



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea in Fisica

Esposizione della popolazione della regione Umbria ai raggi cosmici: modelli e distribuzioni spaziali

Relatore:

Dott. Mantovani Fabio

Correlatore:

Dott. Strati Virginia

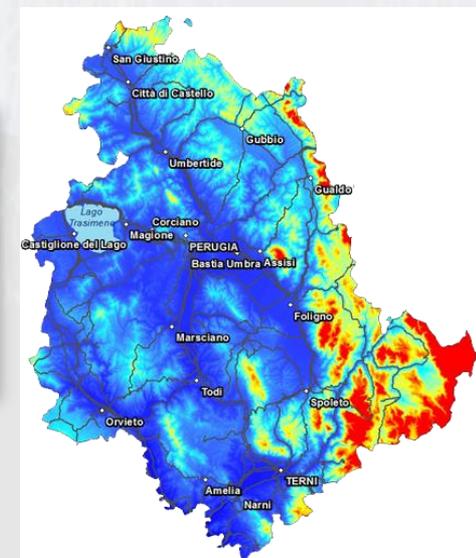
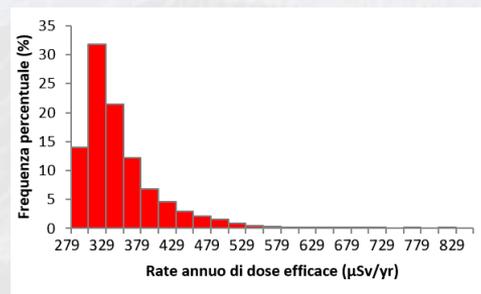
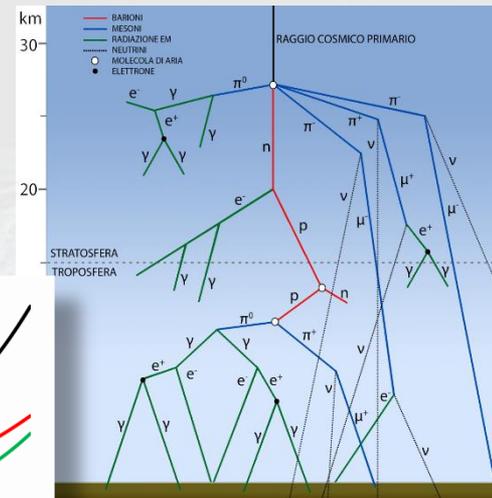
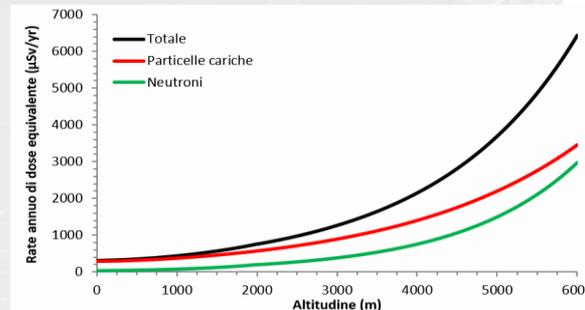
Laureanda:

Raptis Cassandra

Anno accademico 2015/2016

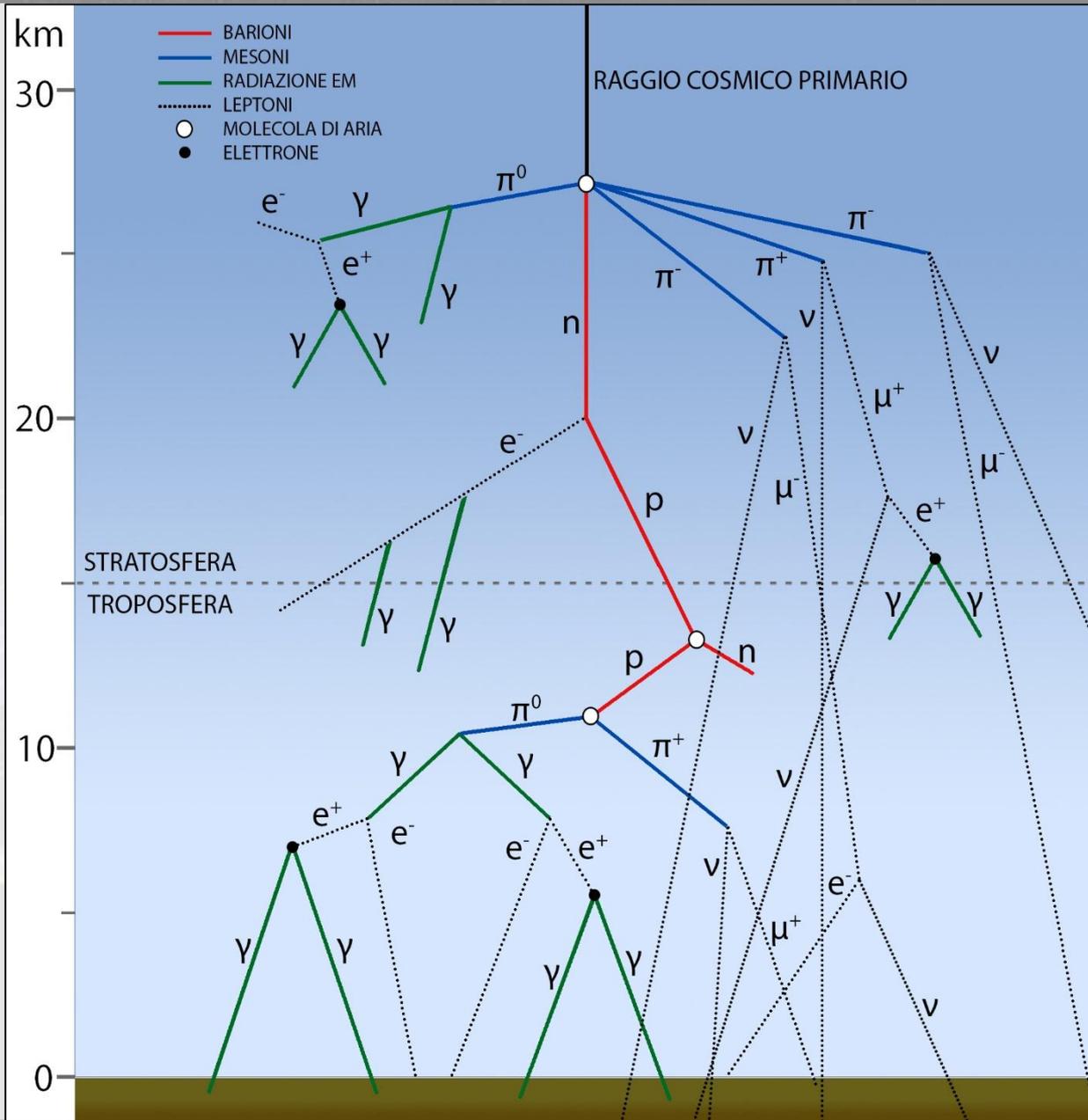
SUMMARY

- I raggi cosmici e fondamenti di dosimetria
- I principali fattori che influenzano la dose dovuta ai raggi cosmici
- Studio dei principali modelli discussi nella letteratura internazionale
- Distribuzioni spaziali della dose efficace assorbita dalla popolazione dell'Umbria e relativi studi statistici
- Implementazione del sistema informativo geografico per la pubblicazione online
- Conclusioni



RAGGI COSMICI

- Le **particelle** e le **radiazioni** che interagiscono con la Terra aventi origine **solare**, **galattica** o **extragalattica** costituiscono i raggi cosmici.
- Prima dell'interazione terrestre i raggi cosmici **primari** sono essenzialmente protoni, particelle α , elettroni e neutrini.
- I raggi cosmici **secondari** sono **mesoni**, **barioni**, **leptoni** e **radiazioni** che si originano dall'interazione con l'atmosfera terrestre.
- I raggi cosmici che giungono a terra contribuiscono alla **radioattività ambientale**.



