



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro

ESPERIENZA GAMMA

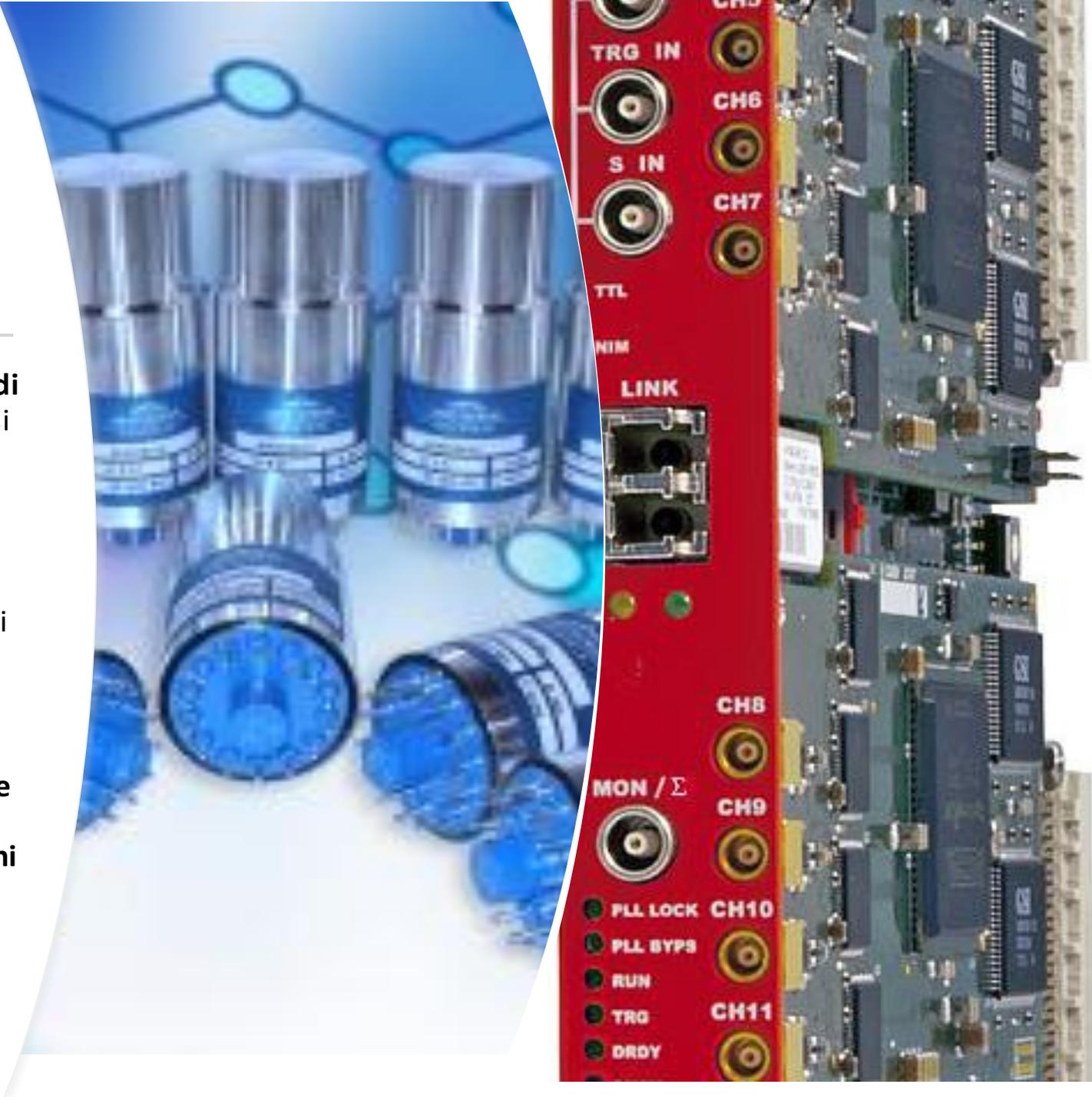
Spettroscopia gamma con LaBr_3 e misura del tempo di decadimento del primo stato eccitato del ^{152}Sm

3 rivelatori al bromuro di lantanio (LaBr_3) connessi a un digitalizzatore

Il digitalizzatore salva l'ampiezza del segnale ogni 2 ns (LaBr_3) in canali arbitrari

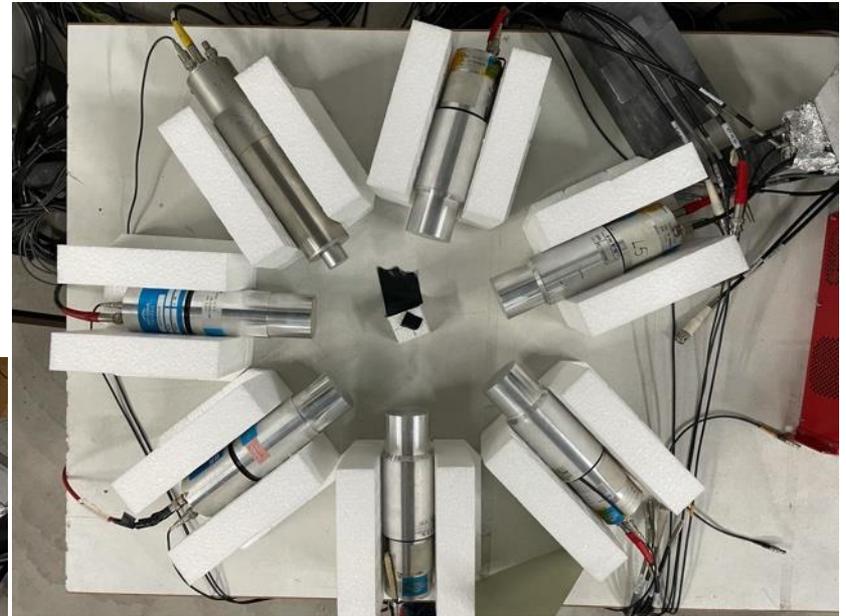
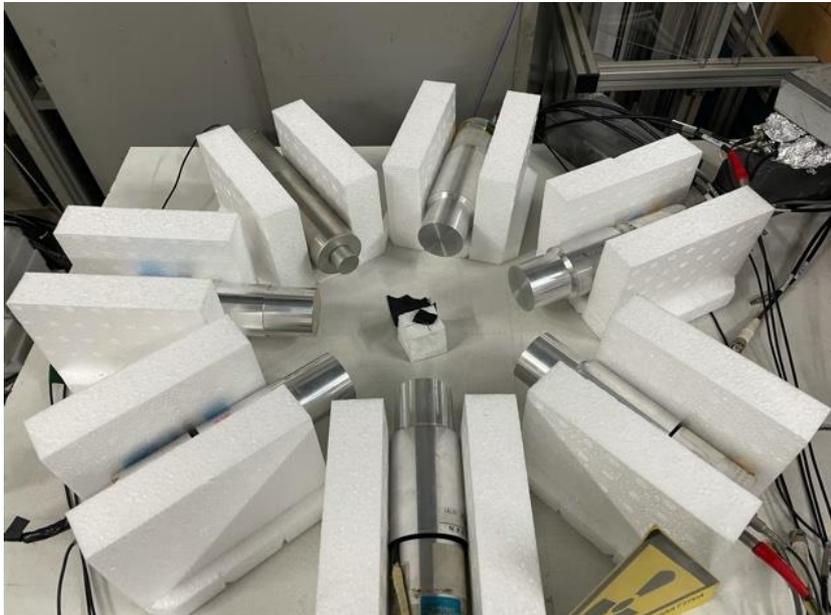
Siccome l'ampiezza del segnale e' proporzionale all'energia del fotone incidente, servono fotoni di energia nota per calibrare il rivelatore

-> sorgenti radioattive

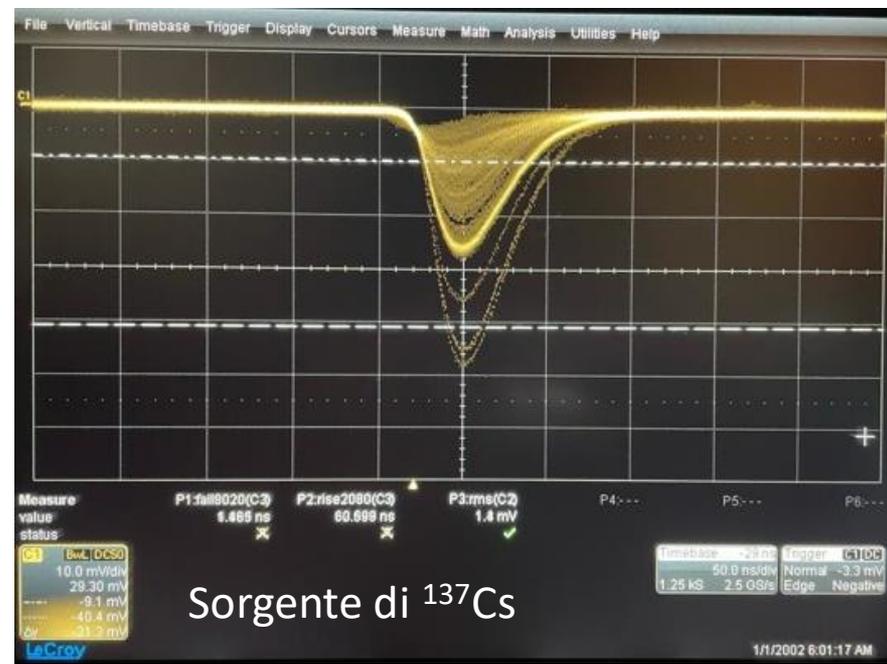
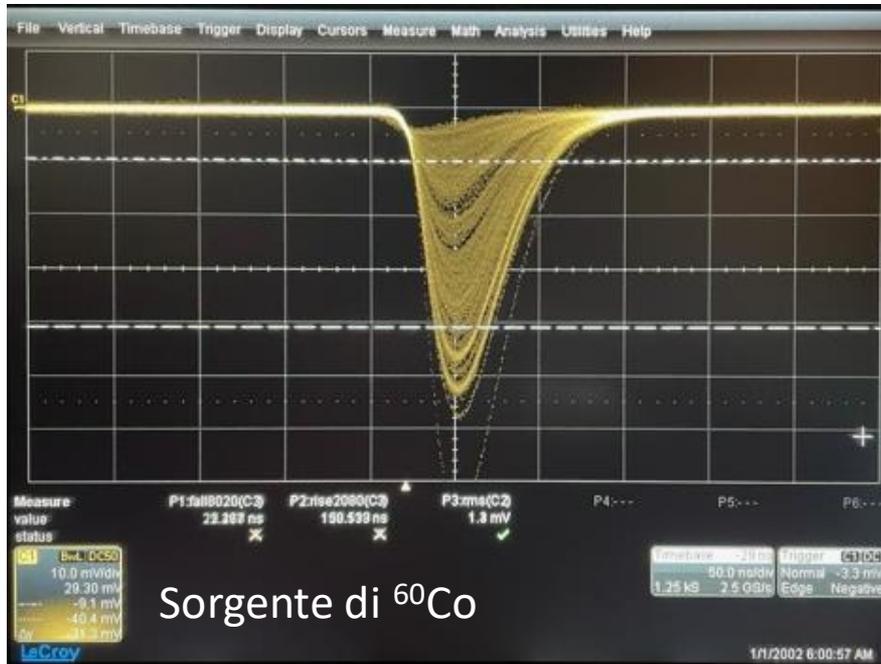


Apparato sperimentale

3 rivelatori al bromurio di lantanio (LaBr_3)
1 digitalizzatore 14-bit 500 MHz
Sorgenti radioattive



