



USO DEL FANTOCCIO ANTROPOMORFO PER DOSIMETRIA INTERNA IN ATMOSFERA

APPLICAZIONI

Popolazioni residenti in alta quota

Dosimetria sui voli aerei

Dosimetria nei voli spaziali



Obiettivo della tesi

Estensione dell'uso del fantoccio antropomorfo Jimmy, per dosimetria neutronica agli organi, in campi neutronici di alta energia:
misure sperimentali e confronto con codici di simulazione Monte Carlo

- Misura di spettri neutronici a varie quote
Spettrometro BDS
- Valutazione della dose agli organi in termini di equivalente di dose ambientale neutronica $H^*(10)$

↙
Misure:
BD-100R

↘
Simulazione
codici Monte Carlo
MCNP-4B, MCNPX



Motivazioni

ICRP 60

**Necessità di una valutazione accurata della dose assorbita:
le sorgenti naturali sono incluse nell'esposizione professionale**



- 1. Residenti in alta quota (sopra i 4000 m)**
- 2. Dosimetria voli commerciali**
- 3. Voli militari ad alta quota (Tornado 20000 m)**
- 4. Permanenza sulla ISS**

Neutroni componente rilevante della dose totale



Utilizzo di fantocci specifici per la dosimetria neutronica



Raccomandazioni radio-protezionistiche

ICRP 60:

Soggetti	Esposizione (mSv/anno)	Valutazioni dosimetriche
Popolazione	<1	Nessuna
Lavoratori esposti categoria A	<100 in 5 anni di cui al max. 50 in 1 anno	Valutazione sistematica della dose individuale
Lavoratori esposti di categoria B	<6	Sorveglianza fisica dell'ambiente di lavoro

Occupazione	Esposizione annua (mSv/anno)
Addetti centrali nucleari	4.76
Tecnici di radiografia industriale	3.34
Personale reparti medicina nucleare	1.22
Piloti e assistenti di volo	1-5

da Health Protection Branch.,
"1998 Report on Occupational
Exposures in Canada",
Environmental Health directorate

Art.42 Consiglio direttivo Euratom (13/05/1996):

Devono essere effettuate campagne di misura per gli equipaggi esposti a più di 1mSv/anno.



Esposizioni in quota

1. Cervinia, Laboratorio Testa Grigia
h=3480 m,
45° 56' 03" N, 7° 42' 28" E



2. Voli Alitalia AZ784/11, AZ784/12
Roma-Tokyo-Roma
h=11500m,
35° 45' 9" N, 14° 23' 2" E
68° 30' 5" N, 7° 33' 4" E



3. Volo ASI BIRBA1,
h=38000m,
36° N





Strumentazione

Codici di simulazione:

MCNP4B-GN

(sviluppato dall'INFN di Torino)
trasporto di elettroni, fotoni
 $E < 100\text{MeV}$;
neutroni $E < 30\text{ MeV}$

MCNPX

trasporto di elettroni, fotoni
e neutroni
 $E < 5\text{ GeV}$

GEANT 3

trasporto delle cascate
adronica ed
elettromagnetica
 $10\text{ keV} < E < 10\text{ TeV}$

Misure sperimentali:

Spettrometro a bolle (BDS) rivelatori integrali BD-100R

- Valutazione degli spettri neutronici a varie quote
- Valutazioni dosimetriche agli organi critici (ICRP 60)

Fantoccio:

Fantoccio antropomorfo JIMMY

- Tessuto equivalente
- Cavità in corrispondenza degli organi critici
- **Conservativo rispetto ai fantocci standard**
(intercalibrazione rispetto alla sfera ICRU e al fantoccio ad acqua presso il JRC, Ipra)



MCNPX

Nuovi dati nucleari valutati per neutroni e protoni fino a 150 MeV
Sezioni d'urto valutate per le interazioni fotonucleari

Proprietà delle subroutine inserite:

- Basse energie MCNP4B
- Alte energie FLUKA

Modelli fisici per energie fino a 5 GeV

1. Interazione particella-nucleo:
modellizzata utilizzando sezioni d'urto particella incidente
singolo nucleone (INC)
2. diseccitazione del nucleo:
frammentazione nuclei leggeri
spallazione e fissione nuclei pesanti ($A > 17$)



TEST MAX-LAB

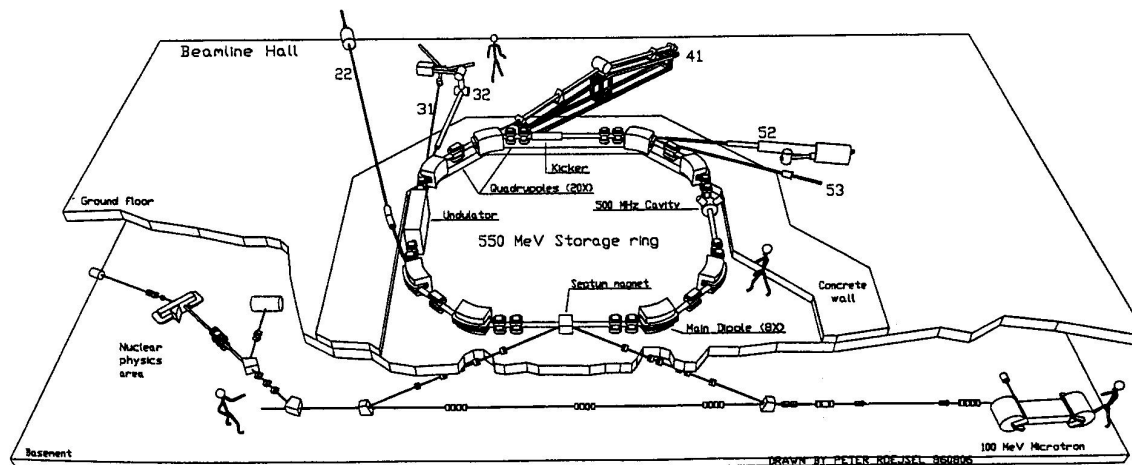
(Lund, Svezia)

