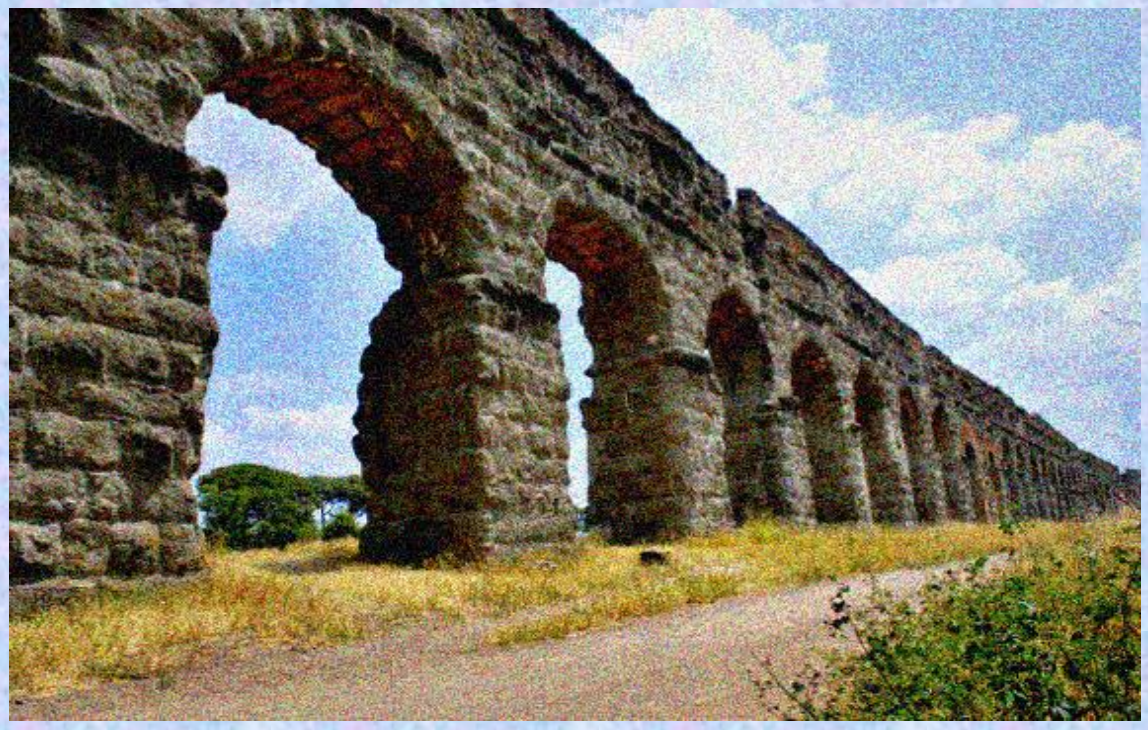


Ricerca di neutrini sterili tramite l'esperimento SOX

A. Caminata – INFN Genova

per la collaborazione SOX

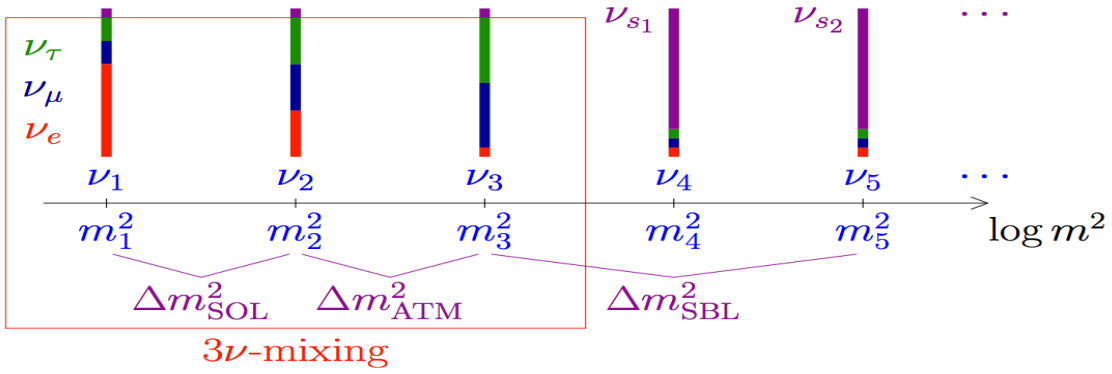
Indicazioni sperimentali di anomalie

$\nu_e, \bar{\nu}_e$ disappearance

- **Anomalia ai reattori (2.5 σ)**
  La rianalisi del flusso di $\bar{\nu}_e$ da reattori (short baseline experiments ,L ≈10m - 100m) ha mostrato un deficit nel flusso:
  $R=0.943\pm0.023$
  G.Mention et al., Phys.Rev.D83, 073006 (2011) , A.Mueller et al., Phys.Rev.C 83, 054615 (2011)*;*

