



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra
Corso di Laurea in Scienze geologiche

Modellazione dei geoneutrini prodotti dalla crosta superiore nell'intorno del detector SNO+ (Canada)

Relatore:

Dott. Mantovani Fabio

Laureanda:

Gizzi Sara

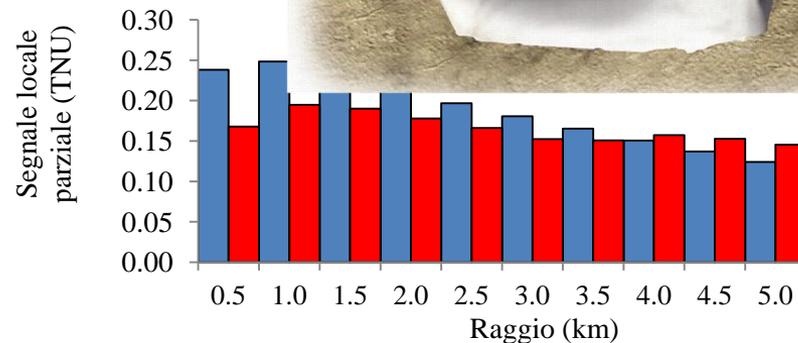
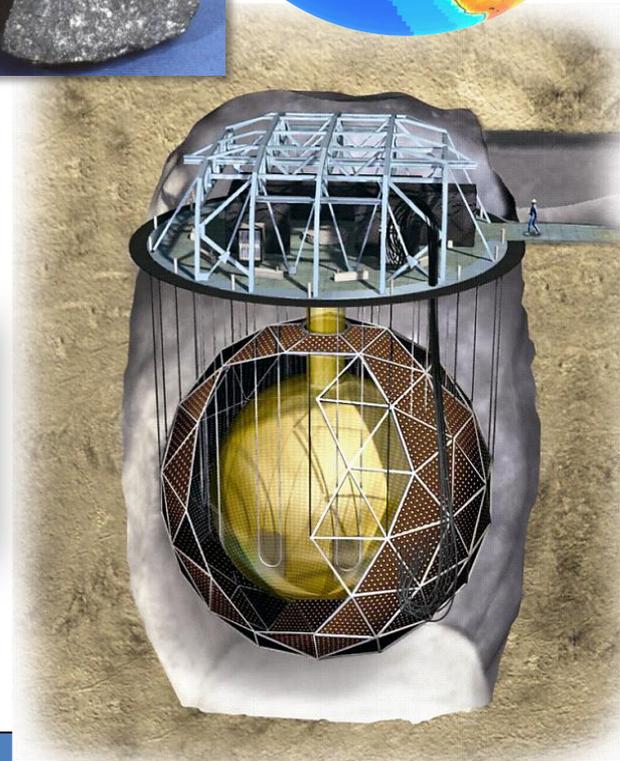
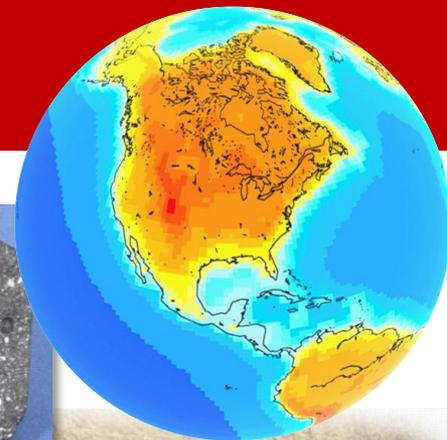
Correlatrice:

Dott.ssa Strati Virginia

Anno Accademico 2017/2018

SOMMARIO

- Cosa sono i geoneutrini?
- Quanta radioattività è contenuta nella Terra?
- Come si misurano i geoneutrini nel detector SNO+ (Canada)?
- Inquadramento delle principali strutture geologiche che circondano SNO+
- Studio del segnale di geoneutrini in SNO+: modello analitico e modello 3D
- Conclusioni e prospettive

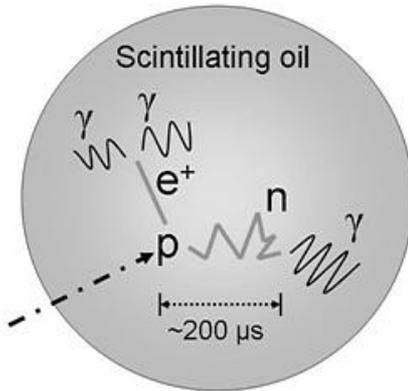
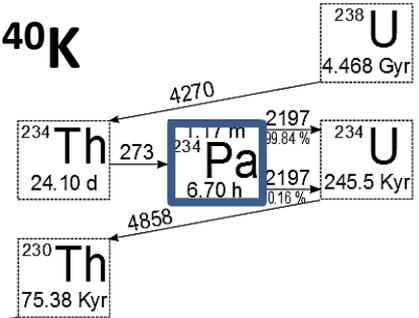


COSA SONO I GEONEUTRINI?