Microtrone iniettore

e^- fino a 100MeV

Anello di accumulazione

E_{\max} 550 MeV



- Esposizione del fantoccio ad un campo diretto di fotoni
- Esposizione ad un campo misto di fotoni e neutroni



STUDIO PRELIMINARE DI DOSIMETRIA IN QUOTA

- Analisi degli spettri delle varie componenti della cascata cosmica alle varie quote (GEANT3)
- Calcolo delle dosi ambientali relative alle varie particelle utilizzando i fattori di conversione flusso dose ambientale pubblicati :

$E < 180 \text{ MeV}$ fotoni, neutroni, elettroni: **ICRP 74**

$E > 180 \text{ MeV}$ (tutte le particelle): A. Ferrari, M. Pelliccioni, T. Rancati, "Overview of fluence-to-effective-dose and fluence-to-ambient dose equivalent conversion coefficients for high energy radiation calculated using the FLUKA code", Rad.Prot.Dos. 88,4 (2000).



Confronto con i dati pubblicati

	3.6 km	5.2 km	12 km	38 km
Neutroni ($\mu\text{Sv/h}$)	0.16	0.31	5.1	4.2*
Protoni ($\mu\text{Sv/h}$)	0.014	0.024	2.2	2.8*
Fotoni ($\mu\text{Sv/h}$)	0.010	0.014	1.0	0.84*
Altro ($\mu\text{Sv/h}$)	0.21	0.30	1.10	0.27

* A. Ferrari, M. Pelliccioni, T. Rancati,
 “ Calculation of the Radiation Environment caused by Galactic Cosmic Rays
 for determining Air Crew Exposures”, Rad.Prot.Dos., 93-2 (2001)

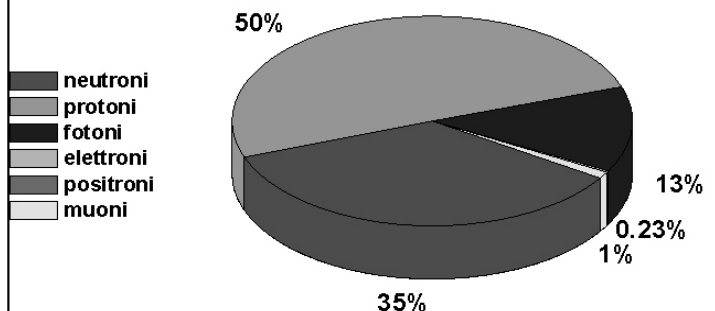
Component	60000 ft	70000 ft	80000 ft	100000 ft
\dot{D} , $\mu\text{Gy}\cdot\text{hr}^{-1}$	5.9-7.8	6.9-9.1	7.4-9.7	7.4-9.8
$(\bar{Q}_i - 1)\dot{D}_i$:				
Subnuclear, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$	≈ 0.01	≈ 0.01	≈ 0.01	
Neutrons, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$	4.5-18.0	5.0-20.0	5.1-20.2	2.1-8.4
$Z = 1$, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$	≈ 1.5	≈ 1.8	≈ 2.0	≈ 2.5
$Z = 2$, $\mu\text{Sv}\cdot\text{hr}^{-1}$	≈ 2.4	≈ 2.6	≈ 2.8	≈ 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

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



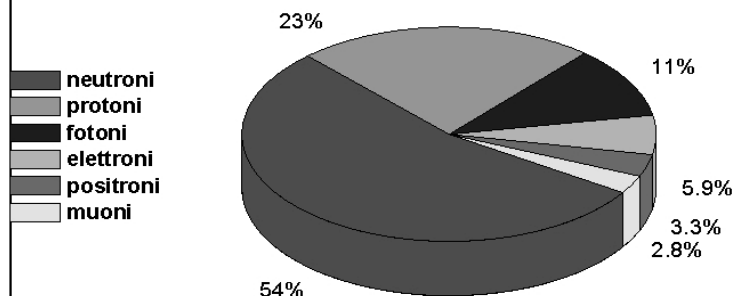
PERCENTUALI IN DOSE DELLE COMPONENTI DELLA RADIAZIONE COSMICA A QUOTE DIVERSE

Geant 3: percentuali di equivalente di dose ambientale relative alle varie componenti dello sciame atmosferico alla quota di 38000 m



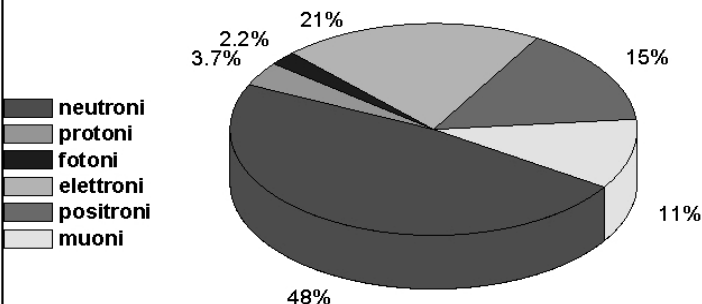
rateo totale di dose ambientale $7.9 \pm 2.2 \mu\text{Sv/h}$

