

Capitolo 6_2

Esperimento # 4

Fluorescenza X

Protocollo sperimentale

COOL-X shown with the Amptek XR-100CR
X-Ray Detector in an XRF application



4. Protocollo Sperimentale

Scopo dell' esperimento di Fluorescenza X è:

- a) Verificare la dipendenza dell' energia dei Raggi X dal tipo di materiale (numero atomico).
- b) Verificare la legge di attenuazione della radiazione elettromagnetica nei materiali e determinare il coefficiente di attenuazione di massa corrispondente.
- c) Realizzare analisi multielementali (qualitative e quantitative) di campioni metallici (monete).

Per il punto b) si utilizzerà soltanto il rivelatore, mentre per i punti a) e c) si utilizzerà anche il generatore di Raggi X.

Il protocollo sperimentale viene direttamente ripartito tra i 4 giorni a disposizione per l' esperimento. La schedula temporale dell' esperimento è solo una guida per l' attività e può essere variata dagli studenti.

Primo giorno: calibrazione del rivelatore XR100-CR

- 1) Aprite il box contenete l' esperimento. Estraete il coperchio di piombo. Disconnettete l' alimentazione del generatore X in modo da lavorare in completa sicurezza.

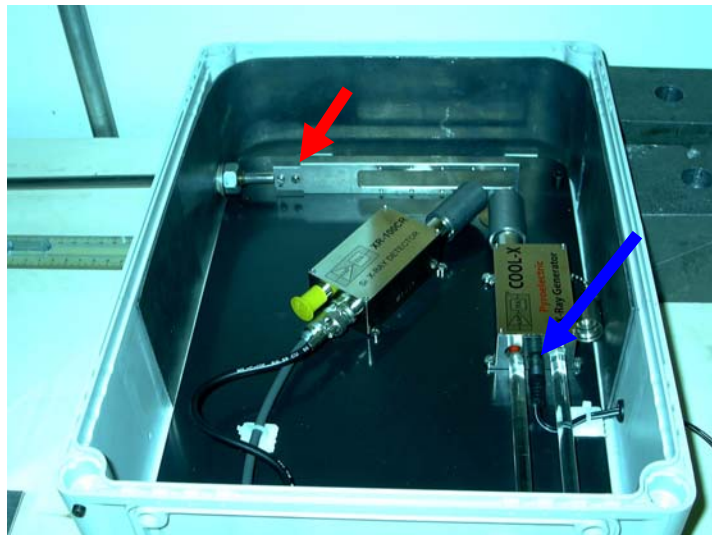


Fig. 1 Interno del box contenete l' esperimento. Freccia blu: alimentatore generatore X. Freccia rossa viti porta campione.

Svitate le vite del porta campioni in modo da avere spazio per poter posizionare a circa 2 cm dal collimatore in piombo del rivelatore XR100-CR il porta sorgente/collimatore in ferro con la sorgente di ^{241}Am . Chiedete all' assistente di laboratorio di posizionare la sorgente davanti al rivelatore.

- 2) Osservate la calibrazione volt/temperatura del rivelatore e scegliete opportunamente il fondo scala del tester. Collegate il tester alle boccole per il controllo della temperatura ed accendete l' elettronica del rivelatore (l' interruttore ON/OFF è posizionato sul retro del modulo). Controllate che il GAIN sia al valore di circa 1.25. Collegate l' uscita dell' amplificatore all' oscilloscopio. Osservate tramite il tester la variazione della temperatura del cooler del rivelatore. Quando si è arrivati al valore asintotico riportate sul log-file le caratteristiche del segnale in uscita dall' amplificatore come osservato all' oscilloscopio.