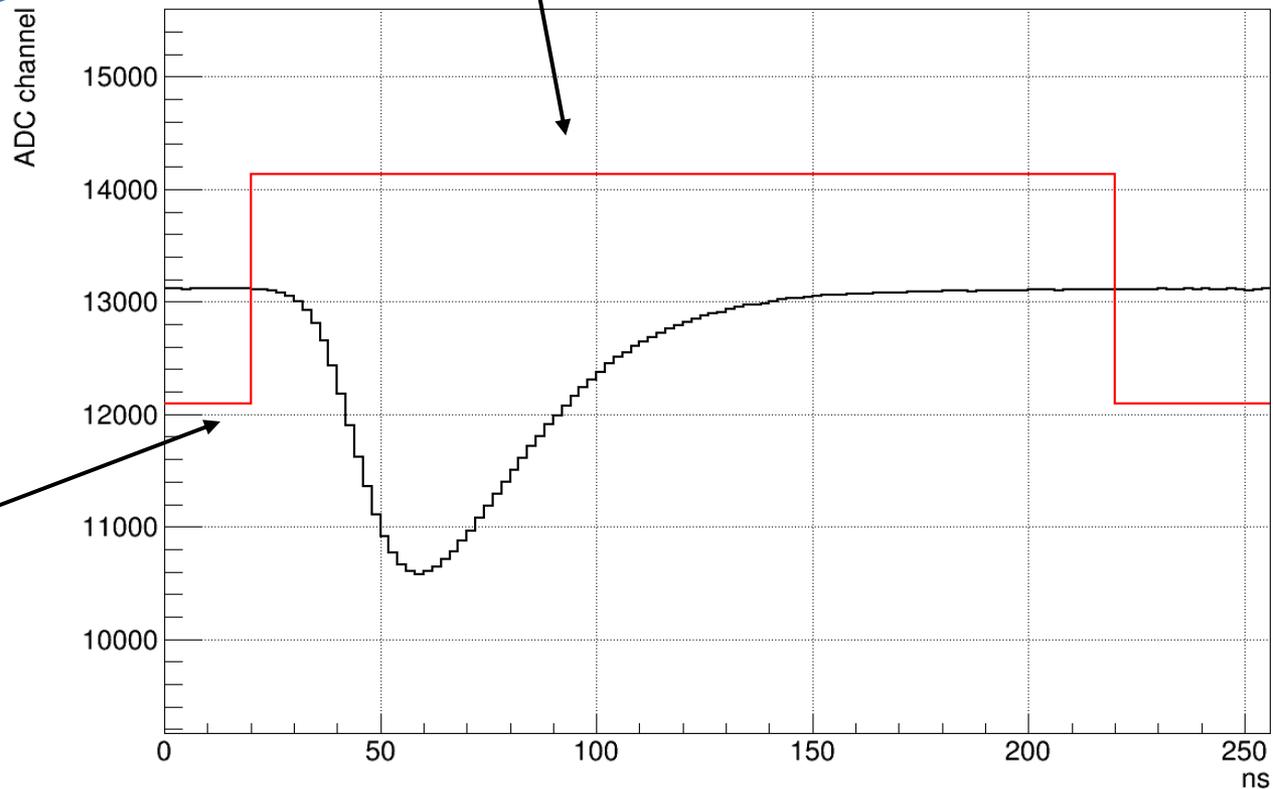
Segnali



Digitalizzazione del segnale

La linea rossa indica la regione in cui il digitalizzatore somma il valore di tutti i bin del segnale, dopo aver rimosso il valore di linea di base (baseline)

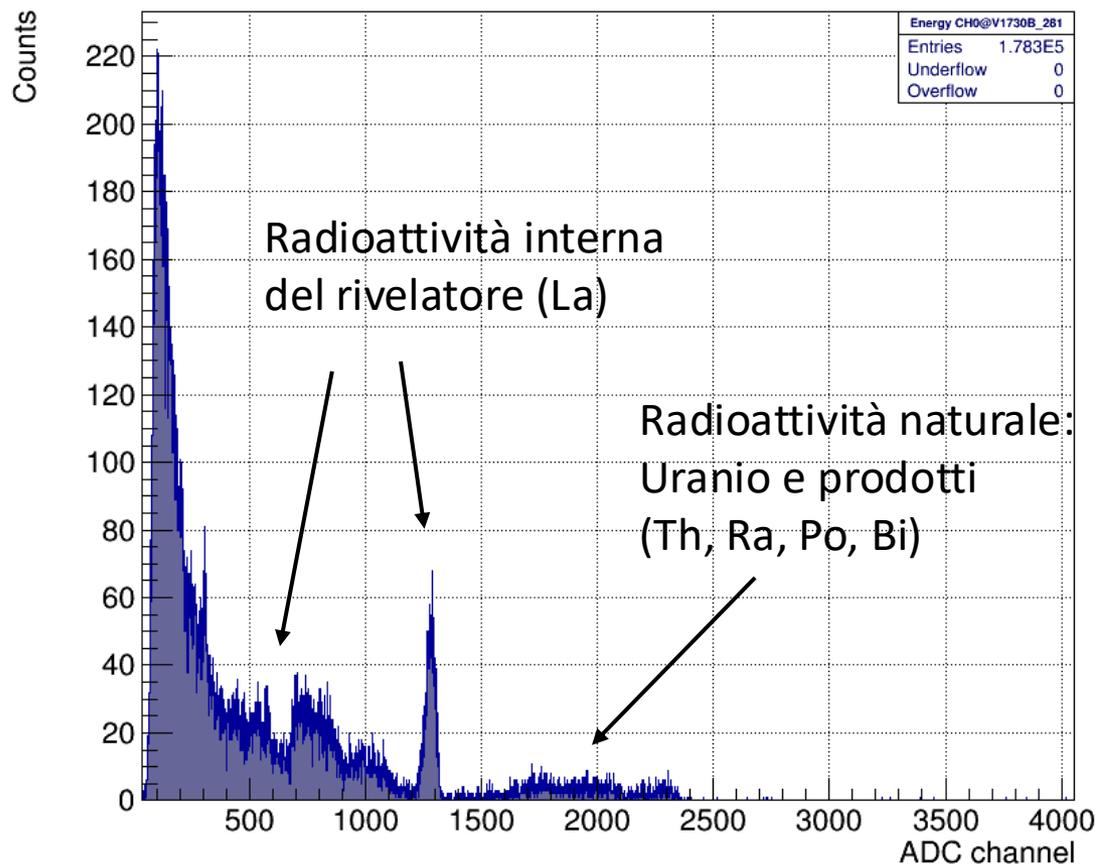
Il segnale e' "a gradini" perche' campionato ogni 2 ns



Radioattività interna e fondo ambientale

L'integrale del segnale viene messo in un istogramma

Misura senza sorgente

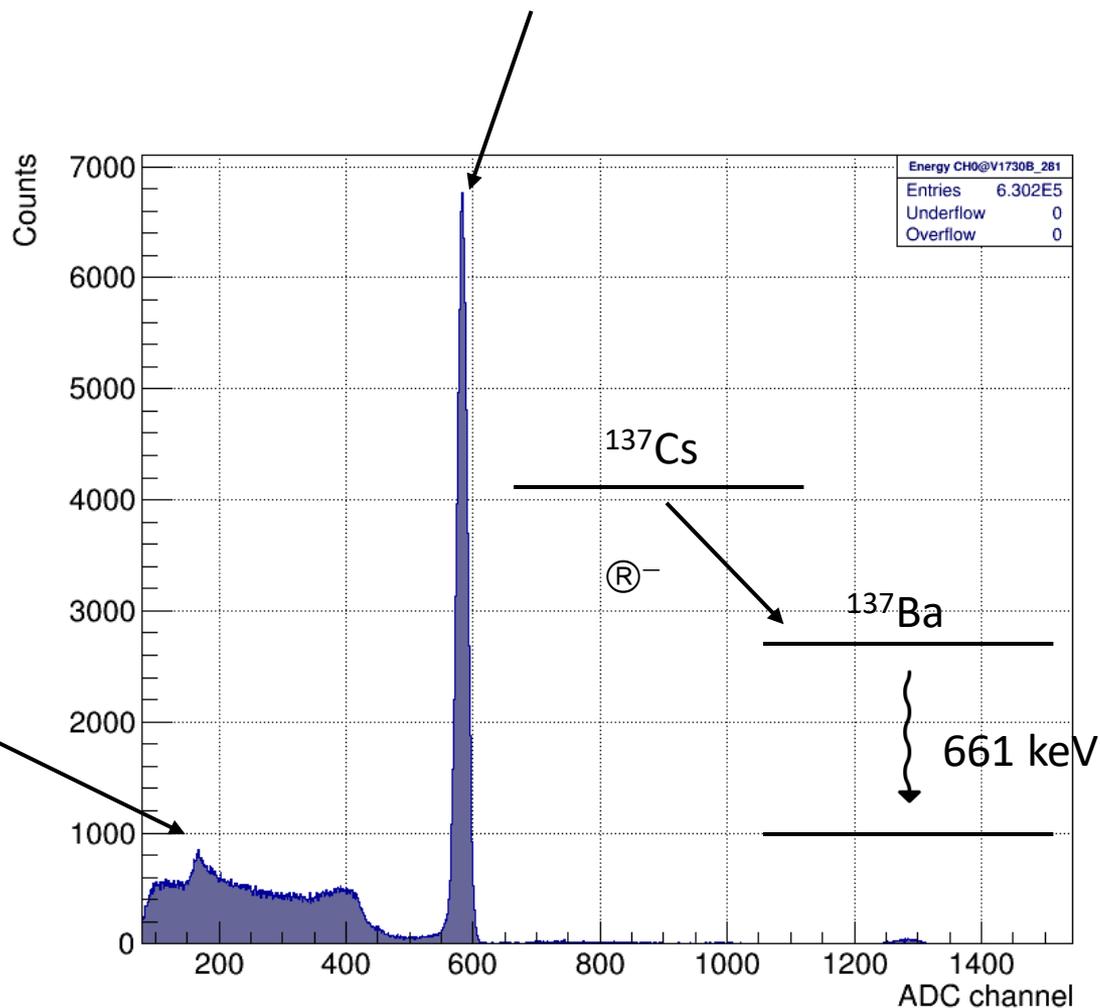


Unità arbitrarie del digitalizzatore
-> proporzionali all'energia

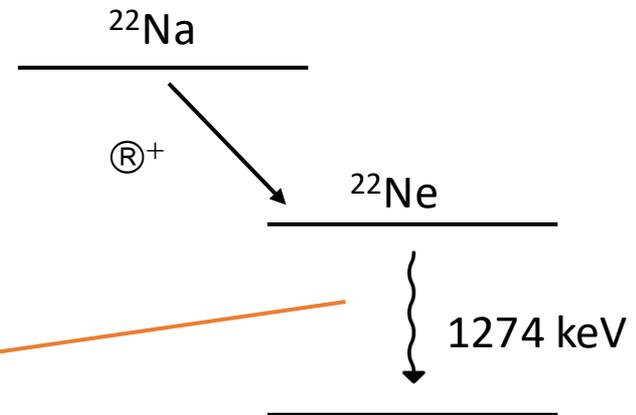
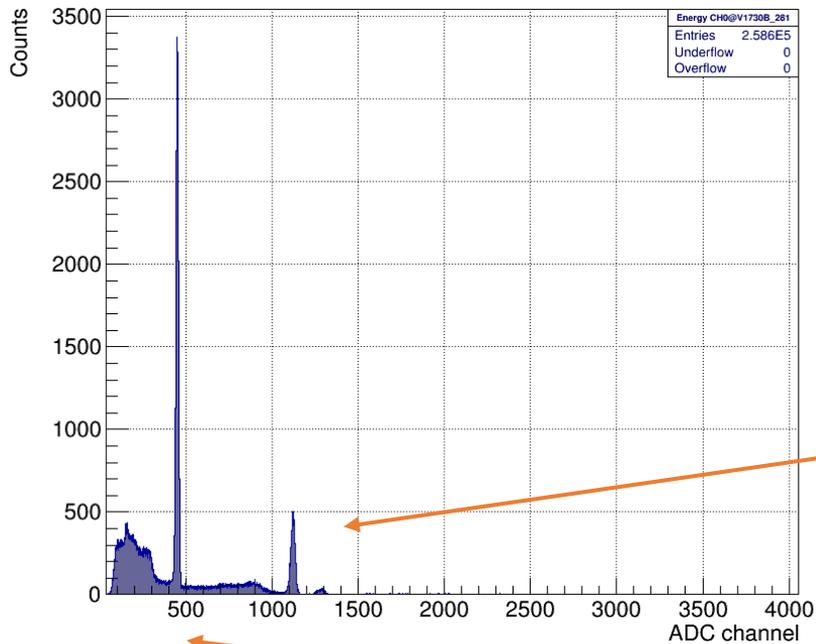
Sorgente di calibrazione: ^{137}Cs

Quando il fotone della sorgente interagisce per effetto Compton, nello spettro produce una struttura continua chiamata "spalla Compton" a energie inferiori al fotopico

Quando il fotone interagisce col rivelatore per effetto fotoelettrico, rilascia tutta la sua energia in solo evento, formando nello spettro energetico il "fotopico", un picco di forma gaussiana a un'energia precisa