Geant 3: percentuali di equivalente di dose ambientale relative alle varie componenti dello sciame atmosferico alla quota di 12000 m



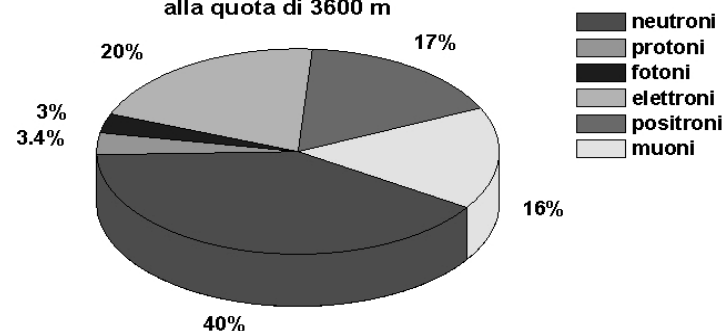
rateo totale di dose ambientale $9.4 \pm 2.8 \mu\text{Sv/h}$

Geant 3: percentuali di equivalente di dose ambientale relative alle varie componenti dello sciame atmosferico alla quota di 5200 m



rateo totale di dose ambientale $0.65 \pm 0.2 \mu\text{Sv/h}$

Geant 3: percentuali di equivalente di dose ambientale relative alle varie componenti dello sciame atmosferico alla quota di 3600 m

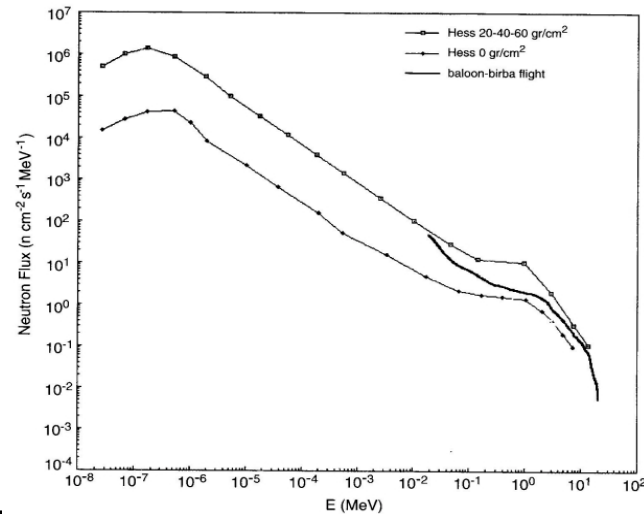
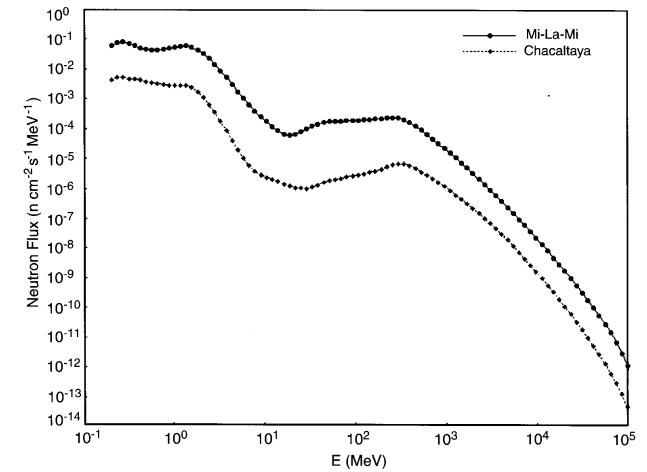
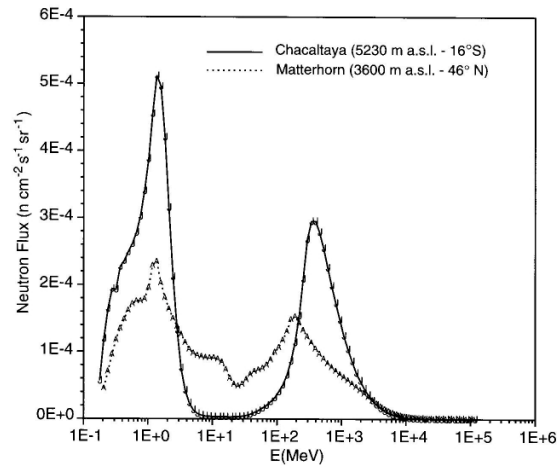


rateo totale di dose ambientale $0.39 \pm 0.11 \mu\text{Sv/h}$



SPETTRI NEUTRONICI A VARIE QUOTE

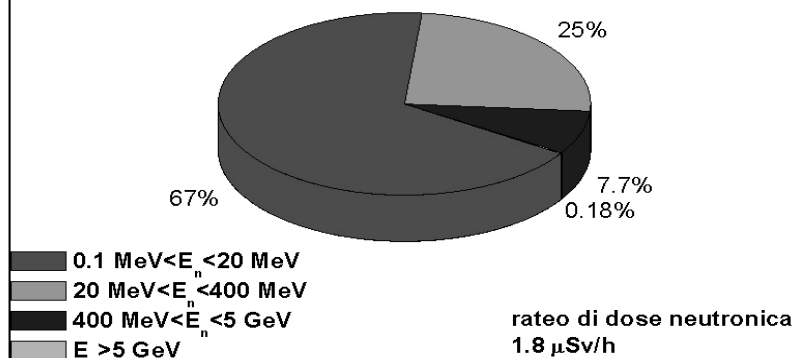
(A. Zanini, C. Ongaro, C. Manfredotti, L. Tommasino, P. Miranda Losa)