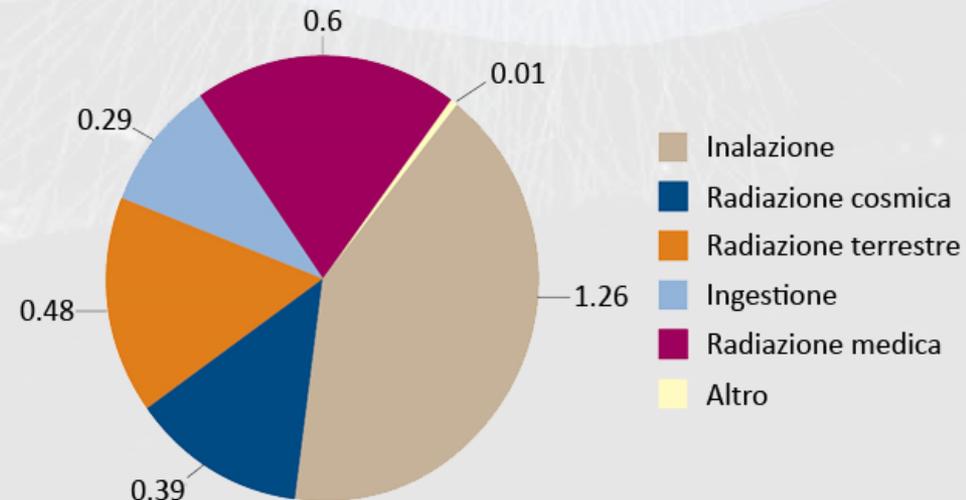
DOSIMETRIA

La dosimetria quantifica la radiazione assorbita dalla materia o dagli esseri viventi attraverso la definizione delle unità dosimetriche.

UNITÀ DOSIMETRICA	DOSE ASSORBITA	DOSE EQUIVALENTE	DOSE EFFICACE
FORMULAZIONE	$D \text{ [Gy = J/kg]} = \Delta E / \Delta m$	$H \text{ [Sv = J/kg]} = w_R D$	$E \text{ [Sv = J/kg]} = \sum w_T H$
SIGNIFICATO	Energia assorbita dalla materia irradiata	Effetto biologico del tipo di radiazione	Effetto biologico sul tipo di organo

- La dose efficace media annuale di origine naturale assorbita da un essere umano è pari a **2.4 mSv**.
- Il contributo dovuto alla **radiazione cosmica** è **~16%**.
- Per la modellazione della dose efficace cosmica si assume:
 - esposizione **outdoor**: 20%
 - shielding **indoor**: 80%

Contributi alla dose media efficace annua assorbita dalla popolazione mondiale in mSv/yr (UNSCEAR 2008)



VARIAZIONI SPAZIALI E TEMPORALI DELLA DOSE

L'intensità della dose prodotta dai raggi cosmici dipende da fattori spaziali e temporali:

- **Altitudine**
- **Latitudine geomagnetica**
($\Delta_{MAX} \sim 10-20\%$)
- **Cambiamenti dell'atmosfera**
($\Delta \sim 5\%$)
- **Attività solare**
($\Delta \sim 10\%$)

Fattori che influenzano la variazione della dose	Tempo dipendente	Tipica variazione temporale
Altitudine	✘	/
Latitudine geomagnetica	✓	decine di anni
Pressione barometrica	✓	ore
Espansione e contrazione stagionale dell'atmosfera	✓	mesi
Perturbazioni del campo magnetico dovute a cambiamenti del vento solare	✓	ore o giorni
Solar flares	✓	imprevedibili
Variazione attività media solare	✓	ciclo undecennale

MODELLI DI STIMA DELLA DOSE

[z = altitudine, φ =latitudine geomagnetica]:

- **Modello Bouville^a**
$$\left\{ \begin{array}{l} E_{Ioniz}(z) = 240(0.205e^{-1.65 \cdot 10^{-3} z} + 0.795e^{4.5 \cdot 10^{-4} z}) \\ E_{Neutroni}(z) = 20e^{1.04 \cdot 10^{-3} z}, \quad z < 2000m \\ E_{Neutroni}(z) = 20(1.98e^{6.9 \cdot 10^{-4} z}), \quad z > 2000m \end{array} \right.$$
- **Modello Bürgi^b**
$$E_{Ioniz}(z) = 273.2 \cdot 10^{1.8 \cdot 10^{-4} z}$$
- **Modello Rybach^c**
$$E_{Ioniz}(z) = 324.1e^{3.8 \cdot 10^{-4} z}$$
- **Modello Sztanyik^d**
$$E_{Ioniz}(z) = 300.4e^{4.26 \cdot 10^{-4} z}$$
- **Modello Boltneva^e**
$$E_{Ioniz}(\varphi, z) = a(\varphi) + 110e^{\frac{z}{b(\varphi)}}$$

a) Bouville A., Lowder W. M., *Human Population Exposure to Cosmic Radiation*, in *Radiation Protection Dosimetry* (1988).

b) Bürgi A., Flisch M., *Cosmic ray dose rate determination using a portable gamma-ray spectrometer* (1991).

c) Rybach L., Medici F., Schwarz G.F., *Construction of radioelement and dose rate baseline maps by combining ground and airborne radiometric data* (1997).