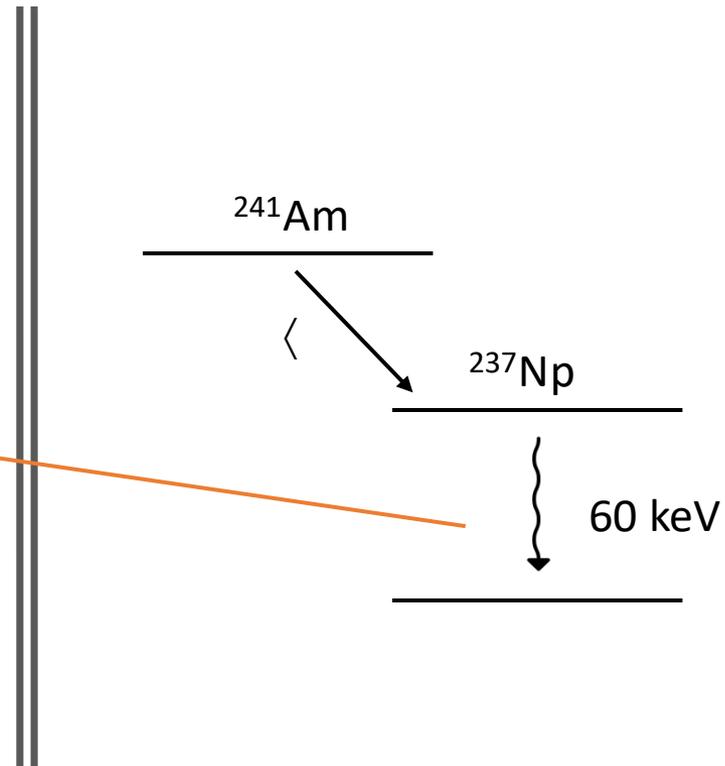
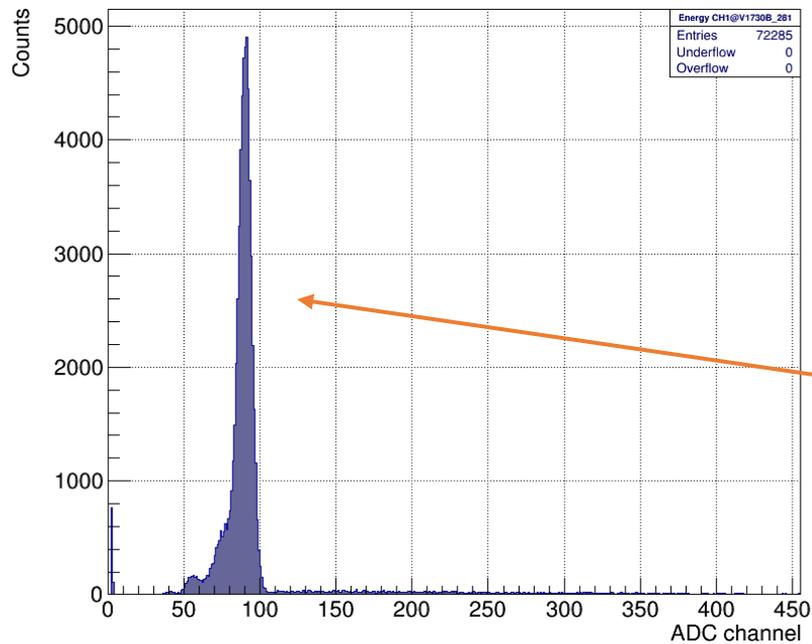


Sorgente di calibrazione: ^{22}Na

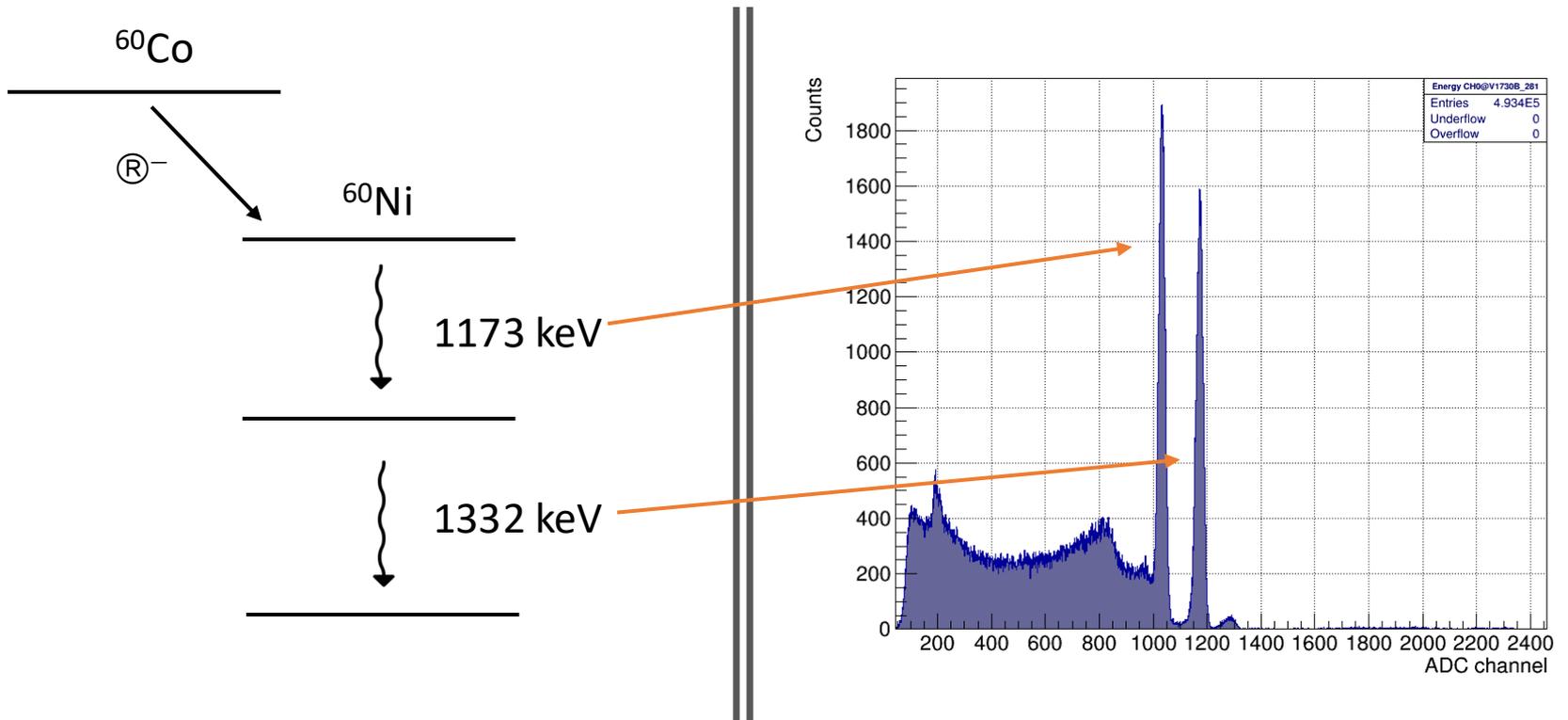


Il positrone emesso durante il decadimento $\textcircled{\text{R}}^+$ viene annichilato all'interno della sorgente, emettendo due fotoni di 511 keV

Sorgente di calibrazione: ^{241}Am



Sorgente di calibrazione: ^{60}Co

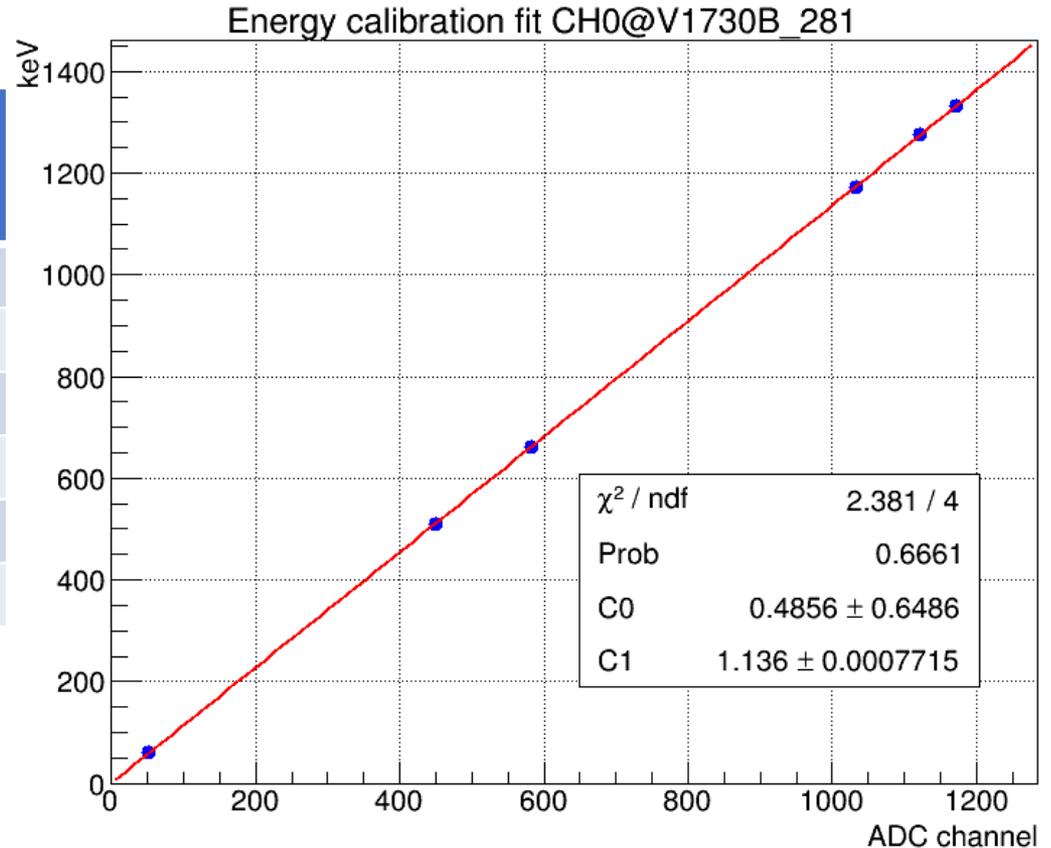


Calibrazione

Per calibrare il rivelatore, fittiamo con una gaussiana il fotopicco ed estraiamo la posizione del centro: sapendo l'energia del fotone, possiamo fare un fit lineare tra l'energia in keV e l'energia in unita' arbitrarie per ottenere i parametri di conversione

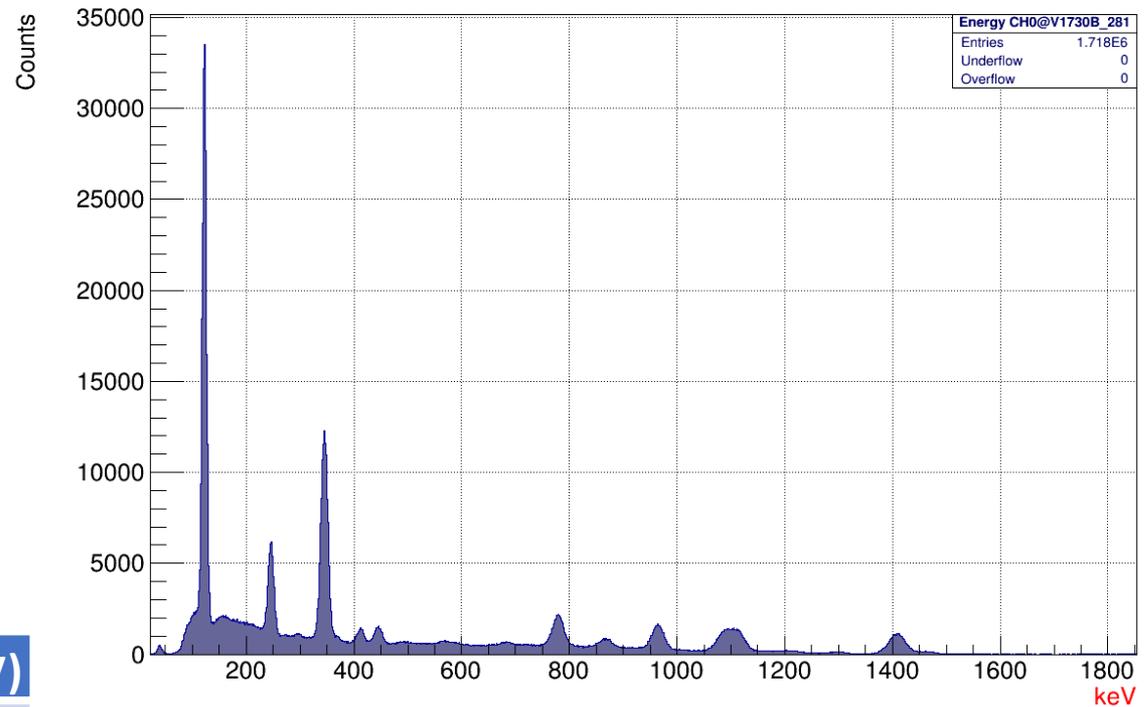
Sorgente	Posizione in ADC channel [a.u.]	Energia [keV]
^{241}Am	51.5	59.9
^{22}Na	450.0	511.0
^{137}Cs	582.6	661.7
^{60}Co	1032.4	1173.2
^{22}Na	1121.1	1274.5
^{60}Co	1172.0	1332.5

Avendo 6 rivelatori diversi, ci saranno 6 curve di calibrazione diverse



Nella figura, C0 è l'intercetta, C1 è la pendenza

Spettro di sorgente "sconosciuta"



Energia dei picchi visibili (keV)