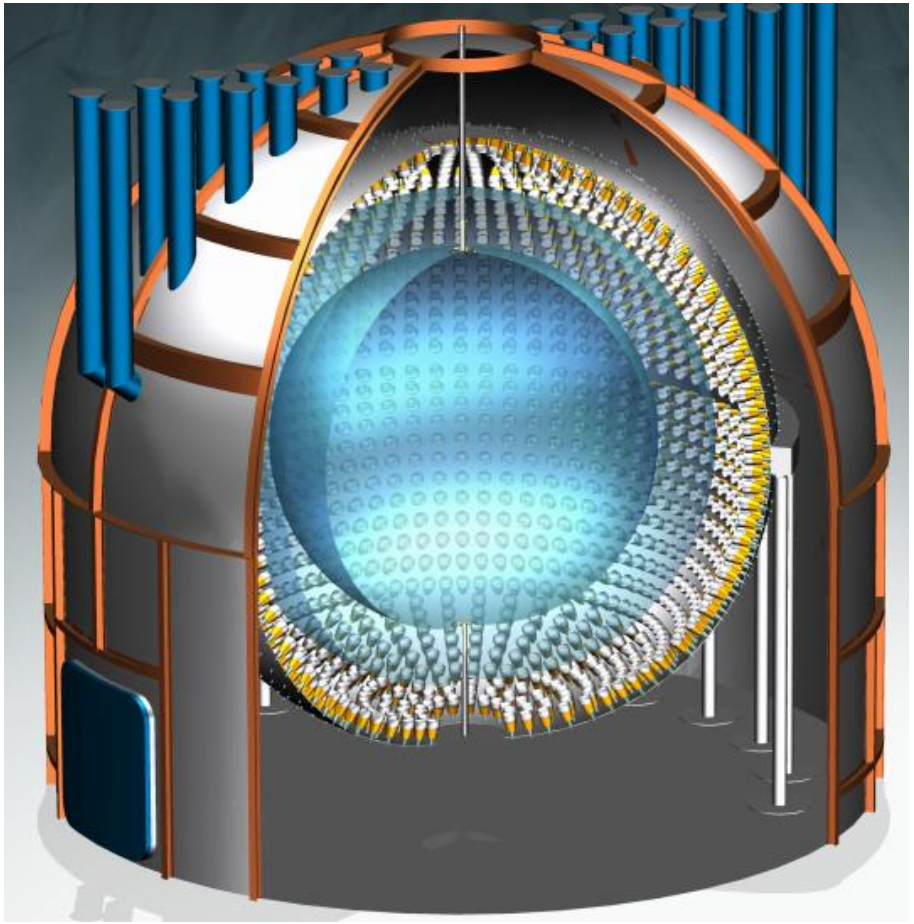
- **Anomalia di Gallex/SAGE (3 σ)**
  Gli esperimenti con sorgenti di neutrini (^{51}Cr, ^{37}Ar) hanno misurato un flusso minore dell'atteso
  $R = 0.76^{+0.09}_{-0.08}$
  C. Giunti and M. Laveder, Phys.Rev. C83, 065504 (2011), arXiv:1006.3244 [hep-ph].

Possibile mixing dei neutrini attivi con neutrini sterili $\Delta m^2 \approx 1\ eV^2$



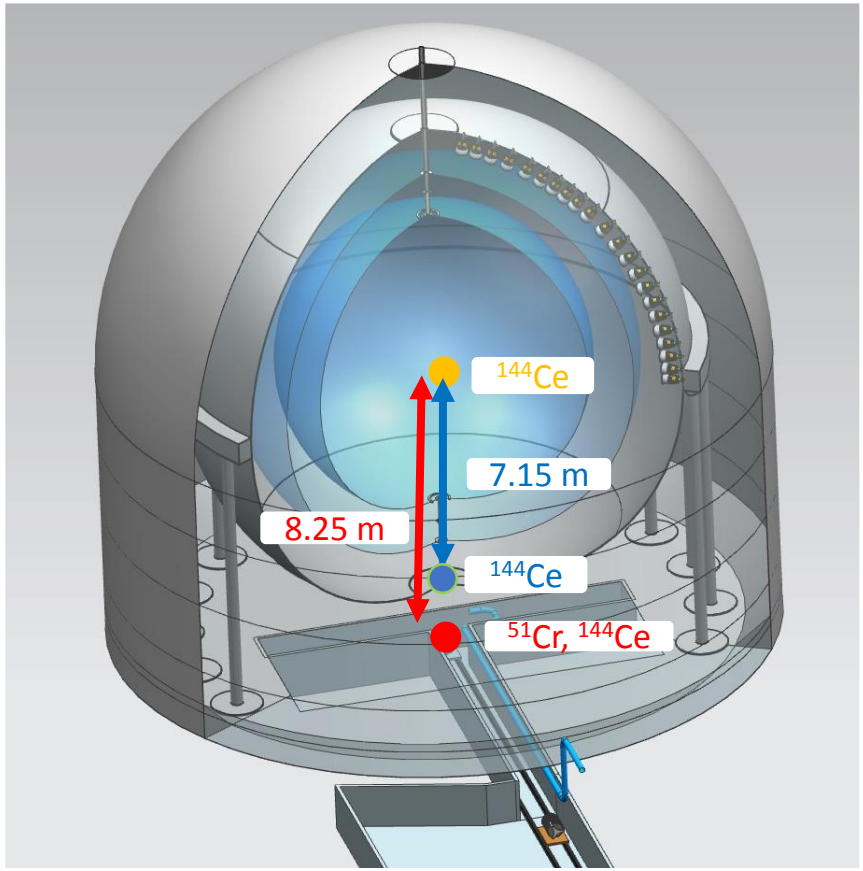
L'esperimento Borexino

- **Volume attivo**
  270 t di scintillatore liquido contenuto in un vessel di raggio R=4.25 m , estrema radiopurezza: U/Th<10^{-17} g/g
- **Stainless Steel Sphere**
  R= 6.85 m
  2200 PMTs per rivelare la luce di scintillazione
- **Sox pit**
  R=8.25 m
- **Prestazioni del rivelatore a 1 MeV**
  Risoluzione energetica: 5%
  Risoluzione spaziale: 10 cm