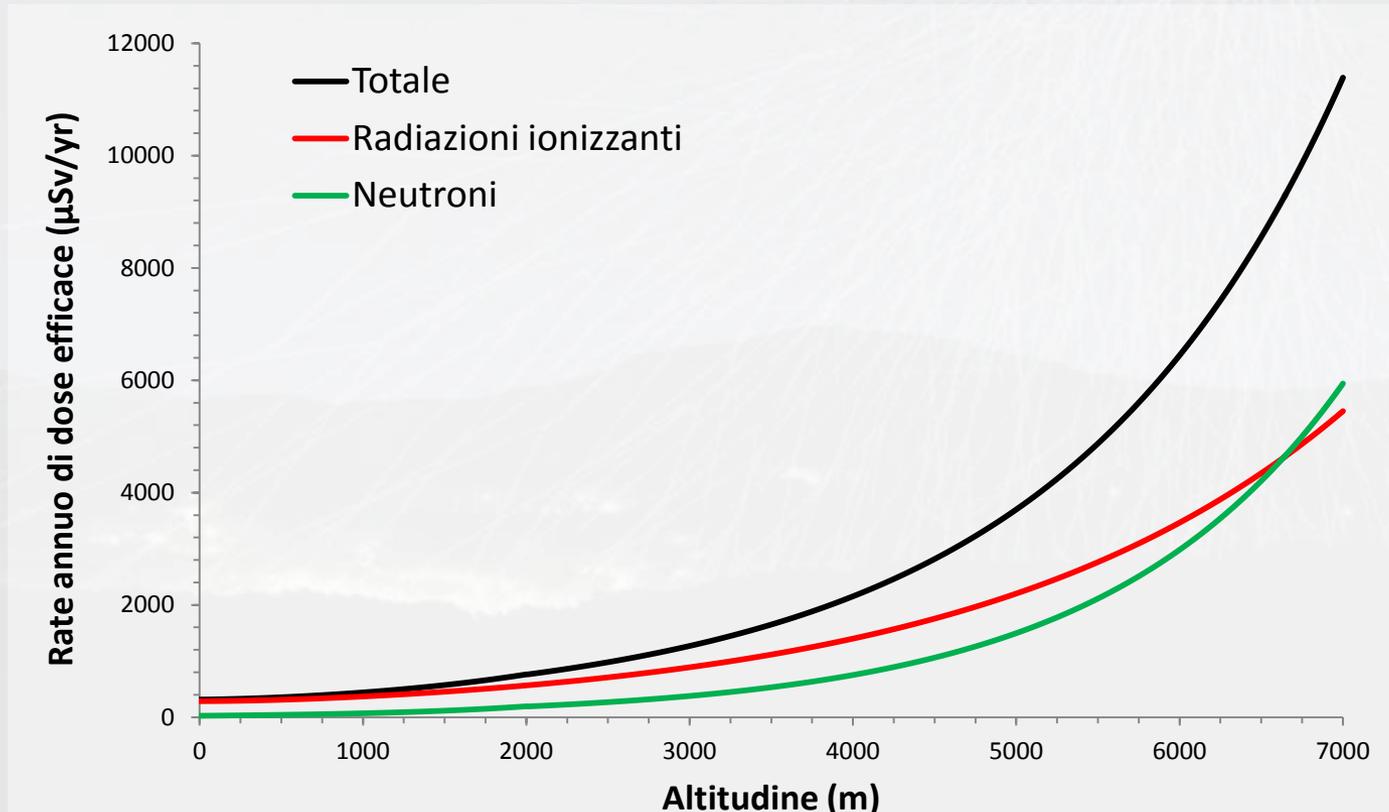
d) Sztanyik L.B., Nikl I., *Contribution of cosmic rays to radiation exposure of the population* (1982).

e) Boltneva L.I., Nazarov I.M., Fridman SH.D., *The cosmic radiation dose at the earth's surface* (1974).

RADIAZIONI IONIZZANTI E NEUTRONI

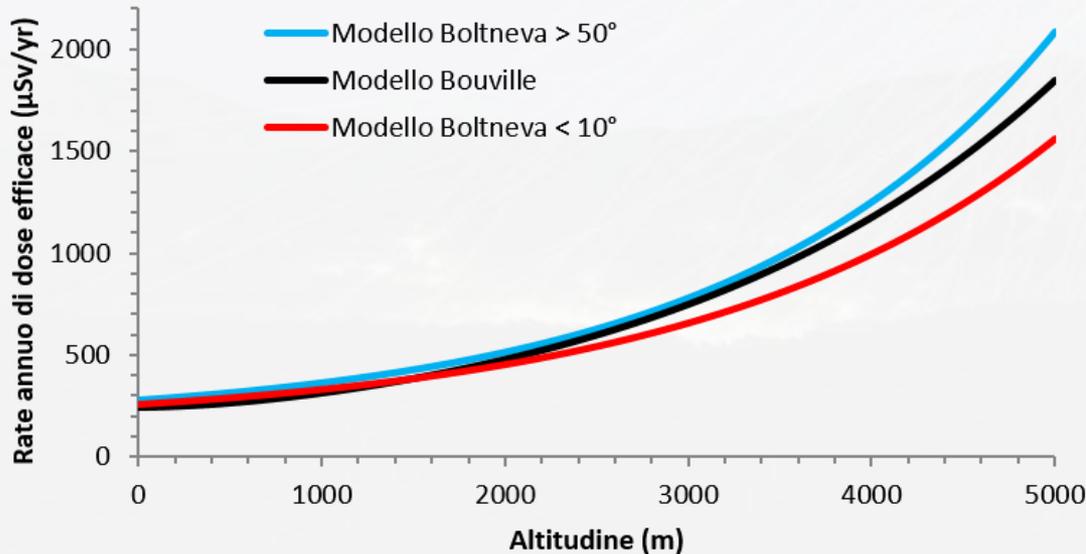
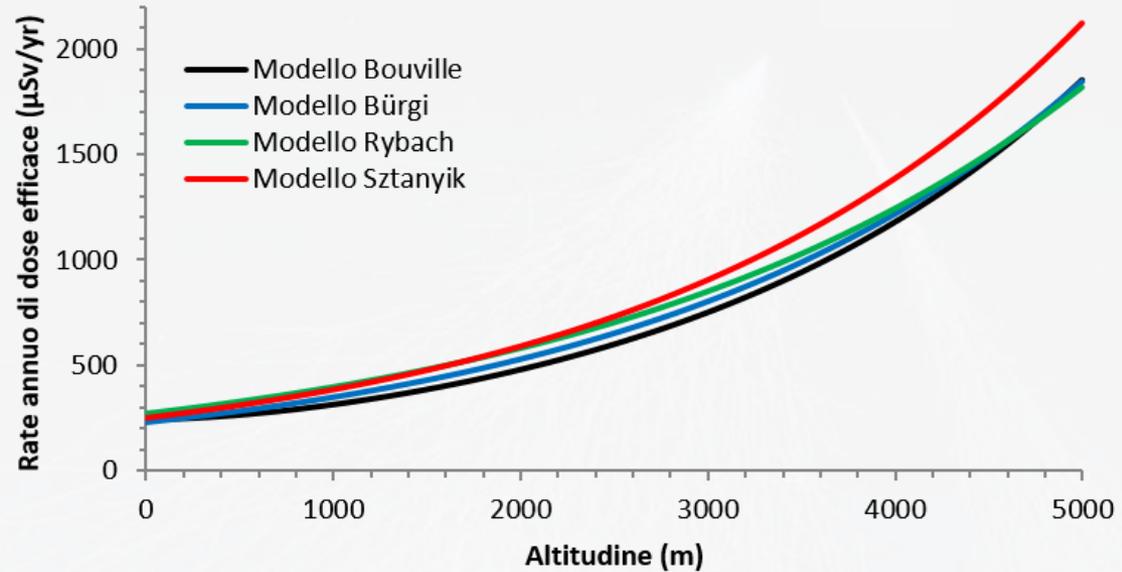
Nel modello Bouville si stima sia la dose efficace prodotta dalle **radiazioni ionizzanti** che dei **neutroni**. Si può notare che:

- a **livello del mare** domina il contributo delle radiazioni ionizzanti, il contributo dei neutroni è quasi nullo;
- a **2000 m** la dose neutronica è 1/3 della dose delle radiazioni ionizzanti;
- a **~6500 m** la componente ionizzante e neutronica si equivalgono.