- 3) Collegate l'uscita dell' amplificatore all' ingresso del Linear Gate and Stretcher posto sotto al banco. Accendete il crate NIM ed osservate il segnale in uscita all' oscilloscopio. Questo modulo ha due funzioni: convertire il segnale gaussiano dell' amplificatore in una onda quadra che conservi l' informazione analogica ma che abbia una durata di 1-2 μ s e imponga una soglia inferiore per tagliare il rumore e non aumentare il tempo morto del sistema di acquisizione (multicanale). Settate la soglia inferiore al valore di circa 0.1. Ora siete pronti a registrare lo spettro collegando il cavo apposito al multicanale.
- 4) I comandi del multicanale sono disponibili in laboratorio. Imparate ad utilizzare il sistema per acquisire uno spettro, individuare picchi e selezionare le Regions of Interest (ROI), calibrare in energia gli spettri, ottenere l' analisi dei picchi in modo automatico dal multicanale, salvare gli spettri su disco. Convertite sempre su 4096 canali.
- 5) Lo spettro della sorgente di ^{241}Am che registrate sul multicanale presenterà (vedi Fig.2) le due transizioni X più intense a 13.95 keV e 17.74 keV dovute al ^{237}Np popolato tramite decadimento alfa ed il gamma da 59.54 keV (vedere schema di decadimento).

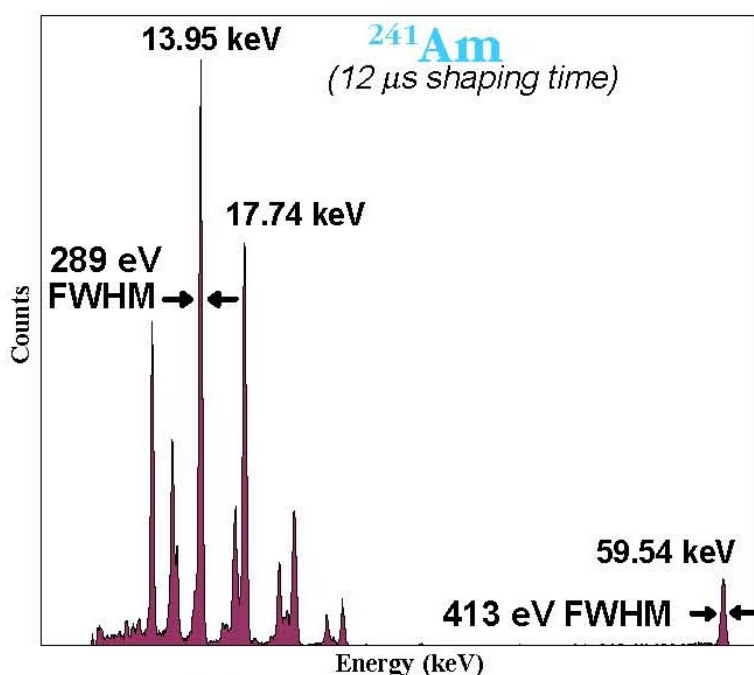


Figure 9. ^{241}Am Spectrum

Fig. 2 Spettro della sorgente di ^{241}Am

Acquisite uno spettro per circa 5 minuti. Operate una prima calibrazione dello spettro utilizzando le due righe X a 13.95 e 17.74 keV e controllate che l' energia risultante per la riga a 59.54 keV sia entro un 10%. Controllate cioè che non vi siano saturazioni nello spettro che state registrando. Dopo questo controllo registrate uno spettro per 15 m e ricalibrate lo spettro utilizzando questa volta tutte e tre le righe a 13.95, 17.74 e 59.54 keV. Riportate i valori sul log file e salvate lo spettro. Verificate che le risoluzioni in energia ottenute siano comparabili con quelle riportate in Figura 2. Nello spettro compaiono altre transizioni. Sulla base della calibrazione ricavate le energie corrispondenti. Utilizzando la tabella allegata delle energie dei raggi X e lo schema di decadimento del ^{241}Am interpretate lo spettro e riportate quanto determinato sul log file.

