

Esercitazione

Workshop “Spettrometria gamma ad alta risoluzione”

Milano, Palazzo Lombardia, 19 settembre 2018

P. De Felice

ENEA – Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI)

Approccio seguito

- Analisi degli spettri campione effettuata da N. 8 laboratori, incluso INMRI-ENEA
- Valori di riferimento (VR) forniti dagli sviluppatori dell'esercizio (IAEA)
- Confronto tra utilizzatori di SW, non tra i SW in sè (già validati)
- Validazione del Partecipante non come obiettivo
- Trattamento INMRI-ENEA non diverso dagli altri partecipanti
- Utilizzo di codici riservati, come di consueto
- Parametri normalizzati:
 - dati nucleari (DDEP)
 - tempi di riferimento
- Parametri lasciati liberi:
 - SW e procedure di analisi e di calcolo
 - interpretazione dei parametri del rivelatore
 - determinazione delle correzioni per ES e ASS
- Analisi risultati effettuata:
 - valori medi e scarti tipo (variabilità interna tra i partecipanti)
 - valori medi di attività confrontati con i VR (variabilità esterna)
 - analisi degli outlier ma non rimozione (revisione dati da parte dei Part.)
- Incertezze dei partecipanti non considerate => NO E_n

Revisioni effettuate dai partecipanti

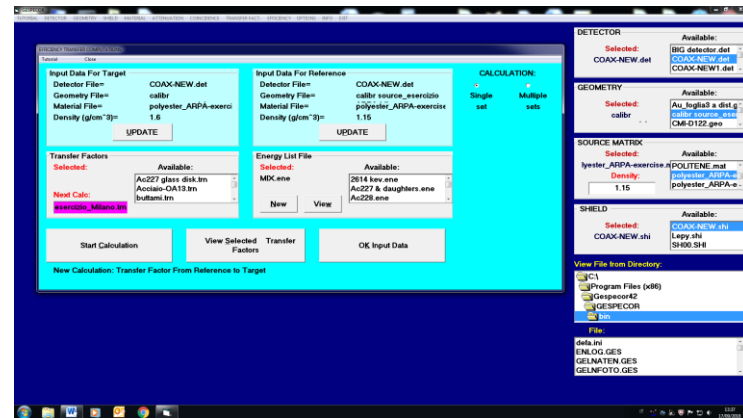
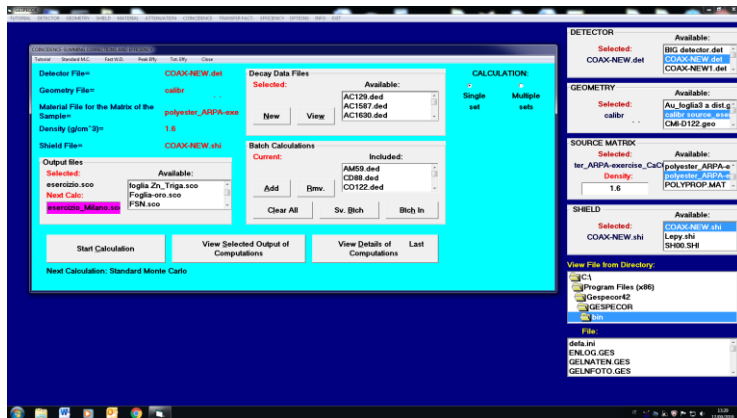
- Dati modificati anche per più del 10%
- Ripetizione dell'intero esercizio o di singole parti
- Principali approfondimenti e modifiche:
 - attenta analisi delle aree di picco e revisione del calcolo;
 - impostazione del programma rispetto alle modalità di fit dei picchi;
 - correzioni per decadimento (inclusa correzione per fuso orario);
 - decadimento durante l'acquisizione spettrale;
 - impostazione di GESPECOR / ETNA / EFFTRAN
 - parametri del rivelatore;
 - calcoli.

Partecipanti

ID Laboratorio	Referenti
ENEA-INMRI	Aldo Fazio (aldo.fazio@enea.it)
LOMBARDIA 1	Rosella Rusconi e Daniela Lunesu (d.lunesu@arpalombardia.it)
VdA	Massimo Faure Ragani (m.faureragani@arpa.vda.it)
POLITECNICO	Alessandro Porta (alessandro.porta@polimi.it)
CRR MI	Daniela Lunesu e Pietro Badalamenti (d.lunesu@arpalombardia.it; p.badalamenti@arpalombardia.it)
TNE	Monica Gattinoni (monica.gattinoni@tnenuclear.com)
VERCELLI	Luca Albertone (luca.albertone@arpa.piemonte.it)
ISS	Cristina Nuccetelli (cristina.nuccetelli@iss.it)

Generalità

Cod. Part.	A	B	C	D	E	F	G	H
Acquisizione	GammaVision v.6.08	Genie2k v.3.4	Gammavision v 8.00	GammaVision V. 6.08	Canberra Genie2k v. 1.4	Genie2k v.3.4.1	GammaVision 8.00	GammaVision V. 6.00
Curva efficienza	Excel (svil. da INMRI)	Genie2k v.3.4	Gammavision v 8.00	Gespecor v. 4.2	Canberra Genie2k v. 1.4	Genie2k v.3.4.1	GammaVision 8.00	GammaVision V. 6.00
Correzione somma coincidenza	Gespecor v.4.2	Genie2k v.3.4	EffTran	Gespecor v. 4.2	Canberra Genie2k v. 3.1	Genie2k v.3.4.1	GammaVision 8.00	GammaVision V. 6.00
Correzione autoassorbimento	Gespecor v.4.2	Gespecor v.4.2	EffTran	Gespecor v. 4.2	Gespecor v. 4.2	Labsocs v.4.4.1	GammaVision 8.00	GammaVision V. 6.00
Analisi routine	GammaVision v.6.08	Genie2k v.3.4	Gammavision v 8.00	GammaVision V. 6.08 MS-EXCEL	Canberra Genie2k v. 1.4	Genie2k v.3.4.1	GammaVision 8.00	GammaVision V. 6.00
Dati nucleari	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Dati rivelatore:	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
diametro esterno end-cap	8,45	8,77	86,7	8,50	8,77	9,52		
distanza laterale tra cristallo e end-cap	0,4	0,4	0,4	0,25	0,4	0,4		
materiale del rivestimento cristallo	Al	Al	Al	Al	Al	Al		
curvatura del cristallo	n.a.	0	0	n.a.	0	n.a.		
dimensioni pozzetto schermante	(vedi sotto)	n-n-	non utilizzato	Gespecor v. 4.2	n-n-	n.a.		
shield inner radius	28			12,5				
shield inner height	115			22				
shield outer radius	38			22,3				
shield outer height	135			33				
material	Pb			Pb				
distance end-cap inner top of shield	24			10,5				



Radionuclidi

SPETTRO DI TARATURA				
T/M	Radion.	E _y (keV)	Intensità di emissione (%)	T1/2 (d)
T	Am-241	59.5409 (1)	35.92 (17)	158002,82
T	Cd-109	88.0336 (10)	3.66 (5)	461,90
T	Co-57	122.06065 (12)	85.49 (14)	271,81
T	Co-57	136.47356 (29)	10.71 (15)	271,81
T	Ce-139	165.8575 (11)	79.90 (4)	137,64
T	Hg-203	279.1952 (10)	81.48 (8)	46,59
T	Sn-113	391.698 (3)	64.97 (17)	115,09
T	Cs-134	563.246 (3)	8.342 (15)	754,00
T	Cs-134	569.330 (2)	15.368 (21)	754,00
T	Cs-134	604.720 (3)	97.63 (8)	754,00
T	Cs-137	661.657 (3)	84.99 (20)	10975,46
T	Cs-134	795.86 (1)	85.47 (9)	754,00
T	Cs-134	801.950 (6)	8.694 (16)	754,00
T	Mn-54	834.848 (3)	99.9752 (5)	312,19
T	Y-88	898.042 (11)	93.7 (3)	106,63
T	Zn-65	1115.539 (2)	50.22 (11)	244,01
T	Cs-134	1365.194 (4)	3.019 (8)	754,00
T	Y-88	1836.070 (8)	99.346 (25)	106,63

SPETTRO DI MISURA				
T/M	Radion.	E _y (keV)	Intensità di emissione (%)	T1/2 (d)
M	Eu-152	121.7817 (3)	28.41 (13)	4938,78
M	Eu-152	244.6974 (8)	7.55 (4)	4938,78
M	Ba-133	302.8508 (5)	18.31 (11)	3849,26
M	Cr-51	320.0835 (4)	9.89 (2)	27,704
M	Eu-152	344.2785 (12)	26.59 (12)	4938,78
M	Ba-133	356.0129 (7)	62.05 (19)	3849,26
M	Ba-133	383.8485 (12)	8.94 (6)	3849,26
M	Eu-152	411.1165 (12)	2.238 (10)	4938,78
M	Eu-152	443.965 (3)	3.120 (28)	4938,78
M	Eu-152	778.9045 (24)	12.97 (6)	4938,78
M	Eu-152	867.380 (3)	4.243 (23)	4938,78
M	Eu-152	964.079 (18)	14.50 (6)	4938,78
M	Eu-152	1085.837 (10)	10.13 (6)	4938,78
M	Eu-152	1089.737 (5)	1.73 (1)	4938,78
M	Eu-152	1112.076 (3)	13.41 (6)	4938,78
M	Co-60	1173.228 (3)	99.85 (3)	1925,22
M	Eu-152	1212.948 (11)	1.416 (9)	4938,78
M	Na-22	1274.537 (7)	99.94 (13)	950,68
M	Eu-152	1299.142 (8)	1.633 (9)	4938,78
M	Co-60	1332.492 (4)	99.9826 (6)	1925,22
M	Eu-152	1408.013 (3)	20.85 (8)	4938,78

Parametri analizzati

Parametro	Tar. // Mis.	Simbolo
Area netta di picco	T + M	N
Area netta di picco normalizzata	T + M	N/N_0
Incertezza dell'area netta di picco	T + M	$u(N)$
Incertezza relativa dell'area netta di picco	T + M	$u(N)/N$
Efficienza di picco senza correzioni	T	ϵ_0
Fattore di correzione per ES	T + M	k_1
Efficienza di picco corretta per ES	T	ϵ_1
Efficienza di picco corretta per ES ed interpolata	T + M	ϵ_2
Fattore di correzione per ASS	M	k_2
Attività senza correzioni	M	A_0
Attività corretta per ES	M	A_1
Attività corretta per ES e ASS	M	A_2
Scarto relativo dal Valore di Riferimento senza correzioni	M	D_0
Scarto relativo dal Valore di Riferimento con correzioni	M	D_1

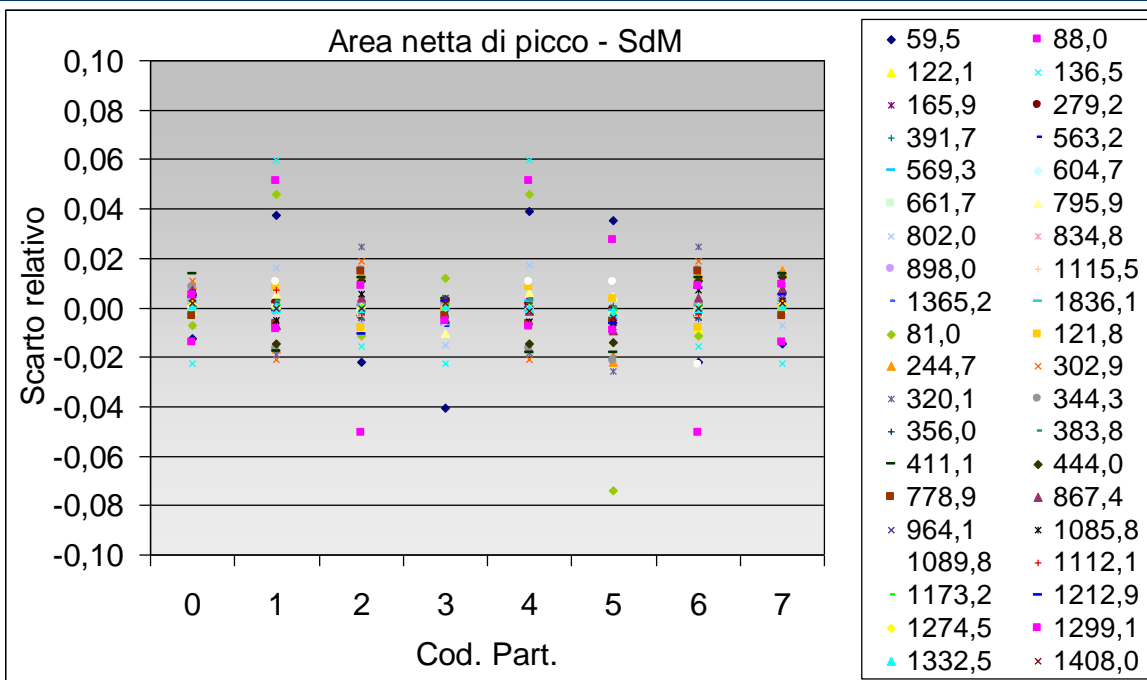
Scarti tipo e Incertezze

- Nella presentazione:
 - Scarto tipo: Scarto tipo sperimentale dei valori forniti dai partecipanti, **s**
 - Incertezza: Componente dell'incertezza calcolata o fornita dagli organizzati, **u**

Area netta di picco, N

Area netta di picco (vs Cod. Part.)