122.385

245.986

345.267

412.58

446.0

779.3

867.45

964.54

1409.62

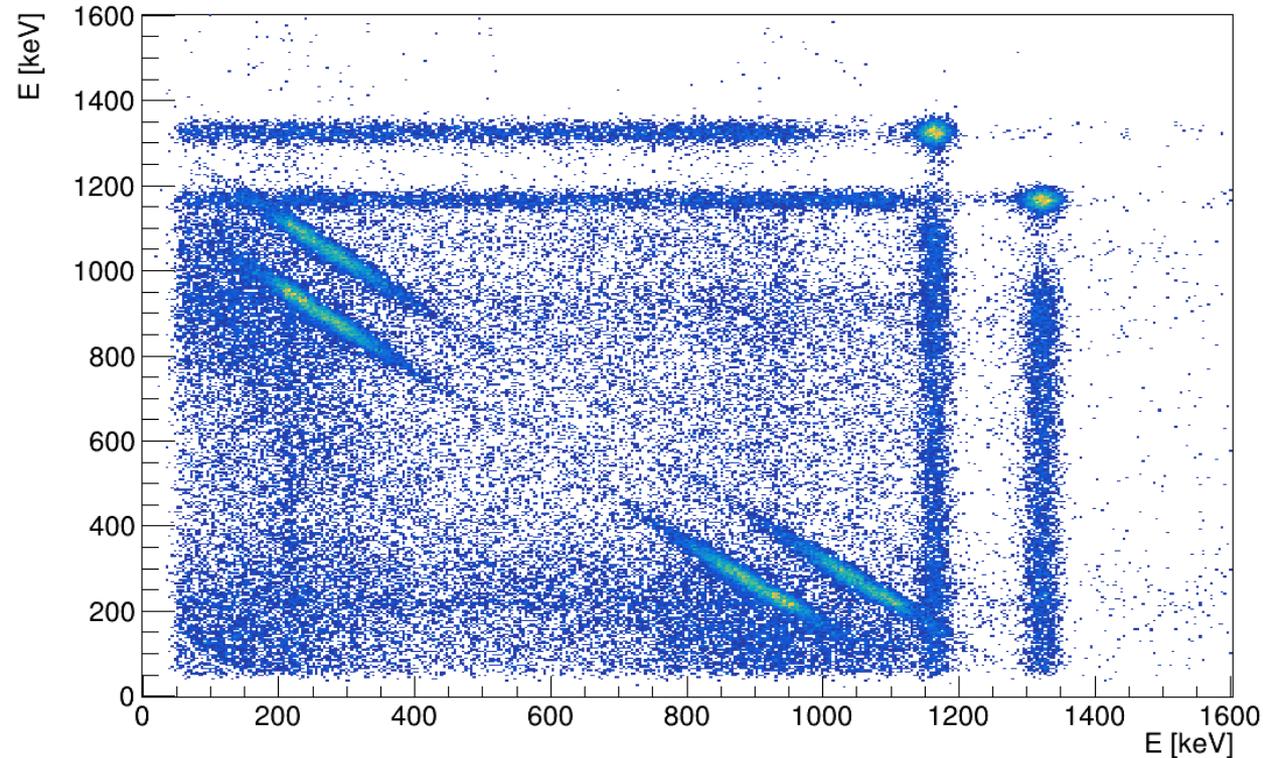
Molti picchi visibili nello spettro. Non e' nemmeno scontato che essi provengano tutti da uno stesso elemento/isotopo, perche' la sorgente sconosciuta potrebbe avere piu' modi di decadimento.

Dobbiamo capire se c'e' una correlazione fra due fotoni, usando l'informazione temporale.

Caso "semplice" della sorgente di ^{60}Co

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori

MATRICE GAMMA-GAMMA



^{60}Co

β^-

1173 keV

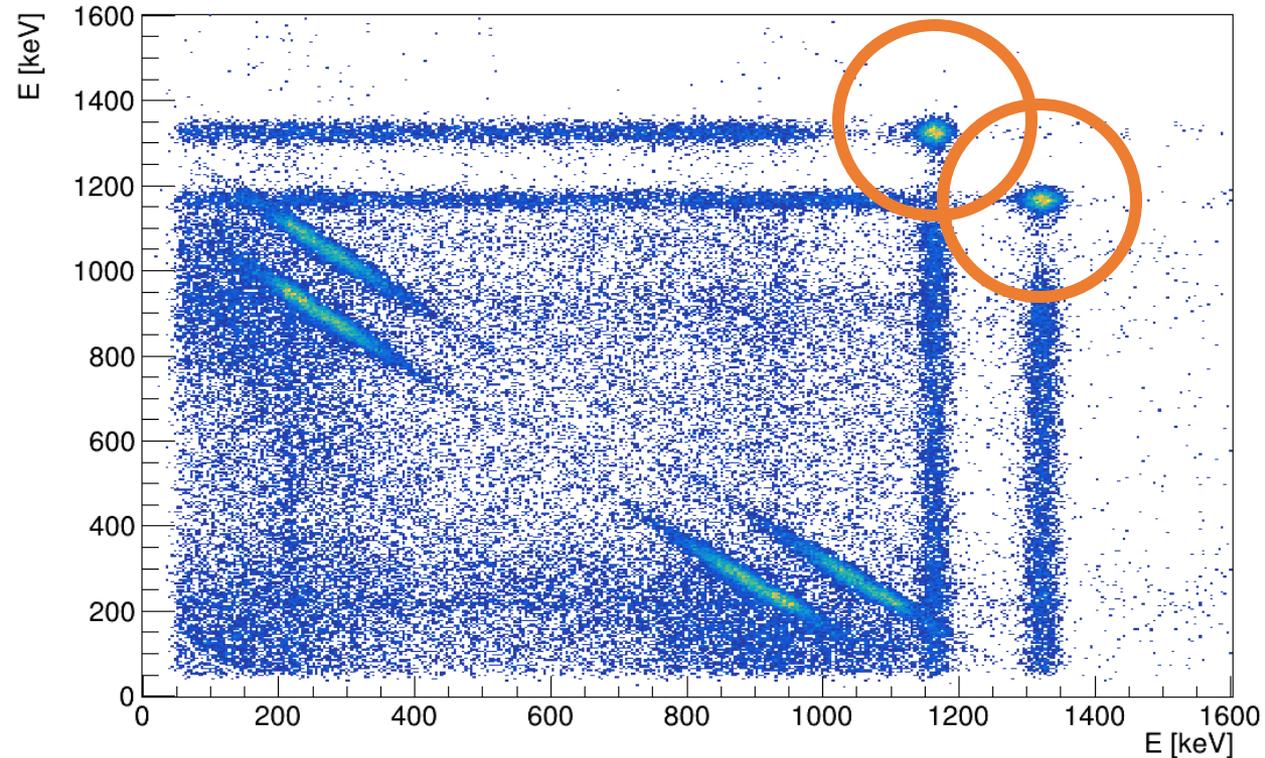
1332 keV

Il fotone a 1173 keV sara' sempre seguito da un fotone a 1332 keV. E' possibile quindi che entrambi i fotoni vengano osservati dai rivelatori in un breve lasso di tempo (inferiore a 500 ns).

Caso "semplice" della sorgente di ^{60}Co

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori

MATRICE GAMMA-GAMMA



^{60}Co

e^-

1173 keV

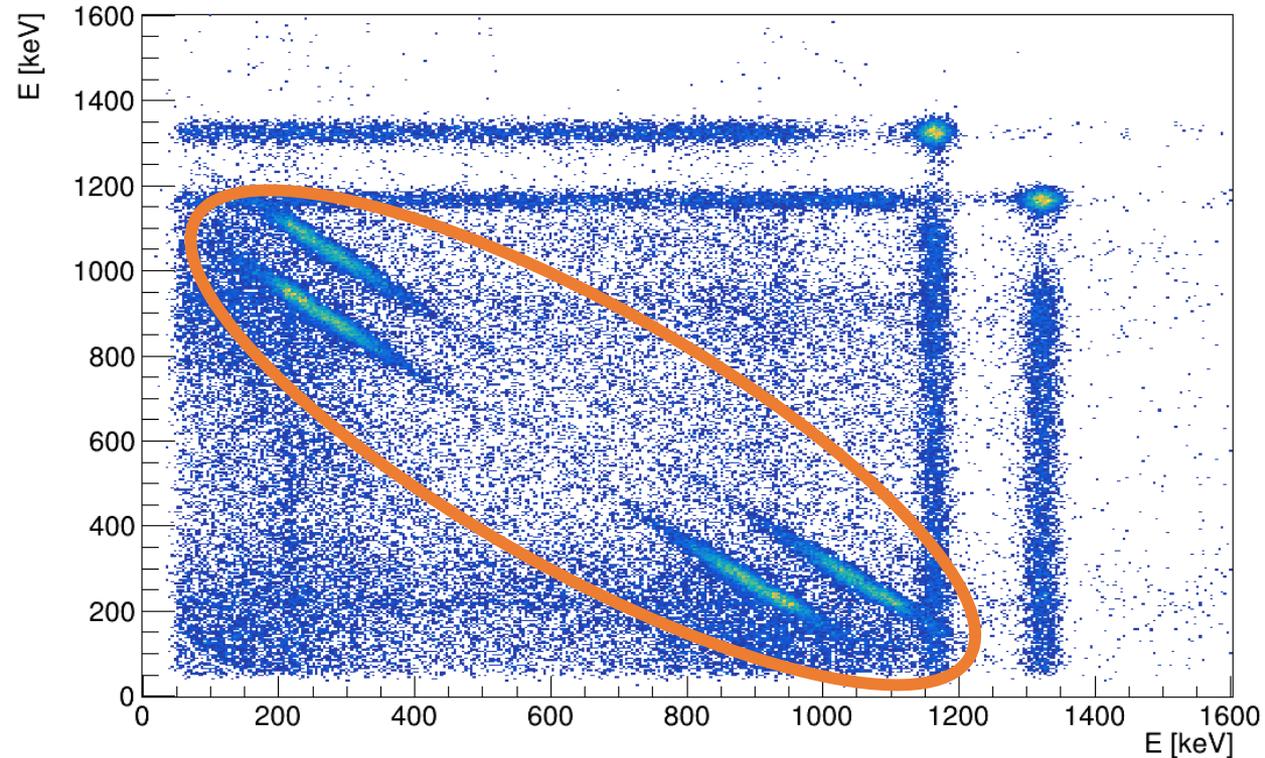
1332 keV

Gli accumuli di statistica sono alla coincidenza fotopicco-fotopicco, ossia quando entrambi i fotoni interagiscono con effetto fotoelettrico in due rivelatori diversi.

Caso "semplice" della sorgente di ^{60}Co

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori

MATRICE GAMMA-GAMMA



^{60}Co

β^-

1173 keV

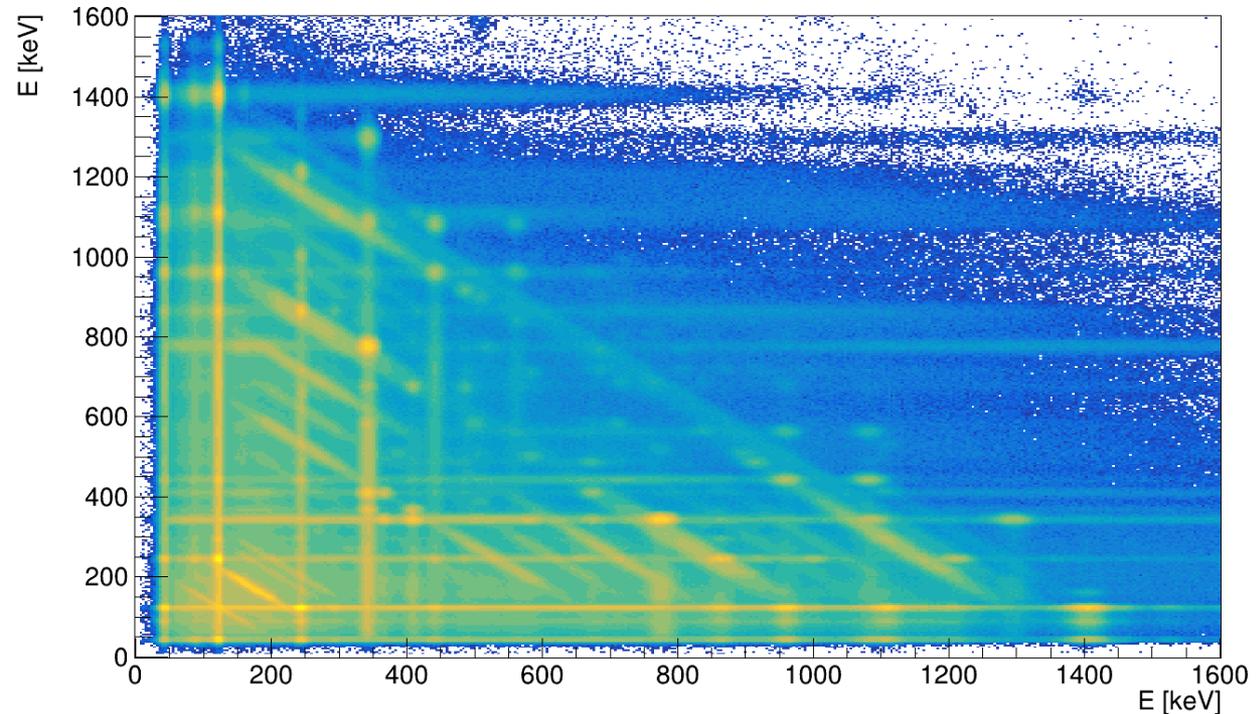
1332 keV

Le diagonali sono dovute al fatto che un fotone della sorgente puo' interagire per effetto Compton su due rivelatori diversi. La diagonale piu' alta e' il Compton della riga a 1332 keV, quella piu' bassa della riga a 1173 keV.

