



# DOSIMETRIA NEUTRONICA APPLICAZIONI AMBIENTALI

Spettrometria e Dosimetria di  
neutroni in atmosfera

:

*Luglio 2002*



**Sono stati effettuati esperimenti a quattro quote significative:**

- Cervinia, 3600m, 46°N
- Chacaltaya, 5400m, 16°S
- Voli aerei, 11500m
- Voli palloni stratosferici, 38000m

Misure:

spettrometro BDS

BD-100R

Stack ANPA

Rivelatore a scintillazione

Simulazione:

codice Monte Carlo

GEANT3



# I raggi cosmici

I raggi cosmici primari che raggiungono l'atmosfera terrestre hanno due origini:

- GCR (Galactic Cosmic Rays) : quasi la totalità dei raggi cosmici appartiene a questa categoria. Sono formati da:

90% protoni

9% particelle  $\alpha$

1% nuclei più pesanti (la cui abbondanza relativa decresce all'aumentare del numero atomico: da C,N,O, fino ai meno frequenti nuclei di Fe)

- SEP (Solar Energetic Particles) : di minor quantità, sono caratterizzati da una forte dipendenza dagli eventi che dominano la superficie solare.



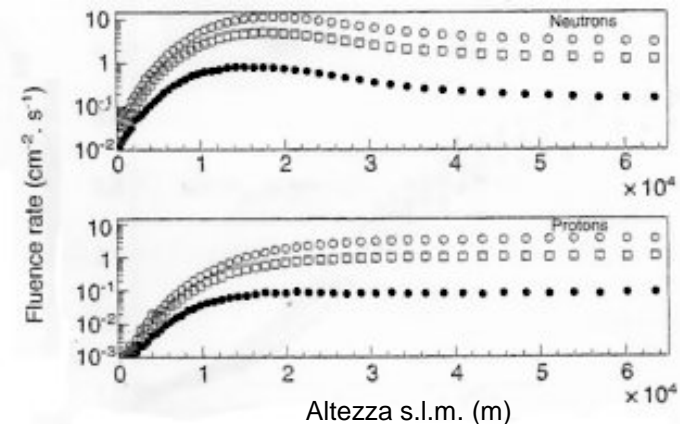
# La componente secondaria

Il flusso dei raggi cosmici secondari, cioè prodotti dalle interazioni dei primari con i nuclei dell'atmosfera terrestre (N,H,Ar,O), dipende da:

- **Altitudine (aumenta all'aumentare dell'altezza s.l.m.)**
- **Attività solare (flussi minimi con attività solare massima)**
- **Latitudine (flussi maggiori ai poli e minori all'equatore in funzione del campo magnetico terrestre)**

Flussi di raggi cosmici in funzione dell'altezza, dell'attività solare e della latitudine geomagnetica

- Attività solare minima, latitudine massima**
- Attività solare massima, latitudine massima**
- Attività solare minima, latitudine minima**



Da M.Pelliccioni: "Calculation of the radiation environment caused by galactic cosmic rays for determining air Crew exposure"



# L'attività solare

La superficie solare è ciclicamente caratterizzata da violenti eventi (i *flare solari*, o *brillamenti*) che mostrano in primo luogo un improvviso aumento della luminosità della fotosfera.

Il livello ciclico dell'attività solare si misura attraverso il conteggio dei *sunspot* o *macchie solari* che si formano a seguito dei brillamenti:

fra due picchi intercorrono 11 anni.

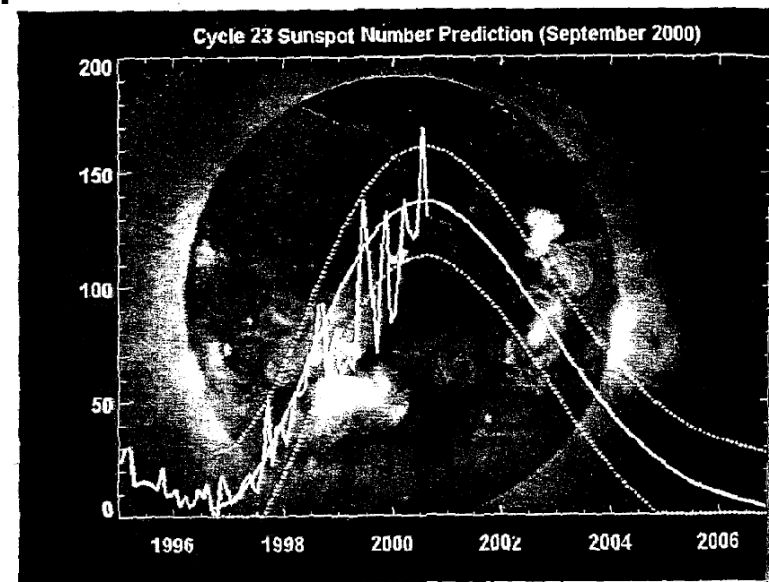
Dopo 11 anni il campo magnetico solare inverte la polarità: negli 11 anni successivi le regioni attive hanno polarità opposta:

il ciclo ha una durata complessiva di 22 anni.

L'unità di misura è il numero di Wolf:

$$R = K(10g + m)$$

↑                      ↑  
Singole macchie  
Gruppi di macchie





# Dosimetria ad alta quota: perchè?

Sono in continuo aumento le attività umane che espongono gli individui alla radiazione cosmica

- **umentano i tempi di volo, il numero dei passeggeri, le quote di volo**
- **la nuova generazione di aerei militari raggiunge i 20-30 km (Tornado)**
- **umentano i viaggi nello spazio e le lunghe permanenze sui moduli abitativi**

**Sono stati recentemente abbassati dalle commissioni internazionali i limiti annuali d'esposizione massimi consentiti:**

**Da 50 mSv a 20 mSv per i lavoratori esposti**

**Da 5 mSv a 1 mSv per la popolazione**

**E' stata inoltre sottolineata la necessità di considerare gli effetti dovuti alle basse dosi**

**Le variabili da considerare sono tante: l'utilizzo di dosimetria passiva è richiesto per poter utilizzare nella routine i sistemi dosimetrici.**



# Grandezze fondamentali in dosimetria

## Dose assorbita D

$$D = \frac{d \bar{\varepsilon}}{dm}$$

Energia media depositata nel volume elementare di massa dm

(Gy)

## Dose equivalente

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

T = tessuto o organo

$D_{T,R}$  = dose assorbita dall'organo

$w_R$  = fattore di qualità della radiazione

R = tipo di radiazione

(Sv)

## Fattori peso dei diversi tipi di radiazione

### ICRP74 (1995)

Tipi di radiazione e intervalli energetici      Fattori di peso della radiazione,  $w_R$

Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni, tutte le energie	1
Muoni, tutte le energie	1

Neutroni, energie:	
< 10 keV	5
10 - 100 keV	10
100 keV - 2 MeV	20
2 - 20 MeV	10
> 20 MeV	5

Protoni, non di rinculo con energia < 2 MeV	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti	20

↓  
**Forte dipendenza dei fattori di conversione dai valori energetici neutronici**

↓  
**Importanza degli spettri neutronici per studi dosimetrici**



# II LET

## trasferimento lineare di energia

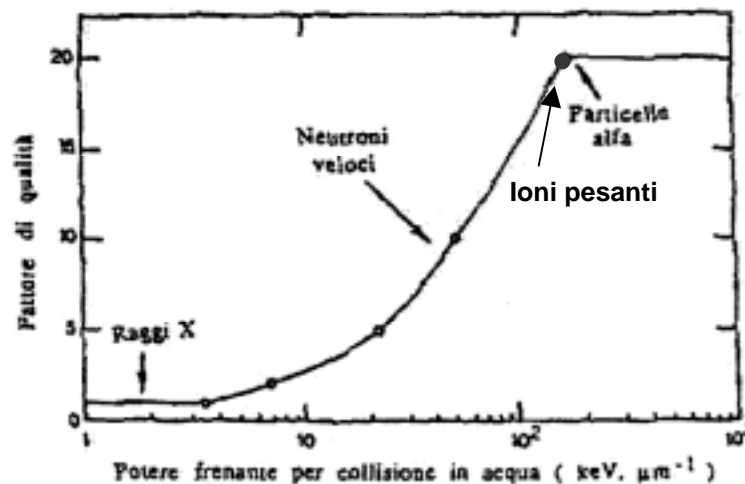
$$L_{\Delta} = \left( \frac{dE}{dL} \right)_{\Delta}$$

**È l'energia dE rilasciata dalla particella lungo il tratto dL del suo percorso**  
**Si misura in KeV/μm**

Nel calcolo di dE si considerano solo le collisioni che comportano una perdita di energia minore di  $\Delta$

Relazione fra LET  
 e fattore di qualità  
 ICRP26 (1977) →

$L_{\infty}$ (keV·μm <sup>-1</sup> )	Q
3.5 (o meno)	1
7	2
23	5
53	10
175 (o più)	20







# Neutroni e ioni pesanti

Component	60 000 ft	70 000 ft	80 000 ft	100 000 ft
$\dot{D}$ , $\mu\text{Gy}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	5.9-7.8	6.9-9.1	7.4-9.7	7.4-9.8
$(\bar{Q}_i - 1)\dot{D}_i$ : . . . . .				
Subnuclear, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	$\approx 0.01$	$\approx 0.01$	$\approx 0.01$	
Neutrons, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	4.5-18.0	5.0-20.0	5.1-20.2	2.1-8.4
$Z = 1$ , $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	$\approx 1.5$	$\approx 1.8$	$\approx 2.0$	$\approx 2.5$
$Z = 2$ , $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	$\approx 2.4$	$\approx 2.6$	$\approx 2.8$	$\approx 3.1$
$Z > 2$ , $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$ . . . . .	0.2-0.6	0.6-1.7	1.3-3.8	9.6-12.7
$H$ , $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$	14.5-30.3	16.9-35.2	18.6-38.5	24.7-36.5

I neutroni danno il contributo maggiore alla dose fino a 30km

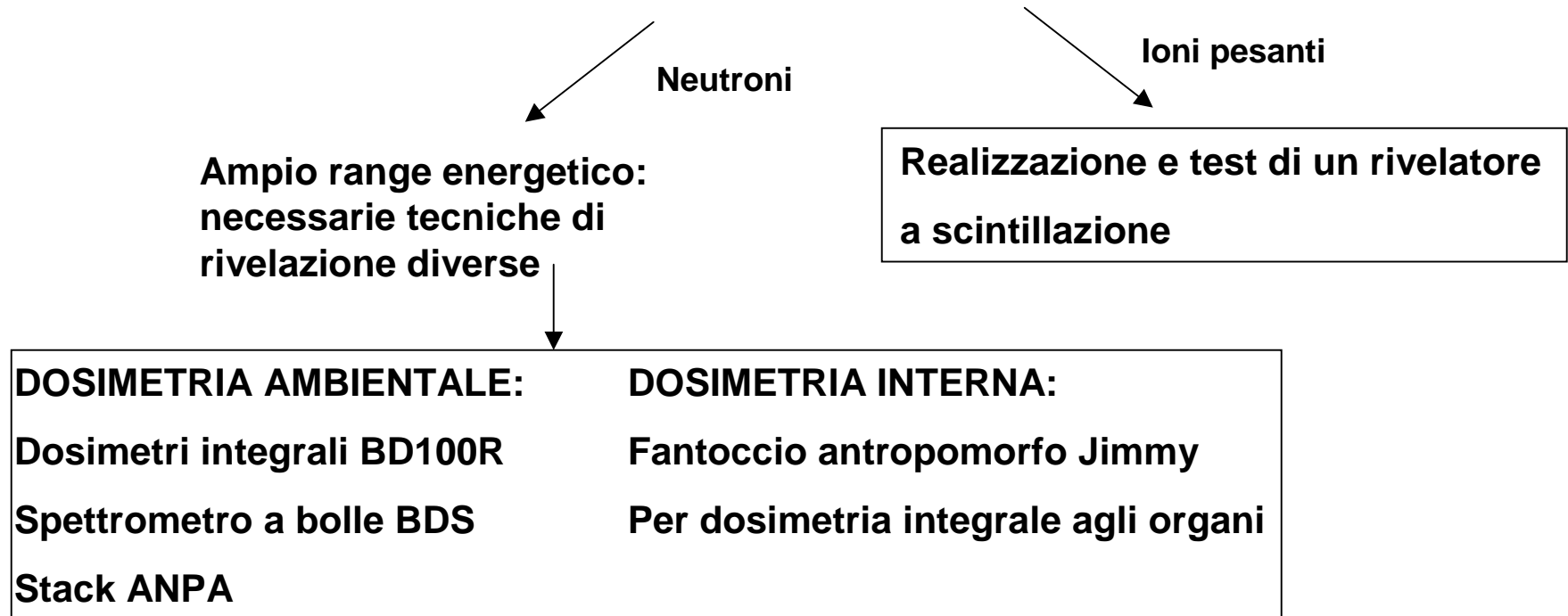
A 30km diventano rilevanti gli ioni pesanti

Tabella tratta dal rapporto della NASA: "Radiation Safety Aspects of Commercial High-Speed Flight Transportation", J.Wilson, F.Cucinotta et. al., 1995



# Tecniche di misura e simulazione

Per poter realizzare dosimetria di routine è necessario focalizzarsi sulla dosimetria passiva, i cui vantaggi, oltre a non richiedere assistenza, sono l'assenza di elettronica, la maneggevolezza, le dimensioni ridotte.



