



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Effetti di irraggiamento da neutroni sui materiali. Azioni di adeguamento degli impianti TRIGA e TAPIRO

*R. Bove, L. Falconi, A. Grossi, D. Manco, M. Palomba, A. Santagata, E. Santoro*

Report RdS/2011/89

EFFETTI DI IRRAGGIAMENTO DA NEUTRONI SUI MATERIALI. AZIONI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI TRIGA E TAPIRO

R. Bove, L. Falconi, A. Grossi, D. Manco, M. Palomba, A. Santagata, E. Santoro - ENEA

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Governo, Gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

Responsabile Progetto: Paride Meloni, ENEA



## Titolo

**EFFETTI DI IRRAGGIAMENTO DA NEUTRONI SUI MATERIALI.  
AZIONI DI ADEGUAMENTO DEGLI IMPIANTI TRIGA E TAPIRO**

## Descrittori

Tipologia del documento: **Rapporto Tecnico**  
 Collocazione contrattuale: **Accordo di Programma ENEA-MSE PAR 2008-2009 LP5 B.2**  
 Argomenti trattati: **Sviluppo impianti sperimentali**

## Sommario

Nel documento sono definite e analizzate le procedure sperimentali per test di materiali per irraggiamento da neutroni. I reattori di ricerca TRIGA e TAPIRO sono tra i pochi impianti presenti sul territorio nazionale atti a sviluppare linee di attività indirizzate alla caratterizzazione, calibrazione e qualificazione di materiali per neutroni di diversa tipologia. Le procedure di test sono sviluppate e validate per ciò che concerne la loro affidabilità e riproducibilità, con particolare riferimento alla calibrazione dei metodi di rivelazione. Le competenze presenti presso i reattori offrono la possibilità di eseguire irraggiamenti su materiali e la capacità di sviluppare tecnologie innovative, allo scopo di consolidare metodologie di prova e studiare procedure e rivelatori di tipo sperimentale: in tal senso, sono stati sottoposti a test materiali ritenuti interessanti dal punto di vista dosimetrico così come componenti elettronici capaci di operare in ambiente ostile, aspetti importanti ma sensibili all'ambiente neutronico. L'attività, centrata sull'analisi delle caratteristiche di rivelatori innovativi, ha permesso di definire le azioni necessarie per adeguare i reattori alla conduzione di sperimentazioni su rivelatori prototipici; si è proceduto quindi alla programmazione ed all'avvio delle prime azioni di adeguamento degli impianti.


## Note

Autori: R. Bove, L. Falconi, A. Grossi, D. Manco, M. Palomba, A. Santagata, E. Santoro

Copia n.


In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	16/09/2011	NOME	R. Bove	S. Baccaro	P. Meloni
			FIRMA	<i>Rocco Bove</i>	<i>S. Baccaro</i>	<i>P. Meloni</i>
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	2	35

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>TRIGA RC-1 (Training, Research, Isotopes, General Atomics – Reattore Casaccia 1) .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>RSV TAPIRO (TAratura Pila Rapida a potenza 0) .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Caratterizzazione locazioni per irraggiamento neutronico .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Caratterizzazione nuovi rilevatori neutronici .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Analisi danneggiamento strumentazione elettronica da flussi neutronici.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Sistema di acquisizione e monitoraggio dati di processo e sperimentali.....</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Radiografia e tomografia neutronica .....</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>Collaborazioni Universitarie .....</b>	<b>35</b>

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	3	35

## 1 Introduzione

Nel documento sono definite e analizzate le procedure sperimentali per test di materiali per irraggiamento da neutroni. I reattori di ricerca TRIGA RC-1 e RSV TAPIRO, situati nel Centro Ricerche ENEA della Casaccia a nord di Roma, sono tra i pochi impianti presenti sul territorio nazionale atti a sviluppare linee di attività indirizzate alla caratterizzazione, calibrazione e qualificazione di materiali per neutroni di diversa tipologia. Le procedure di test sono sviluppate e validate per ciò che concerne la loro affidabilità e riproducibilità, con particolare riferimento alla calibrazione dei metodi di rivelazione. Le competenze presenti presso i reattori offrono la possibilità di eseguire irraggiamenti su materiali e la capacità di sviluppare tecnologie innovative, allo scopo di consolidare metodologie di prova e studiare procedure e rivelatori di tipo sperimentale: in tal senso, sono stati sottoposti a test materiali ritenuti interessanti dal punto di vista dosimetrico così come componenti elettronici capaci di operare in ambiente ostile, aspetti importanti ma sensibili all'ambiente neutronico. L'attività, centrata sull'analisi delle caratteristiche di rivelatori innovativi, ha permesso di definire le azioni necessarie per adeguare i reattori alla conduzione di sperimentazioni su rivelatori prototipici; si è proceduto quindi alla programmazione ed all'avvio delle prime azioni di adeguamento degli impianti.