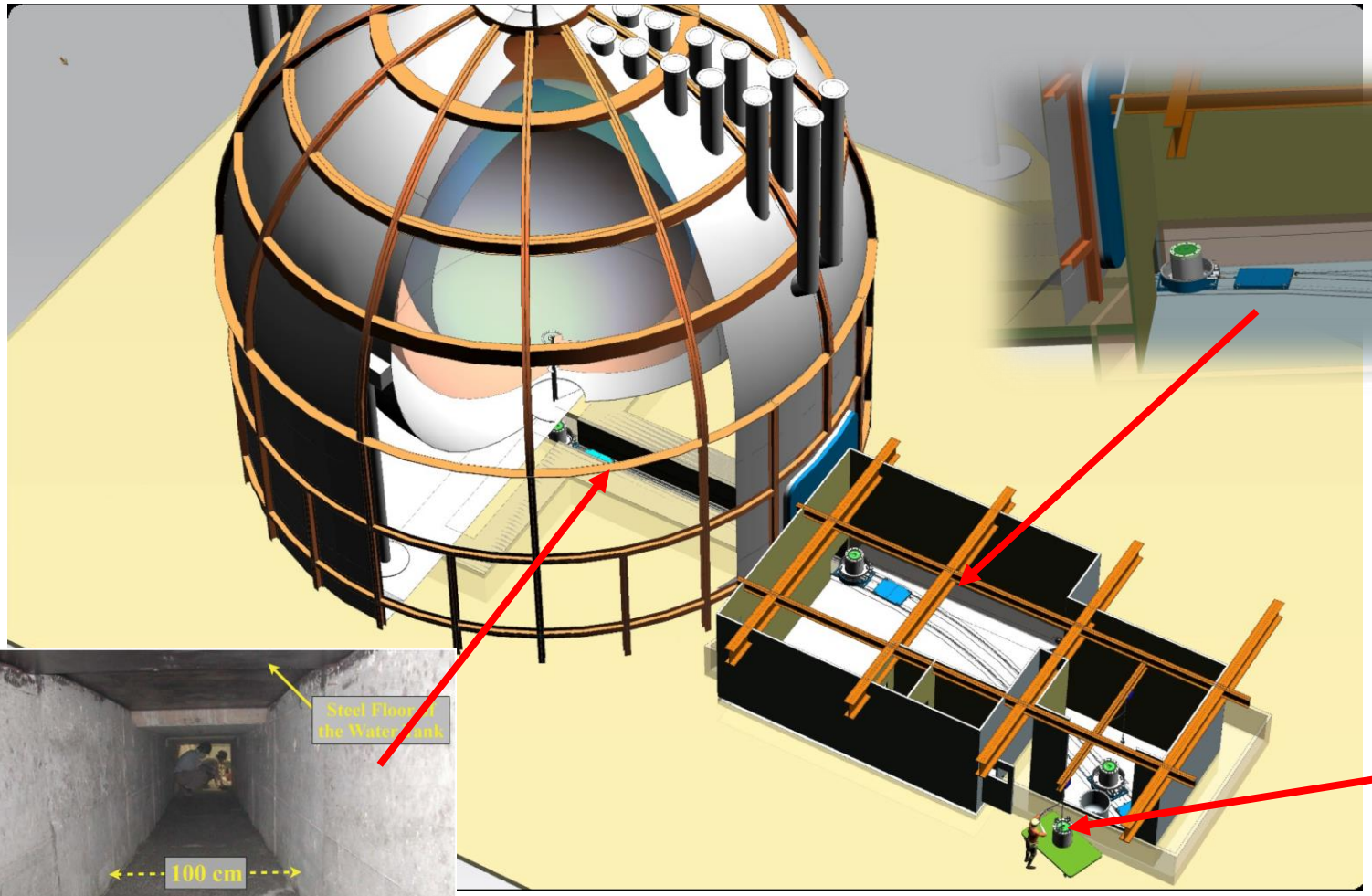


Il progetto SOX: Short distance neutrino Oscillations with boreXino

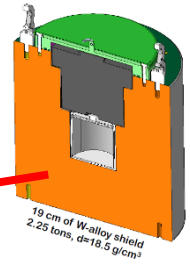
- SOX testerà le anomalie di neutrino ed antineutrino utilizzando sorgenti radioattive (^{51}Cr, ^{144}Ce);
- Fondo del rivelatore noto con precisione (Borexino acquisisce dati dal 2007);
- **SOX-A**, **SOX-B**, **SOX-C**: Fasi dell'esperimento con sorgenti collocate in diverse posizioni



