



Università degli studi di Ferrara
Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica

Modelli di distribuzione di Radon in atmosfera finalizzati alla correzione di misure di spettroscopia gamma airborne

Relatore:

Dott. Mantovani Fabio

Correlatore:

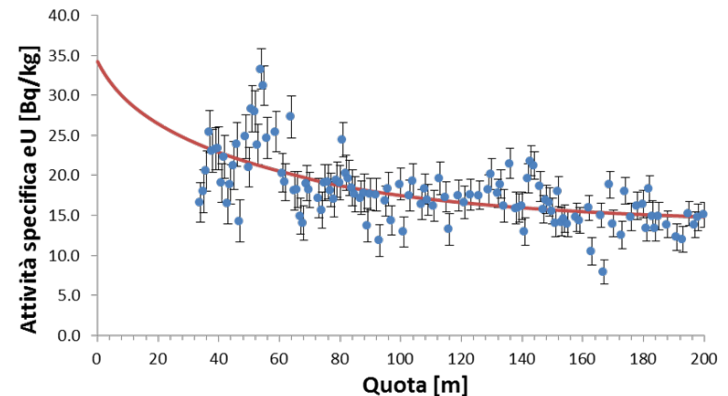
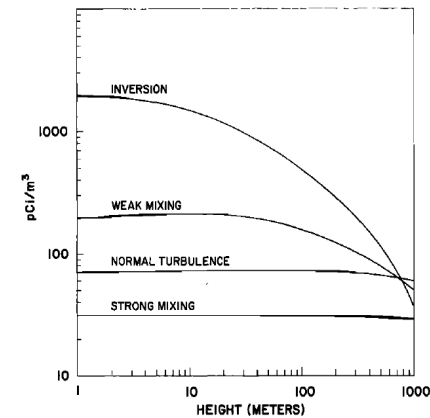
Dott.ssa Baldoncini Marica

Laureando:

Ronca Nicola

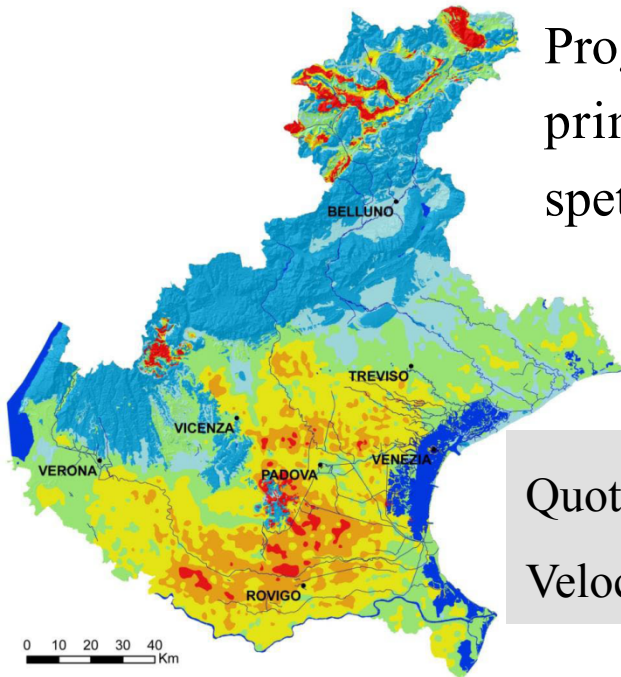
Outline

- ❑ Le misure AGRS ed il Radon in atmosfera
- ❑ Profili di distribuzione di Radon in atmosfera
- ❑ Modelli di flusso di fotoni gamma monoenergetici incidenti su un detector airborne
- ❑ Analisi di misure acquisite a diverse altezze utilizzando diversi modelli di distribuzione di Radon
- ❑ Conclusioni e prospettive



Spettroscopia Gamma Airborne (AGRS)

Progetto **ITALRAD**: mappa di distribuzione dei radionuclidi primordiali nel territorio italiano mediante misure di spettroscopia gamma airborne



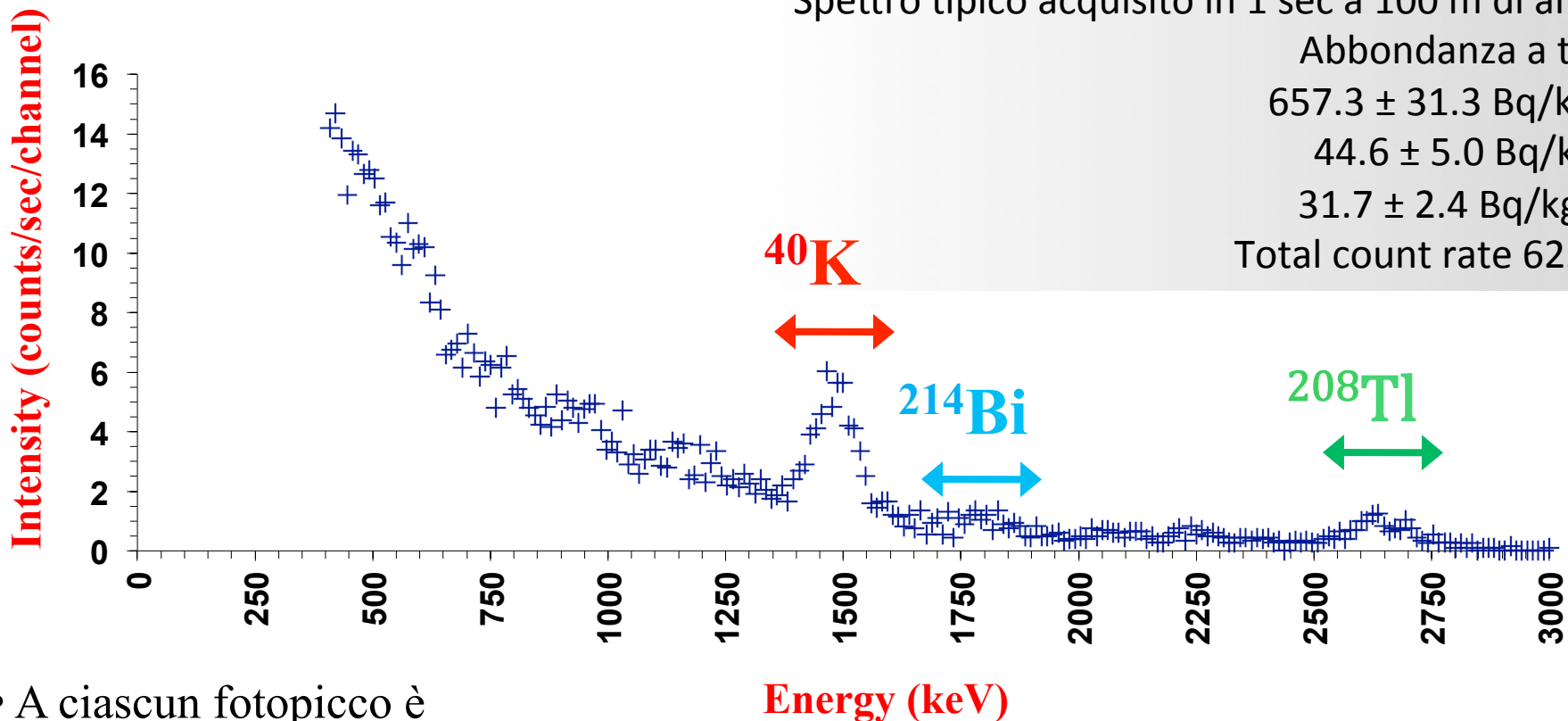
Quota ottimale di volo: **100 m**
Velocità di crociera: **100 km/h**