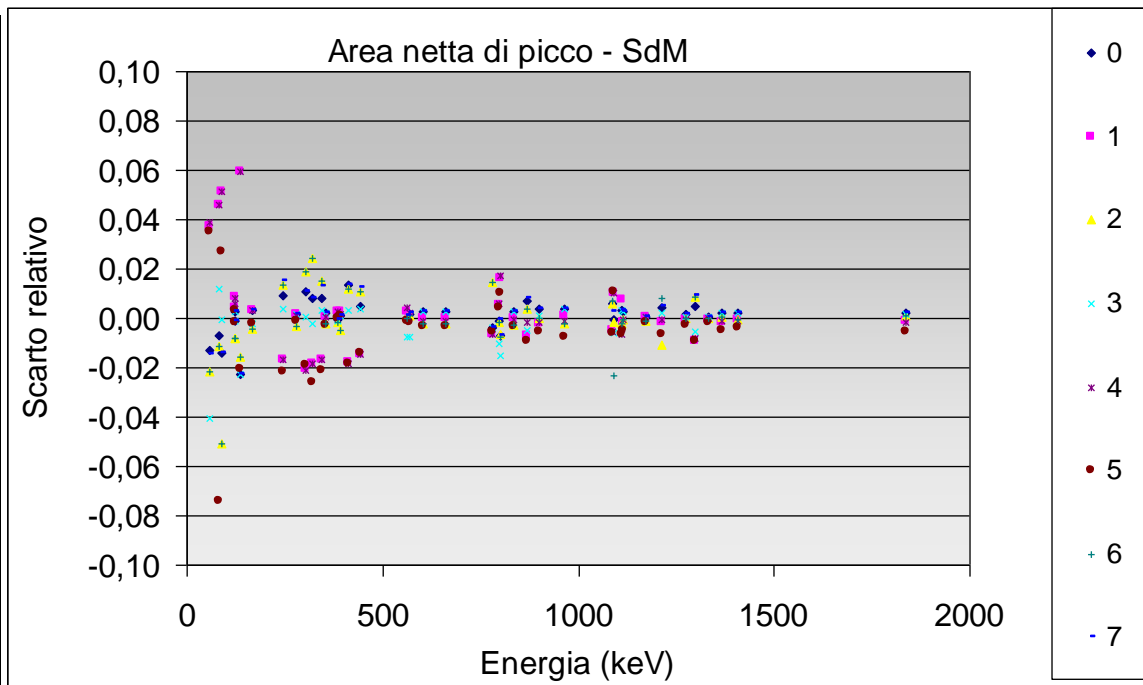
	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
4								> 0,020	
5								< 0,005	
6	E	0	1	2	3	4	5	6	7
7	59,5	-0,013	0,037	-0,022	-0,041	0,039	0,035	-0,022	-0,014
8	88,0	-0,014	0,051	-0,051	-0,001	0,051	0,027	-0,051	-0,014
9	122,1	0,003	0,004	-0,008	0,003	0,006	-0,002	-0,008	0,003
10	136,5	-0,023	0,060	-0,015	-0,023	0,060	-0,020	-0,015	-0,023
11	165,9	0,003	0,003	-0,004	-0,002	0,003	-0,002	-0,004	0,003
12	279,2	0,002	0,002	-0,003	0,002	0,001	-0,001	-0,003	0,002
13	391,7	0,001	0,003	-0,005	0,001	0,002	0,001	-0,005	0,001
14	563,2	0,000	0,003	0,001	-0,008	0,004	-0,001	0,000	0,001
15	569,3	0,002	0,001	0,001	-0,007	0,002	-0,001	0,001	0,002
16	604,7	0,003	0,000	-0,002	0,003	-0,001	-0,003	-0,002	0,003
17	661,7	0,003	0,000	-0,002	0,003	-0,001	-0,003	-0,002	0,003
18	795,9	-0,001	0,005	-0,002	-0,010	0,006	0,004	-0,002	-0,001
19	802,0	-0,007	0,016	-0,007	-0,015	0,017	0,010	-0,007	-0,007
20	834,8	0,003	0,000	-0,003	0,003	0,000	-0,003	-0,003	0,003
21	898,0	0,004	-0,002	0,000	0,001	-0,002	-0,005	0,000	0,004
22	1115,5	0,003	-0,002	-0,001	0,003	0,000	-0,005	-0,001	0,003
23	1365,2	0,002	-0,002	0,001	0,002	-0,001	-0,005	0,001	0,002
24	1836,1	0,002	-0,001	0,001	0,001	-0,001	-0,005	0,001	0,002
25	81,0	-0,007	0,046	-0,011	0,012	0,046	-0,074	-0,011	-0,011
26	121,8	-0,001	0,008	-0,008	-0,001	0,008	0,003	-0,008	-0,001
27	244,7	0,009	-0,017	0,014	0,004	-0,017	-0,022	0,014	0,015
28	302,9	0,011	-0,021	0,019	0,001	-0,021	-0,019	0,019	0,011
29	320,1	0,008	-0,019	0,025	-0,002	-0,018	-0,026	0,024	0,008
30	344,3	0,008	-0,017	0,015	0,003	-0,017	-0,021	0,015	0,013
31	356,0	0,002	0,000	-0,002	0,002	0,000	-0,003	-0,002	0,002
32	383,8	0,000	0,003	-0,002	-0,001	0,003	0,000	-0,002	0,000
33	411,1	0,013	-0,018	0,012	0,004	-0,018	-0,018	0,012	0,013
34	444,0	0,005	-0,015	0,011	0,004	-0,015	-0,014	0,011	0,013
35	778,9	-0,004	-0,007	0,015	-0,004	-0,007	-0,005	0,015	-0,004
36	867,4	0,007	-0,007	0,004	-0,005	-0,002	-0,009	0,004	0,008
37	964,1	0,004	0,001	-0,002	0,004	-0,001	-0,008	-0,002	0,004
38	1085,8	0,006	-0,005	0,006	-0,005	-0,005	-0,006	0,007	0,003
39	1089,8	0,000	0,011	-0,002	-0,006	0,010	0,011	-0,023	
40	1112,1	0,003	0,007	-0,002	0,003	-0,006	-0,006	-0,002	0,003
41	1173,2	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,001
42	1212,9	0,004	-0,001	-0,011	0,002	0,000	-0,007	0,008	0,005
43	1274,5	0,002	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,003	0,000	0,002
44	1299,1	0,005	-0,009	0,009	-0,006	-0,008	-0,009	0,009	0,009
45	1332,5	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,002	0,000	0,001
46	1408,0	0,002	-0,001	0,000	0,002	-0,001	-0,004	0,000	0,002



- Valori compresi tra $\pm 10\%$
- Valori $> \pm 2\%$ solo a basse energie
- Leggera sistematicità interna ad alcuni partecipanti (es. 4, 5)

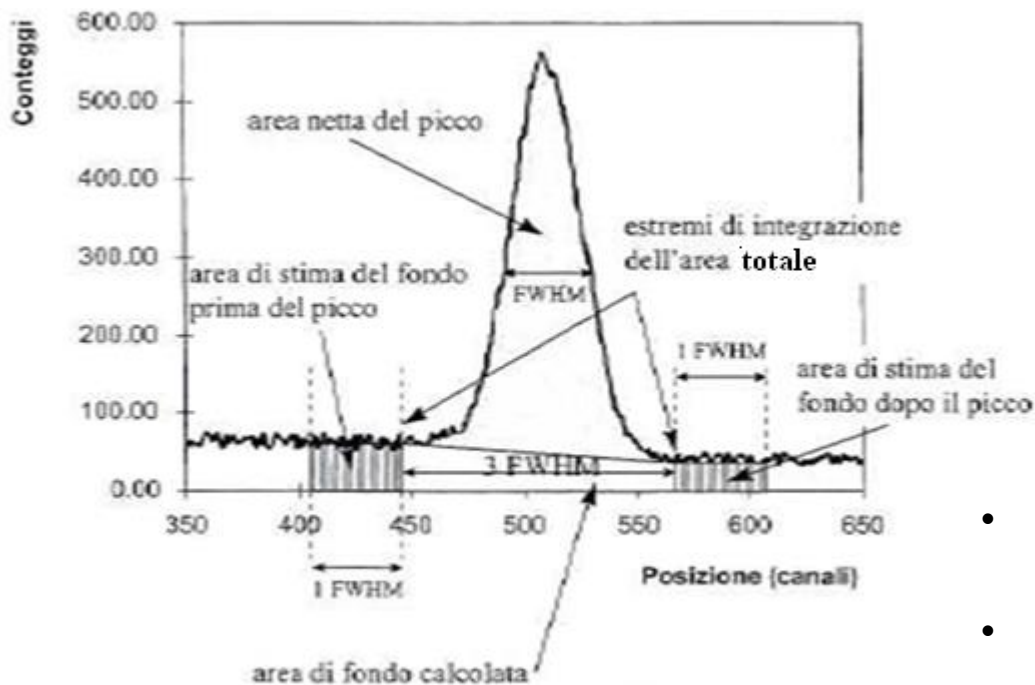
Area netta di picco (vs E_y)

	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
4								> 0,020	
5								< 0,005	
6	E	0	1	2	3	4	5	6	7
7	59,5	-0,013	0,037	-0,022	-0,041	0,039	0,035	-0,022	-0,014
8	88,0	-0,014	0,051	-0,051	-0,001	0,051	0,027	-0,051	-0,014
9	122,1	0,003	0,004	-0,008	0,003	0,006	-0,002	-0,008	0,003
10	136,5	-0,023	0,060	-0,015	-0,023	0,060	-0,020	-0,015	-0,023
11	165,9	0,003	0,003	-0,004	-0,002	0,003	-0,002	-0,004	0,003
12	279,2	0,002	0,002	-0,003	0,002	0,001	-0,001	-0,003	0,002
13	391,7	0,001	0,003	-0,005	0,001	0,002	0,001	-0,005	0,001
14	563,2	0,000	0,003	0,001	-0,008	0,004	-0,001	0,000	0,001
15	569,3	0,002	0,001	0,001	-0,007	0,002	-0,001	0,001	0,002
16	604,7	0,003	0,000	-0,002	0,003	-0,001	-0,003	-0,002	0,003
17	661,7	0,003	0,000	-0,002	0,003	-0,001	-0,003	-0,002	0,003
18	795,9	-0,001	0,005	-0,002	-0,010	0,006	0,004	-0,002	-0,001
19	802,0	-0,007	0,016	-0,007	-0,015	0,017	0,010	-0,007	-0,007
20	834,8	0,003	0,000	-0,003	0,003	0,000	-0,003	-0,003	0,003
21	898,0	0,004	-0,002	0,000	0,001	-0,002	-0,005	0,000	0,004
22	1115,5	0,003	-0,002	-0,001	0,003	0,000	-0,005	-0,001	0,003
23	1365,2	0,002	-0,002	0,001	0,002	-0,001	-0,005	0,001	0,002
24	1836,1	0,002	-0,001	0,001	0,001	-0,001	-0,005	0,001	0,002
25	81,0	-0,007	0,046	-0,011	0,012	0,046	-0,074	-0,011	
26	121,8	-0,001	0,008	-0,008	-0,001	0,008	0,003	-0,008	-0,001
27	244,7	0,009	-0,017	0,014	0,004	-0,017	-0,022	0,014	0,015
28	302,9	0,011	-0,021	-0,019	0,001	-0,021	-0,019	0,019	0,011
29	320,1	0,008	-0,019	0,025	-0,002	-0,018	-0,026	0,024	0,008
30	344,3	0,008	-0,017	0,015	0,003	-0,017	-0,021	0,015	0,013
31	356,0	0,002	0,000	-0,002	0,002	0,000	-0,003	-0,002	0,002
32	383,8	0,000	0,003	-0,002	-0,001	0,003	0,000	-0,002	0,000
33	411,1	0,013	-0,018	0,012	0,004	-0,018	-0,018	0,012	0,013
34	444,0	0,005	-0,015	0,011	0,004	-0,015	-0,014	0,011	0,013
35	778,9	-0,004	-0,007	0,015	-0,004	-0,007	-0,005	0,015	-0,004
36	867,4	0,007	-0,007	0,004	-0,005	-0,002	-0,009	0,004	0,008
37	964,1	0,004	0,001	-0,002	0,004	-0,001	-0,008	-0,002	0,004
38	1085,8	0,006	-0,005	0,006	-0,005	-0,005	-0,006	0,007	0,003
39	1089,8	0,000	0,011	-0,002	-0,006	0,010	0,011	-0,023	
40	1112,1	0,003	0,007	-0,002	0,003	-0,006	-0,006	-0,002	0,003
41	1173,2	0,001	0,001	-0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,001
42	1212,9	0,004	-0,001	-0,011	0,002	0,000	-0,007	0,008	0,005
43	1274,5	0,002	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,003	0,000	0,002
44	1299,1	0,005	-0,009	0,009	-0,006	-0,008	-0,009	0,009	0,009
45	1332,5	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,002	0,000	0,001
46	1408,0	0,002	-0,001	0,000	0,002	-0,001	-0,004	0,000	0,002



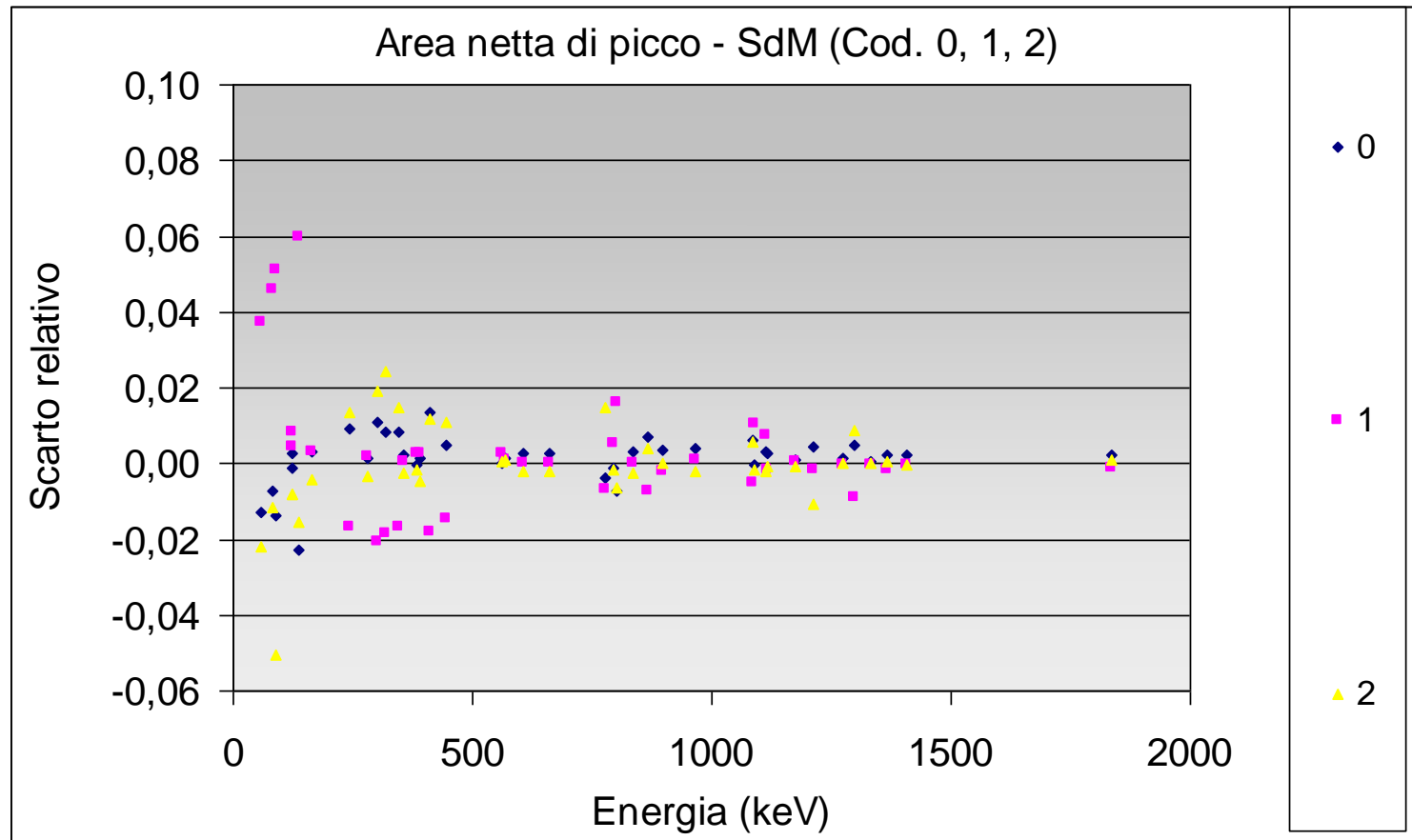
- Variabilità progressivamente ridotta per E_y crescenti
- Valori $< \pm 2\%$ per $E_y > 300$ keV
- Area netta definita in modo non univoco

Area netta di picco definizione



- La determinazione dell'area netta di picco può essere effettuata con vari metodi:
 - **numerici**, stima dell'area del picco e del suo baricentro combinando opportunamente i conteggi di picco e delle regioni vicine (ROI);
 - **analitici**, descrivendo il picco mediante una funzione gaussiana e quindi individuandone il canale corrispondente al massimo e calcolandone l'area netta.
- La definizione di area netta **non è, pertanto, univoca**.
- Essa dipende dal metodo utilizzato per la sua determinazione [Debertin, Helmer].
- Importante è utilizzare **lo stesso metodo e parametri in taratura ed in misura**.
- **Interpolazione richiede una definizione !**


Area netta di picco, Cod. 0, 1, 2 (vs E_γ)



