

La radioprotezione dall'esposizione ai raggi cosmici

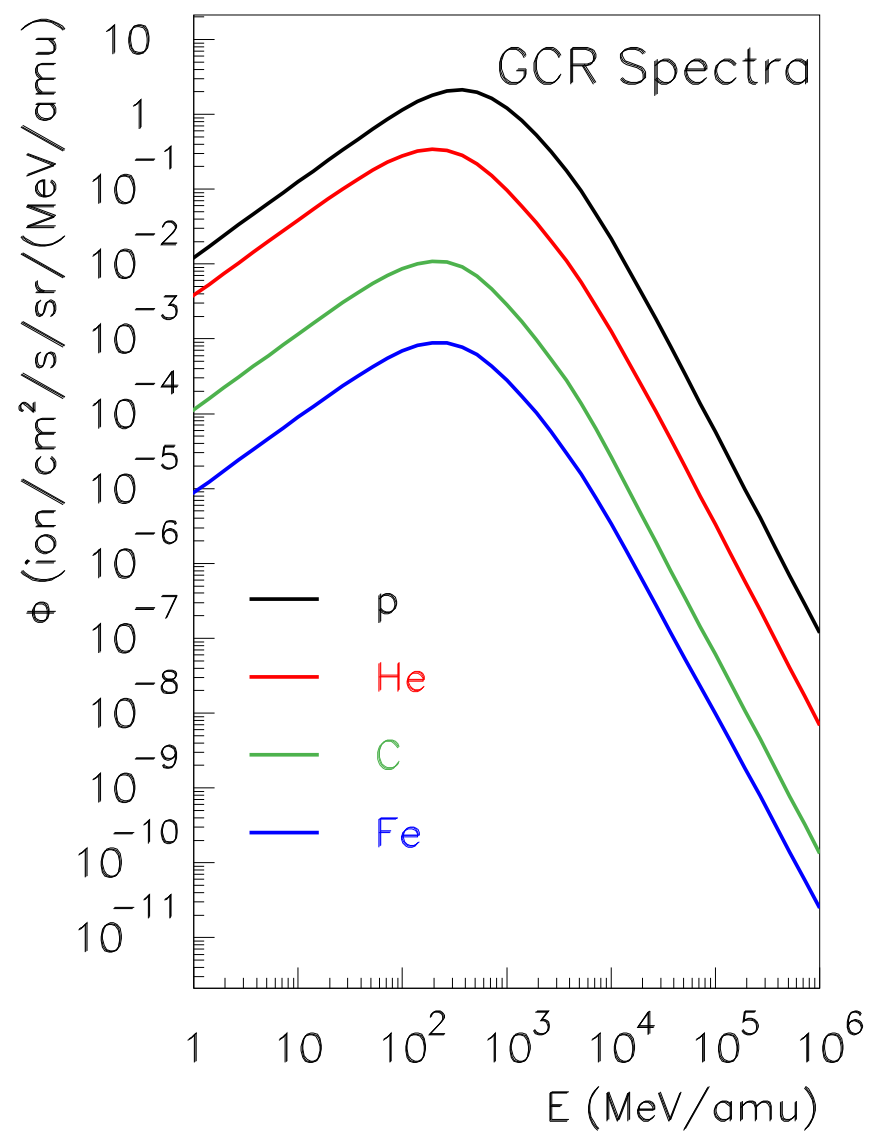
Maurizio Pelliccioni

Raggi Cosmici

- Componente di origine galattica (GCR)
- Componente di origine solare (SPE)

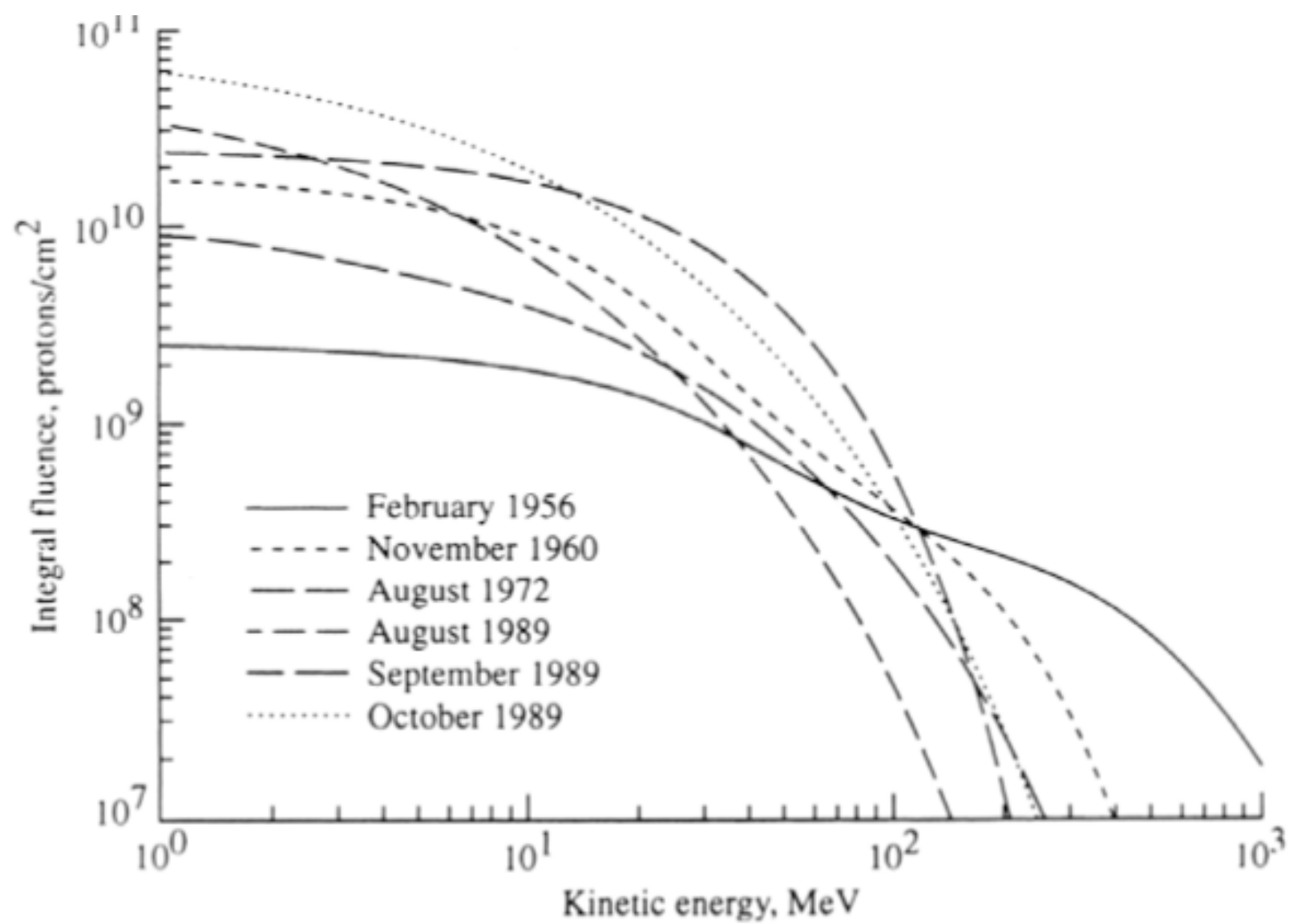
Componente di origine galattica (GCR)

- 85% protoni
- 12% nuclei He
- 1% nuclei pesanti
- 2% elettroni



SOLAR PARTICLE EVENTS (SPE)

- Composizione: protoni (90%) e nuclei di He (~ 9%) di energia fino a qualche GeV.
- Imprevedibili e di breve durata (ore, giorni).
- Periodi elevata attività solare: 3-10/anno
- Periodi bassa attività solare: ~ 1/anno



SPE 1956

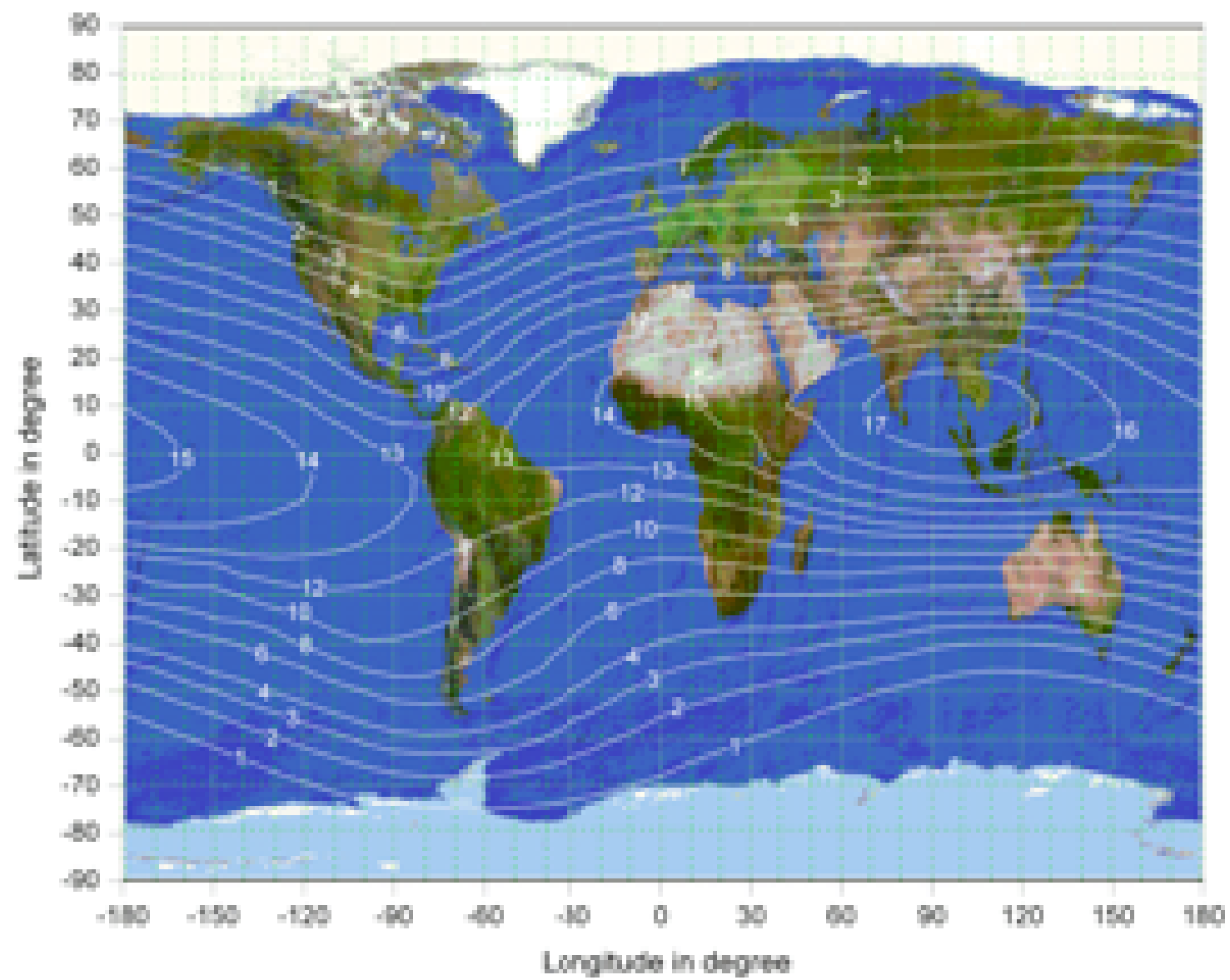
- 29 mSv a 20 km di quota
- 10 mSv a 12 km di quota