- Codice di simulazione GEANT3, per la valutazione degli spettri energetici della radiazione secondaria prodotta in atmosfera dai raggi cosmici primari (in primo luogo protoni). Il range energetico considerato dal codice è 10KeV-10TeV.



# Sistemi di rivelazione neutronica

**Rivelatore integrale BD-100R (100KeV-20MeV)**

**Intervallo di dose rivelata: 1  $\mu$ Sv - 5 mSv**

**Accuratezza:  $\pm 20\%$**

**Sensibilità: da 0.022 a 0.29 bolle/mSv**

**Rivelatore al policarbonato (1MeV – 100MeV)**

**Fogli di policarbonato di 15x15cm<sup>2</sup>: i neutroni veloci interagendo con i nuclei del polimero producono particelle cariche che creano tracce rivelate con attacco elettrochimico**

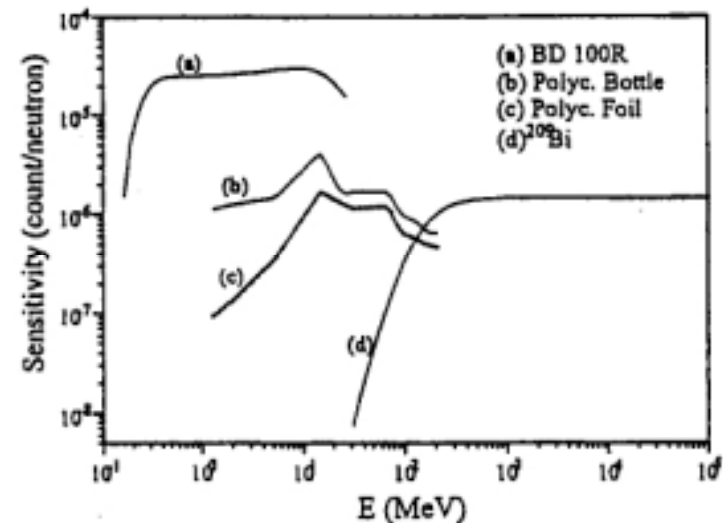
**Fiala di policarbonato (1MeV – 100MeV)**

**I contenitori dei dosimetri a bolle sono essi stessi rivelatori al policarbonato che danno una misura integrata su tempi lunghi**

**Rivelatore al Bismuto (100MeV–100GeV)**

**STACK sviluppato all'ANPA**

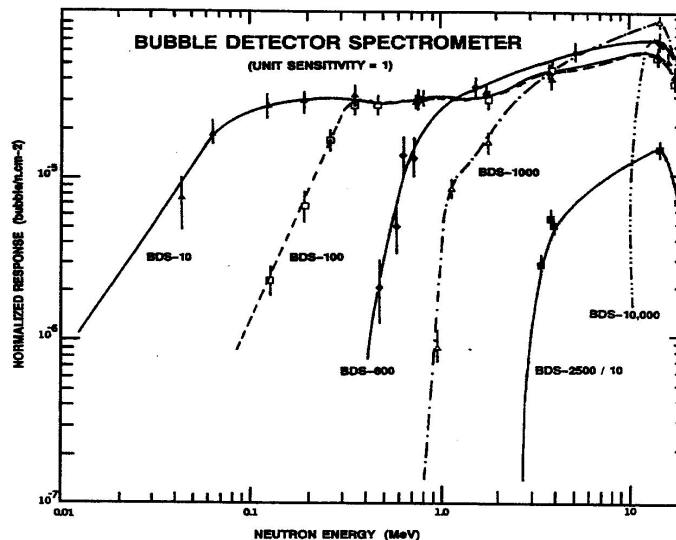
**Due fogli di <sup>209</sup>Bi separati da un foglio di Mylar registrano i frammenti di fissione prodotti dall'interazione di neutroni altamente energetici col Bismuto**





# Spettrometro BDS

- Intervallo di dose rivelata:  
da meno di 10  $\mu\text{Sv}$  a più di 1 mSv
- Accuratezza:  $\pm 10\%$
- Range energetico rivelato:  
10 keV - 20 MeV
- Sensibilità dipendente dal singolo dosimetro



**BUNTO:** codice di deconvoluzione che trova la soluzione più appropriata del sistema mediante un metodo di minimizzazione degli errori.  
Codice appositamente sviluppato dall'INFN di Torino



# Il codice Monte Carlo GEANT3

**Simulazione della produzione di particelle secondarie in seguito all'interazione di protoni primari con i nuclei dell'atmosfera composta da N (78%), O (21%), Ar (0.7%), H (0.3%)**

Limite superiore (cm)	Spessore fetta (cm)	Densità atmosferica (g/cm <sup>3</sup> )	Profondità atmosferica (g/cm <sup>2</sup> )
4,63E+06	9,00E+05	1,00E-06	1,3
3,73E+06	1,55E+06	1,00E-05	4,16
2,18E+06	4,40E+05	1,14E-04	41,88
1,74E+06	2,57E+05	1,94E-04	17,42
1,49E+06	1,82E+05	2,75E-04	14,85
1,30E+06	1,43E+05	3,50E-04	13,03
1,16E+06	1,21E+05	4,13E-04	209
1,04E+06	1,03E+05	4,85E-04	253,5
9,36E+05	9,20E+04	5,43E-04	296,7
8,44E+05	8,40E+04	5,95E-04	340
7,60E+05	7,70E+04	6,49E-04	384
6,83E+05	7,00E+04	7,14E-04	428,5
6,13E+05	6,60E+04	7,58E-04	472
5,47E+05	6,10E+04	8,20E-04	516,8
4,86E+05	5,80E+04	8,62E-04	561

Quota voli  
palloni stratosferici

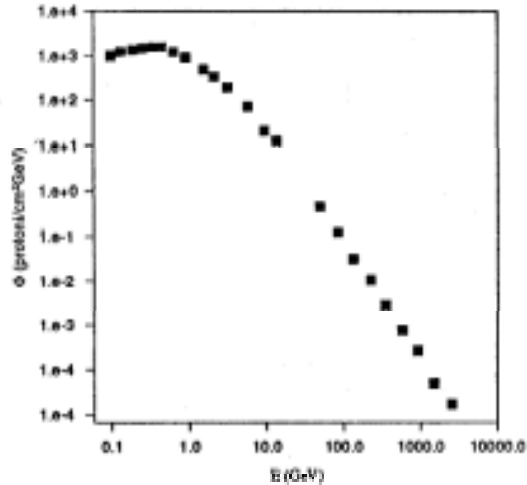
Quota voli aerei

**Modellizzazione dell'atmosfera:**

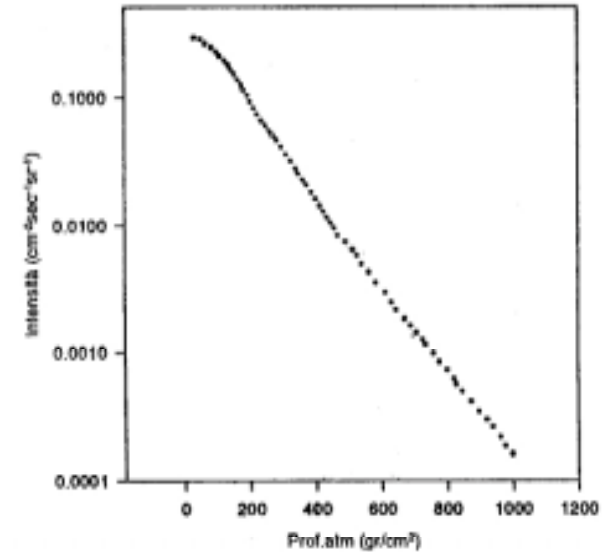
**Ogni fetta è un parallelepipedo di base 400x400m**



# Spettro protonico primario



Spettro protonico primario al top dell'atmosfera. Nella nostra simulazione è fatto partire in un intorno random di 46km



Intensità verticale della componente protonica

Subroutine GUKINE

$$\Phi_{primari}(E_p, X) = E_p^{-\gamma} \exp\left[-\frac{X(1-\eta)^{(\gamma-1)}}{\lambda_p}\right]$$

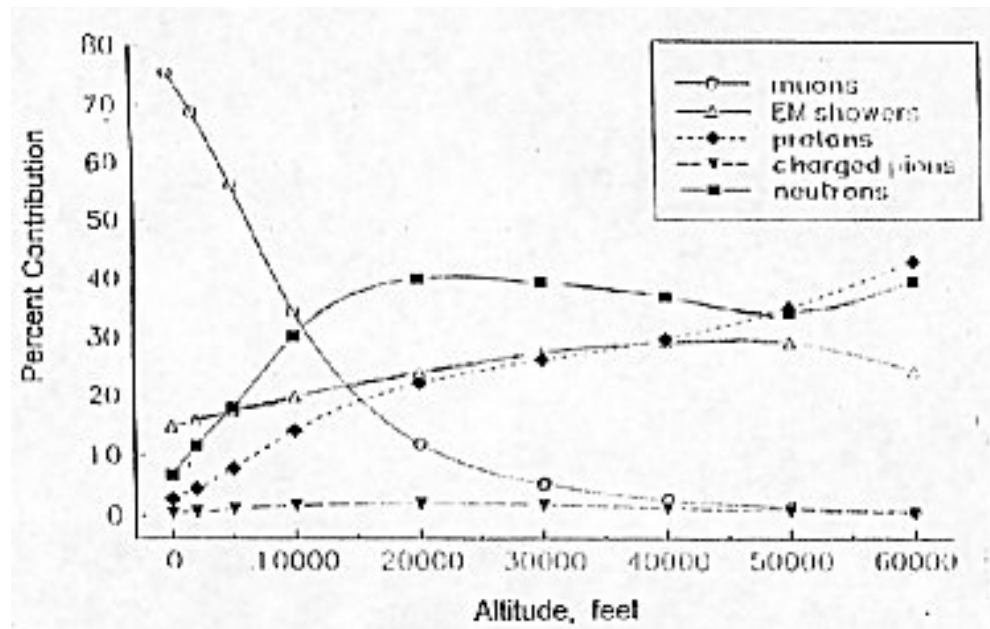
$\gamma$ =indice spettrale=2.7

$\eta$ =elasticità=0.5

$\lambda_p$ =percorso libero medio di assorbimento dei protoni=90g/cm<sup>2</sup>



# Particelle considerate



**Le particelle prese in considerazione nei processi di simulazione sono essenzialmente neutroni, protoni e fotoni: sono queste infatti a dare il maggior contributo percentuale alla dose totale.**

