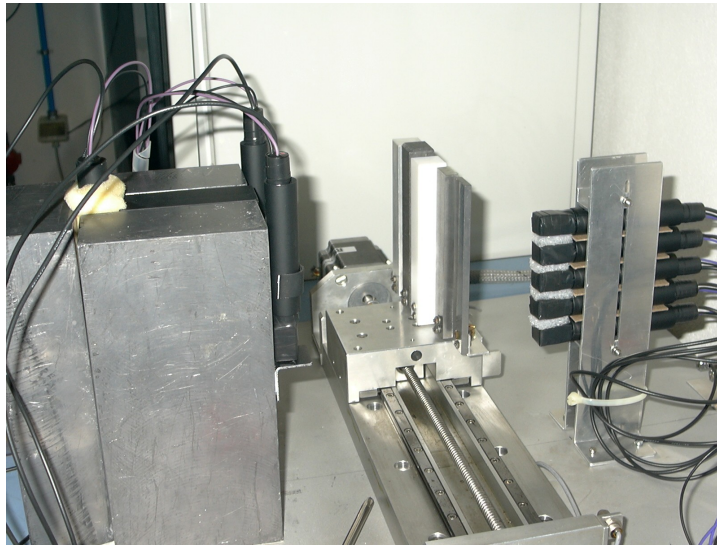


Capitolo 10

Esperimento # 8

Imaging digitale



10.1 Introduzione

La possibilità di ottenere immagini digitali è ormai un fatto acquisito in molte applicazioni che coinvolgono la nostra vita quotidiana. La fotografia digitale ha quasi completamente rimpiazzato la fotografia tradizionale a film con la diffusione di apparecchi a basso costo che permettono di ottenere immagini con molti milioni di pixels. Parimenti sono di uso quotidiano sistemi di scanner che permettono di ottenere copie digitali da utilizzarsi in sistemi di fotocopie, fax, ...

Al di là dell' applicazione fotografica, l' imaging digitale viene utilizzato massicciamente in diagnostica medica e nelle applicazioni di analisi non distruttive nell' industria o per la sicurezza dei trasporti.

A seconda della applicazione considerata cambia la sorgente di radiazione e con essa il sistema di rivelazione utilizzato per ottenere l' immagine. Nelle applicazioni radiografiche in cui si ottengono tradizionalmente immagini a trasmissione, la sorgente primaria di fotoni può essere spinta ad alta energia per ottenere immagini di oggetti massicci o di metalli pesanti. In molti casi vengono utilizzati sistemi con sorgenti gamma di ^{137}Cs o ^{60}Co che rappresentano soluzioni economiche per avere fotoni di energia elevata.

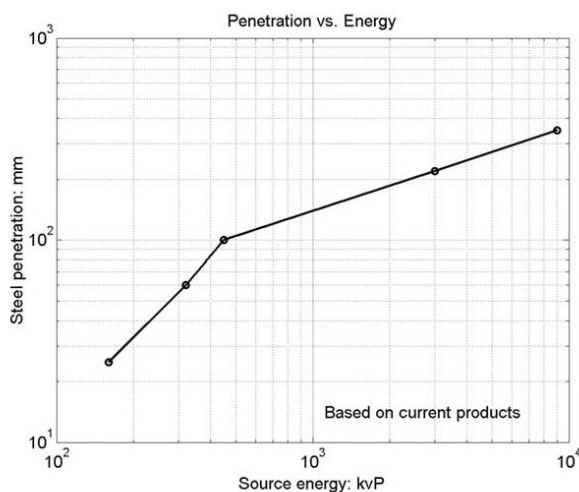


Fig. 2. Typical maximum steel penetration of cargo imaging systems.

Fig. 10.1 Penetrazione di fotoni in acciaio

A titolo di esempio riportiamo in Fig. 10.1 la capacità di penetrazione (intesa come la capacità di ottenere un' immagine dopo un dato spessore di acciaio) di sorgenti di fotoni basate sul bremsstrahlung di fasci di elettroni accelerati da una differenza di potenziale in kV. Si vede come una macchina radiogena da 1 MV può essere utilizzata per ottenere immagini radiografiche di oggetti in acciaio di circa 15 cm.

Un tipico esempio di sistema basato su sorgenti gamma è riportato in Fig. 10.2 dove viene mostrato un sistema per scanning di camion basato su una sorgente gamma di cobalto ed un array lineare di scintillatori NaI(Tl) insieme ad una tipica immagine ottenuta.

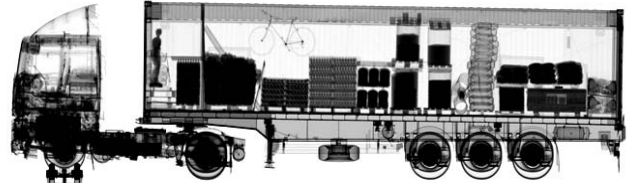


Fig.10.2 Esempio di imaging digitale ottenuto con una sorgente gamma di ^{60}Co

In molte applicazioni viene richiesta non solo una immagine dell' oggetto ma di riconoscere e di classificare in grandi categorie il tipo di materiale. In una normale immagine ottenuta con una geometria a trasmissione, dal numero dei fotoni per pixel contati senza l' oggetto e con l' oggetto permette di ottenere informazioni tramite la ben nota legge dell' attenuazione:

$$I(E) = I_0(E) \exp(-\mu/\rho(E, Z) * \rho * x)$$

Dove I ed I_0 rappresentano il numero di conteggi per fotoni di energia E a parità di tempo di misura con e senza il campione, $\mu/\rho(E, Z)$ rappresenta il coefficiente di attenuazione di massa (che è funzione complessa dell' energia del fotone e del numero atomico del materiale, ρ è la densità del materiale ed x è lo spessore. Come è facilmente comprensibile, anche una volta definita l' energia dei fotoni incidenti, la stessa attenuazione del fascio primario I/I_0 può essere ottenuta con scelte opportune di differenti materiali e di spessori. Per superare questo problema, ottimizzando la capacità di riconoscere e classificare il materiale si ricorre a diverse tecniche. Una di esse si basa sulla diversa dipendenza dal numero atomico e dall' energia dei fotoni dei meccanismi di interazione dei fotoni con la materia. In particolare è noto come l' effetto fotoelettrico sia fortemente dipendente dal numero atomico del materiale e per energie di circa 500 keV sia ancora dominate per materiali pesanti, come mostrato in Fig. 10.3(sinistra).

