the manufacturer data. Results of test carried out at recently at CERN, Genova, Palermo and Trieste show a good agreement with the Hamamatsu specifications. PMTs of the same family have been recently used in the AMS detector [89] whose test flight on the Space Shuttle has been recently carried out with success.

### 2.2.3 Focal Plane Assembly Design

As the focal plane will be most probably curved, the packing of the MAPMTs has to be optimised to reduce losses in the geometrical acceptance due to dead regions between the close packed devices and defocusing effects. A curved focal surface requires a modular structure. The overall structure should consist of small functional units assembled in super-modules. One possible way to build the focal plane detector is to assemble a number of flat super-modules, possibly using only a limited number of different shapes to reduce the design and construction complexity.

## 2.3 EUSO System Electronics and Trigger Scheme Concept

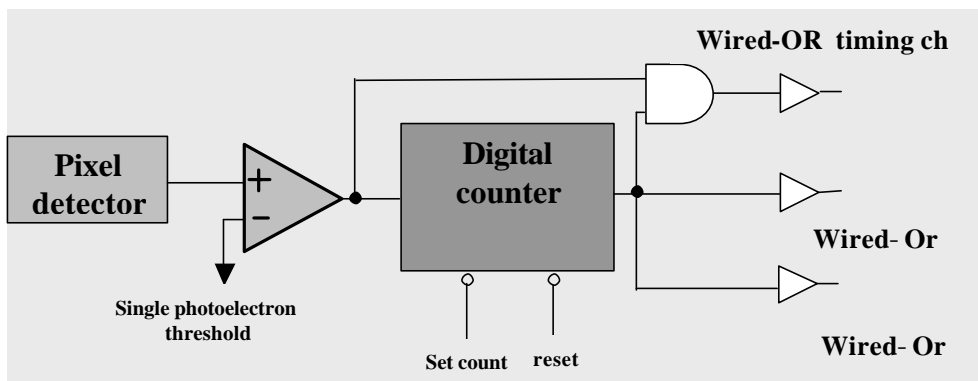
The angular resolution and the wide field of view of *EUSO* require a large number of image-sensors ( $\approx 2.5 \times 10^5$  pixels) which make the electronics very complex, demanding unconventional solutions. This implies a new approach in the design of the front-end, trigger and read-out electronics. The architectural modularity is at the base of the concept. The needs of governing such a large number of pixels, imposed the design of an effective decimation strategy that could be used without significant loss of information. First of all, the focal plane detector has been divided in macrocells, that are, then, the basic detection module. Each macrocell contains  $n$  by  $n$  pixels and the front-end electronics with some memory used for local storage of events data. Inside the macrocell, the particular design of the read-out electronics reduces  $n$  by  $n$  electronic channels into  $n$  by 2, thus, tremendously reducing the complexity of the connections as well as the total power. The detection technique used, requiring single photoelectron counting with  $\approx 10$ ns resolving time, allows the use of logic signals, which make possible the design of a simpler, low power and modular electronics system. The trigger of the entire

<sup>†</sup> Other types of light collectors have been studied as well: a system made of a bundle of tapered light pipes (working either by normal reflection or by total internal reflection) and fiber optic tapers [6].

detector is devoted to a central unit that receive the relevant signals from each macrocell of the focal plane detector. The modular Fluorescence Image Read-out Electronics (FIRE) and the On-board Unit System Trigger (OUST) systems have been designed specifically for *EUSO*. The modular and hierarchical organization of FIRE, assisted by OUST, allows to register X-Y position and arrival time at level of the single photoelectron detection. A trigger scheme has been studied [90,91,92] and read-out and data handling are under development.

### 2.3.1 The FIRE System

The FIRE system is the ensemble of the electronics governing the respective detector macrocell. A primary objective in the design is the reduction of the total number of read-out channels to minimize complexity and power budget. This objective has been accomplished using a simple but effective electronics design that manages the connections with adjacent pixels, OR-ing them together (respectively by rows and by columns).



**Fig.2.5** - Block diagram of the pixel front-end electronics. Wired-Or signals of  $n \times n$  pixels are connected to the correspondent macrocell.

This function is accomplished by the pixel front-end module (**Fig. 2.5**) whose functions are:

- to convert the analog detector signal into a logic signal;
- to count the logic pulses and enable the output at a programmable counts threshold (binary set);
- to split the logic signals for the X and Y positions and for the macrocell timing channel.

Moreover, this arrangement allows the reduction of the pixel background rate by enhancing the signal to noise ratio. In fact, setting the “set count” input of the programmable counter at an integer threshold value  $b$ , corresponding to the Poissonian probability  $P_b$  to find in one pixel at least  $b$  photoelectrons in one Gate Time Unit (GTU, 1 GTU = 833 ns), the signal to noise ratio becomes  $(S-b+1)/\sqrt{b}$  where  $S$  is the total number of photoelectrons in one pixel per GTU. Due to the simplicity of the electronics parts of the circuit, the pixel front-end electronics is suitable for Very Large Scale Integration using ASIC (Application Specific Integrated Circuit) technology that fulfil the required features of a very compact design with minimal distance between the MAPMT and the front-end electronics, and a completely modular system with minimal cabling and self-triggering capabilities. These chips use radiation hard technology: DMILL. This is a BiCMOS technology using both bipolar transistors (to achieve very fast and low power front-end) and CMOS (for very low power consumption logic and memories). It is tested up to 10 MRad irradiation. Split signals coming from the pixel front-end are routed to the macrocell local memory. The X and Y ring-memories, that reflect the status of rows and columns, are written sequentially every GTU. During normal observation conditions, the ring-memories are continuously written, updating the information in the memory, up to when a trigger condition is met. At this point the memories are continued to be written for a suitable post-trigger time. At the end, the writing process is stopped and the memories are read backward for an appropriate length, given by a GTU counter. This allows to read all the memory locations until a predefined pre-trigger time. In this way the entire event is caught and then fast-analysed by the Control Module. In the presence of *single track* events, the ambiguity introduced by OR-ing X and Y signals, does not interfere with the reconstruction of a track, since the signals belonging to the track are coherent in space and time, whereas those that make up the background are normally incoherent.

Fig.2.7 shows the contents of the X and Y ring-memories for a simulated shower track. Dots represent the pixel background related to the time (GTUs) involved in the shower-event developing process. The track direction, using the X and Y projections, is derived [33] noting that:  $\tan(j) = DY/DX$  and  $\tan(q/2) = \sqrt{DX^2 + DY^2}/(c\Delta t)$  which takes into account the particle's kinematics;  $c$  is the light velocity,  $q$  and  $j$  are the zenith and azimuth angles, respectively. A timing channel for each macrocell is foreseen in the final FIRE design. The contents of the timing channel (a specialized memory) are the logic pulses coming from the macrocell Wired-ORed pixel front-end. The timing-memory gives the relative arrival time as well as the number of photoelectrons detected in the corresponding macrocell.

**2.3.2 The OUST and Control Module**

The On-board Unit System Trigger and the control module consist of a number of programmable counters (one per macrocell), a GTUs counter, a pattern-latched register, a microprocessor. The control module contains dedicated logic for driving control signals to the macrocells. The control signals include clock, clear, set count and others auxiliary signals needed for the specific functionality required. Multiple trigger levels are supported by the OUST module by means of fast algorithms implemented in firmware and handled by the on-board microprocessor. The algorithm makes use of the latch pattern register (one bit per macrocell) set, correspondingly for each macrocell, above a programmed counting threshold. The information of the pattern register is processed comparing the previous pattern with the current one (pipeline mode). The event trigger is generated if an imposed length, in terms of GTUs, condition is met. The read-out of the ring-memories will be performed at that time. Due to the iterative characteristic of the process, it is possible to process statistically the information from the pattern register and to use it to set the programmable counters in the pixel front-end at a threshold level obtained from the background itself.

**2.3.4 Payload Control Electronics**

The Payload Control Electronics is in charge to manage the operations of the instrument and to interface the Service Module. In particular its main functions are:

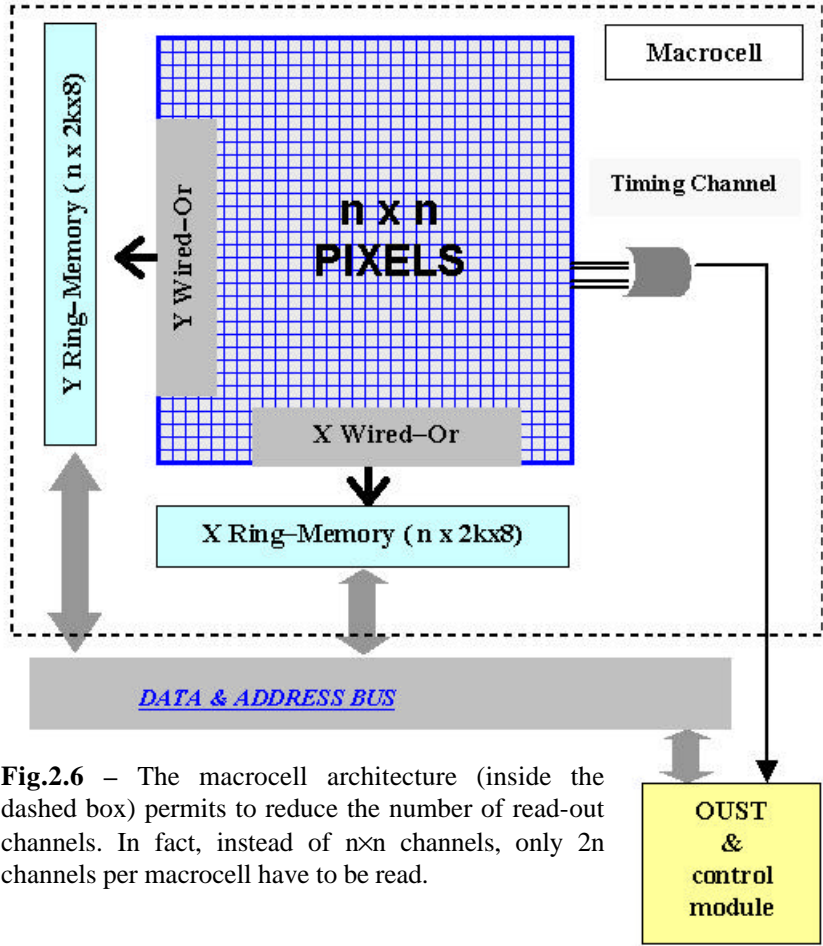


Fig.2.6 – The macrocell architecture (inside the dashed box) permits to reduce the number of read-out channels. In fact, instead of n×n channels, only 2n channels per macrocell have to be read.

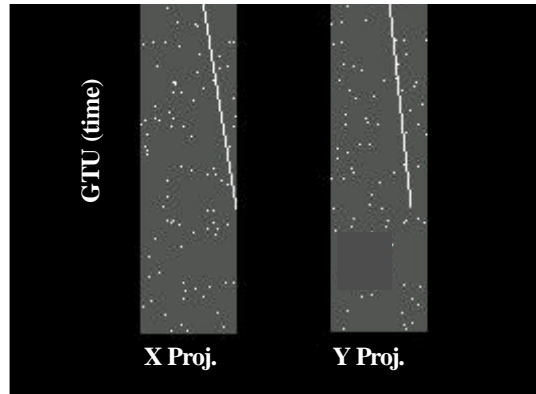


Fig.2.7 - The track as selected and recorded, after triggering, in the ring-memories. The X and Y projections graphically shown the ring-memories content in terms of binary digital



- collection of the scientific data coming from the array detectors (macrocells) consisting of the position and arrival time of detected photoelectrons,
- collection of the housekeeping monitors to check the correct configuration of the instrument,
- preparation of telemetry source packets (Scientific, Housekeeping etc.) and transmission of them to the Service Module via On-Board Data Handling (OBDH) bus,
- to receive, validate and distribute the Telecommands coming from the OBDH,
- to control the operative modes during observation and during diagnostic and calibration; these modes include also the autonomous maintenance of the detector safe conditions,
- to provide the data patch and dump capability for S/W reprogramming,
- management of time information,
- conversion of the primary bus provided by the Service Module into the secondary regulated voltages necessary for the instrument operation.

This unit can be configured as a classical electronic box based on a  $\mu\text{P}$  architecture with an internal standard bus.

## 3 Active Calibration

### 3.1 Background

In order to obtain the best performance in detecting the fast (tens of  $\mu\text{s}$ ) and faint signals produced by EECR events, the signal to noise ratio has to be optimised. The expected nocturnal background looking straight down at the Earth is given mainly by human-ambient light, scattered reflected moonlight and starlight and in minor part by light produced by photochemical processes on the Earth, sea and atmosphere. The measurement of the intensity of the fluorescence background has been performed by several groups looking upward to the sky, but by few experiment looking downward to the Earth. Two missions of balloon flight named “BABY” [31] were devoted to the measurement of the nightglow with different moon phase conditions and at various altitudes. The profile shown in Fig.3.1 exhibits the different brightness as seen during the passage of the BABY instrument over the land and the sea, as given by the counting and charge integration channels in the 300÷400 nm band.

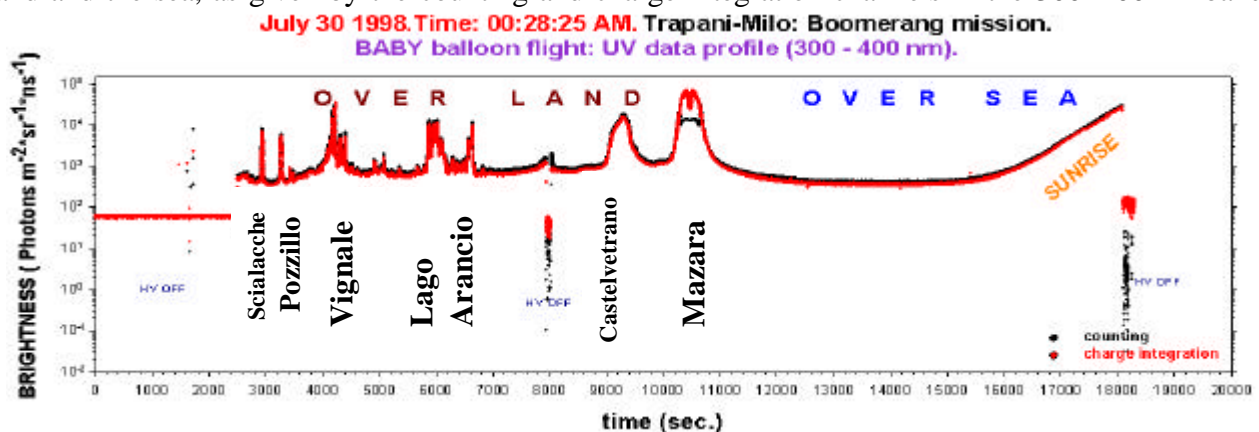


Fig.3.1 – BABY UV intensity data profile.

The peaks in the data profile are given by the crossing of more intense ambient light zones like cities and villages that are indicated below the brightness profiles. The profile shows a wide plateau resulting from the over sea observation. The final part of the profile corresponds to the approaching sunrise that produces an increase of the brightness. The over sea observation part is the more suitable for a background analysis being not contaminated by intense ambient light and being similar to the target surface expected to be seen by a satellite from an equatorial orbit. In the overseas flat part of the data profile the brightness is  $B \approx 250 \text{ photons m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ ns}^{-1}$ , allowing for Ozone correction for both the counting and charge integration channels (within the statistical error). The night-light background level measured has intensity level comparable to an earlier rocket observations in the same

wavelength band:  $B=200\div 600$  photons  $m^{-2} sr^{-1} ns^{-1}$  [30].

Additional survey of the night background intensity will be performed by the planned AURORA experiment. AURORA, mounted on the MegSat1 micro-satellite at the end of year 2000, could be considered a model of the *EUSO* detection system with a limited number of MAPMTs located behind a single focusing lens. The satellite mass is 50 kg including the scientific payload, the shape is a box with side length 450 mm and height 600 mm. The orbit height will be 900 km and inclination  $81^\circ$ . The satellite electronics is arranged in slots; the experiment is situated inside one of these. The mission is foreseen to last at least two years. The main parameters of the AURORA system are reported in **Table 3.1**. AURORA should be able to perform a precise measurement of the night background in an environment very close to the one where *EUSO* will operate, and it will verify the behavior of a prototype of the detector/electronic system (reliability, stability and radiation hardness) during a space mission. The system is optimized to perform photometry but we are analyzing the possibility of doing imaging to better characterize the signal as a function of the position on Earth.

**Table 3.1** - AURORA main characteristics.

Lens aperture	50 mm	Focal plane dimensions	56 mm
Focal length	240 mm	Wavelength bands (nm)	350±50 ( <i>EUSO</i> bkg),
FoV	± 5°		520±20, 560±20, 260±20 (Aurora)

### 3.2 Laser and/or Flash Lamp

Studies are currently going on to evaluate the possibility to use a pulsed Laser with an energy of a few mJ on board of the satellite for actively calibrating in energy the *EUSO* instrument. The idea is based on the measurement of the light absorption coefficient in atmosphere using a known beam luminosity (scattered/reflected laser beam light in the lower atmosphere). This measurement would give an estimate of the air transparency between the fluorescence track developed in the atmosphere and the focal plane detector that could be used for the events registered in the same region of the monitored area. Along with the measure of the fluorescence signal, this technique could be used as an additional estimator of the particle primary energy.

Using a flash lamp in the region  $330\div 400$  nm uses the same conceptual approach of the Laser but it offers the advantages that, being the light diffused, it can be directed downward to the ground surface with the *EUSO* opening angle by using a collimator. The registered signal intensity and the time of flight of the reflected signal recorded on the entire focal plane detector, will give information on the air transparency as well as “time of flight” profile of the Earth backdrop (including clouds) with a spatial vertical resolution of the order of few tens of meters.

## 4 Mission Overview

A Service Module and a Payload (P/L) Module will compose the *EUSO* satellite. The Service Module is the module that will provide all the service function of the *EUSO* satellite (power generation, link with the ground station, pointing...) while the Payload Module is the physical module that contains all the scientific equipment and associated service units. **Table 4.1** reports an overview of the identified *EUSO* characteristics with a Payload Module as described in Sect.2 and the Service Module derived from the INTEGRAL/XMM service module. The satellite in the operative configuration and the internal satellite configuration are shown **Fig.4.1** and **Fig.4.2**.

### 4.1 The Launcher System

The *EUSO* mission requirements are compatible with a Soyuz or Delta III launcher type. The Delta III

option which is considered here will be selected in a scenario where the U.S. partner contributes to the mission providing the launcher system.

**Table 4.1** - Overview of the *EUSO* satellite concept. Contingencies are included, details in the text.

<b>Orbital Parameter</b>	Height Inclination	Low Equatorial Orbit, 500 km nominal 10°-15° Equatorial
<b>Ground Station</b>	Equatorial	Kourou (French Guiana), Malindi (Kenya)
<b>Mass</b>	Payload Module	1050 kg
	Optical Camera	200 kg
	Focal Plane detector	500 kg
	Mechanical Structure	300 kg
	Electronics	50 kg
Service Module	775 kg	
	<b>Satellite Mass</b>	<b>1825 kg</b>
<b>Power</b>	Payload Module	400 Watt
	Service Module	1300 Watt
	<b>Satellite Power</b>	<b>1700 Watt</b>
<b>Telemetry</b>	Rate during ground contact (10 min)	100 KBit/s
<b>Attitude and Pointing</b>	3 Axis Stabilised	<200 arcsec (1/2 pixel)
<b>Mass Memory</b>	Total (for science and housekeeping)	300 Mbit
<b>Position Knowledge</b>	From GPS (each second)	50 m
<b>Pointing Knowledge</b>	From GPS (each second)	0.5°
<b>Time</b>	On Board Clock	1 µs
	Frame Timing	100 s
<b>Operative Life</b>		> 2 years

**Table 4.2** - *EUSO* Service Module settlement.

<p><b>INTEGRAL/XMM recurring platform including the major items:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Structure (4 times recurring; Structural &amp; Thermal Model procurement not needed) and Mechanical Ground Support Equipment;</li> <li>• Solar Array (3 times recurring; dummies not needed);</li> <li>• Reaction Control Subsystem (3 times recurring; dummies/spares not needed);</li> <li>• Set of RW (3 times recurring).</li> </ul> <p><b>Equipment/SubSystems to be procured according with MARS EXPRESS approach:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Attitude and Orbit Control System;</li> <li>• Data Handling, Software, RadioFrequency;</li> <li>• Thermal Control;</li> <li>• Power Electronics &amp; Batteries.</li> </ul> <p><b>System engineering, Management, Assembly Integration &amp; Verification, Product Assurance, according with MARS EXPRESS approach:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduced test campaign, re-utilisation of Ground Support Equipment;</li> <li>• Models optimisation;</li> <li>• Off-the-shelf Hardware selection...</li> </ul>
---

## 4.2 The Service Module Concept

In a preliminary *EUSO* system the spacecraft Service Module considered is derived from ESA INTEGRAL and XMM missions, with Service Subsystem from others ESA programs (ROSETTA, MARS EXPRESS). The INTEGRAL/XMM Service Module dimension is compatible with a Soyuz or the Delta III firing room. **Table 4.2** shows a scenario of *EUSO* Service Module settlement. With the hypothesis of **Table 4.1**, the estimated *EUSO* Service Module mass is about 775 kg.

## 4.3 The Payload Module

The P/L Module will be interfaced to the Service Module by the Mechanical Structure. The electric power and the telemetry/command from ground will be provided by the service unit subsystems.

### Wide Field Optical Camera Summary

The present Fresnel optical camera configuration study (FoV 60°) considers two plastic Fresnel lenses with: first lens diameter 3.5 m thickness 1 cm (90 kg), second lens diameter 3.5 m thickness 1 cm (90 kg), diaphragm 2.6 m diameter (20 kg). All the wide field optical camera elements will be integrated onto the P/L Module Mechanical Structure. The estimated total mass is 200 kg.

#### **Focal Plane Detector Summary**

The present characteristics of the Hamamatsu R5900 MAPMT are: 16 channels (pixel) each, size of 25.7×25.7×33 mm<sup>3</sup>, weight 30 g, array of 2.5×10<sup>5</sup> pixels on the focal plane. The focal plane detector will be based on modules with geometrical shape that allows fitting the optical focal plane and reducing the complexity of assembly and testing. The focal plane detector estimated mass is 500 kg while the estimated power demand is 200 Watt.

#### **P/L Module Electronic Summary**

A P/L Data Handling connected by a standard data bus to the Spacecraft Module On Board Computer will manage the P/L module function, the scientific and housekeeping telemetry and the command from ground. These electronics will be embedded in one or more boxes, with a total mass of 50 kg and a total power consumption of 200 Watt.

#### **P/L Module Mechanical Structure Summary**

Mechanical structure (Al Metal Matrix), light and stable covered with MLI. The Mechanical Structure will be also equipped with component for the thermal control (radiators, heater, heat piping). The estimated Mechanical Structure mass is 250 kg. In order to limit the effect of stray light, protect the Payload element from sun light direct exposition and support the thermal control, a flexible/folded optical baffle made of a Teflon membrane and flexible Cu-Be ribs (technology developed by ESA for the multipurpose deployable membrane reflector) is considered. The estimated mass of the baffle is 50 Kg. The total mass is 300 kg.

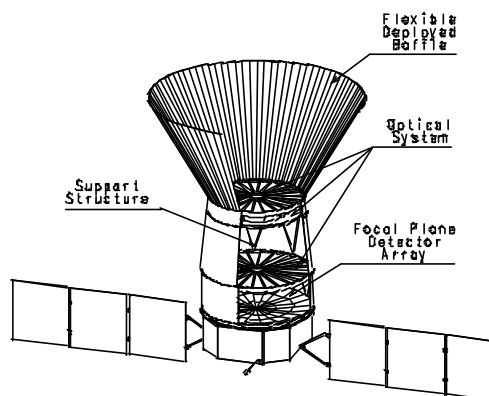


Fig.4.1 – EUSO in the operative configuration.