**Grafico tratto da un rapporto della NASA**



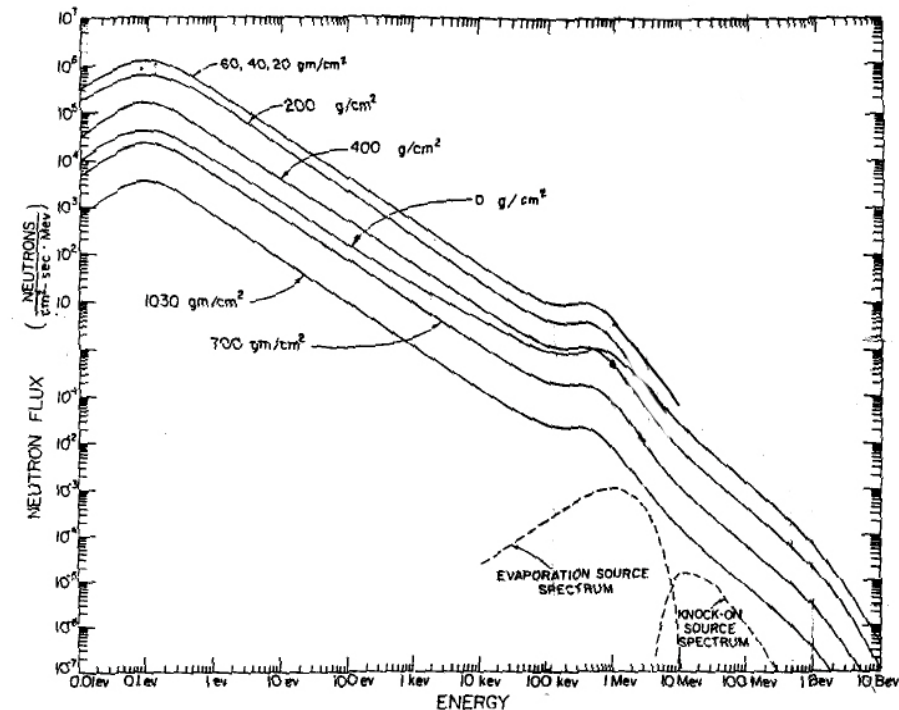
# Neutroni da raggi cosmici

I neutroni sono prodotti nell'atmosfera terrestre principalmente da:

- Interazione dei raggi cosmici primari (protoni) con i nuclei d'azoto e ossigeno
- decadimenti come  $\Lambda \rightarrow n + \pi_0$   $\Sigma^\pm \rightarrow n + \pi_\pm$

Neutroni veloci: produzione diretta,  
Knock-on di radiazione cosmica di  
alta energia

Neutroni di bassa energia: processi  
di evaporazione.  
Distribuzione Maxwelliana piccata a  
1MeV, distribuzione angolare isotropa



W.N.Hess, E.H.Canfield, R.E.Lingenfelter, *Cosmic-Ray Neutron Demography*,  
Geophysical Research, vol.66, no.3





# Risultati ottenuti

## Cervinia e Chacaltaya

Spettro protonico

fatto partire da  $65 \text{ g/cm}^2$

ovvero 19km

Limite superiore (cm)	Spessore fetta (cm)	Densità atmosferica ( $\text{g/cm}^3$ )	Profondità atmosferica ( $\text{g/cm}^2$ )
2,18E+06	4,40E+05	1,14E-04	41,88
1,74E+06	2,57E+05	1,94E-04	17,42
1,49E+06	1,82E+05	2,75E-04	14,85
1,30E+06	1,43E+05	3,50E-04	13,03
1,16E+06	1,21E+05	4,13E-04	209
1,04E+06	1,03E+05	4,85E-04	253,5
9,36E+05	9,20E+04	5,43E-04	296,7
8,44E+05	8,40E+04	5,95E-04	340
7,60E+05	7,70E+04	6,49E-04	384
6,83E+05	7,00E+04	7,14E-04	428,5
6,13E+05	6,60E+04	7,58E-04	472
5,47E+05	6,10E+04	8,20E-04	516,8
4,86E+05	5,80E+04	8,62E-04	561
4,28E+05	5,40E+04	9,26E-04	605,5
3,74E+05	6,20E+04	9,56E-04	650

Quota Chacaltaya

Quota Cervinia

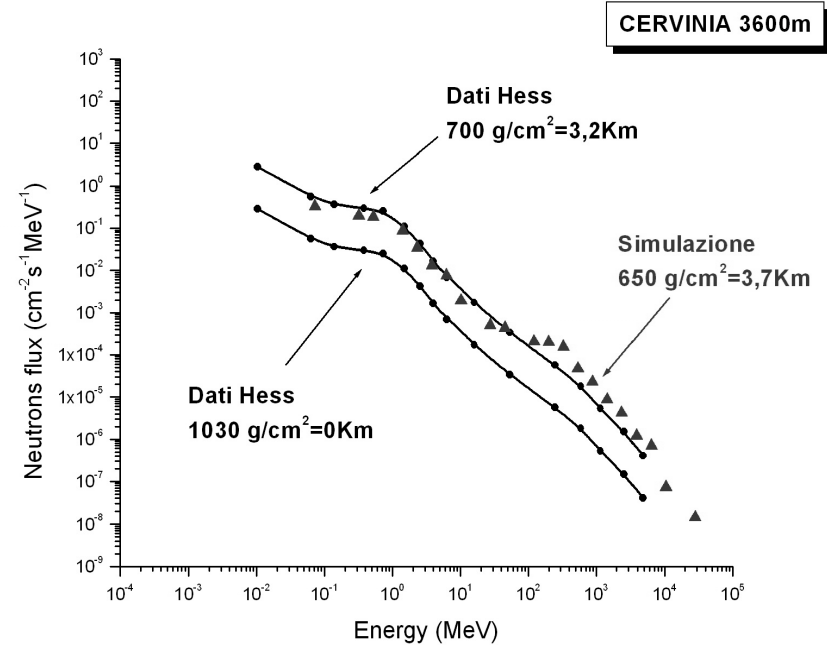
**Modellizzazione dell'atmosfera per simulazione**

**flussi alle altezze di Cervinia e Chacaltaya**

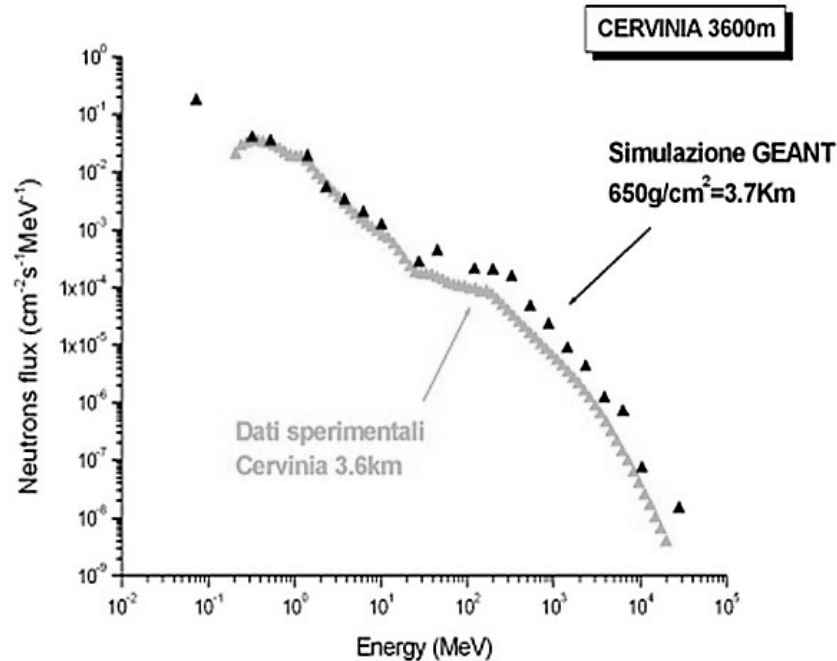


# Cervinia, 3600m, 46°N

**Confronto spettro neutronico  
simulato a 3.7km con curve di  
Hess al livello del mare e a 3.2km**



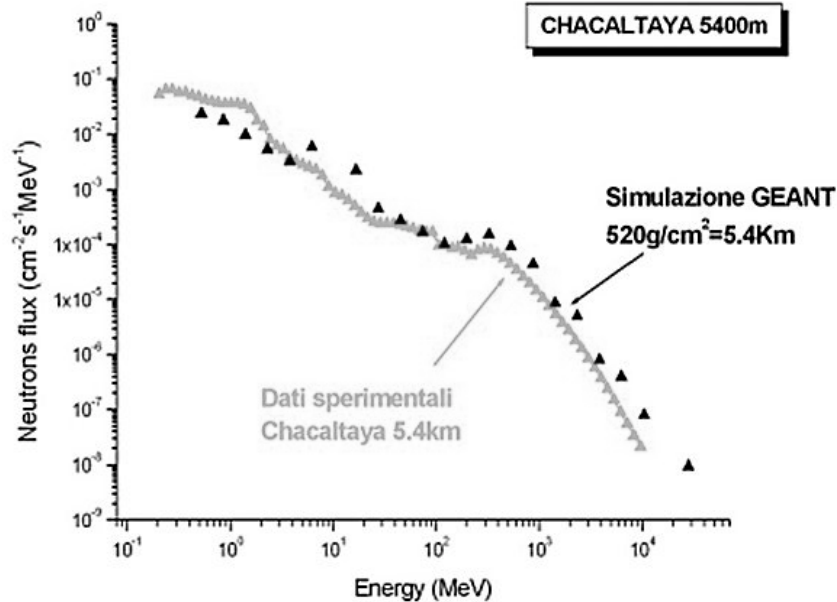
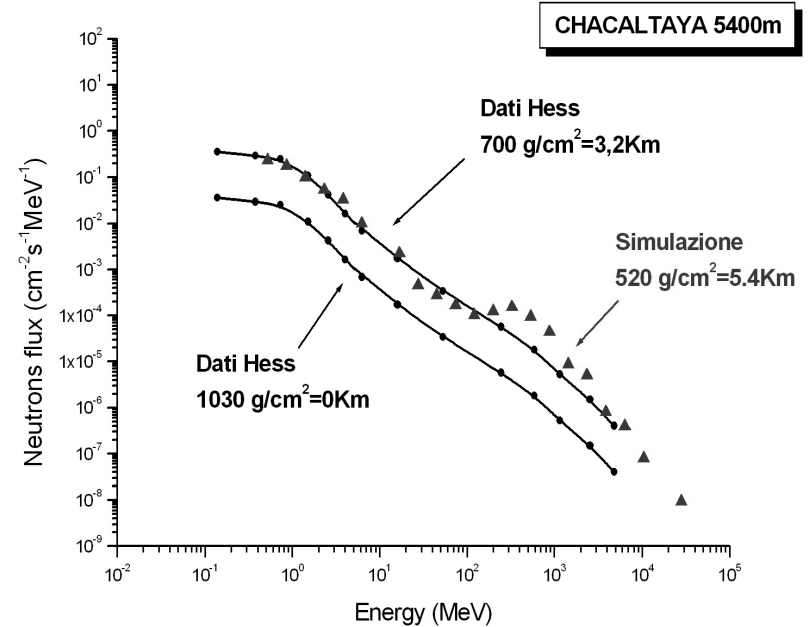
**Confronto spettro simulato a 3.7km  
con dati sperimentali misurati al  
laboratorio Testa Grigia, Cervinia,  
3.6km.**





# Chacaltaya, 5400m, 16°S

Confronto spettro neutronico  
simulato a 5.4km con curve di  
Hess al livello del mare e a 3.2km

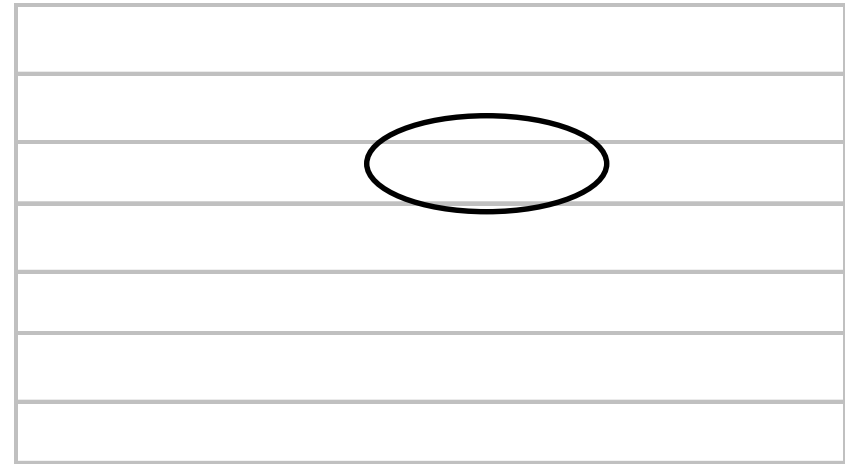
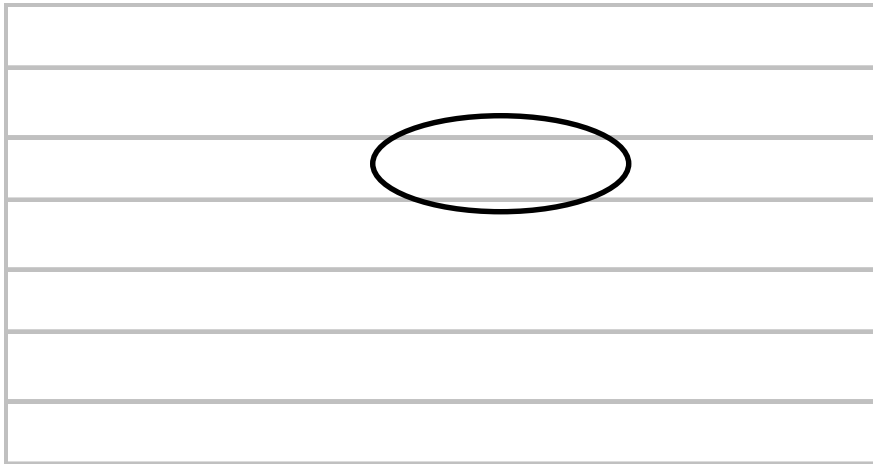


Confronto spettro simulato a 5.4km  
con dati sperimentali misurati al  
laboratorio di Chacaltaya,  
Bolivia, 5.4km.