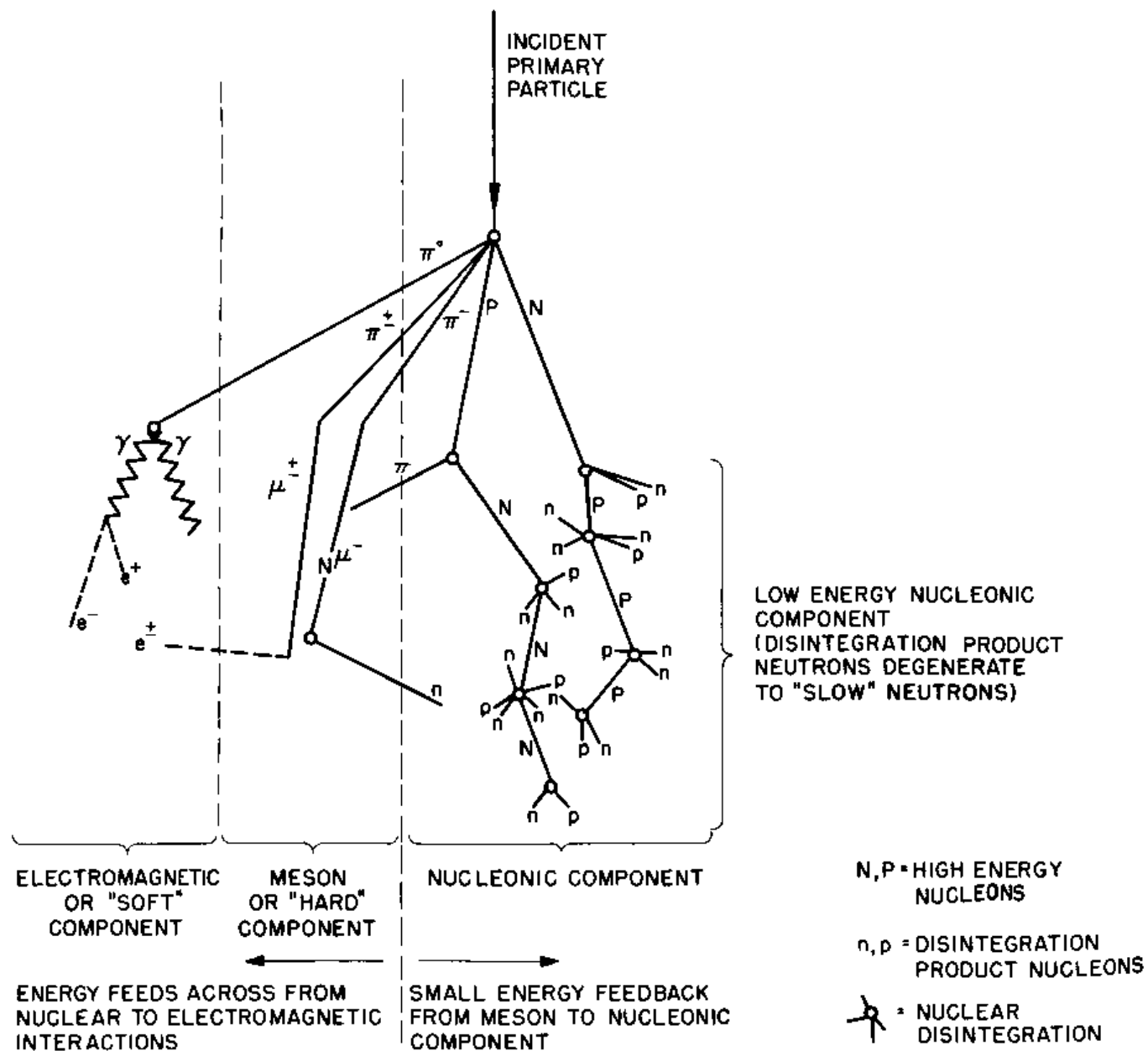
Campo di radiazione nell'atmosfera terrestre

- Il campo magnetico terrestre deflette le particelle cariche entranti a seconda della loro rigidità (pc/Ze) e dell'angolo di incidenza.
- Per ogni angolo di incidenza c'è una rigidità critica (cut-off geomagnetico) sotto la quale la particella non può raggiungere l'atmosfera terrestre.
- La rigidità critica verticale è data approssimativamente da:

$$R_V = 14.9 \cos^4 B_m$$

dove B_m è la latitudine geomagnetica





Schematic Diagram of Cosmic Ray Shower

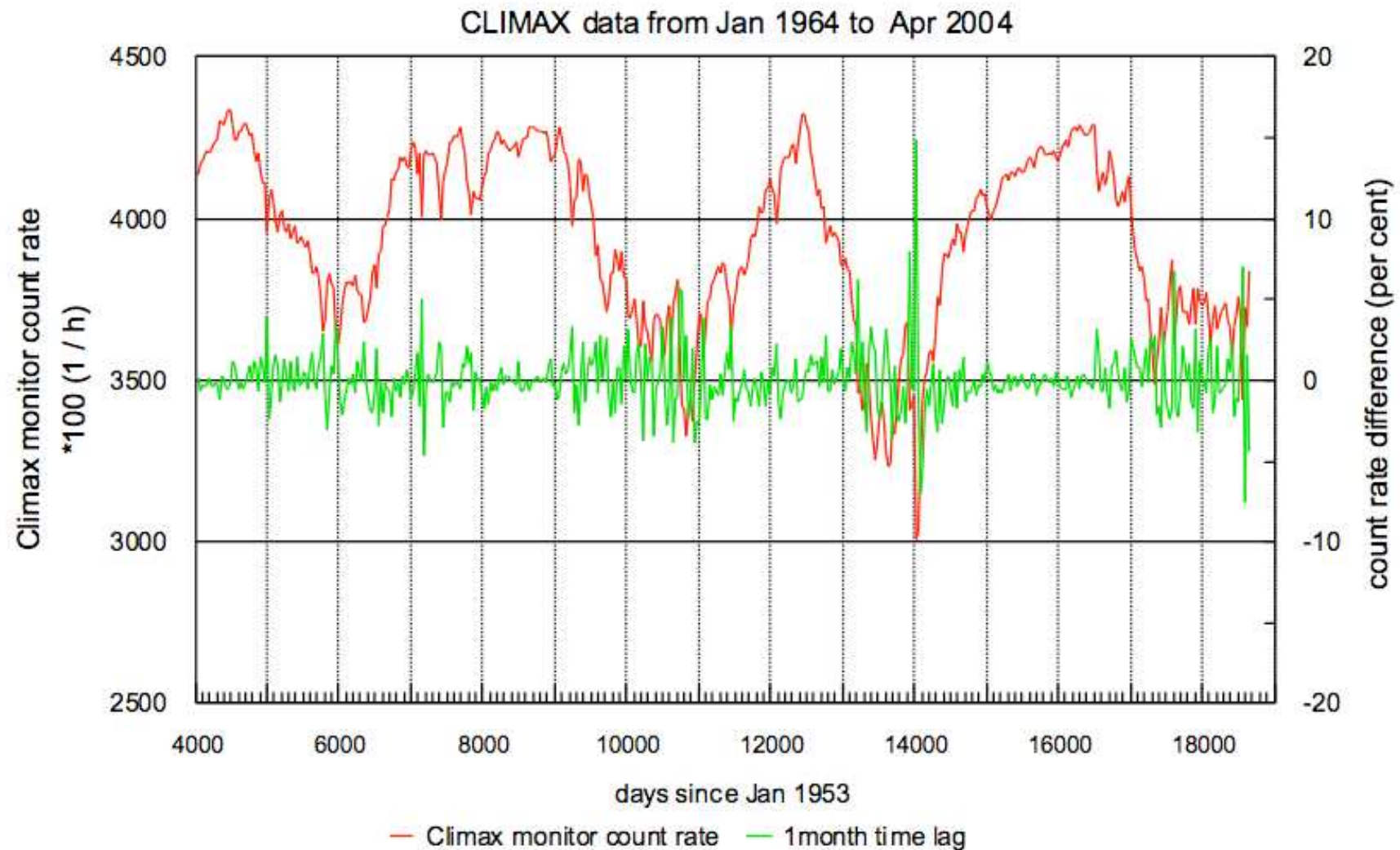
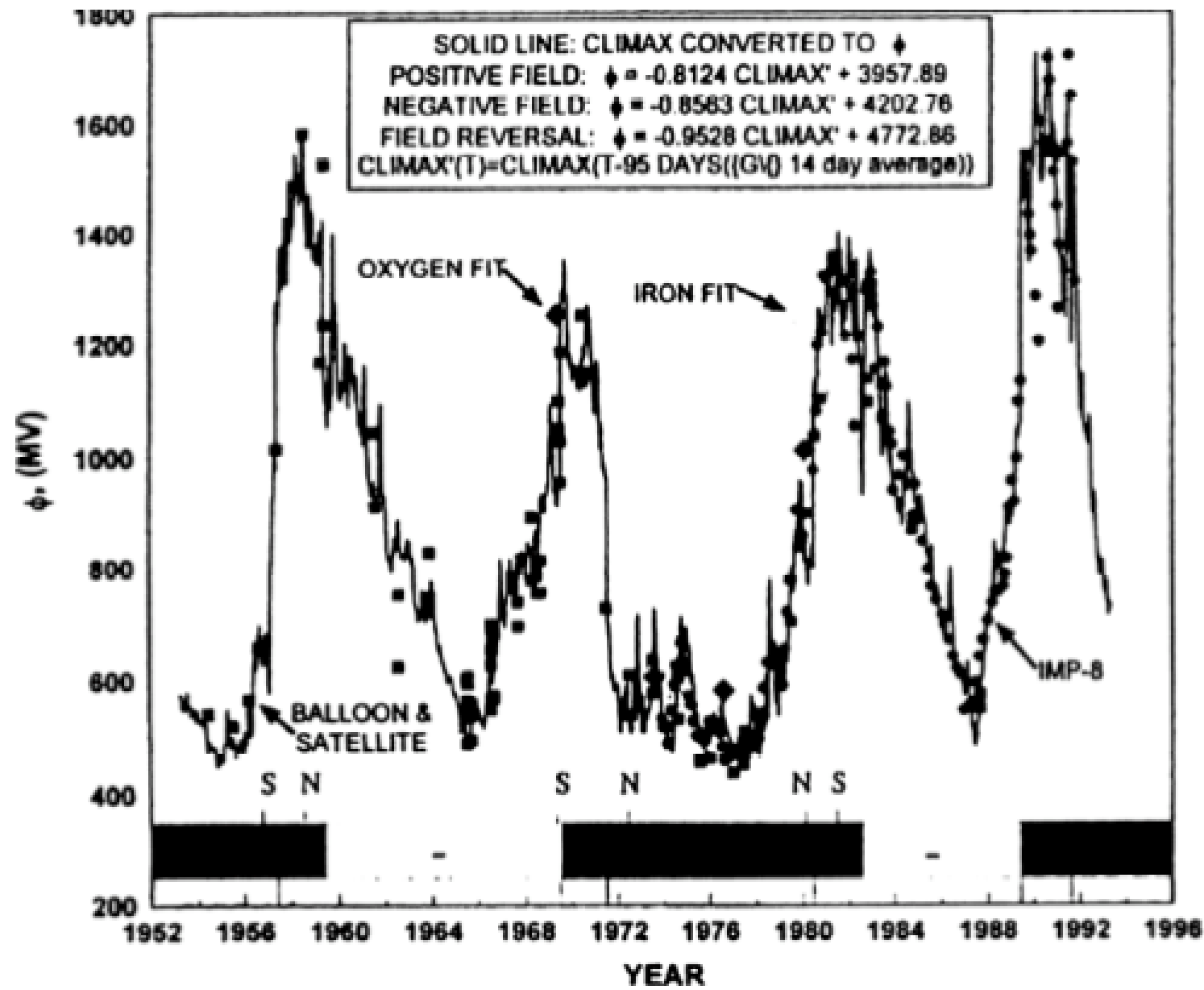
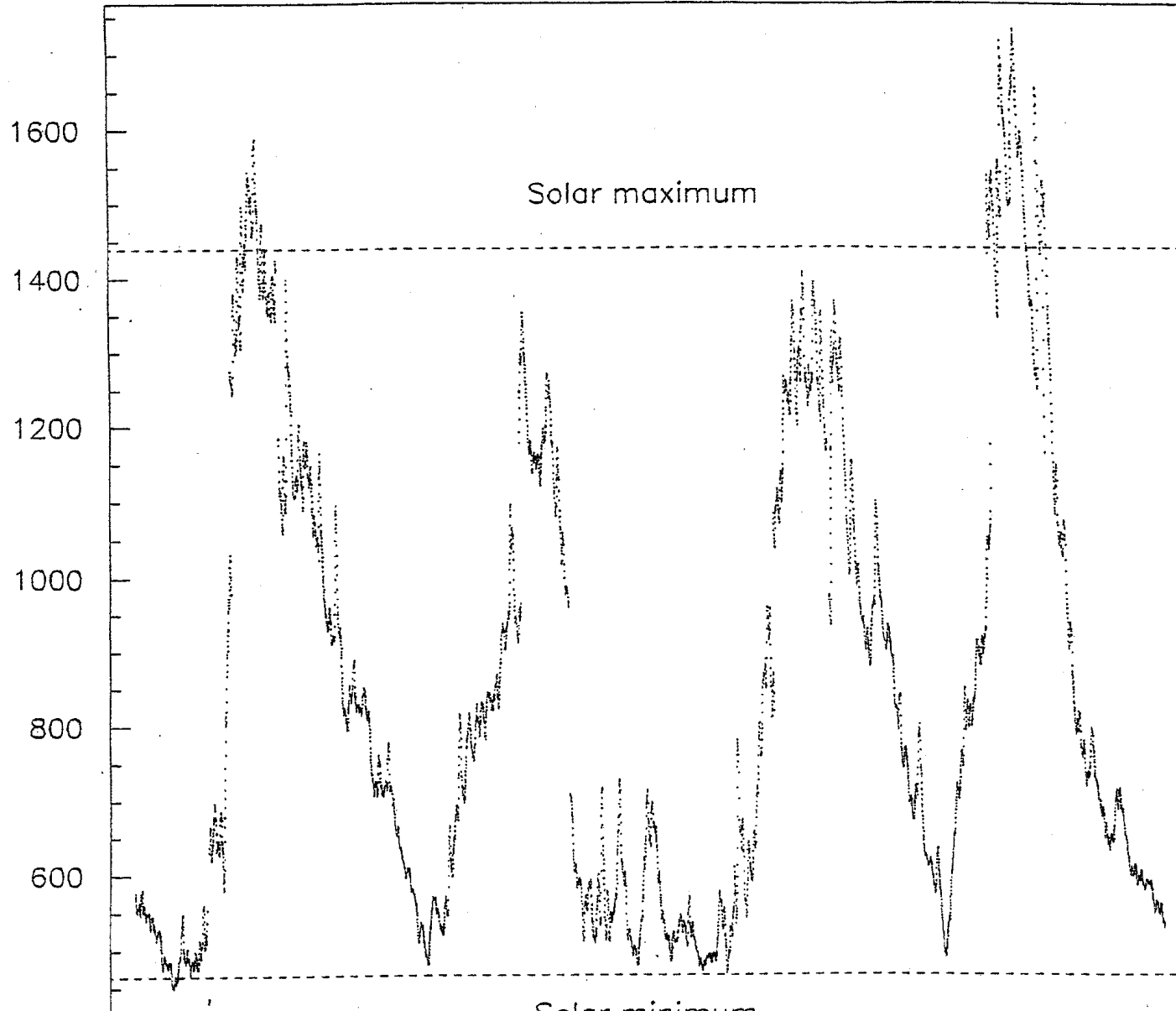


Figure 2: Count rate of the Climax neutron monitor (left scale, red curve) and the ratio of original data to those shifted by 1 month (right scale, green curve).

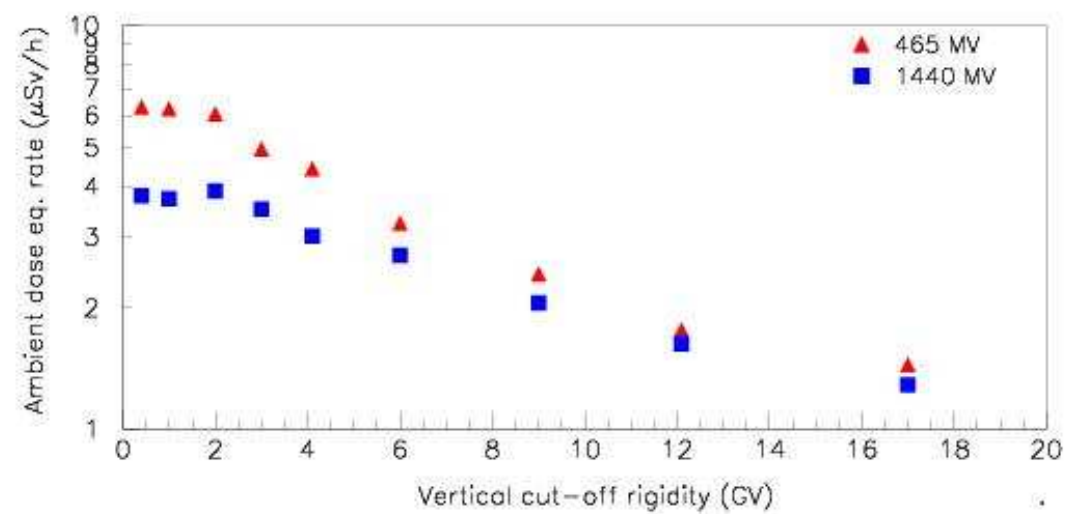
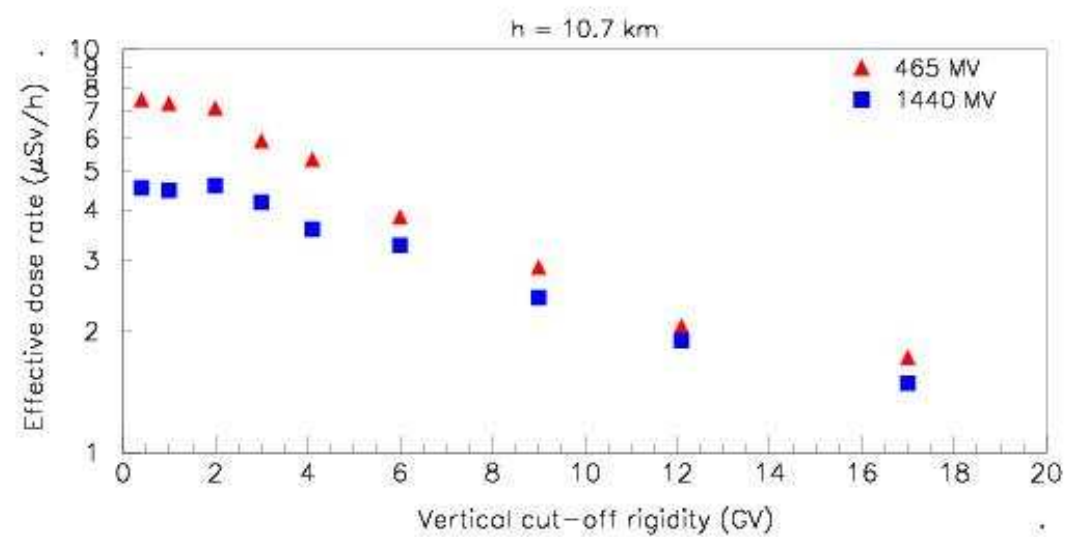