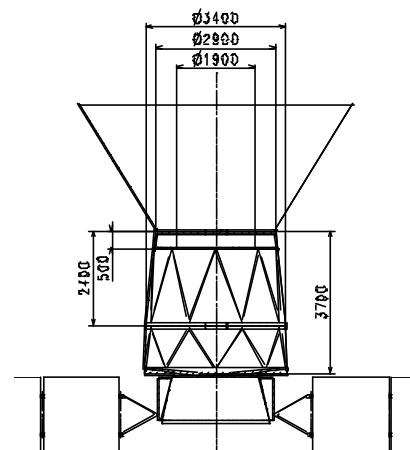


Fig.4.2 – The internal satellite configuration.

## **4.4 Observational Strategy: Orbit and On-Ground Management**

A quasi-equatorial inclination orbit at 500 km height is the more adequate because: 1) the observed equatorial band covers wide deserts and oceanic areas. This conditions allow the lowest background figure in a well known, constant and periodical observation target; 2) in a quasi-equatorial orbit (10°÷15°) is possible to explore the incoming cosmic radiation from both the hemispheres; 3) 500 km height allows the achievement of scientific mission goals in terms of event rate and energy threshold. One possibility for the *EUSO* mission is free decay to 400 km (in about 1 year), then reboost to a 500-600 km orbit, which has a lifetime of about 9 months. The delta-v is 56 m/s, leading to a typical orbit maintenance cost of 30 kg bipropellant each 9 months. It is important to highlight that a 400/600 km *EUSO* orbit range allows a variation of the event rate and energy threshold.

### **4.4.1 Operational Scenario**

*EUSO* basically is a Nadir pointing satellite but Moon diffused light as well as high clouds may

reduce the mission efficiency. An improvement of the efficiency can be obtained planning a pointing strategy for each orbit that allows to observe direction with a lower Moon diffused light or atmosphere areas not covered by high clouds (by using the data of the Earth observation satellite network). An operative observation plan based on the above-identified strategy will be transmitted to the satellite during each contact with the ground-station.

**EUSO** has not a cover to protect the focal plane from intense light flux; along a single orbital period (about 90 min) the mission will be managed in the following way:

- during the nocturnal period ( $\approx 45$  min) the satellite is Earth pointing, and the triggering electronics is configured to detect candidate EECR events;
- during the daily orbital period ( $\approx 45$  min) the satellite is sky pointing, far from the Earth limb and Moon, solar arrays viewing the Sun within  $40^\circ$  (in order to guarantee a good power figure from solar arrays); the triggering electronic is configured to detect UV transient from the sky.

A re-boosting manoeuvre is foreseen after the first year of operation (see previous sub-section). Multiple and redounding Sun, Earth and sky optical sensors monitor the position of Sun, Earth and Moon to maintain the satellite pointing direction far from intense light flux sources.

#### 4.4.2 Ground-Station Operation

In a quasi-equatorial orbit it is possible to link the satellite from the European equatorial ground-station, Kourou-French Guiana (ESA) and/or Malindi-Kenya (ASI). The management of the **EUSO** mission can be very simple because the commands for the scientific payload configuration are very few and it is not necessary to change the payload configuration each orbit, moreover the Mass Memory (300 Mbit) can storage an amount of data for several orbits. **EUSO** can operate without link with ground station during several contact periods (every  $\approx 10$  min). Such condition can be considered if the orbit inclination does not allow satellite link during each orbit.

## 5 Science Operations and Archiving

### 5.1 Facilities

In the near-equatorial orbit foreseen for **EUSO** it is possible to link the satellite from the European equatorial ground-stations of Kourou-French Guiana (ESA) and Malindi-Kenya (ASI) during a contact period of about 10 min/orbit. All scientific operations required to manage the **EUSO** mission, both in terms of control and data management, will be performed through a Ground Segment system, hereafter named **EUSO-G/S**, linked to the ground station. The **EUSO-G/S** should be basically the customisation of existing facilities developed and tested with other space missions. The adoption of systems with a long operational history and continuous testing from many users in different areas grants better reliability and wide expertise and support: as a result, integration is easier and shorter, maintenance is reduced and mostly limited to some reworking in the configuration area, and the overall ground system reliability is greatly improved.

The following main components are required for the **EUSO-G/S** system:

- Operation Control Centre (OCC) providing all the functions devoted to monitor and control the satellite;
- TT&C facility (directly controlled by the OCC and not necessarily co-located with it) which provides the primary link service between the satellite and the ground segment;
- Mission Control Centre (MCC) which is in charge of co-ordinate on-board and ground activities, perform overall mission planning, and allocate resources. Depending on mission purposes, a complete support in planning activities, as e.g. feasibility checks, scheduling and contingency re-planning, shall be guaranteed;
- Acquisition, Archiving and Processing Facility (AA&PF) which is devoted to manage user requests, to acquire, archive, process, analyse and deliver the raw data received from the satellite by means of an acquisition station (not necessarily co-located with the MCC). The AA&PF Scientific Operation Component shall be configured as the scientific terminal inside the **EUSO-**

G/S systems, interfacing both the OCC and the involved Scientific Data Centres. It shall guarantee an end-to-end operation approach to scientific operations and data management.

## 5.2 Observing modes and Operations

The following observing modes are considered:

- “primary mode”: *EUSO* will observe the atmosphere looking downward the dark Earth (Nadir) during night.
- “controlled primary mode”, foreseen to be activated to optimise the field observed on Earth in presence of high clouds (>10 km). A suitable control system (on-board resident or driven by information obtained from external meteorological surveillance) will monitor the presence of high clouds in the actual field of view so to determine optimal pointing. An operative observation plan based on the above-identified strategy will be transmitted to the satellite during the contacts with the ground station.
- “default mode” (or “secondary mode”) foresees the satellite pointing toward the “best dark” open sky (constrain of avoiding Sun and Moon in the field of view).

A Quick-Look (QL) Analysis component, governed by duty-scientists, is foreseen to perform the following tasks:

- Monitoring of the functional status and performance of the scientific payload, accomplished monitoring, on a orbit-by-orbit basis, the relevant housekeeping and by processing detector calibration data on a time basis requested by the scientific community involved;
- Monitoring of the ambient backdrop: atmospheric response, transparency, scattering, clouds type and distribution, ...;
- First analysis of scientific data, performed, on a orbit-by-orbit basis.

The output results of the QL Analysis shall be automatically inserted in a on-line QL Data Base, accessible and retrievable by the involved authorised users. A Rapid Alert System (RAS) to notify any relevant scientific/monitoring event will be implemented.

During the first period of the mission life, calibration will be performed within the Science Verification Phase program; these calibrations will mainly be based on the normalisation of the Cosmic Ray energy spectrum observed by *EUSO* and the ground observatories (HiRes, Auger, ...).

## 5.3 Telemetry

A statistically significant number of EECR and neutrino events ( $\sim 10^3$  /year) is collected in about 10% of the orbital time; in these conditions no pile-up is present and the transmission peak will be of the order of 5 events/day ( $\sim 50$  events/day for  $E > 3 \times 10^{19}$  eV). On the focal plane detector, each event is seen as a track and it will be organised in a X-Y-Time structure, where the spatial scale corresponds to  $\sim 2.5 \times 10^5$  pixels while the time scale depends on the persistence of the track in the detection area. In terms of “on board proprietary “ format, each event observed in “primary mode” will need no more than 20 KBytes. Some other classes of events (meteors, lightning,...) could be considered. Even in the case of the maximum Mass Memory storage (300 Mbit), no more than 100 Kbit/s telemetry rate is needed to transmit scientific, housekeeping, and ancillary data during each ground-based contact period (about 10 min). Moreover the Mass Memory can storage an amount of data for several orbits. So *EUSO* can normally operate without link with ground station during each ground-based contact period: such condition can be considered if the achieved orbit inclination does not allow satellite link during each orbit. In the “secondary mode” of observation, time integrated sky images will be transmitted with a rate compatible with telemetry.

## 5.4 Data Archives

*EUSO* data will be rapidly collected, processed into standard formats, distributed to the science teams and made available to the scientific community in accord to the ESA rules and directives. The data analysis system will facilitate community involvement. Products include *EUSO* scientific data, satellite housekeeping and other relevant ancillary information. An organised structure provided by a Mission Archive shall be implemented for storing all mission data, including both telemetry

(science/housekeeping) and ancillary data (atmosphere, attitude, time-conversion data, etc.). The Mission Archive shall contain both raw data (Level 0) and data reformatted (Level 1) in a standard format, e.g. FITS. To provide long-term and secure data archiving, the system shall be based on modular and flexible concepts, supporting evolving user requirements and new operational needs. All the *EUSO* data and data base of results will be available to the community in accord to the ESA rules and directives.

## 6 Technological Development Requirements

No major technological development is required for *EUSO*.

### **Scientific payload:**

- Optics. Fresnel lens technology is well known by the Co-Proposer Groups operating at the University of Alabama in Huntsville and at the MSFC, both with a deep experience in the field of space applications. The step from prototype to flight model for the *EUSO* P/L can be realised by producing a full size sector and then by constructing the final unit with the required specifications by molding duplication.
- The focal plane detector is commercially available. Adoption to the specific requirements of *EUSO* of the base R5900 or R7600 MAPMTs unit will be monitored by the Co-Proposer Groups in Genova, Trieste, and RIKEN in direct link with Hamamatsu.
- The electronic section has been designed by the Palermo Group; the engineering to flight unit will be realised by leading industrial firms with long and proved expertise in space. The pixel front-end electronics will profit of large-scale integration using ASIC technology.
- It is planned to realise a scaled multipixel prototype representative of the flight unit for the optimisation of the essential response functions.

### **Spacecraft:**

For the spacecraft the buses of XMM and INTEGRAL can be easily adapted, reducing substantially the cost and R&D connected with a new design.

### **Ground Segment:**

Also in this respect, *EUSO* can benefit of sound and qualified existing experience.

## 7 Communications and Outreach

### 7.1 The *EUSO-E/PO* Program

The communication potential of the *EUSO* mission is very high and immediate. The interest in the exploration of the “Extremes“ of the Universe, both for the highest energies present and the information about the conditions at the external boundaries, is hot and widespread capturing the imagination of both scientists and the general public. We believe that the *EUSO* communication potential can successfully promote an understanding of the physical Universe, the principles of nature, and the ways these ideas are transformed into useful technologies: all this is fundamental in the preparation of a healthy future society. For this reason, an appropriate Educational and Public Outreach program (hereafter named *EUSO-E/PO*) needs to be settled to reach the laymen, the public at large, and in particular the today’s young students, with special attention to Europeans, forming the future society. The *EUSO-E/PO* program will take into account the differences and the local realities of each country involved in the mission: a leading person/institute will be identified in each participating country which should realise (under the co-ordination of a *EUSO-E/PO* responsible) the national tailored program and network among the key active subjects. We understand that the responsibility of this effort will mainly rest with ESA and the National Space Agencies involved in. However the space community active in the *EUSO* mission will play a key role to provide content and to promote outreach in co-operation with E/PO professionals, teachers, and broker/facilitators: their expertise is necessary to ensure quality products reach the greatest number of people.

In accord with the ESA communication strategy, the *EUSO-E/PO* program will be planned even to improve the image of ESA itself in Europe and around the world as a dynamic and exciting leader in space exploration, in fundamental studies of the Universe, and in technology.

In the following, general activities and necessary resources are described: the detailed *EUSO-E/PO* program will be developed during the mission definition phase.

### 7.2 Proposed Activities and Required Expertise

In order to reach so a wide and various audience (students and general public), *EUSO-E/PO* program will be formed by a set of projects, all of which combine synergistically during all the mission phases (pre-launch, launch, after-launch). The main *EUSO-E/PO* projects concern:

- **Educational and Outreach Web Site (EOWS)** – The World Wide Web has shown tremendous potential for education and public outreach and today it is becoming accessible practically to all students, teachers, and general public. The information in the EOWS foreseen for the *EUSO-E/PO* program will be structured in a hierarchical order to be understandable by people of different ages and educational backgrounds and should mainly include: basic lectures in cosmic ray physics, EECR, atmosphere, detection of cosmic rays from ground and from space; a glossary of terms; description of the *EUSO* mission and of all its components; link with the scientific/technical *EUSO* Web main page; links with other educational web sites and pages of interest;... The descriptions will include simple interactive computer generated graphics and videos. Whenever available, the *EUSO* data and data base of results will be included in the EOWS in accord to the ESA rules and directives. A Web master and a dedicated programmer are requested to fulfil the project. The EOWS will be created to stimulate the casual browser as well as provide rich learning experiences for a student; banners and competitions will be taken into account to grab the browser’s attention.
- **Teacher Training Workshops (TTW)** – Lessons and presentations on cosmic ray physics and related items will be given by *EUSO* experts at the national teachers’ conferences. Special sessions devoted to teachers are foreseen at high-energy astronomy scientific conferences. This project will be carried out in collaboration with the National Ministries and Departments of Education and Research, with national and international organisations, as the European Schoolnet, and with national associations of teachers.



- **Students and General Audience Program (SGAP)** – A set of seminars and presentations will be organised both at the high schools and universities and during general popular events as, for example, the “Settimana della Scienza” in Italy or similar ones in other countries participating to the *EUSO* mission. Competitions for high-school and university students can be defined to grab their attention and keep interest; these competitions will be carried out in strict co-operation with educators participating to the TTW program, taking into account the differences and the local realities of each country involved in the mission. Moreover, we plan to organise museum exhibits concerning *EUSO* mission and cosmic ray physics with the co-operation of the national Museums of Science and Technology, Space Centres, Observatories, Space Agencies. These exhibits are devoted to serve a large class of the general interested public and can be properly duplicated for use around the countries participating.
- **News and Radio/TV Information (NRTI)** – The motivation of the *EUSO* mission, its state-of-the-art and the excitement in the exploration of the “Extremes“ of the Universe will be transmitted to the taxpayers even through the mass media system. We plan contributions to Radio and TV products and articles in newspapers (that normally have a session devoted to “Science and Technology”) and in “popular” scientific magazines (as the national issues of “The Scientific American”, “Focus”, ...). This project will be carried out in strict collaboration between *EUSO* experts, media professionals, and scientific journalists whose expertise is necessary to properly disseminate and popularise information.

We stress that these projects will not exist in isolation from each other, both from the educational and the public outreach point of view. Moreover, in order to fulfil the entire program, different expertise have to be considered. The space community (scientists) active in the *EUSO* mission will play a key role to provide content and to promote outreach. Dissemination of the *EUSO*-E/PO products will be facilitated by the help of professional educators, teachers, scientific journalists, media professionals, and ESA brokers and facilitators which would also provide access to the relevant expertise, necessary to ensure quality products reach the greatest number of people. Contacts with professionals, scientific journalists, national and international organisations and space agencies and centres are now in progress.

### 7.3 Strategy and Budget

The *EUSO*-E/PO program will be co-ordinate by a *EUSO* expert, responsible for the E/PO budget. A dedicated assistant will co-operate with the *EUSO*-E/PO responsible. To take into account the cultural and educational differences, a leading person/institute will be identified in each participating country which should realise (under the co-ordination of the *EUSO*-E/PO responsible) the national tailored program and network among the key active subjects. The total budget required for the *EUSO*-E/PO program will be ~1.5% of the ESA mission cost (other funding will be requested at national level). The budget will pay the salary of professional Web site developers and the associated necessary resources. It will also cover the expenses related to international and national meetings, conferences and workshops, involving the “key people” of each country to fulfil any of the *EUSO*-E/PO proposed activities. The detailed *EUSO*-E/PO program will be developed during the mission definition phase; here below we summarise the plan-of-work foreseen at now:

- **Assessment Phase** : develop the *EUSO*-E/PO plan; find E/PO partners;
- **Definition Phase**: detail and establish the *EUSO*-E/PO program in each its components; define the European network among E/PO partners; build the E/PO network; disseminate the first *EUSO*-E/PO products;
- **Post-Launch Phase**: conduct, maintain, and enrich the entire *EUSO*-E/PO program.

## 8 International Partners

The *EUSO* Collaboration consists of 26 member groups based on a three sided international consortium comprising:

- Research Institutes and Universities from 4 European Member States (Italy, UK, France and Germany),
- Universities from the U.S. and the NASA Space Flights Centers Goddard and Marshall,
- The Riken Institute from Japan.

The extra-European partners will be involved both in the Scientific Payload design, construction, calibration, and in the Science side of the project.

In case of approval of the mission, launcher and part of the Ground Segment facilities will be object of negotiation between ESA and the extra-European partners.

The *EUSO* Collaboration is considering the request of participation of other European and extra-European groups interested in the project.

## 9 Management and Funding

The *EUSO* Co-Proposers will nominate a Steering Committee and an Executive Committee which will coordinate respectively the scientific, political, financial, and operative aspects of the mission. All the participating institutions and funding Agencies will be represented in the Steering Committee. The Executive Committee will be formed by the Working Groups Coordinators. A technical/scientific item will be assigned to each Working Group during the Instrument Development phase.

For the general mission management, the rules of ESA will be followed. The table lists an estimate of the costs for the ESA required support and for the funding that will be asked to participating Institutions and National Agencies.

Item	MEuro	Percentage	Note
ESA PROJECT MANAGEMENT	15	10	A
TECHNICAL SUPPORT	4.0	2.7	A
TEST FACILITIES	1.5	1.0	A
SPACECRAFT AND PAYLOAD	75.0	50.0	A
LAUNCH	32.5/0	21.7	C
SPACECRAFT OPERATION	10.	6.7	D
SCIENCE OPERATION	1.5	1.0	A
ESA OVERHEADS	4.5	3.0	A
OUTREACH & COMM.	2.	1.3	A
CONTINGENCY	4.	2.7	A
<b>COST AT COMPLETION (ESA F2/F3)</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	
PAYLOAD/OPTICS	6	10	B
PAYLOAD/FOCAL PLANE	6	10	B
PAYLOAD/ELECTRONICS	15	25	B
PAYLOAD/STRUCTURE AND CONTROL	15	25	B
PROTOTYPING	3	5	B
GENERAL EXPENSES	15	25	B
<b>COSTS TO BE FUNDED BY COLL. INST.</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	
<b>Total mission cost</b>	<b>210</b>		

### Legenda:

- Typical ESA Cost Background Table.
- EUSO* estimate.
- No cost in case of U.S.-provided launcher (Delta III).
- Estimated cost for a LEO satellite with no continuous monitoring.

## References

1. J. Linsley, Phys. Rev. Lett. **10**, 146 (1963)
2. M.A. Lawrence, R.J.O. Reid, and A.A. Watson, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **17**, 773 (1991)
3. N.N. Ekmov et al., Proc. ICCR on 'Astrophysical Aspects of the Most Energetic Cosmic Rays', 20
4. D.J. Bird et al. (Fly's Eye Collaboration), Phys. Rev. Lett. **71**, 71 (1993)
5. Takeda, M. et al. (AGASA Collaboration), Phys. Rev. Lett. **81**, 1163 (1998)
6. T. Abu-Zayyad et al. (HIRES Collaboration), Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, **5**, 349 (1999)
7. C. Jui, "The HiRes Monocular Spectrum", Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, Rapporteur and Highlight Talks, (to be published) 2000
8. Medina-Tanco, G., ApJ., **510:L91**, January (1999)
9. S. Yoshida and M. Teshima, Prog. Theor.Phys. **89**, 833 (1993)
10. P.L. Biermann and P.A. Strittmatter, ApJ **322** 643 (1987); P.L. Biermann, Nucl. Phys. B **43** 221 (1995)
11. P.L. Biermann, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **23** 1 (1997);
12. C.A. Norman et al., Astrophys. J. **454** 60 (1995)
13. Takahara in "*Physics and Astrophysics of Neutrinos*", Springer Verlag Tokyo, 900 (1994)
14. V.S. Berezinsky et al., "*Astrophysics of cosmic rays*", North Holland (1990)
15. A.R. Bell, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. **257** 493 (1992)
16. C.J. Cesarsky, Nucl. Phys. B (Proc. Supl.) **28B** 51 (1992); C.J. Cesarsky, V. Ptuskin, Proc. 23<sup>rd</sup> ICRC, **2** 341 (1993)
17. M. Vietri, Astrophys. J. **453** 883 (1995)
18. Waxman, Phys. Rev. Lett. **75** 386 (1995)
19. M. Milgrom and V.V. Usov, Astrophys. J. **449** L37 (1995); Astropart. Phys. **4** 365 (1995)
20. V.S Berezinsky, M. Kachelriess, and A. Vilenkin, Phys. Rev. Lett. **79** 4302 (1997)
21. K. Benkali, J. Ellis, and D.V. Nanopoulos, hep-ph/9803333 (1998)
22. M. Birkel and S. Sarkar, astro-ph/9804285 (1998)
23. G.R. Farrar, Phys. Rev. Lett. **76** 4111 (1996)
24. D.J.H. Chung, G.R. Farrar, and E.W. Kolb, Phys. Rev. **D57** 4606 (1997)
25. L. Gonzales-Mestres, Proc. 25<sup>th</sup> ICRC Durban, **6** 113 (1997)
26. S. Coleman and S. Glashow, Phys Lett. **47** 1788 (1997)
27. T.W. Kephart and T.J. Weiler, Astrop. Phys. **4** 271 (1996)
28. N. Chiba et al. (AGASA Collaboration), Nucl. Instr. and Meth. **A311** 338 (1992)
29. R.M. Baltrusaitis et al. (Fly's Eye Collaboration), Nucl. Instr. and Meth. **A240** 410 (1985)
30. A.I. Lebedinsky et al., Space Research (in Russian), Nauka, Moscow, 77, 88 (1966)
31. Catalano, O., et al., "The atmospheric nightglow in the 300-400 nm wavelength. Results by the balloon-borne experiment BABY", Astroparticle Physics (submitted) 1999
32. B. Sacco, O. Catalano, M.C. Maccarone, L. Scarsi, and M. Vietri, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, **2** 392 (1999)
33. M.C. Maccarone, O. Catalano, S. Giarrusso, and B. Sacco, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, **5** 445 (1999)
34. J. Linsley, Scientific American, **239** 60 (1978)
35. J. Linsley, AIP **CP433** 1 (1998)
36. L. Scarsi, AIP **CP433** 42 (1998)
37. L. Scarsi, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC, **2** 384 (1999)
38. C. Quigg, et al, Phys. Rev. Lett. **57** (1986)
39. R. Gandhi, et al., Astropart. Phys. **5** 81 (1996)
40. Sigl, S. Lee, D. Schramm, and P. Bhattacharjee, Science, **270** 1977 (1995)
41. V.S. Berezinsky, AIP **CP433** 279 (1998)
42. T.J. Weiler, AIP **CP433** 246 (1998)
43. N. Hayashida et al., Phys. Rev. Lett. **77** 1000 (1996)
44. E. Waxman, ApJ **452** 1 (1995)
45. M. Vietri, Phys. Rev. Lett. (1997)
46. T. Tajima and Y. Takahashi, ApJ Suppl. (in press) 1999
47. Y. Takahashi, L. Hillman, and T. Tajima, "*High Field Science*," Plenum, ( 1999)
48. P. Meszaros, Proc. 4<sup>th</sup> Huntsville Symposium (1997)
49. E. Waxman and J. Bahcall, Phys. Rev. Lett. **78** 2293 (1997)
50. G.T. Zatsepin and V. Berezinsky, Phys. Lett. **28B** 423 (1969); Yadern. Fiz. **11** 200 (1970)
51. F.W. Stecker, ApJ **238** 919 (1979); Ap&Space Sci. **20** 47 (1973)