Misura di attenuazione. Scopo di questa parte dell' esperienza è di verificare la legge di attenuazione della radiazione elettromagnetica utilizzando assorbitori di Alluminio (densità 2.7 g/cm²) per i raggi X da 13.95 e 17.74 keV emessi dalla sorgente di ^{241}Am . Il coefficiente di attenuazione μ e' definito dalla relazione

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$$

dove I_0 ed $I(x)$ sono rispettivamente l'intensità della radiazione misurata con e senza lo spessore x di materiale. Poiché i raggi X sono scarsamente penetranti, essi verranno attenuati fortemente anche da minimi spessori di alluminio. Un millimetro di alluminio dovrebbe attenuare di un ordine di grandezza i raggi X di circa 15 keV. E' quindi necessario preparare assorbitori aventi spessore nel range 0.1-1 mm. A tale scopo è disponibile un foglio di alluminio di spessore 0.2 mm che è stato utilizzato per preparare cinque assorbitori di spessore crescente nel range di interesse 0.2-1.0 mm e passo 0.2 mm. Controllate lo spessore del foglio pesando un campione di $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Una volta preparati gli assorbitori rimisurate lo spettro della sorgente senza attenuatore e poi con spessore crescente, registrando gli integrali dei picchi ed il tempo di misura nel log file. Il tempo di misura deve essere tale che l'errore statistico sull'area dei picchi sia dell'ordine di qualche %. Una volta completata la misura, il valore del coefficiente di attenuazione μ si può ricavare da un fit esponenziale o dalla relazione lineare:

$$\ln I(x) = -\mu x + \ln I_0$$

Stimate l'errore sul valore misurato di μ e confrontate il valore ottenuto con quelli riportati sui testi.

Alla fine della prima giornata spegnete l'elettronica ed il PC.

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
SET UP E CALIBRAZIONE DEL RIVELATORE
XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

V(Monitor temperatura)=.....mV

Temperatura=.....°C

Sorgente ²⁴¹Am

Caratteristiche segnale Amplificatore

Forma Segnale	Vmax	t@Vmax (μs)	Livello Rumore (mV)
Anodo			

Guadagno Amplificatore:

Soglia LGS :.....

SPETTRO DI CALIBRAZIONE CON ²⁴¹Am

Distanza sorgente rivelatore=.....cm

Tempo di misura.....s

DT.....%

Spettro salvato come.....

Analisi spettro

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Origine del Picco
1	13.95			Raggi X L Np
2	17.74			Raggi X L Np
3	59.54			E1 237Np
4				
5				
6				
7				
8				
9				

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
MISURA DELLA ATTENUAZIONE
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Sorgente ^{241}Am
Attenuatori Alluminio (densità $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$)**

Guadagno Amplificatore:

Soglia LGS :.....

Distanza sorgente rivelatore=.....cm

Spessore (mm)	Tempo misura (secondi)	Conteggi @ 13.95 keV	Conteggi @ 17.74 keV	Conteggi @ 17.74 keV	File
0.00					

Secondo giorno: uso del generatore COOL X e prime misure di fluorescenza.