Modulation parameter, Φ (MV)



Dosi efficaci al suolo dovute ai raggi cosmici (mSv/anno)

- Componente direttamente ionizzante 0.3
- Neutroni 0.055



Dosi annuali ricevute da vari gruppi di lavoratori (fonte NRPB)

• Industria nucleare	3.6 mSv
• Equipaggi aerei	4.6
• Applicazioni medicali	2.7
• Radiografie industriali	3.4
• Aree alto radon	7.9

Gli aspetti normativi

ICRP Publication 60

- (136) To provide some practical guidance, the Commission recommends that there should be a requirement to include exposures to natural sources as part of occupational exposure only in the following cases:
 -
 - (c) Operation of jet aircraft,
 - (d) Space flight.

Basic Safety Standard (Directive 96/29/Euratom)

- Ciascun Stato Membro dovrà, per il personale suscettibile di ricevere più di 1 mSv per anno:
- valutare l'esposizione;
- tenerne conto nell'organizzazione dei turni di lavoro;
- informare i lavoratori dei rischi connessi;
- applicare al personale femminile le tutele previste nell'Art.10.

BSS 2012

(Par. 5.32 Existing exposure situations)

In accordance with para. 5.31:

- (a) Where the dose of aircrew members is likely to exceed the reference level, employers of aircrew:
 - (i) shall assess doses and keep records;
 - (ii) shall make records available to aircrew members;
- (b) Employers:
 - (i) shall inform female aircrew members of the risk to the embryo or fetus due to exposure to cosmic radiation and of the need for early notification of pregnancy;
 - (ii) shall apply the requirements of para. 3.114 in respect of notification of pregnancy.

Radiation Protection 85 (European Commission)

Exposure of air crew to cosmic radiation

- Voli sopra 8000 m richiedono la classificazione B per i membri dell'equipaggio
- Sopra 15000 metri deve essere presente un monitor per la misura continua del rateo di dose

D.Lgs. 230/95+D.Lgs. 241/00

art. 10 bis

Le disposizioni del presente capo si applicano alle attività lavorative nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico, che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione. Tali attività comprendono:

.....

f) attività lavorative su aerei per quanto riguarda il personale navigante

.....

Punto 7 dell'Allegato 1 bis

Attività di volo

< 8000 m

Nessun obbligo di legge

8000 – 15000 m

**Valutazione di E per mezzo di
codici di calcolo**

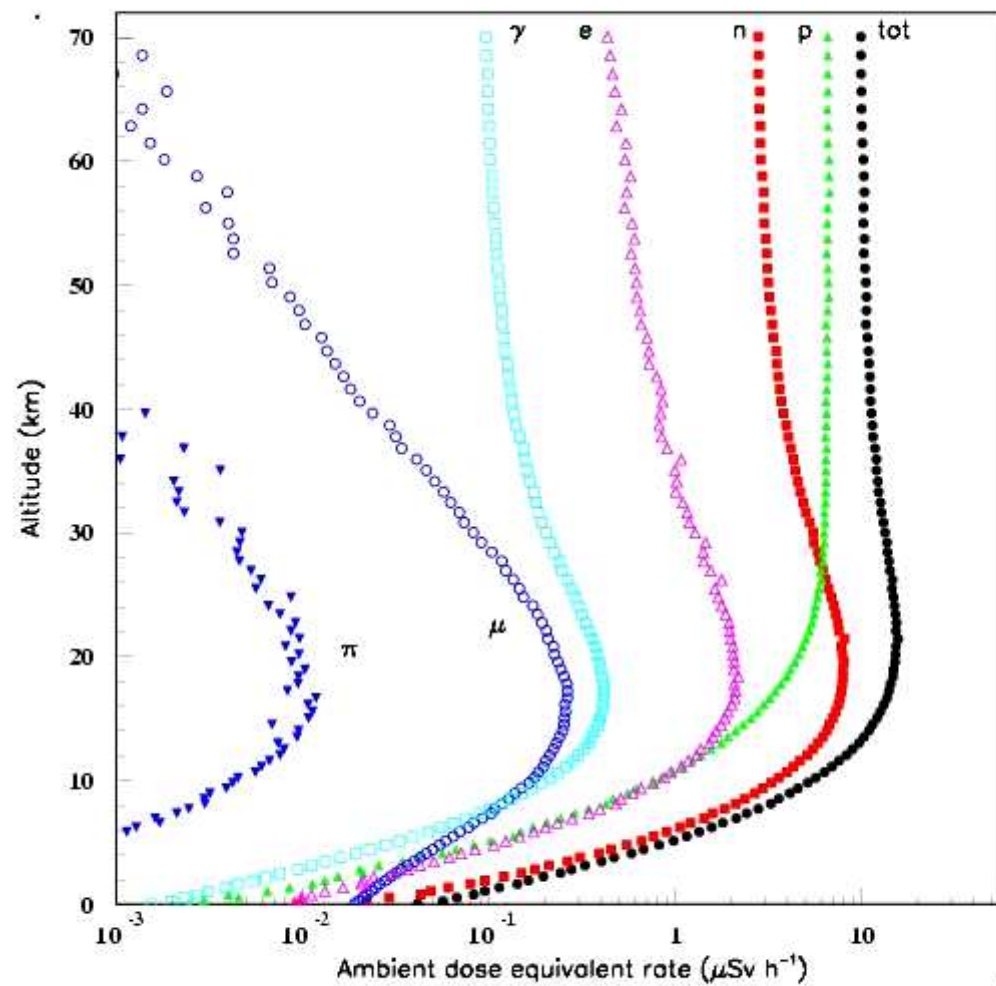
> 15000 m

**Valutazione di E per mezzo di
codici di calcolo + dispositivi
attivi per segnalare variazioni
significative di breve durata**

Metodi e codici di calcolo

- CARI
- EPCARD
- PC-AIRE
- SIEVERT
- IASON-FREE
- FLUKA
- Etc.