52. F. Halzen and D. Saltzberg, Phys. Rev. Lett. **81** 4305 (1998)
53. Fukuda, Phys. Rev. Lett. (1998)
54. Sato and T. Tati, Prog. Theor. Phys. **47** 1788 (1972)
55. Sato, Proc. XLIXth Yamada Conference (1998)
56. L. Gonzalez-Mestres, AIP **CP433** 148 (1998)
57. T. Kifune, Proc. of Space-SUBARU Workshop, Tsukuba, ApJ (in press) 1999
58. Ellis, et al., Phys. Lett **B293** 37 (1992)
59. G. Amelio-Camelia, et al., Nature **393** 763 (1998)
60. P.L. Biermann, AIP **CP433** 22 (1998)
61. Ch. Leinert , et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **127** (1998)
62. Patat et al., A&A **232** 731 (1994)
63. Cappellaro et al., **351** 459 (1999)
64. E. Costa, et al., Nature **387** (1997)
65. van Paradijs, et al., Nature **386** (1997)
66. Bloom, et al., Nature **401** 453 (1999)
67. T. Piran, T. , "*Some unsolved problems in Astrophysics*", Princ. Univ. Press eds. (1995)
68. J. Heise, et al., IAUC 7099 (1999)
69. Wijers, et al., MNRAS **294** 13 (1998)
70. Perlmutter, et al. Nature **391** 51 (1998)
71. C.J. Rodger, Rev.Geophys. **37-3** 317 (1999)
72. W.L. Boeck, et al., Geophys.Res.Lett. **19** 99-102 (1992)
73. W.L. Boeck, et al., J.Geophys.Res. **100** 1465 (1995)
74. J.D. Everet, Nature **68** 699 (1903)
75. A.V. Gurevitch, et al., Phys.Lett., **A-165** 463 (1992)
76. Y. Taranenko and R. Roussel-Duprè, Geophys.Res.Lett. **23** 571 (1996)
77. Y.N. Taranenko, U. S. Inan, and T.F.Bell, Geophys. Res.Lett., **20** 2675 (1993)
78. Heck, et al., Forschungszentrum Karlsruhe Report FZKA 6019 (1998)
79. W.J. Smith, "*Modern Optical Engineering*", McGraw-Hill, Inc., New York, NY (1990)
80. D.J. Lamb, Ph.D. Dissertation, The University of Alabama in Huntsville (1999)
81. D.J. Lamb and L.W. Hillman, Proc. SPIE **3779** 344 (1999)
82. D.J. Lamb, Proc. Int. Workshop on 'Space Factory on JEM/ISS', (in press) 1999
83. Hamamatsu Photonics
84. F. Filthaut, "Large-area hybrid photodiodes with enclosed VLSI readout electronics", NIM A (submitted) 1999
85. T. Gys, "Performance of hybrid photon detectors with 80for the RICH counters of LHCb", NIM A (submitt.) 1999
86. V. Gracco, A. Petrolini, "Use of multi-anode photomultipliers for the AirWatch photon detector", TechRep. (1998)
87. R. Stalio, A. Gregorio, and A. Petrolini, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC **2** 403 (1999)
88. Multi-anode photomultiplier tube R5900/R7600, Hamamatsu Photonics
89. AMS: Alpha Magnetic Spectrometer
90. O. Catalano O., et al., Proc. SPIE 3445 478 (1998)
91. O. Catalano, Proc. 26<sup>th</sup> ICRC **2** 407 (1999); **2** 411 (1999)
92. S. Giarrusso, et al., Proc. 26th ICRC **5** 449 (1999)

# List of Acronyms

AA&PF	Acquisition, Archiving and Processing Facility
AGN	Active Galactic Nuclei
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
CMB	Cosmic Microwave Background
CNB	Cosmic Neutrino Background
CR	Cosmic Ray
DM	Dark Matter
E/PO	Educational and Public Outreach
EAS	Extensive Air Shower
EE	Extreme Energy
EECR	Extreme Energy Cosmic Radiation
EOWS	Educational and Outreach Web Site
EPD	Entrance Pupil Diameter
ESD	Event Simulator Display
EUSO	Extreme Universe Space Observatory
FIRE	Fluorescence Image Read-out Electronics
FITS	Flexible Image Transfer System
FoV	Field of View
G/S	Ground Segment
GRB	Gamma Ray Burst
GTU	Gate Time Unit
GUT	Grand Unified Theories
GZK	Greisen-Zatsepin-Kuzmin
HPD	Hybrid Photon Detector
IM	Illustration Model
IPD	Imaging Plane Detector
IR	InfraRed
LED	Light Emitting Diode
LEO	Low Earth Orbit
MAPMT	MultiAnode PhotoMultiplier Tube
MCC	Mission Control Centre
NRTI	News and Radio/Television Information
OCC	Operazione Control Centre
OP	Optical Phenomena
OUST	On-board Unit System Trigger
P/L	Payload
PMT	PhotoMultiplier Tube
PSF	Point Spread Function
QCD	Quantum ChromoDynamics
QL	Quick-Look
R&D	Research and Development
RAS	Rapid Alert System
SGAP	Students and General Audience Program
SN	SuperNova
TD	Topological Defects
TTW	Teacher Training Workshops
UHECR	Ultra High Energy Cosmic Ray
UV	UltraViolet

## **Il programma AirWatch ed il progetto EUSO**

### **Sommario**

Il programma AirWatch riguarda l'osservazione dallo spazio degli sciami estesi di particelle prodotti nell'atmosfera da particelle cosmiche di altissima energia. Nell'ambito di tale programma si colloca il progetto EUSO, recentemente sottoposto all'ESA da una collaborazione internazionale.

In questa nota si descrivono la problematica scientifica connessa con i raggi cosmici di altissima energia, le problematiche tecniche legate all'osservazione dallo spazio degli sciami atmosferici estesi e si descrivono le linee di una possibile partecipazione dell'INFN al programma AirWatch ed al progetto EUSO in particolare.

## Lista dei proponenti

M. Aglietta, G. Badino, F. Becattini, S. Bottai, A. Cartacci, O. Catalano, S. Cuneo,  
G. D'Alì Staiti, F. Fontanelli, P. Galeotti, F. Gatti, G. Giannini, S. Giarrusso, V. Gracco,  
A. Gregorio, D. Guetta, G. La Rosa, G. Landi, M. C. Maccarone, P. Mazzinghi, P. Musico,  
E. Pace, M. Pallavicini, A. Petrolini, M. Romoli, B. Sacco, M. Salvati, M. Sannino, L. Scarsi,  
P. Sona, P. Spillantini, R. Stalio, P. L. Tasselli, G. Testera, B. Tiribilli, G. Toci, P. Vallania.

## Sezioni INFN

Catania, Firenze, Genova, Torino e Trieste.

# Indice

<b>1</b>	<b>Descrizione della ricerca</b>	<b>1</b>
1.1	Caratteristiche generali . . . . .	2
1.2	Lo spettro alle altissime energie . . . . .	3
1.3	Origine dei raggi cosmici di altissima energia . . . . .	5
1.4	I neutrini di altissima energia . . . . .	7
1.5	Altri obiettivi scientifici . . . . .	8
1.6	Il metodo di rivelazione . . . . .	8
<b>2</b>	<b>L'apparato Sperimentale</b>	<b>11</b>
2.1	Generalità . . . . .	11
2.2	Sistema Ottico . . . . .	12
2.3	Il fotorivelatore . . . . .	14
2.3.1	Specifiche dei sensori . . . . .	16
2.3.2	Il collettore di luce . . . . .	17
2.4	Ingegnerizzazione della superficie focale . . . . .	19
2.4.1	Struttura della superficie focale . . . . .	19
2.4.2	Integrazione del sensore . . . . .	20
2.4.3	Organizzazione della superficie focale . . . . .	20
2.5	Elettronica . . . . .	22
2.5.1	Elettronica di front-end . . . . .	23
2.5.2	Elettronica di trigger e sistema di acquisizione dati . . . . .	23
2.5.3	Elettronica di controllo . . . . .	24
2.6	Il background . . . . .	25
2.7	Calibrazioni . . . . .	25
2.8	La missione . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Il Programma</b>	<b>26</b>
3.1	Obiettivi . . . . .	27
3.2	Sviluppo temporale . . . . .	27
3.3	Competenze . . . . .	27
3.4	Il Programma di Ricerca . . . . .	28
3.4.1	Il sensore (MAPMT) . . . . .	28
3.4.2	Integrazione del sensore e ingegnerizzazione del fotorivelatore . . . . .	30
3.4.3	L'elettronica di front-end . . . . .	31
3.4.4	Il sistema di raccolta della luce sul sensore . . . . .	31
3.4.5	I prototipi . . . . .	31
3.4.6	Simulazioni e analisi dei dati . . . . .	32
3.5	Richiesta di finanziamento all'INFN . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Il progetto EUSO</b>	<b>33</b>
4.1	Collaborazioni . . . . .	33
4.2	Finanziamenti . . . . .	33



# 1 Descrizione della ricerca

L'esistenza di raggi cosmici con energia  $E \gtrsim 10^{20}$  eV rappresenta un dato sperimentale di enorme importanza ed estremamente difficile da spiegare in base alle conoscenze attuali sull'origine e sulla propagazione dei raggi cosmici nonché alla luce delle nostre conoscenze attuali sulle interazioni fondamentali.

Nell'arco degli ultimi quattro decenni sono stati osservati 13 eventi con energia  $E \gtrsim 10^{20}$  eV da parte di cinque distinti esperimenti: Volcano Ranch (uno) [1], Haverah Park (quattro) [2], Yakutsk (uno) [3], Fly's Eye (uno) [4], Agasa (sei) [5]. Altri sette eventi sono stati osservati ed analizzati recentemente da HiRes [6]. Attualmente la massima energia misurata è di  $3 \cdot 10^{20}$  eV [4]. Sulla base di queste osservazioni il flusso stimato di raggi cosmici con energia  $E > 10^{20}$  eV è di circa un evento  $\text{km}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{secolo}^{-1}$ .

Se l'esistenza di eventi con tali energie è ormai un fatto assodato, quasi nulla è conosciuto sulla loro natura, sull'andamento dello spettro energetico nonché sui meccanismi di produzione di tali oggetti.

A tutt'oggi non si è potuto stabilire nessuna chiara correlazione con specifiche direzioni di provenienza di tali oggetti, la cui origine è quasi certamente extra-galattica, come varie considerazioni fanno supporre. Se si tratta di particelle convenzionali (con l'esclusione dei neutrini) le perdite di energie che tali particelle subiscono durante la propagazione fanno sì che la distanza di origine non possa essere molto più grande di un centinaio di Mpc. Di conseguenza a tali energie i campi magnetici galattici ed extra-galattici non influenzano apprezzabilmente le direzioni di protoni e nuclei, le quali dovrebbero quindi puntare alle sorgenti di emissione, se discrete. I raggi cosmici di altissima energia osservati sono consistenti con una distribuzione isotropica delle sorgenti, nell'ambito della limitata statistica disponibile. Questo è in contrasto con la distribuzione fortemente anisotropa delle sorgenti luminose presenti entro un raggio di circa 100 Mpc dalla Terra. Inoltre i modelli proposti per spiegare l'origine dei raggi cosmici di altissima energia tramite meccanismi convenzionali spiegano con una certa difficoltà come accelerare particelle a queste energie e come estrarre le particelle dalla zona di accelerazione senza perdere l'energia ottenuta.

È anche possibile che questi problemi interpretativi siano indicazione del fatto che i raggi cosmici di altissima energia coinvolgano della nuova fisica.

È quindi ovvia l'importanza di un esperimento che sia in grado misurare particelle di altissima energia e di fornire una buona statistica ( $\approx 10^3 \div 10^4$  eventi) con buona risoluzione angolare ed energetica in tempi ragionevoli (2 ÷ 3 anni).

Inoltre ci si aspetta, come previsto dalla maggior parte dei modelli, che siano prodotti anche dei neutrini, e non è per altro escluso che i primari osservati siano, almeno in parte, dei neutrini. I neutrini interagiscono debolmente (lunghezze di interazione dell'ordine della decina di Gpc) e per di più non sono influenzati dai campi magnetici galattici, ragion per cui forniscono senza ambiguità alcuna la direzione della sorgente. È quindi altrettanto ovvio l'interesse scientifico di poter rivelare anche neutrini di altissima energia.

In questa sezione viene riportato un breve riassunto della problematica scientifica connessa con i raggi cosmici di altissima energia, con particolare riferimento al programma AirWatch [11]. Descrizioni molto più approfondite si trovano in alcuni eccellenti articoli di rassegna recenti [12, 13, 14, 15].

## 1.1 Caratteristiche generali

Il bassissimo flusso dei raggi cosmici di altissima energia richiede un rivelatore con enorme massa e volume sensibile. È significativo il fatto che malgrado il grosso sforzo fatto durante gli ultimi quattro decenni siano stati finora osservati solo una ventina di eventi da parte di esperimenti con esperimenti al suolo. Un modo di aggirare la difficoltà è usare una più grande frazione dell'atmosfera terrestre come rivelatore. Un osservatore nello spazio, ad un'altezza di circa 500 km da Terra, che osservi dall'alto la Terra, può osservare una superficie fino  $\approx 2 \cdot 10^7 \text{ km}^2$ , e quindi un bersaglio fino a  $\approx 2 \cdot 10^{14}$  tonnellate di aria, che costituisce un rivelatore calorimetrico ideale per rivelare raggi cosmici, neutrini inclusi.

La particella primaria (nucleone, nucleo, fotone o neutrino di altissima energia) penetrando nell'atmosfera subisce una collisione coi nuclei dell'atmosfera ed i secondari prodotti nella prima collisione subiscono a loro volta altre collisioni, dando così origine ad uno sciame atmosferico esteso (EAS, Extensive Air Shower). La maggior parte delle particelle cariche prodotte durante lo sviluppo dello sciame sono elettroni e il numero di elettroni prodotti nel punto di massimo sviluppo dello sciame è proporzionale all'energia del primario. Le particelle dello sciame muovendosi attraverso l'atmosfera ionizzano ed eccitano livelli metastabili degli atomi e delle molecole (principalmente delle molecole di  $\text{N}_2$ , che costituiscono la frazione maggiore delle molecole atmosferiche). La diseccitazione dei livelli risulta nell'emissione di fotoni in tempi molto brevi (dell'ordine dei 5 ns). Lo spettro di fluorescenza presenta dei picchi di intensità nella regione  $330 \div 400 \text{ nm}$ , la luce emessa è isotropica, l'intensità proporzionale in ogni punto lungo lo sciame al numero di particelle cariche e l'intensità totale è proporzionale all'energia dello sciame.

Osservando la luce di fluorescenza dell' $\text{N}_2$ , un EAS di alta energia appare quindi come un disco luminoso che si sposta, all'incirca alla velocità della luce, lungo la traiettoria dello sciame, lunga alcune decine di km (a seconda dell'angolo d'incidenza e dell'energia del primario). L'intensità luminosa del disco è inizialmente debole, aumenta man mano di intensità fino a raggiungere un massimo per poi decrescere nuovamente fino a sparire. L'intensità luminosa osservata in corrispondenza di ciascuna quota della traiettoria è proporzionale allo sviluppo dello sciame a tale quota. L'integrale della intensità osservata ed anche l'intensità al suo massimo sono proporzionali all'energia del primario. La forma dello sciame e la posizione del massimo in funzione della profondità di penetrazione dipendono dalla natura del primario. Particelle differenti danno luogo a sciami che si sviluppano in modo diverso. Sciami originati da neutrini si sviluppano a grandi distanze di penetrazione nell'atmosfera, dato che la sezione d'urto neutrino-nucleo è alcuni ordini di grandezza più piccola della sezione d'urto adrone-nucleo o fotone-nucleo.

La tecnica basata sull'osservazione della luce di fluorescenza è stata utilizzata con successo in passato dall'esperimento "Fly's Eye" [16], è attualmente usata dall'esperimento "HiRes" [17]. È ormai una tecnica assodata e ben compresa e sarà usata anche nell'esperimento Auger [18]. L'osservazione dalla luce di fluorescenza da parte di un osservatorio nello spazio non presenta quindi problemi di principio. L'esperimento ha inoltre il vantaggio di permettere non solo la rivelazione di EAS generati da raggi cosmici, ma anche di osservare altri fenomeni quali fenomeni celesti transienti nel vicino UV e fenomeni atmosferici (vedi la proposta [19] allegata).

## 1.2 Lo spettro alle altissime energie

Più di tre decenni sono trascorsi dall'osservazione del primo evento con energia superiore a  $10^{20}$  eV a Volcano Ranch. Attualmente, sulla base della ventina di eventi globalmente osservati, sembra escluso che lo spettro energetico dei raggi cosmici per energie superiori a  $10^{19}$  eV (la regione detta comunemente della “caviglia” o “ankle”) sia una semplice estrapolazione dello spettro valido al di sotto di tale energia. I dati sperimentali sembrano indicare l'esistenza di

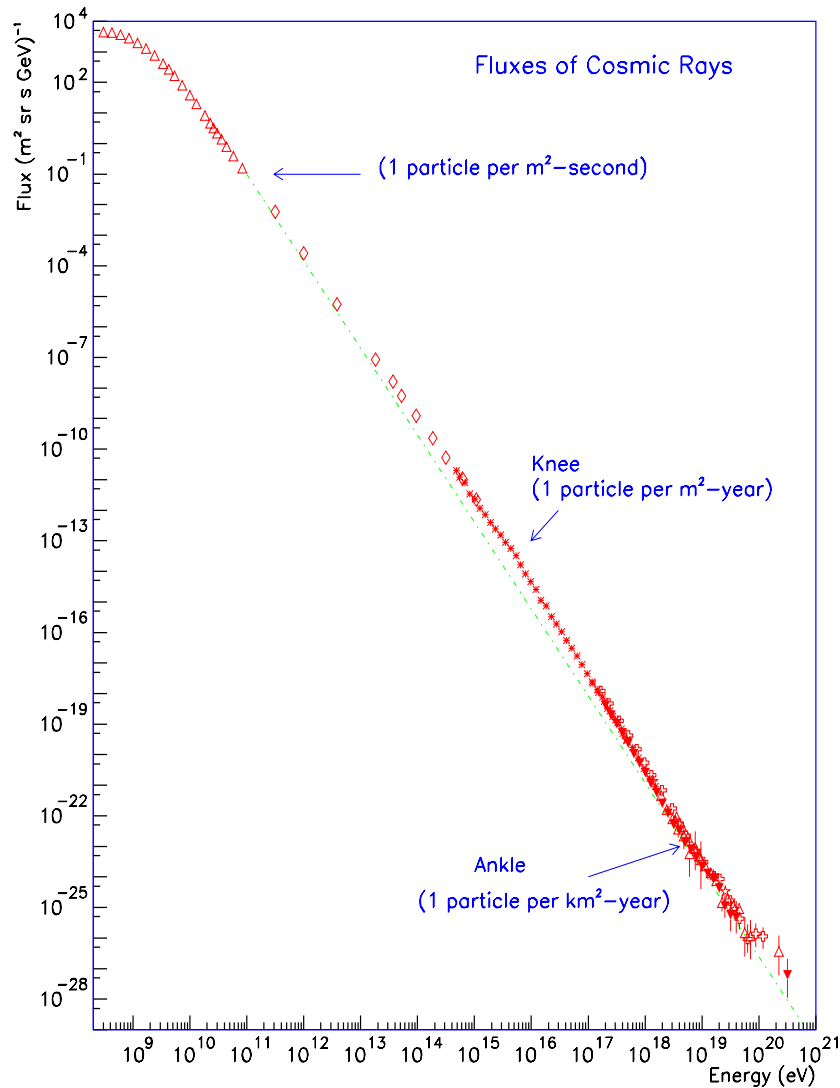


Figura 1: Lo spettro integrale dei raggi cosmici osservati.

un nuovo meccanismo che incomincia ad emergere dalla coda di una distribuzione spettrale che decresce molto rapidamente come illustrato nelle figure 1 e 2 (da [12]). Poco dopo la scoperta della radiazione cosmica di fondo (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) da parte di Penzias e Wilson nel 1965, Greisen ed indipendentemente Zatsepin e Kuzmin [20],

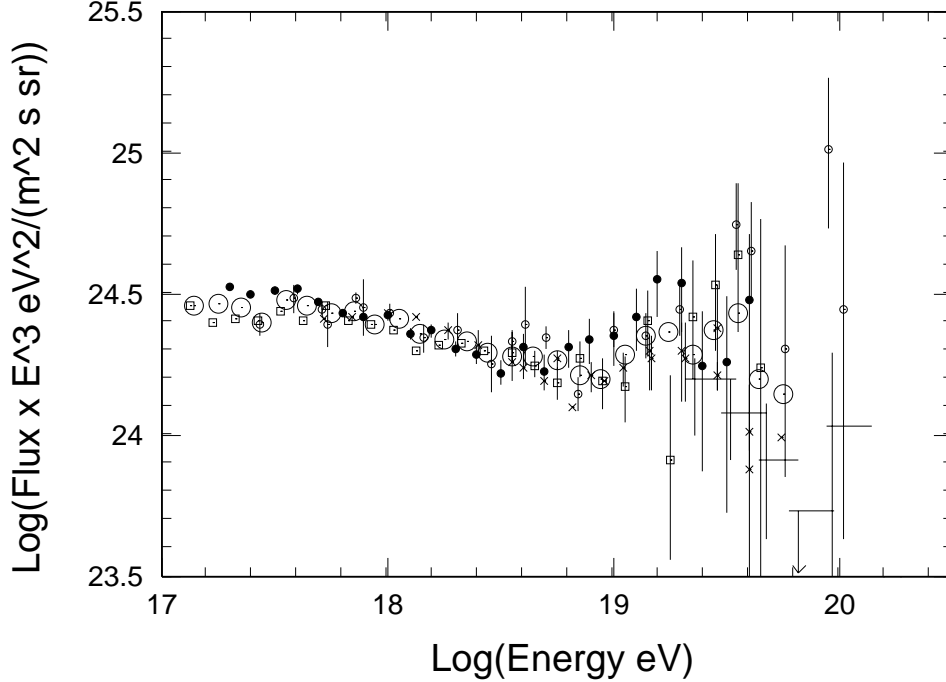


Figura 2: Lo spettro integrale dei raggi cosmici osservati alle altissime energie.

hanno sottolineato il fatto che l'esistenza della CMB rende l'universo opaco a tutte le particelle standard note (eccetto i neutrini) di energia sufficientemente elevata.

Per i protoni, ad esempio, ciò avviene allorché viene raggiunta la soglia di fotoproduzione di pioni,  $E \simeq 7 \cdot 10^{19}$  eV. La reazione  $\gamma p \rightarrow \Delta^+ \rightarrow N\pi$  ha l'effetto di degradare rapidamente l'energia del protone incidente producendo una lunghezza di attenuazione dell'ordine di 50 Mpc per un protone di  $10^{20}$  eV.

A queste energie il decadimento  $\beta$  è la principale fonte di perdita di neutroni, con una lunghezza di propagazione di circa un Mpc per un neutrone di  $10^{20}$  eV.

I nuclei, ad energie  $E \gtrsim 10^{19}$  eV, subiscono la fotodisintegrazione a causa dell'interazione col fondo infrarosso [21] (IRB) e con il CMB, e l'energia del nucleone più energetico fra quelli sopravvissuti è drasticamente degradata su distanze dell'ordine della decina di Mpc.

Le lunghezze di attenuazione, alle altissime energie, dei fotoni sono dell'ordine della decina di Mpc [22], a causa della produzione di coppie  $e^+e^-$  sui fotoni del background di fondo.

La figura 3 mostra chiaramente come un protone degradi la sua energia, interagendo con la radiazione cosmica di fondo a 2.7 K, in funzione dell'energia iniziale e della distanza percorsa.

Si può quindi concludere che, quale che sia la natura del raggio cosmico rivelato, neutrini esclusi, almeno per interazioni conformi al Modello Standard, se esso ha energia superiore a  $\approx 10^{20}$  eV non può provenire da distanze molto maggiori di  $50 \div 100$  Mpc. Questa distanza è grosso modo la dimensione del cluster Virgo, al quale appartiene la nostra galassia.