The SOX pit



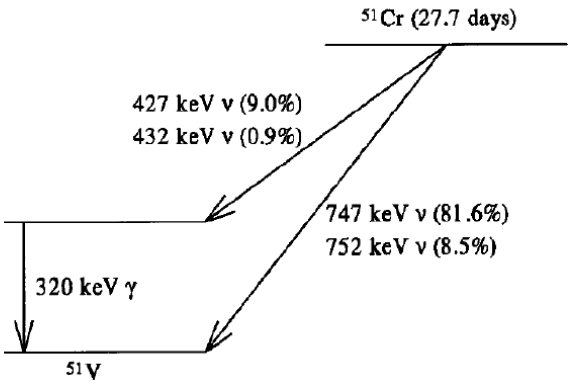
Steel Floor of the Water Tank
100 cm

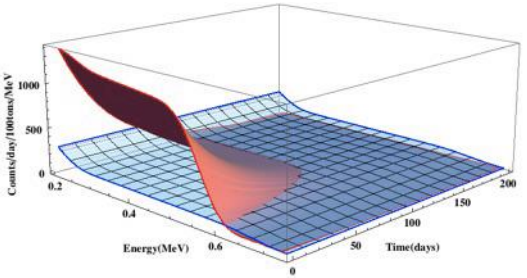

19 cm of W-alloy shield
2.25 tons, d=18.5 g/cm³

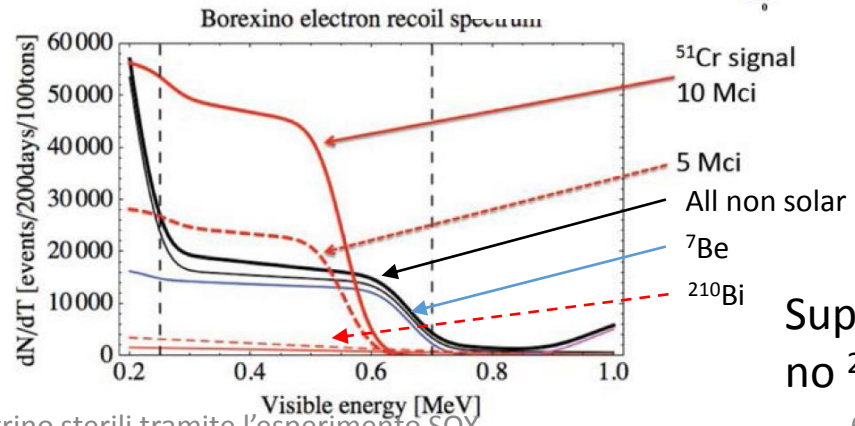
CrSOX

- $^{51}Cr + e^- \rightarrow {}^{51}V + \nu_e$ (τ=27.7 giorni)
- Vita media breve: è necessario un veloce trasporto ai LNGS
- ^{51}Cr attivato in reattore (HFIR, ORNL, Tennessee, USA)
- ν_e monoenergetici:
  - ~750 keV (90%)
  - ~433 keV (10%)
- Emissione di raggi γ nel 10% dei decadimenti (320 keV)
- ν_e rivelati tramite scattering elastico su elettroni
- Eventi di fondo: ^{210}Po, ^{210}Bi, ^{7}Be e neutrini solari

Source	^{51}Cr
Production	n-activation of ^{50}Cr at reactor
Decay mode	EC
Neutrino energy	747 keV
Initial activity	2-4 x 10^{17} Bq (5-10 MCi)
Half life	28 d
Exposure	100-180 d
Fiducial mass	130 tons
Events (180 d)	1.1 x 10^4
Oscillation length (Δm^2 = 2 eV^2)	0.9 m
Generated heat	190 W/MCi





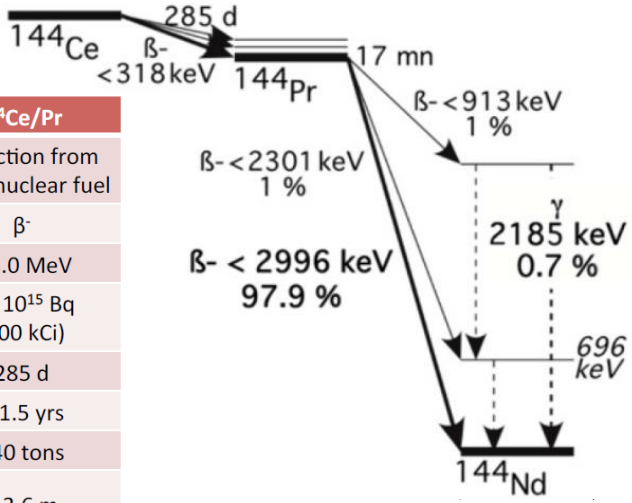


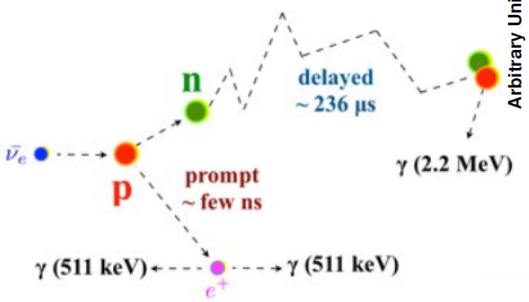
Supposed no ^{210}Po

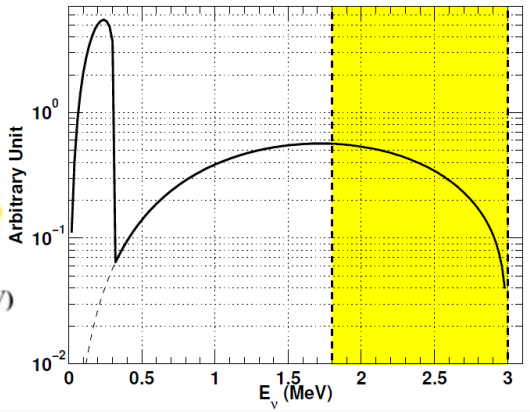
CeSOX

- ^{144}Ce-^{144}Pr emette $\bar{\nu}_e$:
  - $\tau(^{144}\text{Ce})$ = 285 giorni
  - $\tau(^{144}\text{Pr})$ = 17 minuti
- Prodotta da combustibile nucleare esausto (Kola Nuclear Power Plant, Murmansk, Russia)
- $\bar{\nu}_e$ rivelati tramite IBD, la soglia è 1.8 MeV
- Nessun fondo eccetto geoneutrini e neutrini da reattore

Source	^{144}Ce/Pr
Production	extraction from spent nuclear fuel
Decay mode	β^-
Neutrino spectrum	< 3.0 MeV
Initial activity	4 x 10^{15} Bq (100 kCi)
Half life	285 d
Exposure	1-1.5 yrs
Fiducial mass	240 tons
Oscillation length (Δm^2 = 2 eV^2)	< 3.6 m
Events (1.5yrs)	10^4
Generated heat	7.6 W/kCi