0.4 GV - 465 MV



0.4 GV - 465 MV

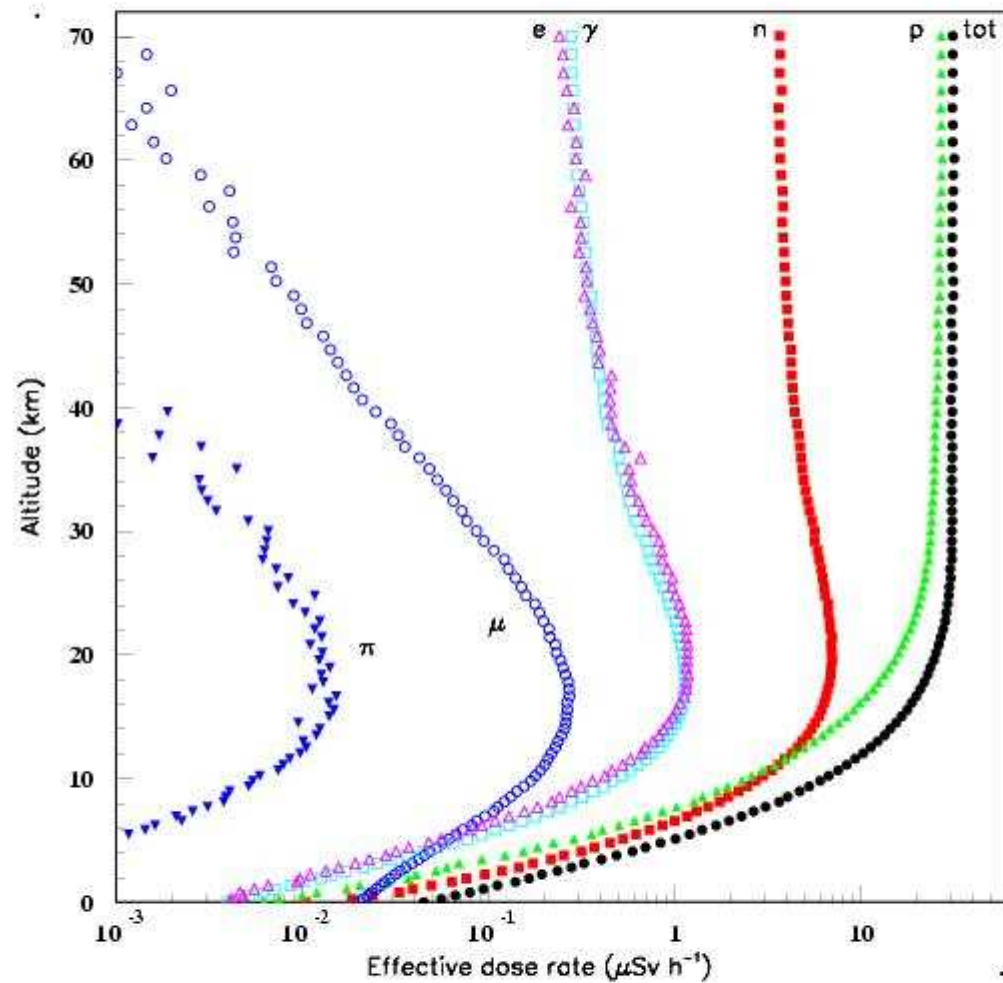
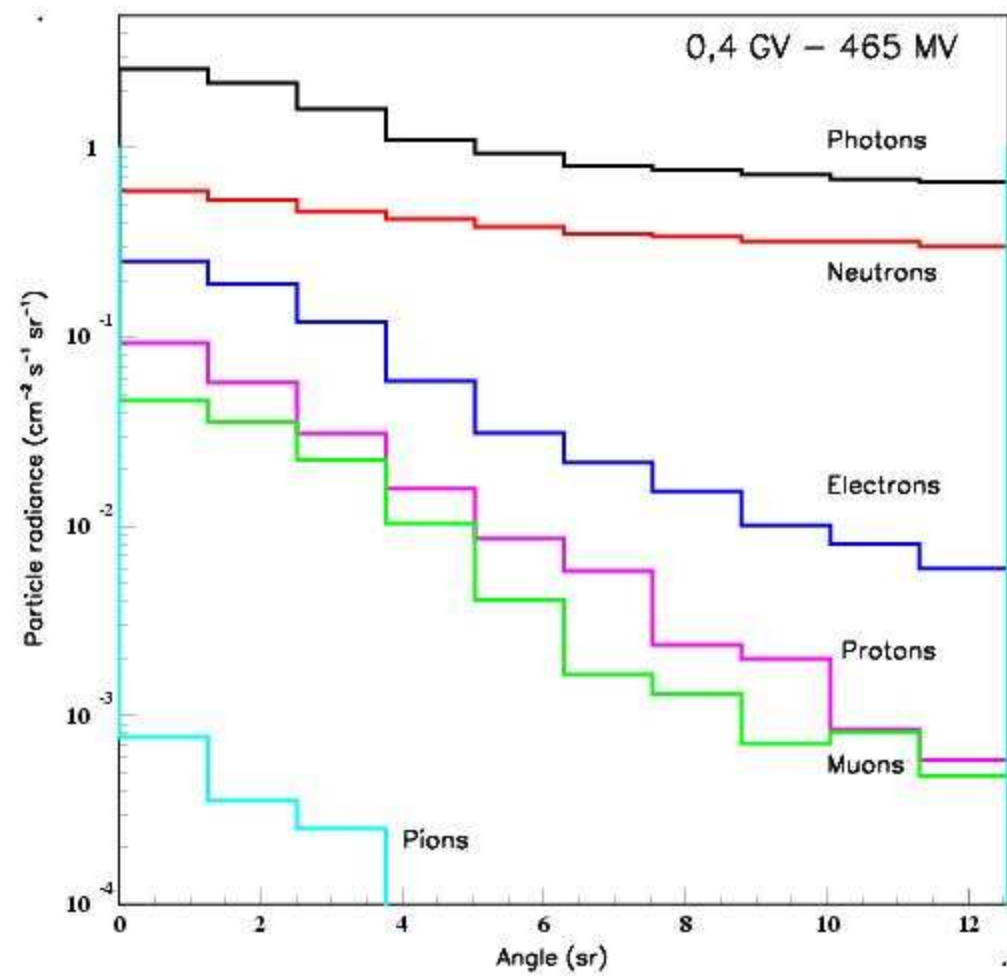


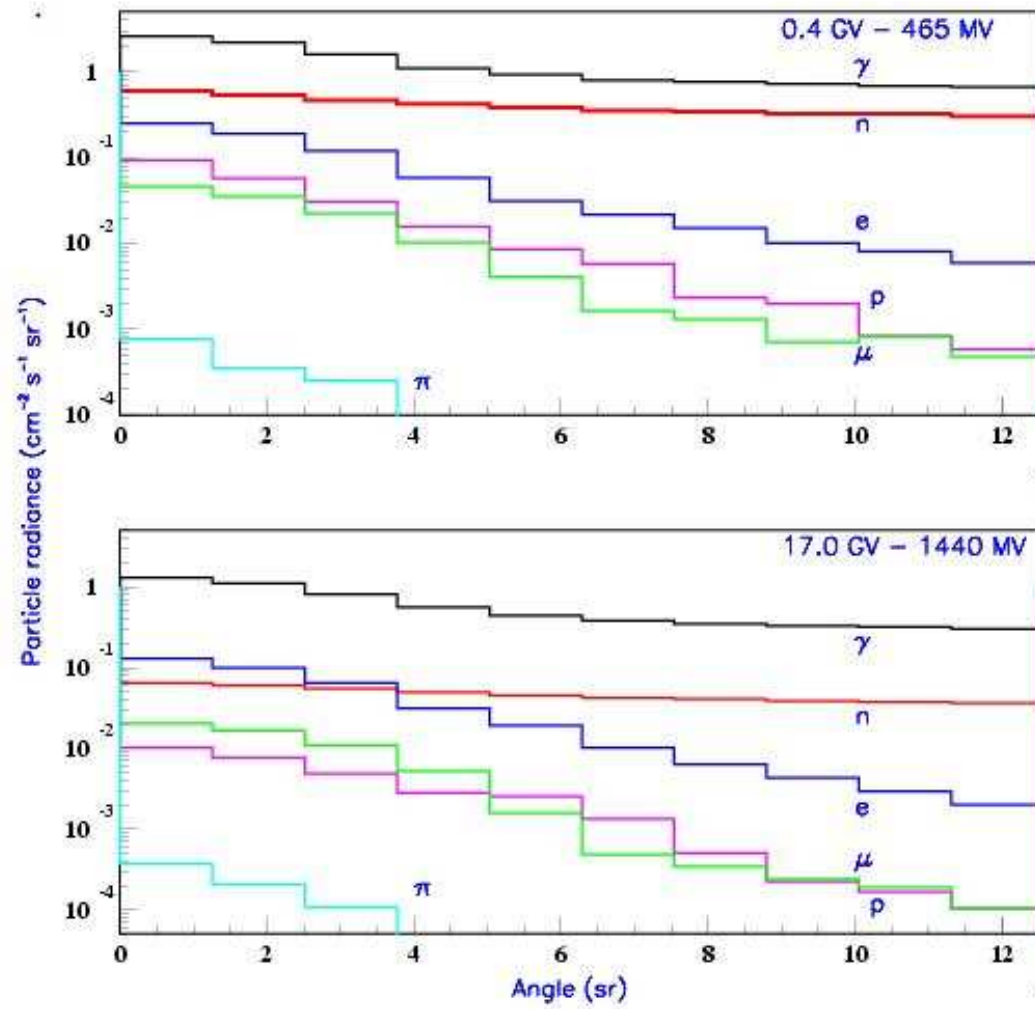
Table 2.2.5.1 Comparison of sample of route doses calculated by EPCARD, in terms of effective dose, E , and ambient dose equivalent, $H^*(10)$. The doses are valid for the solar modulation conditions at the indicated date.

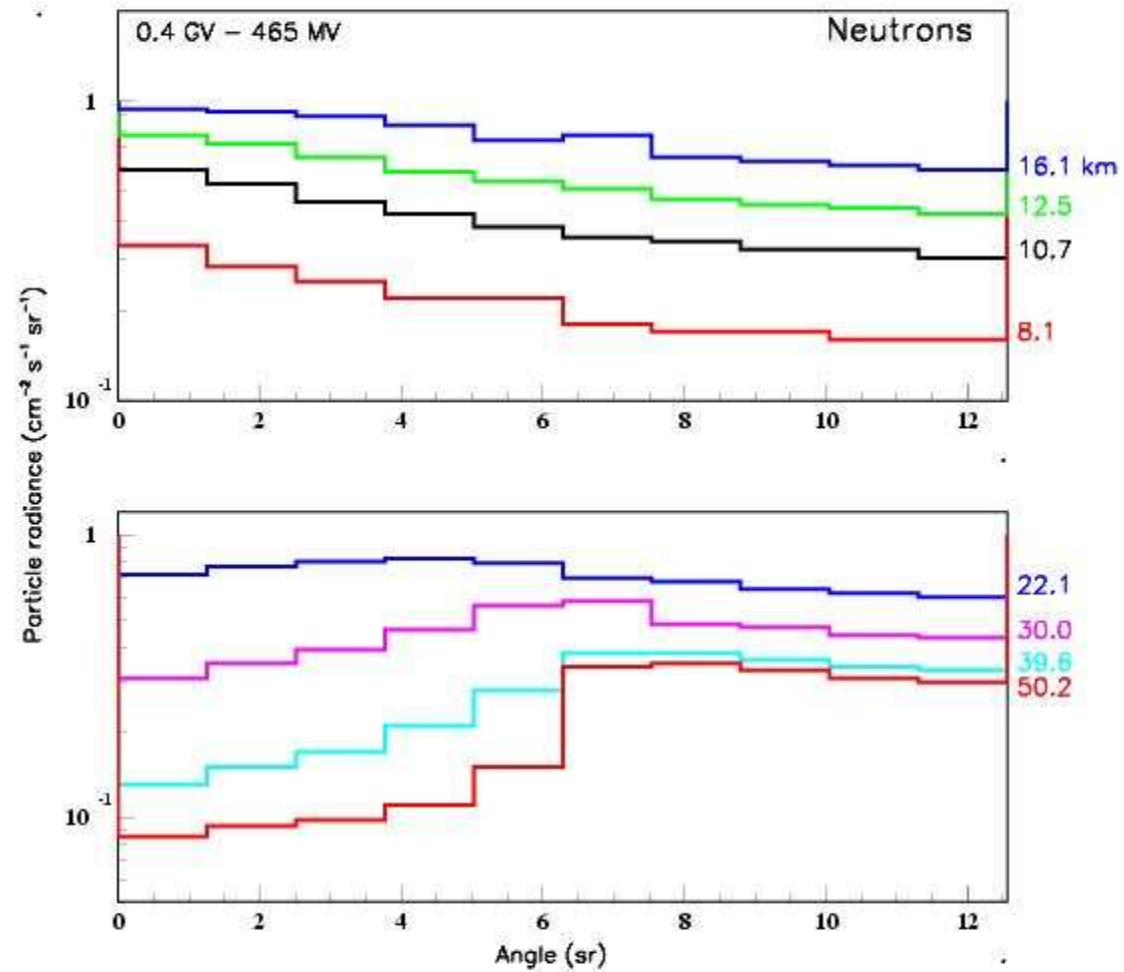
Flight Route	Date	EPCARD	
		Effective Dose (μSv)	Ambient Dose Equivalent (μSv)
Helsinki - New York (JFK)	27-Mar-98	49.7	42.7
Copenhagen - Bangkok	13-Dec-98	30.2	26.5
Paris - Washington	14-Jan-98	54.5	45.5
San Francisco - Paris	04-Mar-96	76.2	64.4
Paris - San Francisco	03-Mar-96	84.9	71.3
London - Tokyo 1997/06	Jun-Jul 97	67.0	57.4
Prague - Dubai	14-May-92	18.2	15.9
Frankfurt - New York	27-Oct-97	43.0	36.7
Madrid - Santiago de Chile	13-Mar-01	27.5	24.9
Madrid - Johannesburg	11-Aug-01	17.7	16.1