- Sovra/Sotto stime evidenti a basse energie
- NON sistematiche, si riducono l crescere di E_γ
- Sistematicità residuali (<1%) per $E_\gamma > 300$ keV

Scattering a basse energie

Available online at www.sciencedirect.com

 ScienceDirect

Applied Radiation and Isotopes 66 (2008) 769–773

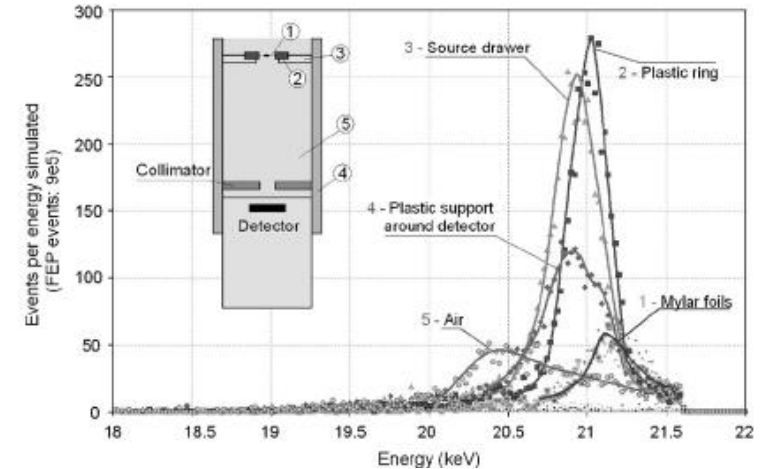
www.elsevier.com/locate/apradiso

Applied Radiation and Isotopes

Study of scattering effects in low-energy gamma-ray spectrometry

J. Plagnard*, C. Hamon, M.C. Lépy


Laboratoire National Henri Becquerel, CEA Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France



5. Conclusion

In this study, different aspects of the Compton scattering inside volume sources are illustrated using experimental approach and Monte Carlo simulation. For the low-energy range (below 100 keV), the scattering contribution is significant in gamma-ray spectra and represents around 30% of the recorded events. Influence of the source-detector geometry is discussed: for liquid sources, scattering in the source are dominant compared to scattering in the container. On the contrary for gas sources, scattering in the container is the major contribution. These scattering effects induce strong differences in spectrum shape for different geometrical conditions. This should influence efficiency transfer factors and a new approach is proposed which is valid in specific conditions where the full-energy peak and associated scattered distribution are well isolated. In these cases, the efficiency transfer factor can be computed including the scattered events, what avoids complex peak area determination to get accurate quantitative results.

Contents lists available at ScienceDirect

 Applied Radiation and Isotopes

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apradiso

Applied Radiation and Isotopes

On scattering effects for volume sources in low-energy photon spectrometry

Marie-Christine Lépy*, Laurine Brondeau, Laurent Ferreux, Sylvie Pierre

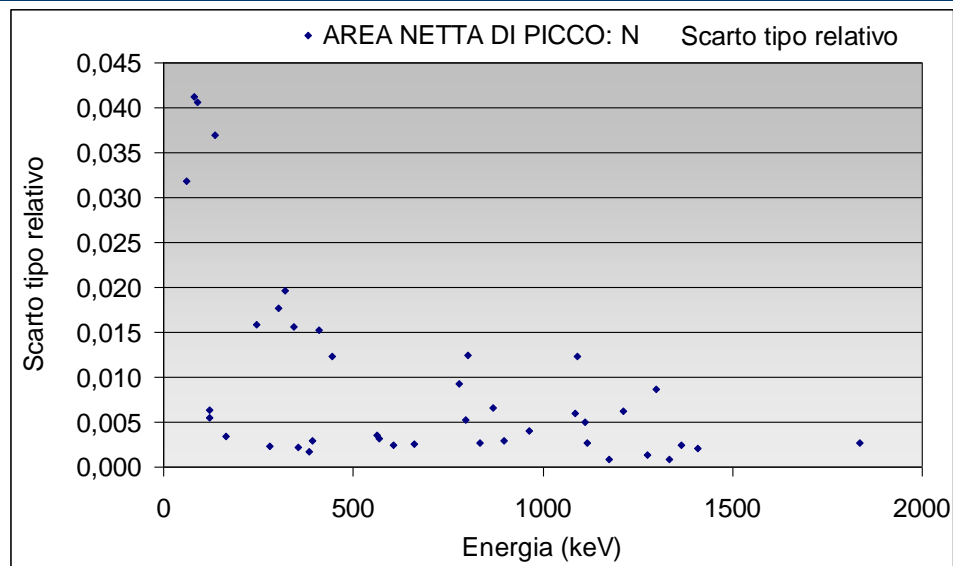
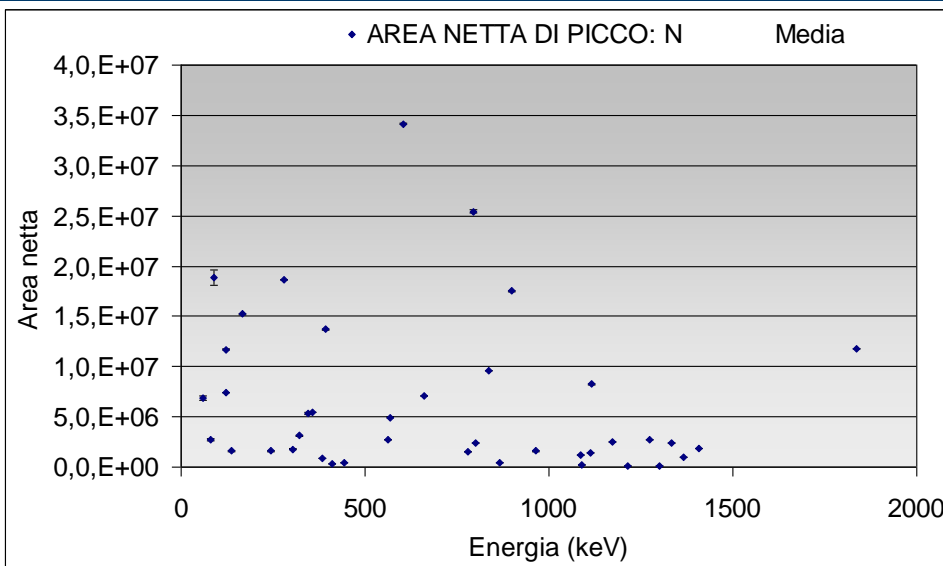
CEA LIST, Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, F-91191, France

CrossMark

HIGHLIGHTS

- Compton scattering is unavoidable effect in volume sources.
- In the low-energy range, this induces registration of scattered photons close to the full-energy peak.
- The respective contributions of the source material and container are studied for different geometrical conditions.
- The consequence on the full-energy peak area determination is discussed.

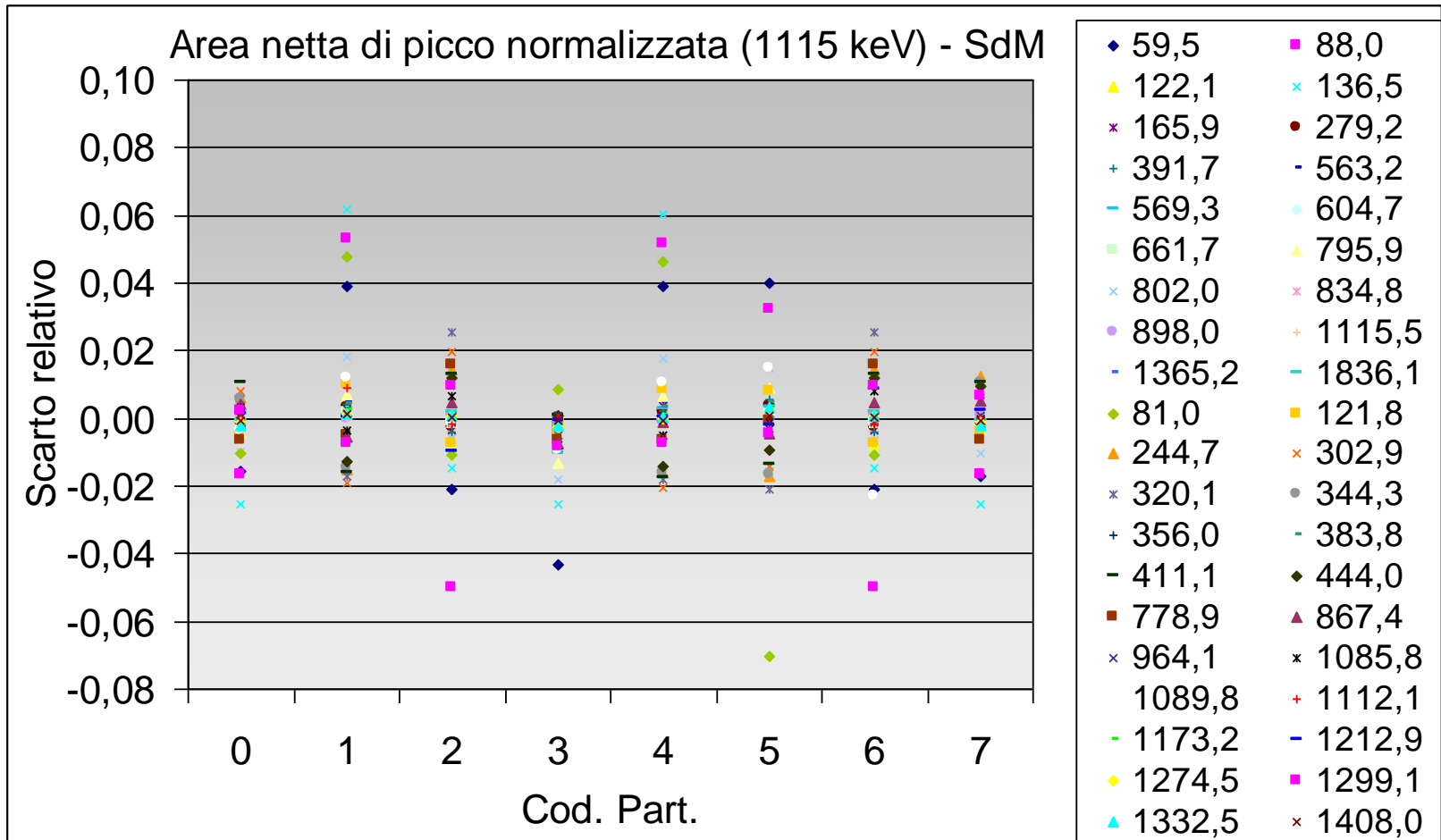
Area netta di picco (media e scarto tipo) (vs E_γ)



- Valori compresi tra $1,2E5$ (Eu-152 1212,9 keV) e $3,4E7$ (Cs-134 604,7 keV)
- Scarto tipo relativo compreso tra $8E-4$ e $4E-2$, gran parte $<2\%$
- Scarto tipo relativo, dipendenza dall'energia, si riduce con l'aumentare dell'energia
- Riproducibilità dei metodi di calcolo dell'area netta
 - $<1,5\%$, $E_\gamma > 300$ keV
 - $<4,0\%$, $E_\gamma < 300$ keV

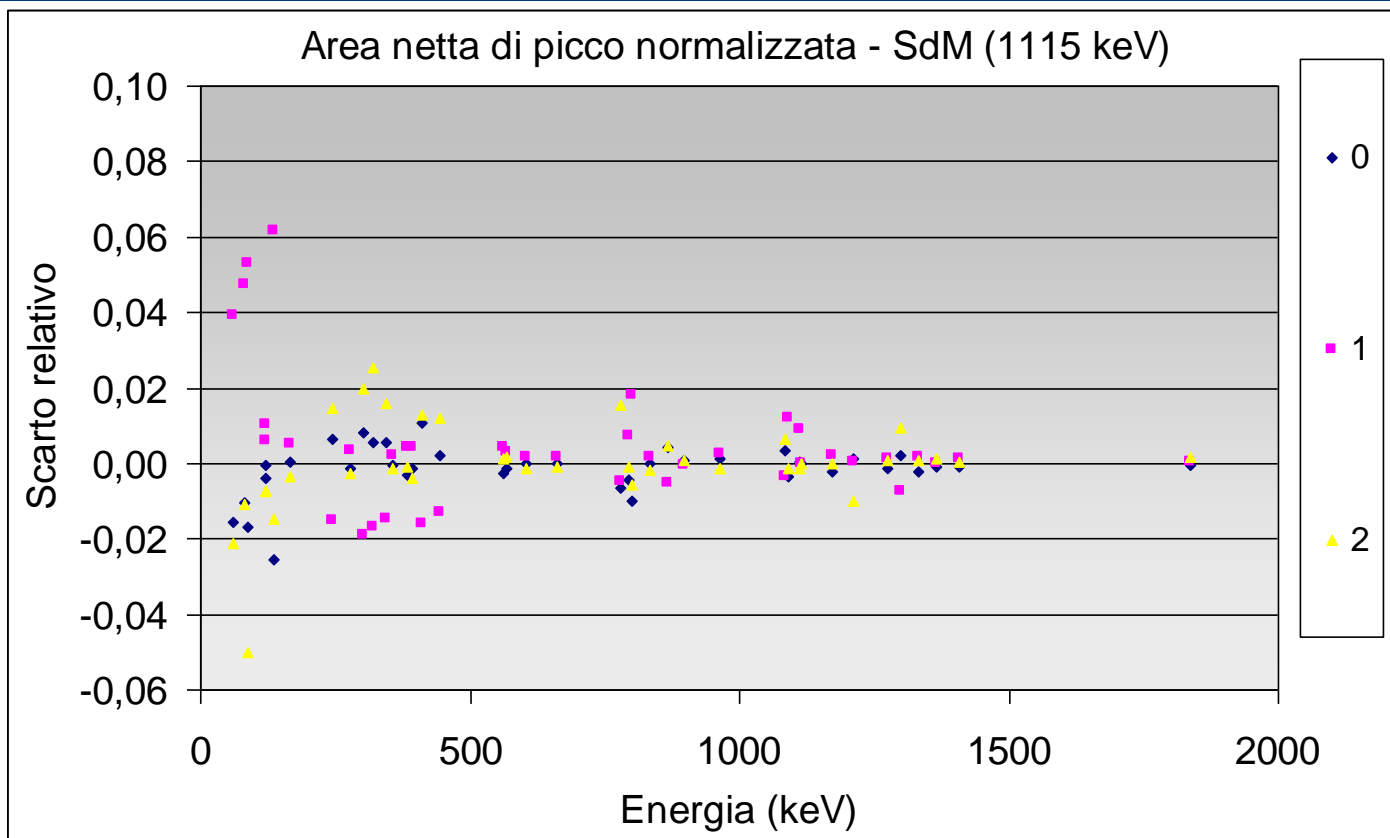
Area netta di picco normalizzata, N/N_0

Area netta di picco normalizzata a 1115 keV (vs Cod. Part.)