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori

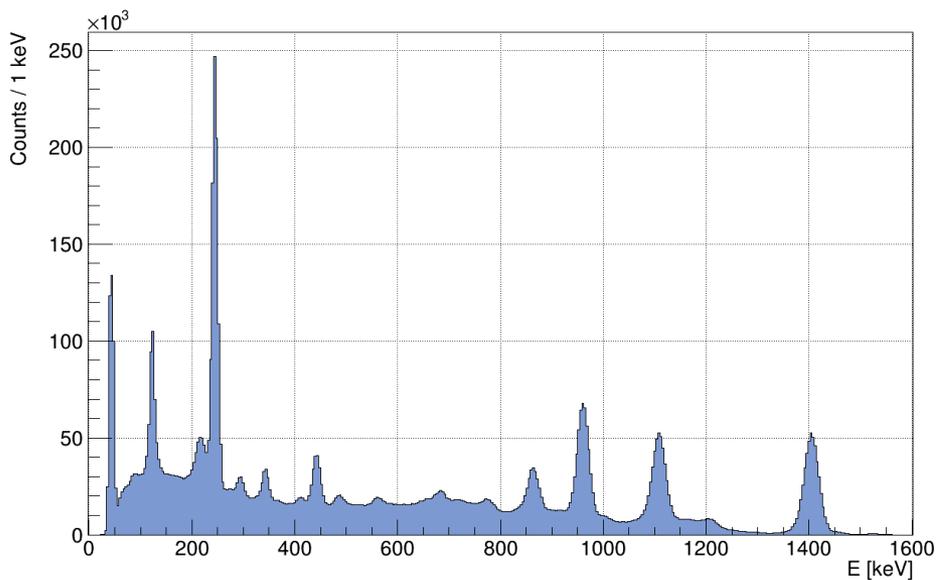
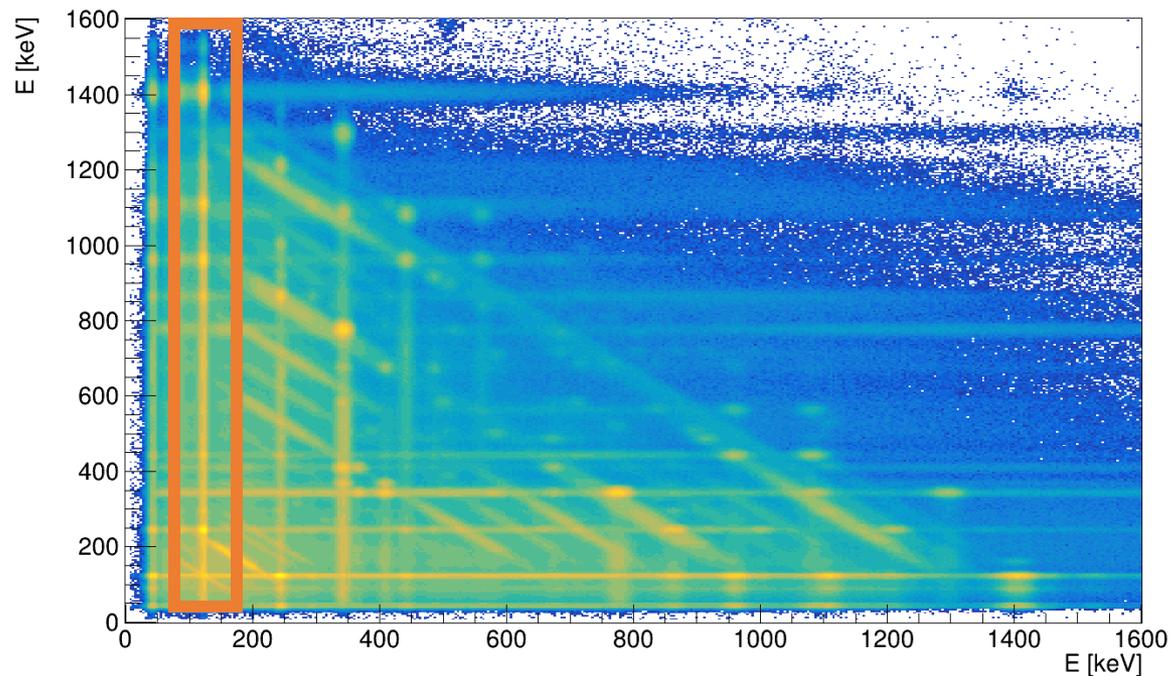
MATRICE GAMMA-GAMMA

della sorgente sconosciuta



E' chiaramente un po' piu' difficile osservare le coincidenze. Convieni quindi prendere una "fettina" in energia e osservare le coincidenze con gli eventi a quell'energia. Proviamo a prendere due "fette" (nel linguaggio tecnico, applichiamo una condizione, o "gate" in energia), una a 121 keV e una a 344 keV.

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori



Energia dei picchi visibili (keV)

122.385

245.986

345.267 (molto soppresso)

412.58

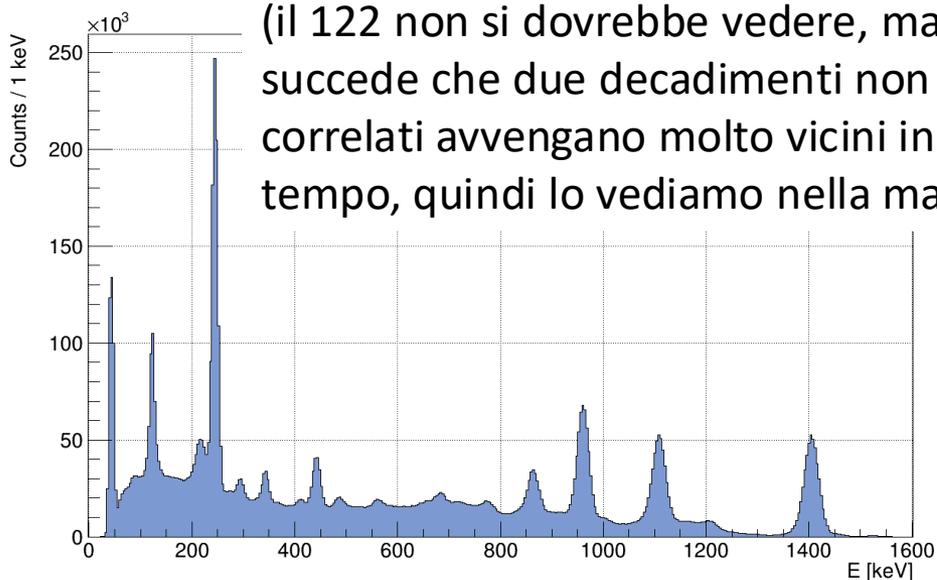
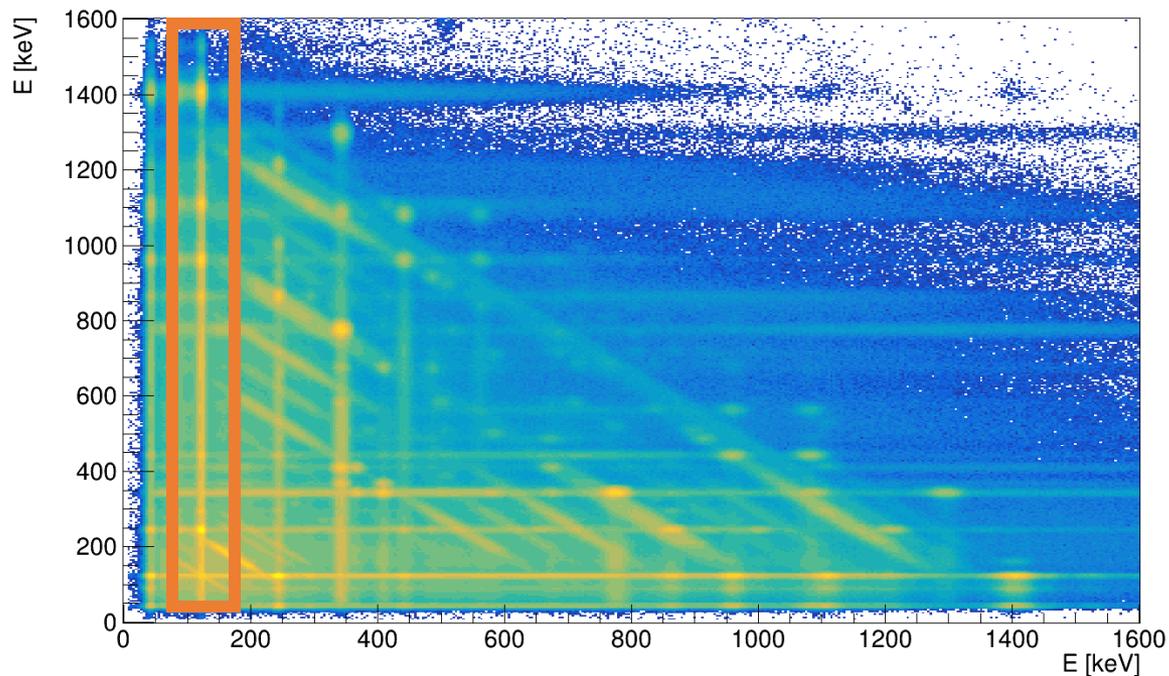
867.45

964.54

1112.1

1409.62

Coincidenza tra 2 o piu' rivelatori



(il 122 non si dovrebbe vedere, ma succede che due decadimenti non correlati avvengano molto vicini in tempo, quindi lo vediamo nella matrice)

Energia dei picchi visibili (keV)

122.385

245.986

345.267 (molto soppresso)

412.58

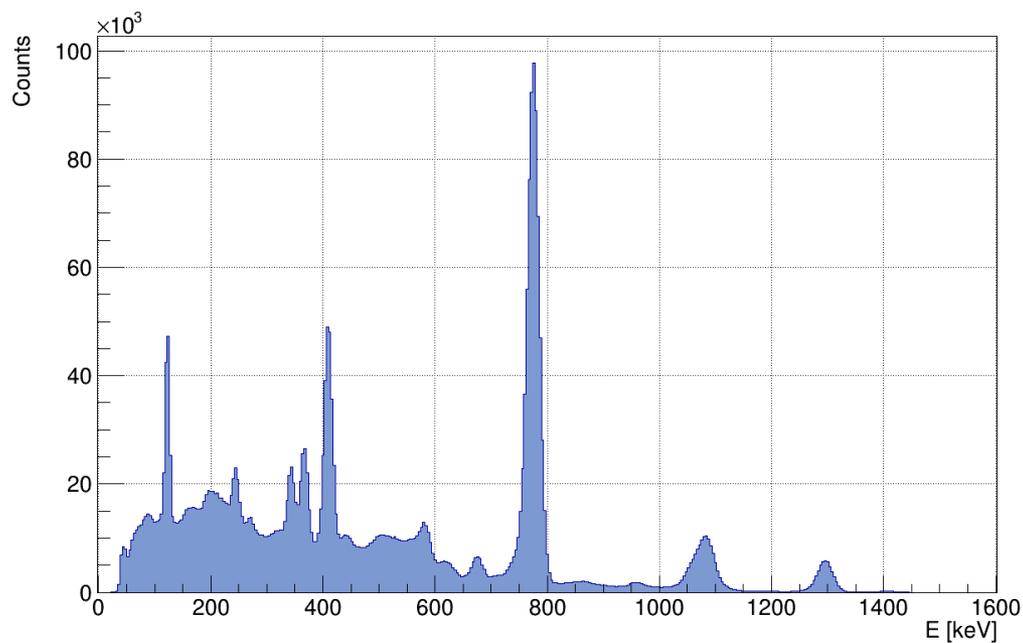
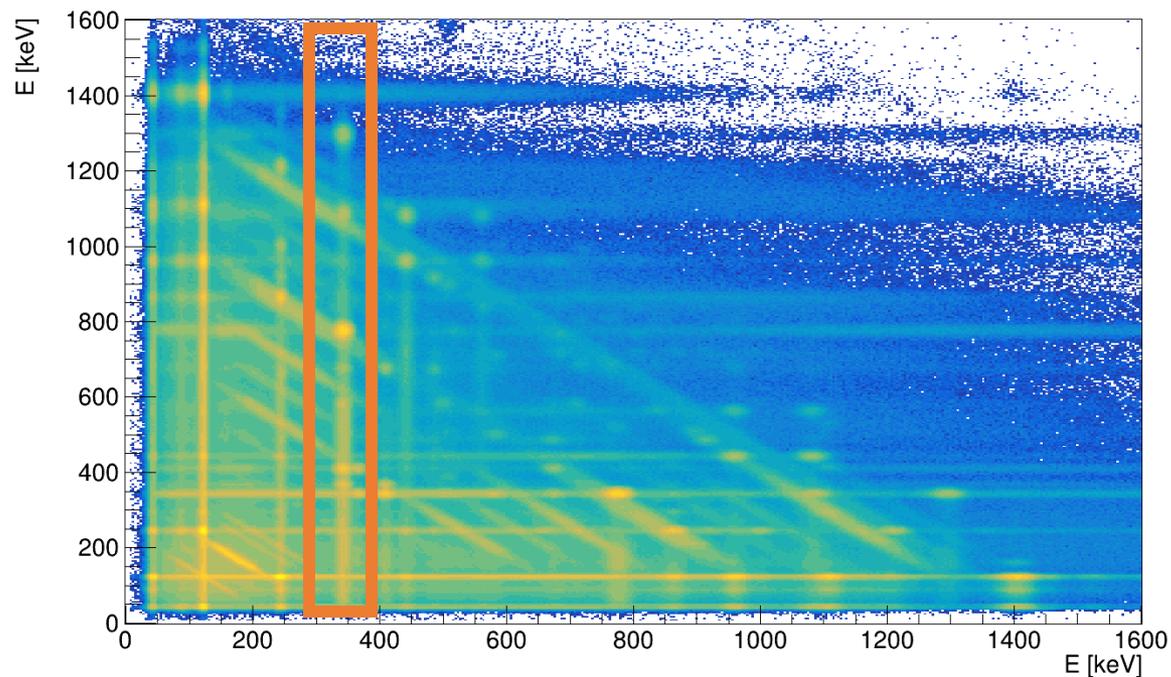
867.45