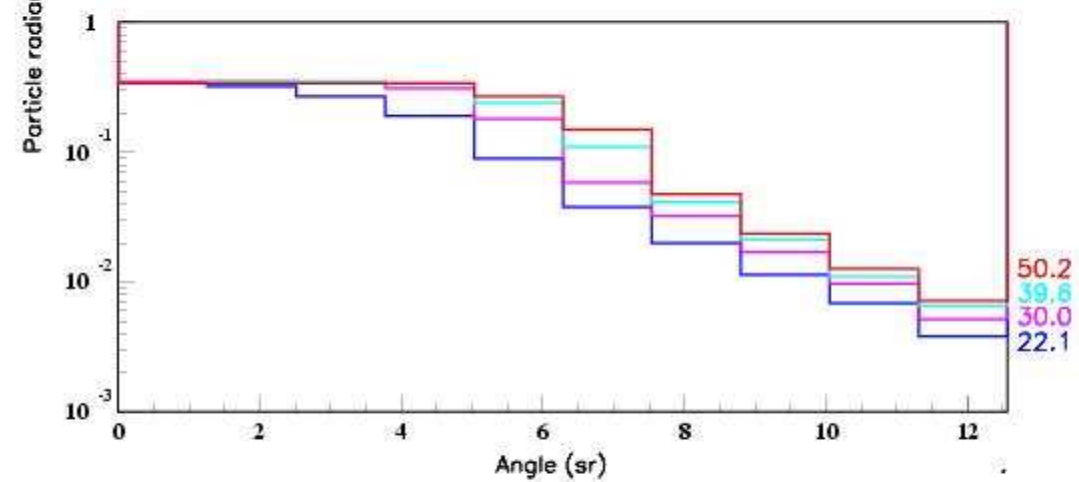
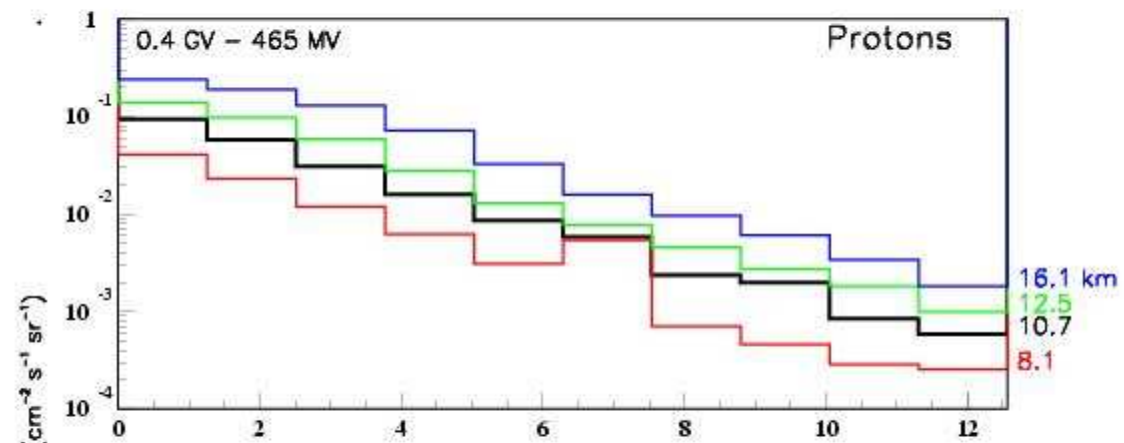
Sul rapporto $E/H^*(10)$

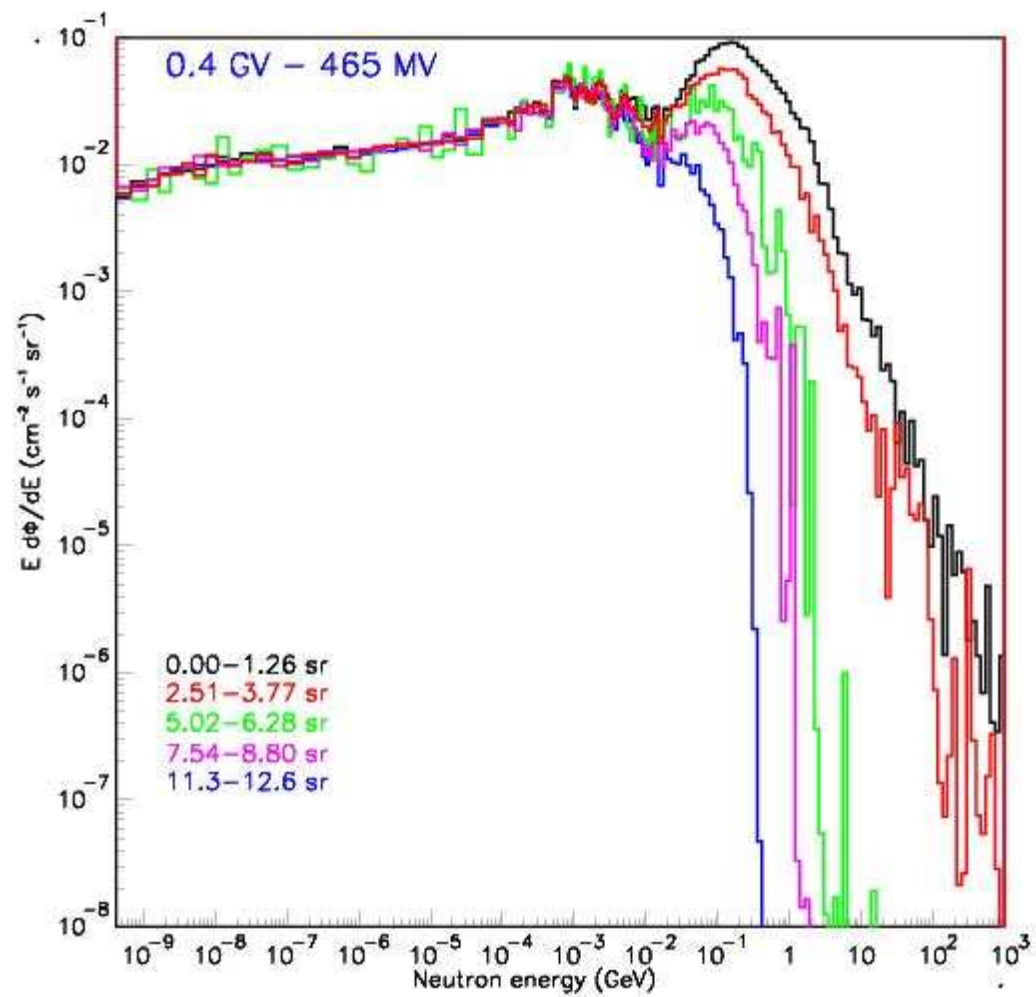
- Secondo la Pubblicazione ICRP 60
- Secondo la Pubblicazione ICRP 103