Comunque nella regione di energia corrispondente all'energia di taglio di GZK non è necessariamente visibile un taglio netto in quanto ci può essere anche il contributo di sorgenti

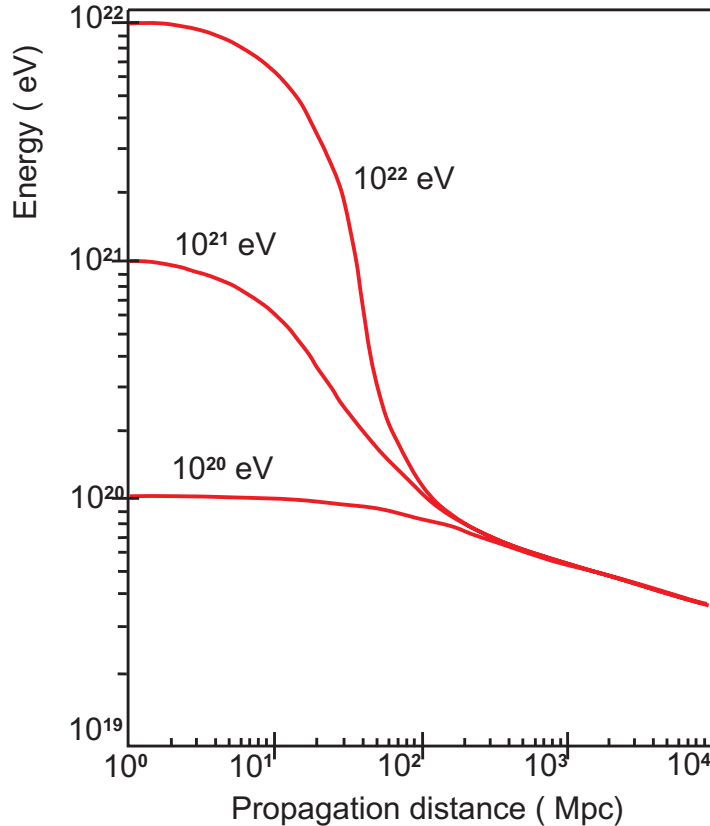


Figura 3: Distanza di propagazione di un protone in funzione della sua energia.

vicine e di neutrini cosmici allo spettro energetico. Ci si aspetta comunque un effetto di addensamento intorno alle energie vicine e al di sotto della soglia GZK.

### 1.3 Origine dei raggi cosmici di altissima energia

Svariati modelli sono stati proposti per spiegare l'origine degli eventi di altissima energia. I meccanismi che sono stati invocati o proposti rientrano in due grandi classi: meccanismi di accelerazione (“Bottom-Up”) e meccanismi di decadimento (“Top-Bottom”).

- I meccanismi di accelerazione convenzionali rientrano a loro volta in due categorie.
  - Accelerazione diretta da parte di campi elettrici estremamente intensi. Ciò può avvenire in prossimità di oggetti molto compatti, come stelle di neutroni fortemente magnetizzate, o in dischi di accrescimento di buchi neri. Questi meccanismi anche se capaci di generare l'energia voluta non producono però distribuzioni con andamento di legge di potenza.
  - Accelerazione stocastica alla Fermi (di primo o secondo tipo).

Fra le varie sorgenti astrofisiche possibili, date le caratteristiche necessarie, i candidati più probabili si riducono essenzialmente alle stelle di neutroni, agli Active Galactic Nuclei

(AGN) e alle radio-galassie del tipo Fanaroff-Riley-II. Tuttavia un numero molto limitato di oggetti di questo tipo sembra esistere a distanze inferiori al centinaio di Mpc, è in nessun caso è stato possibile identificare in maniera certa alcuno di questi come una reale candidata sorgente.

Questa categoria di meccanismi ha in generale difficoltà nello spiegare la generazione di energie così elevate e anche, una volta generate, a spiegare come tali energie non si degradino drasticamente nel processo di estrazione della particella dalla zona di accelerazione. Inoltre i modelli proposti fanno generalmente ricorso a parametri limite per gli oggetti astrofisici considerati come ipotetiche sorgenti.

- Decadimenti di oggetti esotici: decadimenti di particelle super pesanti, instabili o metastabili, genericamente designate come particelle- $X$ . Il decadimento dell' $X$  produce, fra gli altri, quarks e leptoni. I quarks adronizzano e unitamente ai decadimenti dei leptoni instabili si ha come risultato una cascata di fotoni, neutrini, leptoni leggeri e nucleoni. Una parte di queste particelle costituiscono i raggi cosmici di altissima energia che arrivano alla Terra.

A loro volta i meccanismi di produzione delle  $X$  proposti rientrano in due classi.

- Interazioni o decadimenti di difetti topologici (TD) che producono  $X$  che decadono immediatamente. I TD sono stati prodotti durante la transizione di fase che ha rotto la simmetria della GUT. È un modello molto speculativo dato anche che si sa veramente molto poco su tale transizione di fase. Il flusso di cosmici associato dipende dalla densità dei TD e dalla loro vita media.
- Particelle pesanti metastabili associate ad un campo primordiale prodotte dopo la fase di inflazione dell'Universo e sopravissute. Le vite medie devono quindi essere dell'ordine di grandezza dell'età dell'Universo. Il flusso di cosmici dipende dalla densità di tali oggetti.

Naturalmente occorre che i prodotti di decadimento dell' $X$ :

- abbiano viaggiato (neutrini esclusi) meno di  $\approx 100$  Mpc;
- la massa dell' $X$  sia molto maggiore dell'energia più elevata osservata (qualche  $10^{20}$  eV, a tutt'oggi) il che è per altro compatibile con le scale dei modelli GUT ( $10^{24} \div 10^{25}$  eV);
- la densità delle  $X$  e la loro vita media siano compatibili coi flussi effettivamente osservati.

Il decadimento delle  $X$  produce abbastanza naturalmente uno spettro energetico che varia come una legge di potenza:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\alpha} \quad \text{con} \quad 1 < \alpha < 2 \quad . \quad (1)$$

La cascata adronica delle  $X$  è inoltre dominata da fotoni e neutrini (più o meno indipendentemente dal modello) e questa è una distinzione fondamentale rispetto ai meccanismi di accelerazione. I nuclei non sono prodotti con questo tipo di meccanismi. In generale risulta non facile riprodurre i flussi di raggi cosmici osservati attraverso questi modelli.

Questi modelli incorporano sempre nuova fisica e le predizioni sono altamente dipendenti dai modelli. Le sorgenti non sono necessariamente associate con oggetti astrofisici attivi al giorno d'oggi.

## 1.4 I neutrini di altissima energia

Il primo obiettivo scientifico del programma AirWatch è quindi la misura dello spettro energetico per  $E \gtrsim 10^{19}$  eV con buona statistica e la possibile messa in evidenza di anisotropie o non uniformità nelle direzioni di arrivo.

È inoltre altamente verosimile che gli stessi meccanismi che sono all'origine dei cosmici di altissima energia diano anche luogo a produzione di neutrini, essi pure di altissima energia (è per lo meno quanto prevedono la maggior parte dei modelli). Una volta prodotti i neutrini sono pochissimo influenzati dalla distribuzione di materia e di radiazione nello spazio nonché insensibili ai campi magnetici.

In conseguenza del grande angolo di osservazione dall'alto e quindi del grande volume sensibile, AirWatch sarà in grado di osservare un numero statisticamente significativo di eventi di neutrino (sulla base, perlomeno, dei flussi previsti dai vari modelli). AirWatch sarà soprattutto in grado di riconoscere sciami originati da neutrini da quelli prodotti da altre particelle, osservando, in particolare, sciami con grande angolo zenithale nonché, possibilmente, quelli provenienti dal basso.

Assumendo la validità del Modello Standard delle interazioni fondamentali anche ad energie di  $\gtrsim 10^{19}$  eV, la sezione d'urto  $\nu N$  continua ad aumentare, e ad  $E \approx 10^{20}$  eV si ha  $\sigma \sim 0.1 \mu\text{b}$ , una sezione d'urto sufficientemente elevata perché neutrini cosmici producano sciami osservabili nella massa di atmosfera osservabile con AirWatch.

L'osservazione e l'Astronomia, cioè l'identificazione delle sorgenti, dei neutrini rappresenta di conseguenza il secondo punto fondamentale del programma AirWatch. Il numero di eventi osservabili dipende molto dai flussi incidenti, che dipendono molto dai modelli. Vari modelli prevedono la produzione di neutrini con energie superiori a  $10^{18}$  eV.

Modelli di "difetti topologici" (TD) [23, 24] predicono in generale flussi abbastanza elevati, per  $E \gtrsim 10^{20}$  eV, corrispondenti a diverse decine di eventi all'anno in AirWatch.

Un'altra possibile sorgente di neutrini sono i meccanismi negli AGN ed in particolare in alcune categorie di questi (quali i "Blazars" noti per emettere enormi quantità di energia come raggi  $\gamma$ ). I meccanismi di tali processi sono assai mal conosciuti ed i flussi previsti variano di conseguenza enormemente da un modello all'altro. Si hanno previsioni che arrivano fino alla decina di eventi all'anno [25].

Un altro meccanismo proposto è quello dei Gamma Ray Bursts (GRB), che sono considerati, allo stadio attuale delle nostre conoscenze, il processo astrofisico non continuo che libera più energia ( $E \gtrsim 10^{52}$  erg solo per la componente di fotoni durante tempi di  $0.1 \div 100$  s). Particelle possono venir accelerate in questi bursts ad energie molte elevate ed eventualmente produrre neutrini di alta energia. Anche in questo caso le stime dei flussi con i vari modelli sono molto diverse [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

I neutrini sono certamente prodotti in modo più tradizionale attraverso l'interazione di protoni con energia  $\gg 10^{20}$  eV con il CMB. Il processo  $p + \gamma_{2.7\text{K}} \rightarrow \pi N \rightarrow \nu + \dots$  genera neutrini di altissima energia. Le stime sono ancora una volta alquanto incerte con previsioni dell'ordine di alcuni eventi all'anno in AirWatch.

È da osservare infine che se a causa di uno dei precedenti processi (o altri) vi è un flusso di neutrini di altissima energia, i suddetti neutrini possono annichilarsi con gli antineutrini del Cosmic Neutrino Background (CNB) la cui densità nel Cluster è stimata essere dell'ordine di  $10^2 \div 10^4$  e la densità media di  $\approx 54 \nu / \text{cm}^{-3}$ . Il decadimento dello  $Z^0$  così generata produrrà principalmente fotoni e adroni. Se l'interazione avviene a distanze  $\lesssim 50$  Mpc i prodotti di decadimento possono arrivare fino a noi senza essere influenzati dal meccanismo di GZK. Dati recenti in particolare quelli di AGASA sembrerebbero dare qualche evidenza di un tale meccanismo. La misura con buona statistica e buona risoluzione angolare, che sarà possibile con AirWatch, permetterà di chiarire il contributo di un tale processo.

## 1.5 Altri obiettivi scientifici

È infine da sottolineare che AirWatch sarà in grado di contribuire ad altri due campi della fisica dello spazio.

Uno è lo studio nella regione dell'UV di fenomeni quali: Gamma Ray Bursts, rivelazione di esplosioni di Supernovae, misure di emissione dagli AGN e tutti i fenomeni transienti (anche su tempi molto brevi) dovuti a sorgenti galattiche ed extra-galattiche.

Il secondo campo che potrà venir esplorato è quello dei fenomeni elettromagnetici che avvengono nell'atmosfera e che danno luogo a emissioni luminose. Molti di questi fenomeni (quali "Blue Jets", "Elves" e "Starters") sono stati scoperti solo recentemente [34, 35, 36, 37, 38, 39] ed i loro meccanismi sono ancora in gran parte incompresi.

## 1.6 Il metodo di rivelazione

Il bassissimo flusso dei cosmici per energie superiori a  $10^{19}$  eV richiede fotorivelatori con area enorme, dell'ordine di  $10^6 \text{ km}^2$ , per ottenere un numero di eventi ragionevole.

L'atmosfera terrestre che ha una massa complessiva di  $\approx 5 \cdot 10^{18}$  kg, rappresenta un adeguato bersaglio. Una particella cosmica entrante in essa produce un EAS contenente miliardi di particelle secondarie, ed è questo sciame che viene osservato dal rivelatore. Ad esempio un protone primario di  $10^{20}$  eV produce uno sciame che contiene circa  $10^{11}$  secondari che a livello del suolo coprono un'area di circa  $20 \text{ km}^2$ .

Gli esperimenti tradizionali hanno fino ad oggi seguito il metodo di coprire vaste porzioni del suolo (dell'ordine delle decine di  $\text{km}^2$ ) con rivelatori di particelle ionizzanti [2, 40] oppure di usare l'atmosfera come bersaglio attivo ed osservare dal suolo la luce di fluorescenza prodotta [17, 16].

La prima tecnica misura quindi le particelle cariche dello sciame che arrivano al suolo ed è indipendente dal giorno o dalla notte. La direzione d'arrivo del primario viene tipicamente ricostruita con una precisione dell'ordine di un paio di gradi misurando i tempi di arrivo dei secondari nei rivelatori disposti al suolo. L'energia del primario viene ricostruita dalla determinazione della densità dei secondari. Dalla misura della percentuale di muoni nello sciame si hanno indicazioni sulla natura del primario.

Con la tecnica di fluorescenza (e.g. Fly's Eye) si produce invece un'immagine dello sciame prodotto nell'atmosfera su un insieme di fotorivelatori veloci. Ogni elemento fotorivelatore corrisponde ad una zona del cielo. Lo sviluppo di uno sciame appare quindi sulla superficie focale come un insieme di punti luminosi allineati lungo una retta. L'intensità dei vari punti è differente ed è proporzionale al numero di particelle cariche presenti nello sciame alla profondità corrispondente. Ciò permette quindi di osservare lo sviluppo longitudinale dello sciame ed



avere una misura calorimetrica dell'energia dello stesso con un campionamento quasi continuo. Lo sciame ha uno sviluppo longitudinale ragionevolmente descritto dalla parametrizzazione di Gaisser-Hillas [41, 42] che fornisce il numero  $N_e$  di elettroni prodotti nello sciame in funzione della profondità atmosferica  $x$ :

$$N_e(x) = N_{\max} \left[ \frac{x - x_o}{x_{\max} - x_o} \right]^{(x_{\max} - x_o)/\lambda} \exp(x_{\max} - x)/\lambda \quad , \quad (2)$$

dove  $\lambda \simeq 70 \text{ g cm}^{-2}$ ,  $x_o$  è la profondità alla quale avviene la prima interazione e  $x_{\max}$  rappresenta la posizione del massimo dello sciame. L'energia totale dello sciame è proporzionale all'integrale di  $N_e(x)$ , sapendo che la perdita media di energia per particella carica è di  $\simeq 2.2 \text{ MeV}/(\text{g cm}^{-2})$ .

Inoltre il profilo dello sciame ed in particolare la posizione del massimo sono funzioni della natura della particella incidente, anche se le fluttuazioni sono grandi. Ad esempio, per uno sciame di 10 TeV, si ha  $x_{\max} \simeq 800 \text{ g cm}^{-2}$  e l'indeterminazione su  $x_{\max}$  è di circa  $50 \text{ MeV}/(\text{g cm}^{-2})$ . La direzione del primario è ricostruita dalla traccia misurata in proiezione sulla superficie dei fotorivelatori con in più l'informazione temporale sul tempo di arrivo sul fotorivelatore stesso, che quindi devono essere molto veloci. Un'alternativa, meno attraente, potrebbe essere usare più rivelatori lenti in modo da avere una visione stereo.

In ogni caso rivelatori disposti al suolo vedono necessariamente una limitata frazione dell'atmosfera. L'alternativa per poter osservare un numero di sciame ragionevole è quindi o aumentare a dismisura l'area al suolo coperta dai rivelatori (ed è l'approccio di Auger) oppure osservare l'atmosfera dall'alto guadagnando quindi un enorme fattore sulla massa sensibile. È questo l'approccio di AirWatch, illustrato nella figura 4. AirWatch è concepito come un rivelatore da installare su un satellite o sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS). L'idea base del rivelatore è di generare un'immagine dello sciame su una superficie finemente quadrata di fotorivelatori. Un sistema di lenti con grande apertura e grande campo di vista focalizzerà la luce di fluorescenza sulla superficie di rivelazione posto nella superficie focale del sistema ottico. La segmentazione dei fotorivelatori e la risoluzione temporale devono essere sufficientemente piccoli da permettere di ricostruire la direzione del primario e l'energia dello sciame con precisioni almeno uguali a quelle ottenute in esperimenti in corso o in progetto.

Il tipico sviluppo di uno sciame è di circa  $10 \div 100 \text{ km}$ , a seconda dell'angolo d'incidenza e dell'energia del primario. La durata del passaggio attraverso l'atmosfera è corrispondentemente di  $30 \div 300 \mu\text{s}$  circa. La luce di fluorescenza è emessa isotropicamente. Dal numero di fotoelettroni  $N_{pe}$  misurati da ogni fotorivelatore si può risalire al numero di elettroni presenti nella regione di spazio vista dal rivelatore note l'emissività del processo di fluorescenza, la trasmittività dell'atmosfera e l'efficienza del sistema ottico e quella del fotorivelatore. In molti casi è altresì possibile misurare il segnale (ritardato) dovuto alla luce Cherenkov emessa dai secondari carichi e riflessa dalla superficie della Terra e/o del mare.

La stima attuale (basata su misure da satellite e da voli di palloni stratosferici) del fondo luminoso nell'intervallo di lunghezze d'onda  $300 \div 400 \text{ nm}$  è di circa  $3 \cdot 10^{11} \text{ fotoni m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$ . Ne risulta che l'energia di soglia per AirWatch è di circa  $4 \cdot 10^{19} \text{ eV}$  con una risoluzione in energia di circa  $15 \div 20\%$ .

AirWatch sarà altresì capace di rivelare neutrini cosmici di altissima energia. La tecnica di rivelare i neutrini attraverso l'osservazione degli sciame quasi orizzontali da essi prodotti nell'atmosfera è un'alternativa particolarmente vantaggiosa rispetto ad altre tecniche. Naturalmente occorre essere in grado di distinguere uno sciame generato da un neutrino da quello

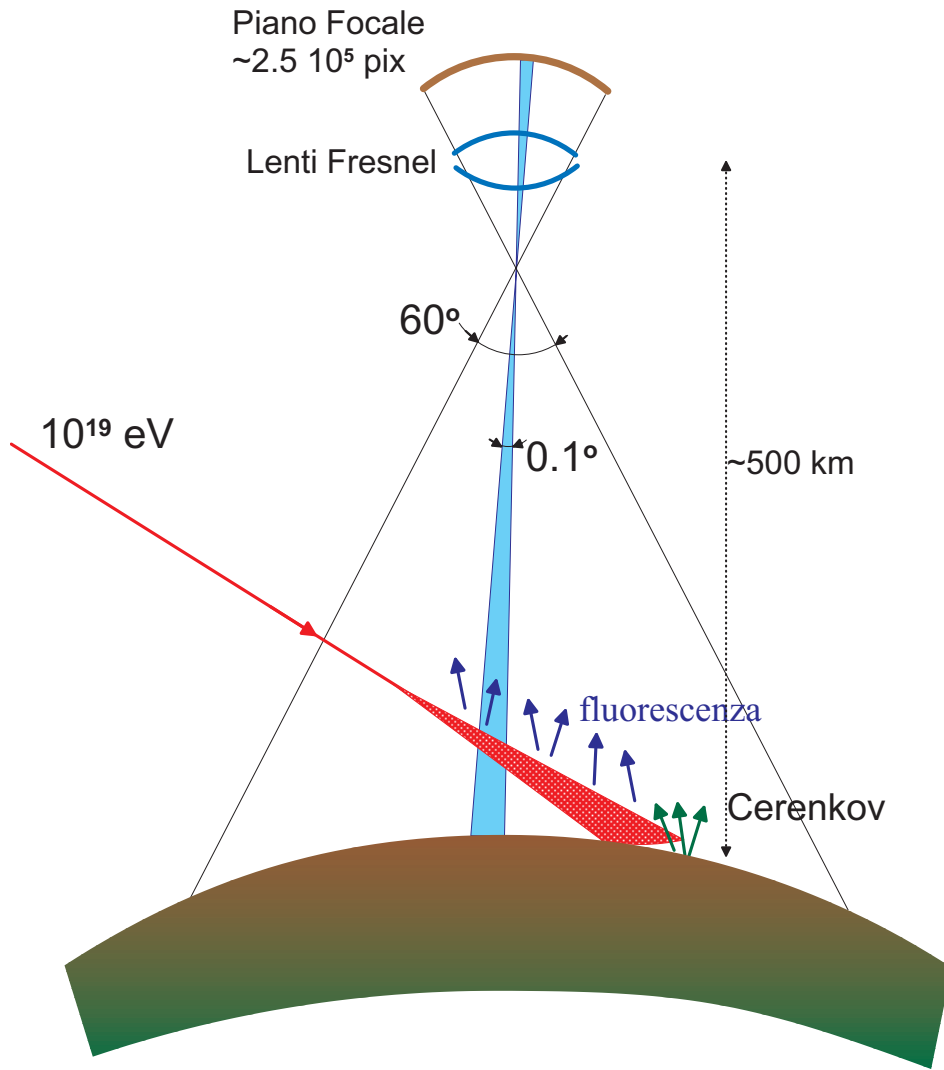


Figura 4: Schema di principio del concetto AirWatch.

generato da un'altra particella. Neutrini che entrano nell'atmosfera diretti verso il basso penetrano profondamente prima di iniziare un EAS. Essi possono venir discriminati da protoni e fotoni con un'efficienza elevata usando un criterio di selezione richiedente che la profondità del punto d'inizio dello sciame sia maggiore di  $\approx 10^3 \text{ g cm}^{-2}$  [43, 44]. La direzione del neutrino incidente deve essere ricostruita con una adeguata risoluzione angolare. Simulazioni Monte Carlo indicano che la risoluzione angolare sulla traccia del neutrino varia circa fra  $0.2^\circ \div 2^\circ$  a seconda dell'angolo zenitale, ma può essere ancora notevolmente migliorata utilizzando il segnale fornito dall'associata luce Cherenkov riflessa a Terra.

Per neutrini del  $\tau$  diretti verso l'alto, per contro, la misura diretta della luce Cherenkov può fornire il segnale voluto (risoluzione angolare di  $0.1^\circ$  a qualunque angolo zenitale), con una soglia energetica dell'ordine di  $10^{17} \text{ eV}$ . La composizione di specie neutriniche tra l'altro si deve riflettere in variazioni della distribuzione angolare zenitale dei neutrini diretti verso

l'alto poiché ogni specie di neutrino ha un cammino d'interazione diverso attraversando la Terra.

Fotoni con energia di  $10^{20}$  eV danno origine (se presenti) a sciame molto elongati a causa dell'effetto Landau-Pomeranchuk-Migdal e ciò dovrebbe renderli distinguibili da protoni e neutrini.

Infine è da osservare che misure di fluorescenza sono possibili solamente dal lato oscuro della Terra. Ciò significa che il "duty cycle" delle misure sarà tipicamente non superiore a  $\approx 10\%$ , come è per altro il caso degli esperimenti basati a Terra che misurano la luce di fluorescenza. Malgrado questo fattore ci si aspetta comunque di osservare diverse migliaia di eventi all'anno con energie  $\gtrsim 10^{19}$ .

Un periodo di tre anni di presa dati dovrebbe quindi fornire  $\simeq 10^4$  eventi. Nell'eventualità che non venga osservato nessun taglio in energia alla GZK, una tale statistica permetterà di estendere la misura dello spettro energetico fino a circa  $10^{22}$  eV fornendo quindi informazioni e limiti molto stringenti sulle possibili sorgenti e sui meccanismi di accelerazione. Se si osserverà viceversa un "cutoff" la forma dello spettro nuovamente darà indicazioni sulle sorgenti. È infine da notare che con una statistica di  $10^4$  eventi si potrà mettere in evidenza una eventuale anisotropia fino ad un livello del 2%.