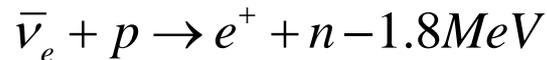
- I geoneutrini sono antineutrini prodotti dalla **radioattività naturale terrestre**, in particolare dai decadimenti β^- inclusi nelle catene di decadimento di ^{238}U e ^{232}Th e dal decadimento β^- di ^{40}K
- L'emissione di geoneutrini è strettamente legata alla produzione di calore

Nucleo Padre N-antinu ϵ ($\mu\text{W}/\text{kg}$)

| | | |
|-------------------|---|----|
| ^{238}U | 6 | 95 |
| ^{232}Th | 4 | 27 |
| ^{40}K | 1 | 22 |



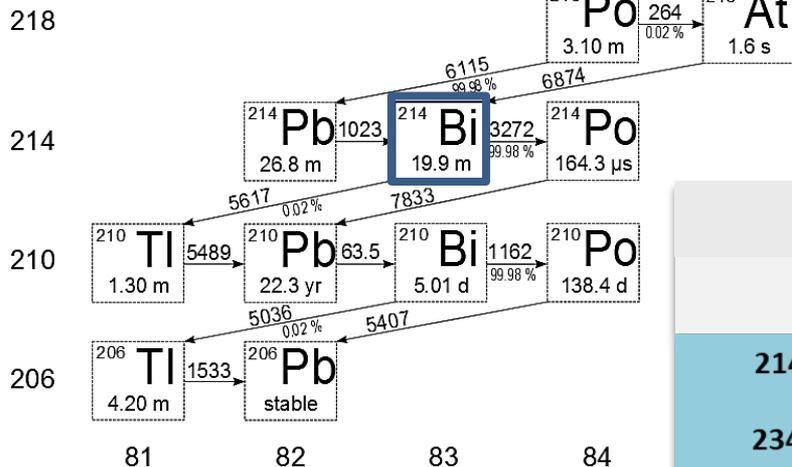
I geoneutrini vengono rivelati attraverso la reazione:



Transizioni effettive

^{238}U

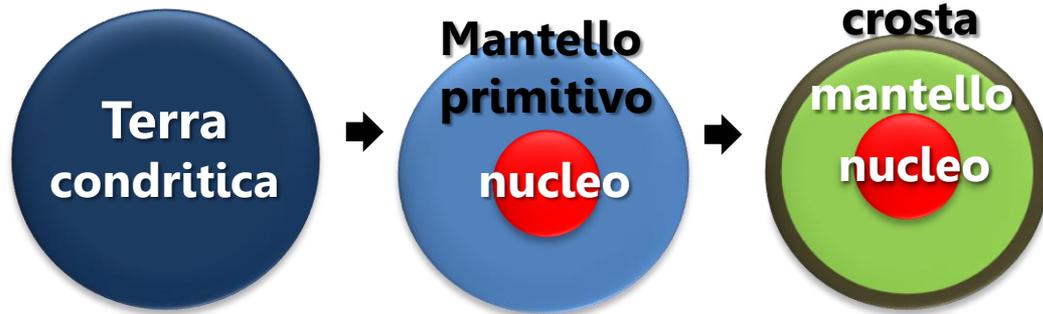
^{232}Th



QUANTA RADIOATTIVITA' C'E' NELLA TERRA?



- La composizione chimica globale della Terra è basata su **argomentazioni cosmochimiche, misure indirette** e alcune **misure dirette** su campioni di crosta e mantello superiore.
- La teoria **Bulk Silicate Earth (BSE)** è un paradigma che descrive il **Mantello Primitivo** sulla base di osservazioni composizionali su campioni **condritici e terrestri**



- Importanti implicazioni sul contributo radiogenico al **calore terrestre**

Possibilità di discriminare i modelli BSE in base alle misure sperimentali di geoneutrini



| Modello | M(U) (10^{17} kg) | H(U) (10^{12} W) | S (TNU) |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|
| Anderson, 2007 | 0.8 | 8.0 | 10.7-16.2 |
| Palme and O'Neil, 2003 | 0.9 | 3.4 | 7.0-11.3 |
| McDonough and Sun, 1995 | 0.8 | 8.0 | 5.8-9.9 |
| Lyubetskaya and Korenga, 2007 | 1.1 | 10.3 | 4.0-8.2 |
| Javoy et al., 2010 | 0.5 | 4.8 | 1.0-3.4 |

COME SI MISURANO I GEONEUTRINI IN SNO+



- **Kamland** (Giappone) e **Borexino** (Italia) acquisiscono dati da oltre 10 anni. Nel 2018 entrerà in funzione anche **SNO+**