- Permane leggera sistematicità interna al partecipante
- Non rimossa dalla normalizzazione

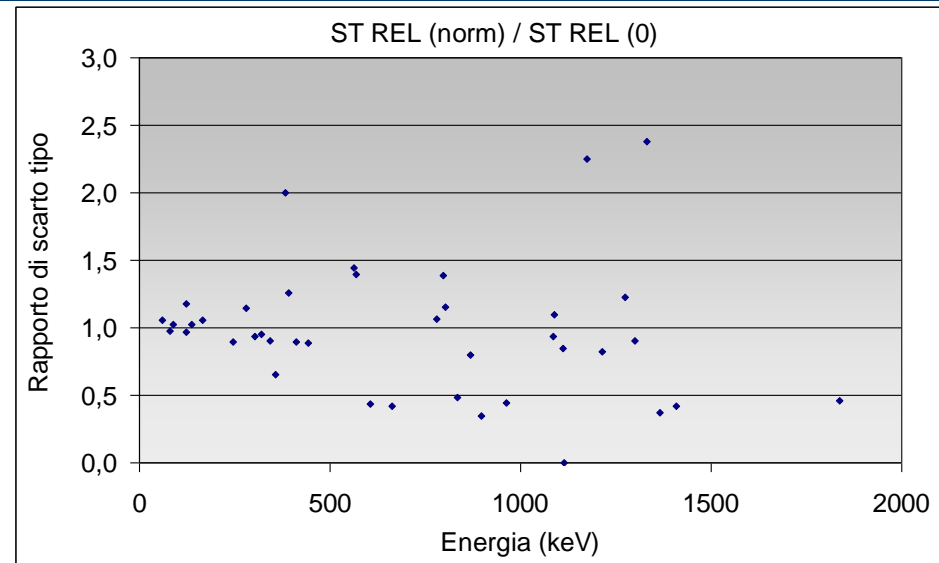
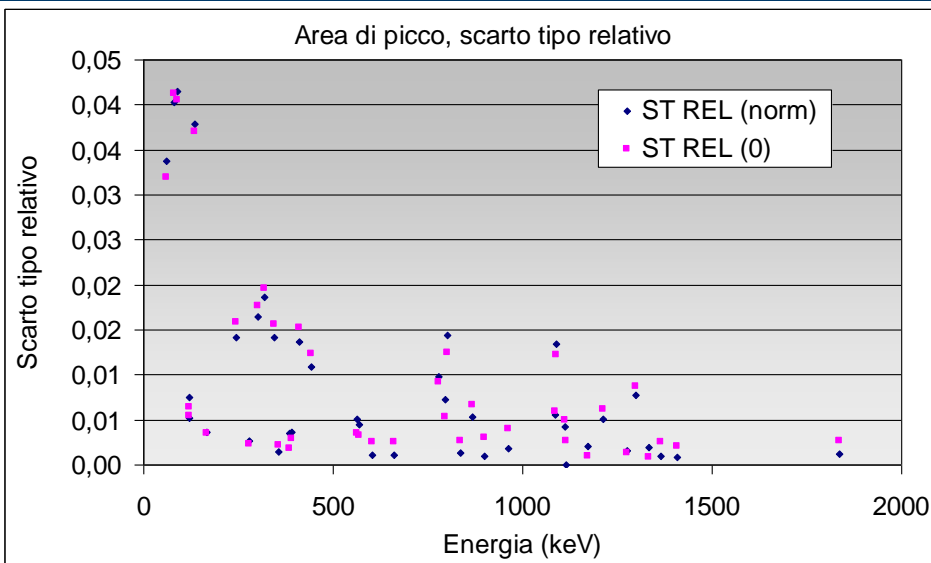
Area netta di picco norm. 1115 keV Cod. 0, 1, 2 (vs E_γ)



- Sovra/Sotto stime permangono a basse energie
- NON sistematiche, si riducono l crescere di E_γ
- Sistematicità residuali (<1%) per $E_\gamma > 300$ keV rimosse
- **Importanza di utilizzare lo stesso algoritmo in taratura ed in misura**

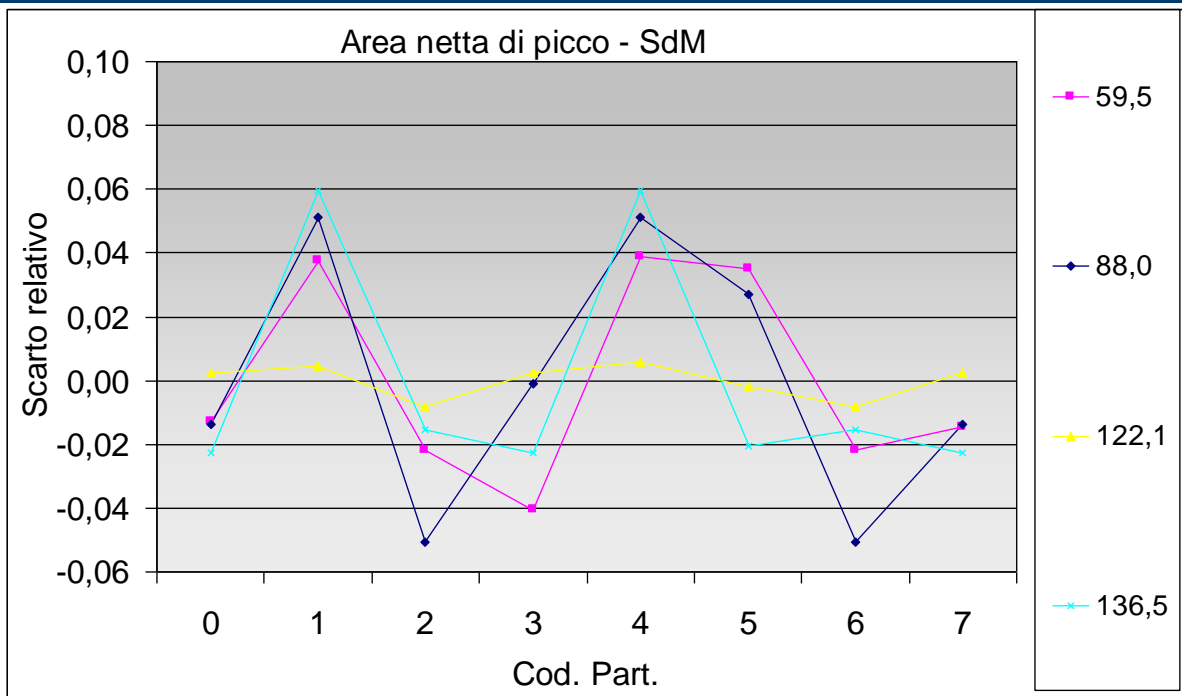
Scarto tipo dell'area netta di picco

Effetto della normalizzazione



- La normalizzazione non rimuove la variabilità tra partecipanti
- Alle energie basse permane la variabilità originaria
- Alle energie medio-alte l'effetto non è definito

Area di picco a basse energie



- $s(N)/N = 0,5\%$ a 122 keV
- $s(N)/N = 3\div 4\%$ altre energie
- Variabilità relativa del dato normalizzato a 59 keV si riduce tranne che a 122 keV
- Variabilità relativa del dato normalizzato a 12 keV si riduce lievemente in tutti i casi

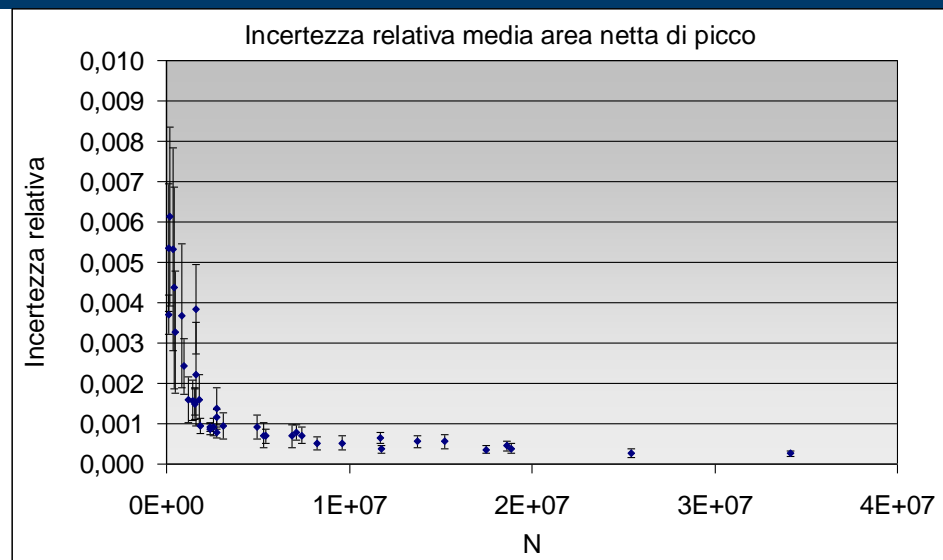
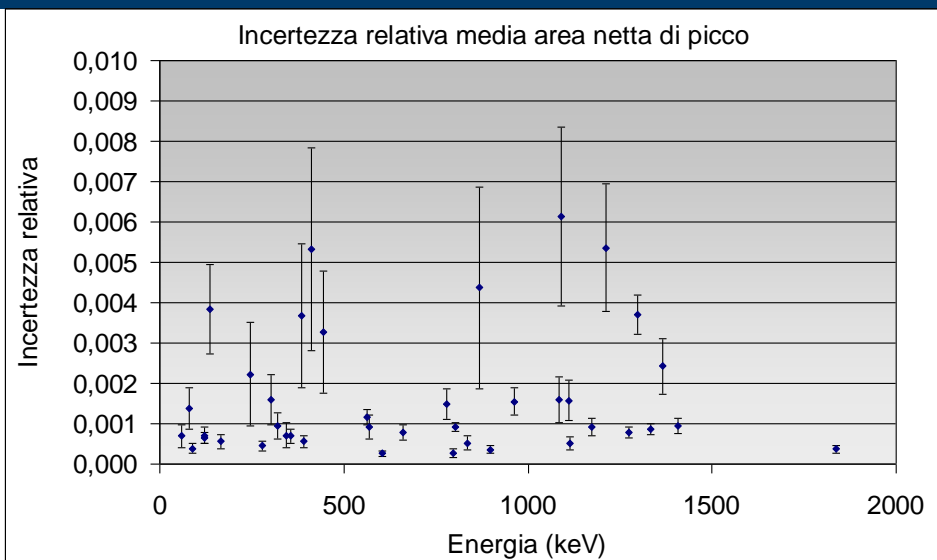
E(keV)	Normalizzazione a 59 keV		Normalizzazione a 122 keV
	$s(N)/N$	$s(N/N_0)/(N/N_0)$	$s(N/N_0)/(N/N_0)$
59,5	3,2%	0,0%	3,0%
88,0	4,1%	2,3%	3,6%
122,1	0,5%	3,0%	0,0%
136,5	3,7%	2,5%	3,4%

Conclusione sullo studio dell'area netta

- Assenza di valore vero per l'area netta confermata
- Sistematicità evidenti in diversi casi, in particolare alle basse energie
- Normalizzazioni (taratura/misura) non sempre efficaci
- Studi su deformazioni della forma del picco e conseguenti correzioni disponibili in letteratura
- Raccomandazione, alternativamente:
 - Procedere a correzioni accurate, molto dispendioso
 - Considerare una componente aggiuntiva d'incertezza, => procedura
- Possibile studio:
 - Acquisire spettro da sorgente con RN basse energie (es Am-241)
 - Determinare l'area netta di picco
 - Sommare lo spettro ottenuto a quello di altri spettri di vario tipo
 - Determinare l'area netta di picco (Am-241) in ciascun caso
 - Valutare statisticamente i risultati ottenuti
 - Ripetere lo studio con altri fotoni, sempre di bassa energia
 - Assegnare una componente d'incertezza aggiuntiva all'area netta di picco

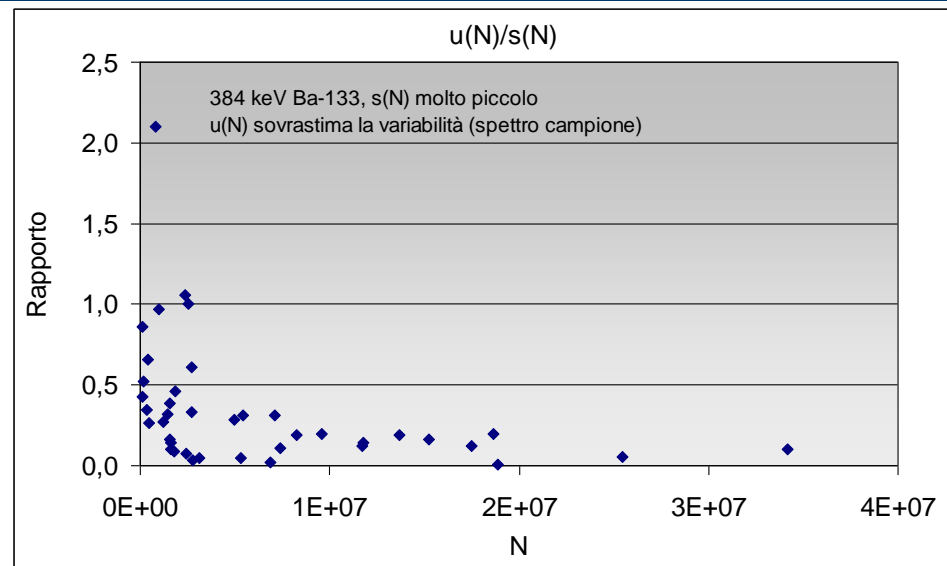
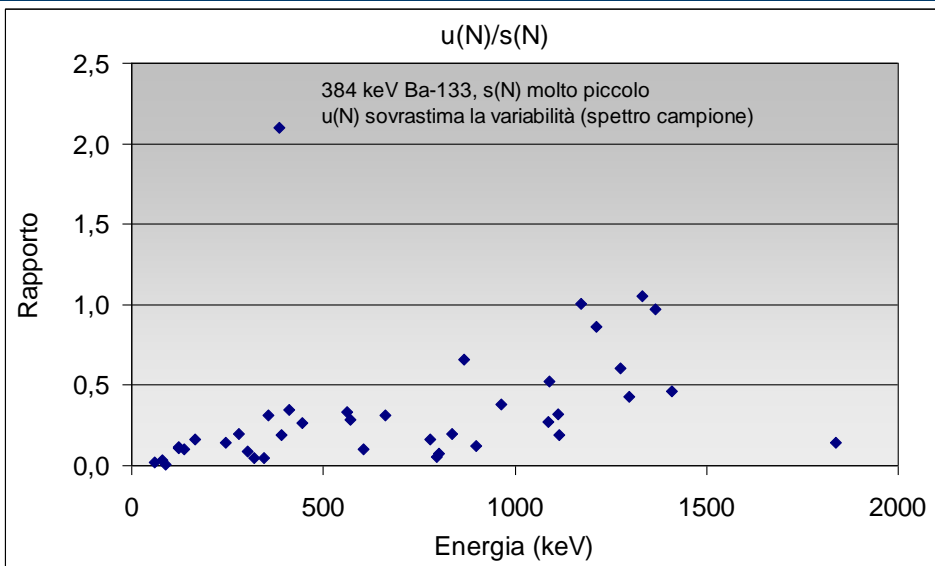
Incertezza dell'area netta di picco, $u(N)$

Incertezza relativa media dell'area netta di picco



- L'incertezza calcolata dal SW non riflette la variabilità osservata
- Essa assume solo la variabilità Poissoniana che in questo caso è quasi del tutto assente
- NO dipendenza energetica
- SI dipendenza dal conteggio, N
- Incertezza riportata dal SW risponde della sola componente di statistica di conteggio