964.54

1112.1

1409.62

Coincidenza
tra 2 o piu'
rivelatori



Energia dei picchi visibili (keV)

122.385 (molto soppresso)

245.986 (molto soppresso)

412.58

778.9

1089.7

1299.1

Identificazione della sorgente

Accedendo al database dei Laboratori di Berkeley <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3> e cliccando (in alto a destra) su "Levels and Gammas Search" possiamo cercare i picchi sul database e tentare l'identificazione della sorgente sconosciuta utilizzando le informazioni della matrice gamma gamma. Ad esempio:

Nuclear Levels and Gammas Search (Help)

Specify Nuclei :

Nucleus: Ex: 232TH or th232 or 232-Th or th-232 or
 Z / Element: A: N:
 ≤ Z ≤ ≤ A ≤ ≤ N ≤

E(level) condition: enabled disabled 0 ≤ E_{level}(keV) ≤ 40000

Decay Mode condition: enabled disabled Decay Mode ANY

J^π(level) condition: enabled disabled J^π = Order: ALL Parity: ANY

T_{1/2}(level) condition: enabled disabled 0 fs ≤ T_{1/2} ≤ 1E10 Gy
 No Upper/Lower limit values

γ condition #1: enabled disabled 119 ≤ E_γ(keV) ≤ 124 Multipolarity: ANY Not mixed

γ condition #2: enabled disabled 235 ≤ E_γ(keV) ≤ 260 Multipolarity: ANY Not mixed

γ condition #3: enabled disabled 855 ≤ E_γ(keV) ≤ 875 Multipolarity: ANY Not mixed

γ coincidence condition: any coincident Coincidence gate ≤ 0.5 ns

γ reduced transition probability: enabled disabled 0 ≤ B(M₁,E_γ)(Weisskopf units) ≤ 40000

Ordering: Z, A, E(level), E(gamma) Output: Web Page Formatted File

Uncertainties: Nuclear Data Sheets style Standard style

Levels and Gammas database version of 8/27/2021

Results

Nucleus	E _{level} (keV)	J ^π	T _{1/2}	E _γ (keV)	γ branching ratio	γ mult.
110CD List of levels Level scheme	2659.866 7	5-		120.154 25	33.3 18	M1(+E2)
	2895.948 13	6-		236.04 4	23.1 7	M1+E2
	6646.1 6	(16+)		856.1 5	100	(E2)
134CE List of levels Level scheme	3017.6 4	8+		121.1 5	26 14	
	4622.7 9	(12)-		238.8	100 8	M1
	1903.8 3	1, 2, 3		855.1		
135ND List of levels Level scheme	2940.6 4	(25/2-)		120.76 20	22.0 5	
	3346.2 5			235.6 3	100	
	2375.8 4	(23/2-)		855.2 4	100 1	(Q)
152SM List of levels Level scheme	121.7818 3	2+	1.403 ns 11	121.7817 3	100	E2
	2375.49 7	9+		235.8 2	33	
	1221.64 3	5-		855.21 7	100 3	E1+M2
148GD List of levels Level scheme	3152.48 14	8-		122.9 1	75	
	5355.57 25	16+	184 ps 26	238.0 2	13	D
	11727.6 13	30	184 ps 26	858.0	74	
148GD List of levels Level scheme	3152.48 14	8-		122.9 1	75	
	5355.57 25	16+	184 ps 26	238.0 2	13	D
	6210.9 4	17	184 ps 26	855.3 3	100	
148GD List of levels Level scheme	4551.04 23	13-	38 ps 6	121.3 1	100	
	5355.57 25	16+	184 ps 26	238.0 2	13	D
	6210.9 4	17	184 ps 26	855.3 3	100	
148GD List of levels Level scheme	4551.04 23	13-	38 ps 6	121.3 1	100	
	5355.57 25	16+	184 ps 26	238.0 2	13	D
	11727.6 13	30	184 ps 26	858.0	74	
158DY List of levels Level scheme	1163.75 3	4+		119.4 1	3.2 3	
	2600.7 10	(10-)		239		
	2021.93 6	5+		858.20 7	82 4	E2
193HG List of levels Level scheme	5442.6 7	(45/2+)		123.0 10	1.6 3	
	6067.7 8	(51/2+)		235.6 4	100.0 19	(M1)
	1300.3 3	(19/2+)		857.5 4	100 8	(M1+E2)

Search time = 20.826172 Seconds

Identificazione della sorgente

Accedendo al database dei Laboratori di Berkeley <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/>

e cliccando (in alto a destra) su "Levels and Gammas Search" possiamo cercare i picchi sul database e tentare l'identificazione della sorgente sconosciuta utilizzando le informazioni della matrice gamma-gamma. Ad esempio:

Nuclear Levels and Gammas Search

(Help)

Specify Nuclei :

Nucleus: Ex: 232TH or th232 or 232-Th or th-232 or
 Z / Element: A: N:
 ≤ Z ≤ ≤ A ≤ ≤ N ≤
 Any Z Any A Any N

E(level) condition: enabled disabled ≤ E_{level(keV)} ≤ 40000

Decay Mode condition: enabled disabled Decay Mode ANY

J^π(level) condition: enabled disabled J^π = Order : ALL Parity : ANY

T_{1/2}(level) condition: enabled disabled fs ≤ T_{1/2} ≤ 1E10 Gy
 No Upper/Lower limit values

γ condition #1: enabled disabled ≤ E_{γ(keV)} ≤ 350 Multipolarity: ANY Not mixed

γ condition #2: enabled disabled ≤ E_{γ(keV)} ≤ 785 Multipolarity: ANY Not mixed

γ condition #3: enabled disabled ≤ E_{γ(keV)} ≤ 40000 Multipolarity: ANY Not mixed

γ coincidence condition : any coincident Coincidence gate ≤ 1 us

γ reduced transition probability: enabled disabled ≤ B(M_λ,E_γ)(Weisskopf units) ≤ 40000

Ordering: Z, A, E(level),E(gamma) Output: Web Page Formatted File

Uncertainties: Nuclear Data Sheets style Standard style

Search

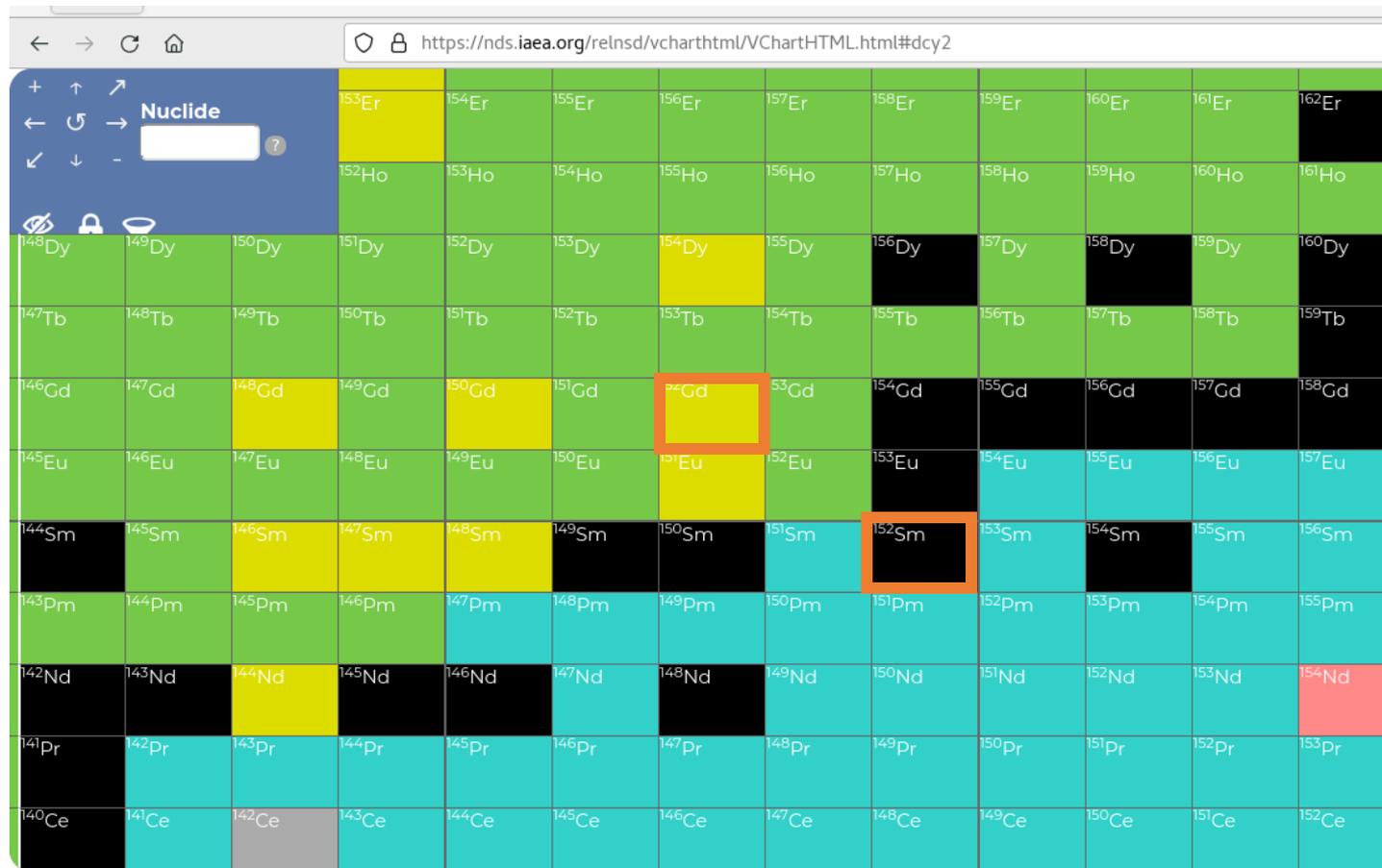
Reset

Levels and Gammas database version of 8/27/2021

1476D List of levels Level scheme	1759.85 5	1/2+		347.65 3	100.0 23	M1
1476D List of levels Level scheme	1509.15+Y 15	J1+4		778.94 8	0.52 15	
1476D List of levels Level scheme	5923.1 4	37/2-		340.1 1	100	M1
1476D List of levels Level scheme	1509.15+Y 15	J1+4		778.94 8	0.52 15	
1476D List of levels Level scheme	13445.8 21			341.3		
1476D List of levels Level scheme	1509.15+Y 15	J1+4		778.94 8	0.52 15	
1486D List of levels Level scheme	8987.1 9	25-		348.0	79	
1486D List of levels Level scheme	14924.4 17	36		778.6	100	
1496D List of levels Level scheme	1750.61 9	1/2(-),3/2,5/2-		347.7	79 10	
1496D List of levels Level scheme	2200.8+V 6	J4+6		780.2 2		
1496D List of levels Level scheme	1750.61 9	1/2(-),3/2,5/2-		347.7	79 10	
1496D List of levels Level scheme	1597.29 11	1/2,3/2,5/2-		780.2	9 2	
1496D List of levels Level scheme	1750.61 9	1/2(-),3/2,5/2-		347.7	79 10	
1496D List of levels Level scheme	775.20 8	11/2-		775.2 1	100	E2
1506D List of levels Level scheme	2554.14 12	8+		343.07 10	59 19	E1
1506D List of levels Level scheme	7275.8 22	(23-)		780	100	
1506D List of levels Level scheme	2554.14 12	8+		343.07 10	59 19	E1
1506D List of levels Level scheme	2209.54 3	2-,3-		779.09 4	47 5	
1506D List of levels Level scheme	2554.14 12	8+		343.07 10	59 19	E1
1506D List of levels Level scheme	1511.4+V 3	N+4		778.2 2		
1526D List of levels Level scheme	344.2790 12	2+	32.0 ps 27	344.2785 12		E2
1526D List of levels Level scheme	6876.2 21	24+		780		
1526D List of levels Level scheme	344.2790 12	2+	32.0 ps 27	344.2785 12		E2
1526D List of levels Level scheme	12712 4	37-		781		
1526D List of levels Level scheme	344.2790 12	2+	32.0 ps 27	344.2785 12		E2
1526D List of levels Level scheme	1123.1857 21	3-		778.9045 24	100.0 5	E1
1526D List of levels Level scheme	1470.43 17	5-		345		
1526D List of levels Level scheme	6876.2 21	24+		780		
1526D List of levels Level scheme	1470.43 17	5-		345		
1526D List of levels Level scheme	12712 4	37-		781		
1526D List of levels Level scheme	1470.43 17	5-		345		
1526D List of levels Level scheme	1123.1857 21	3-		778.9045 24	100.0 5	E1
1526D List of levels Level scheme	5529.9 14	19-		346		
1526D List of levels Level scheme	6876.2 21	24+		780		
1526D List of levels Level scheme	5529.9 14	19-		346		
1526D List of levels Level scheme	12712 4	37-		781		
1526D List of levels Level scheme	5529.9 14	19-		346		
1526D List of levels Level scheme	1123.1857 21	3-		778.9045 24	100.0 5	E1
1536D List of levels Level scheme	563.95 10	13/2-		344.4 1	100 7	E2
1536D List of levels Level scheme	1328.320 13	5/2+		779.52 10	100 38	(E1)
1536D List of levels Level scheme	563.95 10	13/2-		344.4 1	100 7	E2
1536D List of levels Level scheme	1140.7 4	17/2-		776 1	100 3	
1536D List of levels Level scheme	563.95 10	13/2-		344.4 1	100 7	E2