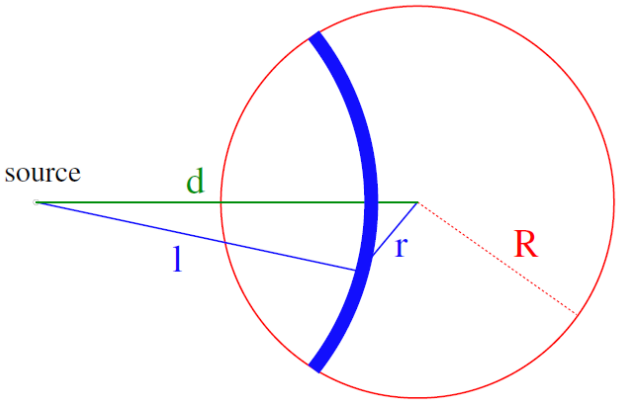




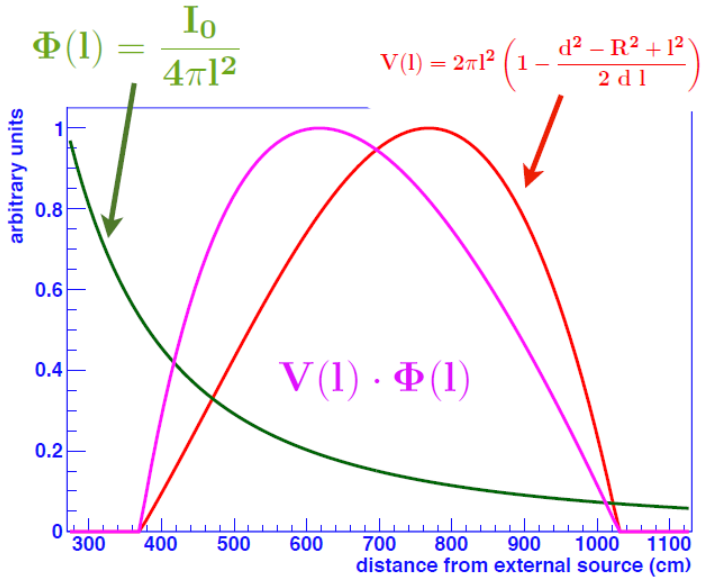


Segnale atteso da una sorgente esterna

- Il segnale atteso dipende dalla geometria V(l) e dal flusso $\Phi(l)$
- La distribuzione degli eventi è asimmetrica anche in assenza di oscillazioni!!
- Il numero di interazioni a distanza l dalla sorgente è



$$N_0(l, T_1, T_2) = n_e\ \Phi(l)\ V(l)\ P_{ee}(l, E) \int_{T_1}^{T_2} \frac{d\sigma_e(E, T)}{dT} dT$$



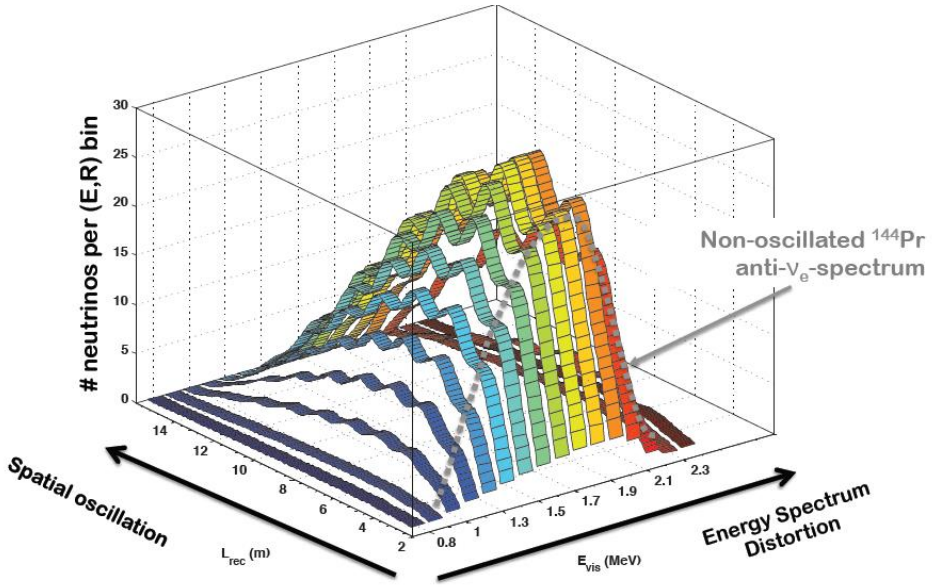
Analisi dati

- **Rate**
  tecnica standard negli esperimenti in scomparsa, confronta il numero di eventi rivelati e quello atteso
- **Rate + shape**
  Ricerca, in aggiunta alla tecnica precedente, di oscillazioni spaziali

$$P_{ee} = 1 - \sin^2 2\theta_{14} \sin^2 \frac{1.27\Delta m^2_{41}(eV^2)L(m)}{E(MeV)}$$

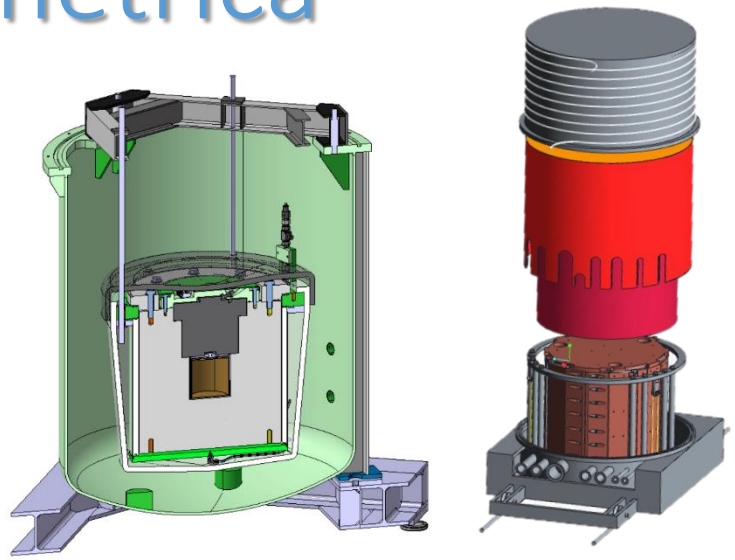
- $\begin{cases} \Delta m^2_{41} \sim eV^2 \\ E \sim MeV \end{cases} \rightarrow L \sim m$

- La lunghezza d'onda delle oscillazioni è maggiore della risoluzione e minore delle dimensioni del rivelatore!!