- 1) Rimettete in funzione il rivelatore e calibratelo con la sorgente di ^{241}Am . Riportate i dati nel log file e salvate lo spettro.
- 2) Ricollegate l'alimentazione del generatore COOL X e chiedete all'assistente di laboratorio di rimuovere la sorgente di ^{241}Am . Montate un porta-campioni di alluminio vuoto e posizionalo sulla posizione del campione n.2. Controllate che le altre posizioni del porta campioni, ottenute muovendo l'asta graduata corrispondano a quanto voluto. Chiudete il box con la fodera di piombo e con il coperchio. L'assistente di laboratorio bloccherà il coperchio con le chiavi a brucola. Ricordate che occorre attendere 30 minuti dallo spegnimento del generatore per riaprire il box. E' comunque possibile sostituire il porta-campione tramite l'apertura laterale spingendo l'asta graduata verso destra. Anche la sostituzione del porta campioni deve essere eseguita dal personale del laboratorio. Fate partire il generatore operando sull'apposito pulsante. Osservate il led che vi indica la fase di riscaldamento o di raffreddamento del generatore. Aspettate circa 30 secondi dallo start e fate partire il multicanale. Registrate uno spettro di fondo di circa 30 minuti. Interpretate lo spettro ottenuto.
- 3) Fate sostituire il porta-campioni di alluminio con quello contenente i campioni mono-elementali di Fe, Ni, Cu. Acquisite uno spettro per il campione di Fe per circa 15 minuti, registratelo. Sullo stesso spettro (senza cancellarlo) acquisite per circa 15 minuti il campione di Cu. Identificando le righe K_{α} del Fe e del Cu, ricalibrate lo spettro utilizzando i valori tabulati per queste transizioni X. Salvate lo spettro Fe-Cu e registrate un nuovo spettro (15 minuti) del Cu e quindi lo spettro del Ni (15 minuti). Salvate sempre gli spettri e riportate nel log file i valori ottenuti per le righe K_{α} e K_{β} dei nuclei studiati. Confrontateli con i valori tabulati.
- 4) Fate sostituire il porta-campioni con quello contenente tre campioni mono-elementali di Cu, ottenuti con 1, 2 e 3 spessori da $40\ \mu\text{m}$ ed aventi tutti la stessa area. Salvate sempre gli spettri e riportate nel log file i valori ottenuti per le righe K_{α} e K_{β} del Cu in funzione dello spessore. Confrontateli con i risultati riportati nell'articolo allegato. Interpretate i risultati ottenuti.
- 5) Dipendentemente dal tempo rimasto continuate a misurare gli spettri relativi agli altri campioni monoelementali.

Alla fine della prima giornata spegnete l'elettronica ed il PC.

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
SET UP E CALIBRAZIONE DEL RIVELATORE
XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

V(Monitor temperatura)=.....mV

Temperatura=.....°C

Sorgente ²⁴¹Am

Caratteristiche segnale Amplificatore

Forma Segnale	Vmax	t@Vmax (μs)	Livello Rumore (mV)
Anodo			

Guadagno Amplificatore:

Soglia LGS :.....

SPETTRO DI CALIBRAZIONE CON ²⁴¹Am

Distanza sorgente rivelatore=.....cm

Tempo di misura.....s

DT.....%

Spettro salvato come.....

Analisi spettro

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Origine del Picco
1	13.95			Raggi X L Np
2	17.74			Raggi X L Np
3	59.54			E1 237Np

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....**

Guadagno Amplificatore:

Soglia LGS :.....

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Origine del Picco
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
MISURA CAMPIONI DI Cu
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

Guadagno Amplificatore:

Soglia LGS :.....

Spessore (mm)	Tempo misura (secondi)	Conteggi @..... keV	Conteggi @..... keV	Conteggi @..... keV	File
40					
80					
120					

Terzo giorno: uso del generatore COOL X fine misure di fluorescenza di campioni monoelementali e inizio misure campioni multielementali.

- 1) Rimettete in funzione il rivelatore e calibratelo con la sorgente di ^{241}Am . Riportate i dati nel log file e salvate lo spettro.
- 2) Ricollegate l'alimentazione del generatore COOL X e chiedete all'assistente di laboratorio di rimuovere la sorgente di ^{241}Am . Montate il porta-campioni di alluminio mono-elementali di Fe, Ni, Cu. Acquisite uno spettro per il campione di Fe per circa 15 minuti, registratelo. Sullo stesso spettro (senza cancellarlo) acquisite per circa 15 minuti il campione di Cu. Identificando le righe K_{α} del Fe e del Cu, ricalbrate lo spettro utilizzando i valori tabulati per queste transizioni X. Salvate lo spettro Fe-Cu e registrate un nuovo spettro (15 minuti) del Cu e quindi lo spettro del Ni (15 minuti).
- 3) Fate sostituire il porta-campioni con quello contenente le altre 3 serie di campioni mono elementali e registrate gli spettri corrispondenti in modo da ottenere una libreria completa di spettri. Per ciascun campione potete acquisire per circa 15 minuti.
- 4) Dipendentemente dal tempo rimasto potete scegliere una serie di campioni multi-elementali e realizzare le prime misure. Verificate il tempo necessario per ottenere una distribuzione quantitativa dei raggi X più intensi degli elementi contenuti nel campione. Sulla base di una stima dei tempi programmate le misure da realizzare il quarto giorno. Se volete, potete anche proporre di eseguire una misura di fluorescenza su di un campione a vostra scelta dopo aver verificato la fattibilità della misura (energia degli X attesi, geometria del campione, tempo di misura).