DOSE vs ALTITUDINE e LATITUDINE

- Fino ad una quota di 2000 m la massima dispersione tra i rate dei modelli è di $\sim 20\%$
- Il fit a due esponenziali del modello Bouville produce una riduzione del rate annuo di dose per $1000 < z < 4000$ m
- Il rate di dose medio stimato dai modelli a livello del mare è di $249 \pm 18 \mu\text{Sv/yr}$

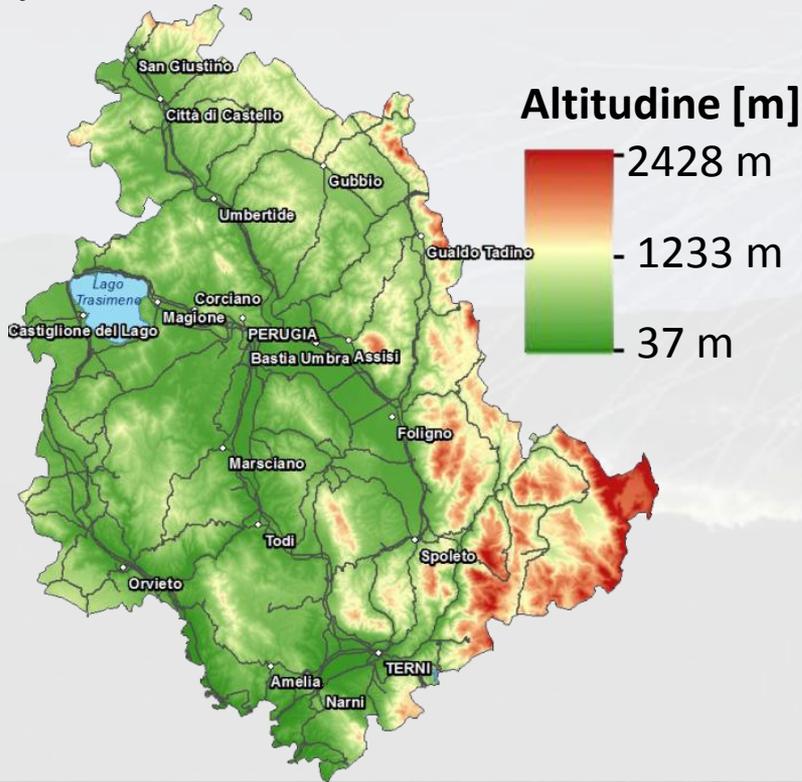


- Il modello Bouville è ricavato da un fit di dati acquisiti ad una latitudine di $\sim 50^\circ$.
- Per latitudini prossime all'equatore ed al polo il modello Boltneva prevede valori di dose che includono le stime del modello Bouville.

ELABORAZIONE DEI MODELLI SPAZIALI

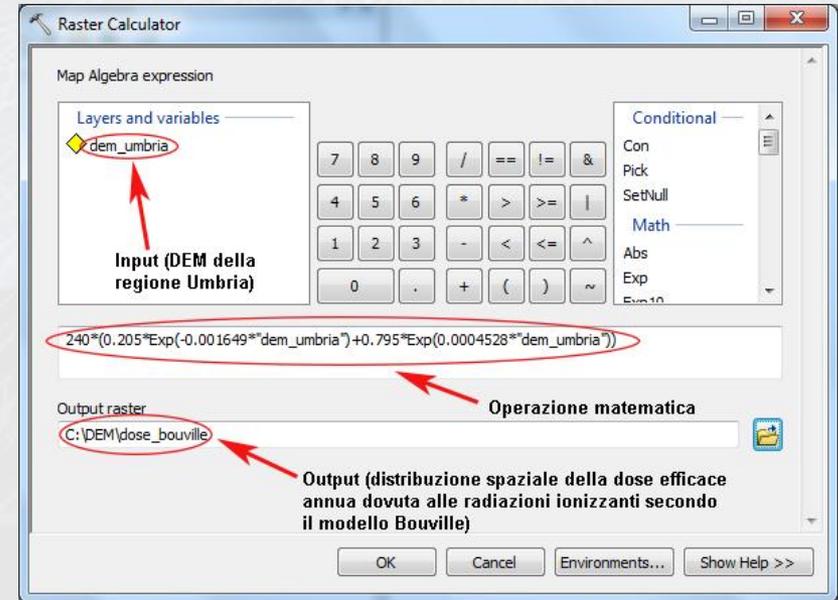
1) DATI DI INPUT

Modello digitale di elevazione DEM in formato Raster: matrice di pixel di 10 m × 10 m al cui centro, individuato da una coordinata x e y, è associato l'attributo relativo alla quota s.l.m.



2) ELABORAZIONE DEI DATI

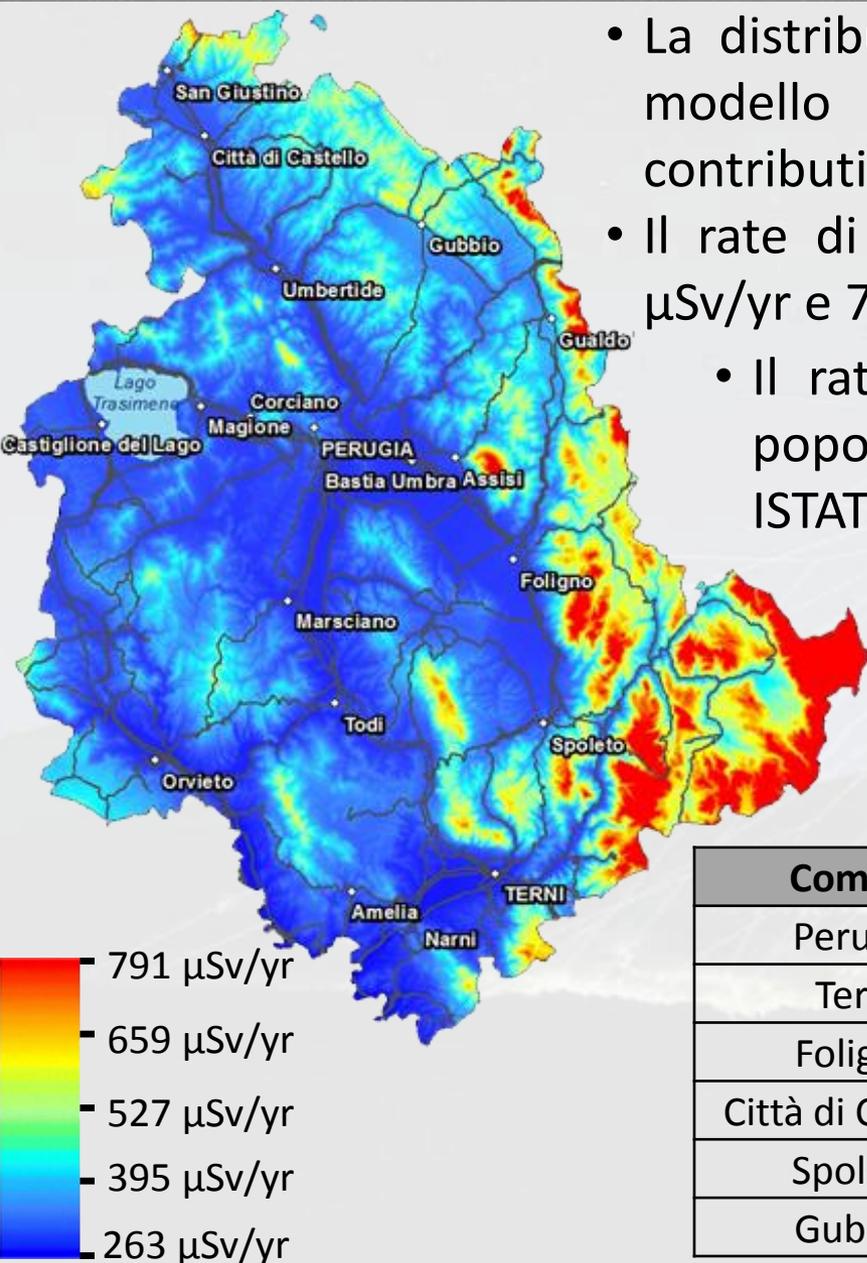
Attraverso la funzione "Raster Calculator" del software ArcGIS sono state applicate le funzioni relative ai differenti modelli ai valori dei pixel del DEM.