## 2 L'apparato Sperimentale

### 2.1 Generalità

AirWatch/EUSO, essendo pensato per essere installato su un veicolo spaziale orbitante attorno alla Terra, deve soddisfare ad un certo numero di caratteristiche e vincoli che non hanno riscontro in apparati collocati al suolo. L'apparato, illustrato schematicamente nella figura 5, è composto essenzialmente da tre sistemi: il sistema ottico, il fotorivelatore nella superficie focale del sistema ottico e l'elettronica. Tali sistemi sono descritti in maggior dettaglio nei paragrafi seguenti. La filosofia generale alla base del disegno di AirWatch/EUSO è di garantire, da un lato, la rispondenza delle caratteristiche del rivelatore alle esigenze richieste dal programma di fisica, dall'altro soddisfare i vincoli imposti da una missione spaziale.

Il programma di fisica richiede in particolare che il rivelatore soddisfi ai seguenti requisiti.

1. Abbia un'accettanza effettiva (dopo tutte le correzioni dovute alle varie sorgenti di inefficienza) che sia  $\approx 10$  volte superiore a quella di Auger e del Telescope Array. L'accettanza effettiva deve quindi essere dell'ordine di  $\approx 10^5$  km<sup>2</sup> sr. Tale requisito garantisce un adeguato flusso di eventi di altissima energia.
2. La soglia in energia dev'essere nell'intorno di qualche  $10^{19}$  eV. Tale requisito garantisce di rivelare anche parte dello spettro sotto l'energia di taglio di GZK ed avere un raccordo coi dati esistenti oltre che fornire un ben preciso punto di calibrazione.
3. Una granularità angolare dell'ordine di  $\approx 0.1^\circ$ .
4. Una risoluzione angolare sulla ricostruzione della direzione degli EAS dell'ordine di  $\approx 1^\circ$ , simile a quella di Auger.

I vincoli che nascono dalle operazioni di invio e di operazione nello spazio del sistema richiedono inoltre che l'apparato abbia le seguenti caratteristiche.

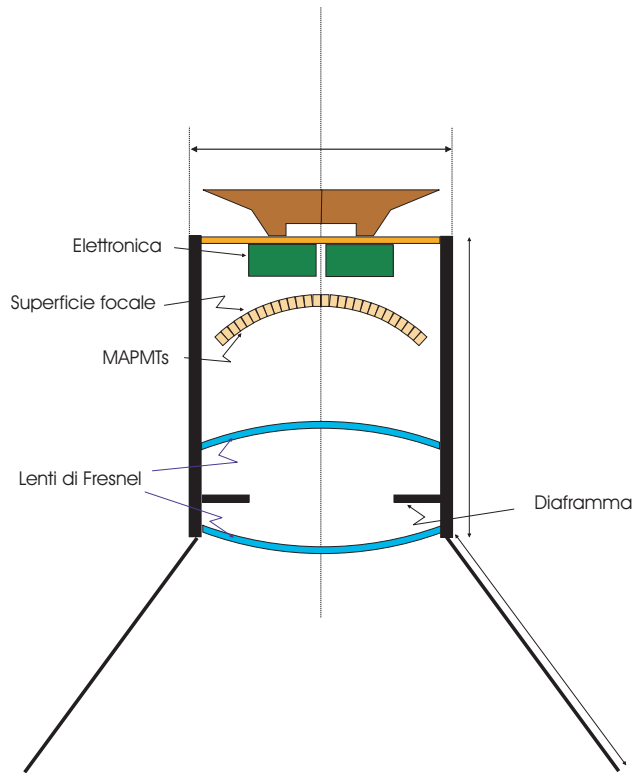


Figura 5: L'apparato sperimentale

1. Sia compatto (diametro  $D_{max} \lesssim 4$  m e lunghezza  $L_{max} \lesssim 4.5$  m) in modo da poter essere alloggiato in un vettore del tipo Delta III oppure nello Space Shuttle.
2. La massa sia contenuta:  $M_{tot} \approx 1$  ton.
3. Non richieda, possibilmente, operazioni di assemblaggio nello spazio né manovre di apertura più o meno complicate.
4. Sia affidabile e robusto, basato su soluzioni tecnologiche esistenti o quanto meno che richiedano solo un modesto programma di miglioramento o adattamento al caso specifico.
5. Abbia una struttura modulare che assicuri un'elevata affidabilità e semplifichi il progetto e la realizzazione.
6. Sia pronto ad andare in orbita nel 2005.

I parametri del progetto EUSO sono riassunti nella tabella 2.1.

## 2.2 Sistema Ottico

Le caratteristiche principali del sistema ottico sono illustrate nella tabella 2.2.

Il sistema ottico è in grado di osservare un'area di  $\simeq 290$  km di raggio sulla superficie della Terra, corrispondente ad una superficie di  $\simeq 2.6 \cdot 10^5$  km<sup>2</sup>, con una risoluzione spaziale di circa  $1 \times 1$  km<sup>2</sup>.

Risoluzione spaziale a Terra	$\Delta \simeq 1 \text{ km}$
Altezza media dell'orbita	$H \simeq 500 \text{ km}$
Pupilla di ingresso dell'ottica	$D \simeq 2.6 \text{ m}$
Massimo diametro del sistema ottico	$D_{\max} \simeq 3.5 \text{ m}$
Numero $f\#$ dell'ottica	$f\# \simeq 1.25$
Campo di vista dell'ottica (totale)	$FOV \simeq 60^\circ \equiv 2\gamma$
Area osservata a Terra	$A \simeq 2.6 \cdot 10^5 \text{ km}^2$
Banda di lavoro	$330 \div 400 \text{ nm}$
Efficienza globale di rivelazione dei fotoni	$\varepsilon \simeq 0.2$
Trasmissione complessiva dell'ottica	$K_{opt} \simeq 0.8$
Trasmissione complessiva dell'atmosfera	$K_{atm} \simeq 0.4$
Background (a $\approx 400 \text{ km}$ di altezza)	$B \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ fotoni m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$

Tabella 1: I parametri base di EUSO.

Diametro della pupilla di ingresso	2.6 m
Massimo diametro delle ottiche	3.5 m
Campo di vista totale	$60^\circ$
Risoluzione angolare	$\approx 0.1^\circ$
Spot size	$\approx 6 \text{ mm}$

Tabella 2: I parametri base dell'ottica di EUSO.

La risoluzione, tutto sommato modesta, che si vuole ottenere ha favorito la scelta di un sistema basato sulla tecnologia delle lenti di Fresnel, mettendo invece in seconda priorità soluzioni con elementi catadiottrici che avrebbero richiesto l'uso di meccanismi di apertura una volta messi in orbita. Le lenti di Fresnel offrono una grande apertura, un grande campo visivo e nello stesso tempo permettono una notevole riduzione della massa e dell'assorbimento. La riduzione di massa è ulteriormente facilitata dall'uso di polimeri a bassa densità che sono stati recentemente sviluppati [45].

Il sistema progettato comprende due lenti di Fresnel. Ciascuna lente è ricavata da un substrato sferico ed è incisa sui due lati. Il diametro delle lenti è inferiore a 3.7 m e questo le rende compatibili per l'invio tramite Shuttle o vettore tipo Delta III. Il sistema ottico è ottimizzato per lunghezze d'onda di  $\lambda = 357 \text{ nm}$ . L'effetto delle aberrazioni cromatiche è tale che comunque più dell'85% dell'energia nella banda fra  $337 \div 391 \text{ nm}$  è contenuta in una regione che non dista più di un pixel dal pixel centrale. La Point Spread Function dell'ottica, il cui valore deve essere consistente con la dimensione del pixel sulla superficie focale, vale  $\approx 6 \text{ mm}$ . L'inconveniente principale delle Lenti di Fresnel è la presenza di *scattering* e la riduzione di contrasto conseguente. Come discusso in [19] la perdita di segnale è però accettabile. Prototipi delle lenti di Fresnel sono state prodotte all'Università di Alabama, Huntsville lavorando direttamente al tornio un blocco di materiale plastico. Tests di *radiation hardness* sono stati effettuati ed hanno dimostrato la possibilità di usare tali materiali nello spazio. Le lenti di EUSO verranno prodotte per stampaggio (anziché lavorarle direttamente) il che ridurrà i costi e fornirà una qualità almeno altrettanto buona.

Un filtro ottico (depositato sulle lenti o inserito in modo indipendente) limiterà la banda di lunghezze d'onda all'intervallo  $330 \div 400$  nm ove è concentrata la maggior parte dell'emissione luminosa di fluorescenza del  $N_2$ . È stato costruito un prototipo di filtro interferenziale che trasmette più del 90% della luce incidente fino a grandi angoli di incidenza.

Una soluzione alternativa, basata su un sistema catadiottrico, che offrirebbe dei vantaggi, è in fase di studio ma è stata messa in seconda priorità, a questo stadio, perché richiederebbe un sistema di apertura nello spazio. Data l'importanza di tale elemento nel progetto è importante però studiare, con simulazioni e semplici modelli, anche sistemi alternativi basati su soluzioni differenti, nell'ottica di una ridondanza necessaria in questa fase del progetto.

### 2.3 Il fotorivelatore

Con la dicitura fotorivelatore si intende tutto il sistema di rivelazione di fotoni di AirWatch/EUSO che include il sensore, il sistema di raccolta della luce sul sensore, l'elettronica associata e tutta la struttura meccanica di supporto.

Le caratteristiche generali richieste al fotorivelatore nella superficie focale sono le seguenti.

- Sensibilità al fotone singolo nella banda  $330 \div 400$  nm, che comprende bande di emissione della luce di fluorescenza dell'azoto e in cui l'atmosfera è relativamente trasparente.
- Velocità di risposta (inferiore al microsecondo) in modo da poter seguire lo sviluppo dello sciame e poter ricostruire la direzione dello sciame da un singolo punto d'osservazione.
- Basso rumore e buon rapporto segnale-rumore.
- Grande superficie (dell'ordine di diversi metri quadrati) a causa del grande campo di vista desiderato ( $60^\circ$  a pieno campo di vista). Per contro non è richiesta una elevata risoluzione spaziale (alcuni mm sono sufficienti).
- Basso consumo, massa ridotta, robustezza meccanica, resistenza alle radiazioni, ridotta sensibilità ai campi magnetici, affidabilità e stabilità nel tempo.

La dimensione del pixel nella superficie focale è legata alla granularità spaziale con la quale si vuole campionare lo sviluppo dello sciame. La dimensione del pixel determina a sua volta la risoluzione angolare,  $\sigma_\theta$ , con la quale si determina la direzione dello sciame.

Con riferimento alla figura 6 si trova infatti che, richiedendo  $\sigma_\theta \simeq 1^\circ$ , l'apertura angolare del singolo pixel dev'essere  $\Delta\alpha \lesssim 0.1^\circ$  (si veda [46] per la derivazione completa).

Poiché d'altra parte

$$d_{pixel} \simeq f\Delta\alpha \quad , \quad (3)$$

dove  $f$  è la distanza focale del sistema ottico, la dimensione ottimale del pixel risulta:  $d_{pixel} \simeq 6$  mm per  $f = 3$  m.

La lunghezza dell'elemento di traccia  $\Delta L_\alpha$  relativo e quindi la granularità spaziale con la quale lo sciame è campionato risulta essere:  $\Delta L_\alpha = \frac{H}{\cos\alpha}\Delta\alpha$  il che fornisce  $\Delta L_\alpha \simeq 1$  km che rappresenta un valore ragionevole considerato che lo sviluppo tipico di un EAS è  $\gtrsim 10$  km.

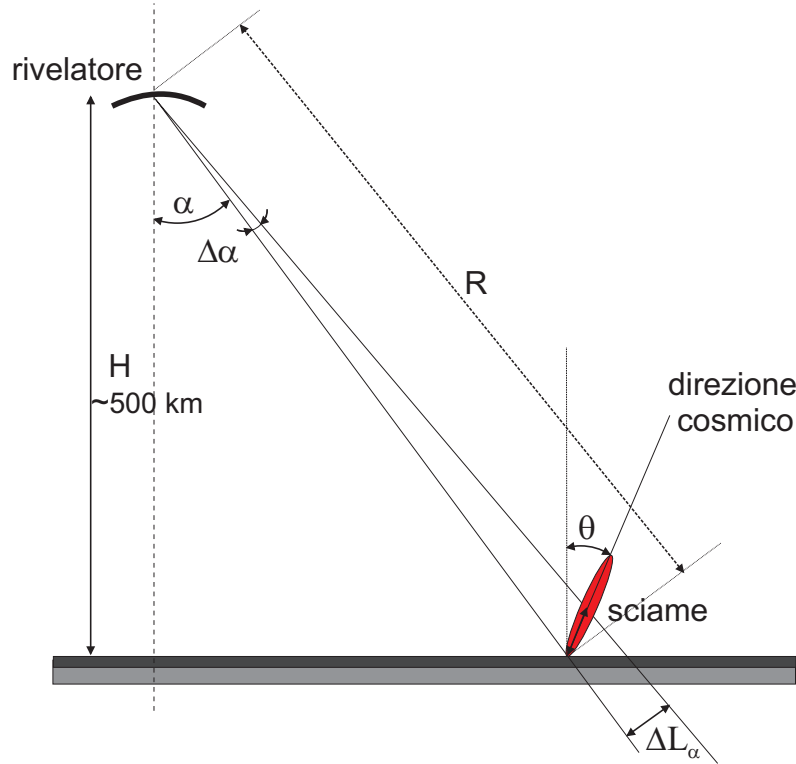


Figura 6: Geometria della rivelazione di EAS dallo spazio.

La dimensione della superficie focale, che per inciso è curva, è ovviamente legata alle caratteristiche del sistema ottico, lunghezza focale ed angolo di campo,

$$D_{rivel} = 2f \tan\left(\frac{FOV}{2}\right) = 2f_{stop} D_{in} \tan\left(\frac{FOV}{2}\right), \quad (4)$$

volendo esprimerlo in funzione del diametro della pupilla d'ingresso,  $D_{in}$ , e del numero-f dell'obiettivo,  $f_{stop}$ . Il disegno attuale di EUSO implica che  $D_{rivel} \simeq 3.7$  m. Il numero di pixels risultante è quindi di circa  $2.6 \cdot 10^5$ .

Il sistema dei fotorivelatori deve inoltre soddisfare ad altre esigenze:

- ridurre al minimo le zone morte;
- avere massa limitata;
- possibilità e fattibilità di adattare i dispositivi alla curvatura della superficie focale (struttura modulare);
- elevata efficienza di rivelazione;
- trasparenza complessiva agli UV elevata nella regione  $330 \div 400$  nm;
- frequenza del rumore di corrente oscura inferiore al rumore di fondo del cielo oscuro (10 kHz è ragionevole);

- buona uniformità dell'efficienza di raccolta dei fotoni fra pixel e pixel (non è invece molto importante l'uniformità di guadagno fra i vari pixels poiché il sistema di lettura conta i fotoelettroni);
- piccolo cross-talk fra pixel vicini;
- basso livello di after-pulse;
- consumo ridotto;
- essere spazializzati o compatibili con le esigenze spaziali;
- garanzia di funzionamento stabile sull'arco di diversi anni (5 ÷ 10 anni);
- costo ragionevole.

### 2.3.1 Specifiche dei sensori

Il numero di dispositivi con caratteristiche simili o vicine a quelle elencate precedentemente, che siano disponibili sul mercato, o quanto meno ad uno stadio di sviluppo e di test così avanzato da poter essere considerati, è alquanto ridotto.

Dopo un accurato esame di vari tipi di sensori (che presentano per altro caratteristiche assai interessanti) la scelta si è concentrata sui fotomoltiplicatori multianodo (MAPMT), pur restando aperti e pronti a reagire nel caso si rendessero effettivamente disponibili a tempi brevissimi altre soluzioni per ora messe in seconda priorità, quali Flat Panel PMTs [47] oppure Hybrid Photon Detectors [48, 49, 50].

In particolare la Hamamatsu Corporation produce dei MAPMT (tipo R7600) [52] con varie configurazioni di pixels. Fra quelli più interessanti per AirWatch/EUSO ci sono la versione con  $4 \times 4$  pixels quadrati, con lato di circa 4.3 mm, e la versione con  $8 \times 8$  pixels quadrati, da 2 mm di lato. Le dimensioni esterne per queste due configurazioni sono di  $25.7 \times 25.7 \text{ mm}^2$ ; la lunghezza è  $\simeq 33 \text{ mm}$  e la massa  $\simeq 30 \text{ g}$ .

Il fotocatodo è un bi-alkali e la finestra di ingresso UV-trasparente è spessa 0.8 mm. L'efficienza quantica è dell'ordine di 20% nell'intervallo di lunghezza d'onda di interesse, con massimo a  $\lambda \simeq 420 \text{ nm}$ . La struttura dei dinodi (12 stadii) è a Metal Channel e fornisce un guadagno dell'ordine di  $3 \cdot 10^5$  per una tensione anodica di 0.8 kV con un partitore resistivo di tipo convenzionale.

L'inconveniente del sensore (per altro comune ad altre soluzioni) è rappresentato dalla non trascurabile zona morta; il rapporto fra l'area attiva dei pixels e l'area della struttura esterna del fotomoltiplicatore è di circa 45%. La difficoltà è parzialmente aggirabile con un sistema di collettori di luce di fronte posti di fronte ai sensori che adattino il reticolo di pixel alla superficie focale. Sono stati studiati diversi sistemi di collezione della luce, descritti nel paragrafo 2.3.2.

Le variazioni di guadagno tra diversi pixels dello stesso MAPMT e le variazioni di guadagno medio tra diversi MAPMTs sono entrambe riportate del costruttore essere inferiori a 3 : 1.

Il MAPMT è sensibile all'effetto di campi magnetici. Misure recenti [51], compatibili con le specifiche del costruttore, mostrano piccola sensibilità a campi magnetici trasversali, mentre campi magnetici longitudinali  $\mathcal{O}(10)$  gauss danno effetti significativi sulle due righe più esterne di colonne. Infatti un campo magnetico longitudinale di  $B \simeq 30$  gauss riduce il loro segnale



di circa il 50%. Il campo geo-magnetico medio atteso lungo l'orbita è inferiore al gauss e ha quindi un effetto trascurabile.

I dati forniti dal costruttore sulla stabilità a lungo termine delle operazioni del MAPMT sono compatibili con la missione AirWatch/EUSO proposta.

Gli effetti delle radiazioni implicano principalmente un ingiallimento del vetro della finestra di ingresso. I dati del costruttore [53] mostrano che il vetro UV-trasparente ha una migliore resistenza alle radiazioni che il normale borosilicato. Quindi, per quanto non strettamente richiesto dalla banda spettrale della presente applicazione, è comunque opportuno usare la versione con finestra in vetro UV-trasparente.

Tests preliminari, effettuati a Trieste [54], Genova e Palermo, hanno dato risultati consistenti con le specifiche fornite dal costruttore.

**Aspetti operativi relativi al fotorivelatore.** La potenza dissipata per operare il MAPMT dipende dalla scelta del partitore. Avendo optato per una lettura binaria la linearità della risposta non è un parametro critico. Ammettendo di tollerare variazioni di guadagno di circa 10% con una tensione anodica di 0.9 kV la potenza complessiva richiesta è di  $\simeq 0.5$  kW. La potenza dissipata può facilmente venir ridotta a circa  $\simeq 0.2$  kW, alimentando separatamente con un secondo alimentatore gli ultimi stadi del MAPMT. La potenza dissipata può venir ulteriormente ridotta usando tre alimentazioni separate oppure usando partitori attivi.

A causa del relativamente breve periodo orbitale (circa 1.5 ore) e del tempo di stabilizzazione richiesto dai MAPMTs dopo ogni variazione della tensione applicata (circa 30 min) è necessario mantenere i MAPMTs sempre sotto tensione costante. Un opportuno shutter avrà la funzione di mantenerli schermati dalla luce durante le fasi di esposizione luminosa.

I MAPMTs verranno inoltre operati alla tensione più bassa possibile al fine di aumentare la vita media del tubo ed altresì per avere la possibilità di aumentare il guadagno durante la missione per compensare possibili variazioni di guadagno nel tempo. Guadagni inferiori a  $10^5$  sono per altro totalmente compatibili con i chips di lettura, esistenti e in via di sviluppo (vedi paragrafo 2.5.1).

Le variazioni del guadagno medio tra diversi MAPMTs possono essere parzialmente equalizzate raggruppando insieme dispositivi con guadagno simile tra loro alimentati alla stessa tensione. I guadagni medi sono poi equalizzati fissando opportunamente la tensione applicata ai vari gruppi per ottenere il guadagno desiderato. L'effetto delle variazioni di guadagno tra diversi pixels dello stesso dispositivo può essere trattato utilizzando soglie programmabili dei discriminatori (paragrafo 2.5.1). Queste variazioni di guadagno sono, in ogni caso, dominate da pochi pixels che hanno un guadagno molto diverso da quello medio mentre la maggior parte dei pixels mostrano guadagni molto simili tra loro [53].

Andrà posta la massima attenzione alla protezione del fotocatodo dall'esposizione a forti sorgenti luminose per evitare danni irreversibili, o quanto meno, invecchiamenti precoci.

Analogamente andrà posta la massima cura nell'evitare eccessive variazioni termiche che possono portare danni più o meno reversibili del MAPMT.

MAPMTs della stessa famiglia, con un singolo pixel, hanno volato di recente con successo durante il volo di prova dell'apparato AMS [55] sullo Shuttle.

### 2.3.2 Il collettore di luce

È stato già avviato un programma di R&D finalizzato a trovare possibili soluzioni al pro-

blema della piccola accettazione geometrica dei MAPMTs, che altrimenti limiterebbe alquanto le prestazioni dei dispositivi commerciali così come sono, e che appare come uno dei maggiori limiti all'uso degli stessi in AirWatch/EUSO. Il problema maggiore non è tanto la bassa accettazione geometrica complessiva,  $\approx 45\%$ , quanto il fatto che l'accettazione risulterebbe disuniforme sulla superficie focale, con zone sensibili separate da zone morte e con la conseguente difficoltà a ricostruire integralmente una parte delle EAS. Poiché infatti un pixel corrisponde ad una copertura al suolo di circa  $1 \text{ km}^2$  e la lunghezza tipica di una EAS è dell'ordine della decina di km o più, la conseguenza potrebbe essere che una parte delle EAS sarebbe ricostruita solo parzialmente.

L'accettazione geometrica può essere migliorata usando un opportuno sistema di collezione di luce sulla superficie focale, davanti ad ogni MAPMT, che effettui la compressione dell'immagine dall'area geometrica all'area sensibile del MAPMT. Tale sistema avrebbe l'addizionale vantaggio di porsi come ottima locazione per i filtri necessari a selezionare la banda ottica interessante. Il sistema potrebbe essere un sistema a lenti, un sistema fatto di un gruppo di guide di luce coniche oppure un fascio di fibre ottiche coniche.

Per il momento la soluzione più realistica, che è stata sviluppata e testata, consiste nel montare una lente emisferica piano-convessa di fronte al MAPMT, con la faccia piana in contatto ottico con la finestra di ingresso del MAPMT e coincidente con la superficie focale originale e la faccia sferica rivolta verso i raggi incidenti. Alternativamente è possibile lasciare un piccolo spazio tra la finestra d'ingresso del MAPMT e la faccia piana della lente, in caso l'accoppiamento ottico tra lente e MAPMT fosse difficoltoso da realizzare da punto di vista ingegneristico. In approssimazione parassiale una lente emisferica con la faccia piana coincidente con la superficie focale di un obiettivo rifocalizza i raggi incidenti sulla stessa superficie focale ma formando un'immagine rimpicciolita di un fattore dato dall'indice di rifrazione del materiale della lente. Una schema del mosaico di lenti risultante è riportato in figura 7 (da [56]).