Alla fine della prima giornata spegnete l'elettronica ed il PC.

Quarto giorno: uso del generatore COOL X fine misure di fluorescenza di campioni multielementali.

- 1) Rimettete in funzione il rivelatore e calibratelo con la sorgente di ^{241}Am . Riportate i dati nel log file e salvate lo spettro.
- 2) Ricollegate l'alimentazione del generatore COOL X e chiedete all'assistente di laboratorio di rimuovere la sorgente di ^{241}Am . Montate il porta-campioni di alluminio mono-elementali di Fe, Ni, Cu. Acquisite uno spettro per il campione di Fe per circa 15 minuti, registratelo. Sullo stesso spettro (senza cancellarlo) acquisite per circa 15 minuti il campione di Cu. Identificando le righe K_{α} del Fe e del Cu, ricalbrate lo spettro utilizzando i valori tabulati per queste transizioni X. Salvate lo spettro Fe-Cu e registrate un nuovo spettro (15 minuti) del Cu e quindi lo spettro del Ni (15 minuti).
- 3) Fate sostituire il porta-campioni con quello contenente le altre serie di campioni multi elementali e completate l'esperienza.

Alla fine della prima giornata spegnete l'elettronica ed il PC. Copiate su floppy e salvate i vostri spettri.

NB. Riportate in grafico gli spettri ottenuti, completate l'analisi dei dati e commentate i risultati. Confrontate i risultati ottenuti per i campioni multi-elementali con quanto noto per le leghe utilizzate (vedi Approfondimenti Raggi X).

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

**Spettro di fondo del generatore COOL X
 Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
 Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
 Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**ESPERIMENTO FLUORESCENZA X
 RIVELATORE XR100-CR**

Gruppo.....

Padova.....

Spettro di fondo del generatore COOL X

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

**Porta Campioni alluminio inserito nella posizione #.....
Campione di.....**

Tempo di misura.....s

Nome File.....

Picco #	Energia (keV)	Risoluzione	Integrale	Conteggi Spettro fondo	Origine del Picco
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Energie delle principali righe di emissione dei Raggi X

