

Analisi NaI-33 fit spettrale sui dati *PoP_dry_262days*

1 Marzo 2023 - Roma

Bayesian Analysis Toolkit (BAT)



- [BAT](#) si basa sul Teorema di Bayes ed è realizzato con l'uso di Markov Chain Monte Carlo
- BAT è implementato in C++ ma questa versione non viene più aggiornata. C'è una versione aggiornata in [Julia](#).

Obiettivi principali per cui si usa:

1. confrontare le previsioni del modello con i dati
2. trarre conclusioni sulla validità di un modello come rappresentazione dei dati
3. estrarre i valori dei parametri liberi di un modello

Normalizzazione template

```
//activities [mBq/kg]
//intrinsic
A0_40K      = 0.12;
A0_238U     = 1.2e-2;
A0_210Pb    = 0.4;
A0_232Th    = 4.1e-3;
A0_3H       = 3.7e-2;
A0_22Na     = 0.48;
A0_126I     = 4.1 ;
A0_129I     = 0.57 ;
A0_113Sn    = 9.6e-2;
A0_125I     = 1.9 ;
A0_121Te    = 0.28; //180 days
A0_210Pb_teflon_bulk = 0.52; //mBq/kg_PTFE * 41.8 g
A0_U238_PMTWindow = 0.08;

//surf activity [mBq]
A0_210Pb_surf = 1.;
A0_210Pb_teflon_surf = 1.; //surface_cry 0.048 m^2

//without units [counts]
A0_difference = 1.;
```

```
time = 262.; //sdays
mass = 3.4; //kg
// double mass_PTFE = 0.0418; //kg
bin = 1.; //keV

//normalized templates to 1 mBq/kg (1 mBq for surf) #counts
h_40K ->Scale(1./ A0_40K *mass*time*bin);
h_238U ->Scale(1./ A0_238U *mass*time*bin);
h_210Pb->Scale(1./ A0_210Pb *mass*time*bin);
h_232Th->Scale(1./ A0_232Th *mass*time*bin);
h_3H ->Scale(1./ A0_3H *mass*time*bin);
h_22Na ->Scale(1./ A0_22Na *mass*time*bin);
h_126I ->Scale(1./ A0_126I *mass*time*bin);
h_129I ->Scale(1./ A0_129I *mass*time*bin);
h_113Sn ->Scale(1./ A0_113Sn*mass*time*bin);
h_125I ->Scale(1./ A0_125I *mass*time*bin);
h_121Te ->Scale(1./ A0_121Te*mass*time*bin);
h_210Pb_teflon_bulk->Scale(1./A0_210Pb_teflon_bulk*mass*time*bin);
h_210Pb_10micron->Scale(1./A0_210Pb_surf*time*bin);
h_210Pb_teflon_1micron->Scale(1./A0_210Pb_teflon_surf*time*bin);
h_210Pb_teflon_5micron->Scale(1./A0_210Pb_teflon_surf*time*bin);
h_210Pb_teflon_10micron->Scale(1./A0_210Pb_teflon_surf*time*bin);
h_210Pb_teflon_50micron->Scale(1./A0_210Pb_teflon_surf*time*bin);
h_U238_PMTWindow->Scale(1./A0_U238_PMTWindow*mass*time*bin);
h_difference->Scale(1./A0_difference*mass*time*bin);
```

A0_ sono i valori per cui, una volta scalati, ottengo tutti i template normalizzati a 1 mBq/Kg (1 mBq).

Il fit restituisce un fattore moltiplicativo. Se i template sono tutti normalizzati a 1 mBq/Kg (1 mBq) il fattore moltiplicativo rappresenta direttamente l'attività della componente.

Best Fit

Cerchiamo il fit che ci produca il migliore χ^2 ridotto.

Andiamo a osservare se in questo caso le componenti assumono dei valori compatibili con quello che ci aspettiamo.