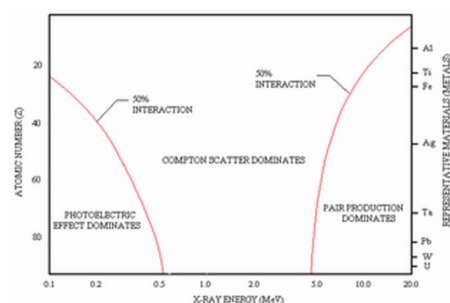


FIG. 1. (Color) Dominant gamma attenuation process for elements (atomic number Z) in gamma energy range 0.1 to 20 MeV.

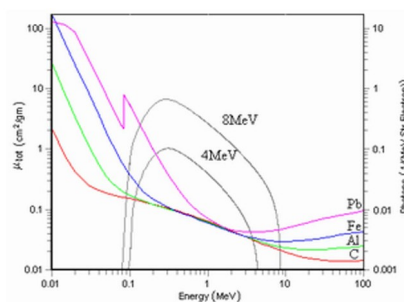


FIG. 2. (Color) Total attenuation coefficient as a function of energy for four elements. Grey curves are spectral distributions of bremsstrahlung quanta from a thick tungsten target of 8 and 4 MeV energies of an electron beam.

Fig.10.3 Dipendenza dell' interazione radiazione materia dall' energia del fotone e dal numero atomico del materiale

Per materiali a basso Z , invece, per questa energia domina l' effetto Compton che è, come noto, indipendente dal numero atomico.

Se oltre a misurare la trasmissione dei fotoni da un determinato oggetto si misura anche lo spettro diffuso, si hanno due quantità che dipendono la prima, spettro trasmesso) dalla somma degli effetti Compton+ fotoelettrico e la seconda (spettro diffuso) solo dall' effetto Compton .

Dal rapporto di queste due misure è quindi possibile ottenere quantità direttamente collegate al tipo di materiale ed indipendenti dallo spessore. Tali tecniche sono utilizzati in sistemi per il controllo bagagli degli aeroporti, come mostrato in Fig. 10.4.

H. Vogel, D. Haller / European Journal of Radiology 63 (2007) 242–253

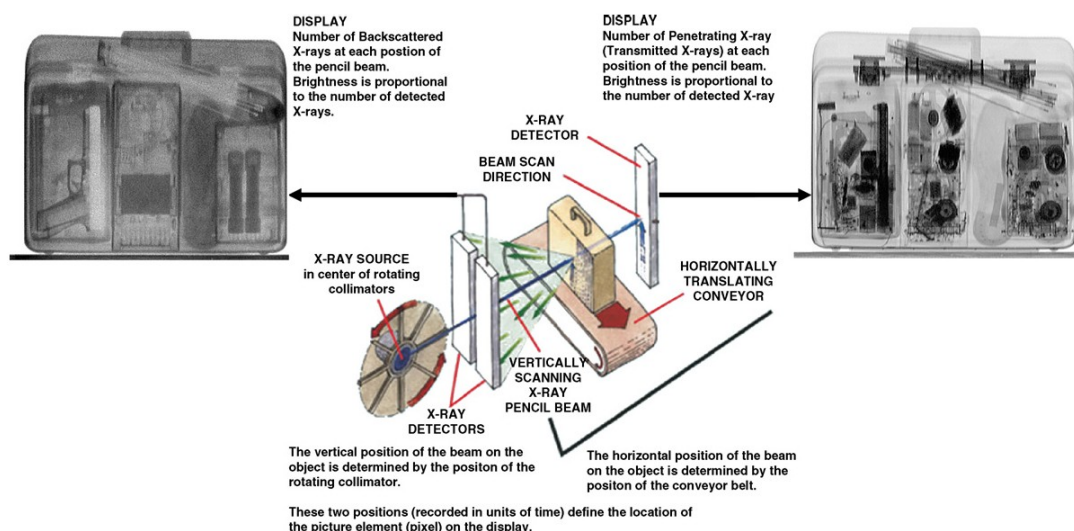


Fig. 10.4 Esempio di sistema per il controllo bagagli basato sulla misura simultanea della trasmissione e della riflessione dei fotoni.

Scopo di questo esperimento è in primo luogo di verificare il rapporto tra trasmissione e scattering di fotoni da differenti materiali ed in secondo luogo di studiare la formazione dell' immagine tramite misure di trasmissione gamma.

10.2 Apparato sperimentale

L' apparato sperimentale è mostrato in Fig. 10.5.

Una debole sorgente di ^{22}Na è posta al centro di un collimatore in ferro di diametro 3 cm alla cui estremità è posto un primo rivelatore gamma che intercetta uno dei due fotoni da 511 keV dell' annichilazione del positrone emesso nel decadimento della sorgente (questo rivelatore è indicato nel seguito come rivelatore R #1). Nella direzione opposta è posizionato in verticale un array lineare di 5 rivelatori gamma (rivelatori R#4, R#5, R#6, R#7, R#8). Inoltre altri due rivelatori sono montati lateralmente al collimatore (rivelatori R#2, R#3) e destinati a rivelare i fotoni diffusi.

Per l' AA 2010-11 sono stati aggiunti collimatori in ferro sia sull' array lineare che su R1

Una slitta dotata di un motore passo-passo comandato da computer può inserire diversi campioni davanti all' array lineare di rivelatori.

Il rivelatore R#1 viene utilizzato come rivelatore principale nell' esperimento. Saranno quindi misurate le coincidenze tra i rivelatori R#1.AND.(R#4.OR.R#5.OR.R#6.OR.R#7.OR.R#8) per i fotoni del fascio diretto (o attenuato in presenza di un campione) e le coincidenze R#1.AND.(R#2.OR.R#3) per i fotoni diffusi all' indietro dai campioni.