## 2 TRIGA RC-1 (Training, Research, Isotopes, General Atomic – Reattore Casaccia 1)

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 è una sorgente di neutroni termici che può essere utilizzata per: radiografia e tomografia con neutroni; produzione di radio farmaci; irraggiamento neutronico di materiali; qualificazione di rivelatori di neutroni; supporto alla didattica di corsi di corsi universitari di pertinenza nucleare.

Potenziati utenti sono università ed enti di ricerca del settore industriale e medico, produttori di reattori e componenti nucleari, organi della Magistratura.

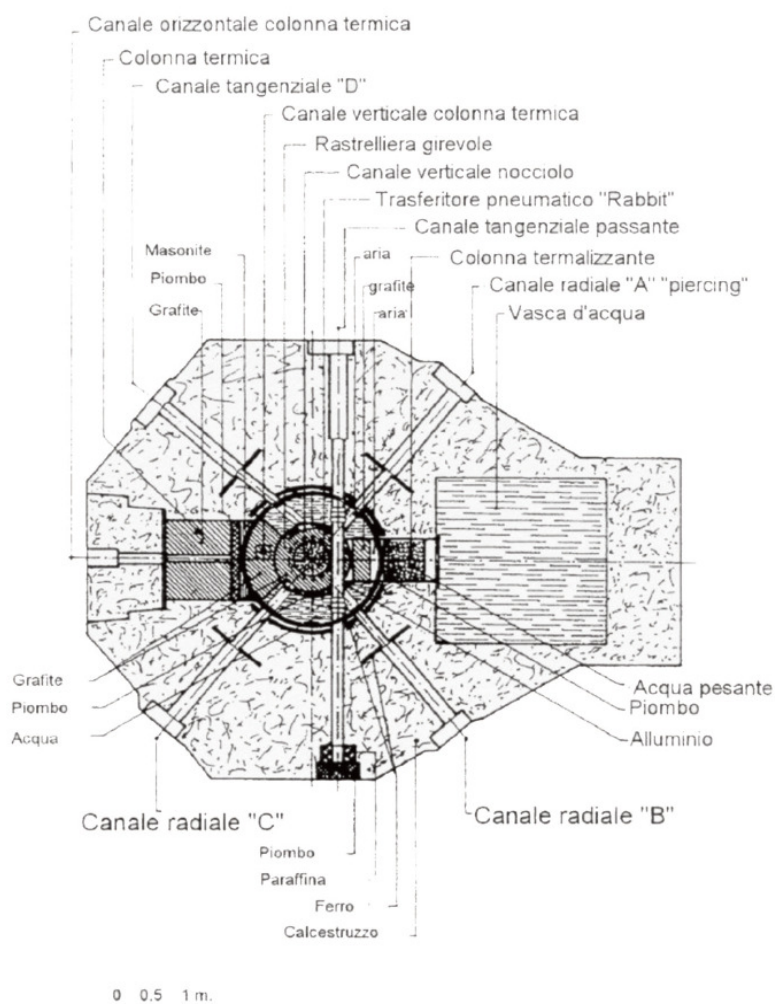
TRIGA RC-1 è stato realizzato nel 1960 nella versione a 100 kW nell'ambito dell'iniziativa USA Atoms for Peace e portato nel 1963 alla potenza di 1 MW su progetto ENEA.

È un reattore termico a piscina, con il nocciolo sistemato all'interno di un riflettore cilindrico di grafite, sul fondo di un contenitore di alluminio. Tale contenitore è riempito con acqua demineralizzata che funge da moderatore, mezzo refrigerante e schermo biologico. Il

combustibile è costituito da elementi cilindrici in lega ternaria di Zr, H e U arricchito in  $^{235}\text{U}$  al 19,9%. Di conseguenza, la moderazione non è affidata soltanto all'acqua di refrigerazione, ma anche all'idruro di zirconio della lega, responsabile dell'elevato coefficiente negativo pronto di temperatura. L'asportazione della potenza termica prodotta dal nocciolo viene effettuata per circolazione naturale di acqua. L'acqua della piscina, a cui tale potenza viene ceduta, viene mantenuta a temperatura costante per mezzo di un apposito circuito di raffreddamento munito di scambiatori di calore e di torri di refrigerazione.