AGRS_16L	
4 rivelatori NaI(Tl)	4 Lit. (102 x 102 x 406) mm
1 rivelatore NaI(Tl)	1 Lit. (102 x 102 x 102) mm
Risoluzione energetica	8.5% a 662 keV (^{137}Cs)
Canali di acquisizione	2048 (1024, 512, 256)
Autonomia	3 ore
Peso complessivo	~ 115 kg
Output	Eventi in list mode
Sensori accessori	Antenna GPS, Sensore di P&T



La radioattività di origine terrestre

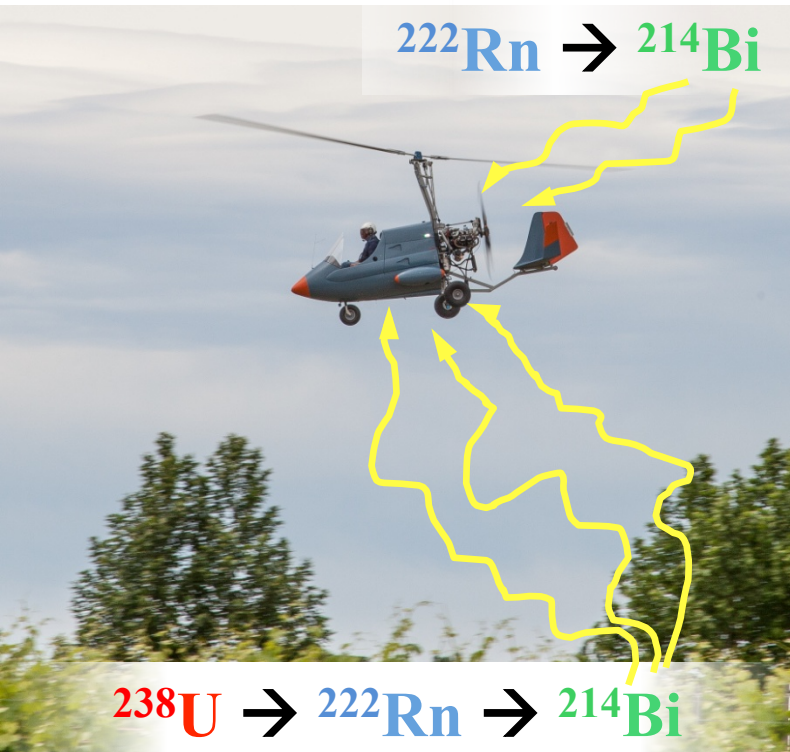


- A ciascun fotopicco è associato un preciso decadimento.

- A 150 metri di quota il flusso di fotoni ad 1.5 MeV è ridotto di circa il 50%.

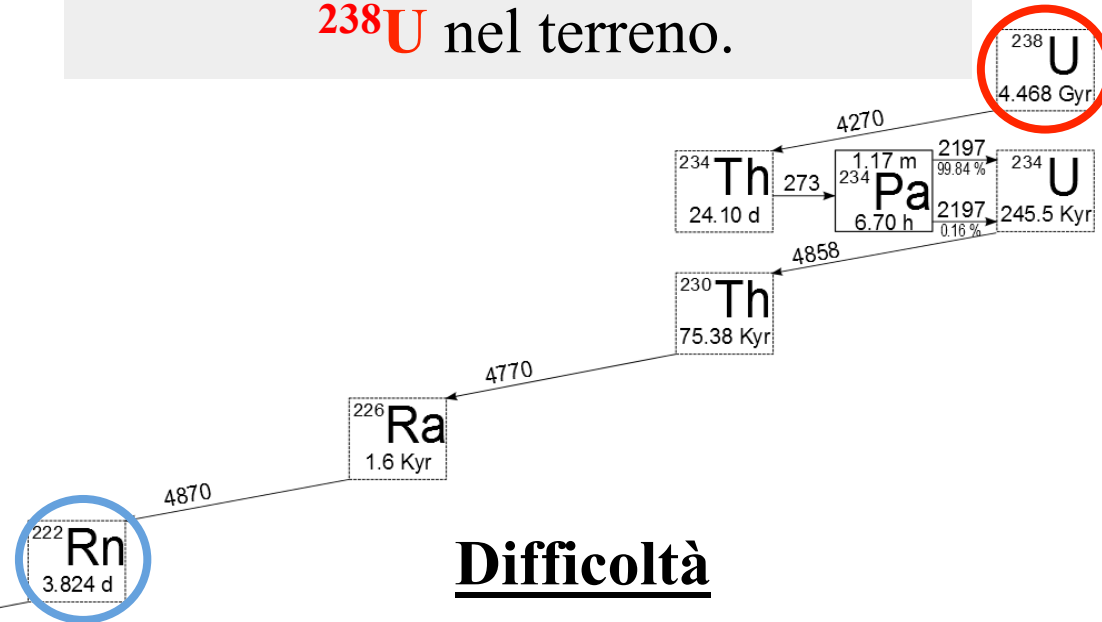
Radionuclide	Energia (keV)	$\tau_{1/2}$	Attività tipiche
^{40}K	1460	1.3 Gy	600 Bq/kg
^{238}U	609, 1765 (^{214}Bi)	4.5 Gy	40 Bq/kg
^{232}Th	583, 2614 (^{208}Tl)	14.1 Gy	40 Bq/kg

La catena di decadimenti dell' ^{238}U



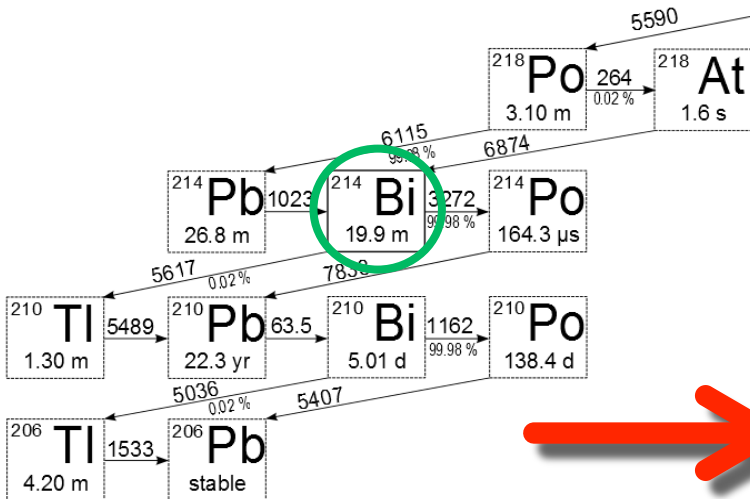
Obiettivo del survey AGRS

Misurare l'abbondanza di ^{238}U nel terreno.