Identificazione della sorgente

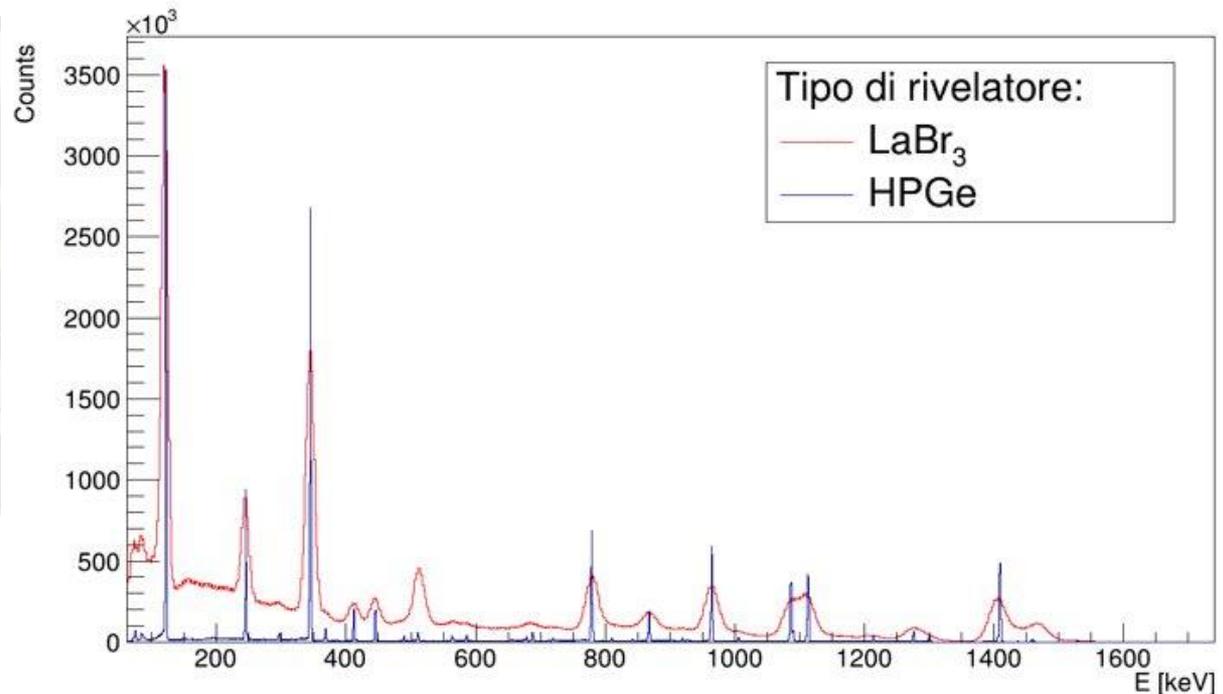
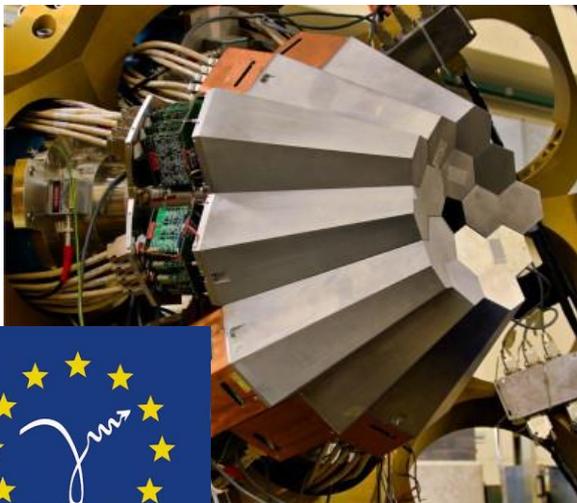
Giocando un po' con le varie combinazioni di energie, l'unica combinazione sensata e' quella ^{152}Sm e ^{152}Gd . Questi sono I prodotti del decadimento della sorgente. Guardando sulla carta di Segre' la posizione di questi due nuclei...

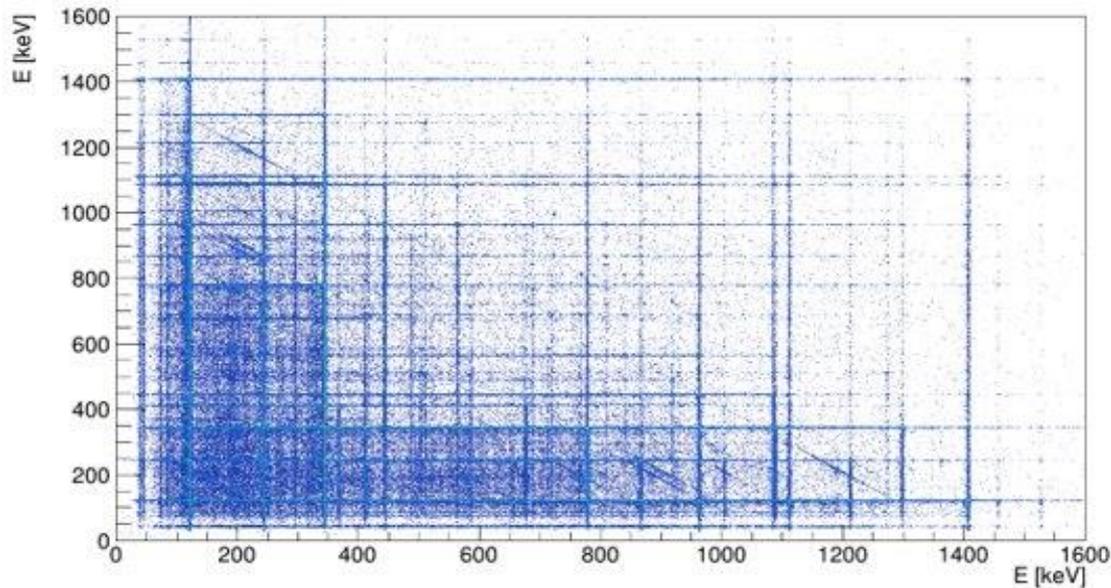
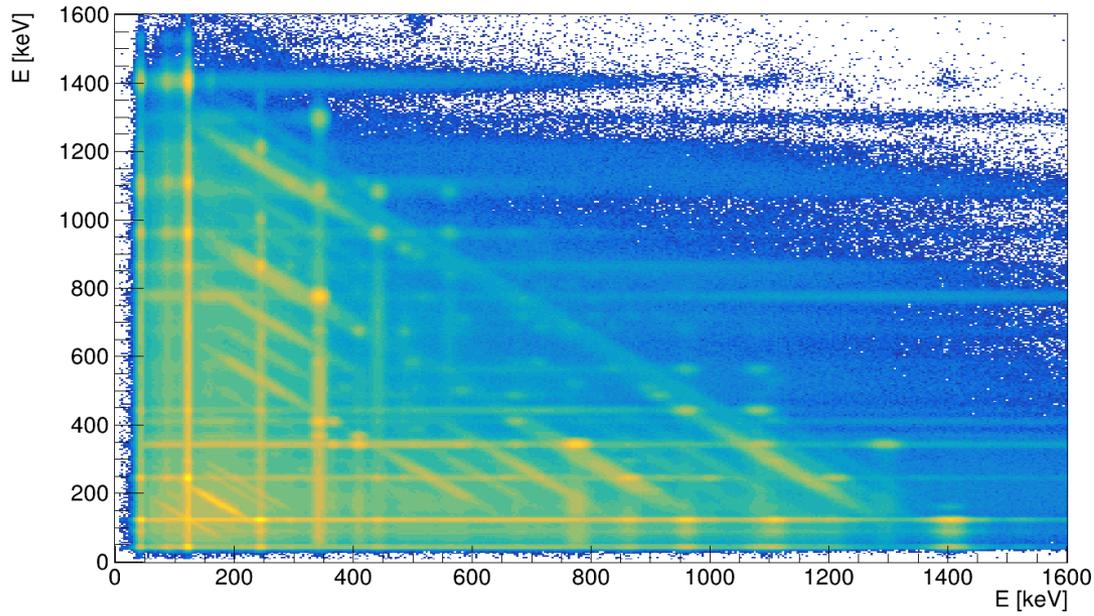


Spettroscopia ad alta risoluzione

Il bromuro di lantanio ha una buona, ma non ottima risoluzione energetica, e questo portava a delle incertezze nella misura del centroide dei picchi. Per avere degli spettri molto piu' puliti e' necessario cambiare tipo di rivelatore e usare un rivelatore al germanio iperpuro (rivelatore HPGe), come quelli che formano l'array AGATA, in uso ai LNL.

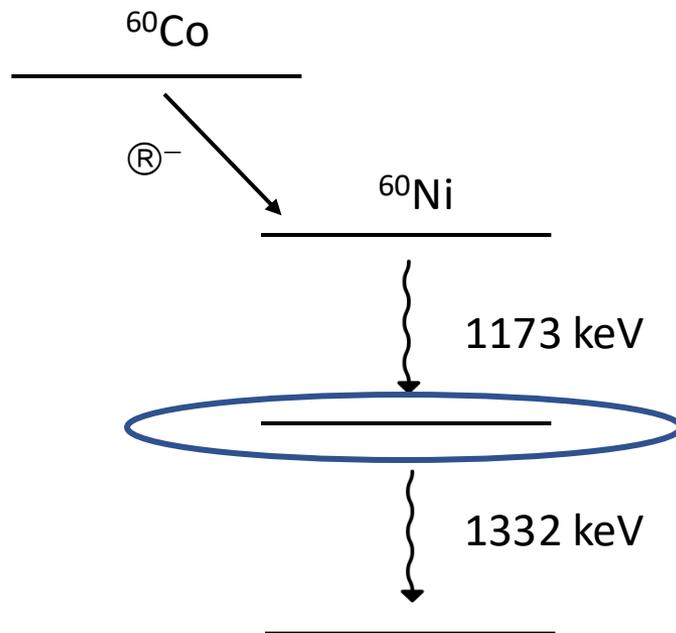
Sotto il confronto di uno spettro preso con il LaBr_3 e con un HPGe: notare la zona a 1100 e 1400 keV circa, dove la risoluzione del rivelatore permette di discriminare picchi molto vicini in energia.





Confronto
fra HPGe e
LaBr₃ per
una
sorgente di
¹⁵²Eu

Misure di tempo: ^{60}Co



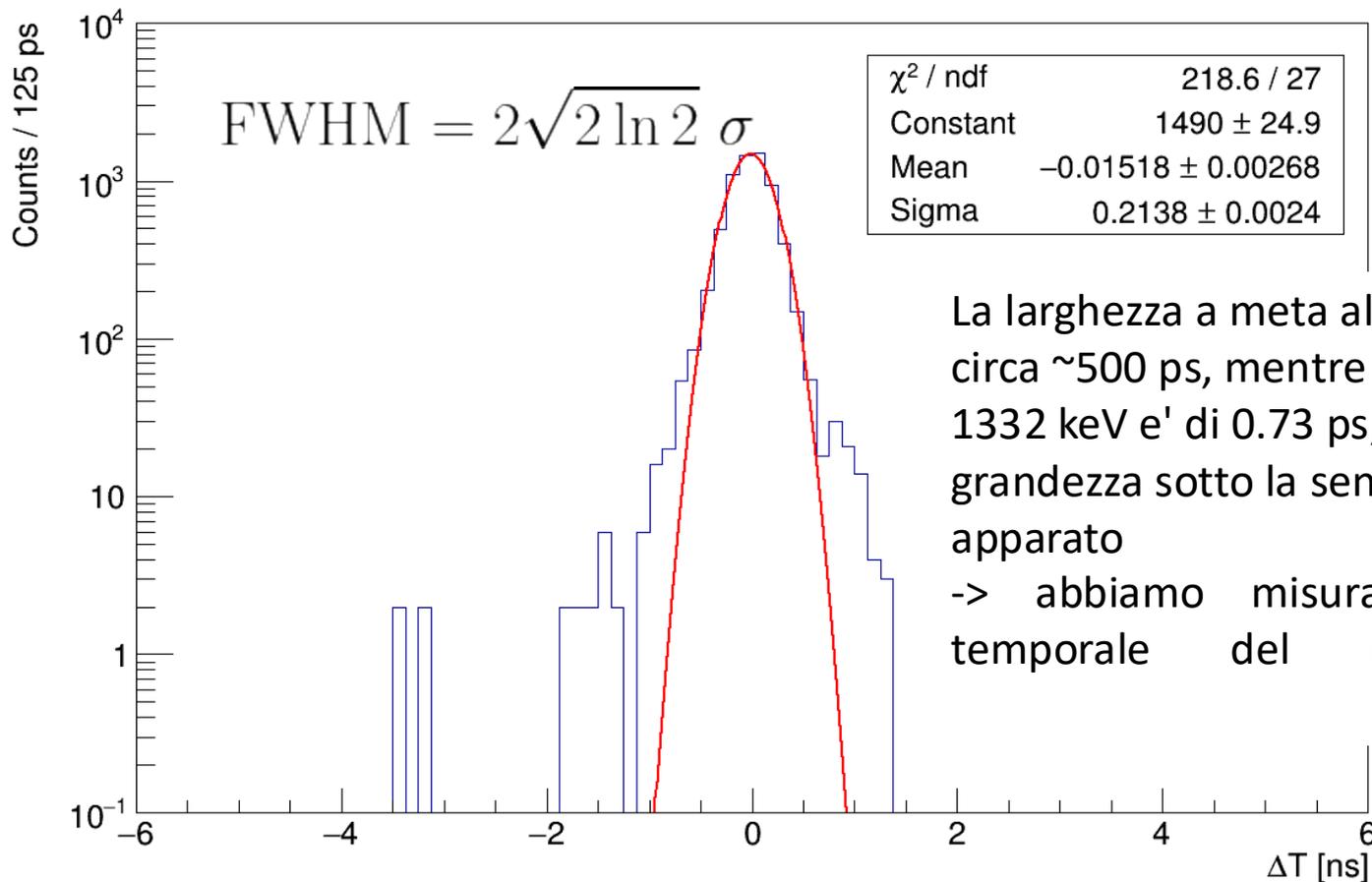
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}$$

START

Quanto tempo rimane su questo stato?