Le caratteristiche principali del reattore sono:

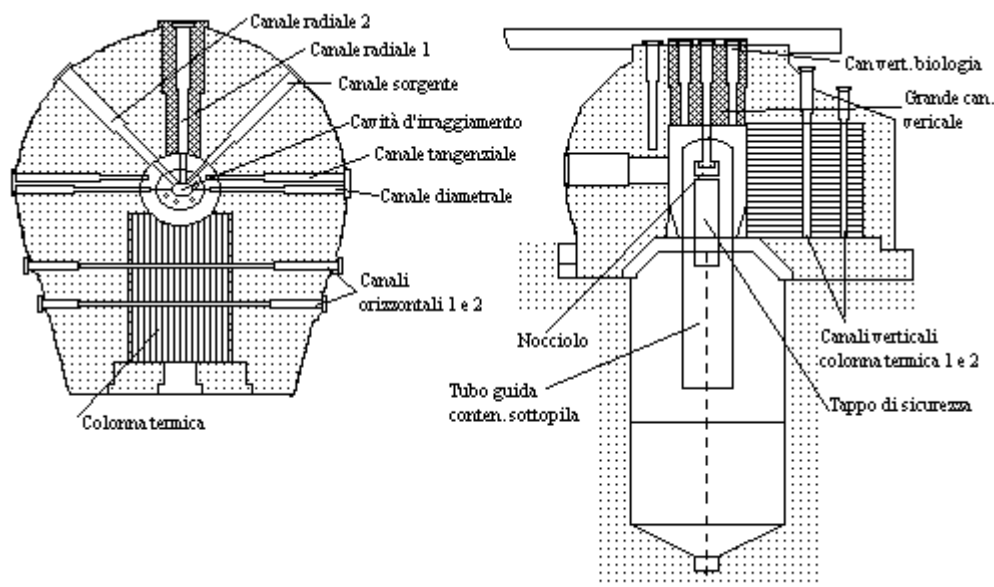
- potenza massima: 1 MW
- flusso neutronico max:  $2,7 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a 1 MW
- raffreddamento ad acqua in circolazione naturale
- la figura seguente mostra le varie locazioni d'irraggiamento



TRIGA - Sezione orizzontale del reattore

### 3 RSV TAPIRO (TAratura Plla Rapida a potenza 0)

Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO è una “facility” d’irraggiamento caratterizzata da uno spettro di neutroni veloci. Il TAPIRO, la cui prima criticità risale all'Aprile 1971, fu progettato rifacendosi come concezione generale all'AFRS (Argonne Fast Source Reactor) di Idaho Falls. Il reattore fu progettato per operare ad un livello massimo di potenza di 5 kW ed è costituito da un nocciolo di Uranio-Molibdeno altamente arricchito, da un riflettore di rame e da uno schermo biologico di calcestruzzo borato di 170 cm di spessore (figura 1). Sin dal 1971, il TAPIRO è stato impiegato per esperimenti di dimensionamento dello schermaggio di reattori veloci, test di resistenza a radiazioni di componenti elettronici, e studi sugli effetti biologici dei neutroni veloci. Il flusso neutronico massimo è di  $4 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e si ottiene al centro del nocciolo nel canale di irraggiamento diametrico. A seconda delle esigenze sperimentali in termini di spettro e di flusso neutronico è possibile utilizzare i diversi canali di irraggiamento sia verticali che orizzontali ricavati all'interno dello schermo biologico e del riflettore. Nella figura seguente sono riportate due sezioni del reattore con l'indicazione dei vari canali di irraggiamento disponibili.



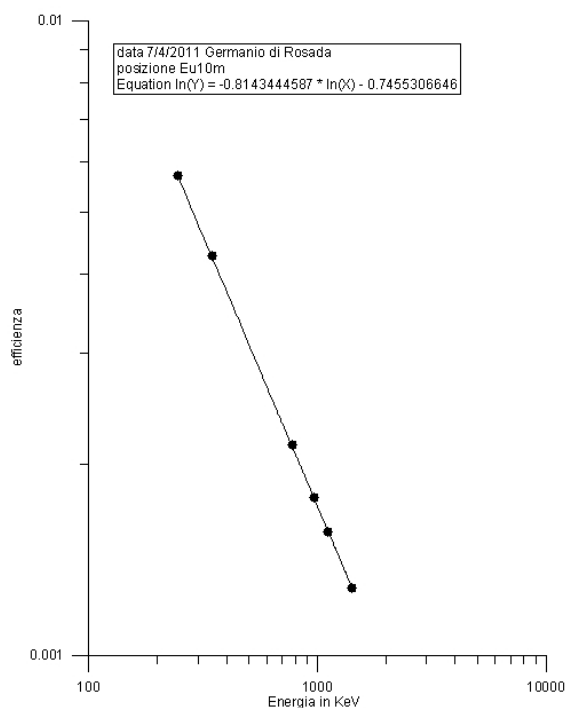
**TAPIRO: Sezioni orizzontale, a destra, e verticale, a sinistra, del reattore**