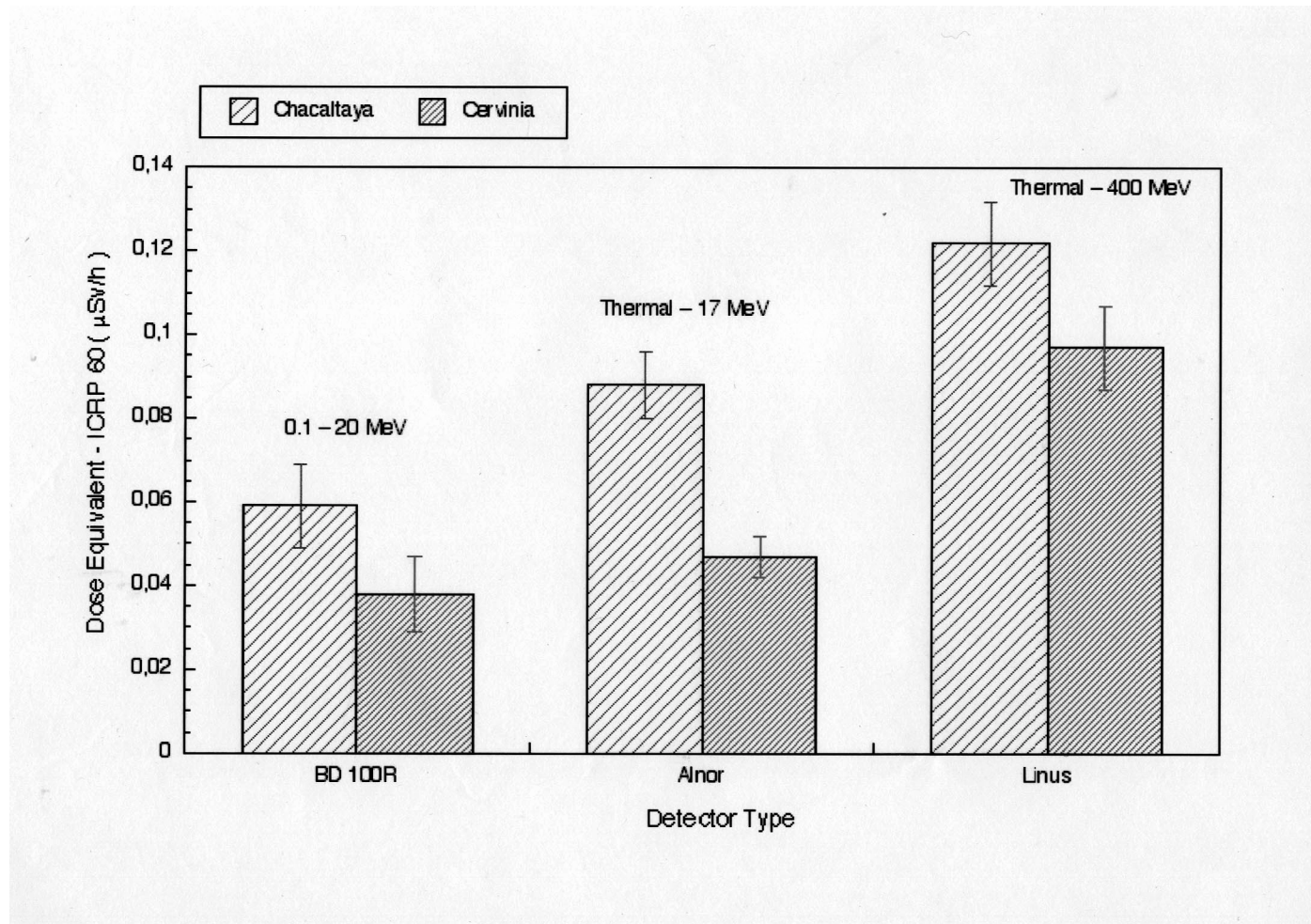
# Considerazioni dosimetriche



**I flussi e le dosi sono stati calcolati tramite i fattori di conversione pubblicati dall'ICRP74 (1995) e, negli intervalli energetici non considerati, dalla pubblicazione di M.Pelliccioni "Overview of fluence to effective dose and fluence to ambient dose equivalent coefficient conversion for high energy radiation calculating using FLUKA code"**



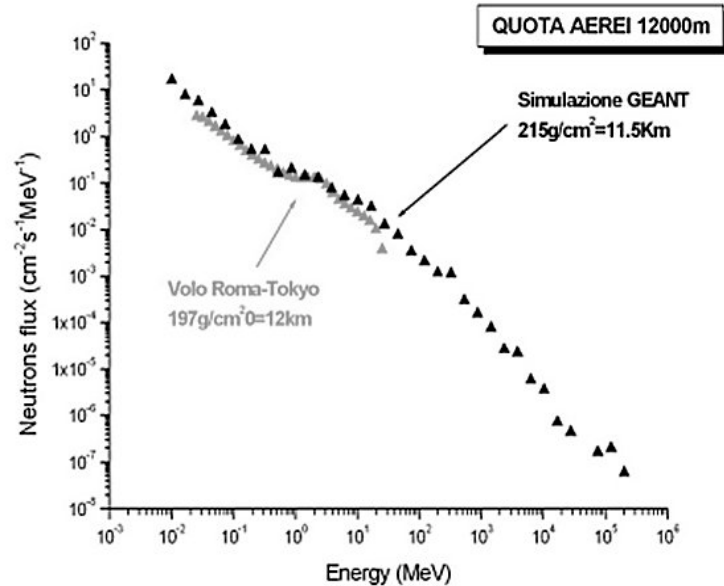
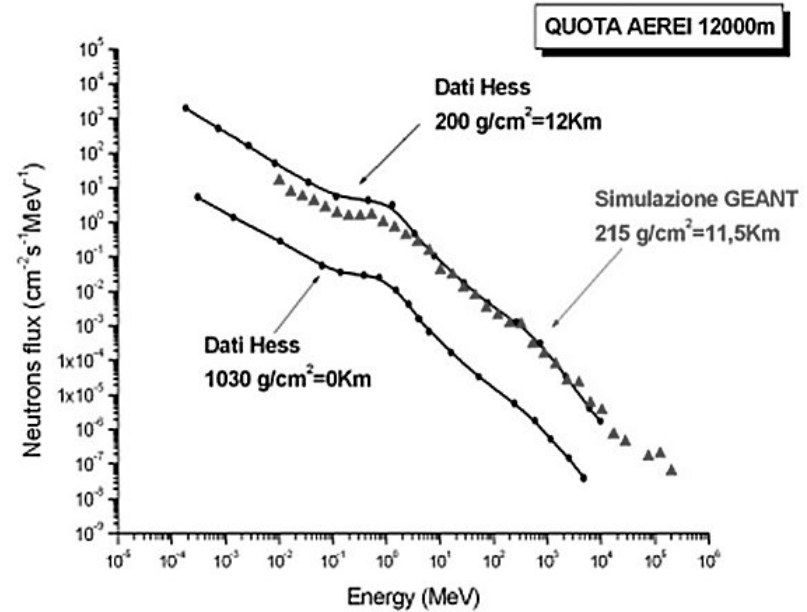
# Dosi neutroniche in diversi intervalli energetici





# Quota voli aerei: 11.5km

Confronto spettro neutronico  
simulato a 11.5km con curve di Hess al livello del mare e a 12km



Confronto spettro simulato a 11.5km  
con dati sperimentali ottenuti da  
unfolding delle letture dello  
spettrometro BDS sul volo Alitalia  
Roma-Tokyo di Giugno 2002.



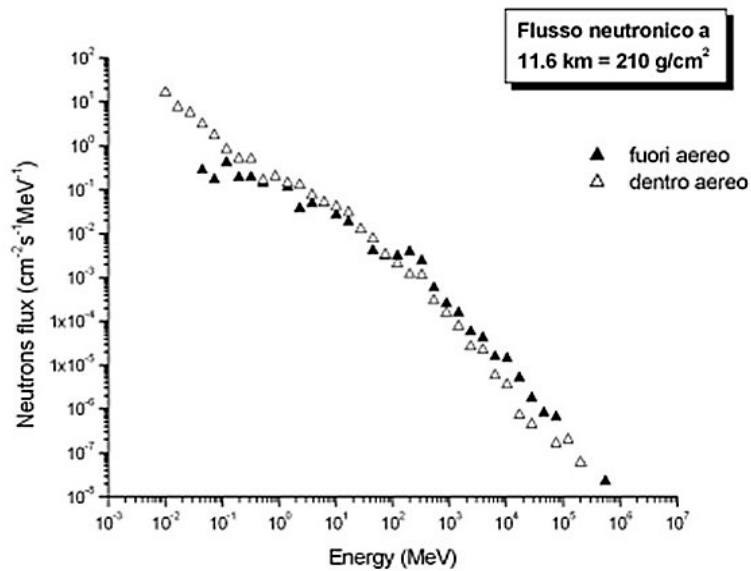
# Aereo: interno-esterno

Alla quota di 11.5km abbiamo simulato la struttura di un aereo per analizzare l'effetto schermante dello stesso sugli spettri neutronici.

La modellizzazione è la seguente:



Dati forniti dal team Alitalia



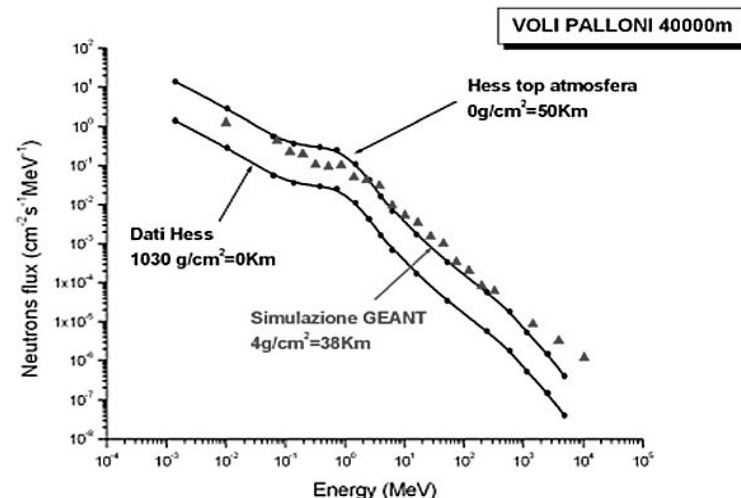
## Considerazioni dosimetriche

QUOTA VOLI AEREI, 11500m
Flusso neutronico: 3.8 neutroni/cm <sup>2</sup> s
Dose neutronica: 5 μSv/h
Flusso protonico: 0.66 protoni/cm <sup>2</sup> s
Dose protonica: 2.2 μSv/h
Flusso fotonico: 36.3 fotoni/cm <sup>2</sup> s
Dose fotonica: 1 μSv/h



# Quota voli palloni stratosferici lanciati dalla base ASI, rotta Trapani-Siviglia: 38km

Confronto spettro neutronico simulato a 38km con curve di Hess al livello del mare e al top dell'atmosfera.