I valori delle energie sono in keV

No.	Elemento	$K_{\alpha 1}$	$K_{\alpha 2}$	$K_{\beta 1}$	$L_{\alpha 1}$	$L_{\alpha 2}$	$L_{\beta 1}$	$L_{\beta 2}$	$L_{\gamma 1}$
3	Li	0.0543							
4	Be	0.1085							
5	B	0.1833							
6	C	0.277							
7	N	0.3924							
8	O	0.5249							
9	F	0.6768							
10	Ne	0.8486	0.8486						
11	Na	1.04098	1.04098	1.0711					
12	Mg	1.25360	1.25360	1.3022					
13	Al	1.48670	1.48627	1.55745					
14	Si	1.73998	1.73938	1.83594					
15	P	2.0137	2.0127	2.1391					
16	S	2.30784	2.30664	2.46404					
17	Cl	2.62239	2.62078	2.8156					
18	Ar	2.95770	2.95563	3.1905					
19	K	3.3138	3.3111	3.5896					
20	Ca	3.69168	3.68809	4.0127	0.3413	0.3413	0.3449		
21	Sc	4.0906	4.0861	4.4605	0.3954	0.3954	0.3996		
22	Ti	4.51084	4.50486	4.93181	0.4522	0.4522	0.4584		
23	V	4.95220	4.94464	5.42729	0.5113	0.5113	0.5192		
24	Cr	5.41472	5.405509	5.94671	0.5728	0.5728	0.5828		
25	Mn	5.89875	5.88765	6.49045	0.6374	0.6374	0.6488		
26	Fe	6.40384	6.39084	7.05798	0.7050	0.7050	0.7185		
27	Co	6.93032	6.91530	7.64943	0.7762	0.7762	0.7914		
28	Ni	7.47815	7.46089	8.26466	0.8515	0.8515	0.8688		
29	Cu	8.04778	8.02783	8.90529	0.9297	0.9297	0.9498		
30	Zn	8.63886	8.61578	9.5720	1.0117	1.0117	1.0347		
31	Ga	9.25174	9.22482	10.2642	1.09792	1.09792	1.1248		
32	Ge	9.88642	9.85532	10.9821	1.18800	1.18800	1.2185		
33	As	10.54372	10.50799	11.7262	1.2820	1.2820	1.3170		
34	Se	11.2224	11.1814	12.4959	1.37910	1.37910	1.41923		
35	Br	11.9242	11.8776	13.2914	1.48043	1.48043	1.52590		
36	Kr	12.649	12.598	14.112	1.5860	1.5860	1.6366		
37	Rb	13.3953	13.3358	14.9613	1.69413	1.69256	1.75217		
38	Sr	14.1650	14.0979	15.8357	1.80656	1.80474	1.87172		
39	Y	14.9584	14.8829	16.7378	1.92256	1.92047	1.99584		
40	Zr	15.7751	15.6909	17.6678	2.04236	2.0399	2.1244	2.2194	2.3027
41	Nb	16.6151	16.5210	18.6225	2.16589	2.1630	2.2574	2.3670	2.4618
42	Mo	17.47934	17.3743	19.6083	2.29316	2.28985	2.39481	2.5183	2.6235
43	Tc	18.3671	18.2508	20.619	2.4240	-	2.5368	-	-
44	Ru	19.2792	19.1504	21.6568	2.55855	2.55431	2.68323	2.8360	2.9645
45	Rh	20.2161	20.0737	22.7236	2.69674	2.69205	2.83441	3.0013	3.1438
46	Pd	21.1771	21.0201	23.8187	2.83861	2.83325	2.99022	3.17179	3.3287
47	Ag	22.16292	21.9903	24.9424	2.98431	2.97821	3.15094	3.34781	3.51959
48	Cd	23.1736	22.9841	26.0955	3.13373	3.12691	3.31657	3.52812	3.71686
49	In	24.2097	24.0020	27.2759	3.28694	3.27929	3.48721	3.71381	3.92081
50	Sn	25.2713	25.0440	28.4860	3.44398	3.43542	3.66280	3.90486	4.13112
51	Sb	26.3591	26.1108	29.7256	3.60472	3.59532	3.84357	4.10078	4.34779
52	Te	27.4723	27.2017	30.9957	3.76933	3.7588	4.02958	4.3017	4.5709
53	I	28.6120	28.3172	32.2947	3.93765	3.92604	4.22072	4.5075	4.8009
54	Xe	29.779	29.458	33.624	4.1099	-	-	-	-
55	Cs	30.9728	30.6251	34.9869	4.2865	4.2722	4.6198	4.9359	5.2804
56	Ba	32.1936	31.8171	36.3782	4.46626	4.45090	4.82753	5.1565	5.5311
57	La	33.4418	33.0341	37.8010	4.65097	4.63423	5.0421	5.3835	5.7885
58	Ce	34.7197	34.2789	39.2573	4.8402	4.8230	5.2622	5.6134	6.052
59	Pr	36.0263	35.5502	40.7482	5.0337	5.0135	5.4889	5.850	6.3221
60	Nd	37.3610	36.8474	42.2713	5.2304	5.2077	5.7216	6.0894	6.6021
61	Pm	38.7247	38.1712	43.826	5.4325	5.4078	5.961	6.339	6.892