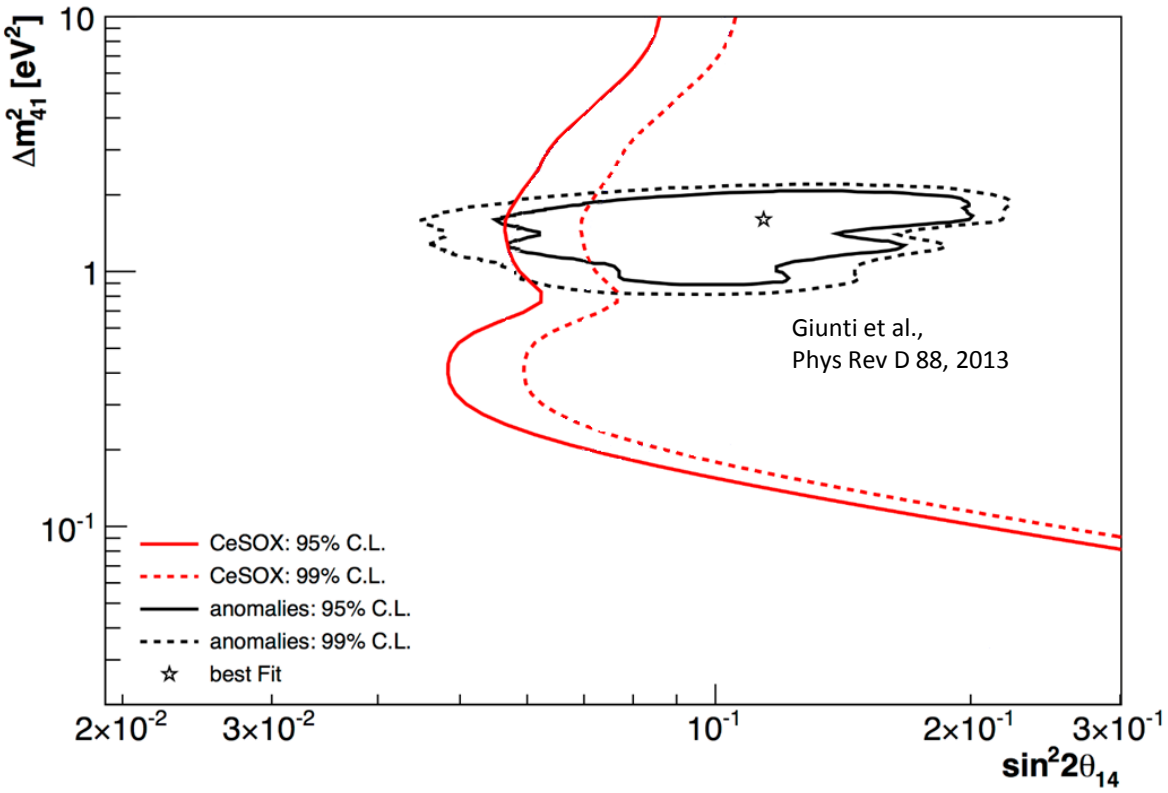
Misura calorimetrica

- Per effettuare una misura di rate bisogna conoscere con precisione l'attività della sorgente (errori minori dell'1%);
- L'attività della sorgente di cerio sarà misurata con due calorimetri indipendenti;
- La radiazione emessa dal cerio scalda la sorgente;
- Dal calore ceduto dalla sorgente al calorimetro verrà misurata l'attività della sorgente;
- Entrambi i calorimetri saranno calibrati con un riscaldatore elettrico che simulerà la sorgente.



CeSOX: sensibilità

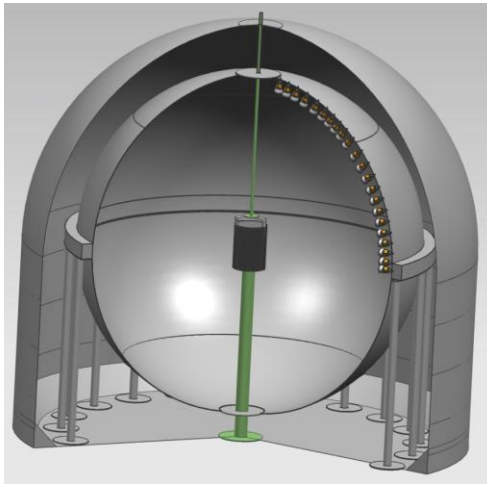
Attività: 3.7 PBq
FV: 4 m (raggio)
1% errore sull'attività
1% errore sul FV
no fondi significativi



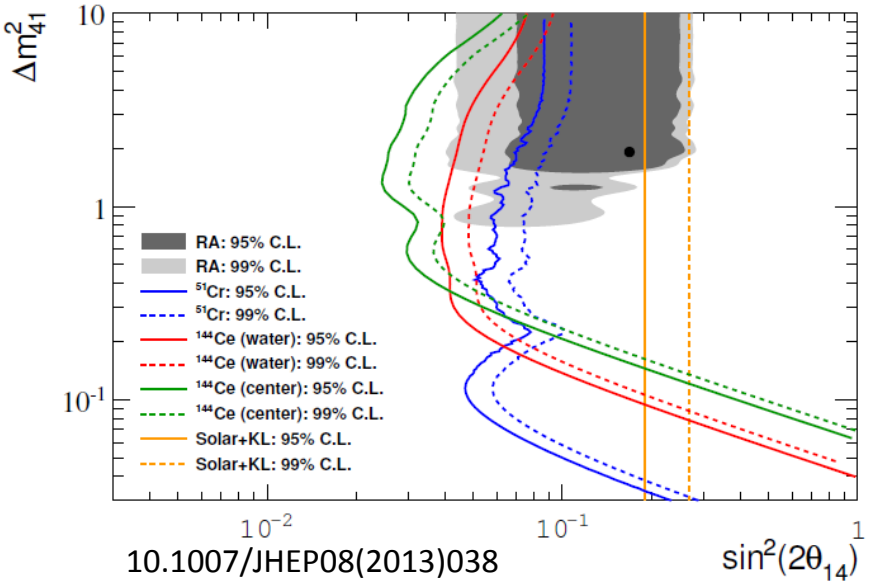
SOX può scoprire/escludere il valore di best fit > 5 σ
La regione al 95% di C.L. potrà essere interamente indagata