## Considerazioni dosimetriche

QUOTA VOLI PALLONI, 38000m
Flusso neutronico: 1.8 neutroni/cm <sup>2</sup> s
Dose neutronica: 2.8 μSv/h
Flusso protonico: 1.3 protoni/cm <sup>2</sup> s
Dose protonica: 4 μSv/h
Flusso fotonico: 27.5 fotoni/cm <sup>2</sup> s
Dose fotonica: 1.05 μSv/h

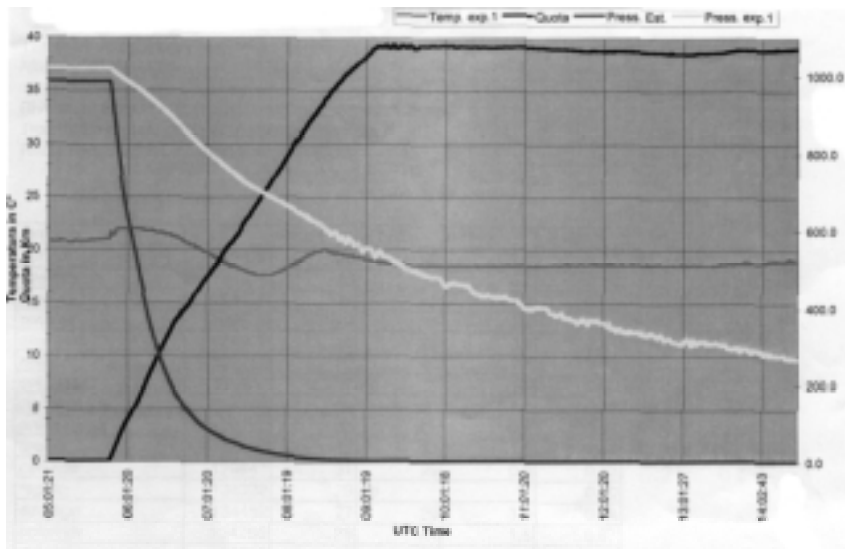
Il flusso neutronico dopo aver raggiunto la sua massima intensità (Pfozter maximum situato a 20km circa) comincia a decrescere: la dose neutronica a 38km risulta inferiore a quella a 11.5.





# Volo Birba1: Giugno 2001

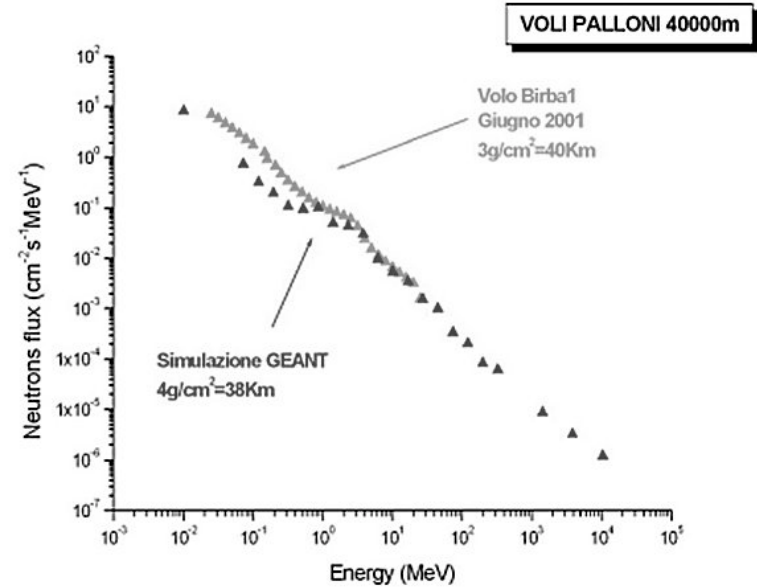
Condizioni di volo:



VOLO PALLONE: Birba1, Giugno2001
Tempo di volo: 22 ore circa
Altezza volo: 40 km circa
Temperatura: 20 gradi circa
Attività solare: 200 (numero di Wolf)



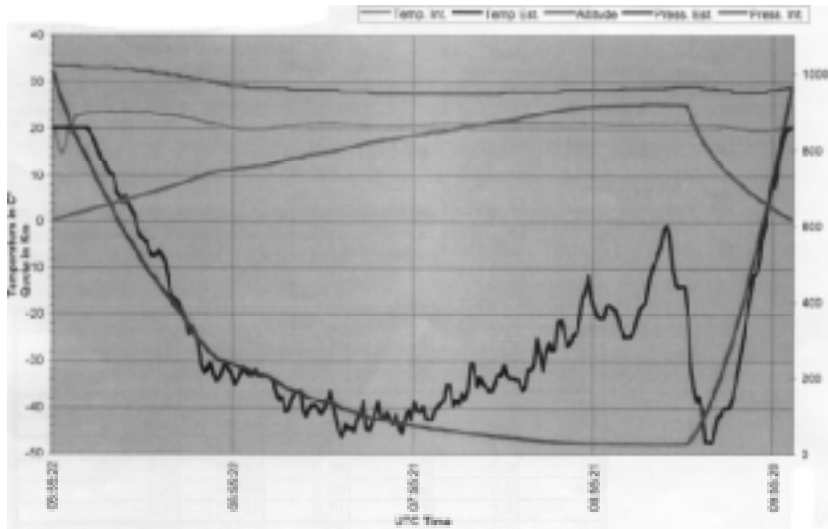
Spettro neutronico unfoldato:





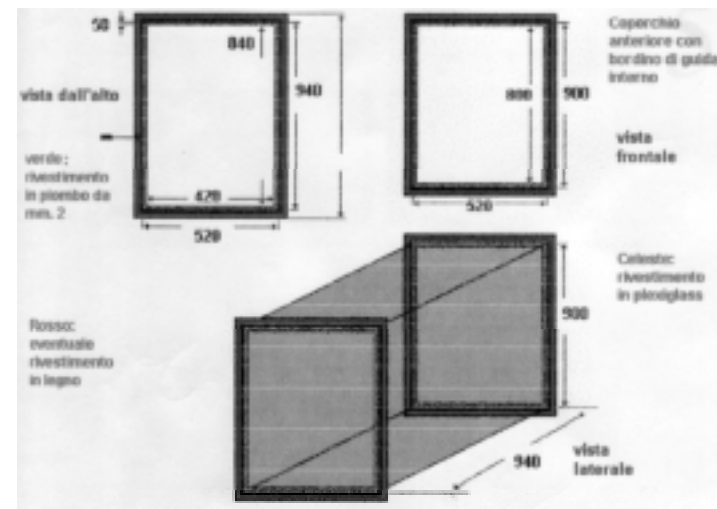
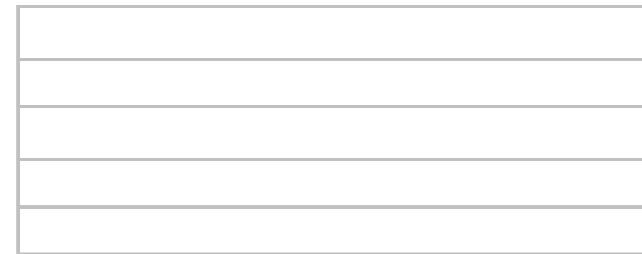
# Volo Birba2: Luglio 2001

Condizioni di volo:



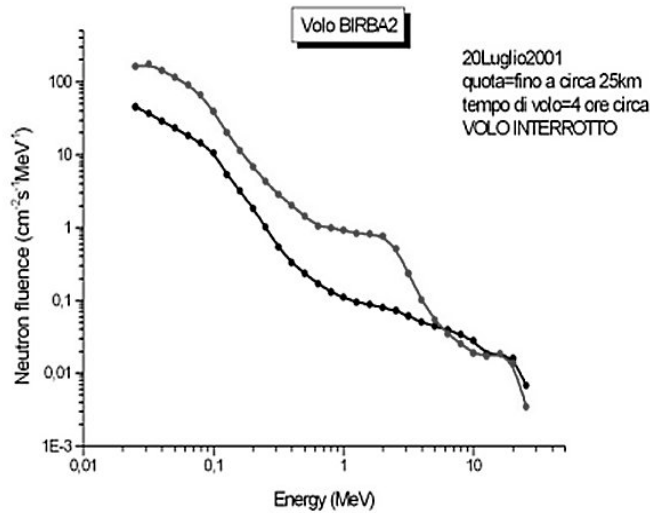
Sul volo Birba2 erano presenti due spettrometri BDS. Uno ad alta sensibilità posto all'interno di una cassa schermata composta da 50mm di plexiglass, 2mm di piombo e rivestita da 70 cm di polistirolo, l'altro a bassa sensibilità posto all'esterno della stessa.

Il volo Birba2 è stato interrotto dopo circa 4 ore a causa di problemi tecnici. La quota raggiunta è 25km. Per confronto è stata fatta una simulazione anche a questa altezza.





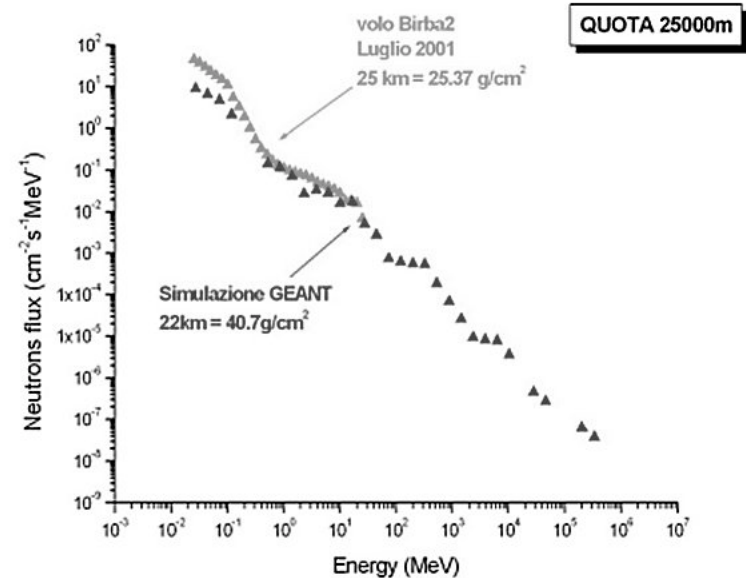
# Spettri neutronici Birba2



Spettri neutronici ottenuti da  
deconvoluzione letture spettrometri

← BDS ad alta e bassa sensibilità.


Confronto dati sperimentali  
con simulazione GEANT3 a  
25km.

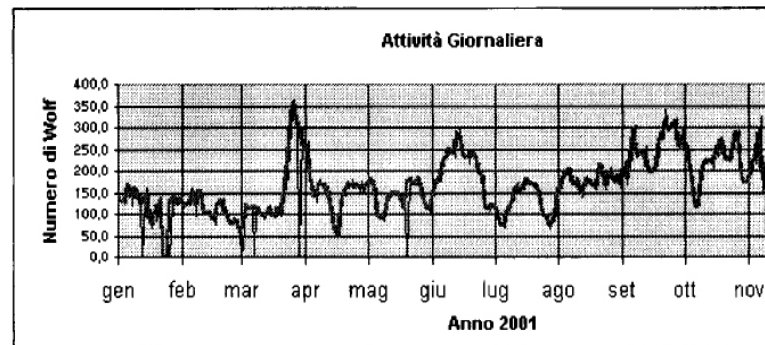




# Considerazioni dosimetriche

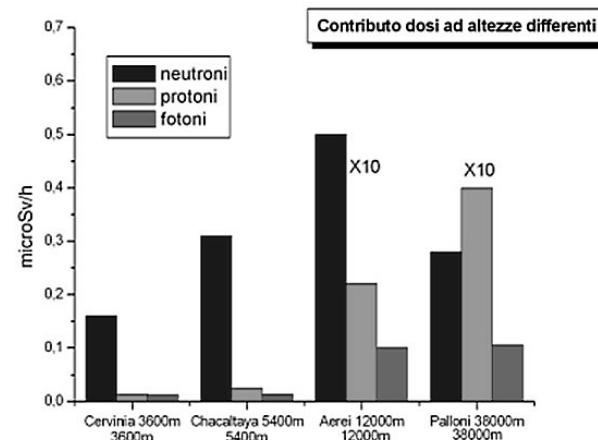
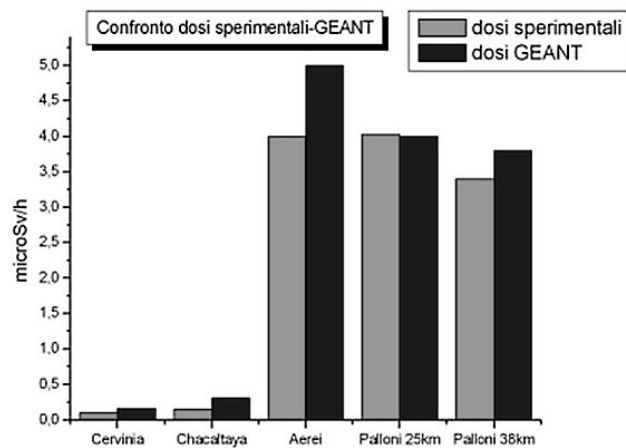

Il volo Birba2 presenta una dose neutronica superiore a Birba1 per due motivi:

1. La quota di volo è più bassa (al di sopra del 'Pfozter maximum' aumentando la quota diminuisce il flusso).
2. L'attività solare è minore.