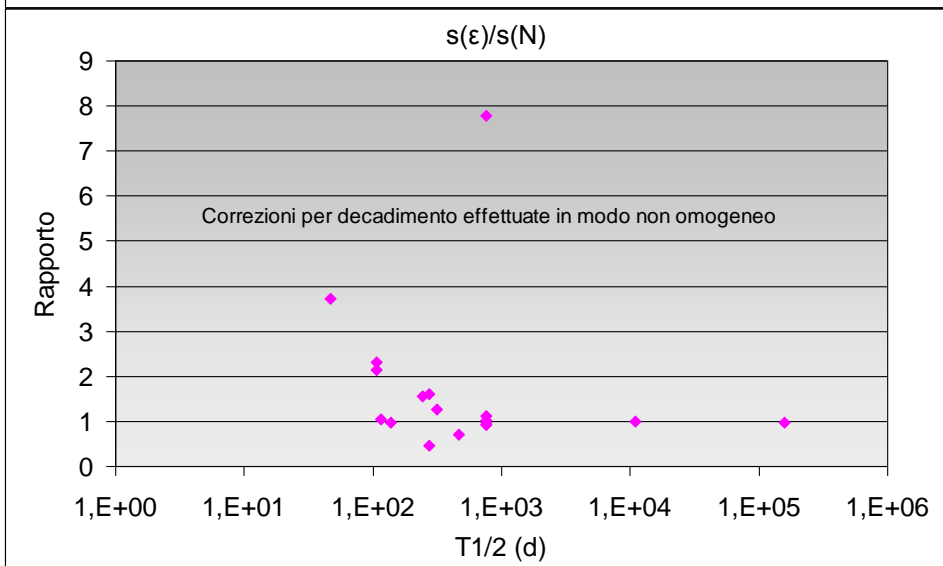
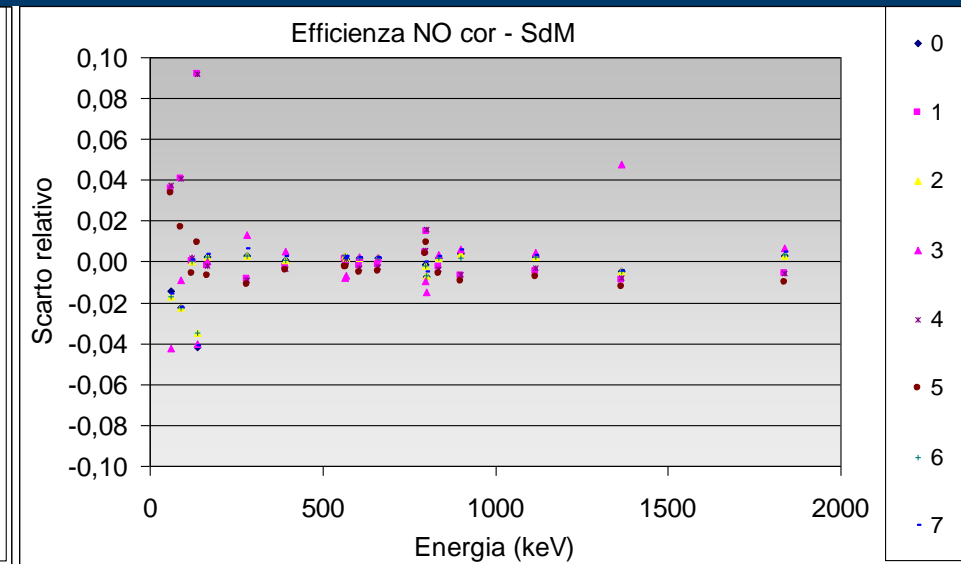
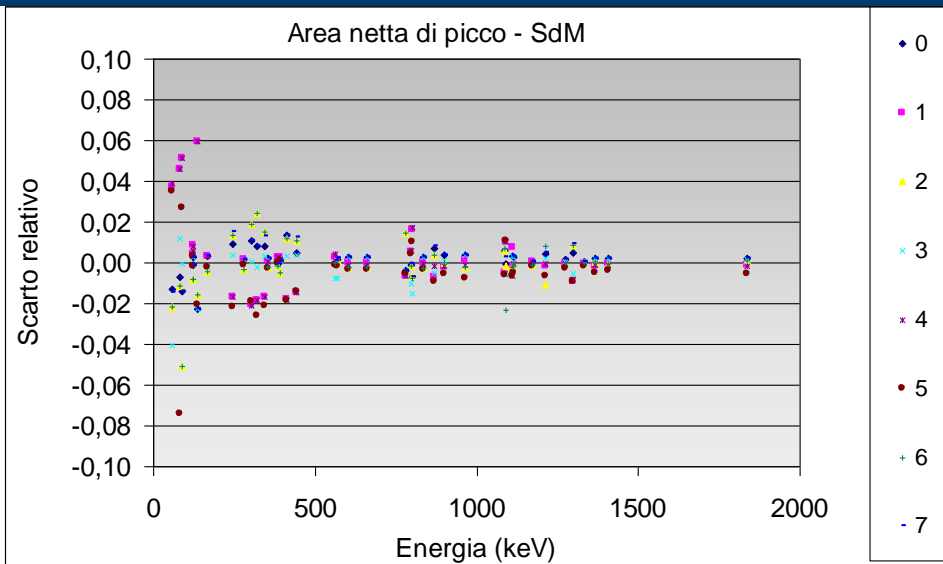
Incertezza e scarto tipo dell'area netta di picco



- $u(N)/s(N) < 1$
- L'incertezza fornita dal SW riflette solo la componente Poissoniana che, in questo caso, è quasi del tutto assente
- La sottostima è più accentuata per N grandi
- Permane un effetto Poissoniano solo per effetto dell'algoritmo di calcolo dell'area netta

Efficienza di picco senza correzioni, ε_0

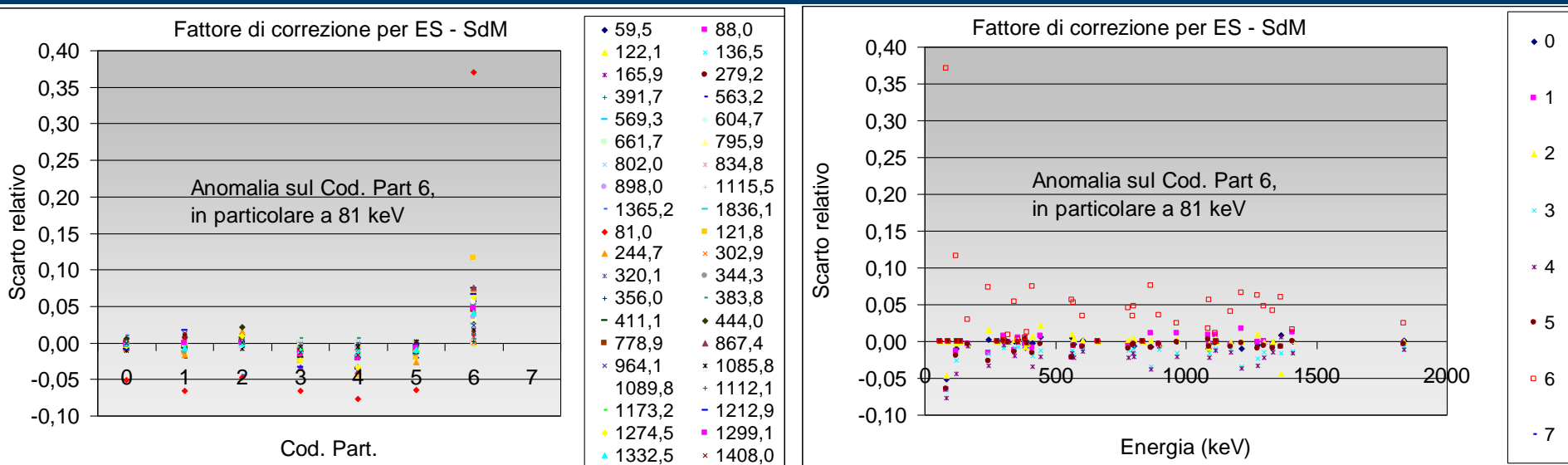
Efficienza di picco senza correzioni (vs E_γ)



- Minor numero di dati di efficienza che di area netta
- Andamento vs E_γ simile
- Confronto tra scarti tipo => anomalie
- Anomalie iniziali ridotte ma non rimosse
- Andamento T1/2 => correzioni per decadimento ?

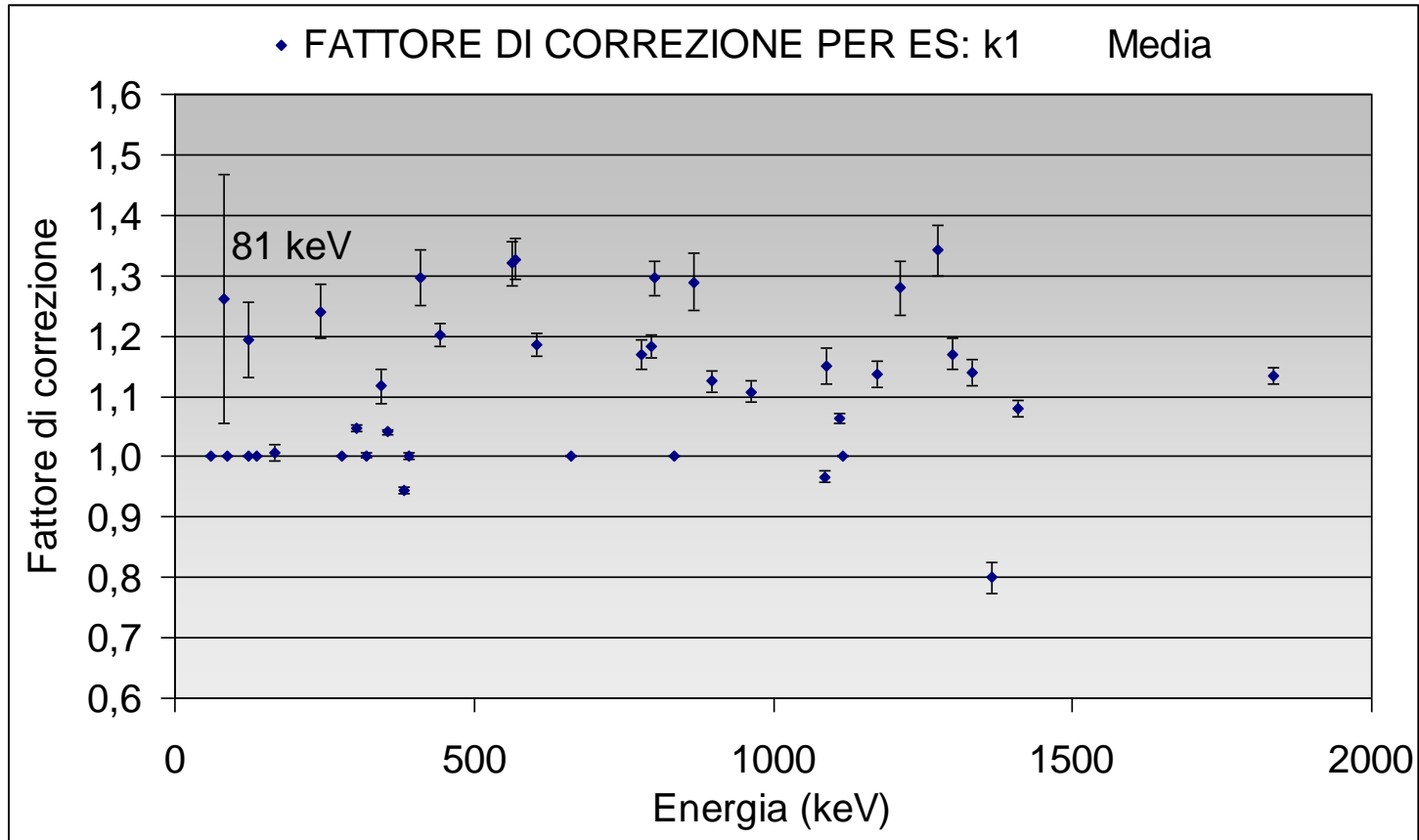
Fattore di correzione per ES, k_1

Fattore di correzione per ES



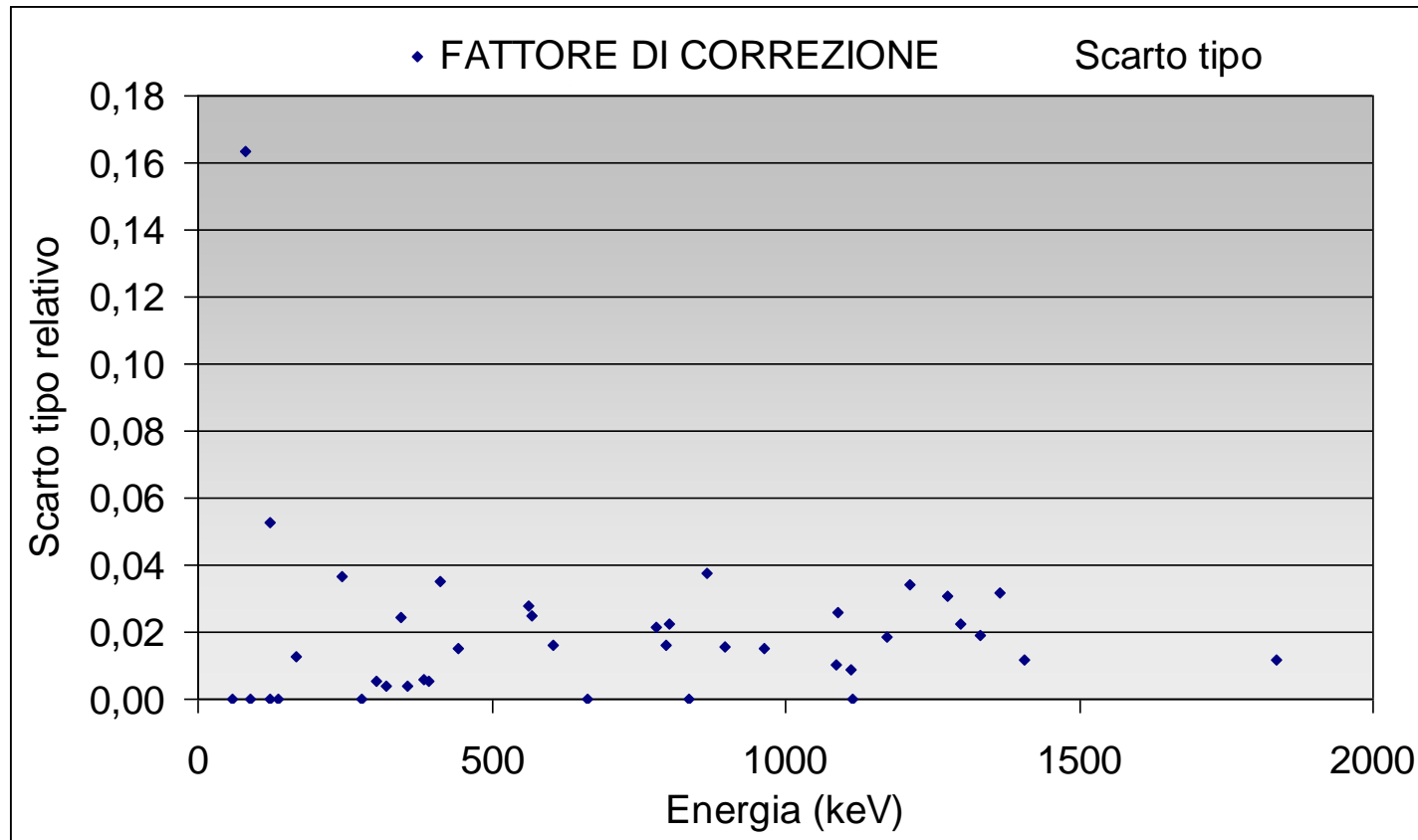
- Scarti generalmente < 5%
- Variabilità interna < 5%
- Presenza di sistematicità per Part
- NO dipendenza energetica
- Presenza di Outlier