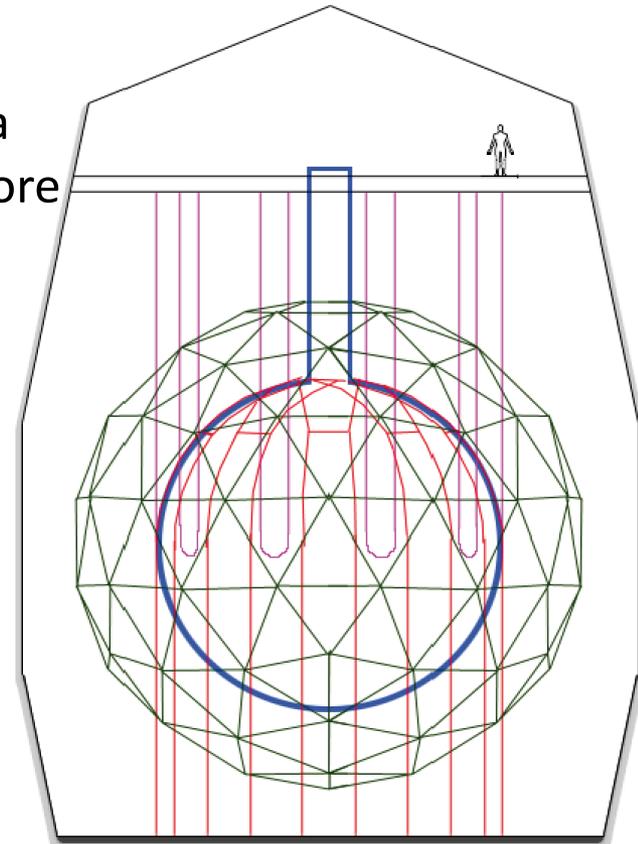
- SNO+ è un **rivelatore a scintillazione** costituito da una sfera acrilica riempita da 1000 Ton di liquido scintillatore ultrapuro e circondata da 9300 fotomoltiplicatori

- Il **flusso di geoneutrini** in superficie è di $\sim 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

- Il **segnale di geoneutrini** si misura in **TNU** (Terrestrial Neutrino Unit)
 $1\text{TNU}=1\text{antineutrino}/1\text{anno}/10^{32}$ protoni

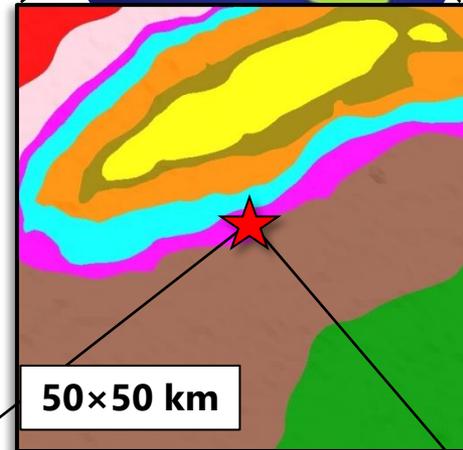
- Il flusso di geoneutrini dipende fortemente dalla presenza di **U e Th** nelle strutture geologiche che circondano il detector

$$\Phi \sim \frac{1}{r^2}$$

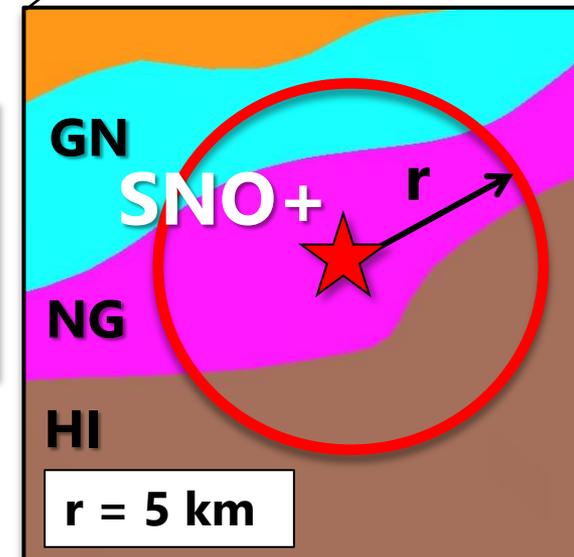


LA GEOLOGIA ATTORNO A SNO+

- SNO+ si trova nel **Cratone Canadese**, presso Sudbury (Ontario), in una miniera attiva che estrae prevalentemente nichel e rame
- Il **cratere meteorico** (1.85 Ga) ha una forma ellittica (lunga ~ 58 km e larga ~ 28 km) a causa delle deformazioni dovute alle orogenesi successive all'impatto. Contiene noriti, quarzogabbri e granofiri.
- **Area di studio**: cilindro di raggio e altezza di 5 km intorno a SNO+ che comprende **3 reservoir geologici**



GN: Granophyre
NG: Norite-gabbro
HI: Huronian Supergroup with Intrusions



GEOLOGIA E GEOCHIMICA DELL'AREA DI STUDIO



| Reservoir | N. campioni | ρ (g/cm ³) | $a(U)$ (ppm) | $a(Th)$ (ppm) |
|-----------|-------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| NG | 108 | 2.83 ± 0.10 | $1.2^{+0.6}_{-0.4}$ | $5.9^{+2.1}_{-1.6}$ |
| HI | 51 | 2.75 ± 0.04 | $2.3^{+4.0}_{-1.5}$ | $8.0^{+15.3}_{-5.3}$ |
| GN | 35 | 2.70 ± 0.10 | 3.3 ± 0.3 | 15 ± 1.5 |