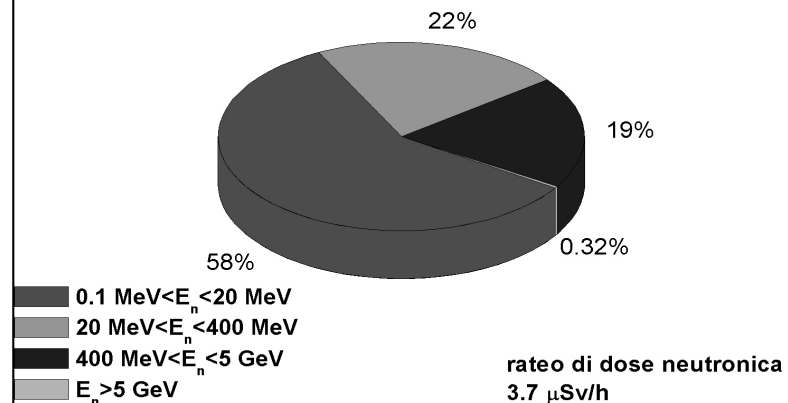


PERCENTUALI DI DOSE NEUTRONICA A QUOTE DIVERSE

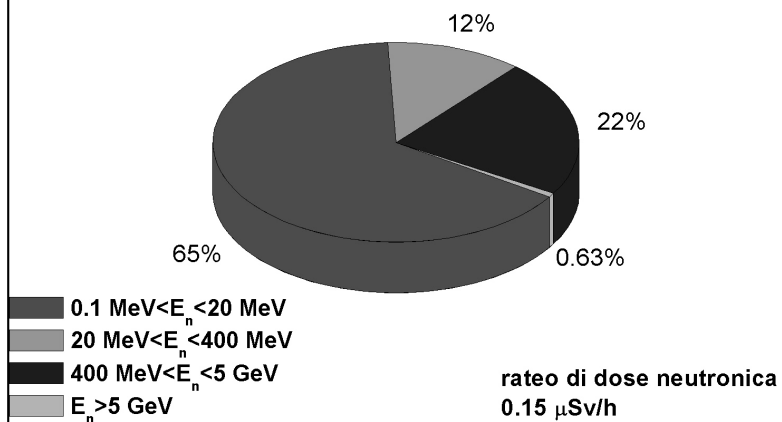
Curva di Hess 0 gr/cm² (50 km):
equivalente di dose ambientale neutronica
in diversi range energetici



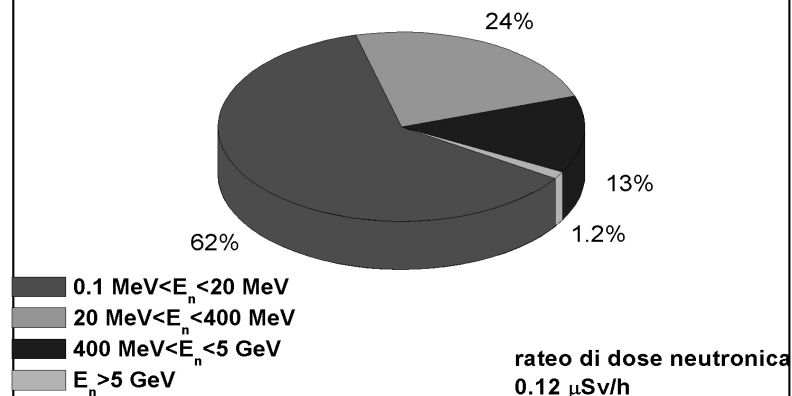
Volo Mi-La-Mi:
percentuali di equivalente di dose ambientale neutronica
in diversi range energetici dello spettro pubblicato



Chacaltaya:
percentuali di equivalente di dose ambientale neutronica
in diversi range energetici dello spettro pubblicato



Cervinia, Laboratorio Testa Grigia:
percentuali di equivalente di dose ambientale neutronica
in diversi range energetici dello spettro pubblicato