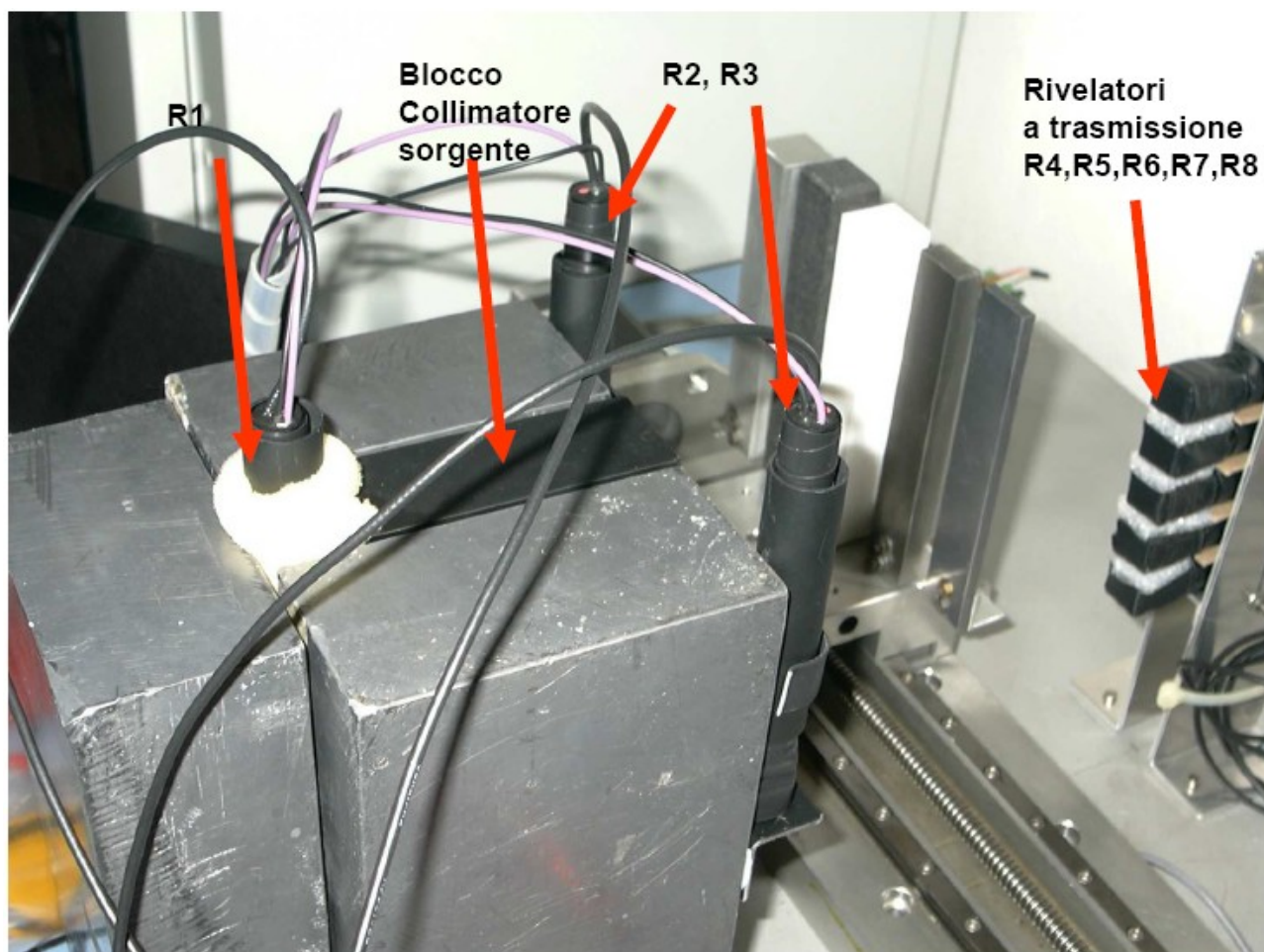


Fig. 10.5 Apparato per l' imaging digitale

L' apparato di misura è protetto da un coperchio di plexiglas e tutte le operazioni manuali richieste durante l' esperimento dovranno essere effettuate solo dal personale del laboratorio sia per operazioni sulla slitta motorizzata che per eventuali interventi sui rivelatori e/o sulla sorgente.

10.2.a Sistema di movimentazione dei campioni

Il sistema di movimentazione dei campioni consiste in una slitta motorizzata comandata tramite il PC con il software LabView. L' interfaccia grafica è mostrata in Fig. 10.6. Essa consiste in uno switch per settare la direzione del moto (destra o sinistra per l'operatore seduto al computer) e di un contatore con il numero di step di avanzamento del motore.

Dopo aver selezionato direzione e numero di step, la partenza del motore viene comandata premendo il pulsante verde.

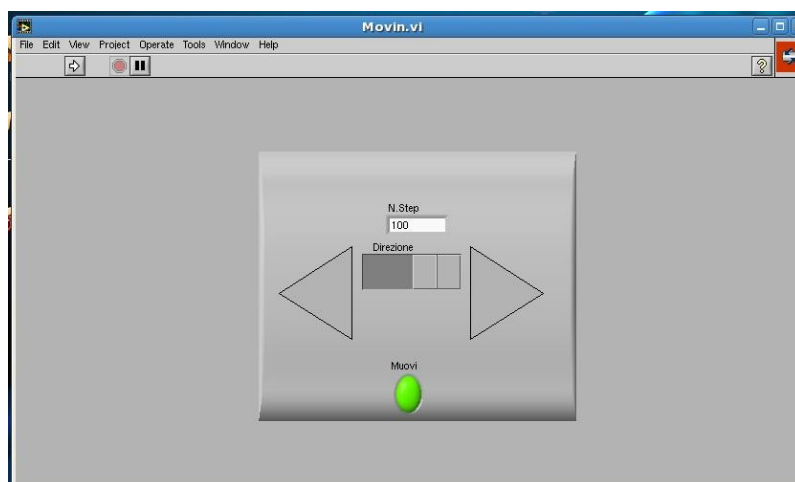


Fig. 10.6 Interfaccia di comando dei motori

Gli studenti troveranno (e dovranno lasciare alla fine dell' esperimento) la slitta nella posizione Home che viene fatta corrispondere ad una posizione N Step=0 in step. Impostando il numero di step indicati nella tabella seguente sarà possibile posizionare i vari campioni nella posizione corretta davanti all' array.

	Posizion e N steps	Direzione	N Step per la posizione seguente
Home	0	Destra	3000
5 mm Piombo	3000	Destra	2000
10 mm Ferro	5000	Destra	2200
20 mm Polietilene	7200	Destra	2200
20 mm Grafite (C)	9400	Destra	2200
20 mm Alluminio	11600	Sinistra	11600
Home	0		

Si consiglia di effettuare il ritorno nella posizione Home in 2-3 movimenti separati.

In caso di perdita di controllo della posizione della slitta è possibile riallineare il sistema tramite un piccolo laser montato sul blocco del collimatore e misurando la distanza tra la parte mobile e fissa del sistema di movimentazione

Per l' AA 2010-2011 sono stati aggiunti microswitch di fine corsa aa protezione del motore.

10.2.b Rivelatori, elettronica ed acquisizione dati

Tutti i rivelatori utilizzati nel presente esperimento sono cristalli di $B_4Ge_3O_{12}$ (Germanato di Bismuto) di dimensioni $18 \times 15 \times 25 \text{ cm}^3$ letti da fotomoltiplicatori Hamamatsu R4124. I parametri fisici degli scintillatori BGO sono illustrati nella Tabella 3.2 a pg7 del Capitolo 3 (Compton). Tale materiale scintillatore ha un elevato numero atomico medio ed elevata densità (7.13 rispetto a 3.67 del NaI(Tl)). Ciò implica che l'efficienza di rivelazione per un cristallo di spessore 25 mm sia maggiore del 90% per fotoni da 500 keV. Tuttavia l'uscita di luce, cioè la quantità di fotoni di scintillazione per unità di energia rilasciata è circa un decimo di quello del NaI(Tl), con tempi di decadimento comparabili. Per le caratteristiche generali degli scintillatori e della spettroscopia gamma si rimanda al Capitolo 3 (Esperimento Scattering Compton).