Sono state effettuate simulazioni del funzionamento di questo sistema di raccolta di luce e misure su alcuni prototipi. I risultati mostrano che è possibile ottenere una efficienza globale di raccolta della luce del 62% per un angolo di incidenza massimo dei fotoni fino a  $30^\circ$ . La lente introduce un peggioramento della risoluzione spaziale inferiore a 1 mm. Con tale sistema, inoltre, non esistono zone totalmente morte e l'efficienza è sostanzialmente uniforme sulla superficie focale.

Per rimpicciolire l'immagine dalla superficie focale sull'area sensibile del MAPMT si possono anche usare fasci di fibre ottiche coniche oppure fasci di guide di luce coniche, questi ultimi funzionanti a riflessione oppure a riflessione interna totale. Entrambi i sistemi sono stati analizzati ma richiedono ancora una fase di ricerca e sviluppo ulteriore per essere realizzabili [57].

**Impatto del sistema di raccolta di luce sul fotorivelatore.** Il sistema di raccolta di luce si trova immerso in un ambiente con un significativo fondo da parte di particelle energetiche cariche che possono produrre luce Cherenkov passando nel collettore (così come nelle lenti principali). L'effetto della luce Cherenkov, e il livello complessivi di fondo che tale effetto produce, deve essere valutato attentamente, ma in ogni caso in AirWatch/EUSO, un particella carica di alta energia che passa attraverso uno dei componenti trasparenti produce un lampo di luce Cherenkov di breve durata (alcuni nanosecondi), molto più breve rispetto al segnale prodotto da una EAS, che ha durata dell'ordine dei microsecondi.

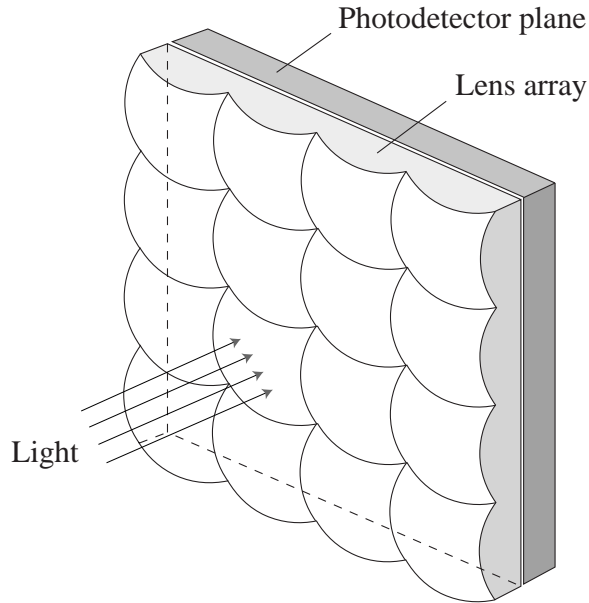


Figura 7: Il mosaico di lenti che fungono da sistema di raccolta di luce sul MAPMT da [56].

Il sistema è semplice ed economico; se realizzata in quarzo la massa complessiva è paragonabile a quello dei fotomoltiplicatori. Usando lo stesso tipo di plastica che per le lenti di Fresnel la massa può diminuire di un fattore circa tre e potendo venir stampata in uno stampo di precisione il costo è anche ridotto. La scelta del materiale più adatto è del tutto analoga a quella del materiale più adatto per le lenti principali.

Sono stati costruiti prototipi del sistema a lente semisferica usando la tecnologia del Sol-Gel [58, 59]. Tale tecnologia permette la produzione di componenti ottici di quarzo con un procedimento di stampaggio che fornisce buona qualità ottica ad un costo moderato. Questi sono in fase di test per verificare la loro rispondenza ai requisiti, in particolare per quello che riguarda la trasmissione complessiva, la precisione della realizzazione meccanica e la finitura superficiale.

## 2.4 Ingegnerizzazione della superficie focale

### 2.4.1 Struttura della superficie focale

Poiché la superficie focale, con l'attuale disegno dell'ottica, è curva la disposizione dei MAPMTs e relativo collettore di luce andrà ottimizzata in modo da ridurre il più possibile le perdite in accettazione geometrica dovuta a spazi morti tra i diversi MAPMTs ed effetti di defocalizzazione dell'immagine. Tutto questo rende l'assemblaggio della superficie focale complesso.

La struttura di supporto che sarà realizzata in materiale composito dovrà essere modulare e garantire stabilità e precisione di posizionamento.

Una superficie focale curva richiede una struttura modulare. La struttura può essere costituita da unità funzionali di dimensioni limitate assemblate in super-moduli.

Il modulo elementare è costituito da un numero limitato di MAPMTs e dai componenti associati, con alcune risorse eventualmente comuni quali un comune PCB di supporto, un comune alimentatore di alta tensione (ed eventualmente il partitore di tensione), eventuali schermi elettrici o magnetici, l'elettronica di front-end e quanto possibile dell'elettronica di read-out integrata nel modulo. Ogni modulo è essenzialmente autonomo e gruppi di moduli sono assemblati in super-moduli la cui geometria è determinata essenzialmente dalle caratteristiche della superficie focale dell'ottica.

Andrà previsto un sistema di controllo attivo della temperatura per mantenere, durante la notte, la stessa temperatura raggiunta durante il giorno al fine di evitare stress termici e operare i dispositivi nelle condizioni ideali di temperatura, approssimativamente costante. In particolare occorre evitare eccessivi surriscaldamenti dei MAPMTs.

### **2.4.2 Integrazione del sensore**

L'integrazione del MAPMT nella superficie focale deve tener conto di vari fattori. La zona morta tra i moduli diversi deve essere minimizzata. La potenza dissipata dal partitore di tensione e dall'elettronica deve essere dissipata (essenzialmente per conduzione oppure radiazione). Un prototipo della basetta di supporto per i MAPMTs è stato sviluppato. Permette un impaccettamento di  $2 \times 2$  MAPMTs con una zona morta tra l'uno e l'altro di 1 mm e include, nel PCB, uno strato di rame per aiutare la dissipazione del calore prodotto nel partitore di tensione. Lo schema è riportato nella figura 2.4.2. Nello schema previsto per la fase di test i segnali escono dalla basetta tramite un connettore ad alta densità ed un cavo flessibile. Per il prodotto finale occorrerà prevedere l'installazione del chip di front-end sul retro della basetta.

Qualunque forma di luce parassita deve essere accuratamente evitata, incluso eventuali luci provenienti dal retro del MAPMT. Le alte tensioni richiedono un accurato isolamento, per evitare fenomeni di scarica, e i circuiti elettrici richiedono quindi incapsulamento in resine isolanti. La temperatura deve essere tenuta approssimativamente costante ai valori appropriati, per evitare sforzi termici e operare nel più opportuno intervallo di temperatura per il MAPMT. Occorre tener conto della significativa tolleranza sulle dimensioni fisiche dei MAPMTs (fino a 0.5 mm). La grande superficie focale deve poter sopportare gli effetti dell'espansione termica senza compromettere l'integrità dei MAPMTs. Il sistema di alte e basse tensioni deve essere progettato attentamente rispetto alla modularità, al numero di alimentatori indipendenti e ai raggruppamenti ottimali al fine di ottimizzare la affidabilità e le prestazioni del sistema.

### **2.4.3 Organizzazione della superficie focale**

La superficie focale può essere assemblata a partire da super-moduli piani e usando possibilmente solo un numero limitato di forme differenti, ciò per ridurre la complessità del progetto e della realizzazione, semplificare l'elettronica di trigger e l'analisi dei dati. Questo requisito va bilanciato con la necessità di adattarsi bene alla forma della superficie focale per evitare effetti di defocalizzazione. Altro parametro chiave è la necessità di non avere super-moduli

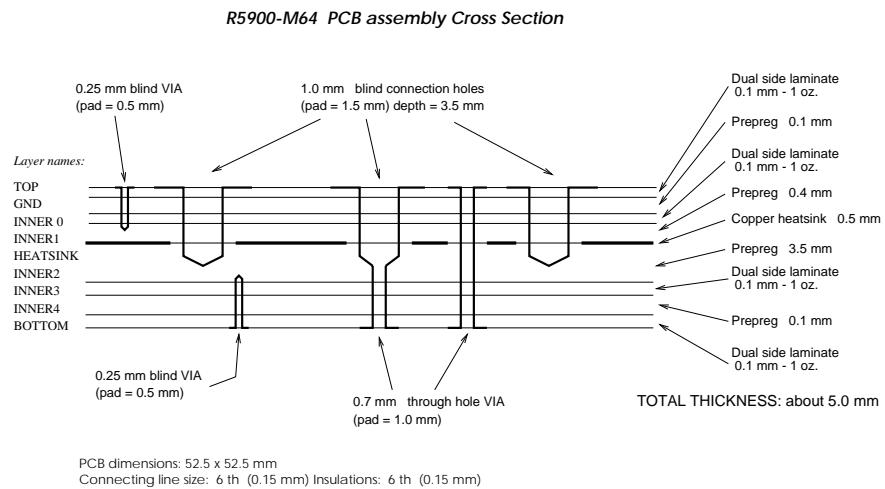
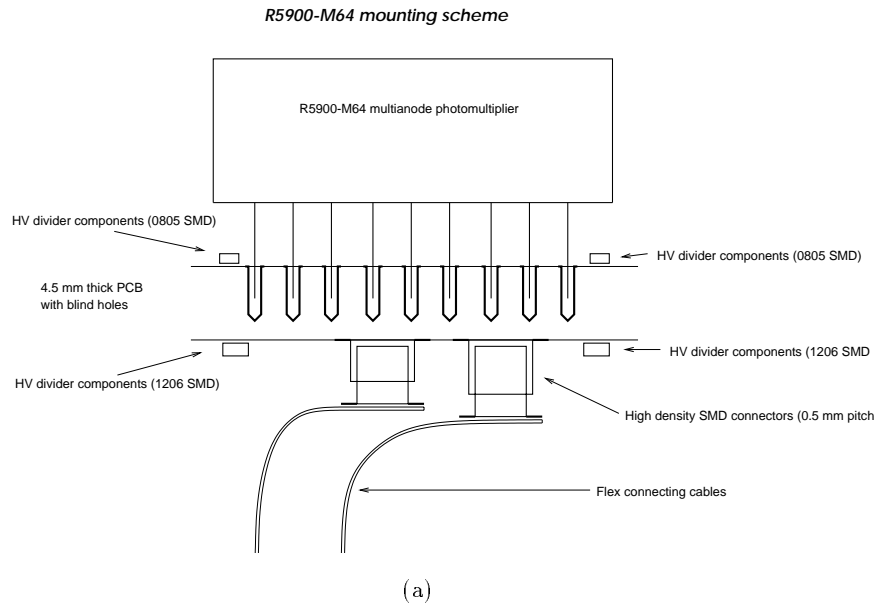


Figura 8: Schema della basetta per il modulo elementare di di  $2 \times 2$  MAPMTs. Per il prodotto finale occorrerà prevedere l'installazione del chip di front-end sul retro della basetta.

di dimensioni troppo ridotte, in quanto lungo gli spigoli dei super-moduli è inevitabilmente presenta un'area morta.

Se la superficie focale è sferica esistono varie possibilità di approssimarla con una parte di un poliedro regolare, che richiede un solo tipo di super-modulo, oppure con una parte di un solido Archimedeo, che consiste di facce con due sole diverse forme, oppure anche poliedri con un numero di facce distinte superiore a due. Le dimensioni dei moduli sono strettamente determinate dal raggio di curvatura della superficie focale e dalla geometria. Se la superficie focale si differenzia troppo da una superficie sferica, o in caso i semplici poliedri descritti sopra non forniscano un adattamento sufficientemente buono alla superficie focale oppure se le forme geometriche richieste risultassero sconvenienti, geometrie alternative possono essere concepite, a prezzo di aumentare il numero di super-moduli diversi. Una forma generale, adattabile in linea di principio a qualunque superficie a simmetria cilindrica, incluso, come caso particolare la sfera, è riportata in figura 9. I super-moduli sono dei trapezi piani ad eccezione di quello sull'asse di simmetria che è un poligono regolare.

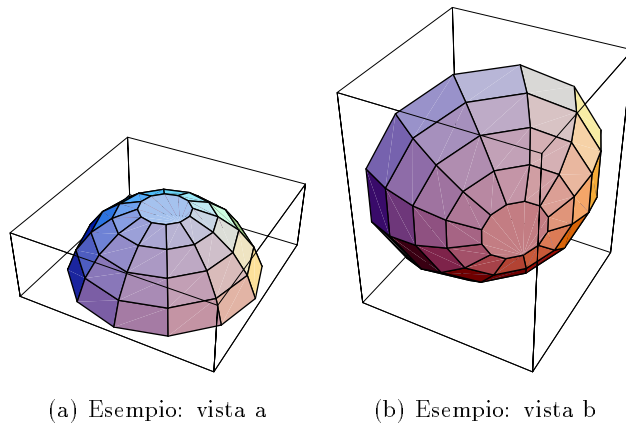


Figura 9: Due viste di una possibile suddivisione in super-moduli piani della superficie focale.

Il numero di super-moduli andrà ottimizzato considerando l'area morta tra i super-moduli (che aumenta all'aumentare del numero di super-moduli), la necessità di avere un buon adattamento alla superficie focale (la criticità di tale richiesta dipende dalla profondità di fuoco dell'ottica e l'approssimazione diventa chiaramente migliore aumentando il numero di super-moduli) e la richiesta di semplicità di avere il minimo numero possibile di forme per i super-moduli da progettare e realizzare. Infine il disegno deve essere compatibile con l'architettura dell'elettronica di trigger e lettura.

La migliore soluzione deve essere determinata tenendo in considerazione la forma della superficie focale, l'ottimizzazione dell'adattamento alla superficie focale, il numero di moduli elementari e super-moduli e i vincoli imposti dall'elettronica di trigger e lettura.

## 2.5 Elettronica

La dicitura elettronica raggruppa quattro sottosistemi funzionalmente ben distinti: l'elettronica di front-end, l'elettronica di Trigger, il sistema di Acquisizione e l'elettronica di Controllo.

Il programma di fisica richiede un'elettronica veloce, con un elevato numero di canali e quindi alta integrazione e basso rumore. L'utilizzo in missioni spaziali richiede affidabilità, dimensioni e massa limitati, basso consumo e resistenza alle radiazioni. Il progetto deve essere semplice, per migliorare l'affidabilità e puntare all'economizzazione delle risorse.

### 2.5.1 Elettronica di front-end

L'elettronica di front-end svolge il compito di preamplificare il segnale del MAPMT, di discriminare il segnale con una soglia programmabile, di mascherare eventuali canali rumorosi, di fornire informazioni al sistema di trigger, effettuando possibilmente un primo livello di trigger, e di immagazzinare l'informazione fino a quando non viene letta.

Le caratteristiche più importanti e critiche sono un guadagno e un'impedenza di ingresso ottimali che si adattino al segnale del MAPMT, una buona risoluzione a doppio impulso (che deve essere dell'ordine della decina di ns) e capacità di determinare l'informazione temporale (con precisione dell'ordine della decina di ns). Il consumo è uno degli aspetti critici. assumendo di disporre per l'elettronica di una potenza di  $\approx 0.25$  kW e un numero totale di canali dell'ordine di  $2.6 \cdot 10^5$  si hanno a disposizione  $\approx 1$  mW, complessivamente, per ogni canale per tutta la catena elettronica.

Dato il grande numero di canali, nonché i vincoli di dimensioni e massa, occorre considerare un chip di front-end altamente integrato per la lettura del segnale e che sia possibilmente in grado di effettuare anche il primo livello di trigger. Occorre una struttura molto compatta a distanza minima dal sensore, un sistema modulare con cablaggi minimali e capacità di auto-triggering.

Negli ultimi anni è stato fatto uno sforzo enorme, in particolare in fisica delle Alte Energie, per sviluppare elettronica analogica e digitale veloce, resistente alle radiazioni e a basso consumo da usarsi nei futuri esperimenti, in particolare al collider LHC. Di fatto nessuno dei chips esistenti soddisfa esattamente le caratteristiche richieste da AirWatch/EUSO, ma alcuni di questi hanno caratteristiche vicine a quello che serve, dimostrando che le richieste possono essere soddisfatte [60, 61]. Questi chips usano tecnologie resistenti alle radiazioni. In particolare DMILL è una tecnologia BiCMOS che usa sia dispositivi bipolari (per ottenere un front-end veloce e a basso consumo) che CMOS (per logica e memorie a basso consumo). È particolarmente adatta per integrare elettronica analogica veloce con elettronica digitale in un singolo chip.

I dispositivi esistenti sono normalmente progettati per leggere i segnali di sensori a stato solido, cioè con un segnale molto più piccolo che il segnale dei MAPMTs. Il guadagno è quindi superiore a quello richiesto e il range dinamico troppo limitato. Questo significa che il front-end deve essere riprogettato con minore guadagno e maggiore range dinamico e/o il MAPMT deve essere operato a guadagno inferiore a quello tipico.

Oltre ai dispositivi in fase di sviluppo per applicazioni di fisica, è opportuno anche considerare e tenere sotto controllo i possibili sviluppi di chips commerciali (come [62]) che presentano caratteristiche interessanti e che potrebbero, con un opportuni adattamenti, arrivare a soddisfare le caratteristiche richieste.

### 2.5.2 Elettronica di trigger e sistema di acquisizione dati

Un elemento cruciale sarà la messa a punto di un efficace sistema di trigger per selezionare gli sciami estesi con alta efficienza e buona reiezione del fondo.

Il grande numero di canali, la velocità e il basso consumo richiesti fanno sì che l'elettronica risulti complessa e richieda soluzioni dedicate.

L'architettura è modulare e punta ad ottimizzare ed economizzare le risorse. La superficie focale è suddivisa in macrocelle, in maniera compatibile con la segmentazione della superficie focale in super-moduli, e che sono l'elemento base del sistema di elaborazione dei dati. Ogni macrocella include l'elettronica di front-end e una memoria per la conservazione locale dei dati. L'architettura della macrocella riduce il numero di canali effettuando un OR logico lungo le due direzioni perpendicolari. In tal modo in una macrocella rettangolare di  $n \times m$  pixels il numero di canali passa da  $nm$  a  $n + m$  canali. La tecnica elaborata, che prevede il conteggio di singoli fotoni con una risoluzione temporale dell'ordine di poche decine di nanosecondi, permette di usare una semplice elettronica binaria. Il trigger globale è effettuato da un'unità centrale che riceve i segnali dalle varie macrocelle. Il sistema permette di registrare la posizione e il tempo di arrivo dei singoli fotoni. Il sistema di trigger è descritto in [64].

**Architettura.** Tale sistema costituisce l'insieme dell'elettronica che governa ogni macrocella. Uno degli obiettivi primari è la riduzione del numero totale di canali di read-out, per minimizzare la complessità e la potenza richiesta. Tale obiettivo è raggiunto tramite un sistema semplice ma efficace che gestisce i diversi canali attraverso un OR logico per righe e per colonne. Il modulo di front-end svolge i seguenti compiti:

- convertire il segnale analogico dal sensore in segnale binario tramite un discriminatore a soglia programmabile;
- contare gli impulsi logici e fornire un segnale d'uscita al raggiungimento di una soglia prefissata e programmabile;
- suddividere i segnali logici nelle due componenti  $X$  ed  $Y$  e nella componente temporale.

Tale componente sarà costruito come un ASIC VLSI.

Una serie di memorie circolari vengono scritte continuamente, per le componenti  $X$  ed  $Y$ , riflettendo lo stato delle righe e delle colonne della macrocella. All'arrivo di un trigger e dopo un adeguato intervallo di tempo, il processo di scrittura viene fermato e le memorie sono lette all'indietro quanto basta per recuperare le informazioni sull'evento. In presenza di eventi a traccia singola l'ORing non introduce ambiguità, in quanto il segnale della traccia è coerente nello spazio e nel tempo, mentre il background è normalmente incoerente. Il canale temporale fornisce i tempi di arrivo relativi e il numero di fotoni rivelati nella macrocella corrispondente.

La separazione del segnale atteso dal fondo si basa sulle peculiari caratteristiche del segnale di un EAS: una traccia luminosa rettilinea, della durata di alcune decine di  $\mu s$ . Tali caratteristiche differenziano radicalmente il segnale sia dal fondo casuale della *nightglow* che dai possibili fondi di origine umana, terrestre, marina o atmosferica.

### 2.5.3 Elettronica di controllo

L'elettronica di controllo ha il compito di gestire le operazioni dell'apparato scientifico e di gestire l'interfaccia con il Modulo di Servizio. Le sue funzioni principali sono le seguenti.

- Raccolta dei dati scientifici provenienti dal fotorivelatore, che consistono nella posizione e nel tempo di arrivo dei fotoni rivelati.



- Raccolta delle informazioni di monitoraggio e controllo, per verificare il corretto funzionamento dell'apparato.
- Preparazione dei dati (sia scientifici che di controllo) per l'invio a Terra e loro trasmissione al Modulo di Servizio attraverso il *bus* di gestione dei dati di bordo (On-Board Data Handling, OBDH, bus).
- Ricevere, convalidare e distribuire i comandi provenienti dall'OBDH.
- Controllare i modi di operazione durante l'osservazione, le fasi di diagnostica e di calibrazione. Questi modi di operazione includono anche l'automatico mantenimento dell'apparato in condizioni di sicurezza.
- Provvedere la capacità di correzione e riprogrammazione dell'apparato.
- Gestione delle informazioni temporali.
- Gestire le necessarie conversioni tra il Modulo di Servizio e l'apparato sperimentale.

Tutta l'elettronica di controllo può essere configurata come un classico sistema basata su una architettura a microprocessore.

## 2.6 Il background

Il fondo atteso osservando la Terra di notte dallo spazio è dato principalmente da luci artificiali, luce diffusa e riflessa della Luna e di altri corpi celesti, processi fotochimici nell'atmosfera, mare e Terra.

Alcune misure preliminari del fondo sono state portate a termine recentemente [65]. Il risultato della misura del fondo della *nightglow* risulta essere  $B \approx 3 \cdot 10^{11}$  fotoni  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$ .

Ulteriori misure sono attese dal esperimento AURORA, il cui lancio in orbita, a bordo del microsatellite MegSat1, è previsto per la fine dell'anno 2000. Il satellite, di dimensioni  $0.6 \times 0.45 \times 0.45 \text{ m}^3$  ha una massa complessiva di 50 kg ed effettuerà un'orbita inclinata di  $81^\circ$  sull'equatore ad una altezza di 900 km per una durata di almeno due anni. Il sistema è composto da un obiettivo di 50 mm di diametro, lunghezza focale 240 mm e campo di vista totale di  $10^\circ$ . La superficie focale contiene quattro MAPMTs Hamamatsu che sono letti da un chip della IDE-AS [62]. AURORA, ottimizzato per effettuare fotometria, effettuerà misure del fondo notturno nella banda  $300 \div 400 \text{ nm}$  in un ambiente simile a quello di EUSO e fungerà da prototipo del fotorivelatore (sensori ed elettronica), verificandone funzionamento, stabilità affidabilità e resistenza alle radiazioni durante una missione spaziale.

## 2.7 Calibrazioni

Sono in fase di studio metodi di calibrazione attiva.

Una prima ipotesi prevede l'uso di un laser con energia di pochi mJ a bordo che avrebbe lo scopo di misurare il coefficiente di assorbimento dell'atmosfera usando un fascio di intensità nota. Questo darebbe la stima dell'assorbimento dell'atmosfera tra la traccia e il fotorivelatore, che potrebbe essere usata in corrispondenza di eventi osservati nella stessa zona dell'area monitorata.