# Confronti



Il valore di dose neutronica a 11.5 km ( $\mu\text{Sv/h}$ ) è confrontabile con quello a 10.6km pubblicato da M.Pelliccioni:

	Dose neutronica
Pelliccioni	4,01
Unfolding	$4 \pm 0,8$
GEANT	$5 \pm 1,5$

Il valore di dose neutronica a 25 km ( $4,03 \pm 1,2 \mu\text{Sv/h}$ ) è confrontabile con quello a 80000 feet pubblicato dalla NASA ( $5 \mu\text{Sv/h}$ ) (Cucinotta et.al.):

I valori di flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) a 11.5km sono confrontabili con quelli a 12.3km pubblicati da M.Pelliccioni:

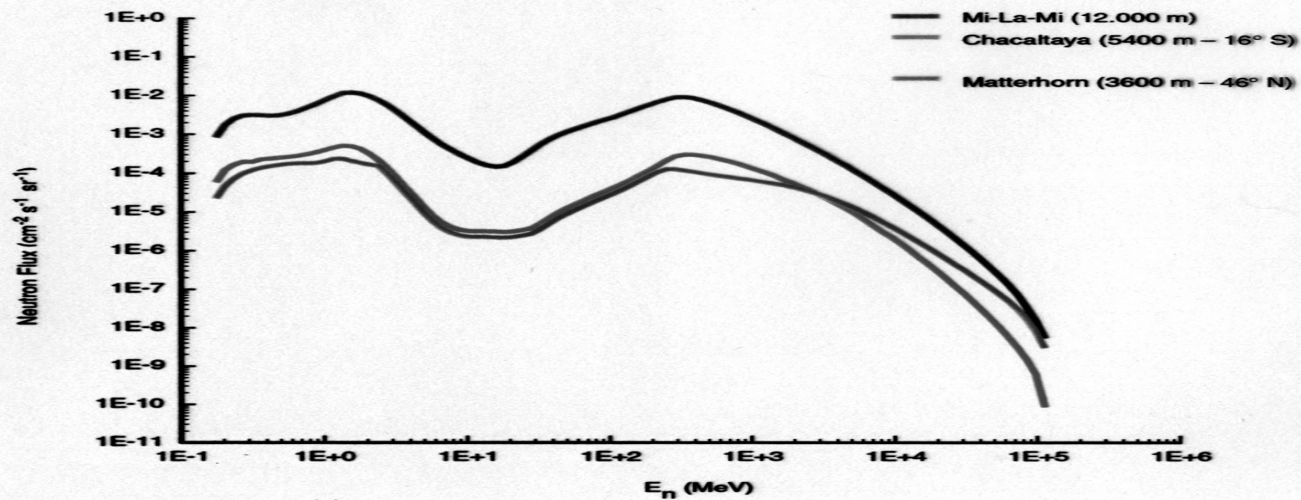
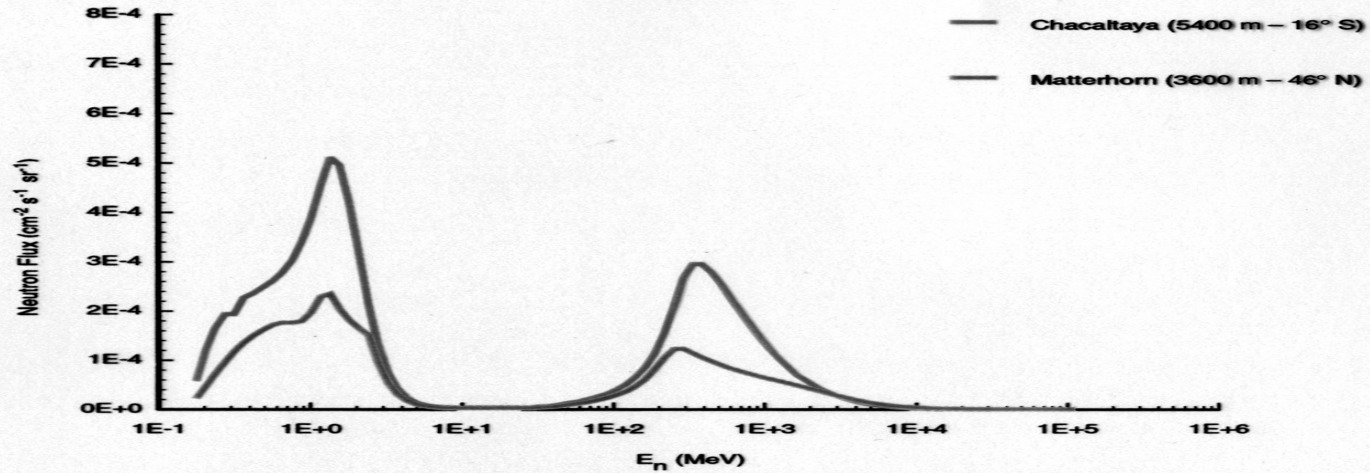
	Pelliccioni	GEANT
Protoni	0,4	$0,6 \pm 0,2$
Fotoni	36,2	$36,3 \pm 10,8$
Neutroni	4,1	$3,8 \pm 1,1$



# Confronto tra diversi spettri neutronici

Neutron flux at various altitudes in atmosphere.

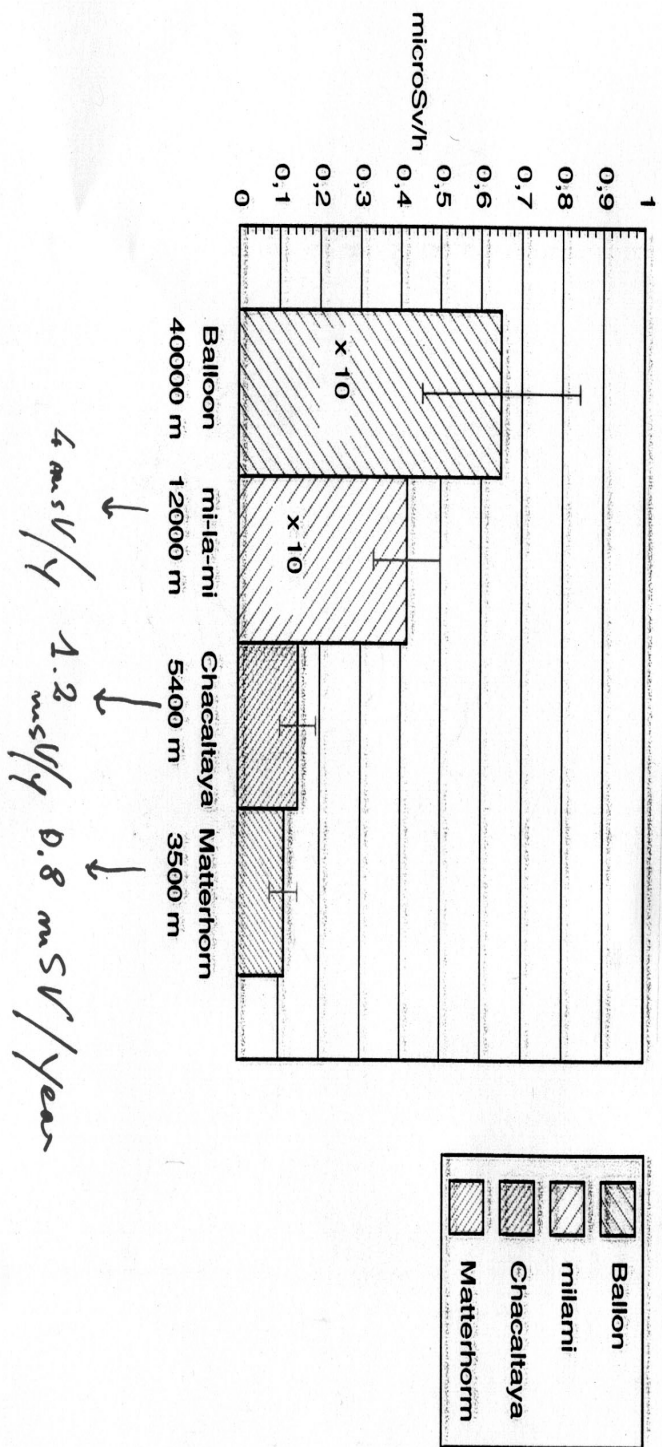
Chacaltaya (1997 – 1998)





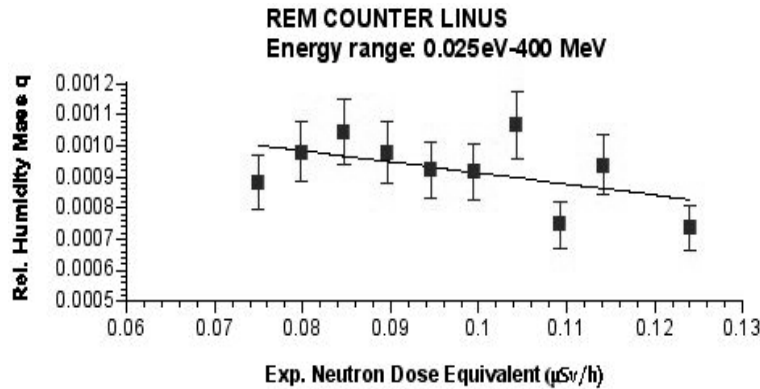
NEUTRON DOSE EQUIVALENT RATE (ICRP 60) EVALUATED FROM UNFOLDED SPECTRA AT DIFFERENT ALTITUDES

## DOSI INTEGRALI

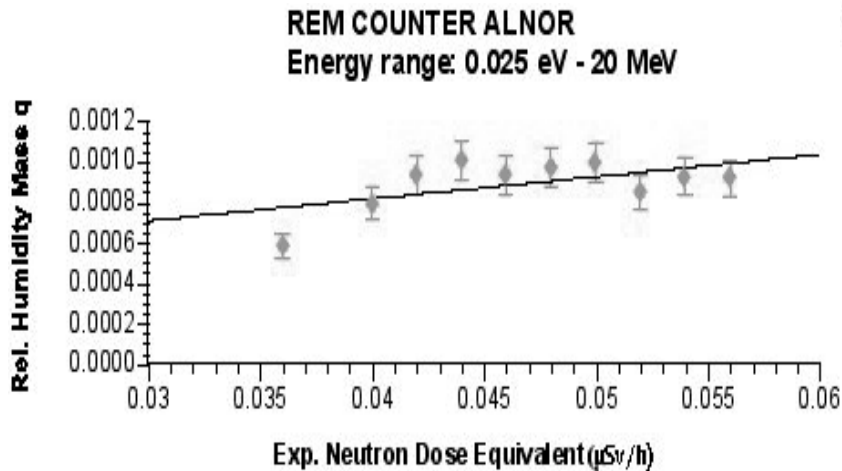




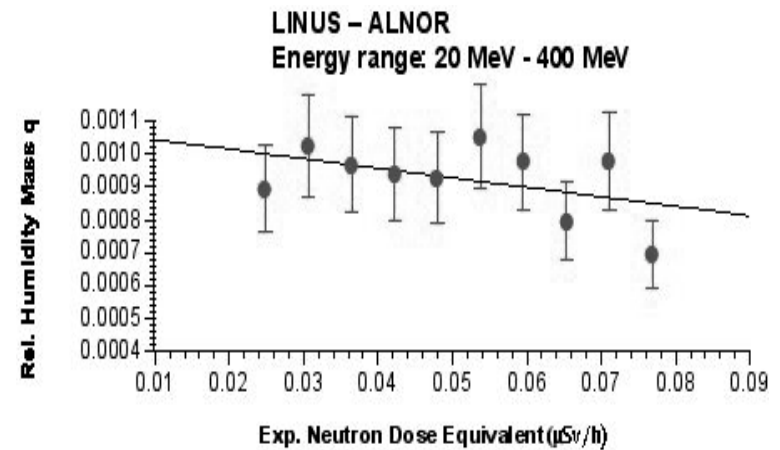
# Dipendenza della dose neutronica dalla concentrazione di H<sub>2</sub>O (Cervinia-PlateauRosa)