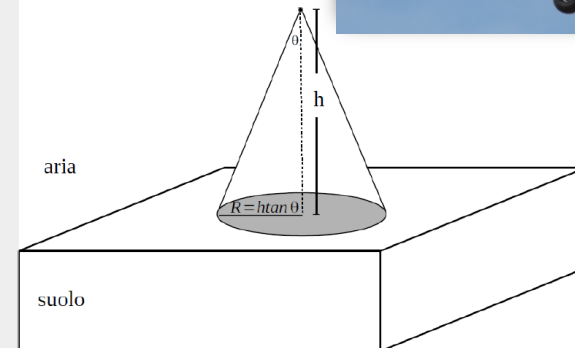
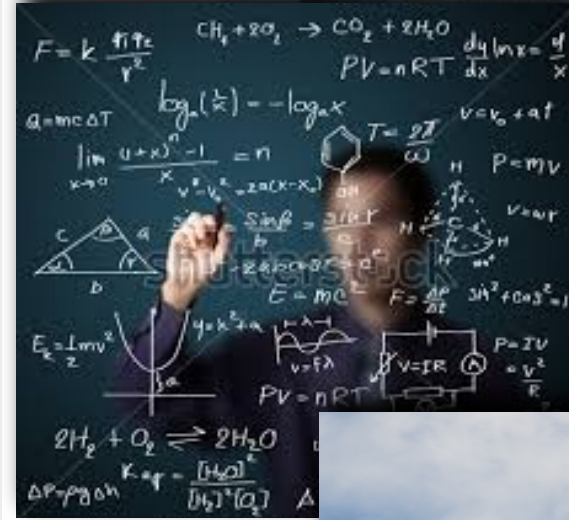
Difficoltà

- Scattering in aria e suolo dei fotoni emessi nel fotopicco dal ^{214}Bi
- La principale componente dello spettro g è data dal ^{214}Bi che si trova in “fondo alla catena”
- Esiste un noise del ^{214}Bi prodotto dal ^{222}Rn (gas) esalato dal terreno e distribuito in atmosfera



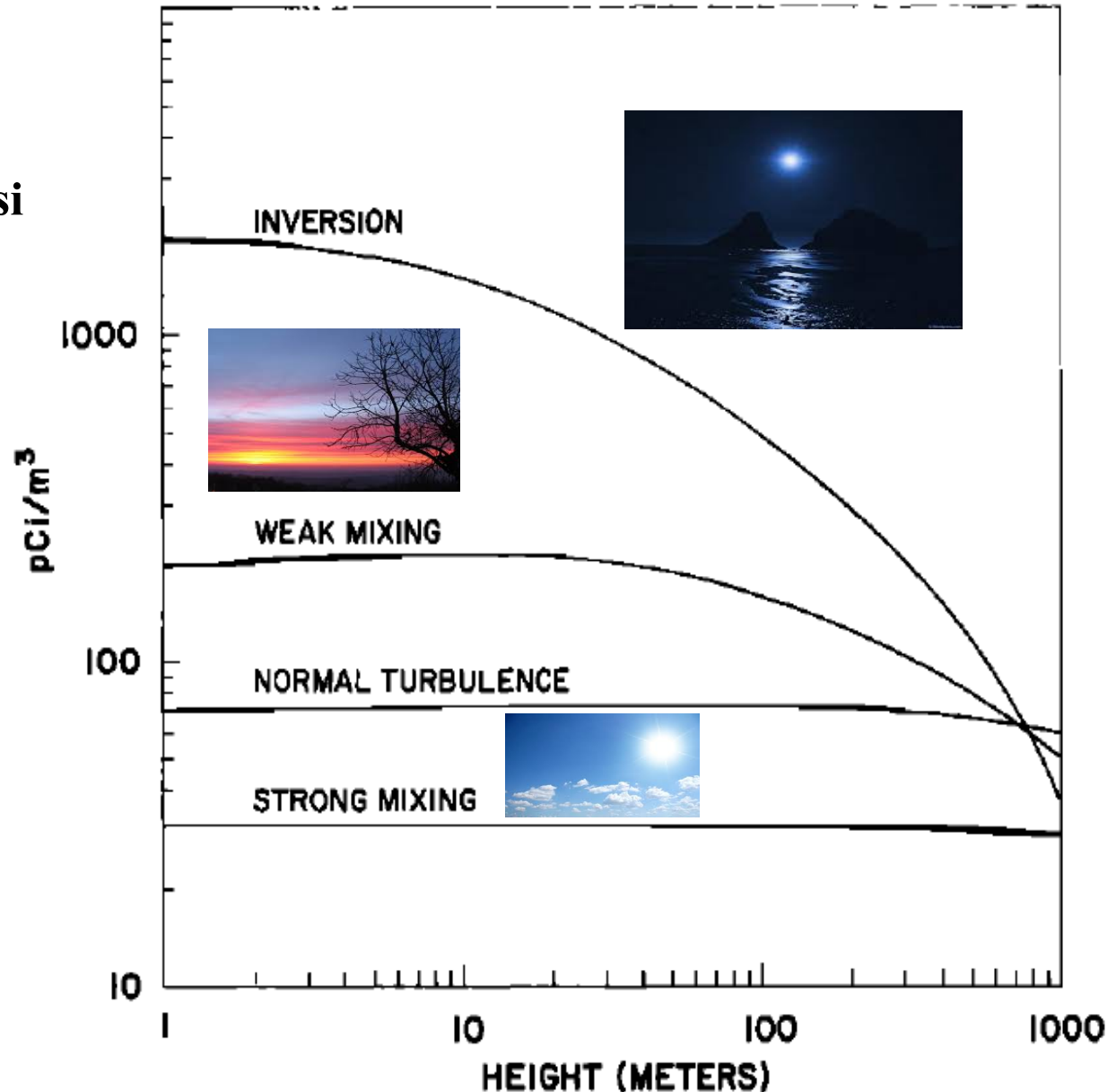
Obiettivi del lavoro

- ✓ Ricerca bibliografica dei principali paper scientifici
- ✓ Impostare le principali equazioni che descrivono il flusso gamma incidente sul detector a diverse altezze per individuare una gerarchia di parametri critici
- ✓ Comprensione dei principali modelli di distribuzione di Radon atmosferico
- ✓ Analisi dei dati sperimentali alla luce dei modelli più semplici