Fattore di correzione per ES (media e scarto tipo)



- Valori compresi tra 0,8 e 1,4
- Valori e scarti tipo dipendenti dal radionuclide
- NO dipendenza energetica

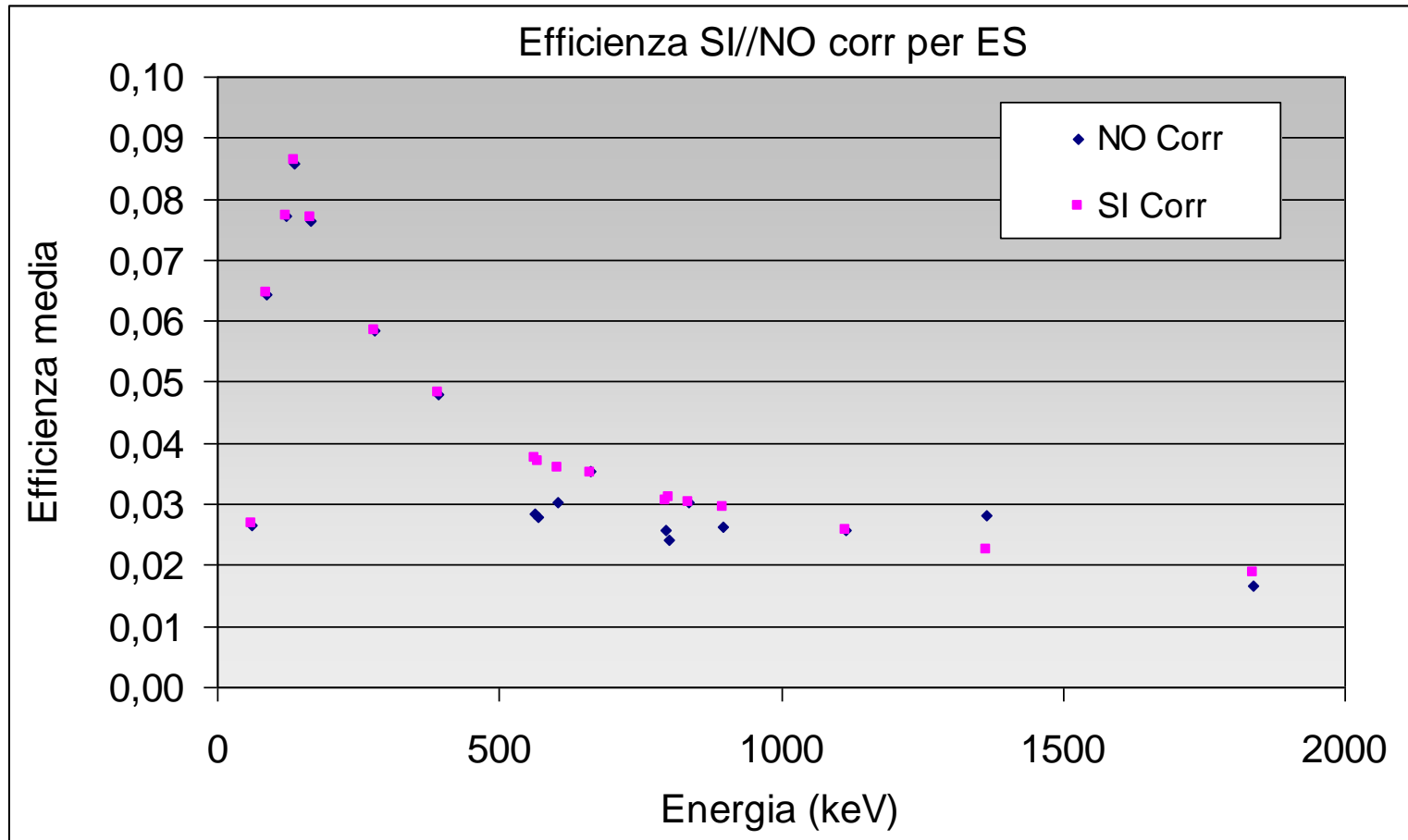
Scarto tipo del fattore di correzione per ES (vs E_γ)



- Riproducibilità dei metodi di calcolo del fattore correttivo per ES
 - <4%, $E_\gamma > 300$ keV
 - <6%, $E_\gamma < 300$ keV
 - Presenza di outlier (81 keV Ba-133)

Efficienza di picco corretta per ES, ε_1

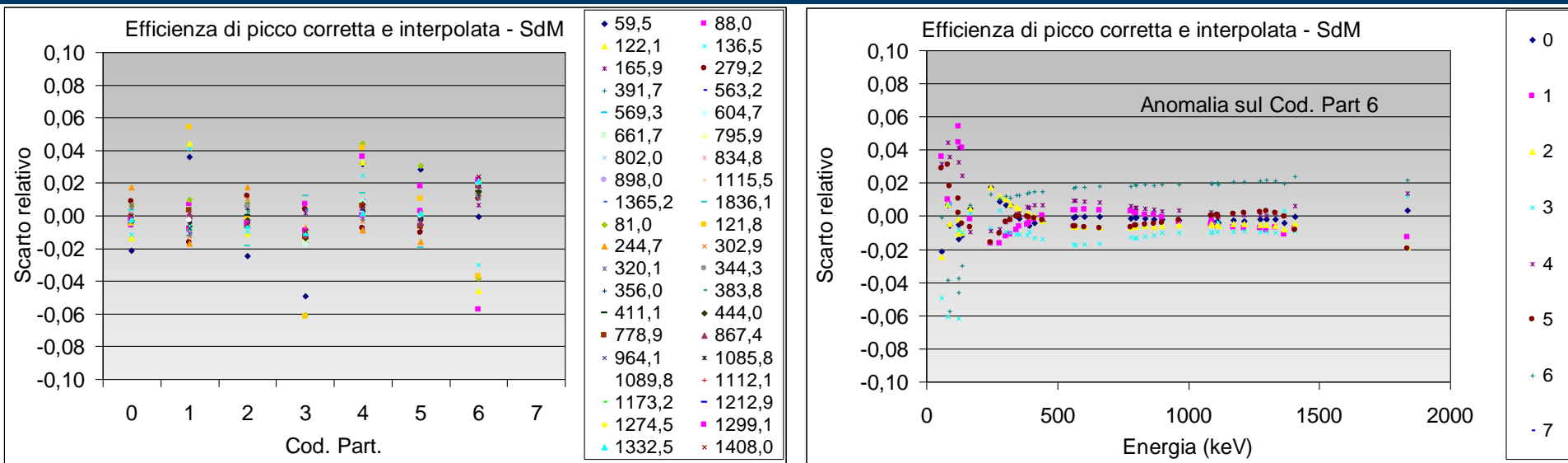
Effetto della correzione per ES (efficienza media)



- Irregolarità presenti sui dati NON corretti
- Irregolarità rimosse sui dati corretti

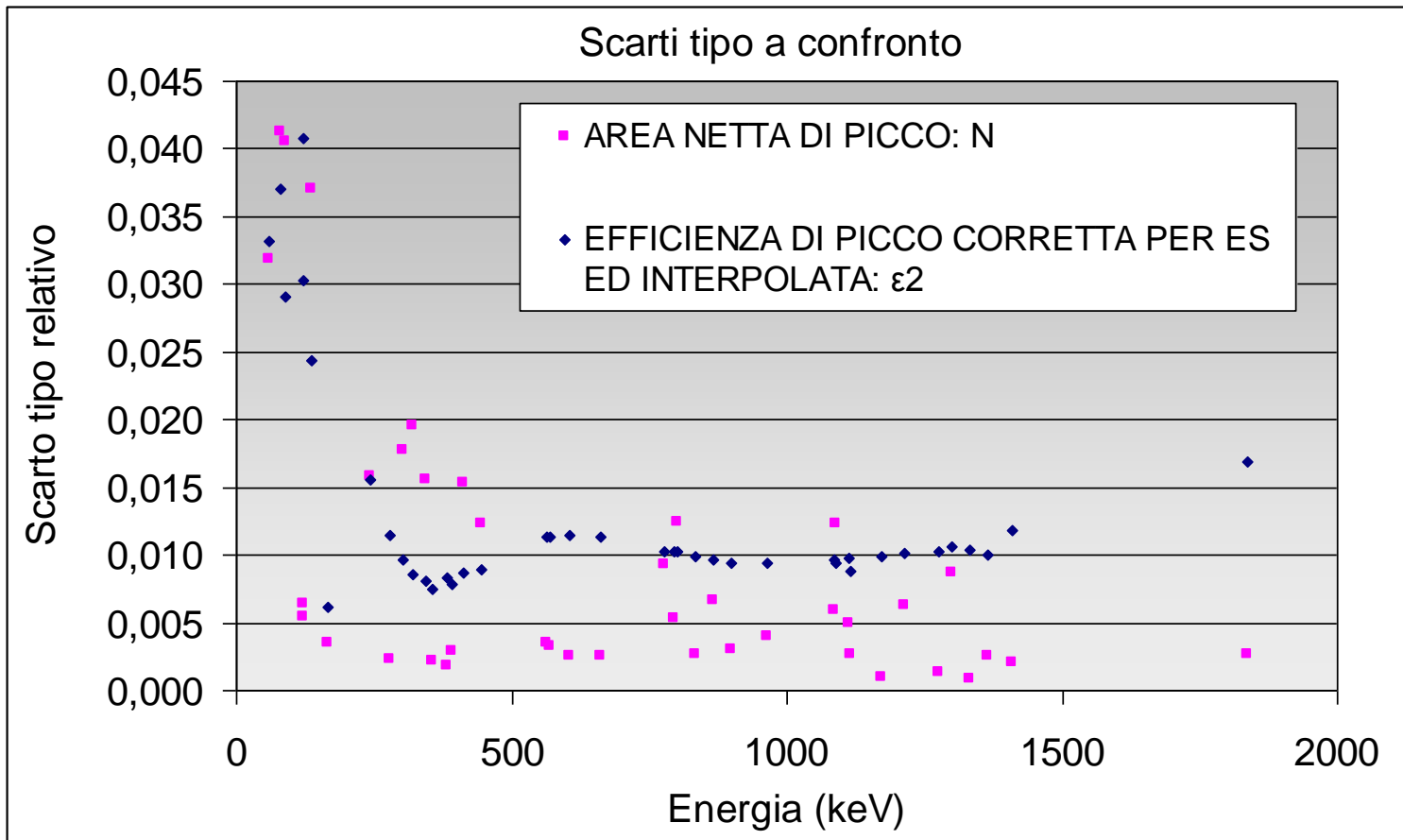
Efficienza di picco corretta per ES ed interpolata, ε_2

Efficienza di picco interpolata



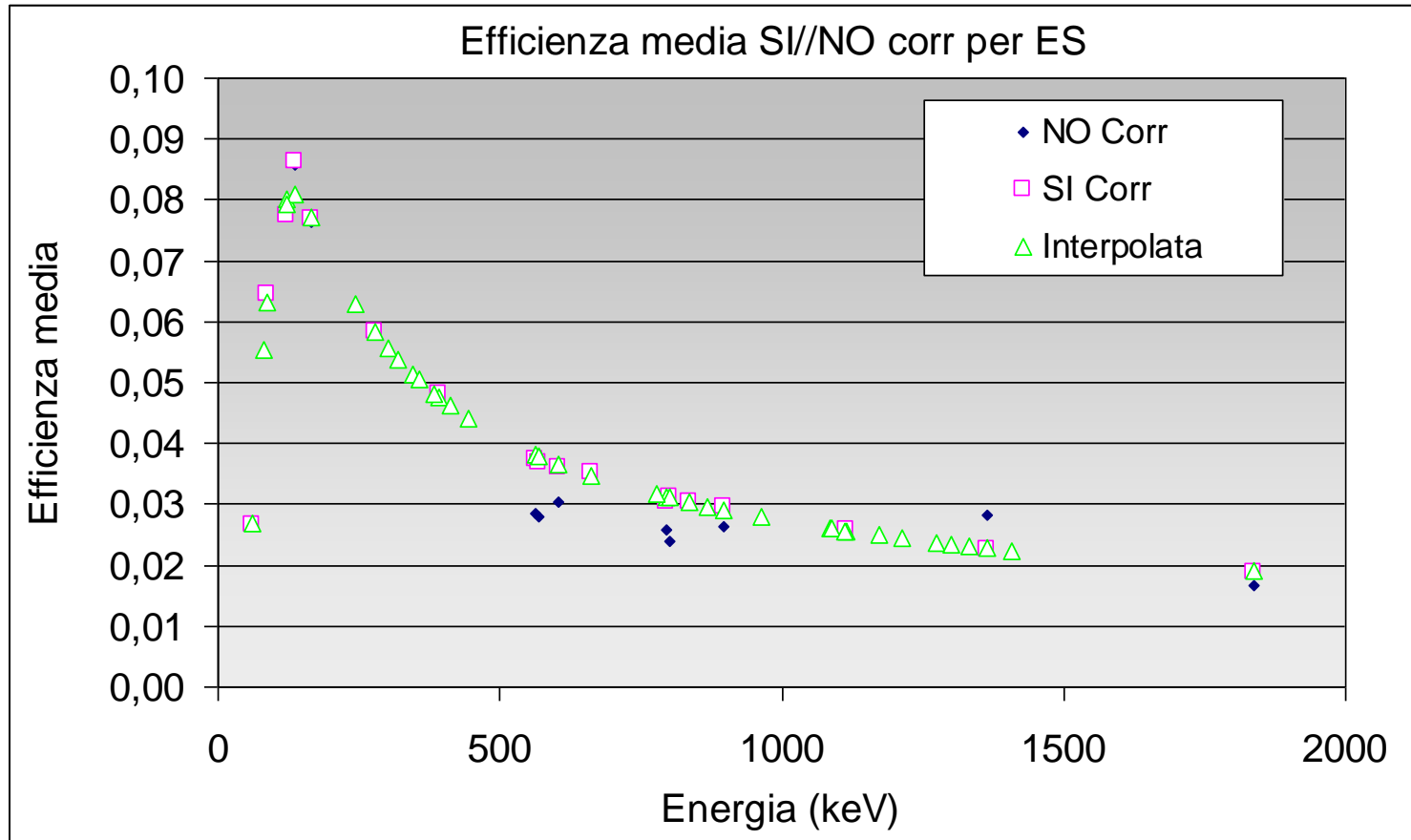
- Irregolarità presenti sui dati NON corretti
- Irregolarità rimosse sui dati corretti
- Presenza di outlier

N, ϵ_2 : Scarti tipo a confronto



- Scarti tipo inferiori a 1,5% per energie medio-alte
- Scarti tipo inferiori a 4,0% per energie basse