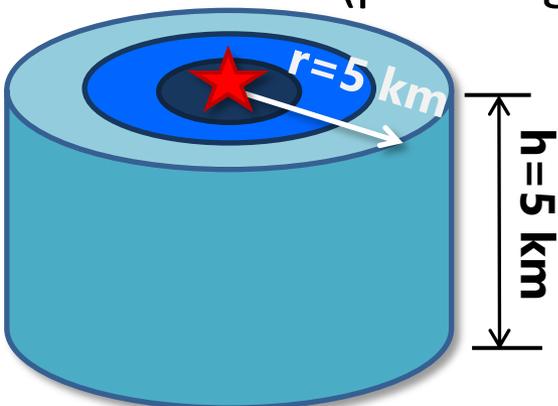
- **Granofiri (GN)** e **gabbro-noriti (NG)** [1.85 Ga]: costituiscono la massa principale del Sudbury Igneous Complex, che si formò dal raffreddamento del fuso generato dall'impatto del meteorite

- **Huronian Supergroup e Intrusioni minori (HI)** [2.45-2.22 Ga]: complessa successione di rocce sedimentarie clastiche e vulcaniche hanno subito metamorfismo di basso grado, contenenti intrusioni mafiche e felsiche



MODELLO ANALITICO PER SNO+ IN SUPERFICIE

- E' stato stimato il segnale di geoneutrini generato dal cilindro centrato in SNO+ di raggio e altezza di 5 km costruendo un **modello analitico** con valori omogenei di abbondanza di U ($a_U=2.2$ ppm) e Th ($a_{Th}=8.3$ ppm) e di densità ($\rho=2.76$ g/cm³)



- Il **flusso di geoneutrini** prodotto da un cilindro omogeneo di raggio r e profondità h , sulla cui base si trova centrato SNO+, è dato da:

$$\phi(X) = \frac{\varepsilon'(X) a(X) \rho}{2} \left[r \operatorname{arctg} \left(\frac{h}{r} \right) + \frac{h}{2} \ln \left(1 + \frac{r^2}{h^2} \right) \right]$$