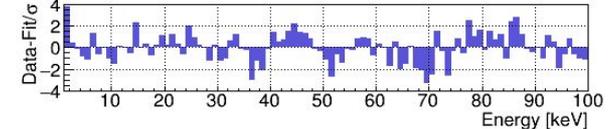
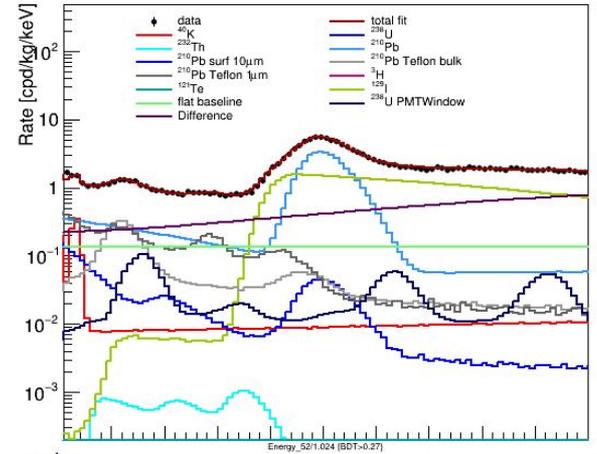
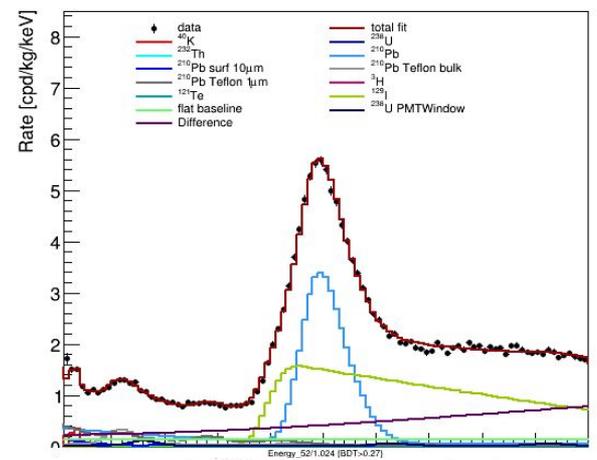
Inseriamo prior gaussiane alle componenti che sono state misurate:

Componente	Intervallo	Prior
Flat component	0 - 445,4	Constant
40K	0 - 0,6	Gaussian (0.15, 0.02)
238U	0 - 0,06	Gaussian (5.9e-3, 0.6e-3)
210Pb	0 - 2	Gaussian (0.46, 0.01)
232Th	0 - 0,0205	Gaussian (2e-3, 0.3e-3)
3H	0 - 0,185	Gaussian (37e-3, 12e-3)
129I	0 - 2,85	Gaussian (1.29, 0.02)
210Pb surface 10um	0 - 5	Constant
210Pb teflon bulk	0 - 50	Constant
210Pb teflon 1um	0 - 2,88	Constant
238U PMTWindow	0 - 0,4	Constant
Difference	0 - 5	Constant

Risultati

Reduced Chi2 = 1.74

Componente	Attività	Rate in ROI [cpd/kg/keV]
Flat component	(119.59 +- 27.80) counts	0.134 ± 0.164
40K	(0.1919 +- 0.0264) mBq/kg	0.1510 ± 0.0002
238U	(8.8e-06 +- 0.0106840) mBq/kg	$8.96e-06 \pm 1e-08$
210Pb	(0.4825+- 0.0060) mBq/kg	0.3285 ± 0.0004
232Th	(0.0003 +- 0.0025) mBq/kg	$6.20e-05 \pm 1e-07$
3H	(2.36e-05 +- 0.0010723) mBq/kg	$0.00019403 \pm 7e-08$
129I	(1.0871 +- 0.0169) mBq/kg	$0.00027 \pm 2e-05$
210Pb surface 10um	(0.1222 +- 0.0559) mBq	0.1004 ± 0.0005
210Pb teflon bulk	(5.3886 +- 0.5674) mBq/kg _{PTEF}	0.05027 ± 0.0005
210Pb teflon 1um	(1.2017 +- 0.1865) mBq	0.3215 ± 0.0036
238U PMTwindow	(0.0196 +- 0.0039) mBq/kg	$0.00887 \pm 2e-05$
External component	(1.087 +- 0.054) counts	0.2271 ± 0.1016
Total		1.322 ± 0.260



Fit con parametri fissati

Consideriamo il fit i valori delle attività delle componenti conosciute fissati.