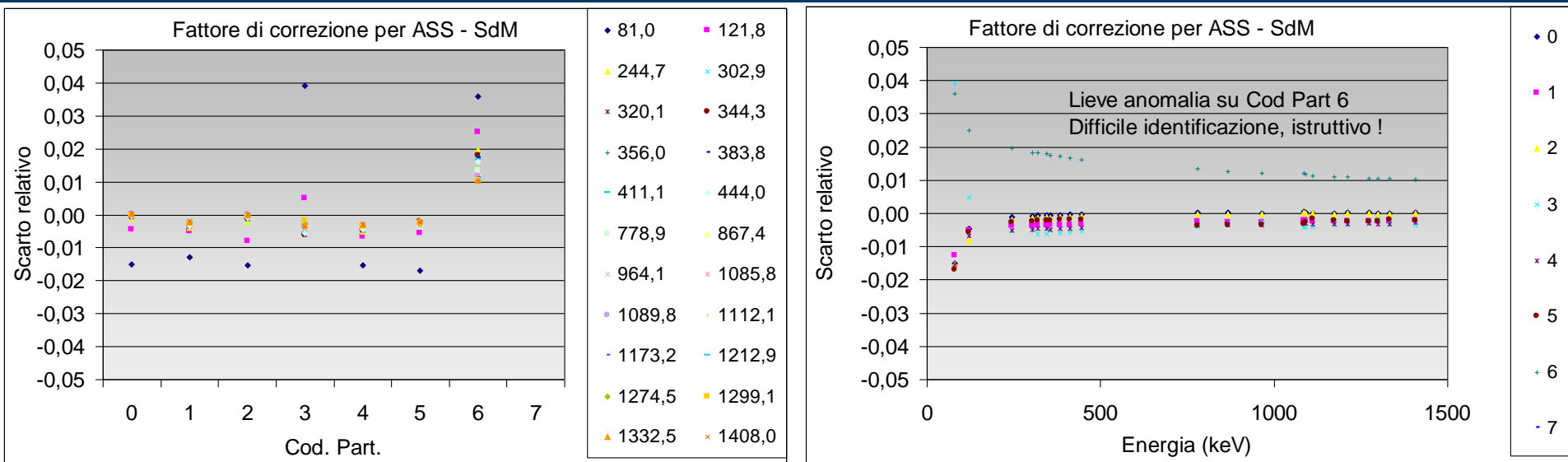
Efficienza interpolata media



- Segue l'efficienza media corretta, tranne nella regione del gomito

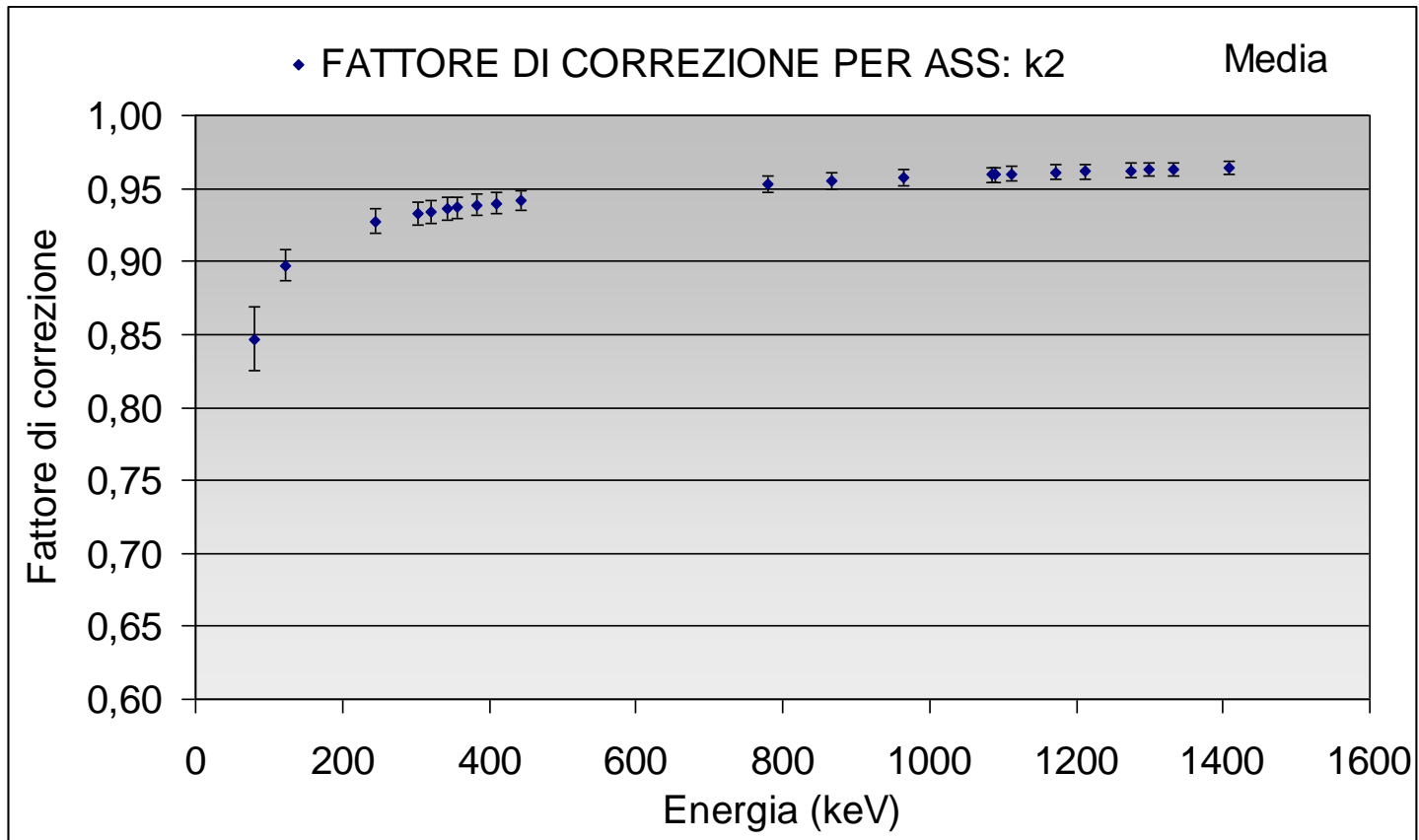
Fattore di correzione per ASS, k_2

Fattore di correzione per ASS



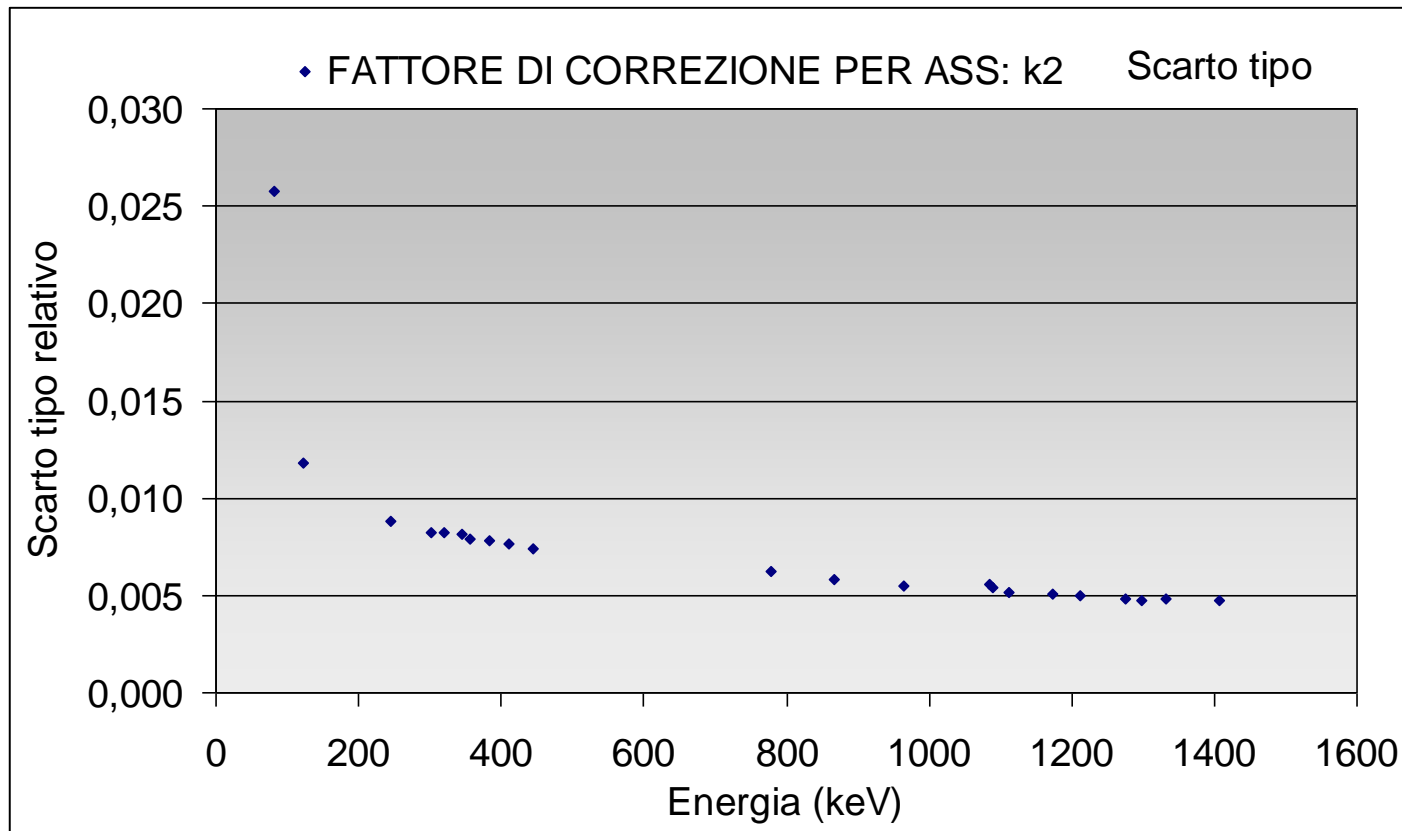
- Scarti in genere < 5%
- Variabilità interna < 1%
- Presenza di sistematicità per Cod. Part (es. 6)
- SI dipendenza energetica
- Presenza di Outlier

Fattore di correzione per ASS (media)



- Valori compresi tra 0,85 e 0,96
- NO dipendenza dal radionuclide
- Valori e scarti tipo dipendenti dall'energia
- SI dipendenza energetica

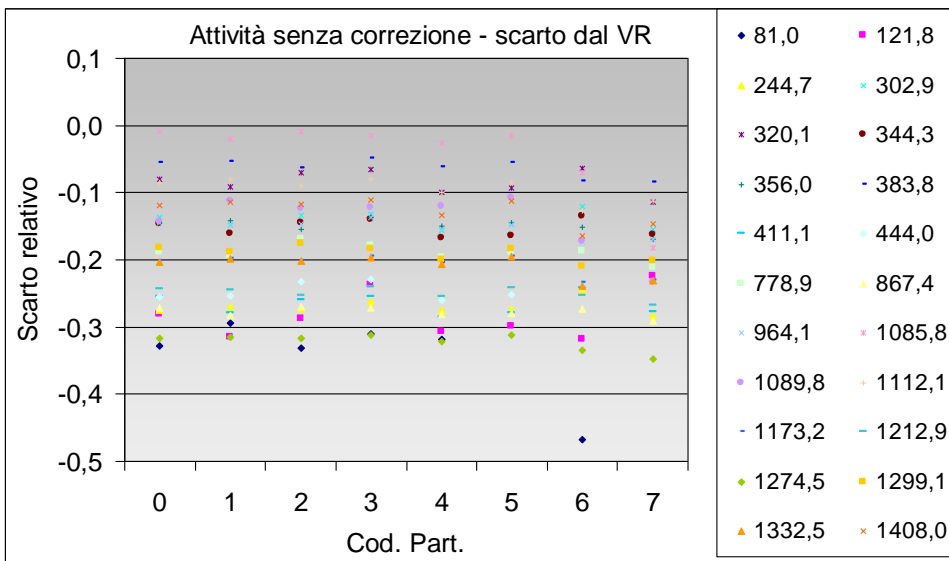
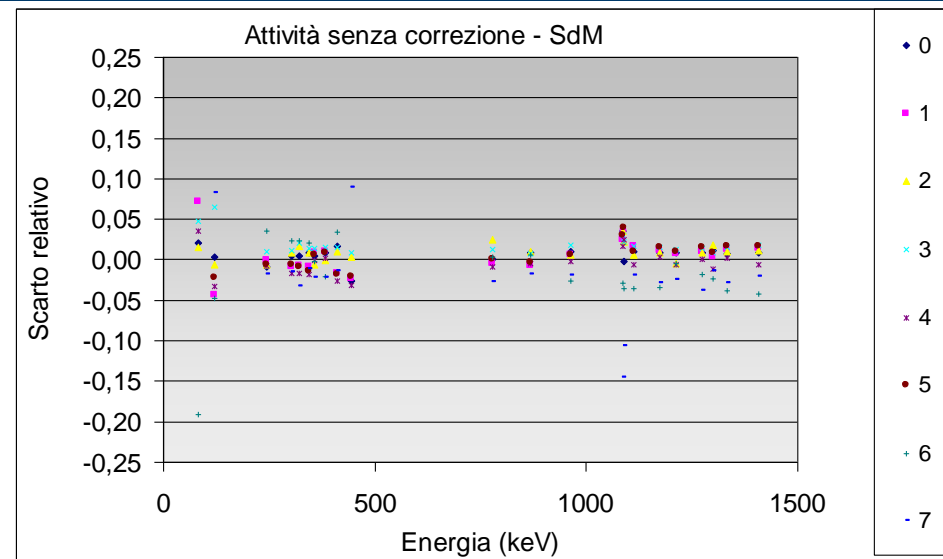
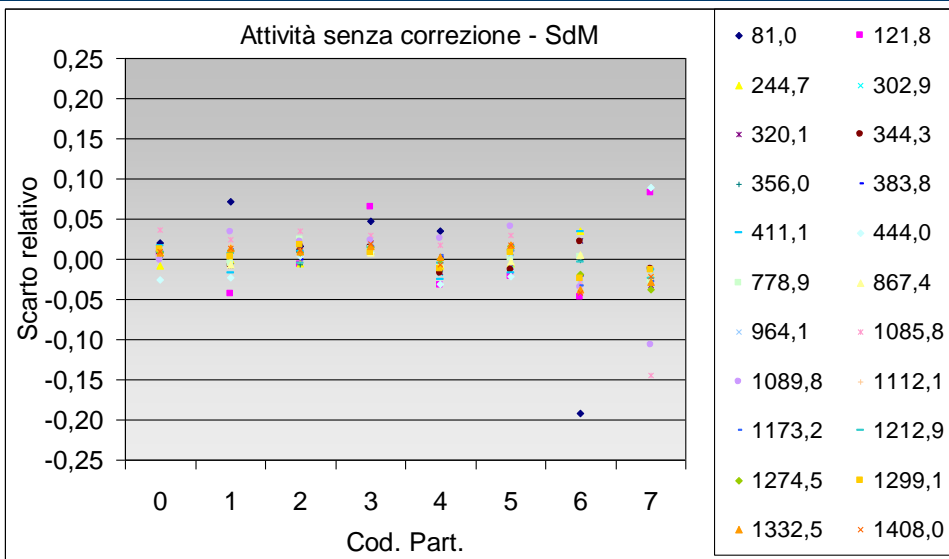
Scarto tipo del fattore di correzione per ASS (vs E_γ)



- Riproducibilità dei metodi di calcolo del fattore correttivo per ES
 - <1,0%, $E_\gamma > 300$ keV
 - <1,5%, $E_\gamma < 300$ keV
 - Presenza di outlier (81 keV Ba-133)