3) OUTPUT

Raster dei modelli di distribuzione spaziale della dose efficace annua.

RATE ANNUO DI DOSE EFFICACE INDOOR



- La distribuzione spaziale è stata ottenuta secondo il modello Bouville considerando lo shielding ed i contributi delle radiazioni ionizzanti e dei neutroni.
- Il rate di dose varia in un range compreso tra 263 μSv/yr e 791 μSv/yr.
- Il rate annuo di dose efficace D_p pesata per la popolazione è stato ottenuto partendo dai dati ISTAT 2011.

$$\langle D_P \rangle = \frac{\sum_{XY} D_{XY} P_{XY}}{P_{TOT}}$$

D_{XY} = rate di dose efficace nel punto XY

P_{XY} = popolazione nel punto XY

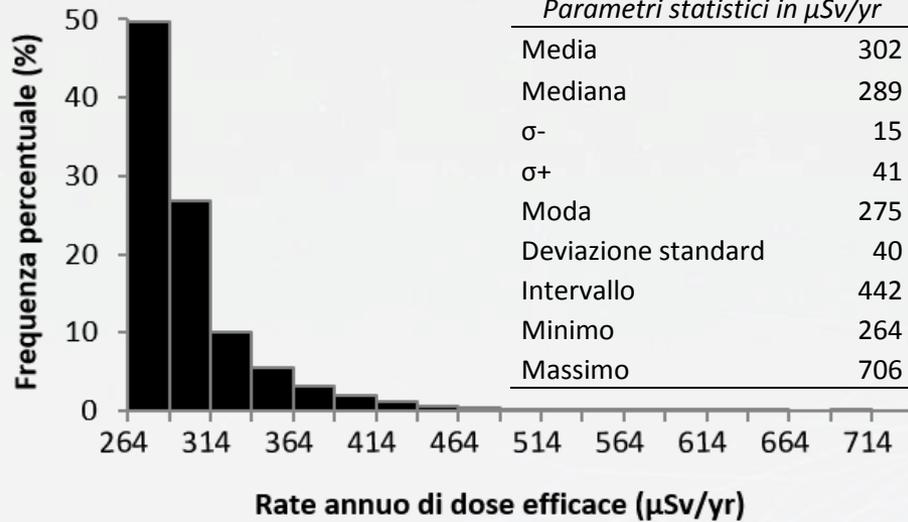
P_{tot} = popolazione totale dell'Umbria

- $\langle D_P \rangle_{Umbria} = 279 \mu\text{Sv} / \text{yr}$

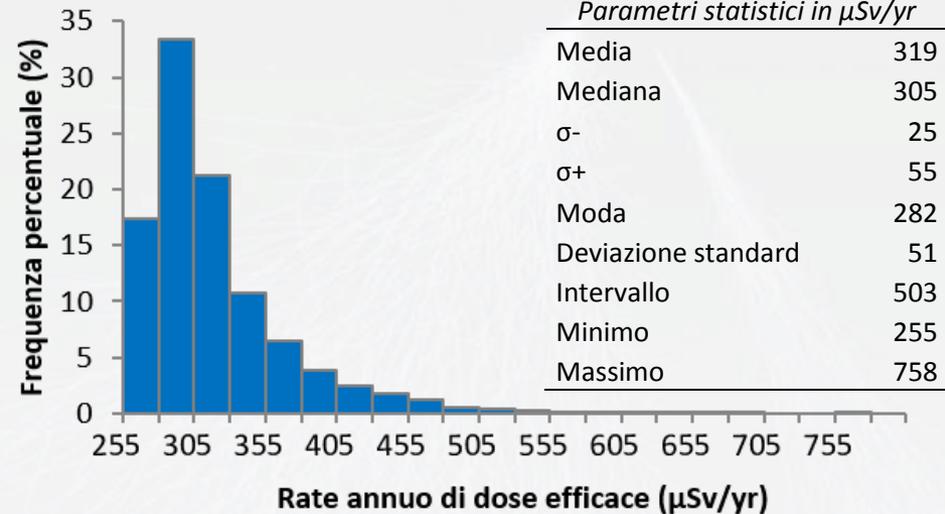
Comuni	Abitanti	Popolazione (%)	$D_p(\mu\text{Sv/yr})$
Perugia	156110	17.5	281
Terni	107300	12.0	278
Foligno	55295	6.2	276
Città di Castello	38798	4.4	277
Spoleto	37339	4.2	280
Gubbio	30164	3.4	307