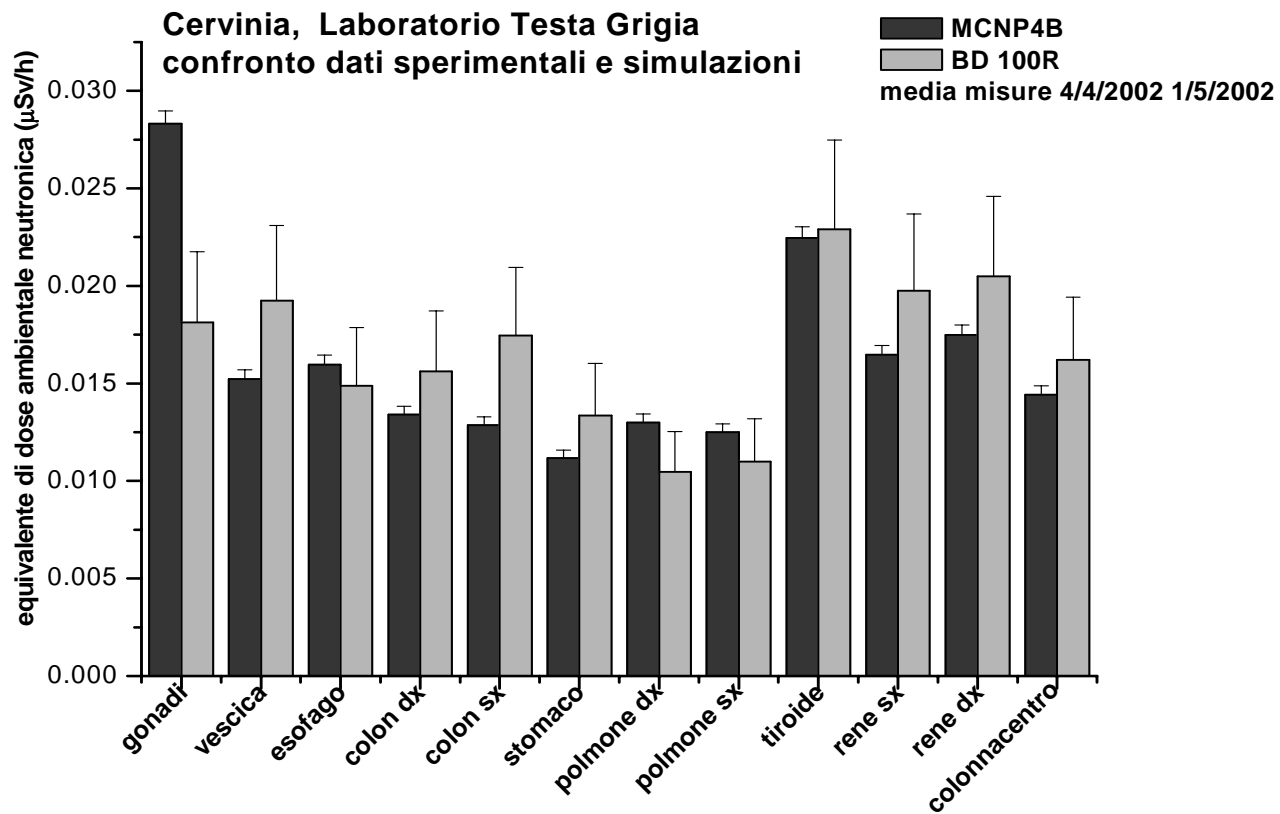
Laboratorio Testa Grigia

Cervinia,
Laboratorio Testa Grigia
h=3480 m,
45° 56' 03" N, 7° 42' 28" E





3480 m





VOLI AZ 746/11 AZ 746/12

Voli Alitalia AZ784/11, AZ784/11

Roma-Tokyo-Roma

h=11500m,

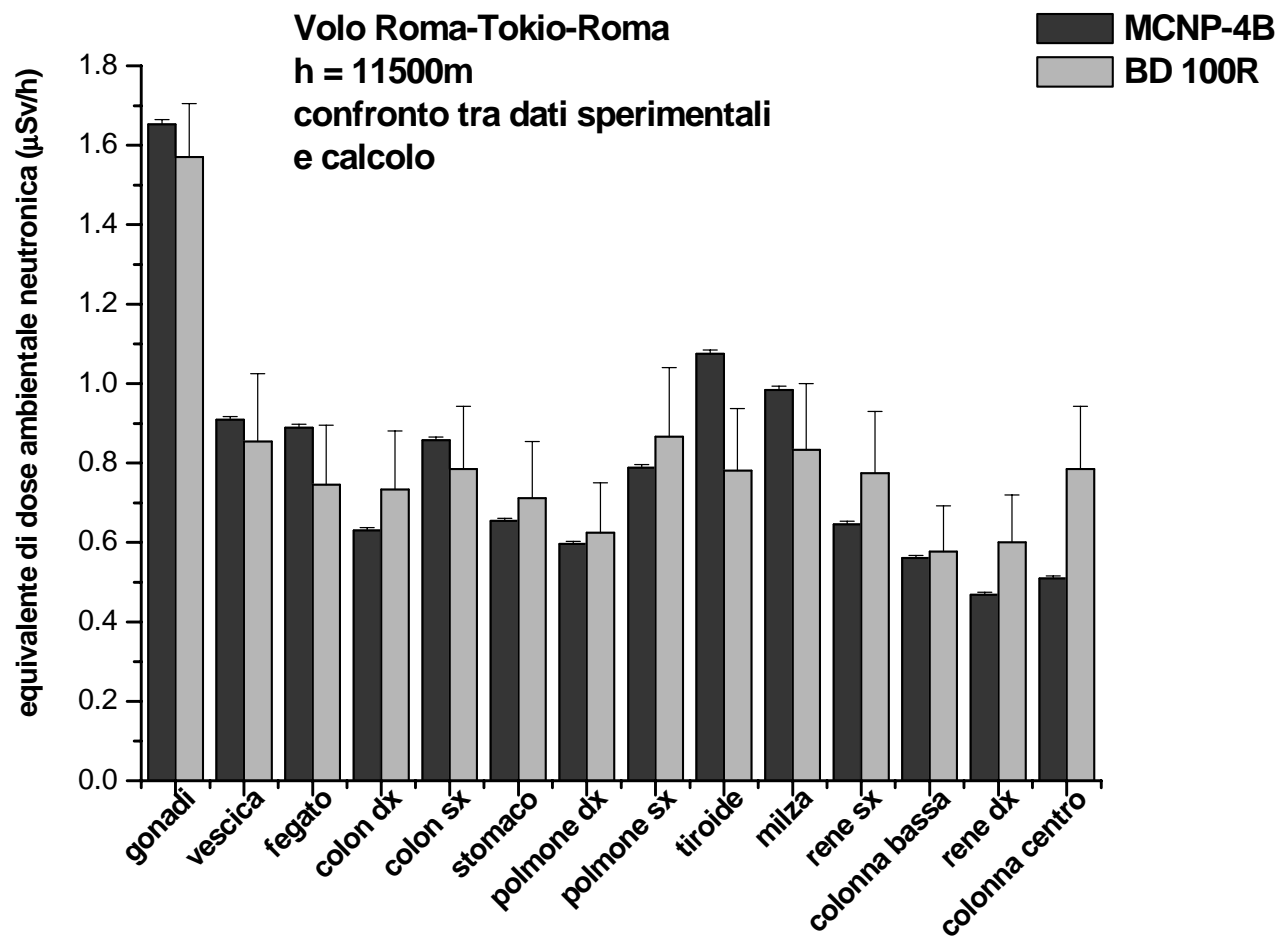
35° 45' 9" N, 14° 23' 2" E

68° 30' 5" N, 7° 33' 4" E





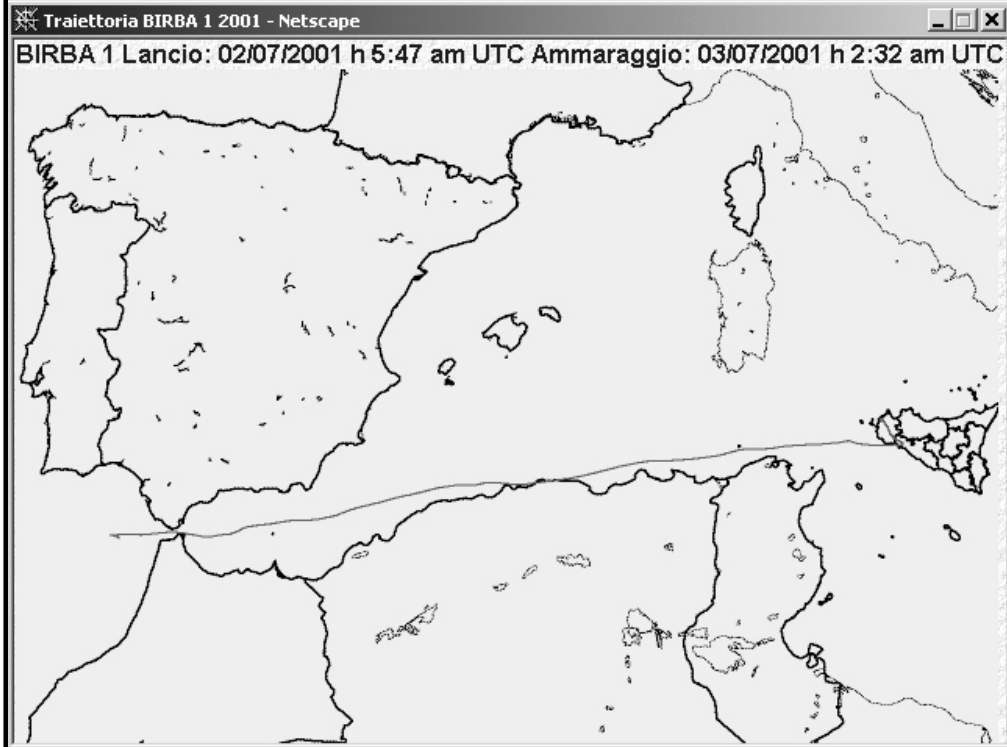
11500 m





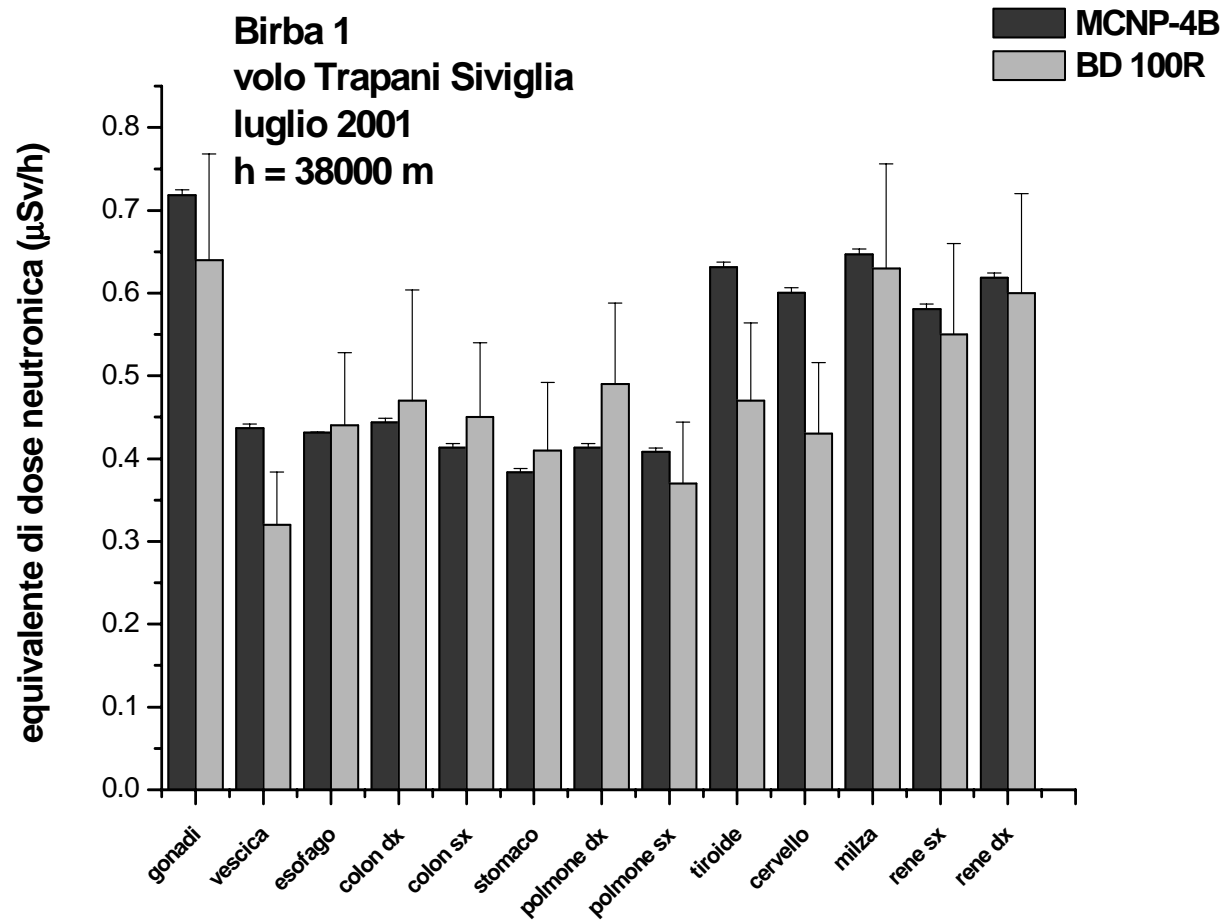