STOP

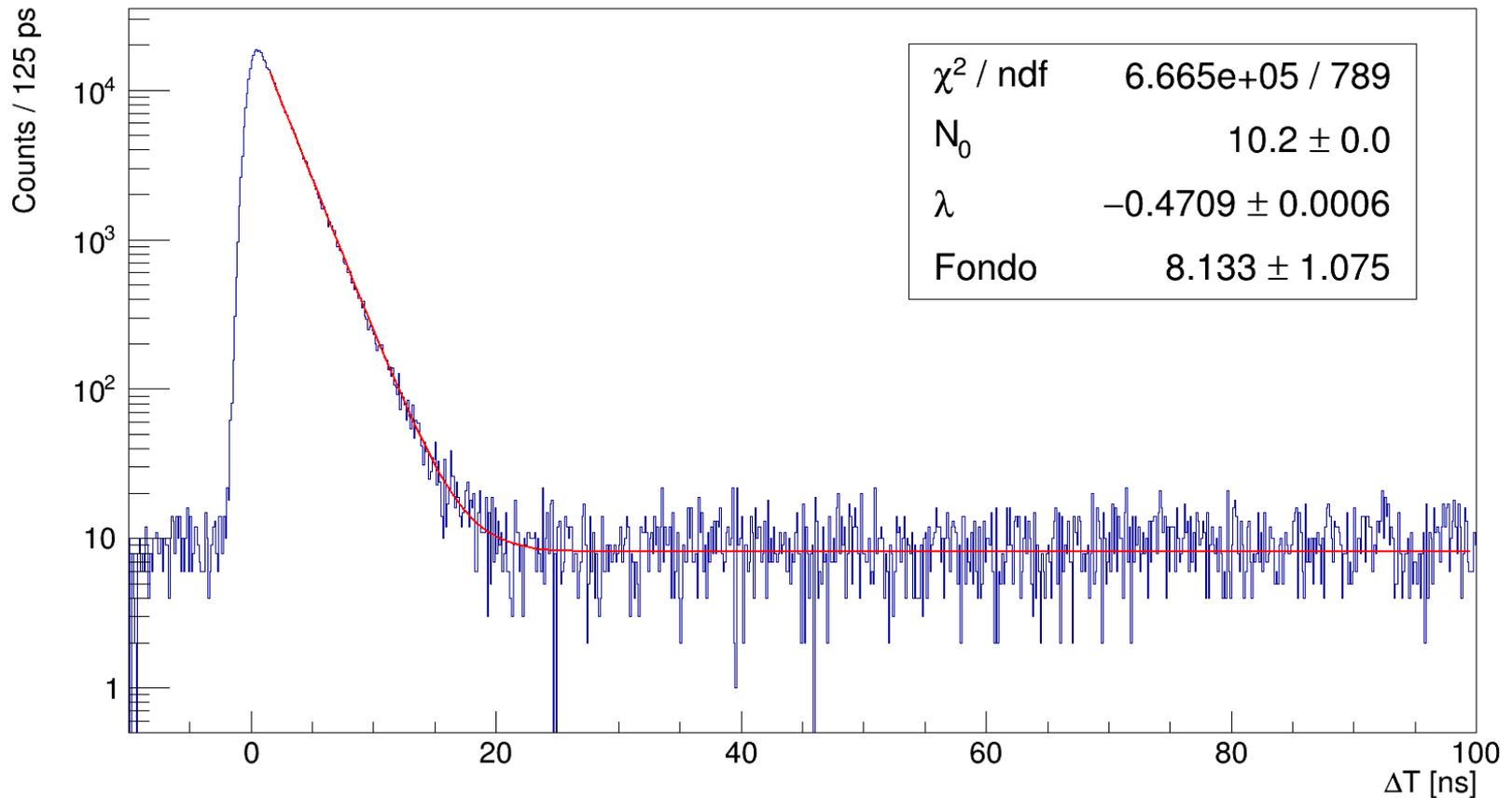
Coincidenza tra i fotoni di 1173 (start) e 1332 (stop) keV



La larghezza a meta altezza del picco e' di circa ~ 500 ps, mentre il $T_{1/2}$ dello stato a 1332 keV e' di 0.73 ps, circa 3 ordine di grandezza sotto la sensibilita' del nostro apparato

-> abbiamo misurato la risoluzione temporale del nostro rivelatore

Coincidenza tra i fotoni di 1408 (start) e 121 (stop) keV

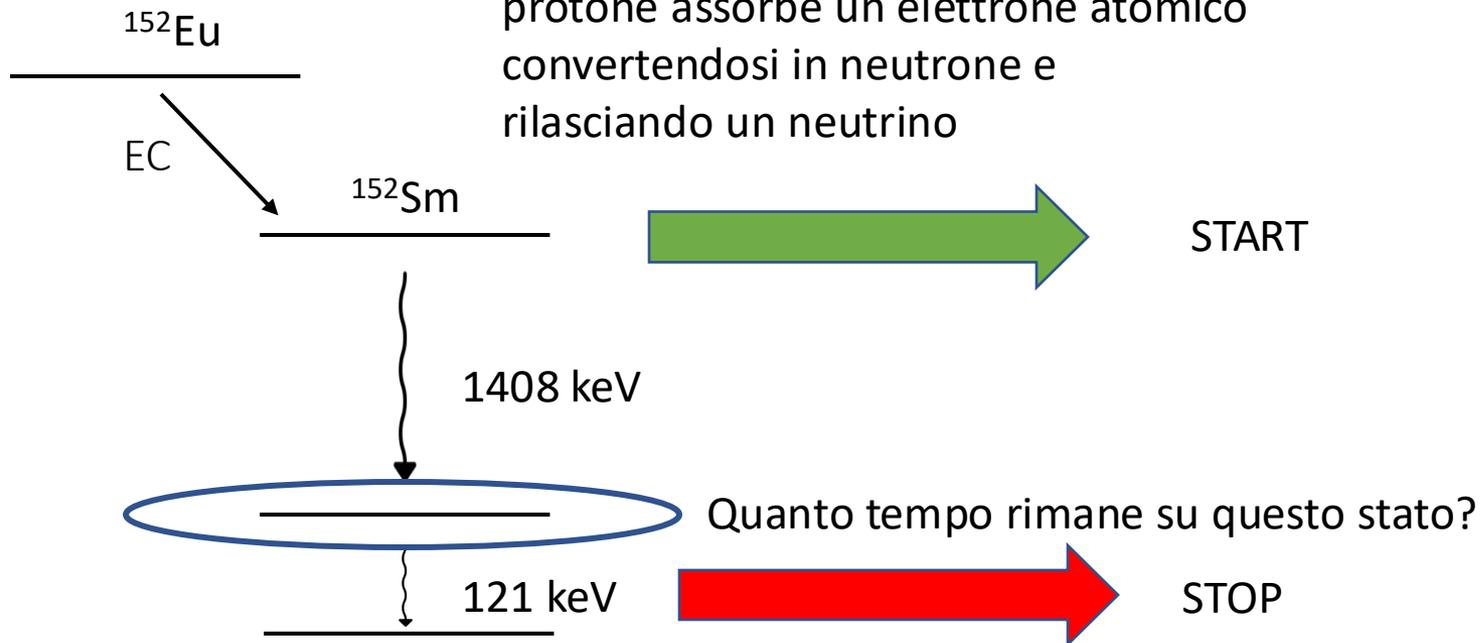


$$T_{1/2} = \tau \ln(2) = \frac{1}{\lambda} \ln(2) = 1.45 \text{ ns}$$

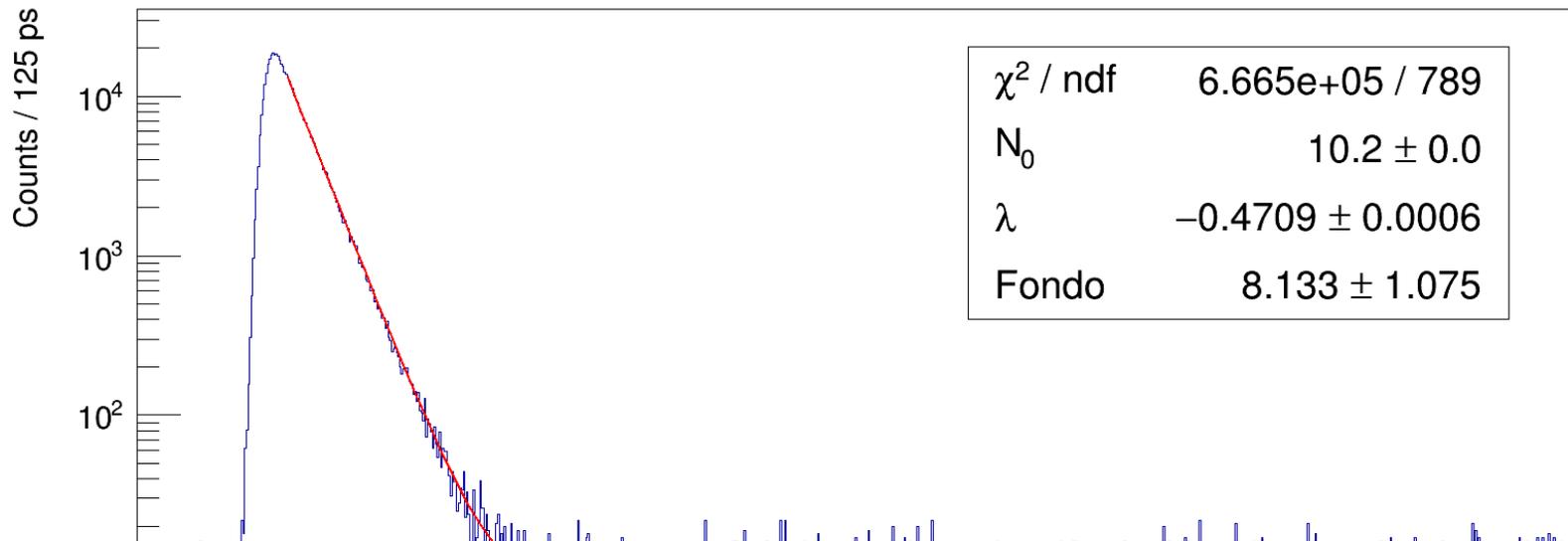
Misure di tempo: ^{152}Eu



La cattura elettronica (EC) e' un processo simile al decadimento β^+ : un protone assorbe un elettrone atomico convertendosi in neutrone e rilasciando un neutrino



Coincidenza tra i fotoni di 1408 (start) e 121 (stop) keV



#	Nuclide	E_x [keV]	J^π order	Band	$T_{1/2}$	$T_{1/2}$ [s]	Decay modes BR [%]	Isospin	μ [μ_N]	Q [b]	Additional data	Comments
1	$^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$	0.0	0+	1	STABLE							
2	$^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$	121.7818 3	2+	1	1.403 ns 77	$1.4 \cdot 10^{-9}$			+0.82 4	-1.683 78		
3	$^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$	366.4793 9	4+	1	57.7 ps 6	$5.77 \cdot 10^{-11}$			+1.68 20	-2.6 74		
4	$^{152}_{62}\text{Sm}_{90}$	684.751 27	0+ 2	2	6.10 ns 74	$6.1 \cdot 10^{-12}$						

ΔT [ns]

$$T_{1/2} = \tau \ln(2) = \frac{1}{\lambda} \ln(2) = 1.45 \text{ ns}$$

Per una misura di 12 ore, non male ;)



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Legnaro