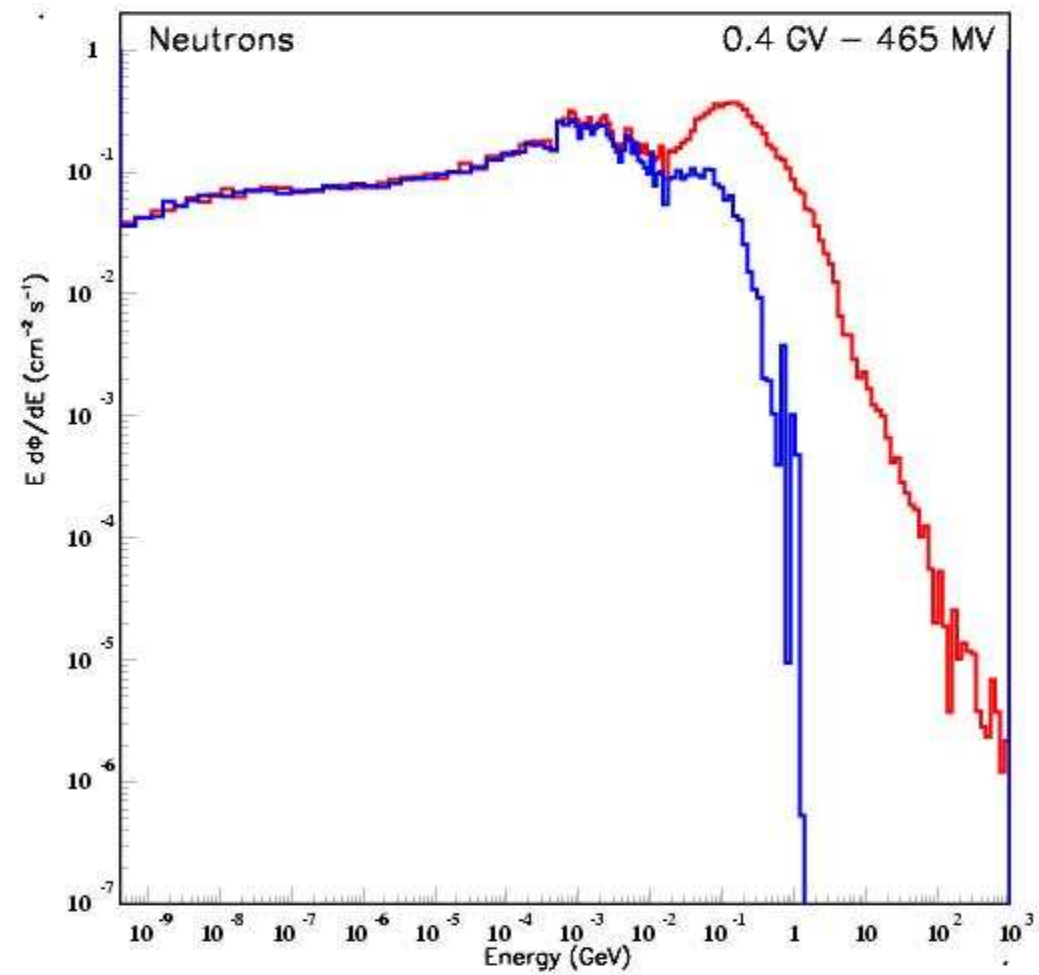


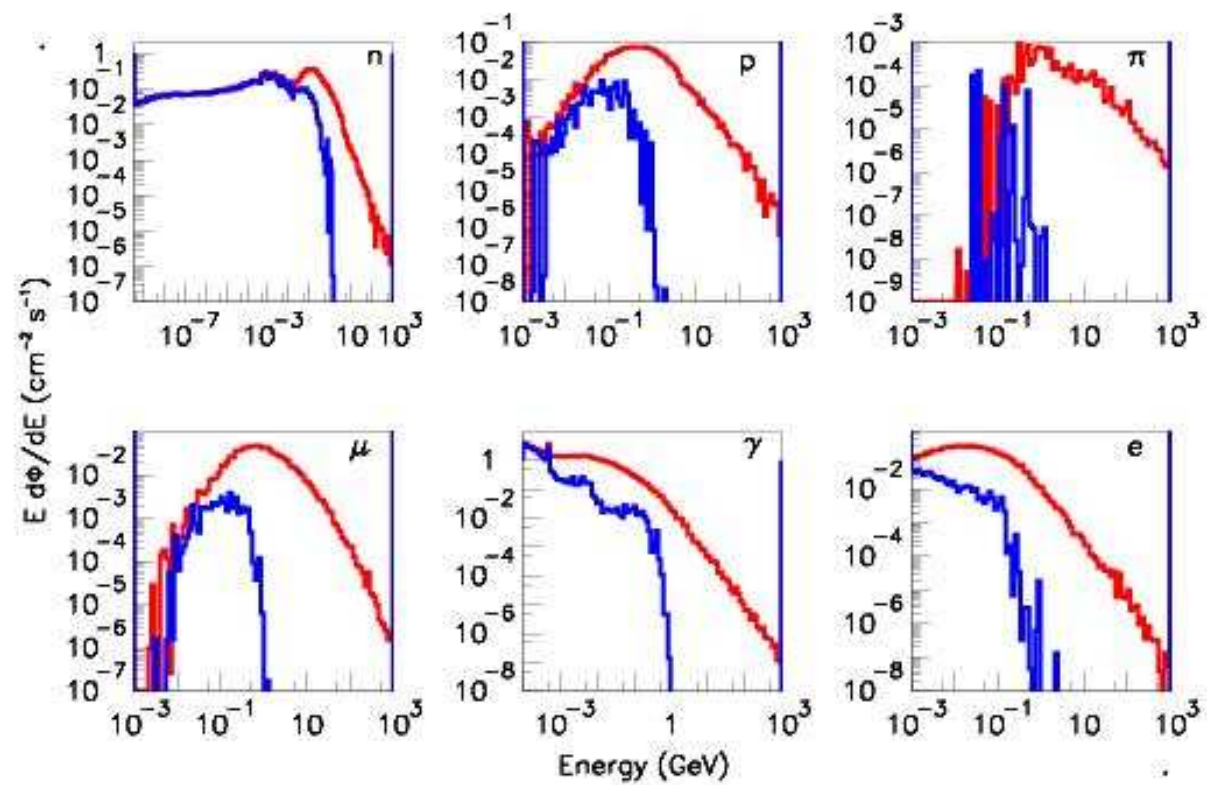












Metodi di misura

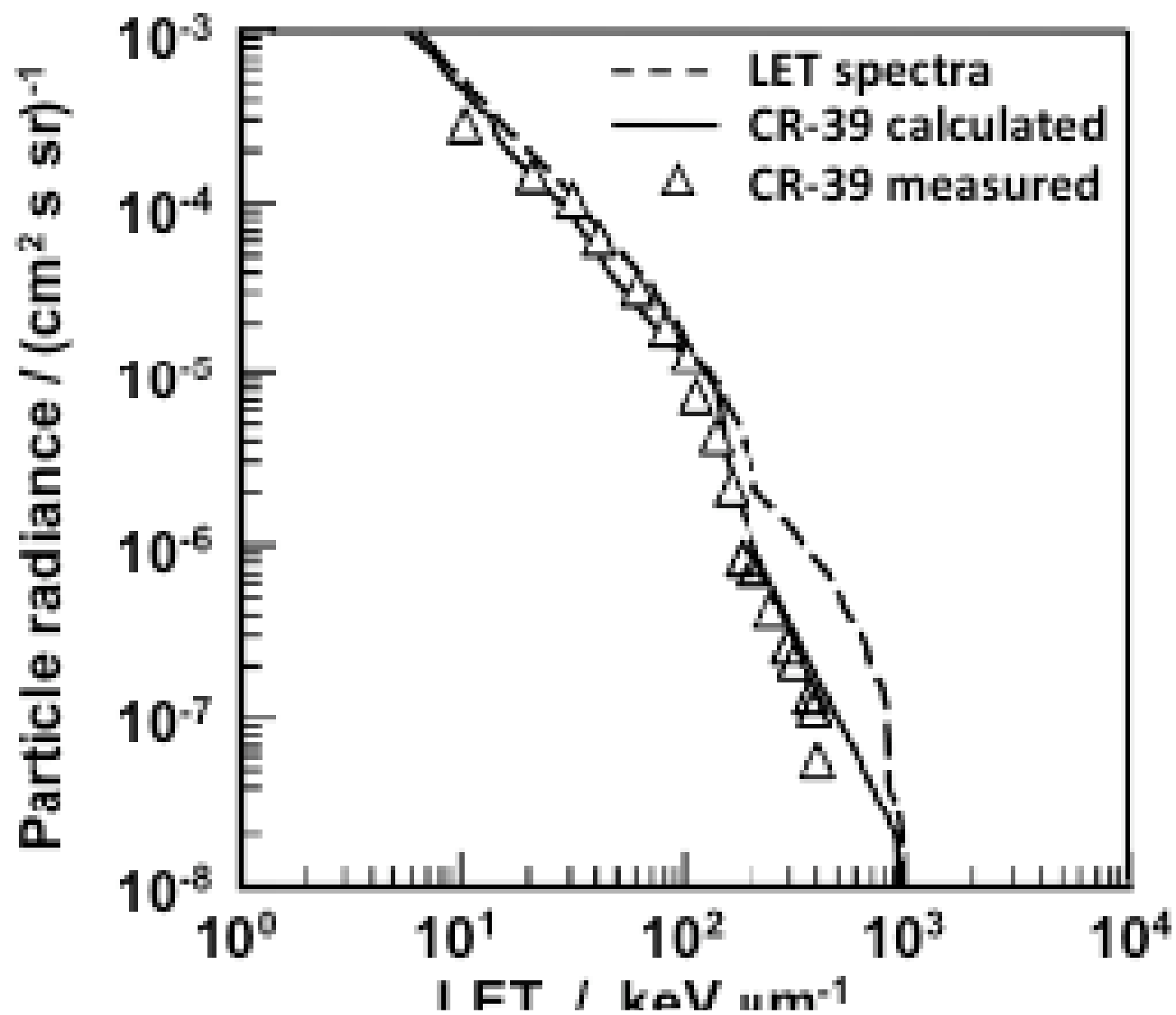
- Low-LET ($< 10 \text{ keV}/\mu\text{m}$)
High-LET ($> 10 \text{ keV}/\mu\text{m}$)
- Neutron component
Non neutron component

- The low LET and the non-neutron component can be measured using a TEPC, an ionization chamber, G-M detector, silicon-based detector, scintillation detector, or a passive luminescence or ion storage detector.
- The high LET and/or neutron component can be measured using a TEPC, an extended range neutron survey meter or multi-sphere spectrometer, or passive etched track detectors, bubble detectors or fission foils with damage track detector.