Distribuzione di Radon in atmosfera

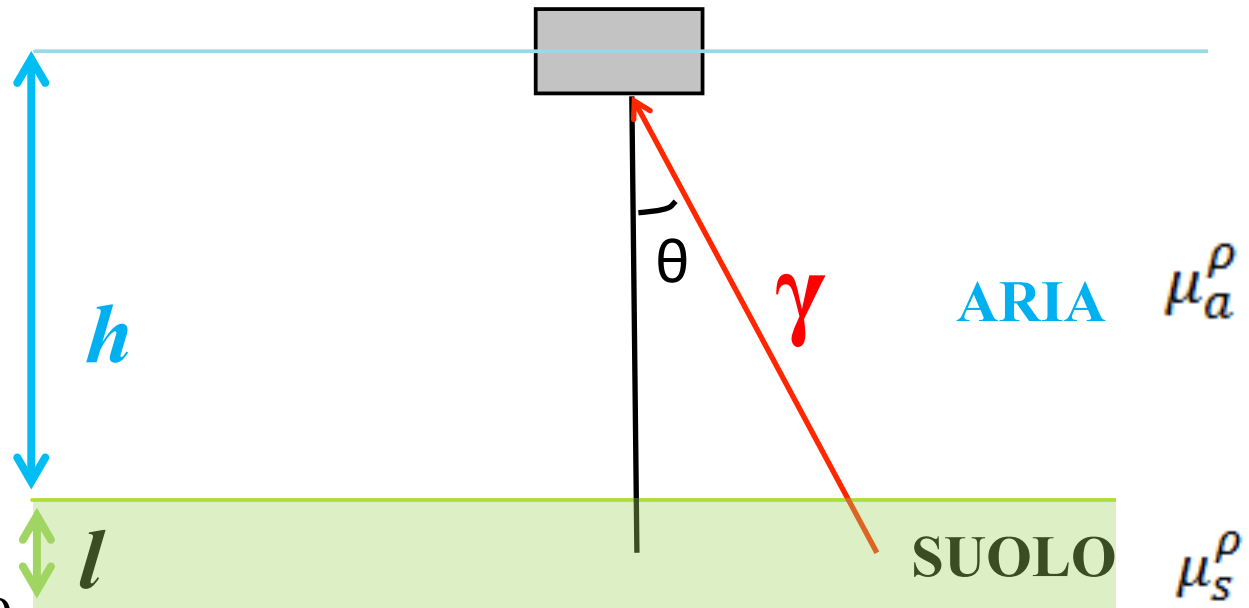
- La distribuzione di Radon in atmosfera è governata da **moti convettivi** e da **processi di turbolenza**
- Il grado di mescolamento degli strati d'aria è fortemente condizionato dal **gradiente termico**
- Le diverse condizioni atmosferiche si instaurano tipicamente in determinati momenti nell'arco della giornata



Flusso incidente in funzione della quota

Sorgente **isotropa** di attività specifica A_s **omogeneamente distribuita nel suolo**

Fotoni γ **monocromatici**



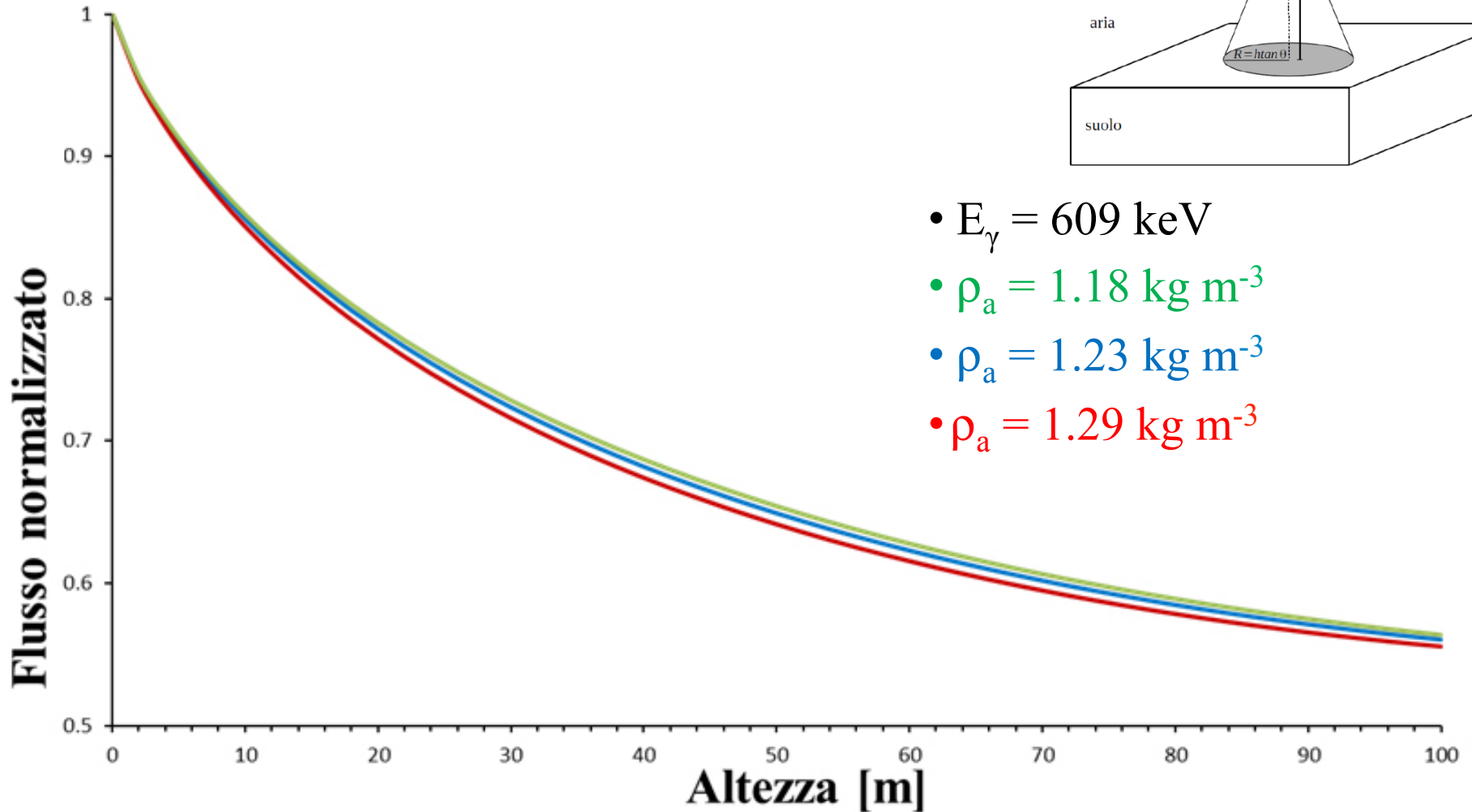
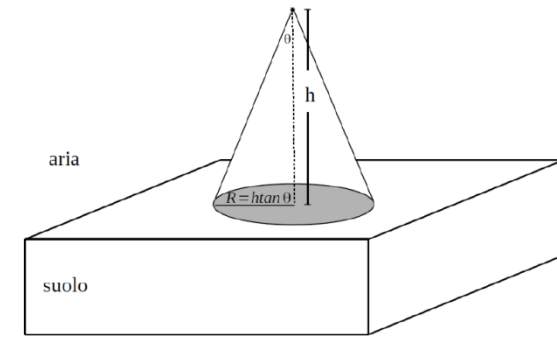
$\Phi(h)$ è determinato attraverso un integrale esponenziale del secondo tipo:

- μ_a^ρ = coefficiente di attenuazione di massa dell'**aria**
- μ_s^ρ = coefficiente di attenuazione di massa del **suolo**

$$\Phi(h) = \frac{A_s}{2\mu_s^\rho} \int_0^1 d\cos\theta e^{-\frac{\mu_a^\rho \rho_a h}{\cos\theta}} \left[1 - e^{-\frac{\mu_s^\rho \rho_s l}{\cos\theta}} \right]$$