Per quanto riguarda l'elettronica utilizzata in questo esperimento notiamo che:

- 1) Gli 8 PMT sono alimentati da un Power Supply CAEN N472 che fornisce 2 canali di HV indipendenti che poi vengono splittati con delle scatole di distribuzione sugli 8 PMT dell'apparato. Troverete il Power Supply già settato ai valori di HV di lavoro che non vanno modificati.
- 2) il PMT di ciascuno scintillatore fornisce un unico segnale anodico veloce.
- 3) Ciascun segnale anodico viene inviato ad un Fast Amplifier ottale (NES FL 8000) che forma ed amplifica il segnale con parametri fissi (Guadagno=100 Integrazione= 50 ns Differenziazione=50 ns). E' da notare che alcuni rivelatori (R#1,R#2,R#6) passano prima dagli amplificatori (Dual Spec Amp 855) per poi arrivare al Fast Amplifier. L'uscita del rivelatore R#1 dal Fast Amplifier viene inviata ad Fast Discriminator Phillips 705. Questo modulo è infatti in grado di produrre una uscita negata che verrà utilizzata per la coincidenza. I segnali amplificati dei rivelatori R#2....R#8 vengono invece inviati in ingresso al Constant Fraction Discriminator ESN CF 8000. Questo modulo serve in primo luogo per ottenere un segnale veloce logico da ogni rivelatore tagliando con una opportuna soglia di discriminazione il rumore elettronico. In secondo luogo questo modulo permette di imporre la condizione di coincidenza con R#1 tramite l'ingresso di Inhibit. Quando infatti un segnale logico viene inviato in questo ingresso, le uscite del CF8000 vengono disabilitate e si riabilitano solo quando il segnale in questo ingresso è nullo. Il segnale barrato del rivelatore R#1 è sempre a -0.8 volt ed è nullo solo quando c'è un evento valido in R#1. Di conseguenza inviando questo segnale nell'ingresso di Inhibit si ottiene una uscita solo in coincidenza con R#1 (per le diverse logiche di coincidenza/anticoincidenza vedi Fig.10.7). Inoltre il CF8000 ha anche un output di OR che produce un segnale in presenza di almeno un evento valido in uno degli otto canali (sempre filtrati dall' Inhibit). Di conseguenza l'uscita di OR verrà utilizzata come trigger esterno dell' acquisizione dopo essere stato convertito in segnale TTL positivo (circa 5 Volt) . Le uscite dei singoli canali del discriminatore vengono connesse con un modulo Pattern Unit che fornisce una uscita positiva di ingresso variabile a seconda dell' input attivato, Questo segnale permette quindi di individuare dai picchi nello spettro gli eventi dovuti ai singoli rivelatori (sempre in coincidenza con R#1. Lo schema dell' elettronica è presentato in Fig.10.8
NB Per l' AA 2010-11 il rivelatore R1 passa per un amplificatore veloce indipendente.
- 4) In definitiva si registrano nel sistema di acquisizione i seguenti spettri:
Canale#0 lo spettro delle ampiezze del rivelatore R#1 (rivelatore di trigger);
Canale#1 lo spettro delle ampiezze del rivelatore R#6 (rivelatore a trasmissione centrale dell' array lineare);
Canale#2 lo spettro delle ampiezze del rivelatore R#2 (rivelatore di backscattering)
Canale#3 lo spettro della Patter Unit.

Nel trigger esterno della scheda di acquisizione viene inviato il segnale di OR del CF8000 dopo essere stato convertito in segnale positivo tramite un apposito modulo

Un esempio della schermata di acquisizione è mostrato in Fig. 10.9

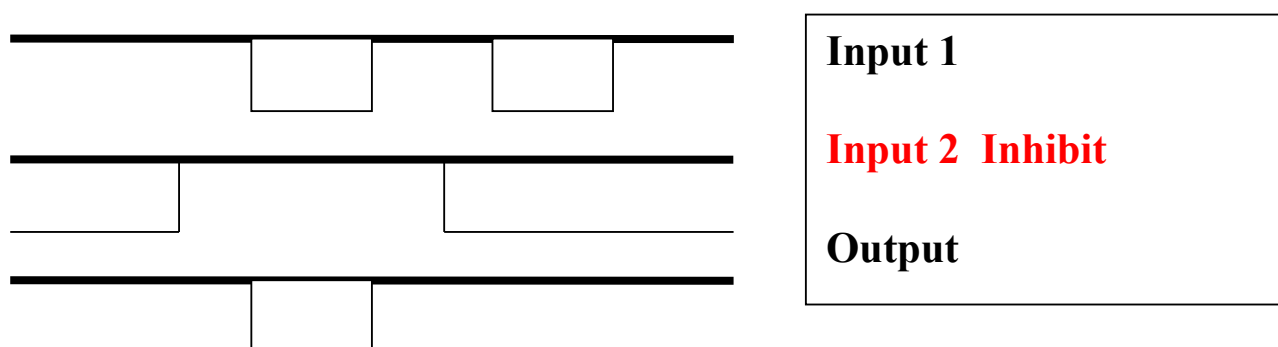
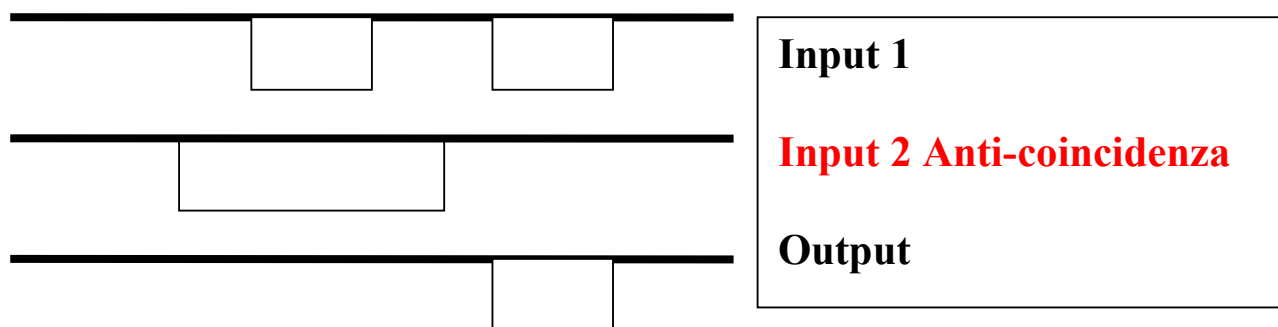
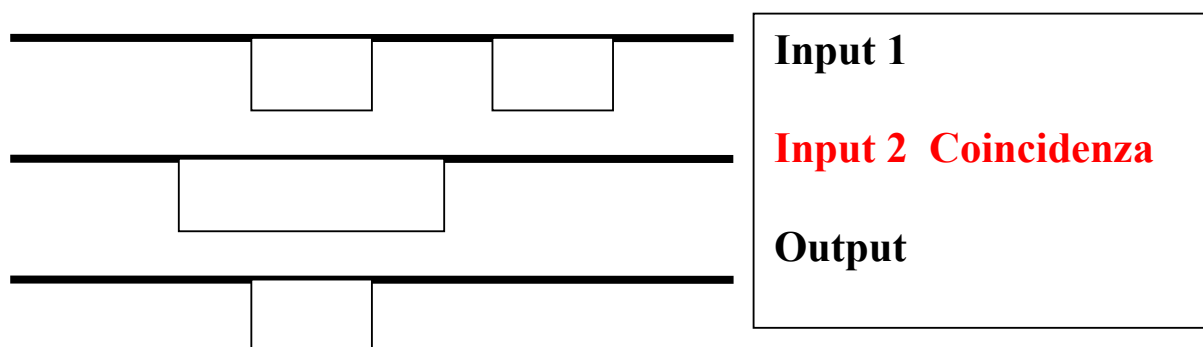