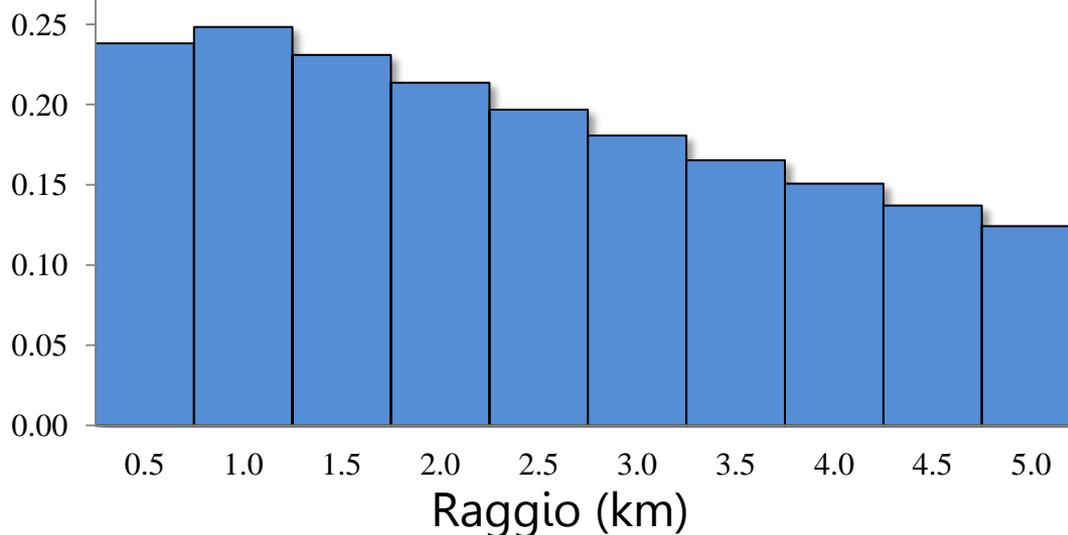
ρ = densità

a = abbondanza

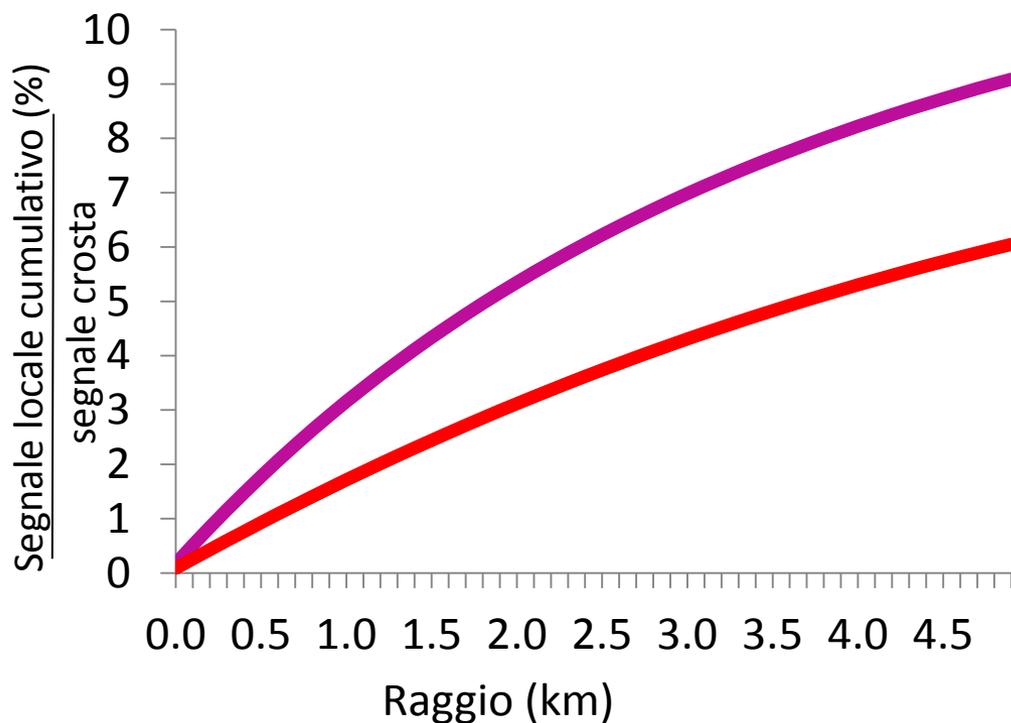
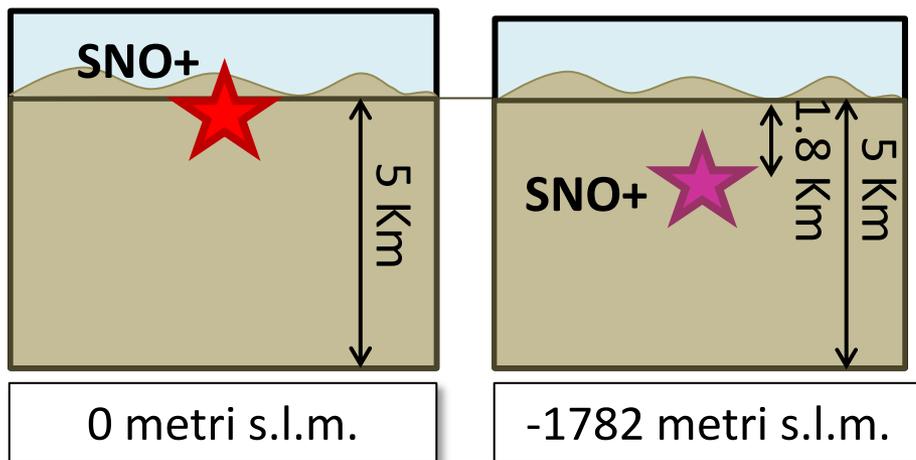
$\varepsilon = \bar{\nu}_e / \text{s} \cdot \text{kg}$

Il **segnale parziale** diminuisce all'aumentare della distanza da SNO+

Segnale locale parziale (TNU)