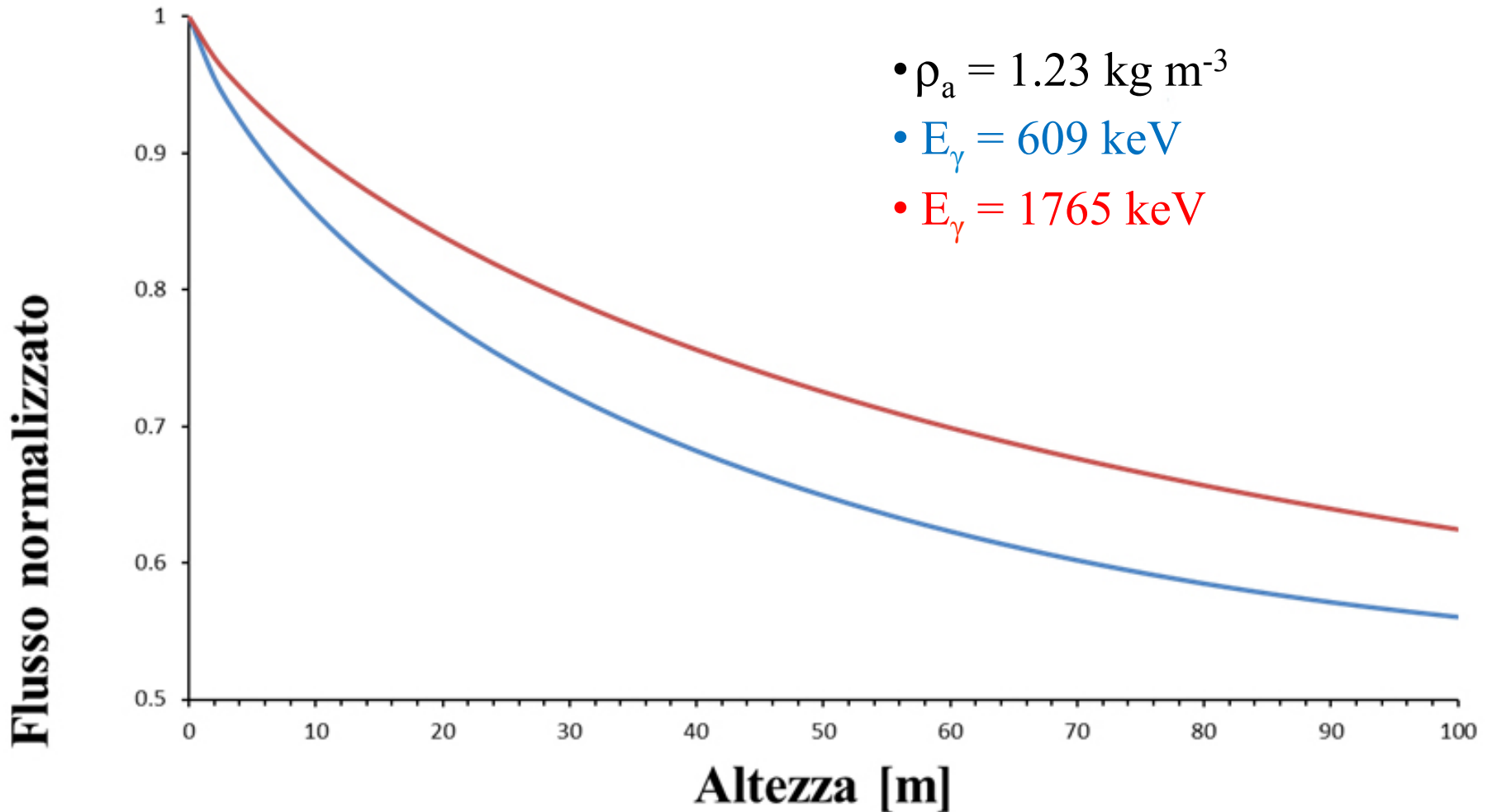
Procedo con una soluzione numerica

Flusso g e densità dell'aria



Alla quota di 100 m lo scarto tra il flusso incidente con $\rho_a = 1.18 \text{ kg m}^{-3}$ e $\rho_a = 1.29 \text{ kg m}^{-3}$ è di circa l'1%.

Flusso g ed energia dei fotoni



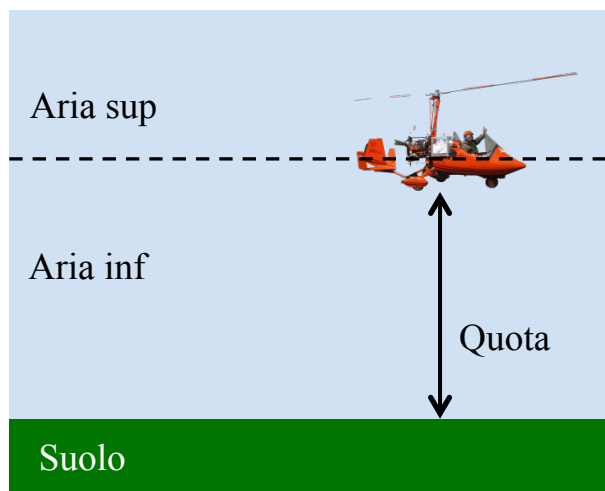
Alla quota di 100 m lo scarto tra il flusso incidente per $E_\gamma = 609 \text{ keV}$ ed $E_\gamma = 1765 \text{ keV}$ è dell'11%.



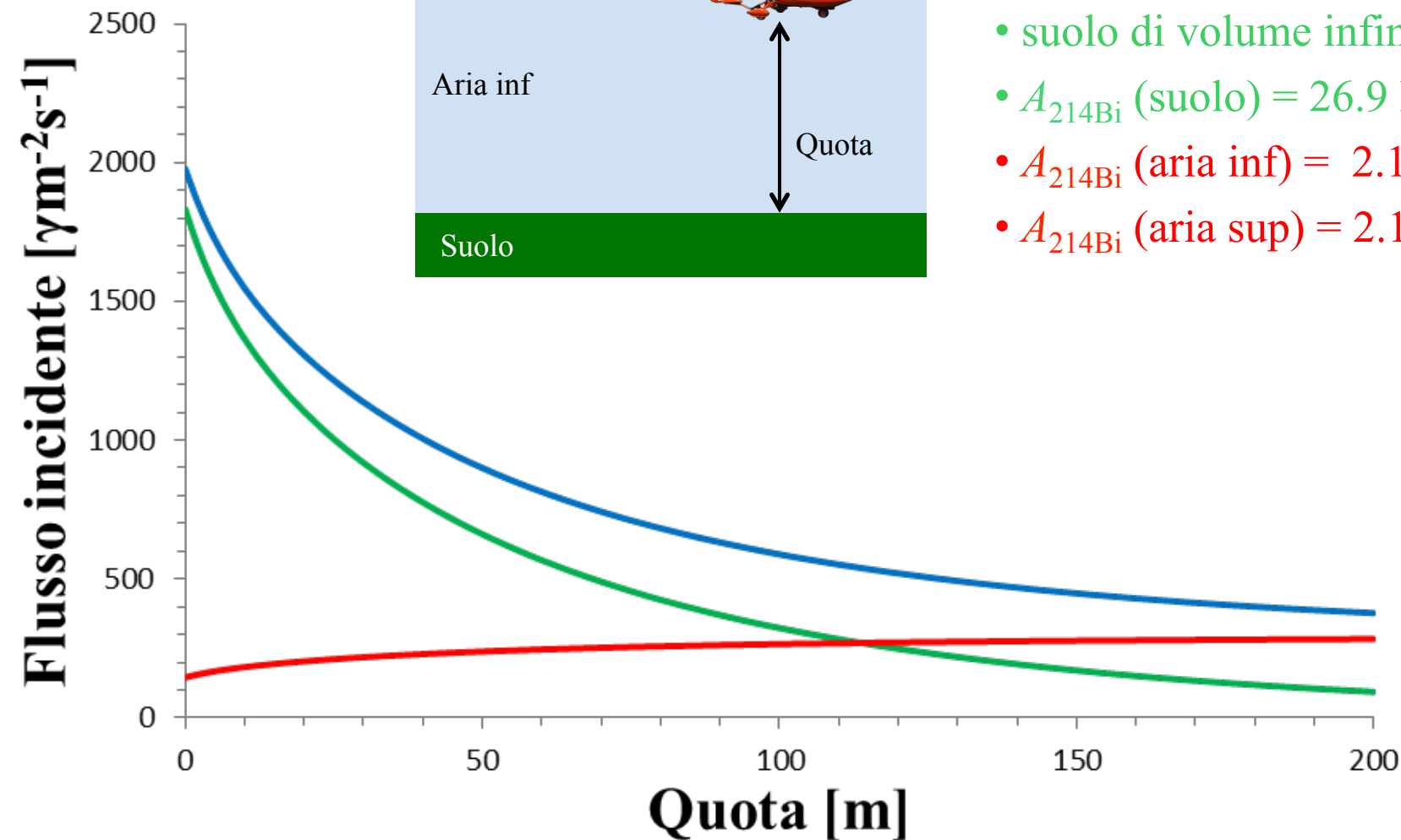
**Coefficiente di attenuazione
di massa efficace**