Fig. 10.7 Diversi schemi di coincidenza/anticoincidenza/Inhibit

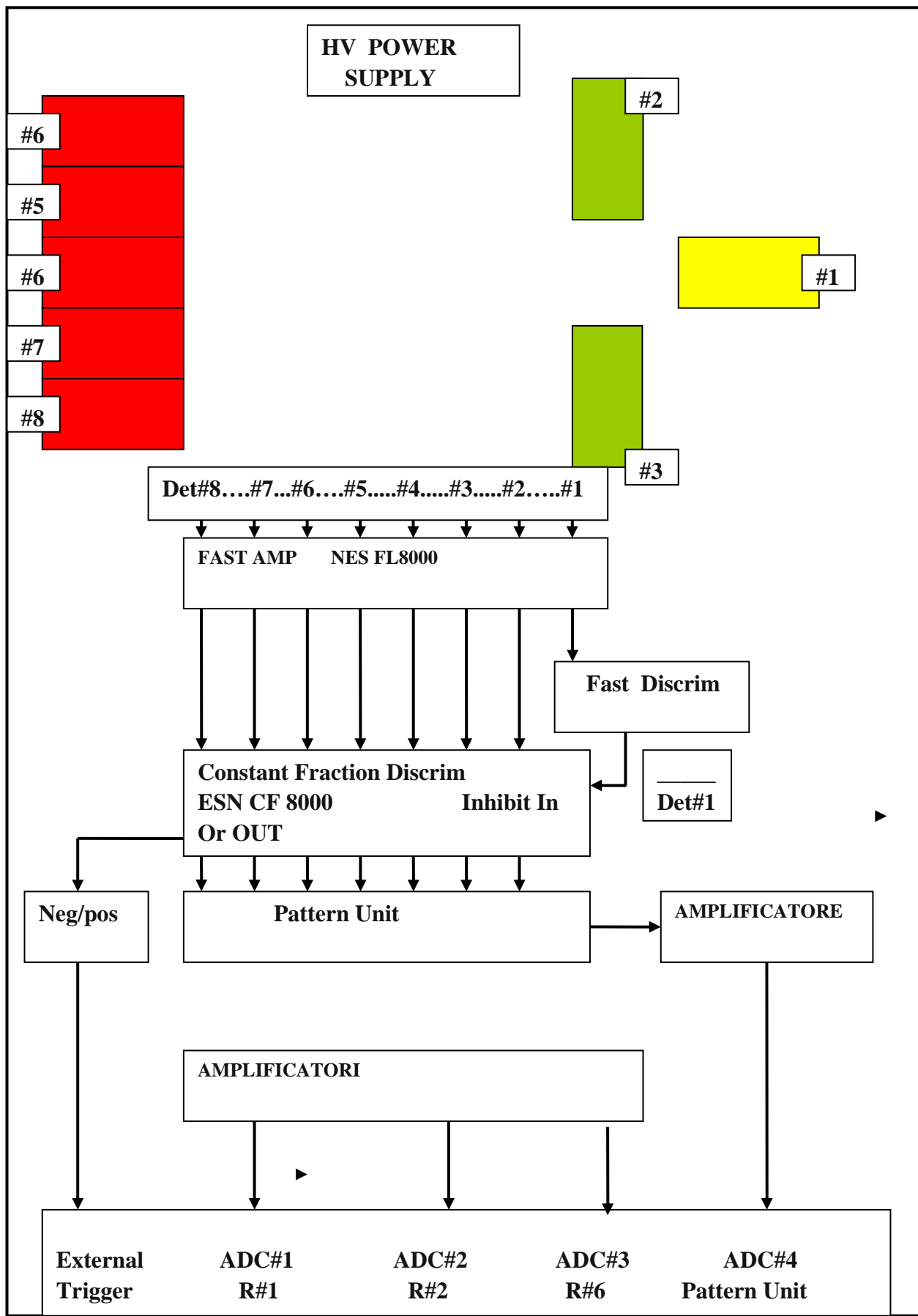


Fig. 10.8 Schema dell' elettronica per l' esperimento di Imaging

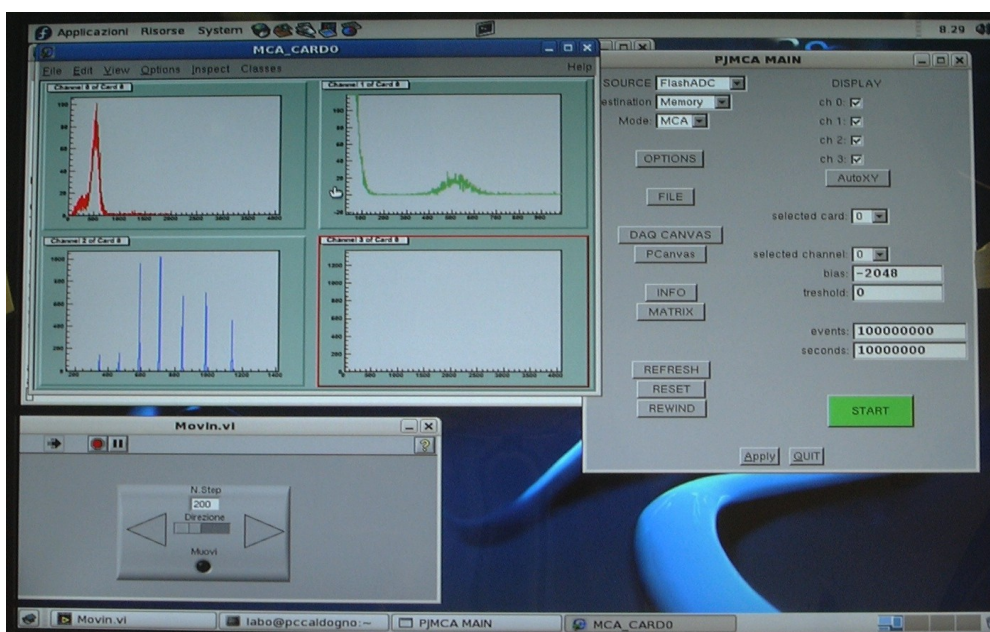


Fig. 10.9 Schermata dell' acquisizione per l' esperimento di Imaging

10.3 Protocollo Sperimentale

Scopo di questo esperimento è:

- Determinare il rapporto tra trasmissione e scattering per i fotoni da 511 keV in diversi materiali (Piombo, Ferro, alluminio, grafite, polietilene) e confronto tra le osservazioni sperimentali e quanto noto.
- Costruzione di una immagine digitale di un oggetto contenuto in una black-box e ricostruzione del tipo di materiale.

Il protocollo sperimentale viene direttamente ripartito tra le tre sessioni a disposizione per l' esperimento.

Lo schema temporale dell' esperimento riportata qui di seguito è solo una guida per l' attività e può essere variata dagli studenti anche in relazione con i possibili problemi incontrati in laboratorio.

Prima sessione: preparazione e calibrazione degli scintillatori

Fate inserire la sorgente di ^{22}Na all' interno dell' apparato.

1) Collegate il segnale di anodo del rivelatore R#1 direttamente all' oscilloscopio staccando il cavo dall' ingresso dell' amplificatore veloce. Si consiglia in tutte le fasi successive di uso dell' oscilloscopio di utilizzare dei connettori ad "T" per giuntare i cavetti già montati sull' apparato con cavi più lunghi per l' input dell' oscilloscopio. Osservate il segnale all' oscilloscopio e prendete nota della polarità, ampiezza e tempo di salita del segnale. Mandate ora il segnale di anodo in input all' amplificatore veloce, connettete l' uscita all' oscilloscopio e prendete nota delle caratteristiche del segnale amplificato.

2) Osservate che il rivelatore R#1 è già collegato ad una sezione dell' amplificatore ORTEC 855, collegate l' uscita unipolare dell' amplificatore all' oscilloscopio e verificate l' effetto dei diversi parametri dell' amplificatore (Coarse e Fine Gain). Identificate all' oscilloscopio la posizione corrispondente ai picchi di full-energy della transizioni a 511 keV. Settate i valori dell' amplificatore, agendo sul guadagno (Coarse e Fine Gain), in modo da avere un' ampiezza massima di circa 2 V in corrispondenza dei picchi a 511 keV (n.b. l' ADC converte fino a 5 V).