VOLO ASI BIRBA1

Progetto IORD,
h=38000m,
36° N





38000 m





DOSE EFFICACE :

(100 keV E_n <math><20\text{MeV}</math>)

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Testa Grigia

Organo	H_T ($\mu\text{Sv/h}$)	w_T
Gonadi	0.018	0.20
Stomaco	0.013	0.12
Midollo	0.016	0.12
Polmone dx	0.011	0.06
Polmone sx	0.011	0.06
Colon dx	0.016	0.06
Colon sx	0.017	0.06
Fegato	0.019	0.05
Esofago	0.015	0.05
Vescica	0.019	0.05
Superficie ossea	0.018	0.01
Pelle	0.012	0.01
Rimanenti organi e tessuti	0.03	0.05

$$E = 0.027 \mu\text{Sv/h}$$

Volo Roma-Tokio-Roma

Organo	H_T ($\mu\text{Sv/h}$)	w_T
Gonadi	0.67	0.20
Stomaco	0.71	0.12
Midollo	0.79	0.12
Polmone dx	0.62	0.06
Polmone sx	0.87	0.06
Colon dx	0.73	0.06
Colon sx	0.79	0.06
Fegato	0.75	0.05
Esofago	0.74	0.05
Vescica	0.85	0.05
Superficie ossea	0.79	0.01
Pelle	0.82	0.01
Rimanenti organi e tessuti	1.5	0.05