UN CENNO AI RAGGI COSMICI NELLO SPAZIO

Sorgenti di radiazione nello spazio

- Oltre a GCR e SPE c'è una terza sorgente, le fasce di Van Allen.
- e^- fino a 7 MeV, p fino a 600 MeV +..
- Si estendono da 200 km a 75000 km.
- Scendono fino a 200 km dalle parti del Brasile producendo la cosiddetta South Atlantic Anomaly (SAA)
- EVA



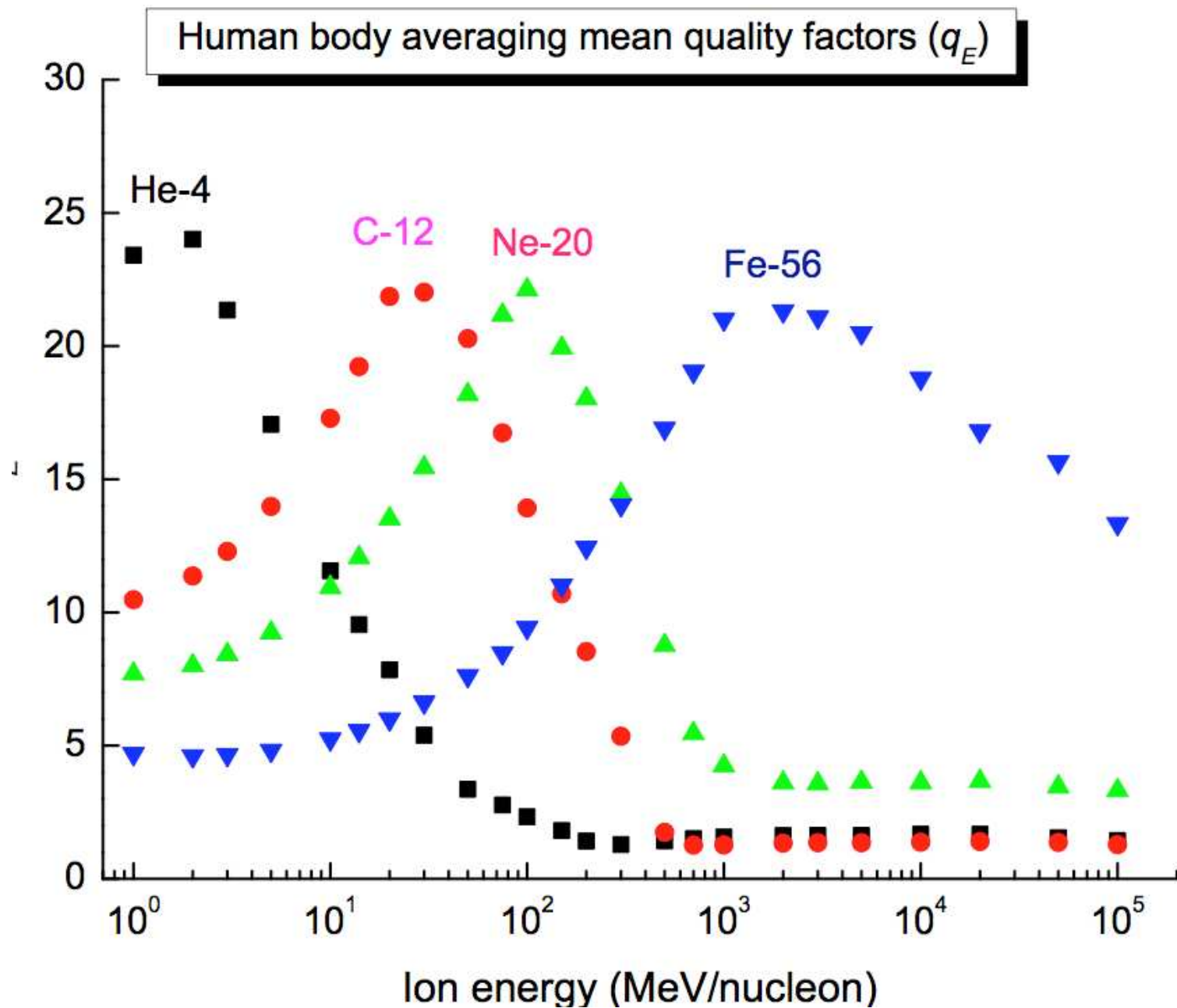
Grandezze in uso per lo
spazio

Fattore di ponderazione della radiazione

- Il valore $w_R=20$ raccomandato nelle Pubblicazioni ICRP non riflette la variazione dell' RBE con il tipo e l'energia degli ioni.
- Si preferisce l'uso di un fattore di qualità medio in un organo o tessuto T, Q_T .
- $Q_T(\text{LET})$, $Q_T(Z^2/\beta^2)$

Fattore di qualità medio in un organo o tessuto

$$Q_T = \frac{1}{m_T D_T} \int \int_L Q(L) D_L dL dm$$



Equivalente di dose medio in
un organo o tessuto

$$\bar{H}_T = Q_T D_T$$

Equivalente di dose efficace

$$H_E = \sum_T w_T \bar{H}_T$$

$$H_E = \sum_T w_T \bar{H}_T^M$$

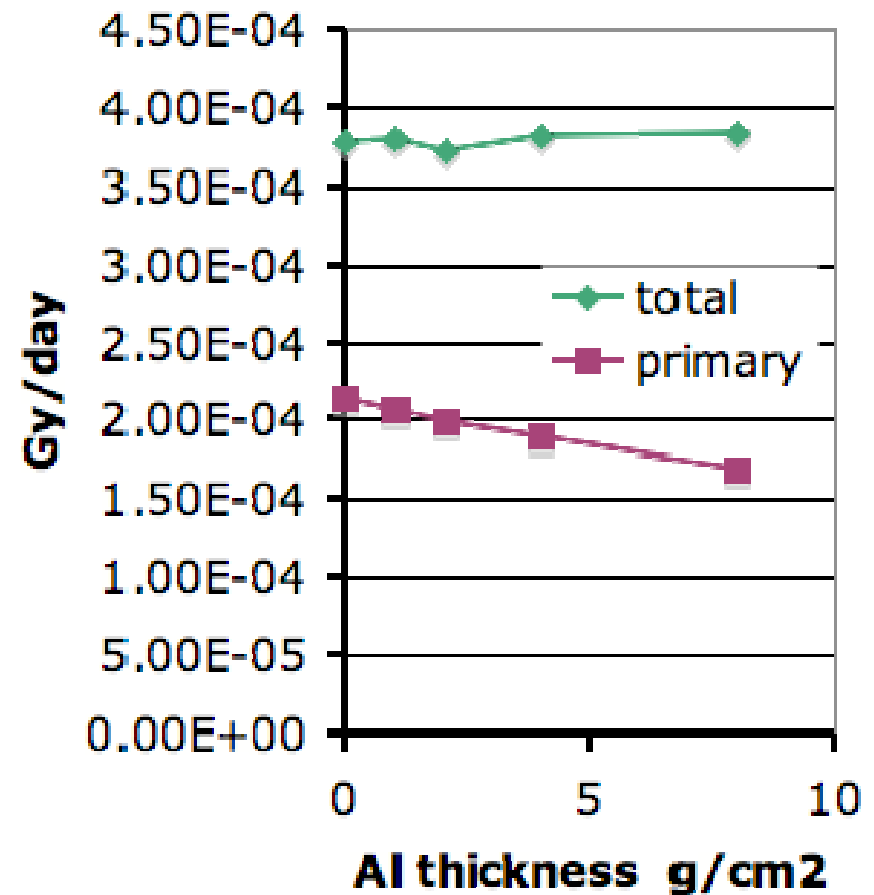
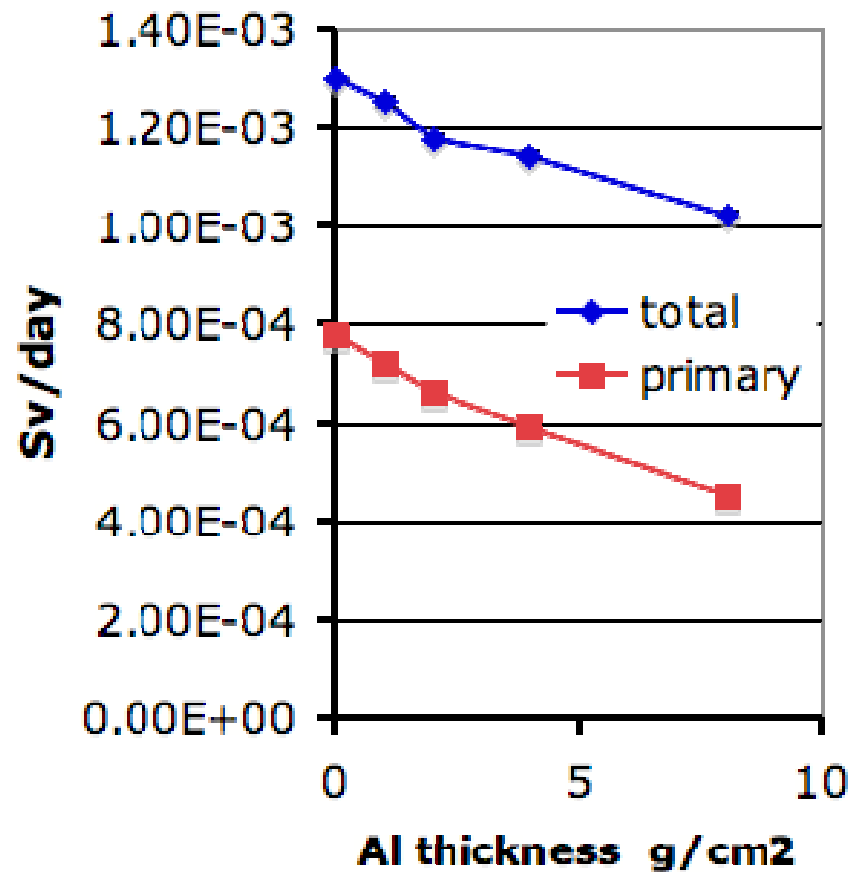
$$H_E = \sum_T w_T \bar{H}_T^F$$

GCR open space Al 1 g/cm²

Dosi a RBM

- Dose assorbita 0.38 mGy/giorno
- Equivalente di dose 1.26 mSv/giorno
 - $Z = 1$ 31%
 - $Z = 2$ 11%
 - $2 < Z \leq 8$ 13%
 - $8 < Z \leq 14$ 16%
 - $Z > 14$ 29%

Open space doses (RBM) due to GCR's vs Al thickness



SPE 20/9/05 open space Al 1 g/cm²

Dosi alla pelle

- Dose assorbita 1.36 Gy
- Equivalente di dose 6.16 Sv
 - $Z = 1$ 20%
 - $Z = 2$ 15%
 - $2 < Z \leq 8$ 20%
 - $8 < Z \leq 14$ 25%
 - $Z > 14$ 20%