Modello di distribuzione del ^{222}Rn ad un layer

Il flusso incidente è dato tra 3 contributi: $\Phi_{TOT} = \Phi_{suolo} + \Phi_{aria}^{sup} + \Phi_{aria}^{inf}$

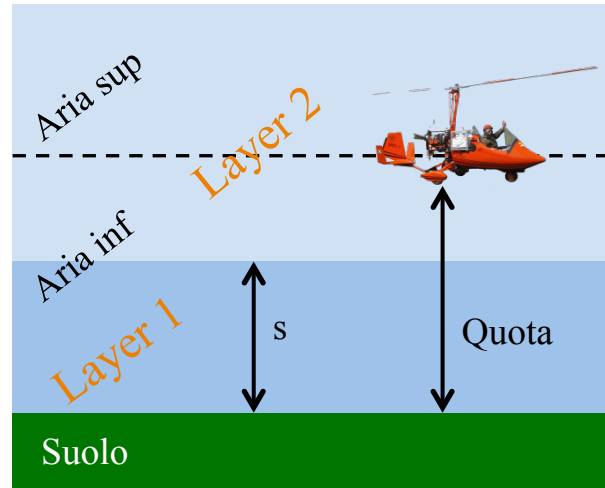


- $E_\gamma = 609 \text{ keV}$
- $\rho_a = 1.23 \text{ kg m}^{-3}$
- suolo di volume infinito
- $A_{214\text{Bi}} (\text{suolo}) = 26.9 \text{ Bq/kg}$
- $A_{214\text{Bi}} (\text{aria inf}) = 2.1 \text{ Bq/kg}$
- $A_{214\text{Bi}} (\text{aria sup}) = 2.1 \text{ Bq/kg}$

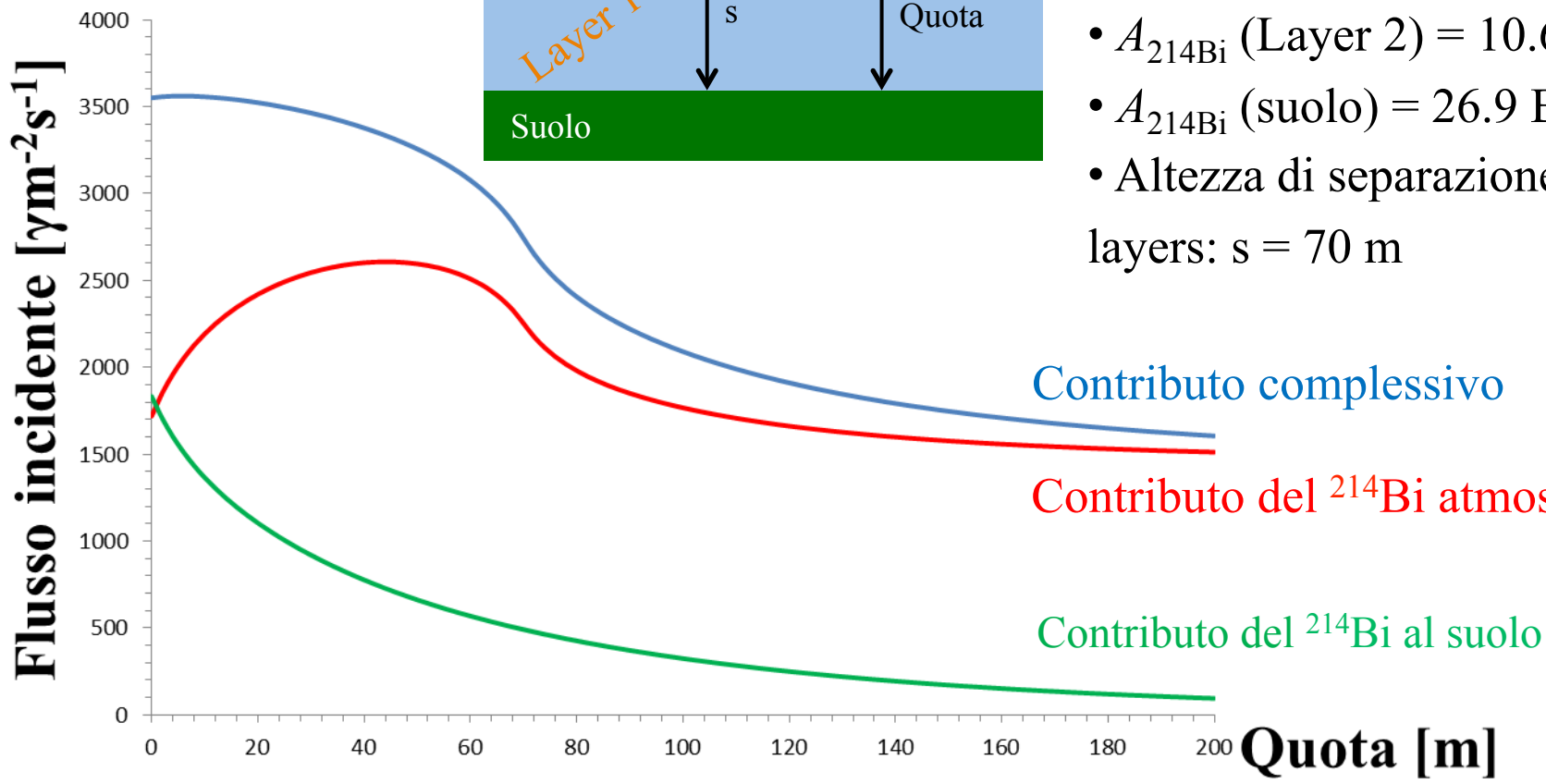


Modello di distribuzione del ^{222}Rn a due layers

Il flusso incidente è dato tra 3 contributi: $\Phi_{TOT} = \Phi_{suolo} + \Phi_{aria}^{sup} + \Phi_{aria}^{inf}$