3) L' uscita dell' amplificatore veloce corrispondente al rivelatore R#1 è collegata all' input del Fast Discriminator Phillips 705. Collegate una delle uscite di questo discriminatore all' oscilloscopio ed osservatelo. Trigggerando su questo segnale collegare al secondo canale dell' oscilloscopio il segnale dell' amplificatore del rivelatore R#1.

4) Impostazione della soglia del Discriminatore. Il discriminatore fornisce un segnale in uscita solo se l' ampiezza del segnale in ingresso è maggiore di un valore di soglia V_{th} . Questa soglia di discriminazione serve per evitare che il discriminatore scatti sul rumore. Per verificare la soglia di discriminazione si procede nel seguente modo: avete collegato all' oscilloscopio il segnale unipolare dell' amplificatore e una delle uscite del discriminatore veloce, trigggerando su quest' ultimo segnale. A seconda del valore di soglia (impostato tramite l' apposito trimmer), è possibile verificare come la distribuzione dei segnali dell' amplificatore si modifichi, con la scomparsa dei segnali corrispondenti al rumore ed i segnali di bassa energia. Fissate la soglia al valore minimo che è necessario per tagliare il rumore dell' elettronica.

5) Collegate l' uscita dell' amplificatore all' ingresso ADC#1 del sistema di acquisizione, collegate l'uscita del Fast Discriminator direttamente all' ingresso del modulo che genera il master gate (segnale positivo) dell' acquisizione.

Siete ora pronti a registrare lo spettro della sorgente ^{22}Na del Rivelatore R#1. Impostate l' acquisizione per registrare solo l' ADC#1. Acquisite e registrate lo spettro. Un tipico spettro del rivelatore R#1 è riportato in Fig. 10.10. Dallo spettro gamma è possibile determinare la calibrazione in energia e la risoluzione del rivelatore a 511 keV.

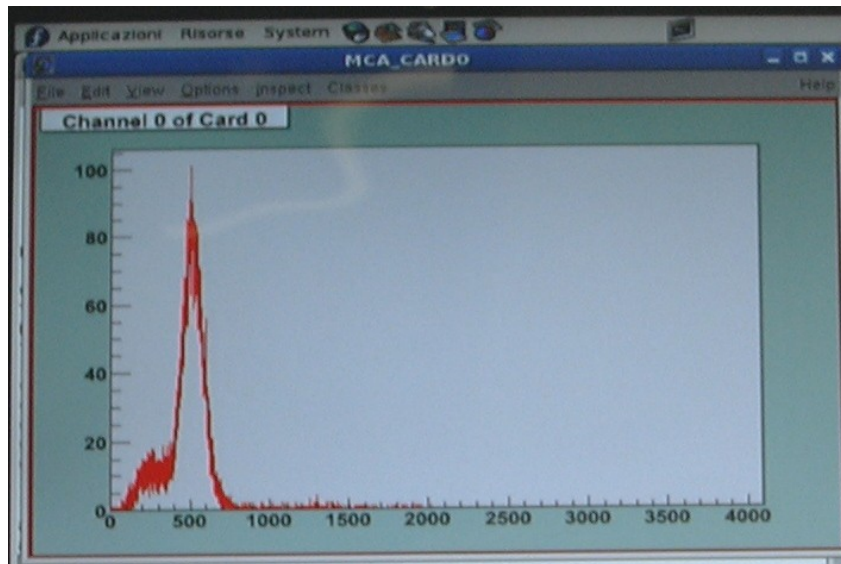


Fig.10.10

6) Per completare il setting del rivelatore R#1, lasciando sul primo canale dell' oscilloscopio il segnale del discriminatore veloce, collegate nel secondo canale l' uscita barrata e controllate tale segnale.