Una seconda possibilità prevede l'uso di una lampada a flash che potrebbe diffondere luce su tutto il campo di vista del fotorivelatore. Dall'intensità del segnale riflesso misurato e

dalla misura del tempo di volo e delle sue variazioni sarebbe possibile avere informazioni sulla trasparenza dell'atmosfera e sulla distanza dal fotorivelatore della superficie riflettente, incluso eventuali nuvole.

## 2.8 La missione

Il progetto EUSO è stato originariamente proposto all'ESA come missione per un satellite dedicato [19]. Lo studio di fattibilità per una possibile installazione sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS), come proposto dall'ESA, è in corso.

## 3 Il Programma

La realizzazione di un apparato per osservare dallo spazio la luce di fluorescenza dell'azoto atmosferico indotta da particelle di altissima energia rappresenta una sfida difficile. Questo a causa delle caratteristiche richieste e dei vincoli presenti, che implicano la soluzione di numerosi problemi e l'individuazione di soluzioni non convenzionali. Esistono difficoltà tecniche da superare e la necessità di spingere al limite delle prestazioni diverse tecnologie, in condizioni di limitate risorse e di vincoli stringenti imposti dall'operazione in ambiente spaziale.

Va quindi previsto un intenso programma di R&D che riguarda i sensori, l'integrazione di questi con l'ottica, l'elettronica, l'ingegnerizzazione di tutto il sistema di fotorivelazione e di tutta la struttura complessiva, inclusa l'integrazione con il veicolo spaziale che ospita l'apparato sperimentale.

Una gran parte di questo programma coinvolge direttamente competenze e problematiche, scientifiche e tecnologiche, tradizionalmente proprie dell'INFN e il programma bene si presta ad esportare tali competenze nel settore degli esperimenti di fisica nello spazio.

La partecipazione dell'INFN può dare un contributo sostanziale, qualificato e qualificante, allo sviluppo, progettazione e ottimizzazione del programma AirWatch e alla realizzazione del fotorivelatore per il progetto EUSO.

Questa partecipazione permetterebbe al tempo stesso all'ente di ampliare la propria presenza nel settore degli esperimenti di fisica nello spazio, consolidando competenze, scientifiche e tecnologiche, in un settore d'avanguardia che non gli è tradizionalmente proprio.

Si propone quindi all'INFN un programma di Ricerca e Sviluppo dedicato alla progettazione, ottimizzazione e realizzazione del fotorivelatore e dell'elettronica associata per un esperimento finalizzato all'osservazione dallo spazio della luce di fluorescenza dell'azoto atmosferico indotta da particelle di altissima energia, con particolare riferimento al programma AirWatch e al progetto EUSO.

Il programma, dettagliato nel seguito, dovrebbe svilupparsi temporalmente in quattro fasi:

1. una fase di tests preliminari, necessari alla completa caratterizzazione di tutti gli elementi per capirne gli eventuali limiti ed impostare un'eventuale fase di ricerca e sviluppo;
2. una fase di progettazione ed ottimizzazione, assistita dalle adeguate simulazioni;
3. una fase di realizzazioni di prototipi in scala ridotta e loro uso sia in tests finalizzati alla qualificazione che in misure fisiche rilevanti, in laboratorio ed, eventualmente, in volo in circostanze opportune;
4. una fase finale dedicata allo sviluppo e realizzazione del fotorivelatore per EUSO.

### 3.1 Obiettivi

Gli obiettivi del programma proposto possono essere sintetizzati nei seguenti punti.

1. Completa definizione delle caratteristiche necessarie ad un rivelatore della luce di fluorescenza dell'azoto dallo spazio, con particolare riferimento al programma AirWatch e al progetto EUSO.
2. Progettazione del fotorivelatore, che include il sensore (MAPMTs), l'elettronica di front-end, il sistema di raccolta della luce sul sensore, sua ingegnerizzazione ed integrazione del tutto con la struttura di supporto e con il veicolo spaziale.
3. La definizione delle possibili soluzioni di interfacciamento del rivelatore con l'elettronica di read-out.
4. Lo sviluppo e realizzazione di un'elettronica di front-end veloce, a basso consumo, resistente alle radiazioni e ad alta integrazione che soddisfi i requisiti richiesti.
5. La realizzazione e il test di prototipi in scala ridotta del rivelatore di fotoni, finalizzati alla sua qualificazione.
6. Il contributo allo sviluppo e realizzazione del fotorivelatore per EUSO.
7. La partecipazione al programma di simulazione, sia della parte fisica che del fotorivelatore, finalizzato alla progettazione e all'ottimizzazione delle caratteristiche del fotorivelatore.
8. La partecipazione all'analisi fisica dei dati collezionati e al loro studio ed interpretazione.

Nell'ambito del progetto EUSO l'INFN potrebbe contribuire in modo essenziale a tutta la fase di ricerca e sviluppo, progettazione, prototipazione e realizzazione del rivelatore di fotoni, inclusa l'elettronica veloce di front-end, oltre che agli aspetti legati all'analisi fisica dei dati.

Sono infatti questi tutti settori in cui l'INFN ha una solida tradizione, insieme alla potenzialità e capacità di esportare competenze e tecnologie, sia dal punto di vista scientifico che tecnologico, rafforzando al tempo stesso la propria presenza in un settore importante che non gli è tradizionalmente proprio.

### 3.2 Sviluppo temporale

Lo sviluppo temporale del programma è dettagliato nella tabella 3.2.

### 3.3 Competenze

Il tipo di fotorivelatore richiesto e la relativa elettronica di read-out presentano caratteristiche e problematiche affini ad applicazioni tipiche della fisica delle alte energie, quali i rivelatori Ring Imaging Cherenkov (RICH) dei moderni esperimenti, e gli esperimenti agli attuali e futuri acceleratori. A tali problematiche si aggiungono quelle relative alle missioni spaziali e agli esperimenti di fisica nello spazio.

I vari gruppi proponenti possono vantare una solida esperienza nei settori chiave che sono alla base delle problematiche del progetto AirWatch/EUSO, esperienza proveniente dalla fisica

Fase	Obiettivo	Item	Periodo
Fase 1	Studio e progetto concettuale; tests preliminari.	MAPMTs, sistema raccolta di luce, elettronica, simulazioni.	01/2001 ÷ 06/2001
Fase 2	Definizione delle specifiche; ottimizzazione e progettazione assistite dalle simulazioni.	Ingegnerizzazione e progettazione del fotorivelatore, progetto preliminare elettronica, simulazioni.	07/2001 ÷ 12/2002
Fase 3	Realizzazione e tests di prototipi; qualificazione delle tecniche; progettazione finale.	Prototipi integrati: fotorivelatore, elettronica e sistema raccolta di luce; simulazioni.	01/2003 ÷ 12/2003
Fase 4	Realizzazione, qualificazione e test del modello di volo.	Realizzazione fotorivelatore completo.	01/2004 ÷ 06/2006

Tabella 3: Sviluppo temporale

delle alte energie, con e senza acceleratori, dalla fisica dello spazio e dalla astrofisica. Tale aggregazione si rende necessaria data l'interdisciplinarietà del progetto e la necessità di unire competenze diverse.

La linea di ricerca si aggancia alle linee di ricerca del recente passato dei vari gruppi e la complementarità delle competenze dei gruppi proponenti permette la copertura completa di tutti i vari settori del progetto.

### 3.4 Il Programma di Ricerca

I vari argomenti oggetto del programma sono descritti in dettaglio nel seguito.

#### 3.4.1 Il sensore (MAPMT)

Il sensore che a tutt'oggi risulta essere il più adatto sono i fotomoltiplicatori multi-anodo (MAPMT) della serie R7600 della Hamamatsu. Quindi, pur restando pronti a rispondere ad eventuali nuovi sviluppi nel settore, tale sensore è stato assunto come base.

Il sensore risulta, in base ai dati del costruttore, del tutto adeguato allo scopo. Tuttavia una più completa caratterizzazione delle sue proprietà è indispensabile ai fini della progettazione del fotorivelatore per AirWatch/EUSO e di una adeguata comprensione e ottimizzazione del suo funzionamento.

Occorre quindi in primo luogo avere una completa caratterizzazione delle proprietà del sensore, usando i dati del costruttore ed effettuando le misure che si rendessero necessarie, in particolare quelle che riguardano proprietà rilevanti alla spazializzazione.

- Occorre effettuare una serie di misure per verificare la rispondenza con i dati del costruttore. È opportuno, in particolare, misurare l'efficienza complessiva di rivelazione nella banda spettrale di interesse, il guadagno in funzione della tensione applicata, le

variazioni della risposta da pixel a pixel nello stesso MAPMT e le variazioni di guadagno medio tra diversi MAPMTs e la corrente oscura del sensore.

- La stabilità di operazione e l'ageing a lungo termine devono essere determinati con precisione ed affidabilità, al fine di garantire un funzionamento consistente con la durata prevista dell'esperimento EUSO. Determinante a tale scopo è la precisa determinazione del livello di intensità luminosa media a cui saranno sottoposti i MAPMTs, da effettuarsi attraverso uno studio accurato e la simulazione dei fondi, in funzione anche delle caratteristiche dell'orbita e del modo di operazione di EUSO.
- La robustezza meccanica, a shocks e vibrazioni, deve essere verificata al fine di determinare le sollecitazioni massime cui può essere soggetto il fotorivelatore, in particolare in fase di lancio. Tale informazione inoltre è importante nella progettazione della struttura meccanica globale. A tal fine sono da programmare i tests specifici standard e valutare eventuali modifiche delle proprietà del MAPMT dopo le sollecitazioni.
- Il partitore di tensione deve essere ottimizzato ai fini di permettere l'operazione del MAPMT al minimo consumo possibile senza compromettere la rivelazione del segnale, sia al fine di ridurre la potenza richiesta che al fine di minimizzare la dissipazione del calore prodotto nel partitore di tensione. Varie opzioni esistono, e occorre selezionare la più adatta in funzione del minimo consumo ottenibile, a prestazioni fissate, della semplicità del sistema e della affidabilità e stabilità di operazione.
- Occorre valutare l'eventuale necessità di schermaggio magnetico ed elettrostatico. Mentre il primo sembra essere superfluo, dai dati esistenti, il secondo può essere richiesto a causa dell'impacchettamento dei MAPMTs e della possibilità che diversi MAPMTs vicini siano operati a tensione diversa con connessione in polarità negativa.
- Occorre misurare e valutare attentamente l'incidenza del fenomeno dell'after-pulsing che può influenzare il conteggio dei fotoni e quindi la misura dell'energia dello sciame esteso.
- Occorre valutare a fondo tutti gli aspetti di contaminazione ambientale sia nella fase di lancio che in orbita, quali eventuali esposizioni a plasmii, polveri ed elio, e trovare eventuali contromisure. Nel caso la struttura del fotorivelatore risultasse aperta occorrerebbe considerare i possibili effetti di plasmii e particelle cariche che si potrebbero accumulare sulle varie strutture ed eventualmente prevedere uno schermaggio opportuno. Occorre trovare opportune soluzioni per evitare l'esposizione dei MAPMTs, durante la fase di lancio, a concentrazioni significative di elio, che penetra attraverso il vetro del tubo a vuoto.
- Oltre al cross-talk avente origine nel MAPMT, occorre valutare quello eventualmente originato nella basetta di supporto o nella seguente elettronica di front-end. Questi ultimi due contributi, in particolare, vanno minimizzati con un'opportuna progettazione dei due sistemi in questione.
- In parallelo occorrerà seguire gli sviluppi di sensori alternativi al MAPMT, soprattutto nella prospettiva più a lungo termine del programma AirWatch. Esistono infatti altri tipi di sensori, in particolare Flat Panel PMTs [47] e Hybrid Photon Detectors [48], che presentano caratteristiche assai interessanti per l'applicazione considerata, ma che

al momento attuale sono ancora in una fase di sviluppo, per quanto molto avanzata. Nel caso questi o altri sensori si rendessero effettivamente disponibili a tempi brevissimi occorrerà valutare i benefici del loro utilizzo in EUSO. Altre possibilità sono poi ipotizzabili in uno scenario a più lungo termine, oltre il progetto EUSO.

### 3.4.2 Integrazione del sensore e ingegnerizzazione del fotorivelatore

L'integrazione del sensore, l'organizzazione e l'ingegnerizzazione della superficie focale presentano numerosi aspetti delicati, che richiedono un accurato progetto e la qualificazione di tutti gli aspetti dello stesso.

1. La basetta di supporto per il sensore ha come primo requisito la necessità di impacchettare i diversi dispositivi nel modo più compatto possibile, onde massimizzare l'accettanza geometrica. Va progettata come modulo elementare che alloggia un certo numero di MAPMTs (ad esempio quattro oppure sedici) e integrabile in una struttura più vasta (i super-moduli) e nel complesso della struttura globale della superficie focale. Inoltre deve prevedere la possibilità di alloggiare il chip VLSI di front-end, più vicino possibile al MAPMT oltre alle connessioni con le alte e basse tensioni e con l'elettronica di read-out. La basetta di supporto deve inoltre prevedere un opportuno sistema per disperdere l'energia dissipata nel partitore di tensione.
2. Elemento importante sono le alimentazioni, una parte assai delicata nella progettazione di tale tipo di esperimenti a causa del gran numero di connessioni di alta e bassa tensione richieste in una struttura estremamente compatta.
3. Occorre valutare l'impatto sull'ingegnerizzazione di un eventuale schermo elettromagnetico per i MAPMTs, nel caso sia richiesto, così come valutare eventuali problemi di compatibilità elettromagnetica e progettare tenendo conto dei vincoli imposti da questi.
4. Le considerazioni strutturali, meccaniche e termiche, quelle elettromagnetiche, in particolare quelle connesse con la compatibilità elettromagnetica, e quelle di sicurezza complessiva vanno incluse nel progetto in modo consistente e integrate con le analoghe considerazioni relative alla struttura di alloggiamento complessiva della superficie focale.
5. Tutto il progetto va affrontato in modo compatibile con i requisiti di operazione nello spazio, in una struttura che deve risultare estremamente compatta e alloggiare, oltre al sensore e ai suoi componenti accessori, il sistema di raccolta della luce, il sistema di alimentazione di alte e basse tensioni, il partitore di tensione, i circuiti di uscita dei diversi canali e delicati dispositivi elettronici quali il chip di front-end.
6. La progettazione è resa complessa dal gran numero di canali e dalle piccole dimensioni in gioco.
7. Tutto il progetto va ottimizzato in modo da rendere il sistema quanto più possibile *fault tolerant* inserendo le opportune ridondanze, adottando la più opportuna modularizzazione con la massima indipendenza dei moduli diversi e con raggruppamenti che ottimizzino le risorse senza compromettere l'esperimento in caso di problemi ad una parte del fotorivelatore.

### 3.4.3 L'elettronica di front-end

Un punto di partenza per affrontare il problema dello sviluppo dell'elettronica di front-end per il fotorivelatore AirWatch/EUSO è dato dai chips in uso o in fase di sviluppo per esperimenti di fisica delle alte energie. Infatti il tipo di fotorivelatore richiesto per AirWatch/EUSO e la relativa elettronica di read-out presentano caratteristiche e problematiche affini alle moderne applicazioni di fisica delle alte energie. Tali chips, pur necessitando certamente di modifiche, in particolare per ovviare alla mancanza di un trigger esterno, soddisfano già a molte delle caratteristiche richieste. Esistono però alcune ulteriori difficoltà nella presente applicazione legate all'operazione in ambiente spaziale che rende alcune delle caratteristiche ancora più stringenti rispetto a quanto richiesto in fisica delle alte energie, in particolare limitazioni di massa, spazio e potenza disponibile.

Occorrerà affrontare i problemi specifici dell'uso e del read-out dei fotomoltiplicatori multianodo nel contesto di AirWatch/EUSO, tenendo conto delle caratteristiche e vincoli esistenti, ed adattare, ovvero progettare ex-novo, realizzare e testare il chip relativo.

Tale impostazione permetterà di sfruttare al massimo risultati e competenze già esistenti in applicazioni simili, tentando di esportarli alla presente applicazione.

### 3.4.4 Il sistema di raccolta della luce sul sensore

Il sistema di raccolta di luce costituisce un elemento integrante del fotorivelatore e della superficie focale che va inserito nella struttura complessiva. In parallelo all'ingegnerizzazione meccanica dello stesso occorre procedere alla sua ottimizzazione, che non può prescindere da una completa simulazione ed ottimizzazione dell'ottica nel suo complesso. Solo la valutazione del sistema ottico complessivo, obiettivo e collettore di luce sulla superficie focale, può fornire l'ottimizzazione delle prestazioni. Occorrerà quindi studiare ed ottimizzare tutto il sistema ottico, sia nella configurazione di base per EUSO sia valutando eventuali soluzioni alternative, come un sistema catadiottrico.

L'ottimizzazione riguarda però non solo le prestazioni ottiche ma anche la valutazione dell'impatto nel progetto complessivo, in particolare in termini di massa e di generazione di background. Nel caso del collettore di luce poi occorre valutare il suo possibile utilizzo come supporto per il filtro ottico.

Occorrerà valutare se sistemi di raccolta di luce alternativi e più efficaci rispetto alla semplice lente emisferica, quali sistemi basata su guide di luce coniche, possono essere sviluppati e portati in fase realizzativa in tempi compatibili con quelli richiesti.

### 3.4.5 I prototipi

Il sistema completo di fotorivelazione va testato nella sua interezza fatto che implica la realizzazione e il test in laboratorio di prototipi in scala ridotta, ma funzionalmente equivalenti al fotorivelatore completo. Occorrerà verificare in tal modo la completa rispondenza alle specifiche, vista anche la impossibilità, o comunque la grande difficoltà, di accesso al fotorivelatore EUSO in orbita.

Occorrerà prendere in considerazione la possibilità di eventuali lanci preliminari di prototipi in scala ridotta, ad esempio come carico aggiunto su opportuno satellite, qualora si rendessero disponibili opportunità in tal senso.

In ogni caso saranno da effettuare lanci in pallone e/o voli su aerei di alta quota con un duplice obiettivo: la verifica delle prestazioni e della rispondenza alle specifiche del fotorivelatore e misure del background più precise e complete di quelle esistenti.

I prototipi saranno sottoposti a tutti i tests necessari per qualificarne il loro uso, incluse le prove di spazializzazione.

### 3.4.6 Simulazioni e analisi dei dati

In parallelo all'attività di ricerca, sviluppo e progettazione, e come suo indispensabile supporto, occorre sviluppare tutte le simulazioni necessarie allo sviluppo, progettazione ed ottimizzazione del fotorivelatore. Questo include sia la parte di simulazione del processo fisico, e soprattutto del background atteso, che la simulazione dell'ottica, del fotorivelatore e di tutta la catena elettronica, in particolare del sistema di trigger. Il tutto è indispensabile ai fini dell'ottimizzazione del progetto, dati i numerosi vincoli presenti e le numerose caratteristiche richieste.

Occorre dunque studiare e simulare la generazione della luce di fluorescenza nell'atmosfera, la sua propagazione fino al fotorivelatore attraverso l'atmosfera e la relativa attenuazione, e la sua osservazione da parte del fotorivelatore. Questo include sia la simulazione dell'ottica di raccolta della luce, del fotosensore e del sistema di trigger necessario a riconoscere gli eventi interessanti dal fondo e di tutta la catena elettronica, fino alla trasmissione dei dati a Terra, che va effettuata nel modo più efficiente possibile. Il fondo include le emissioni di luce ultravioletta della Terra (come luci artificiali, luminescenze terrestri e marine, etc.) e dell'atmosfera (come lampi, meteore, aeroplani, etc.). Occorre inoltre studiare e simulare gli effetti dell'ambiente sul fotorivelatore, quali la produzione di luce Cherenkov nelle varie componenti ottiche e gli effetti delle radiazioni e campi elettromagnetici.

Scopo finale di tutto il lavoro di simulazione sarà di determinare le potenzialità osservative dell'esperimento, ottimizzarne il progetto e valutarne le prestazioni.

Occorrerà mettere a punto e ottimizzare la catena di analisi dei dati tenendo conto della necessità di avere un trigger veloce e selettivo. Data la limitata possibilità di trasferimento dei dati a Terra una gran parte dell'analisi andrà effettuata a bordo con la conseguente necessità di elaborare un sistema di analisi efficace ed affidabile.

## 3.5 Richiesta di finanziamento all'INFN

Si propone che la ricerca e sviluppo, la progettazione e la realizzazione del fotorivelatore e dell'elettronica associata per il progetto EUSO siano sotto la responsabilità dell'INFN. È questo un argomento ben definito e delimitato, consistente con le linee di ricerca proprie dell'INFN e con le competenze e tradizioni che l'INFN può mettere in gioco. Inoltre darebbe all'ente un ruolo essenziale nel progetto.

All'INFN si intende quindi chiedere un contributo finanziario per la parte di ricerca e sviluppo, progettazione e realizzazione del fotorivelatore e dell'elettronica associata per il progetto EUSO.

Gli argomenti che saranno oggetto della richiesta di finanziamento, nell'ambito del progetto EUSO, si possono classificare come segue.

- Sviluppo, progettazione, prototipazione e realizzazione della basetta di supporto per i MAPMTs e componenti accessori.



- Sviluppo e realizzazione del sistema di alimentazioni di alte e basse tensioni per il fotorivelatore.
- Sviluppo e realizzazione del sistema di raccolta di luce sul fotorivelatore.
- Sviluppo e realizzazione dell'elettronica di front-end.
- Sviluppo e realizzazione della struttura della superficie focale e sua organizzazione e integrazione con la struttura di supporto e con il resto del veicolo spaziale.
- Realizzazione e tests dei prototipi in scala ridotta del fotorivelatore o di parti di esso. Incluso il test in volo: su pallone, aereo di alta quota o anche, eventualmente, come carico aggiunto (a costo nullo) su satellite.
- Strumentazione di laboratorio necessaria al programma approvato.

Lo sviluppo temporale di tali richieste va parallelamente a quello del progetto, e sono quindi distribuite dal momento dell'eventuale approvazione fino al 2005.

## 4 Il progetto EUSO

EUSO è una realizzazione del concetto AirWatch, proposto il 31 gennaio 2000 in risposta al bando dell'ESA per le missioni F2/F3. Il progetto è stato giudicato in modo molto positivo dal punto di vista scientifico e l'ESA ha raccomandato, nel marzo 2000, uno studio di accomodamento sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Le valutazioni sono disponibili in [66].

### 4.1 Collaborazioni

La collaborazione EUSO consiste di membri di 26 istituzioni: istituti di ricerca e Università di paesi europei afferenti all'ESA, Università e centri NASA degli USA e gli istituti RIKEN e NASDA giapponesi.

### 4.2 Finanziamenti

Il costo di tutta la parte legata al veicolo spaziale, alla messa in orbita, alle operazioni in orbita e aspetti collegati è a carico dell'ESA, con un'eventuale quota da parte della NASA e del NASDA.

I costi dell'apparecchiatura scientifica (il *payload* scientifico) sono a carico delle istituzioni e delle agenzie nazionali afferenti all'ESA o alle altre agenzie nel caso di paesi non-ESA. Per quanto riguarda l'Italia l'agenzia di riferimento è l'ASI.

I dettagli si trovano nella proposta EUSO allegata.

## Riferimenti bibliografici

- [1] J. Linsley, Phys. Rev. Lett. 10 (1963) 146.  
 [2] M. A. Lawrence, R. J. O. Reid and A. A. Watson, J. Phys. G 17 (1991) 773.