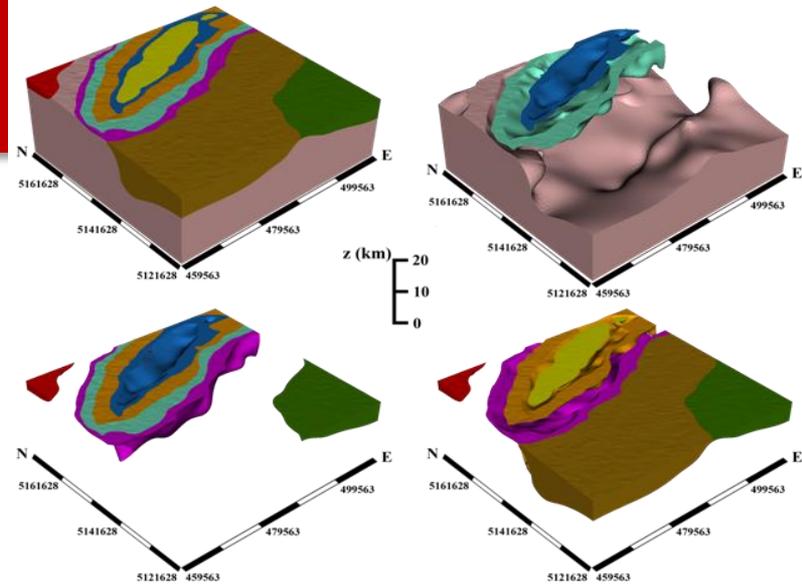
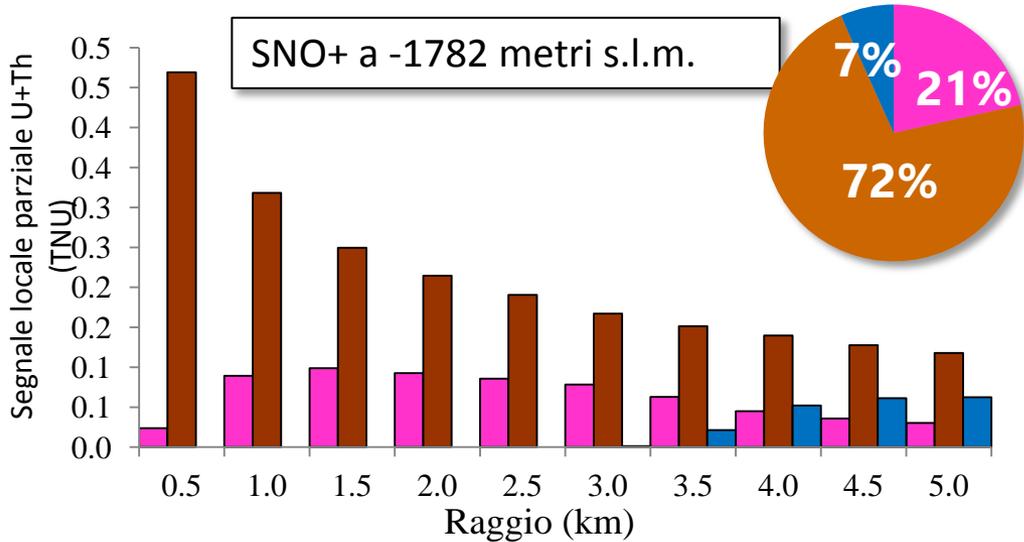
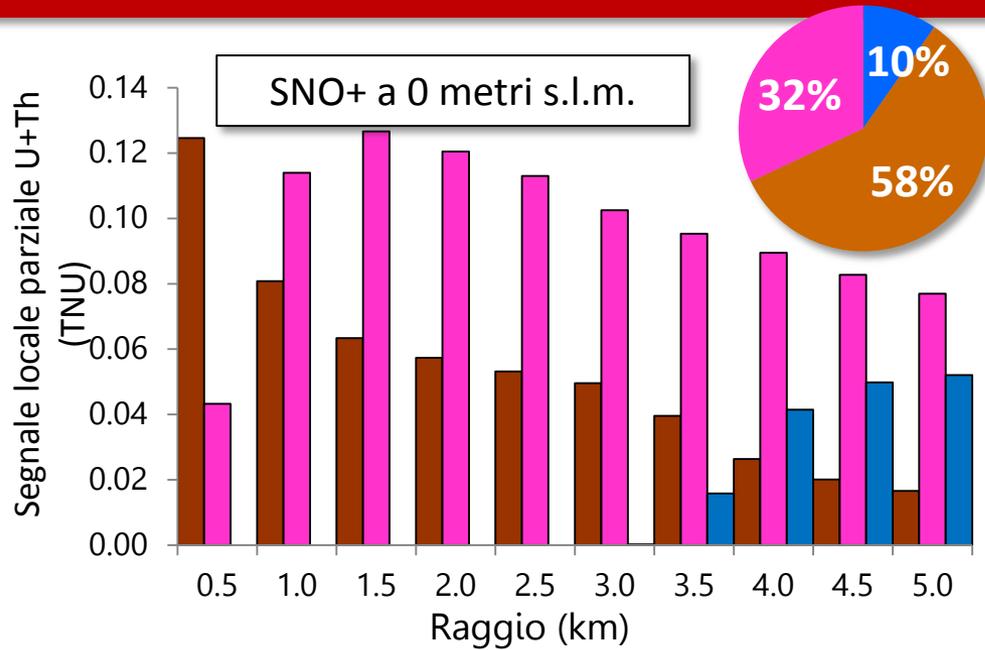
EFFETTO DOVUTO ALLA COPERTURA DEL DETECTOR



- Il **segnale cumulativo** (somma dei contributi locali) aumenta all'aumentare della distanza da SNO+
- Dal confronto tra il segnale cumulativo generato dal cilindro per SNO+ posto a **-1782 metri s.l.m.** con quello per SNO+ a **0 m s.l.m.** risulta che la copertura rocciosa del detector provoca un innalzamento del segnale di **~1 TNU** (~3% del segnale crostale)

| | S (TNU) | S/S _{crosta} (%) |
|-----------------|------------|------------------------------|
| 0 m s.l.m. | 1.89 | 6.0 |
| - 1782 m s.l.m. | 2.83 | 9.1 |