7) Ripetete i punti 1-5 per il rivelatore centrale dell' array lineare (rivelatore R#6) notando che: a) per avere un migliore osservazione dei segnali all' oscilloscopio fate posizionare una sorgente di NaI(Tl) direttamente sul rivelatore R#6; b) il segnale di R#6 viene inviato ad una delle sezioni del Constant Fraction Discriminator CF8000. Controllate la soglia del CFTD e registrate uno spettro del Rivelatore R#6 nel canale #3 dell' acquisizione.

8) Ripetete i punti 1-5 per il rivelatore R#2 (rivelatore a riflessione), canale #2 dell' acquisizione. Gli altri rivelatori avranno già impostati i valori corretti di soglia di discriminazione e non andranno toccati. Una volta completato il setting dei singoli rivelatori (R#1, R#2 ed R#6) siete pronti per il controllo delle coincidenze.

9) Controllo delle coincidenze: fate togliere la sorgente aggiuntiva; collegate il segnale barrato del rivelatore R#1 al primo canale dell' oscilloscopio e triggherate con questo canale. Collegate ora il segnale del CFTD corrispondente al rivelatore R#6 al secondo canale dell' oscilloscopio e controllate che i segnali di R#6 in coincidenza cadano correttamente al centro del segnale barrato (come illustrato in Fig. 10.7). Scollegate il rivelatore R#6 dall' oscilloscopio e collegate il segnale di OR del CF8000. Controllate le coincidenze. Siete ora pronti ad utilizzare il segnale barrato di R#1 come Inhibit del CF8000: osservate il segnale di OR (triggherando su questo segnale) senza e con il segnale di Inhibit collegato. Verificate la diminuzione della luminosità del segnale quando l' Inhibit è in funzione.

10) Controllo della Pattern Unit: le uscite dei singoli canali del CFD8000 sono collegati agli ingressi di un modulo (Patter Unit) che produce un segnale positivo di ampiezza fissa ogni qual volta in input riceve un segnale negativo NIM. Modulando opportunamente le ampiezze in uscita è possibile ottenere uno spettro in cui sono presenti 7 picchi (vedi Fig. 10.11) ciascuno dei quali è correlato ai rivelatori R#2,R#3,...,R#8. L'area dei singoli picchi fornisce il numero delle coincidenze tra il singolo rivelatore ed R#1. Controllate all' oscilloscopio l' uscita della pattern unit

e del suo amplificatore associato, triggerando con il segnale di OR del CF8000 (ovviamente con l'Inhibit inserito).

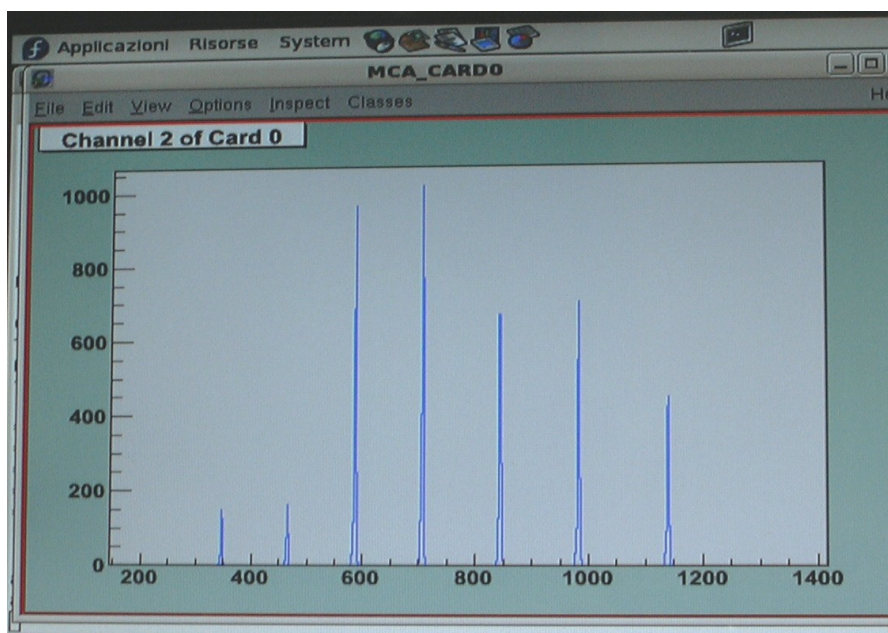


Fig. 10.11

11) Acquisizione dati: Collegate il segnale di OR al Trigghe Esterno dell' acquisizione e la Pattern Unit al canale #3. Controllate che i rivelatori R#1, R#2 ed R#6 siano collegati ai canali corrispondenti. Lanciate una prima acquisizione del sistema completo per 10 minuti per verificare il funzionamento completo dell' apparato. Notate che in assenza di un campione i conteggi dei rivelatori a riflessione saranno molto bassi e sono dovuti allo scattering dei fotoni sull' array lineare a trasmissione. Tali conteggi (e lo spettro di ampiezze relativo misurato in R#2) vanno considerati con il "fondo" della misura della riflessione.

ESPERIMENTO IMAGING SET UP DEI RIVELATORI#1

Gruppo.....

Padova.....

Segnali terminati su 50 Ohm

RIVELATORE #1 HV=.....Volt

	Tempo discesa (ns)	Vmax @511 keV (mV)	Tempo salita (ns)	Livello Rumore (mV)
Anodo PMT				
Output FL8000				

Guadagno Amplificatore: Coarse.....

Fine.....

Soglia Discriminatore :.....mV

RIVELATORE #2 HV=.....Volt

	Tempo discesa (ns)	Vmax @511 keV (mV)	Tempo salita (ns)	Livello Rumore (mV)
Anodo PMT				
Output FL8000				

Guadagno Amplificatore: Coarse.....

Fine.....

Soglia CFTD :.....mV

RIVELATORE #6 HV=.....Volt

	Tempo discesa (ns)	Vmax @511 keV (mV)	Tempo salita (ns)	Livello Rumore (mV)
Anodo PMT				
Output FL8000				

Guadagno Amplificatore: Coarse..... Fine.....

Soglia CFTD :.....mV

ESPERIMENTO IMAGING SET UP DEI RIVELATORI#2

Gruppo.....

Padova.....