Programma e prospettive

- I calorimetri per la misura dell'attività della sorgente sono in fase di realizzazione;
- La sorgente di Ce con attività di 3.7 PBq sarà consegnata verso la fine dell'estate 2016;



- Irraggiamento del cromo e CrSOX dopo la fine di CeSOX;
- Futuro: SOX-B (dopo la fine del programma solare) e SOX-C (necessario un upgrade del rivelatore)



10.1007/JHEP08(2013)038

Conclusione

- Grazie alla possibilità di rivelare neutrini ed antineutrini di bassa energia, Borexino potrà indagare le anomalie di neutrino nella regione dei parametri favorita dai fit.
- Le sorgenti saranno posizionate al di sotto del rivelatore (SOX-A)
- La loro attività sarà misurata da un calorimetro (errore dell'ordine dell'1%)
- L'inizio dell'acquisizione dati è prevista nella seconda parte del 2016 presso i LNGS

Grazie per la vostra attenzione!!

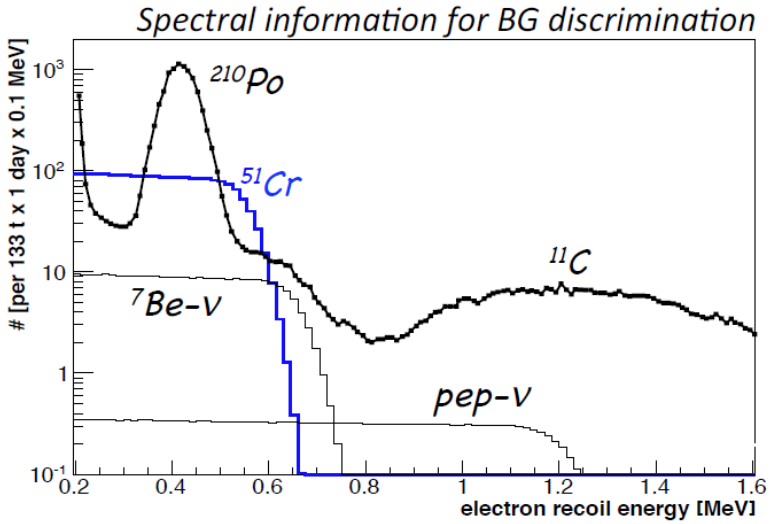
La collaborazione dell'esperimento SOX

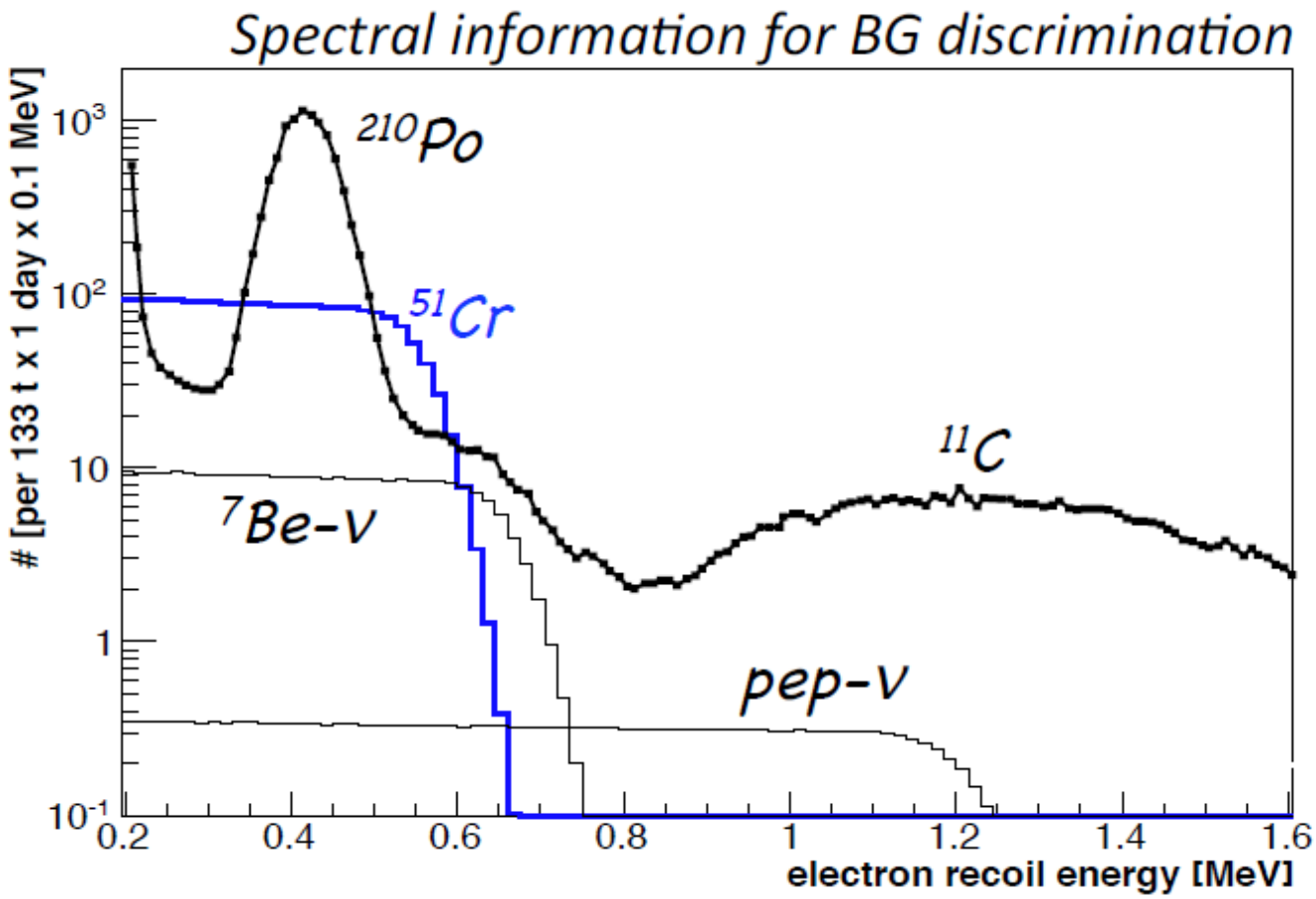
- APC, University Paris Diderot;
- Joint Institute for Nuclear Research, Dubna;
- INFN Genoa and Physics Department of Genoa University;
- Smoluchowski Institute of Physics, Jagellonian University, Krakow;
- Kiev Institute for Nuclear Research;
- NRC Kurchatov Institute, Moskow;
- INFN Milan and Physics Department of Milan University;
- Physics Department Princeton University;
- Physik Department, Technische Universität München;
- Physics Department, Virginia Polytechnic Institute and State University;
- Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics;
- Cea Centre de Saclay;
- Institut für Physik, Johannes Gutenberg Universität, Mainz;
- Physikalisches Institut, Eberhard Karls Universität, Tübingen.