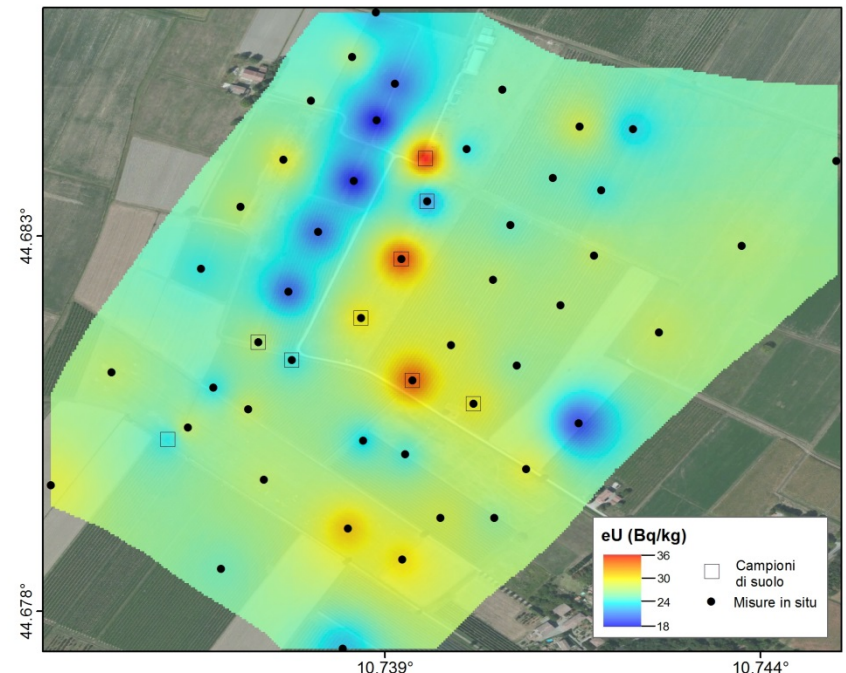


- $E_\gamma = 609 \text{ keV}$
- $\rho_a = 1.23 \text{ kg m}^{-3}$
- Suolo di volume infinito
- $A_{214\text{Bi}}$ (Layer 1) = 30.2 Bq/kg
- $A_{214\text{Bi}}$ (Layer 2) = 10.6 Bq/kg
- $A_{214\text{Bi}}$ (suolo) = 26.9 Bq/kg
- Altezza di separazione tra i due layers: $s = 70 \text{ m}$



Volo di calibrazione dell'AGRS_16L

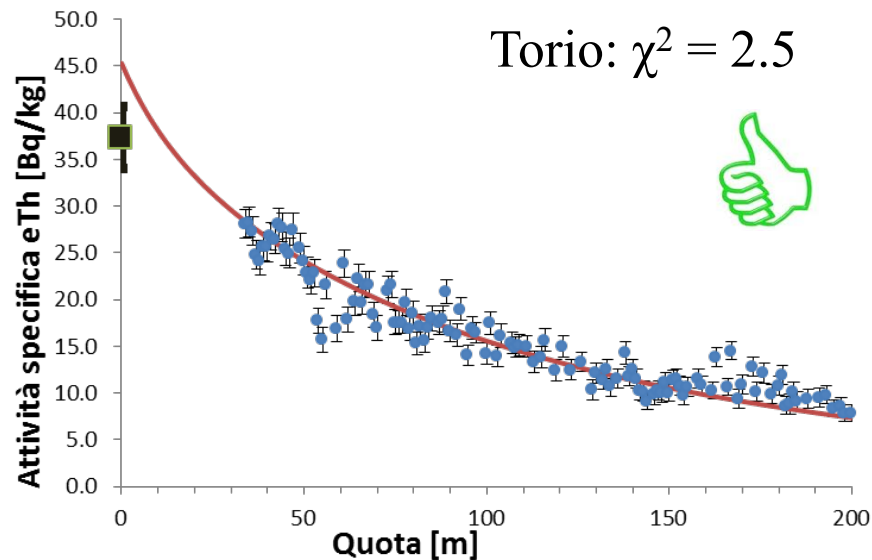
- Il detector è stato portato per tre volte da 200 m a 30 m di quota perpendicolarmente all'area test
- Le abbondanze dei radionuclidi primordiali (K, U, Th) nell'area di test sono state ottenute attraverso **51** acquisizioni in situ e **9** in laboratorio
- Le mappe delle distribuzioni K, U e Th sono state determinate mediante il metodo dell'Inverse Distance Weighting (IDW).



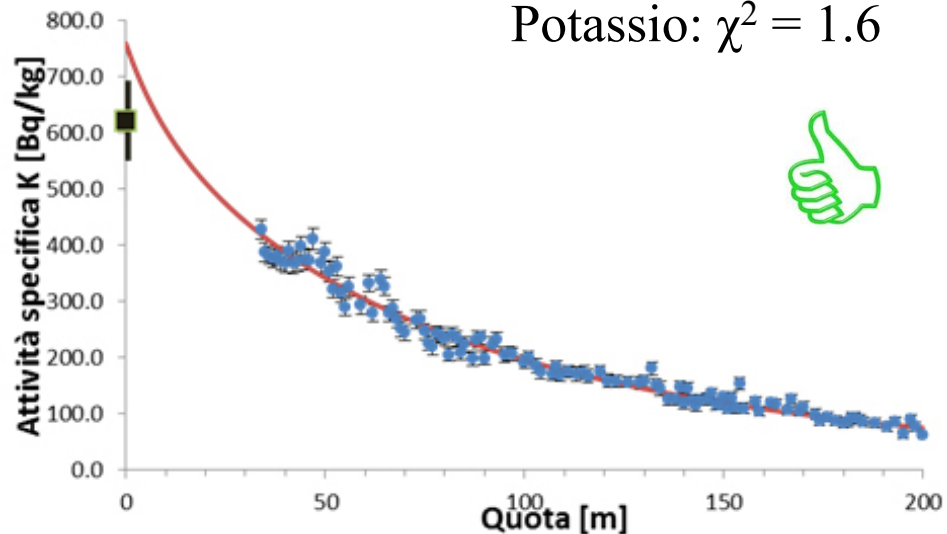
A_s K [Bq/kg]	A_s U [Bq/kg]	A_s Th [Bq/kg]
621.9 ± 62.4	26.9 ± 5.5	37.4 ± 3.3

K, Th e U fittati (senza Radon atmosferico)