62	Sm	40.1181	39.5224	45.413	5.6361	5.6090	6.2051	6.586	7.178
63	Eu	41.5422	40.9019	47.0379	5.8457	5.8166	6.4564	6.8432	7.4803
64	Gd	42.9962	42.3089	48.697	6.0572	6.0250	6.7132	7.1028	7.7858
65	Tb	44.4816	43.7441	50.382	6.2728	6.2380	6.978	7.3667	8.102
66	Dy	45.9984	45.2078	52.119	6.4952	6.4577	7.2477	7.6357	8.4188
67	Ho	47.5467	46.6997	53.877	6.7198	6.6795	7.5253	7.911	8.747
68	Er	49.1277	48.2211	55.681	6.9487	6.9050	7.8109	8.1890	9.089
69	Tm	50.7416	49.7726	57.517	7.1799	7.1331	8.101	8.468	9.426
70	Yb	52.3889	51.3540	59.37	7.4156	7.3673	8.4018	8.7588	9.7801
71	Lu	54.0698	52.9650	61.283	7.6555	7.6049	8.7090	9.0489	10.1434
72	Hf	55.7902	54.6114	63.234	7.8990	7.8446	9.0227	9.3473	10.5158
73	Ta	57.532	56.277	65.223	8.1461	8.0879	9.3431	9.6518	10.8952
74	W	59.31824	57.9817	67.2443	8.3976	8.3352	9.67235	9.9615	11.2859
75	Re	61.1403	59.7179	69.310	8.6525	8.5862	10.0100	10.2752	11.6854
76	Os	63.0005	61.4867	71.413	8.9117	8.8410	10.3553	10.5985	12.0953
77	Ir	64.8956	63.2867	73.5608	9.1751	9.0995	10.7083	10.9203	12.5126
78	Pt	66.832	65.112	75.748	9.4423	9.3618	11.0707	11.2505	12.9420
79	Au	68.8037	66.9895	77.984	9.7133	9.6280	11.4423	11.5847	13.3817
80	Hg	70.819	68.895	80.253	9.9888	9.8976	11.8226	11.9241	13.8301
81	Tl	72.8715	70.8319	82.576	10.2685	10.1728	12.2133	12.2715	14.2915
82	Pb	74.9694	72.8042	84.936	10.5515	10.4495	12.6137	12.6226	14.7644
83	Bi	77.1079	74.8148	87.343	10.8388	10.73091	13.0235	12.9799	15.2477
84	Po	79.290	76.862	89.80	11.1308	11.0158	13.447	13.3404	15.744
85	At	81.52	78.95	92.30	11.4268	11.3048	13.876	-	16.251
86	Rn	83.78	81.07	94.87	11.7270	11.5979	14.316	-	16.770
87	Fr	86.10	83.23	97.47	12.0313	11.8950	14.770	14.45	17.303
88	Ra	88.47	85.43	100.13	12.3397	12.1962	15.2358	14.8414	17.849
89	Ac	90.884	87.67	102.85	12.6520	12.5008	15.713	-	18.408
90	Th	93.350	89.953	105.609	12.9687	12.8096	16.2022	15.6237	18.9825
91	Pa	95.868	92.287	108.427	13.2907	13.1222	16.702	16.024	19.568
92	U	98.439	94.665	111.300	13.6147	13.4388	17.2200	16.4283	20.1671
93	Np	-	-	-	13.9441	13.7597	17.7502	16.8400	20.7848
94	Pu	-	-	-	14.2786	14.0842	18.2937	17.2553	21.4173
95	Am	-	-	-	14.6172	14.4119	18.8520	17.6765	22.0652

Valori estratti da J. A. Bearden, "X-Ray Wavelengths", *Review of Modern Physics*, (Gennaio 1967) pp. 86-99.