ANALISI STATISTICHE DESCRITTIVE

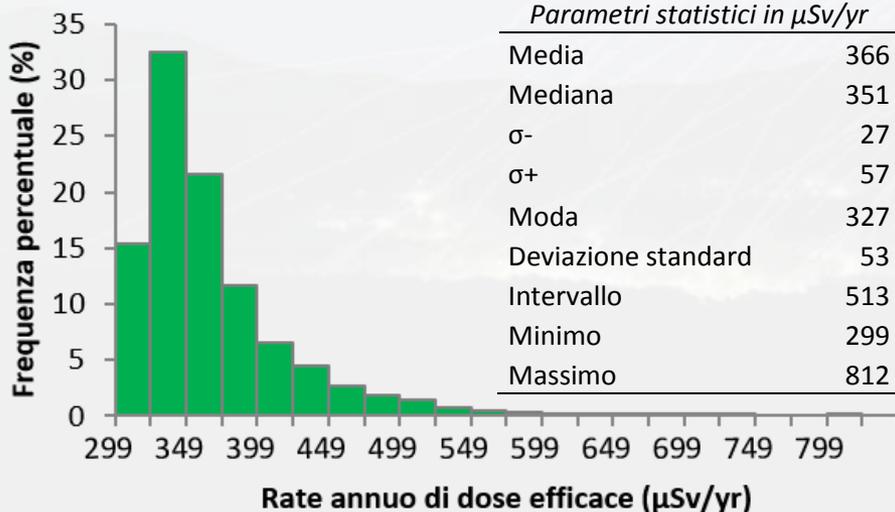
Modello Bouville



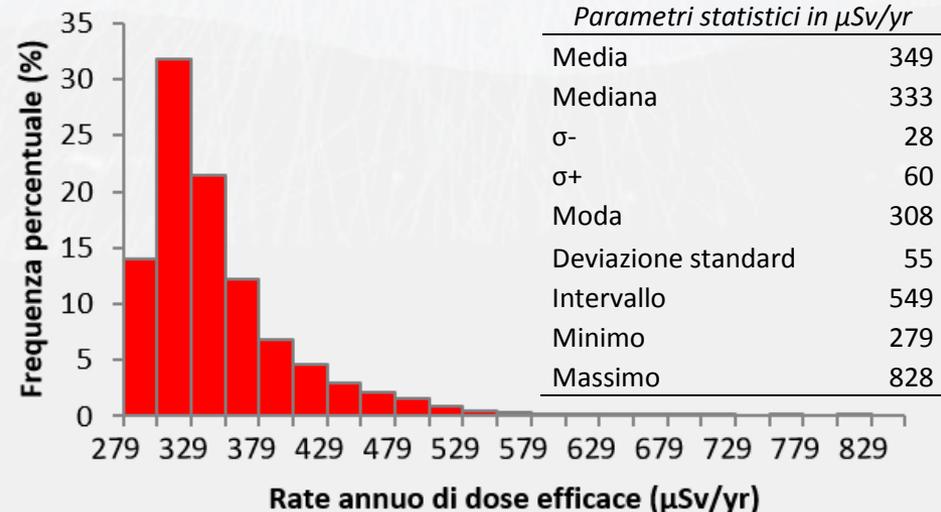
Modello Bürgi



Modello Rybach



Modello Sztanyik



DISTRIBUZIONI SPAZIALI DELLE DIFFERENZE

Assumendo per ciascun modello le stesse condizioni, sono state calcolate le distribuzioni spaziali delle differenze percentuali rispetto al modello Bouville:

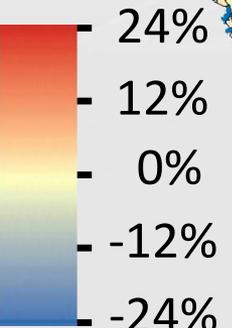
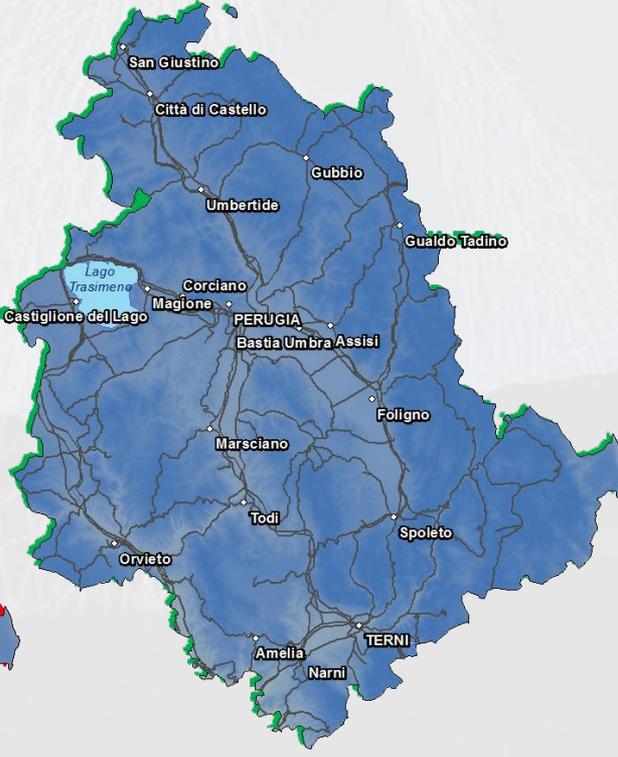
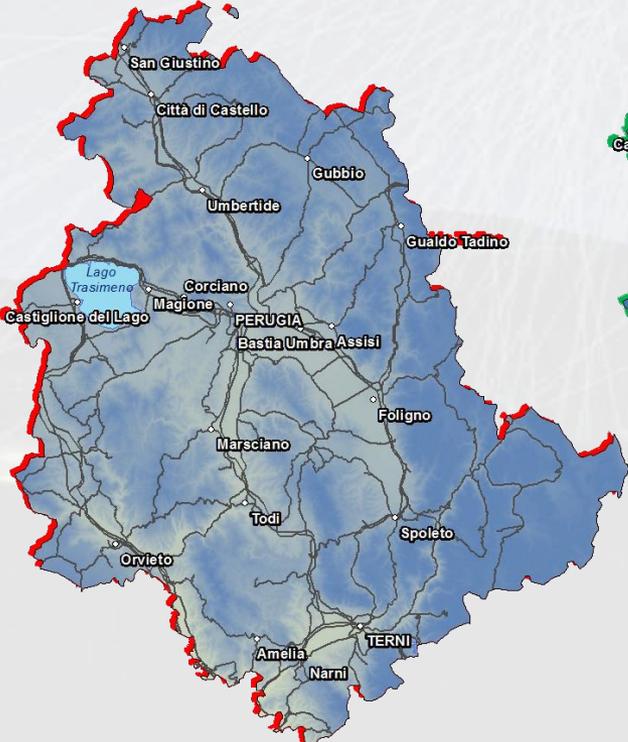
Modello Bürgi