Componente	Intervallo	Prior
Flat component	0 - 445,4	Constant
40K	0 - 0,6	Fix (0.14)
238U	0 - 0,06	Fix (5.9e-3)
210Pb	0 - 2	Fix (0.48)
232Th	0 - 0,0205	Fix (2e-3)
3H	0 - 0,185	Fix (12e-3)
129I	0 - 2,85	Gaussian (1.29, 0.02)
210Pb surface 10um	0 - 5	Constant
210Pb teflon bulk	0 - 50	Constant
210Pb teflon 1um	0 - 0.0288	Constant
238U PMTWindow	0 - 0,4	Constant
Difference	0 - 5	Constant

L'intervallo del piombo superficiale sul teflon è limitato a 0.0288

Risultati da analisi spettroscopia alpha

SABRE Teflon, November:

$$C_{sf} < 0.6 \frac{mBq}{m^2}$$

Superficie cristallo circa 0.048 m²

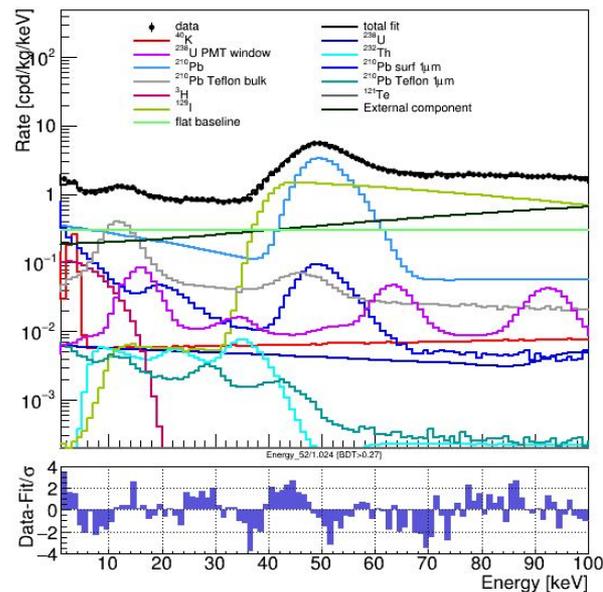
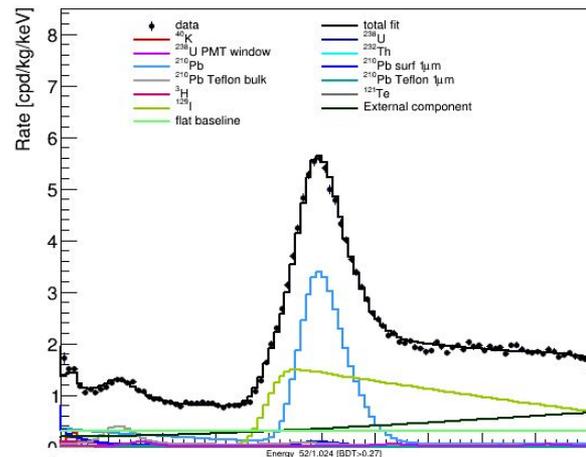
Limite superiore attività 210Pb teflon superficiale:

$$0.6 * 0.048 = 0.0288 \text{ mBq}$$

Risultati fit parametri fissati

Reduced Chi2 = 2.19

Componente	Attività	Rate in ROI [cpd/kg/keV]
Flat baseline	(265.9 +/- 15.4) counts	0.298 +/- 0.244
40K	0.14 mBq/kg	0.1102 +/- 0.0001
238U	0.0059 mBq/kg	0.006031 +/- 6e-06
3H	0.012 mBq/kg	0.09873 +/- 3e-05
232Th	0.002 mBq/kg	0.000447 +/- 1e-06
129I	(1.038 +/- 0.009) mBq/kg	0.00026 +/- 2e-05
210Pb surf 10µm	(0.27 +/- 0.04) mBq	0.206 +/- 0.001
210Pb	0.48 mBq/kg	0.3268 +/- 0.0004
210Pb teflon 1µm	(0.0192 +/- 0.0158) mBq	0.00514 +/- 6e-05
210Pb teflon bulk	(6.62 +/- 0.41) mBq/kgPTFE	0.0618 +/- 0.0006
238U PMT windows	(0.015 +/- 0.03) mBq/kg	0.00703 +/- 2e-05
External component	0.911 +/- 0.041	0.19 +/- 0.09
Total:		1.31 +/- 0.30



Tritium activity

- New prediction based on experimental data (neutron beam on NaI(Tl) crystal) reported in PRD 107, 022006 (2023)
 - Production rate at sea-level by cosmogenic neutron = 80 ± 21 atoms/kg/day
 - Similar to ANAIS prediction
- NaI-33: for 9 months exposure at sea-level and 20 months underground
 - Predicted H3 rate = 34 ± 9 μ Bq/kg

Prior e convergenza in BAT

Oliver Schulz (Max Planck Institute for Physics) ha confermato che le prior vengono utilizzate nel modo corretto.

Il problema probabilmente risiede nel fatto che l'analisi di BAT non converge.