CONTRIBUTO PARZIALE DEL MODELLO 3D



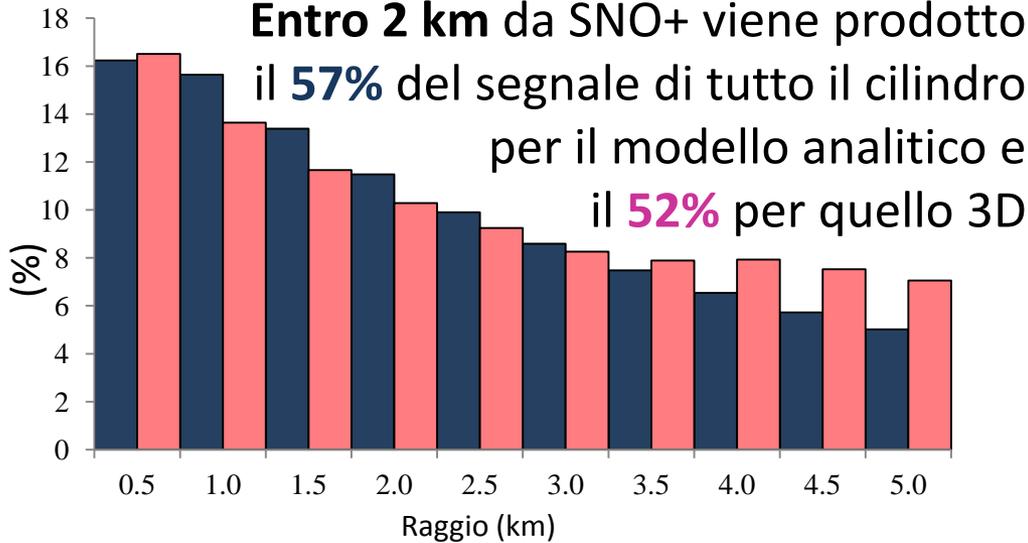
NG, HI e GN contribuiscono in misura diversa al segnale locale in funzione di:

- densità
- abbondanza di U e Th
- volume occupato nel cilindro
- posizione rispetto a SNO+

Utilizzando un **modello geologico 3D**, sono stati stimati per ciascuno dei tre reservoir i **contributi parziali** al segnale totale prodotto dal cilindro.

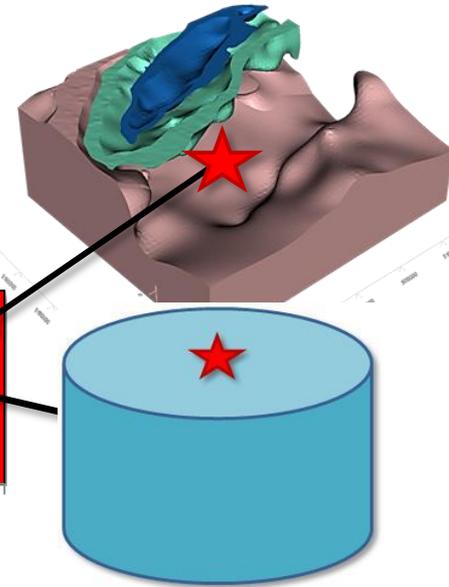
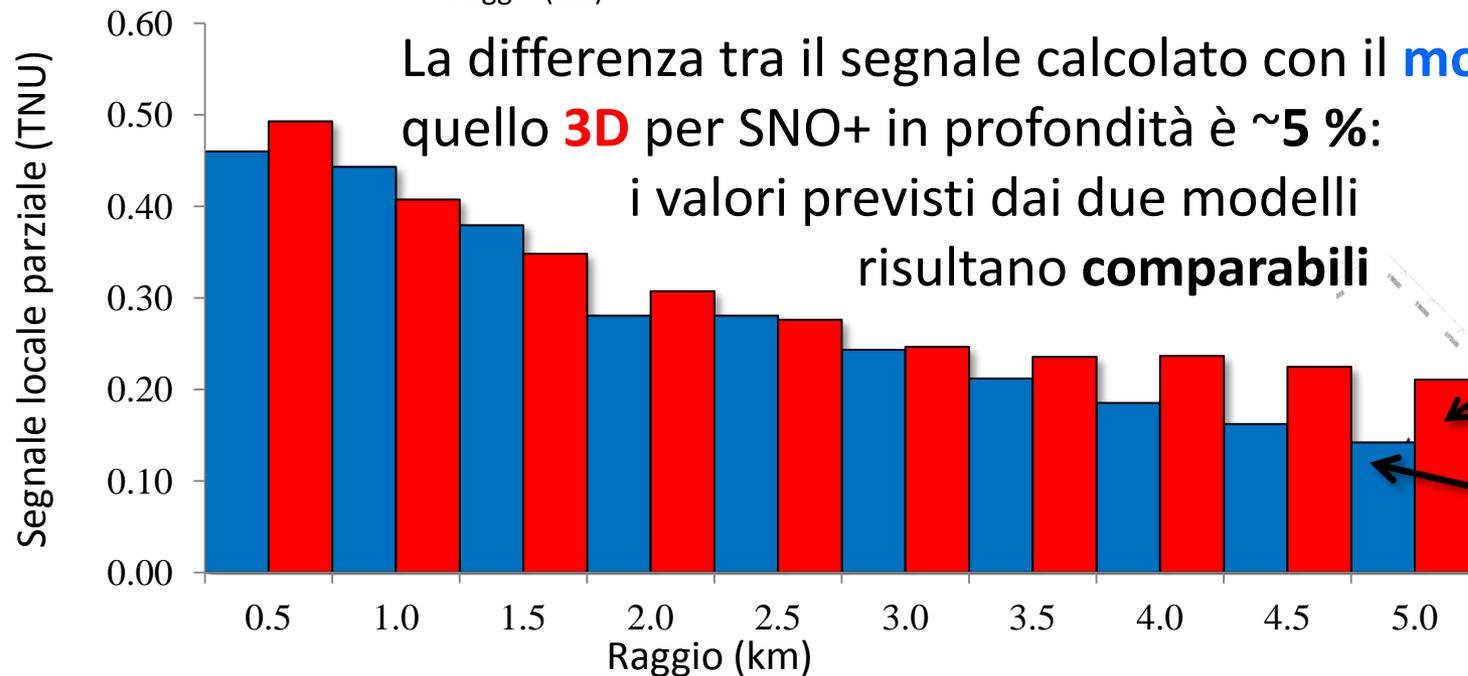
CONFRONTO TRA MODELLI: SNO+ IN PROFONDITA'