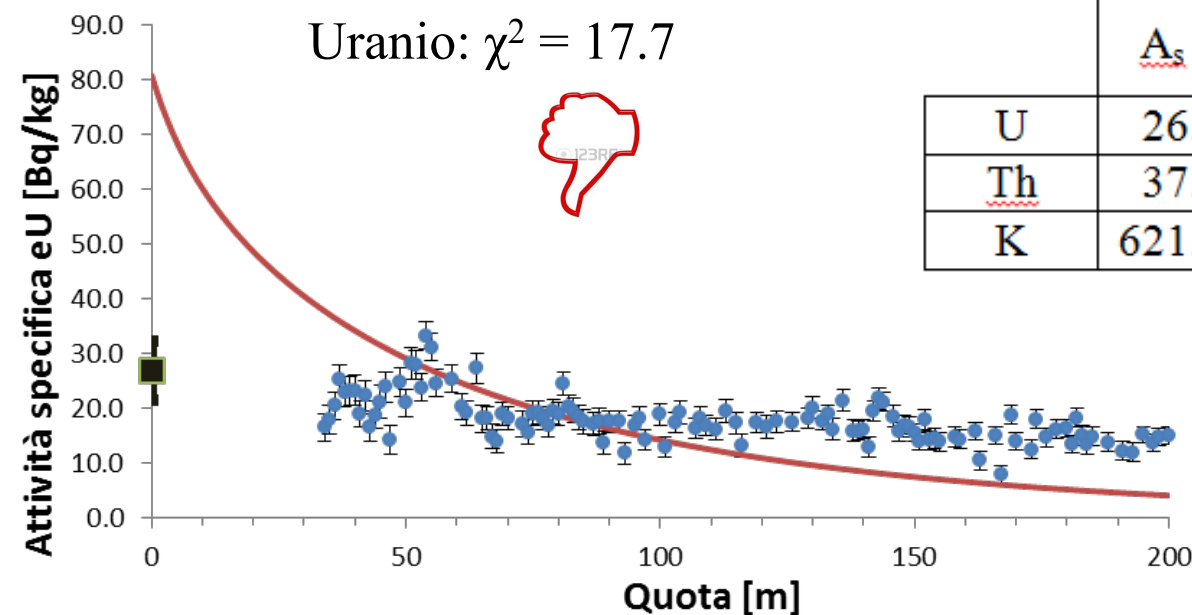
Torio: $\chi^2 = 2.5$



Potassio: $\chi^2 = 1.6$



Uranio: $\chi^2 = 17.7$



	A_s [Bq/kg]	A_{AGRS} [Bq/kg]	χ^2 -ridotto
U	26.9 ± 5.5	80.8 ± 9.8	17.7
Th	37.4 ± 3.3	45.3 ± 3.4	2.5
K	621.9 ± 62.4	759.1 ± 46.1	1.6

- A_s = attività specifica al suolo ricavata dai 60 campioni
- A_{AGRS} = attività specifica al suolo ricavata dai fit

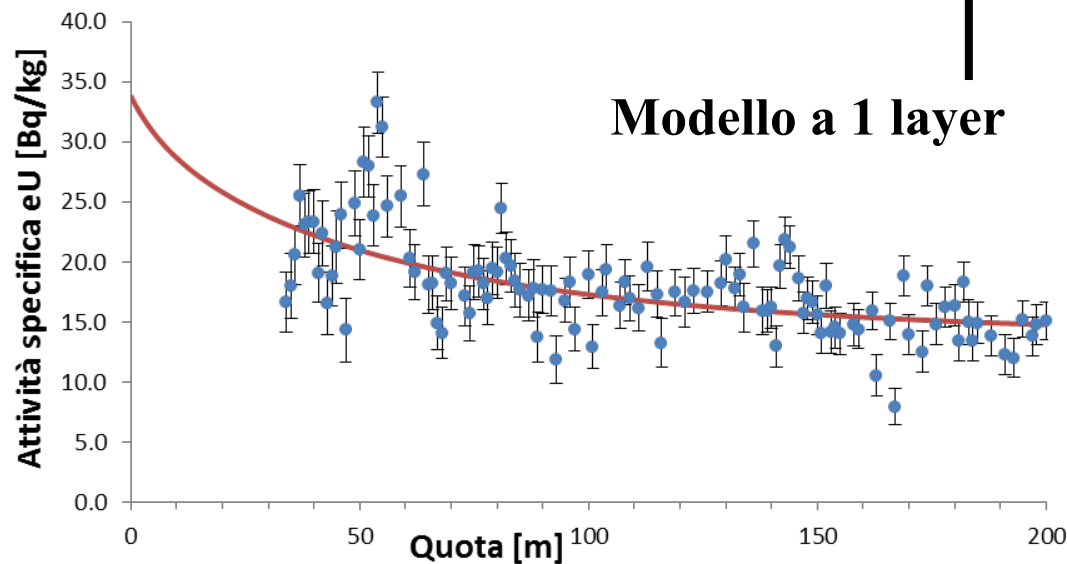
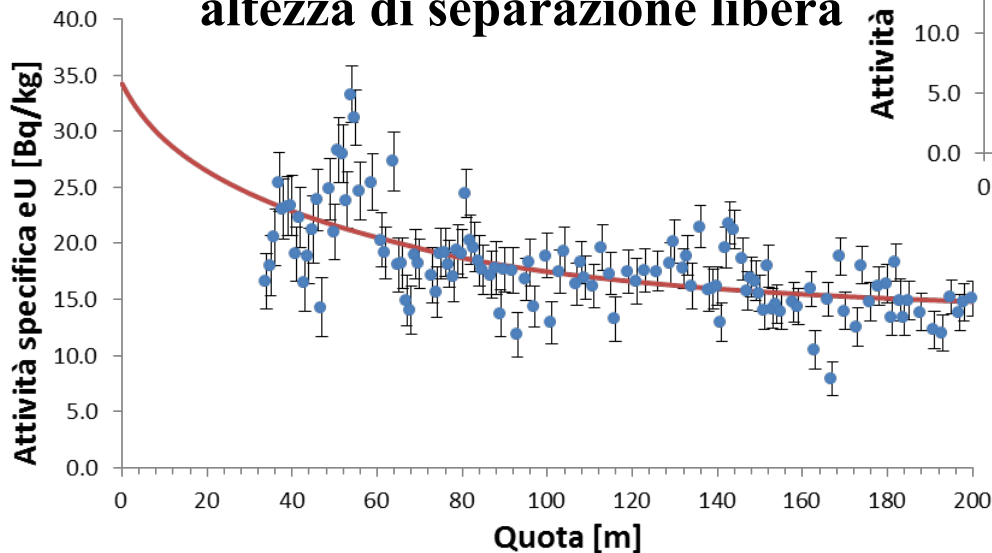
Fit dei dati sperimentali con il modello che tiene in considerazione il Radon atmosferico

A1 [Bq/kg]	A2 [Bq/kg]	s [m]	χ^2	χ^2 - ridotto
3.4 ± 0.6	3.4 ± 0.6		265	2.3
3.7 ± 2	3.4 ± 0.6	70	265	2.3
3.7 ± 2	3.4 ± 0.6	65	264	2.3

Modello a 2 layers con altezza di separazione fissa

Modello a 2 layers con altezza di separazione libera

Modello a 1 layer



Attività specifica misurata a terra: $A_s (U) = 26.9 \text{ Bq/kg}$

Conclusioni

- ✓ È stata studiata la **distribuzione di ^{222}Rn in atmosfera** per quote comprese tra 0 e 1000 m a seconda delle **condizioni atmosferiche** (strong mixing, normal turbulence, weak mixing ed inversion) sulla base di diverse fonti bibliografiche. Nei primi 100 m l'attività specifica può variare da **1 a 21 Bq/kg**.
- ✓ Sono stati costruiti **modelli atmosferici a uno e due layer omogenei** basati su integrali esponenziali per stimare il flusso gamma d'origine atmosferica su un rivelatore AGRS a varie altezze.
- ✓ Le analisi di misure di calibrazione AGRS hanno mostrato chiaramente che il contributo dovuto **alla presenza di Radon non è trascurabile**.
- ✓ In accordo con quanto riportato in letteratura, il modello ad **un layer omogeneo con $a_{\text{ATM}} = 3.4 \pm 0.6 \text{ Bq/kg}$** sembra essere il favorito

Prospettive

- Realizzare misure con **diverse condizioni atmosferiche** durante la giornata e durante l'anno.
- Effettuare **survey sul mare** dove il contributo atmosferico è prevalente.