Dal [manuale](#) di BAT:

6.2.3 Convergence

Since samples are not independent, the initial point has some effect on Markov chain output. The asymptotic results guarantee that, under certain conditions (see [11] or [2]) a chain of infinite length is independent of the initial point. In practice, we can only generate a finite number of points so a decision has to be made when the chain has run long enough. One helpful criterion is to run multiple chains from different initial positions and to declare convergence if the chains mixed; i.e. explore the same region of parameter space. Then the chains have forgotten their initial point.

Non-convergence is a problem that can have many causes including simple bugs in implementing the posterior. But there are properly implemented posteriors for which a Markov chain has difficulties to explore the parameter space efficiently, for example because of strong correlation, degeneracies, or multiple well separated modes.

Domande

- E' possibile che fissando il maggior numero di parametri possibili il fit converga?
- Ha senso riaprire la strada del fit con **Minuit** in modo tale da fare un confronto?

Sviluppi futuri - BAT

- Oliver può dare un supporto. In questo momento sta creando una versione in [Julia](#) del codice del fit.
- Ci sono dei tutorial per capire che funziona BAT in Julia:
<https://bat.github.io/BAT.jl/dev/tutorial/>
- In generale si possono sfruttare di più per chiedere una consulenza sulla convergenza. Si potrebbe organizzare una chiamata.

END

External component

- Istogramma che contiene la differenza tra i dati del PoP_dry, in Hall-C, e i dati con la nuova schermatura in Hall B.
- Schermatura di rame in Hall-B migliore della precedente.
- La differenza restituisce una componente di background esterna.

210Pb_teflon spectra

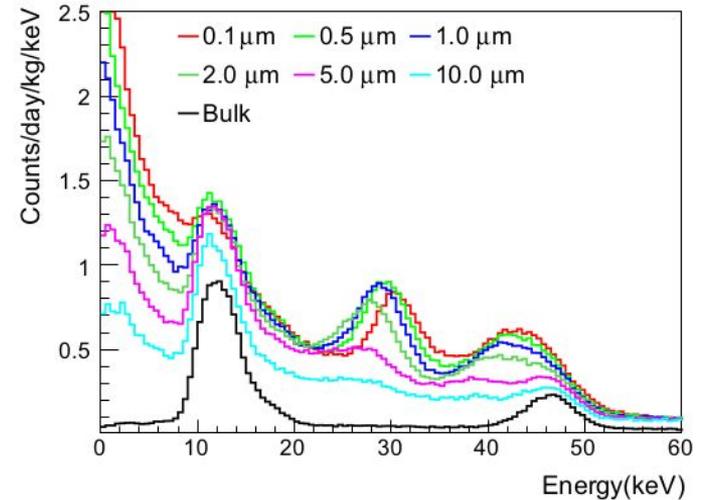
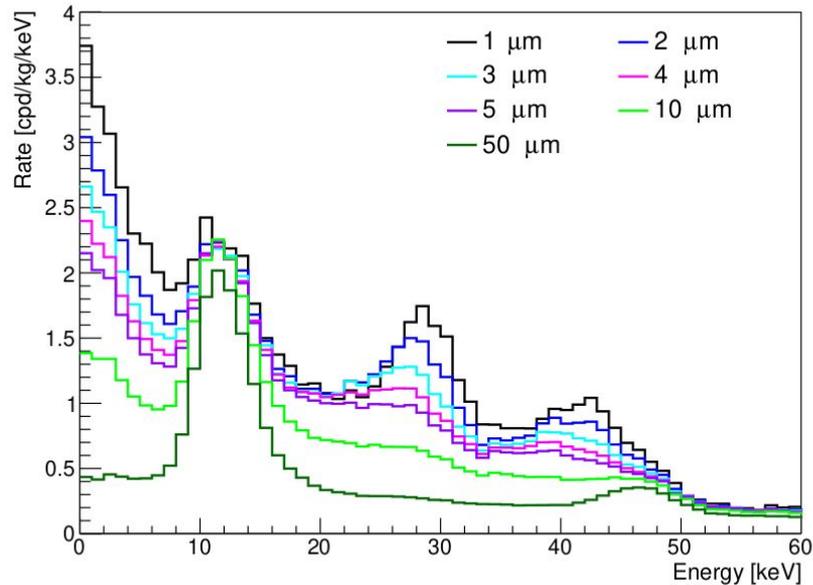


Fig. 5 Comparison of background spectra of ^{210}Pb simulated for various surface thicknesses of PTFE reflector. The activity of 1 mBq/kg is used to normalize the simulation results

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1140/epjc/s10052-018-5970-2.pdf>