$$M_{Diff} (\%) = \frac{M_B - M_X}{M_B} \cdot 100$$

Modello Rybach

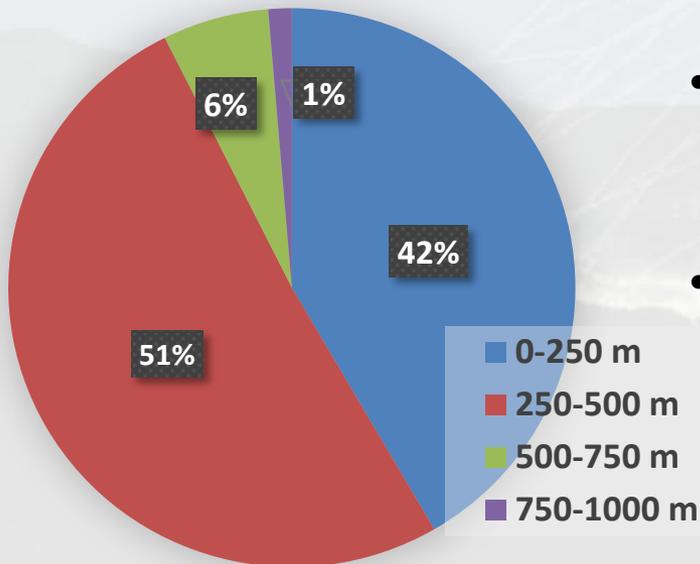
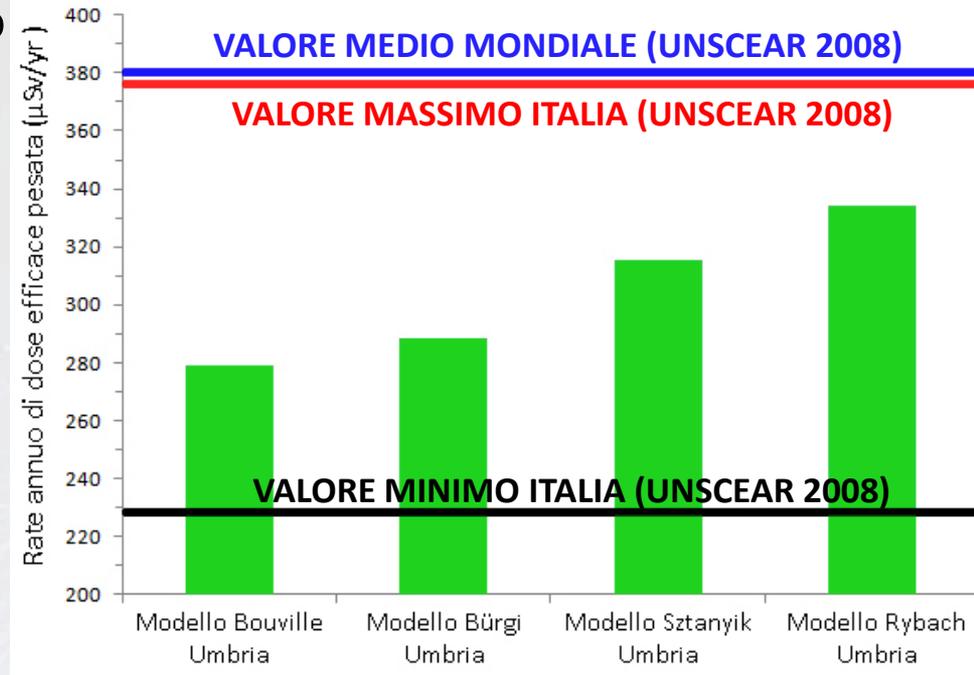


Modello Sztanyik



DOSI EFFICACI A CONFRONTO

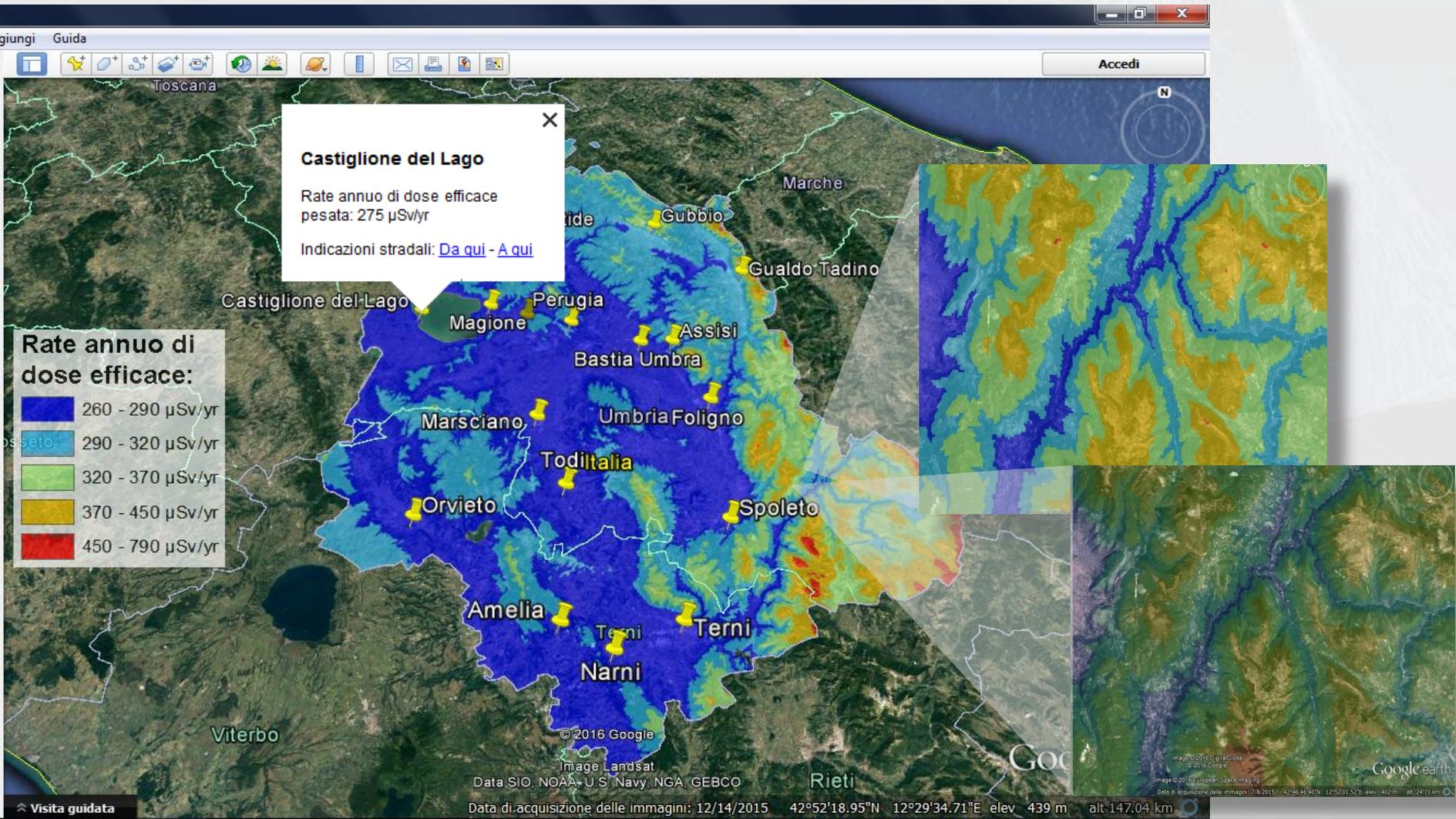
- Il **rate di dose efficace pesata** ottenuto è stato confrontato con i valori di riferimento nazionali e mondiali riportati nel report **UNSCEAR 2008**.
- I valori stimati secondo i modelli studiati sono compresi nel **range** proposto per l'Italia.
- Tutti i modelli considerati stimano valori di dose efficace per l'Umbria inferiori alla **media mondiale**.



- La dose efficace cumulativa assorbita da tutta la popolazione umbra è stata analizzata in funzione dell'altitudine.
- Il **51%** della dose cumulativa efficace è assorbita dalla popolazione che vive in un range di quote compreso tra **250 e 500 m**, mentre solo l'**1%** è assorbito a quote superiori a **750 m**.