Calibrazione in energia

RIVELATORE#1

HV=.....Volt

Energia	Centroide picco Canale	Larghezza picco [FWHM]	Risoluzione (%)
511 keV			
1275 keV			

Retta di Calibrazione ($E = \alpha \times \text{Canale} + \beta$) α =..... β =.....

RIVELATORE#2

HV=.....Volt

Energia	Centroide picco Canale	Larghezza picco [FWHM]	Risoluzione (%)
---------	---------------------------	---------------------------	--------------------

511 keV			
1275 keV			

Retta di Calibrazione ($E = \alpha \times \text{Canale} + \beta$) $\alpha = \dots\dots\dots$ $\beta = \dots\dots\dots$

RIVELATORE#6

HV=.....Volt

Energia	Centroide picco Canale	Larghezza picco [FWHM]	Risoluzione (%)
511 keV			
1275 keV			

Retta di Calibrazione ($E = \alpha \times \text{Canale} + \beta$) $\alpha = \dots\dots\dots$ $\beta = \dots\dots\dots$

N.B. Allegare spettri e le rette di regressione.

Seconda sessione: misure di attenuazione e diffusione

Controllo dell' apparato.

1) Controllo del movimento dei campioni: sulla base della tabella di pag. 6 controllate il posizionamento dei diversi campioni utilizzando il laser. Posizionate un campione alla volta davanti all' array lineare muovendo dalla posizione Home impostando il numero di step indicati nella tabella. Quando il motore ha completato il movimento controllate la posizione accendendo il laser dall' interruttore. Completato il controllo ritornate nella posizione Home.

2) Acquisite un primo spettro da 30 minuti per la posizione Home. I conteggi per i rivelatori a trasmissione saranno diversi in dipendenza dall' angolo solido e dalla soglia del CFTD. Tali conteggi rappresenteranno il termine I_0 nella formula di attenuazione. Nel caso dei rivelatori per i fotoni diffusi (R#2, R#3) i conteggi registrati rappresentano il contributo dovuto al backscattering dall' aria e dai rivelatori di trasmissione e quindi sono da considerarsi il fondo del sistema di rivelazione e vanno sottratti ai conteggi dovuti ai campioni delle prossime misure.

3) Inserite ora il primo campione (5 mm di piombo) e registrate uno spettro da 30 minuti.

4) Continuate inserendo gli altri campioni e registrate per ciascuno di essi uno spettro da 30 minuti ciascuno.

I dati registrati vanno analizzati nel seguente modo:

- a) Attenuazione del fascio di fotoni.** Per ogni campione ricavare l'attenuazione I/I_0 utilizzando lo spettro della Pattern Unit di ciascun rivelatore. Utilizzate i dati sulle densità dei materiali e sui coefficienti di attenuazione disponibili sul sito: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html> del National Institute of Standards and Technology. Poiché a causa della geometria lo spessore del campione visto dai fotoni dipende dalla posizione del rivelatore, noto lo spessore di ciascun campione, è possibile calcolare l'attenuazione prevista per fotoni da 511 keV e confrontare con quanto previsto dalla teoria.
- b) Scattering dei fotoni.** Per ogni campione verificate dallo spettro del rivelatore R#2 l'energia dei fotoni retro diffusi assumendo un angolo di scattering medio nel piano mediano dell'apparato. Sottraete il fondo dovuto all'apparato (come definito precedentemente) e confrontate le distribuzioni di energia dei fotoni diffusi misurata con il valore atteso dell'energia. Come possibile verificare nelle dispense dell'esperimento di Scattering Compton (Capitolo 3), la sezione d'urto differenziale per la diffusione all'indietro è praticamente costante per angoli maggiori di 90° (Vedi Fig. 10.12). Poiché tutte le misure sono state eseguite nello stesso tempo (30 minuti), utilizzando la formula dello scattering Compton potete ricavare la dipendenza attesa del numero di fotoni diffusi per i differenti materiali e confrontare le quantità misurate con quanto atteso.

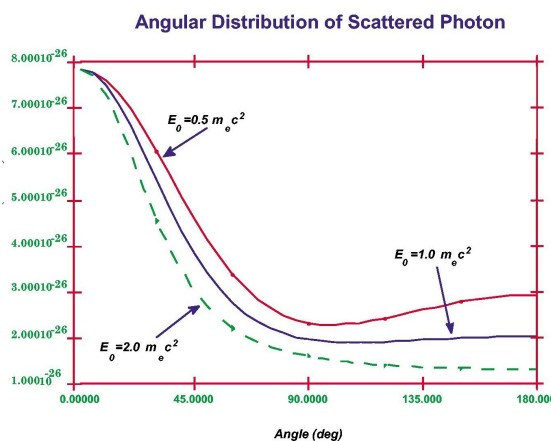


Fig. 2: Differential Cross-section of Compton scattering vs. angle

Fig.10.12

Terza sessione: costruzione dell' immagine dell' oggetto nella black-box.

Nella terza sessione troverete montata sulla slitta porta campione una black-box costituita da una cornice di plastica nera e da due fogli di cartoncino nero. La black-box nasconde un campione di materiale ignoto posto in una posizione da determinare. Poiché si dispone di un array lineare in cui i 5 pixels hanno dimensione 1.5 cm in verticale e 1.8 cm in orizzontale, spostando la black box e registrando per ogni posizione lo spettro dei fotoni attenuati (e retro diffusi), sarà possibile ottenere una immagine costituita da 5 (verticale) x 5 (orizzontale) pixels. Per ogni pixel il livello di grigio (o la chiave di colore a seconda del tipo di rappresentazione utilizzata) sarà proporzionale all' attenuazione misurata.

Lo scanning in orizzontale della Black-Box sarà realizzata misurando ciascuna delle 5 posizioni per 30 minuti e misurando una posizione addizionale fuori dalla Black-Box per determinare il flusso dei fotoni (I_0) in assenza di materiale per ogni rivelatore (ulteriori 30 minuti). Le posizioni per le diverse misure con i valori di steps del motore sono reperibili in una tabella a disposizione sul punto misura.

Il risultato immediato di questa serie di misure sarà una matrice a 5 righe e 5 colonne in cui si riporteranno i valori di attenuazione misurati. Questa matrice metterà in evidenza immediatamente la posizione e la forma dell' oggetto nascosto. Determinando la posizione dell' oggetto, è possibile ora guardare al rapporto tra fotoni trasmessi e diffusi, come precedentemente misurato sperimentalmente per i campioni di Polietilene, Carbonio, Alluminio, Ferro e Piombo. Utilizzando le calibrazioni sperimentali e le formule per l' attenuazione e la retrodiffusione, determinate il tipo di materiale del campione.