Entro 2 km da SNO+ viene prodotto il **57%** del segnale di tutto il cilindro per il modello analitico e il **52%** per quello 3D



| | S(U+Th) [TNU] | Abbondanza di U [ppm] |
|--------------------------|---------------|--|
| Modello analitico | 2.83 | $\langle a \rangle = 2.2$ |
| Modello 3D | 2.99 | $a_{NG} = 1.2$ $a_{HI} = 2.3$ $a_{GN} = 3.3$ |

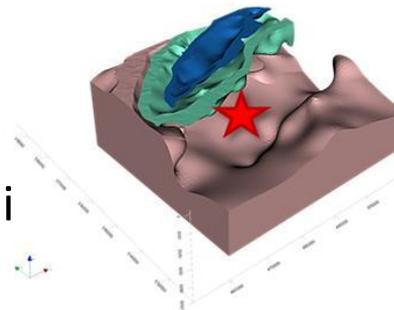
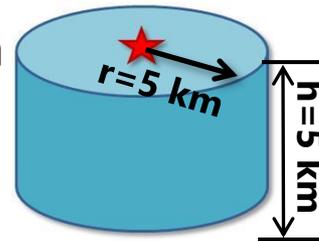
La differenza tra il segnale calcolato con il **modello analitico** e quello **3D** per SNO+ in profondità è **~5 %**: i valori previsti dai due modelli risultano **comparabili**



CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

- Ho costruito un modello analitico di forma cilindrica con abbondanze e densità omogenee al fine di calcolare il segnale di geoneutrini atteso a SNO+
- I segnali di geoneutrini a SNO+ calcolati per due diversi modelli (analitico e 3D geologico) sono in accordo a livello di $\sim 10\%$
- Collocare il detector alla profondità corretta (-1782 s.l.m.) produce un incremento del segnale di ~ 1.3 TNU
- Il segnale generato dalla copertura contribuisce in maniera non trascurabile al segnale totale ed è comparabile al segnale complessivo del mantello riportato in alcuni modelli BSE.

| | S_{Crust} (TNU) | S_{Mantle} (TNU) |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Anderson, 2007 | | 10.7 - 16.2 |
| McDonough and Sun, 1995 | 31.6 | 5.8 - 9.9 |
| Javoy et al., 2010 | | 1.0 - 3.4 |



| | S [TNU] |
|--------------------------|------------|
| Modello analitico | |
| SNO+ in superficie | 1.9 |
| SNO+ in profondità | 2.8 |
| Δ [TNU] | 0.9 |
| Modello 3D | |
| SNO+ in superficie | 1.7 |
| SNO+ in profondità | 3.0 |
| Δ [TNU] | 1.3 |



Grazie per l'attenzione

Slide di back up

CONFRONTO TRA MODELLI: SNO+ IN SUPERFICIE

- Per **SNO+ in superficie** il segnale generato da tutto il cilindro stimato con il **modello analitico** è maggiore di quello del **modello 3D** soprattutto a causa della vicinanza del reservoir NG

| | S(U+Th) [TNU] | Abbondanza di U [ppm] |
|--------------------------|------------------|--|
| Modello analitico | 1.89 | $\langle a \rangle = 2.2$ |
| Modello 3D | 1.66 | $a_{NG} = 1.2$ $a_{HI} = 2.3$ $a_{GN} = 3.3$ |

La differenza tra il segnale stimato con il **modello analitico** e quello **3D** per SNO+ in superficie è **~12 %**: i valori previsti dai due modelli risultano **comparabili**