**Dose totale**



**Dose bassa energia**



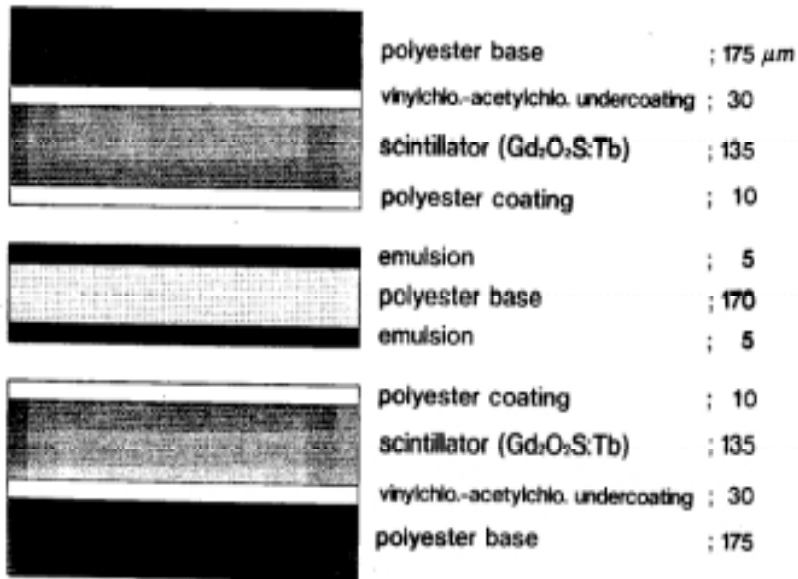
**Dose alta energia**



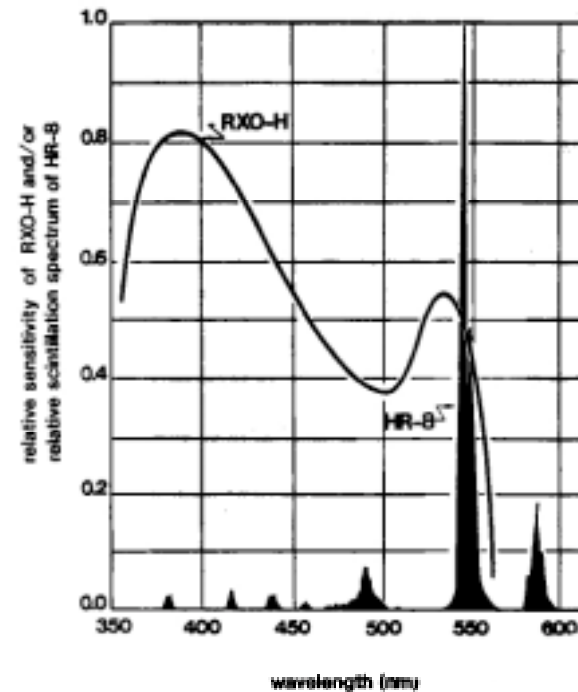


# Rivelatore a scintillazione

Per la realizzazione del rivelatore di ioni pesanti abbiamo fatto riferimento alla linea di sviluppo di un rivelatore simile da parte di un gruppo di ricerca giapponese (M.Ichimura et. al.)



Composizione dell'SXF: screen type X-Ray film



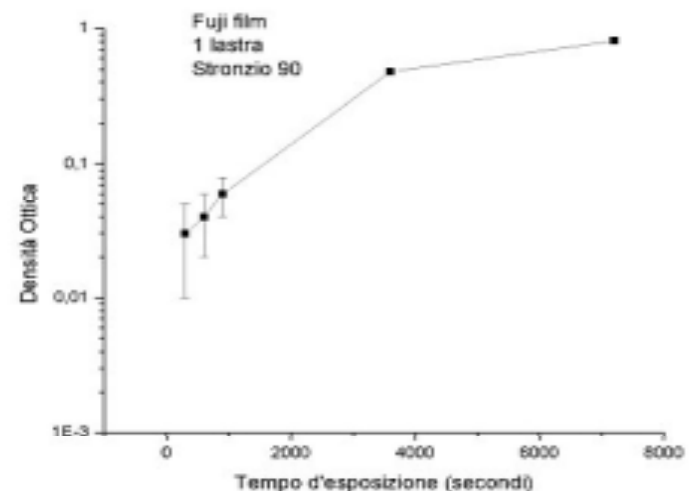
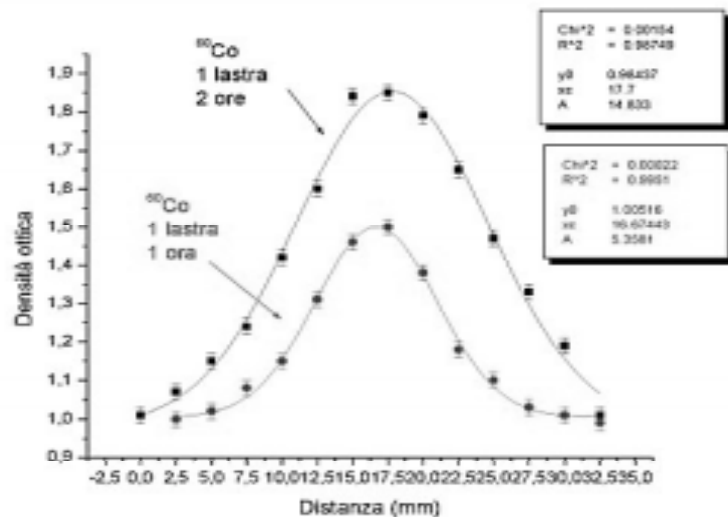
Sensibilità spettrale dell'RXO film e spettro di scintillazione dello schermo intensificante.



# Fasi di realizzazione

Sono state eseguite in laboratorio una serie di prove d'impressionamento con una sorgente di Cobalto60 e una di Stronzio 90. Gli spot ottenuti sulle lastre sviluppate sono stati analizzati con un densitometro di apertura focale di 2mm

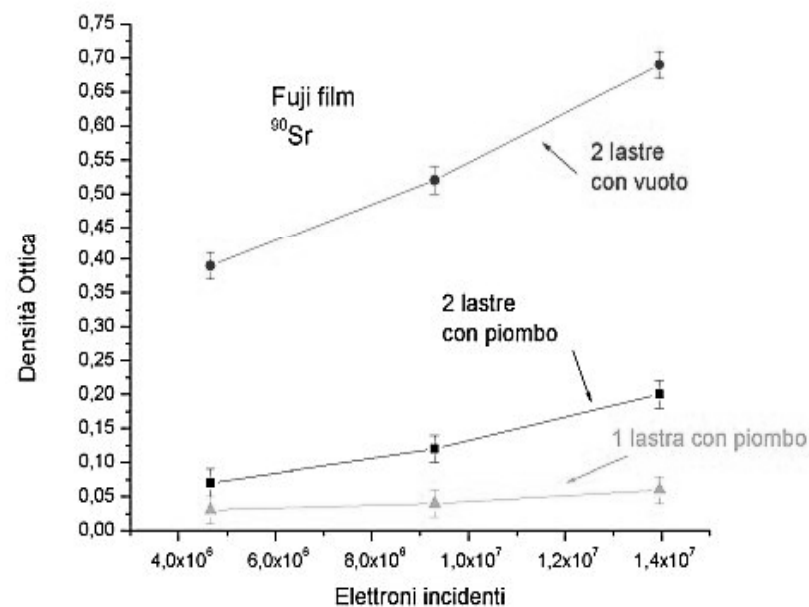
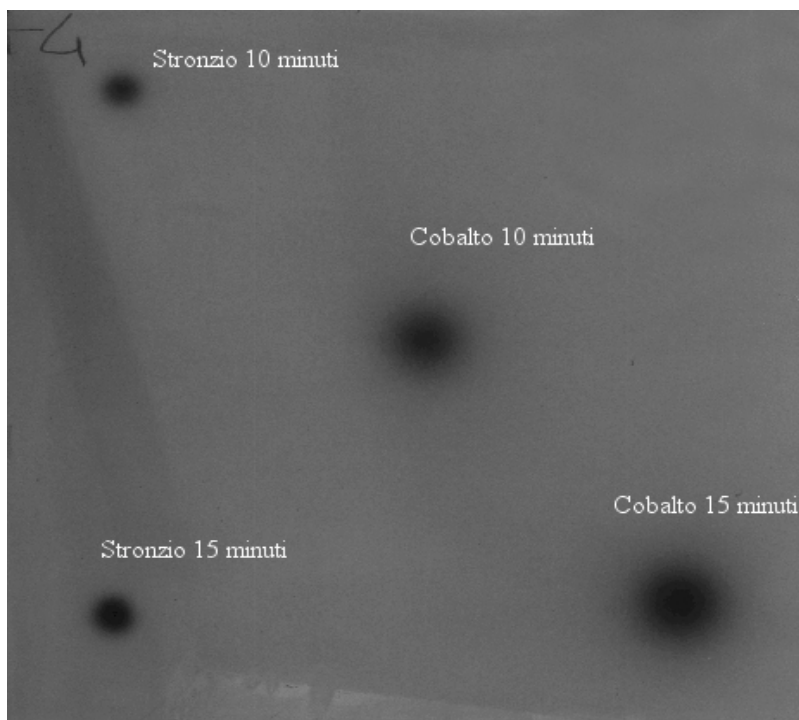
1. Scelta del film migliore da utilizzare. 5 minuti d'esposizione. È stato scelto il "Fuji film"
2. Rivelatore composto da una lastra e da un a pellicola: esposto alle sorgenti per 5,10,15 minuti, 1 ora e 2 ore. Le macchie ottenute sono state analizzate tramite scansione con il densitometro.





3. Utilizzo di due lastre scintillanti al posto di una sola.  
Miglioramento nella densità ottica.

4. Oltre a due lastre scintillanti, il rivelatore è stato posto sotto vuoto.  
Curva densitometrica più elevata e spot sulla pellicola più focalizzati:  
scelta come configurazione definitiva.





# Risultati ottenuti

Sono in corso una serie di test, sia in laboratorio che in field, per verificare la sensibilità del rivelatore.

Esposizione ad un fascio di ioni Carbonio<sup>+6</sup> al GSI. Il fascio, di energia 270MeV/ione e diametro 10,3 mm, composto da 3.8E8 ioni C<sup>+6</sup> è risultato troppo intenso: nei prossimi test si utilizzerà quindi un fascio meno intenso.

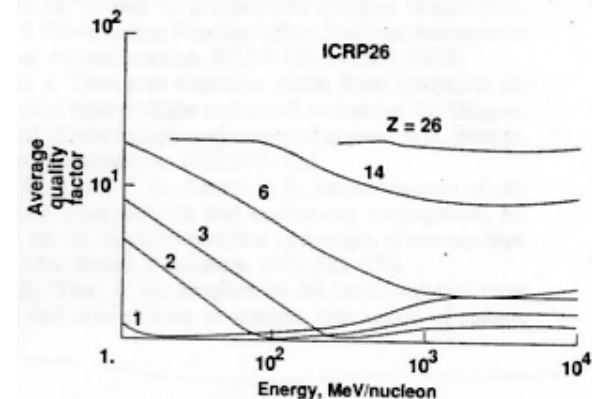
Il rivelatore è stato esposto nel mese di Giugno al volo Roma-Tokio registrando due eventi su una superficie di 500cm<sup>2</sup> in 24 ore (4.6E-8 HZE cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), e sul volo del pallone stratosferico Trapani-Siviglia registrando un flusso nettamente superiore: (5E-5 HZE cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

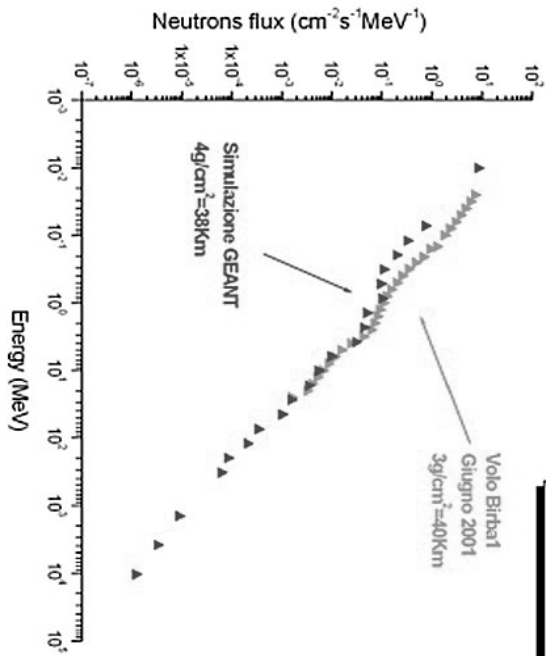
**Prossimi passi:**

calibrazione per poter identificare la carica dello ione rivelato e realizzazione di stack di diversi spessori per la determinazione dell'energia

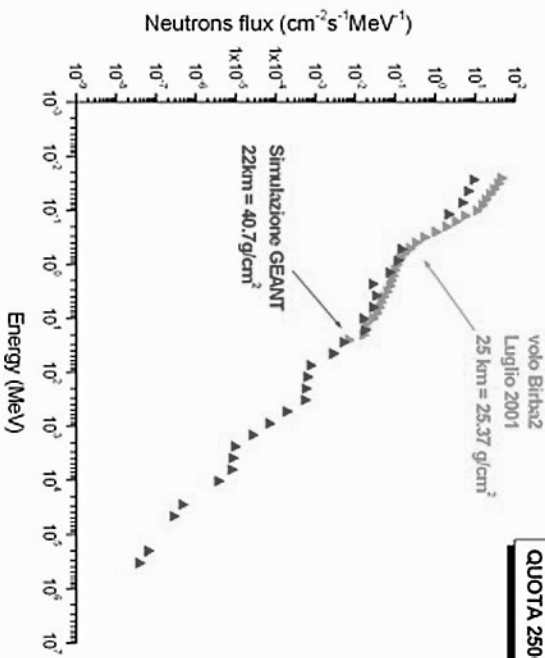


applicazione dei fattori peso nel calcolo della dose equivalente.