$$E = 0.7 \mu\text{Sv/h}$$

BIRBA 1

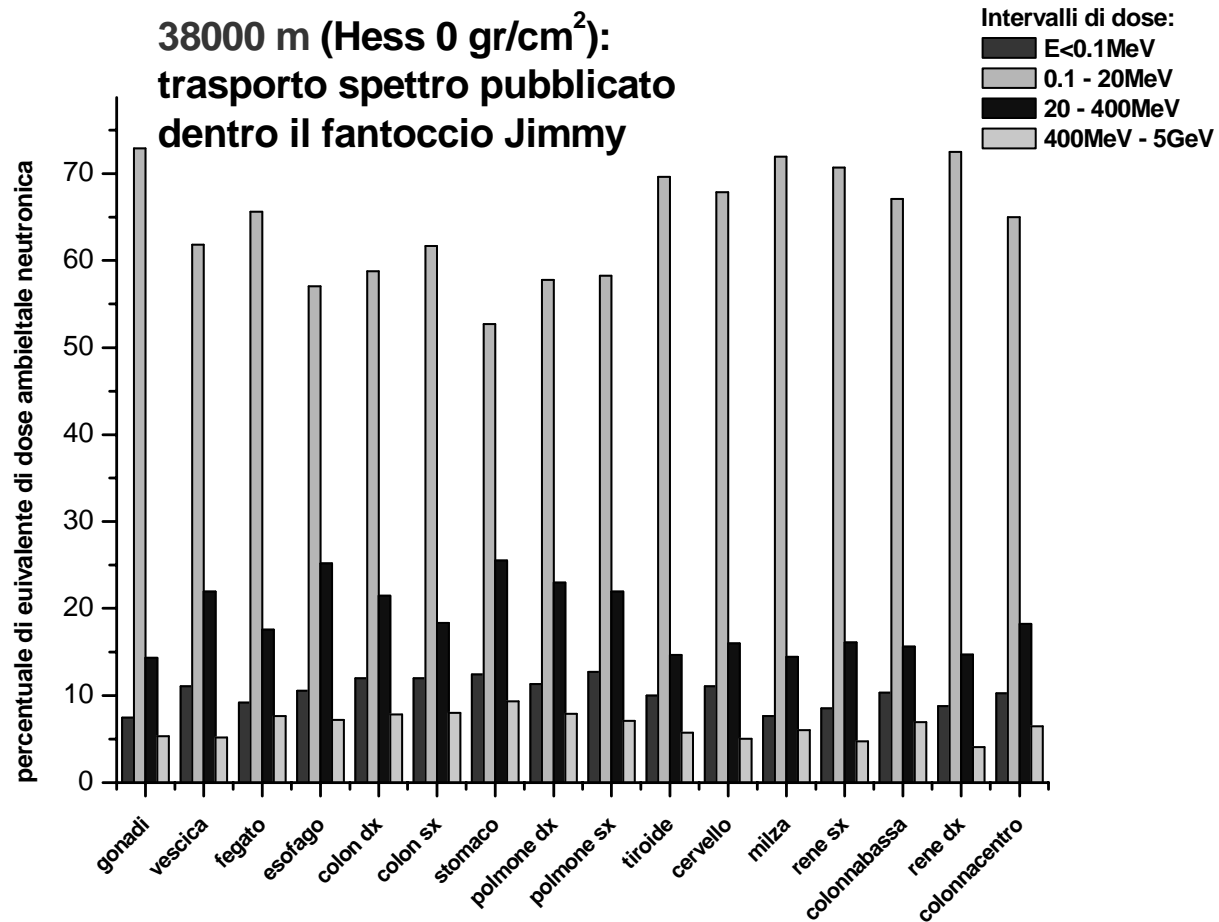
Organo	H_T ($\mu\text{Sv/h}$)	w_T
Gonadi	0.64	0.20
Stomaco	0.41	0.12
Midollo	0.6	0.12
Polmone dx	0.49	0.06
Polmone sx	0.37	0.06
Colon dx	0.57	0.06
Colon sx	0.45	0.06
Fegato	0.32	0.05
Esofago	0.44	0.05
Vescica	0.32	0.05
Superficie ossea	0.6	0.01
Pelle	0.5	0.01
Rimanenti organi e tessuti	1.8	0.05

$$E = 0.49 \mu\text{Sv/h}$$



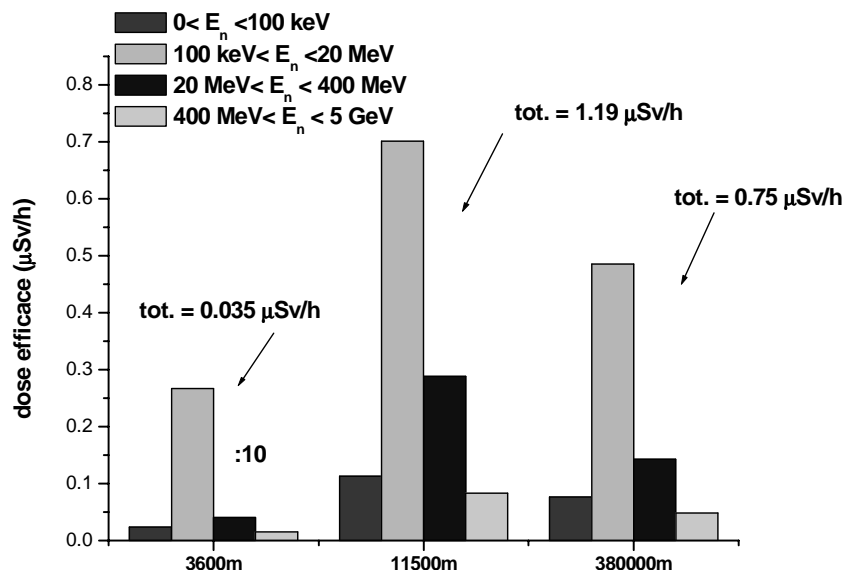
CALCOLO PERCENTUALE DI DOSE AGLI ORGANI

38000 m (Hess 0 gr/cm²):
trasporto spettro pubblicato
dentro il fantoccio Jimmy





Dosi efficaci ($\mu\text{Sv/h}$)	Testa Grigia	Volo Roma-Tokyo-Roma	BIRBA 1
$E_n < 100 \text{ keV}$	0.002	0.12	0.08
$100 \text{ keV} < E_n < 20 \text{ MeV}$	0.027	0.7	0.49
$20 \text{ MeV} < E_n < 400 \text{ MeV}$	0.004	0.29	0.14
$400 \text{ MeV} < E_n < 5 \text{ GeV}$	0.002	0.08	0.04
Totale	0.035	1.19	0.75



Valutazione dell'esposizione annua

	Dose efficace (mSv)	Equivalente di dose ambientale (mSv)
Cervinia	0.3 (anno)	0.9 (anno)
Voli commerciali	0.8 (700 h)	2.3 (700 h)