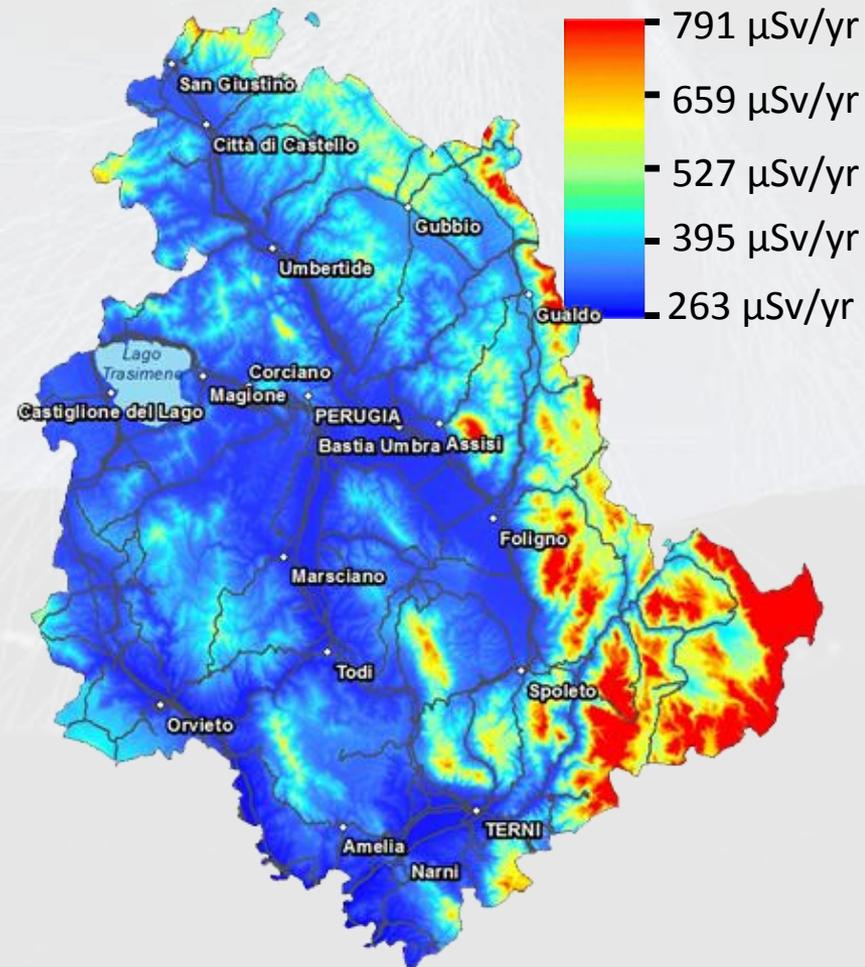
INTEGRAZIONE DEI RISULTATI IN GOOGLE EARTH

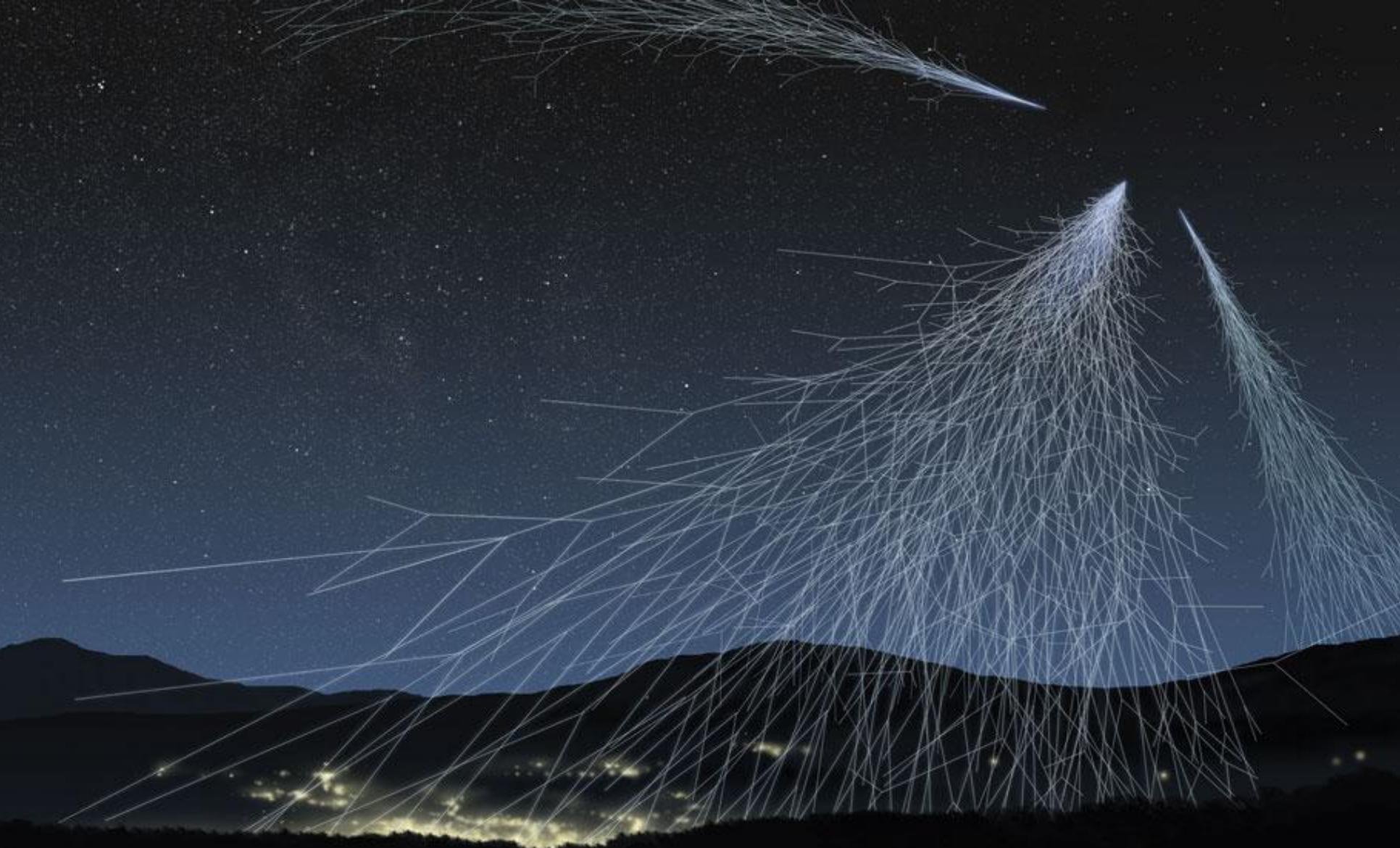
I modelli di distribuzione spaziale sono stati esportati in formato **kml** al fine di renderli visualizzabili con **Google Earth** e facilmente consultabili e fruibili dal singolo utente.



CONCLUSIONI

- La dose cosmica è stata studiata in funzione dei principali parametri spaziali e temporali, ed in particolare in funzione dell'**altitudine** e delle diverse componenti (**radiazioni ionizzanti e neutroni**).
- Utilizzando appositi strumenti **GIS** sono stati realizzati i **modelli di distribuzione spaziale** di dose efficace a partire dal modello di elevazione (**DEM**) disponibile in formato raster.
- I valori mediani dei modelli di distribuzione spaziale di dose efficace sono compresi tra **289 e 351 $\mu\text{Sv}/\text{yr}$** , inferiori alla media mondiale.
- La dose pesata per la popolazione dell'Umbria, secondo il modello Bouville scelto come riferimento, è **279 $\mu\text{Sv}/\text{yr}$** .
- Il **93%** della dose è assorbita dalla popolazione che vive al di sotto dei **500 m** di altitudine.





Grazie per l'attenzione