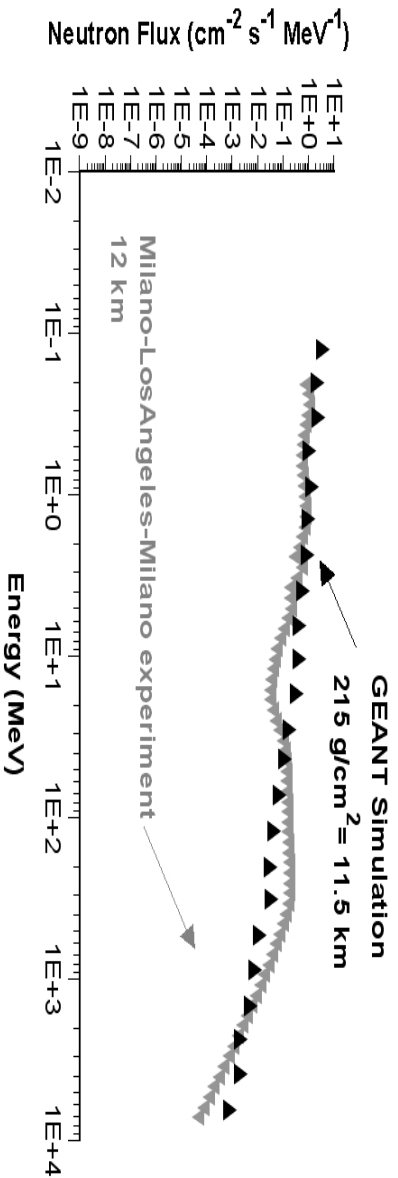
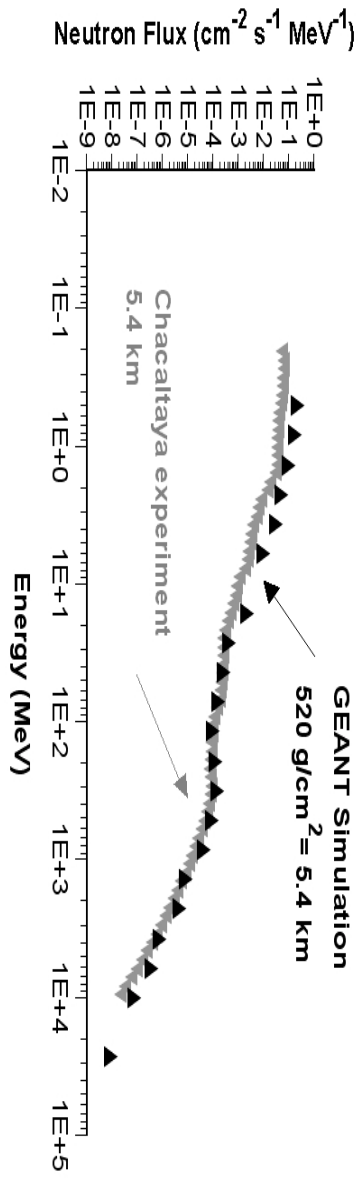
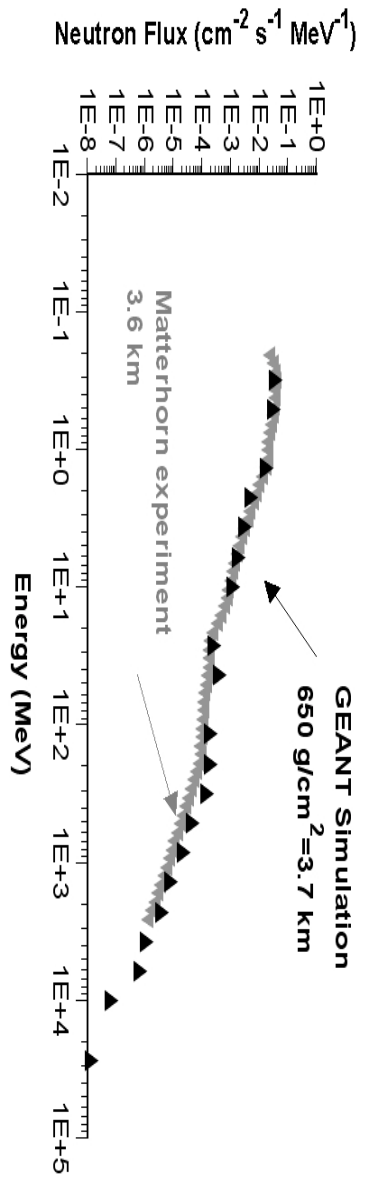




**VOLI PALLONI 40000m**

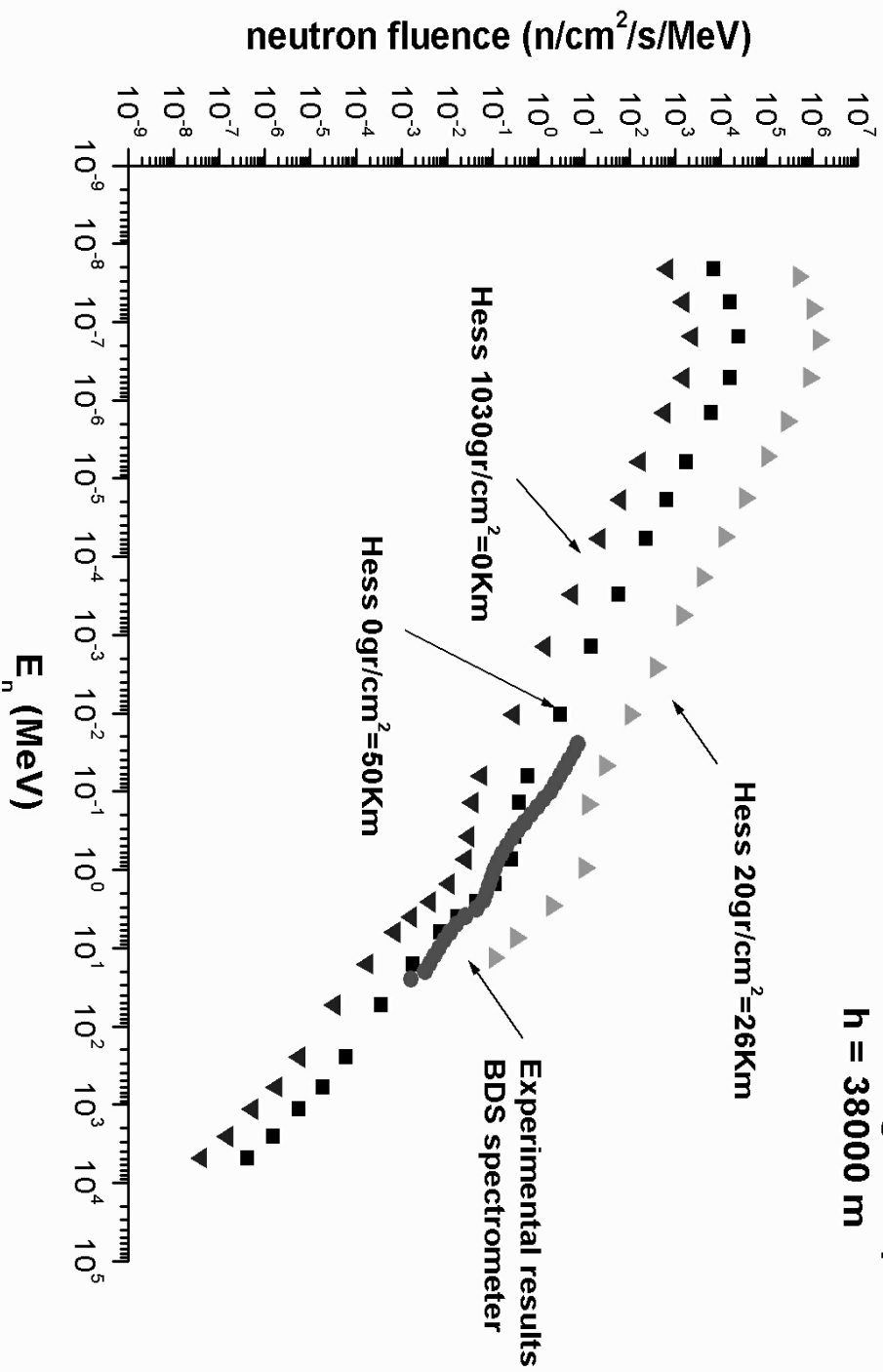


**QUOTA 25000m**





Birba 1, July 2001  
ASI flight Trapani Saviglia  
h = 38000 m





# Conclusioni

**E' stata studiata la componente ad alto LET da radiazione cosmica concentrando lo studio su neutroni e ioni pesanti**

- **Per i neutroni è stato utilizzato un sistema completo di dosimetria passiva accuratamente testato e utilizzato a quote diverse con soddisfacenti risultati.**

**Il sistema di dosimetria passiva usato permette di ricavare spettri neutronici e la corrispondente dose equivalente in un ampio intervallo energetico (da 10KeV a 100GeV). Gli spettri misurati sono in buon accordo con quelli simulati tramite GEANT3, e i valori di dose con i dati di letteratura. Può essere proposto come sistema di routine per dosimetria neutronica su voli aerei, palloni stratosferici e applicazioni spaziali (ISS, dosimetria su satelliti)**

**I risultati di questo lavoro sono stati presentati al congresso**

**“18th ECRS, European Cosmic Rays Symposium”, Moscow, Russia. 12-18 Luglio 2002**

**Dosimetry of Cosmic Ray Neutron Component in Atmosphere in a wide Energy Range**

**A. Zanini<sup>4</sup>, L. Tommasino<sup>3</sup>, C. Ongaro<sup>2</sup>, E. Durisi<sup>1</sup>, L. Visca<sup>1</sup>, S. DeAgostini<sup>1</sup>, F. Fasolo<sup>1</sup>, P.P. Trapani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Experimental Physics Department, University of Torino, Via P.Giuria 1, 10125 Torino, (Italy)

<sup>2</sup> Otto, P.zza Vittorio Veneto 14, 10123 Torino, (Italy)

<sup>3</sup> Divisione Metodologie e Misure, ANPA, Via V. Brancati 48, 00144 Roma, (Italy)

<sup>4</sup> INFN-Sez Torino, Via P.Giuria 1, 10125 Torino, (Italy)





# Collaborazioni e progetti di ricerca

**ASI, Agenzia Spaziale Italiana, progetto IORD per dosimetria su palloni nell'ambito di esperimenti biologici.**

**ESA, European Space Agency, progetto RADO (ESA-AO-2000-EXO-BIOPAN-30)  
progetto PHOTO (ESA-AO-2000-EXO-BIOPAN-30)**

**dosimetria all'interno del satellite PHOTON e nel modulo BIOPAN che sarà lanciato nell'ottobre 2002**

**ISS, dosimetria sull'International Space Station**

**ALENIA SPAZIO, studio effetto schermante di materiali utilizzati nella costruzione di veicoli spaziali**