Per saperne di più

- *G. Bellini et al*,
  SOX: Short distance neutrino Oscillations with BoreXino,
  JHEP08 (2013)
- *C. Giunti et al*,
  Pragmatic View of Short-Baseline Neutrino Oscillations,
  Phys. Rev. D 88 (2013)
- *Th. Lasserre,*
  SOX,
  NuTel 2015
- *B. Caccianiga,*
  Future Short Base Sterile Neutrino Searches with Nuclear Decays,
  Neutrino 2014
- *D. Bravo*,
  $\nu/\bar{\nu}$ sources in Borexino,
  ICHEP 2014
- *J. Gaffiot,*
  The SOX experiment,
  NOW 2014

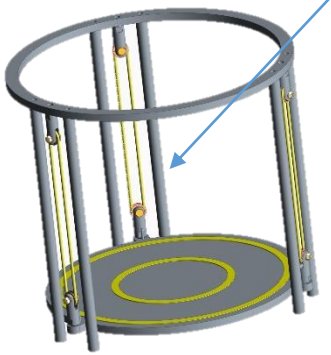
Backup slides




Spectral information for BG discrimination
[per 133 t x 1 day x 0.1 MeV]
10^3
10^2
10
1
10^{-1}
^{210}Po
^{51}Cr
^{11}C
^{7}Be-ν
pep-ν
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
electron recoil energy [MeV]

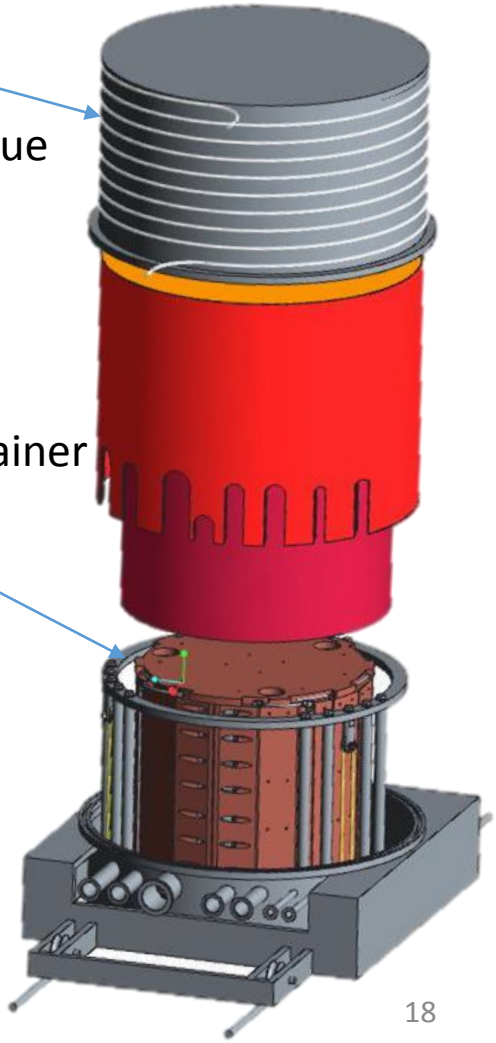
Calorimetry

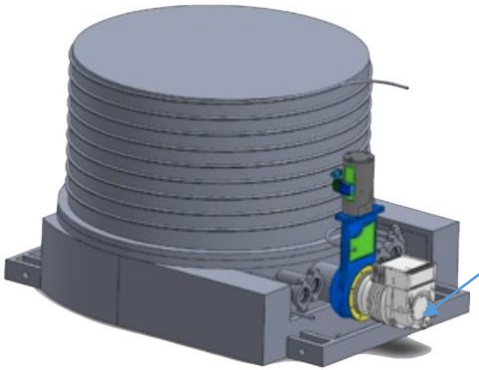
The source is suspended by means of Kevlar rods to avoid thermal losses due to conduction



External shield at the same temperature of the copper container to avoid thermal losses due to radiation

Water flows in small pipes embedded in the copper container





Vacuum is made by means of a turmomolecular pump to avoid convection