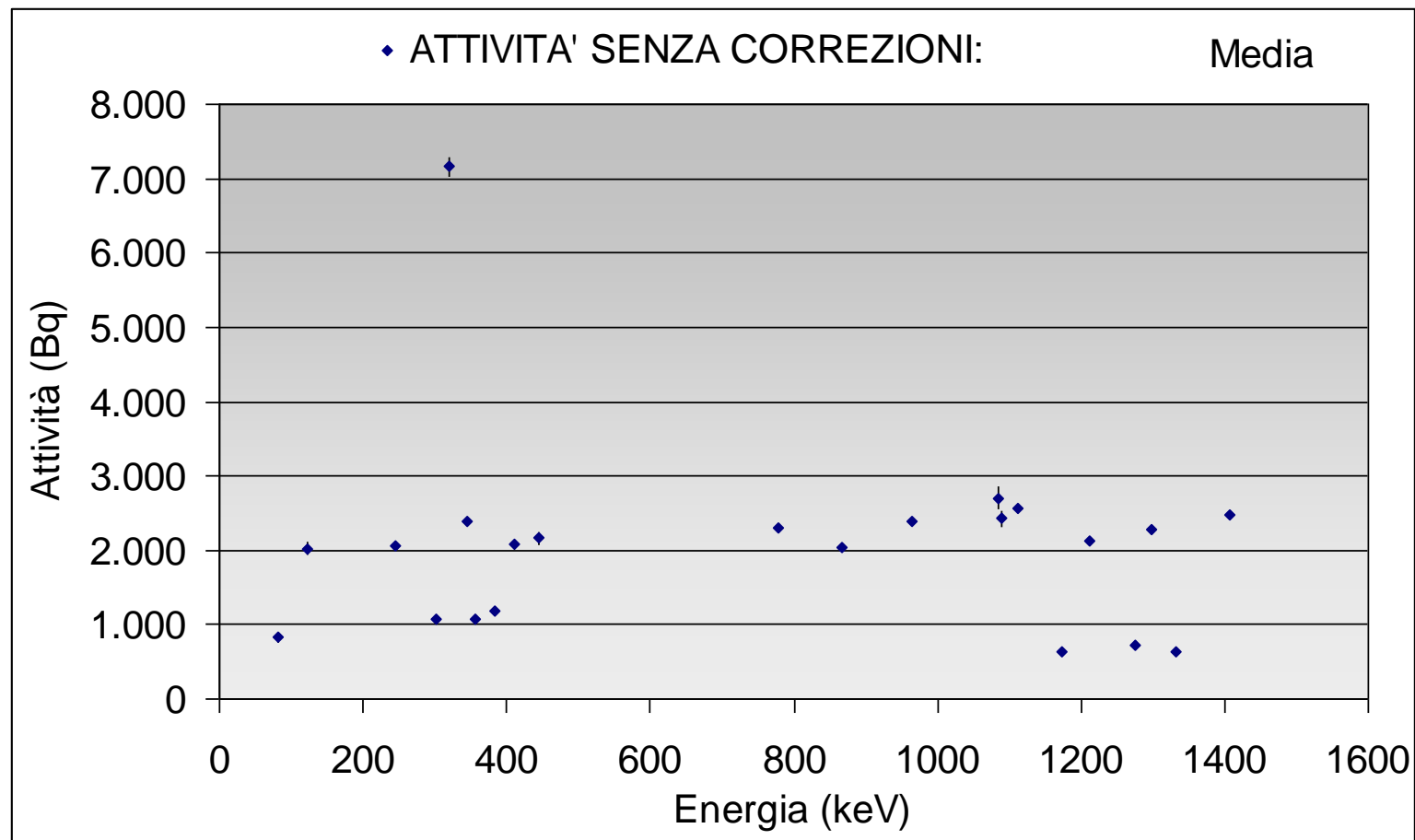
Attività senza correzioni, A_0

Attività senza correzione



- Scarti rispetto al VR superiori a 20%
- Incertezza del VR intorno a 5% ($k=3$)
- Scarti dai valori medi in genere $< 10\%$
- Variabilità interna tipica 5%
- Presenza di sistematicità (es Part. 7)
- NO dipendenza energetica
- Presenza di Outlier

Attività senza correzione (media) (vs E_γ)

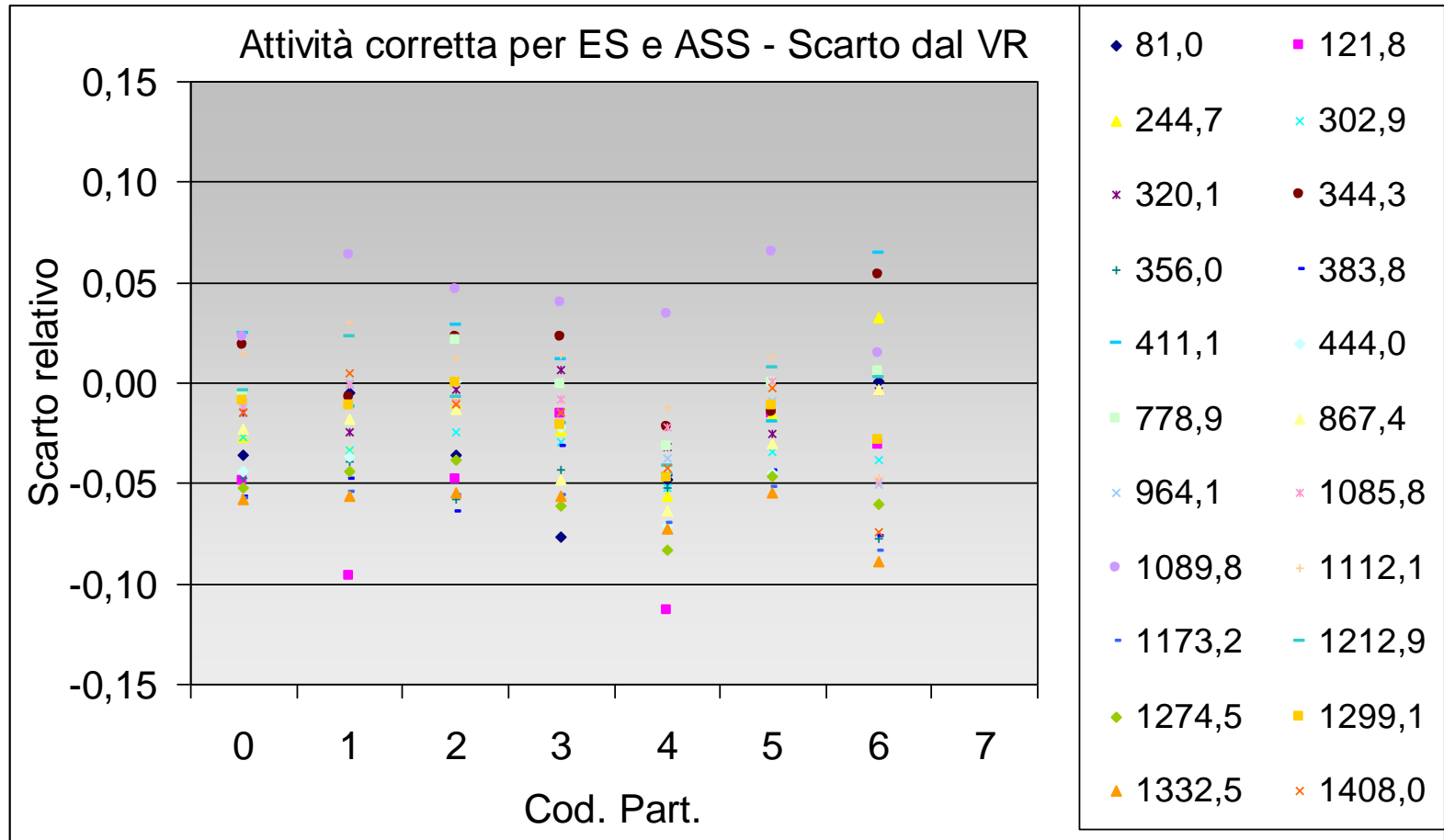


- Scarsa riproducibilità per l'attività dello stesso radionuclide da emissioni diverse

Attività con correzioni, A_2

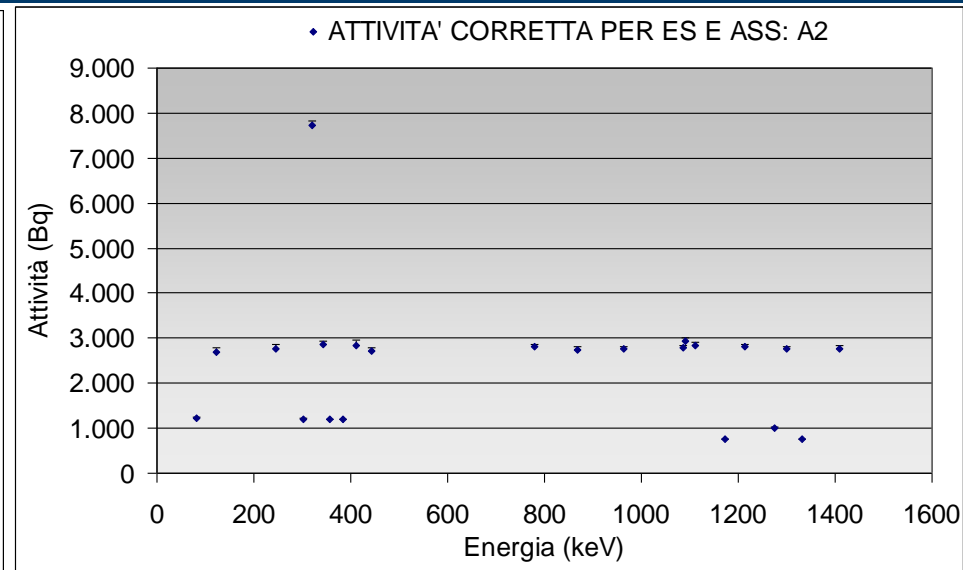
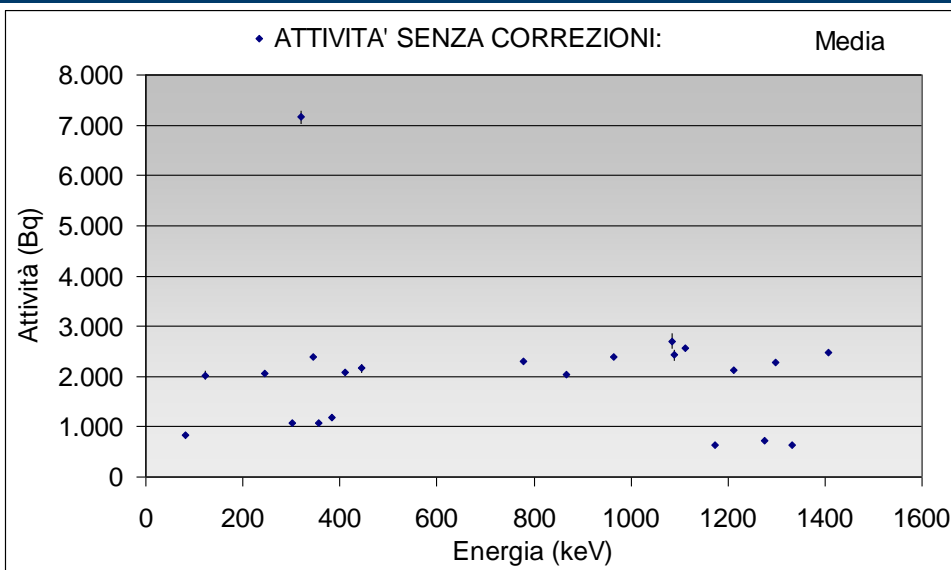
Attività corretta per ES e ASS

Scarti dai Valori di Riferimento



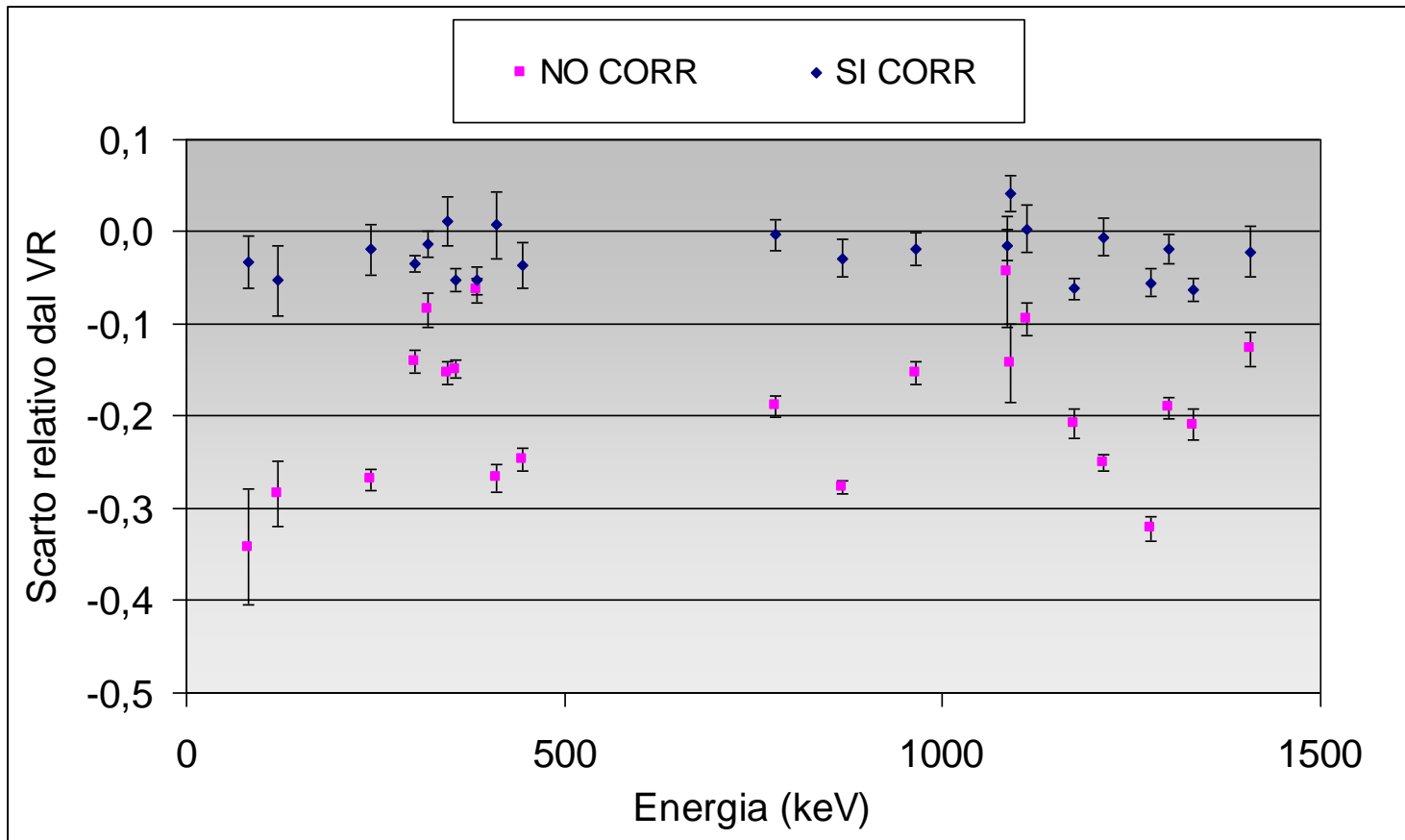
- Valori tra -10% e +5%
- Variabilità interne comparabili con quelle dei dati non corretti
- Permanenza di lievi (qualche%) sotto/sovrastrime sistematice

Attività con correzioni ES e ASS (media) (vs E_γ)



- Valori corretti stabili e in buon accordo con i VR
- NO dipendenza energetica (e fotone utilizzato)

Attività con correzioni ES e ASS (media) (vs E_γ)



- Valori corretti entro il 10%, indipendentemente da energia e radionuclide
- Notevole miglioramento di accuratezza e riproducibilità
- Scarto tipo dei valori non corretti non compatibile con il VR
- Scarti tipo dei valori corretti compatibile con il VR

GRAZIE



P. De Felice
ENEA – Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI)
pierino.defelice@enea.it