- [3] N. N. Efimov et al., Proc. International Symposium on *Astrophysical Aspects of the Most Energetic Cosmic Rays*, eds. M. Nagano and F. Takahara, World Scientific, Singapore (1991) pag. 20.
- [4] D. J. Bird et al., Fly's Eye Collaboration, Phys. Rev. Lett. 71 (1993) 71;  
D. J. Bird et al., Fly's Eye Collaboration, Astrophys J. 441 (1995) 144.
- [5] M. Takeda et al., Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 1163.
- [6] D. Kieda et al., HiRes Collaboration, Proc. 26th ICRC, Salt Lake City (1999).
- [7] P. P. Kronberg, Rep. Prog. Phys., 57 (1994) 325;  
J. P. Vallée, Fundamentals of Cosmic Physics, 19 (1997) 1.
- [8] P. Blasi, S. Burles and A. V. Olinto, Astrophys. J. 512 (1999) L79.
- [9] D. Ryu, H. Kang, P. L. Biermann, Astron. Astrophys. 335 (1998) 15.
- [10] G. Sigl, M. Lemoine, P. Biermann, Astropart. Phys. 10 (1999) 141.
- [11] M. Ambriola et al., AirWatch Collaboration, *Extreme energy cosmic rays (EECR) observation capabilities of an "AirWatch from space" mission*, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 70 (1999) 515-517.
- [12] X. Bertou, M. Boratav and A. Letessier-Selvon, *Physics of Extremely High Energy Cosmic Rays*, astro-ph/0001516, Submitted to International Journal of Modern Physics A.
- [13] G. Sigl, P. Bhattacharjee, *Origin and Propagation of Extremely High Energy Cosmic Rays*, astro-ph/9811011 and Phys. Rept. 327 (2000) 109-247.
- [14] A. V. Olinto, *Ultra High Energy Cosmic Rays: The theoretical challenge*, astro-ph/0002006 and to be published in the David Schramm Memorial Volume of Physics Reports.
- [15] S. Yoshida and H. Dai, *The Extremely High Energy Cosmic Rays*, J. Phys. G24 (1998) 905-938.
- [16] R. M. Baltrusaitis et al., Fly's Eye Collaboration, Nucl. Instr. and Meth. A240 (1985) 410.
- [17] T. Abu-Zayyad et al., HiRes Collaboration, Proc. 26th ICRC, Salt Lake City, 5 (1999) 349.
- [18] The Pierre Auger Project Design Report, Second Edition, Revised marzo 1997, Fermilab. Available at:  
<http://www.auger.org/admin/DesignReport/index.html> .
- [19] The AirWatch/OWL Collaboration,  
*EUSO: Extreme Universe Space Observatory. An Explorative Mission Probing the Extremes of the Universe using the Highest Energy Cosmic Rays and Neutrinos.*  
A Proposal for the ESA F2/F3 Missions, sottomesso all'ESA, 31 gennaio 2000.  
Documento allegato.

- [20] K. Greisen, Phys. Rev. Lett. 16 (1966) 748;  
G. T. Zatsepin and V. A. Kuzmin, Sov. Phys. JETP Lett. 4 (1966) 78.
- [21] J. L. Puget, F. W. Stecker, J. H. Bredekamp, Astrophys. J. 205 (1976) 638;  
F. W. Stecker, M. H. Salamon, Astrophys. J. 512 (1999) 521.
- [22] V. S. Berezinsky, Yad.Fiz. 11 (1970) 339;  
R. J. Protheroe and P.L.Biermann, Astropart.Phys. 6 (1996) 45; erratum ibid. 7 (1997) 181.
- [23] G. Sigl, S. Lee, D. Schramm and P.Bhattacharjee, Science 270 (1995) 1997.
- [24] V. S. Berezinsky, AIP CP433 (1998) 279.
- [25] P. L. Biermann, AIP CP433(1998) 22.
- [26] M. Milgrom and V. V. Usov, Astrophys. J., 449:L37 (1995);  
Astropart. Phys., 4 (1995) 365.
- [27] E. Waxmann, Astrophys. J. 452 (1995) 1.
- [28] M.Vietri,Astrophys.J.,453 (1995) 883;
- [29] M. Vietri, Phys. Rev. Lett. (1997).
- [30] T. Tajima and Y. Takahashi, Astrophys. J. Suppl. (in press) (1999).
- [31] Y. Takahashi, L. Hillman and T. Tajima,*High Field Science*, “Plenum”,(1999).
- [32] P.Meszaros,Proc.4th Huntsville Symposium(1997);
- [33] E.Waxman and J.Bahcall,Phys.Rev.Lett.,78(1997)2293;
- [34] W.L.Boeck et al.,Geophys.Res.Lett.,19(1992)99-102;
- [35] W.L.Boeck et al.,J.Geophys.Res.,100(1995)1465;
- [36] J.D.Everet,Nature,68(1903)699;
- [37] A.V.Gurevitch et al.,Phys.Lett.,A-165(1992)463;
- [38] Y.Taranenko and R.Roussel-Dupré,Geophys.Res.Lett.,23(1996)571;
- [39] Y.Taranenko,U.S.Inan,T.F.Bell,Geophys.Res.Lett.,20(1993)2675;
- [40] N.Chiba et al.(AGASA Collaboration),Nucl.Instr. and Meth. A311 (1992) 338;
- [41] Un chiaro riassunto delle proprietà dei EAS si trova in: P.Sokolsky, *Introduction to Ultra High Energy Cosmic Ray Physics* (Addison Wesley, 1989), Cap.3.
- [42] A.M.Hillas,J.Phys. G: Nucl. Phys. 8 (1982) 1461;
- [43] B.Sacco,O.Catalano,M.C.Maccarone,L.Scarsi,and M.Vietri, Proc. 26th ICRC,2(1999)392;

- [44] M.C.Maccarone,O.Catalano,S.Giarrusso,and B.Sacco, Proc. 26th ICRC,5(1999)445;
- [45] Y. Takahashi, private communication.
- [46] K. Arisaka, *Optimization of OWL-AirWatch Optics & Photo-Detectors*, 28 December 1999, unpublished. Available at:  
[http://www.physics.ucla.edu/~arisaka/owl/arisaka\\_owl.doc](http://www.physics.ucla.edu/~arisaka/owl/arisaka_owl.doc) .
- [47] Flat Panels PMTs, Hamamatsu Photonics, private communication.
- [48] T. Gys et al, Nucl. Instr. and Meth. A355 (1995) 386;  
G. Anzivino et al., Nucl. Instr. and Meth. A365 (1995) 76;  
R. DeSalvo, Nucl. Instr. and Meth. A387 (1997) 92;  
E. Chesi et al., Nucl. Instr. and Meth. A387 (1997) 122.
- [49] F. Filthaut, *Large-area hybrid photodiodes with enclosed VLSI read-out electronics*, Beaune'99, June 21-25, 1999. Submitted to NIM A.
- [50] T. Gys, *Performance of hybrid photon detectors with 80for the RICH counters of LHCb*, Beaune'99, June 21-25, 1999. Submitted to NIM A.
- [51] The LHCb RICH Collaboration, private communication.
- [52] Multi-anode photomultiplier tube R5900/R7600, Hamamatsu Photonics.
- [53] Hamamatsu Photonics, private communication.
- [54] N. Mahne, Tesi di laurea, Trieste, 1999.
- [55] AMS: Alpha Magnetic Spectrometer.
- [56] R. Forty, *Use of lenses to increase the RICH photodetector coverage*, LHCb note 98-038, 20/3/1998, unpublished.
- [57] V. Gracco and A. Petrolini, *Use of multi-anode photomultipliers for the AirWatch photon detector*, 23 October 1998, AirWatch technical note, Available at:  
<http://www.ge.infn.it/~petrolin/aw/mapmt.ps>
- [58] Laser Focus World, 12/95.
- [59] GDE s.r.l., via Faurer 4, Novara, I-28100, Italy
- [60] F. G. Sciacca et al., *Readout of Micro Strip Gas Chambers for the CMS central tracker with the APV6 front-end chip*, Proceedings of the 4th Workshop on Electronics for LHC Experiments, CERN/LHCC/98-36, 30 ottobre 1998.
- [61] W. Dabrowski et al., *The ABCD binary readout chip for silicon strip detectors in the ATLAS silicon tracker*, Proceedings of the 4th Workshop on Electronics for LHC Experiments, CERN/LHCC/98-36, 30 ottobre 1998.
- [62] *Description of the PMT readout board for the AURORA project*, IDE-AS Internal Report, Marzo 2000

- [63] *Strumento per la misura del background del cielo notturno e dell'aurora nelle bande UV*, Proposta all'ASI per l'esperimento AURORA sul satellite MegSat-1, Settembre 1999. MegSat1, Le scienze, luglio 1999.
- [64] O. Catalano et al., Proc. SPIE 3445, 478 (1998);  
O. Catalano, Proc. 26th ICRC 2, 407 (1999) e 2, 411 (1999);  
S. Giarrusso et al., Proc. 26th ICRC 5, 449 (1999).
- [65] O. Catalano et al., *The atmospheric nightglow in the 300 ÷ 400 nm wavelength, results by the balloon-borne experiment BABY*, Sottomesso ad Astroparticle Physics, 1999.
- [66] Available at:  
[http://sci.esa.int/content/doc/62/14690\\_.htm](http://sci.esa.int/content/doc/62/14690_.htm)  
[http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/5e/14686\\_.htm](http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/5e/14686_.htm)  
[http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/76/14710\\_.htm](http://spdext.estec.esa.nl/content/doc/76/14710_.htm)

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIR WATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

 Ricercatore responsabile locale:  
**D'ALI' STAITI** Giacomo
**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
			Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	MEETING E CONTATTI DI COLLABORAZIONE SETTING /UP DELLE MISURE MISURE	10 20 15	<b>45</b>		
	Estero	MEETING DI COLLABORAZIONE E CONTATTI USA	26	<b>26</b>		
Materiale Consumo	F/E El.(8), Read-Out El. (15), DAQ e PC (12), Na laser (25), Hg Flash Lamp (2) Mechanics (10)	72	<b>72</b>			
Trasp.e facch.	Trasporti sui luoghi prescelti per le misure	6	<b>6</b>			
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette		Altro
Affitti e manutenz. apparecchiati.						
Materiale Inventariabile	n. 8 PM+HV (14) Workstation ALPHA XP1000, 667MHz, 1GB/RAM, 54,2 Disk (30)	44	<b>44</b>			
Costruzione Apparati						
<b>Totale</b>				<b>193</b>		
Note:						

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIR WATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

## ALLEGATO MODELLO EC 2

Il gruppo EUSO/AIR-WATCH facente capo alla Sezione di Catania, nell'ambito del programma AIR-WATCH, e in particolare per ciò che riguarda l'attività da svolgersi a cura dell'INFN, assume la responsabilità:

- dello studio e della misura delle condizioni di osservabilità del segnale Cerenkov emesso durante lo sviluppo degli sciami cosmici, riflesso e diffuso dalla superficie terrestre (terreno, nuvole, foreste, mare),

- dello studio del background e della dipendenza del segnale osservato dalle condizioni della propagazione in atmosfera (assorbimenti, effetto del suolo sorvolato, nuvole, etc.)

- dello sviluppo di simulazioni: adattamento di codici esistenti quali generatori di sciami cosmici in atmosfera (CORSIKA, AIRES), studio delle performances del detector; ottimizzazione degli algoritmi di ricostruzione dei dati e interfacciamento con le procedure di data analysis. Al fine di verificare preliminarmente la osservabilità del segnale si prevede di realizzare una campagna di misure a terra, utilizzando sorgenti note (Na-laser, flash/lamps) e/o sciami cosmici rivelati da un piccolo Extended Air Shower Detector (EASD) basato sulla coincidenza di contatori a scintillazione. Le misure, realizzabili con semplici strumentazioni di misura analoghe a quelle già usate in altre occasioni (misura preliminare del background di fluorescenza da pallone, vedi BABY, ref.) evolute e adattate possono essere effettuate durante i primi due anni (2001-2002), mentre il programma delle simulazioni si dovrebbe protrarre nel tempo per raccordarsi con il S/W di analisi dati a partire dalla realizzazione dell'esperimento.

Nel primo anno di attività si prevede di realizzare un sistema di misura costituito da 8 fotomoltiplicatori del tipo HAMAMATSU R3878, in grado di rivelare segnali UV nell'intervallo 300nm÷400nm, e corredati di una elettronica di F/E in grado di operare tanto in modalità integrazione di carica, al fine di fornire un segnale proporzionale all'intensità del segnale osservato, quanto in modalità single-photoelectron detection, dove il numero di impulsi registrati è proporzionale all'intensità della radiazione incidente, quest'ultima modalità adottata nel disegno dell'elettronica dell'esperimento AIR-WATCH/EUSO. Tanto l'elettronica di F/E quanto il sistema di read-out e DAQ, già realizzati in fase prototipale presso il laboratorio dell'IFCAI/CNR di Palermo saranno sviluppati e realizzati in tale laboratorio. Questo sistema sarà quindi in grado di registrare tanto il segnale di fluorescenza prodotto da sciami cosmici di piccola energia (1014÷1015 eV) quanto il segnale Cerenkov nella banda di sensibilità dei PM. Una prima fase di acquisizione dati da terra potrà essere realizzata nella seconda metà dell'anno 2001, mirata sia alla misura dell'effetto diffusivo delle nuvole, con l'ausilio di un fascio Laser UV e/o di una Hg flash Lamp diretti da terra contro le nuvole, quanto all'effetto della superficie marina, ponendo il sistema di misura e la sorgente in un'area sopraelevata prospiciente il mare o a bordo di un pallone frenato.

Il secondo anno sarà dedicato al completamento delle misure con sorgente controllata e utilizzando un piccolo EASD in grado di rivelare la presenza di sciami cosmici grazie alla coincidenza di pochi (3) contatori a scintillazione separati di alcune decine di metri e "visti" dall'alto (scogliera, pallone frenato), al fine di effettuare una prima misura preliminare della fluorescenza indotta da sciami cosmici e correlare i risultati con le condizioni atmosferiche.

Il programma di simulazioni prevede invece un lavoro di ottimizzazione dei parametri sperimentali (creazione di una libreria di sciami di altissima energia focalizzata sull'analisi dello sviluppo longitudinale, confronto tra le opzioni mono/binoculari per il telescopio, studio della dipendenza dell'efficienza dagli algoritmi di trasporto ed attenuazione del segnale di fluorescenza fino al detector, effetti di risoluzione finita introdotti dal sistema ottico, efficienza del sistema di rivelazione sul piano focale, effetti dispersivi dovuti alla risoluzione spaziale e temporale, efficienza di rivelazione del segnale Cerenkov prodotto da sciami di energia  $E > 1019$ eV in connessione con le parametrizzazioni desunte dai risultati dei test prima esposti, simulazione degli sciami iniziati da CC-interaction e loro segnatura sperimentale, etc). Le simulazioni, di cui si occuperanno anche ricercatori delle altre sezioni e delle istituzioni collaboratrici, richiederanno il potenziamento delle strutture di calcolo (Workstation dedicate) e di mass storage e proseguiranno durante l'intero programma sperimentale.

Anno 2001: Realizzazione del sistema di rivelazione per la radiazione Cerenkov;  
Primo periodo di misure  
Rafforzamento delle strutture di calcolo (Workstation, 70 GB Mass Storage)  
Simulazioni.

Anno 2002: Completamento dell'H/W (EASD)  
Completamento del set di misure previsto  
Completamento delle strutture di calcolo dedicate, (70 GB Mass Storage, 2 PC)  
Simulazioni e definizione programmi di analisi

Anno 2003: Simulazioni e test dei programmi di analisi

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIR WATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>CATANIA</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	45	26	72	6			44		<b>193</b>
2002	35	26	25	4			40		<b>130</b>
2003	25	35							<b>60</b>
2004	25	35							<b>60</b>
2005	25	35							<b>60</b>
<b>TOTALI</b>	<b>155</b>	<b>157</b>	<b>97</b>	<b>10</b>			<b>84</b>		<b>503</b>

**Note:**

Un eventuale contributo dell'I.N.F.N. alla costruzione del forivelatore per EUSO viene proposto quale contributo addizionale rispetto al presente piano, da realizzarsi presumibilmente negli anni 2004-2005.

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)







Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>FIRENZE</b>

 Ricercatore responsabile locale:  
Francesco Becattini
**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
			Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	Riunioni collaborazione contatti con ditte	30	<b>30</b>		
	Estero	Riunioni collaborazione	40	<b>40</b>		
Materiale Consumo		Materiali e trattamenti ottici	15	<b>190</b>		
		Licenze software	10			
		Sensori per test (MAPMT, FLAT PANEL, HPD)	35			
		Consumi hardware	30			
		Studio fattibilita' alimentazioni	100			
Trasp.e facch.						
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro	
Affitti e manutenz. apparecchiati.						
Materiale Inventariabile		PC + Dischi	10	<b>45</b>		
		componenti per read out	20			
		power supplies	15			
Costruzione Apparati						
<b>Totale</b>				<b>305</b>		
Note:						

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>FIRENZE</b>

**ALLEGATO MODELLO EC 2**

Il programma di ricerca del gruppo si articola su 4 attività (per l'anno 2001):

- 1) Studio fenomenologico di modelli astrofisici di accelerazione di particelle alle energie estreme ( $>5 \cdot 10^{19}$  eV)  
Simulazione della propagazione di neutrini e leptoni di energia estrema nella terra e nell'atmosfera.  
Simulazione della rivelazione di luce di fluorescenza e Cherenkov indotta da sciami atmosferici.
- 2) Studio e progetto tramite simulazione dell'ottica di focalizzazione catadiottrica. Studio comparativo e tests di piccoli prototipi per l'ottica di raccolta sul piano focale.
- 3) Ricerca e sviluppo per sensori che si adattino alle specifiche di Airwatch, tests funzionali e comparativi di MAPMT, FLAT PANEL PMT, HPD.
- 4) In previsione della realizzazione nel 2003 di un engineering model del sistema di alimentazioni per i sensori e l'elettronica di EUSO (vedi programma di ricerca globale) si dovrà nel 2001 realizzare uno studio di fattibilità in collaborazione con l'industria. La realizzazione di un primo prototipo funzionale graverà sui finanziamenti del 2002.

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>FIRENZE</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	30	40	190				45		<b>305</b>
2002	30	40	290				30		<b>390</b>
2003	30	40	425				15		<b>510</b>
2004	30	40							<b>70</b>
2005	30	40							<b>70</b>
<b>TOTALI</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>905</b>				<b>90</b>		<b>1345</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)





Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>TRIESTE</b>

 Ricercatore responsabile locale:  
GIANNINI Gianrossano
**PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001**
**In ML**

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA					IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale	
						Parziali	Totale Compet.		
Viaggi e missioni	Interno	Riunioni di collaborazione in Italia					8	<b>20</b>	
		Presentazioni a conferenze e commissioni					7		
Contatti con ditte nazionali					5				
Estero	Riunioni di collaborazione all'estero					20	<b>50</b>		
	Attività presso ESA e NASA					20			
	Contatti con ditte estere					10			
Materiale Consumo	Modifiche, adattamento chip VLSI esistenti per rivelazione e acquisizione fotoni dal piano focale					90	<b>180</b>		
	Realizzazione schede elettroniche di front-end rivelatore					60			
	Materiale meccanico, elettrico, elettronico, cavi, connettori					30			
Trasp.e facch.									
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette	Altro				
Affitti e manutenz. apparecchiati.									
Materiale Inventariabile	Camera buia da 3 mc per test rivelazione fotoni in laboratorio					10	<b>130</b>		
	Fotomoltiplicatori (5) multianodo a 64 pixel a finestra UV per tests					30			
	Alimentatori HV power supply					10			
	Sistema di acquisizione dati con elettronica commerciale in crate					30			
	Analizzatore di stati logici e oscilloscopio digitale					30			
	Stazione di lavoro dedicata acquisizione e 2 PC analisi dati					20			
Costruzione Apparat									
<b>Totale</b>							<b>380</b>		
Note:									



**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE**

Preventivo per l'anno **2001**

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>TRIESTE</b>

**ALLEGATO MODELLO EC 2**

Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>TRIESTE</b>

**PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE**  
**PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO**

**In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	20	50	180				130		<b>380</b>
2002	20	50	100				120	90	<b>380</b>
2003	10	60	40				10	80	<b>200</b>
2004	10	60	40				10	60	<b>180</b>
2005	10	60	40				30		<b>140</b>
<b>TOTALI</b>	<b>70</b>	<b>280</b>	<b>400</b>				<b>300</b>	<b>230</b>	<b>1280</b>

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

La richiesta di supporto tecnico da parte dell'Officina Meccanica e del Laboratorio di Elettronica presentata al Consiglio di Sezione è compatibile con le forze disponibili, attraverso un'adeguata programmazione nel corso dell'anno.

**Mod. EC. 3**

(a cura del responsabile locale)



Codice	Esperimento	Gruppo
	AIRWATCH	2

<b>Struttura</b>
<b>TRIESTE</b>

**COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)**

<b>LAUREANDI</b>		Associazione		Titolo della Tesi
Cognome e Nome		SI	NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore		<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
<b>Denominazione</b>		<b>mesi-uomo</b>		<p style="margin: 0;"><b>SERVIZI TECNICI</b></p> <p style="margin: 0;">Annotazioni</p>
<b>INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)</b>				
DENOMINAZIONE		DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA		

STR.	ESPERIM.	Missioni interno	Inviti ospiti stran.	Missioni estero	Mater. di Cons.	Spes Sem	Tras. e Fac.	Pub. Scien.	Spese Calc	Aff. e Manut. App.	Mater. invent.	Costruz. apparati	TOTALE
CATANIA	Personale												
	Ricercatori	5,0		Tecnologi	1,0		Tecnici	4,0		Servizi mesi uomo			
	FTE	2,8		FTE	1,0		FTE	2,5					
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,56</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,63</b>
	AIRWATCH	45		26	72		6				44		193
	di cui sj												
	Totali	45		26	72		6				44		193
di cui sj													
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>50,79</b>									
FIRENZE	Personale												
	Ricercatori	12,0		Tecnologi			Tecnici	1,0		Servizi mesi uomo			
	FTE	5,3		FTE			FTE	0,3					
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,44</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,44</b>
	AIRWATCH	30		40	190						45		305
	di cui sj												
	Totali	30		40	190						45		305
di cui sj													
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>57,55</b>									
GENOVA	Personale												
	Ricercatori	5,0		Tecnologi	2,0		Tecnici			Servizi mesi uomo			
	FTE	2,1		FTE	0,5		FTE						
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,42</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,36</b>
	AIRWATCH	38		38	72						73		221
	di cui sj												
	Totali	38		38	72						73		221
di cui sj													
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>86,67</b>									
TRIESTE	Personale												
	Ricercatori	5,0		Tecnologi			Tecnici			Servizi mesi uomo			
	FTE	3,3		FTE			FTE						
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,66</b>				<b>Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,66</b>
	AIRWATCH	20		50	180						130		380
	di cui sj												
	Totali	20		50	180						130		380
di cui sj													
<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>115,15</b>									

Esperimento

gruppo

Rappresentante nazionale

Struttura res\_naz

nuovo\_continua

**AIRWATCH**

2

Alessandro PETROLINI GENOVA

nuovo

STF.	ESPERIM.	Missioni interno	Inviti ospiti stran.	Missioni estero	Mater. di Cons.	Spes Sem	Tras. e Fac.	Pub. Scien.	Spese Calc	Aff. e Manut. App.	Mater. invent.	Costruz. apparati	TOTALE
<b>TOTALI</b>													
	Totali	133		154	514		6				292		1099
	di cui sj												
<b>Confronto con il modello EC4</b>													
	Mod. EC4 dati												
	<b>Totale-Dati EC4</b>	133,0		154,0	514,0		6,0				292,0		1099,0
<b>Personale</b>													
	Ricercatori	<b>27,0</b>		Tecnologi	<b>3,0</b>		Tecnici	<b>5,0</b>			Servizi mesi uomo		
	FTE	<b>13,5</b>		FTE	<b>1,5</b>		FTE	<b>2,8</b>					
	<b>Rapporti (FTE/numero) Ricercatori</b>				<b>0,50 Ricercatori+Tecnologi</b>				<b>0,50</b>				
	<b>Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)</b>				<b>73,51</b>								