### 4 Caratterizzazione locazioni per irraggiamento neutronico

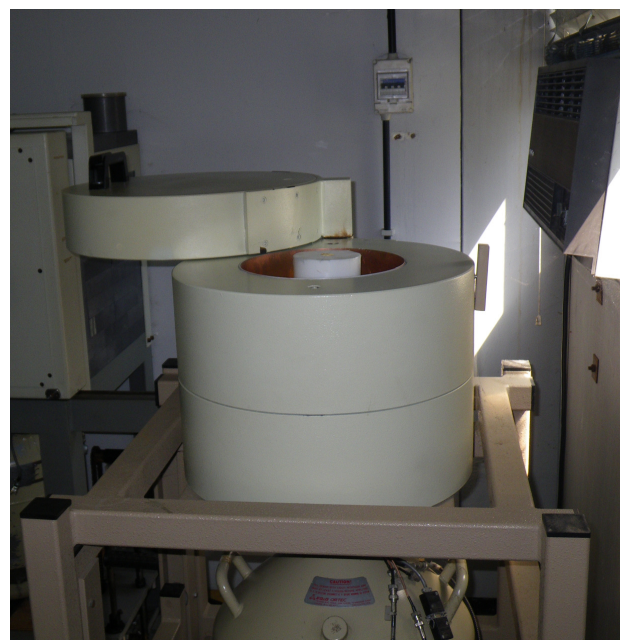
Nella prima fase dell’attività si è proceduto alla misura di efficienza di rivelazione gamma e calibrazione dei tre rivelatori  $\gamma$  HPGe al Germanio(Ge). La misura dell’efficienza è stata



eseguita nel range di energie compreso tra 200 KeV 1.2 MeV. La calibrazione è stata eseguita utilizzando una sorgente di Europio-152(<sup>152</sup>Eu). Le figure seguenti mostrano una curva di calibrazione e un apparato di misura HPGe utilizzato.



**Curva di calibrazione di uno dei tre rivelatori HPGe**



**Uno dei rivelatori HPGe utilizzati**

Le misure sperimentali, riguardanti la determinazione del rateo di fluenza neutronica sono state eseguite presso l'impianto TRIGA RC-1 nel centro ricerche ENEA della Casaccia e confrontate con le analoghe simulazioni con codice Montecarlo MCNP5.

In particolare le posizioni prese in considerazione sono state le seguenti:

- rastrelliera girevole
- rabbit
- uscita colonna termalizzante
- tubo GEO su riflettore laterale di grafite



Le misure sperimentali sono state eseguite utilizzando il metodo dell'attivazione neutronica di foglioline d'oro. Per quanto riguarda le misure sperimentali, è stata eseguita una misura del rateo di fluena neutronica termica a reattore TRIGA spento che è risultato pari a  $\phi_{th} = 4.3 \times 10^4 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con un rapporto al cadmio  $R_{Cd} = 3.0$ . Il rateo misurato di fluena neutronica termica per la posizione a 15 cm in uscita dalla colonna termalizzante alla potenza del TRIGA di 1MW ed è risultato pari a  $\phi_{th} = 1.9 \times 10^6 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Con il reattore TRIGA a 1 MW, si è misurato il rateo di fluena neutronica termica per la posizione 31 della rastrelliera girevole che è risultato essere  $\phi_{th} = 2.3 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Il rateo di fluena neutronica termica per una potenza di 10 KW del tubo GEO appoggiato al riflettore laterale di grafite. Il flusso alla base del tubo è stato di  $\phi_{th} = 4.1 \times 10^9 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La tabella seguente contiene i dati relativi alla simulazione con MCNP5 e alle misure sperimentali.

	Sperimentale @1MW $\text{n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Calcolato con MCNP5 $\text{n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
GEO	$\Phi_{th} = 4.1 \cdot 10^{11}$	$\Phi_{th} = 5.2 \cdot 10^{11}$
Rastrelliera girevole	$\Phi_{th} = 2.3 \cdot 10^{12}$	
rabbit	$\Phi_{th} = 9.5 \cdot 10^{12}$	$\Phi_{th} = 1.1 \cdot 10^{13}$
Canale centrale		$\Phi_{th} = 1.7 \cdot 10^{13}$

**Tabella riassuntiva dei dati misurati e calcolati**

E' in programma la misura del rateo di fluena neutronica per il canale tangenziale passante con il metodo dell'attivazione neutronica delle foglioline d'oro. L'acquisto di generatori di alta tensione, preamplificatori, amplificatori, rack per moduli e generatori di segnali permetterà di utilizzare rivelatori, già in nostro possesso, come il rivelatore impulsivo per neutroni al trifluoruro di boro ( $\text{BF}_3$ ). E' in programma anche una serie di misure con un nuovo rivelatore  $\gamma$  allo Ioduro di Sodio ( $\text{NaI(Tl)}$ ).


## 5 Caratterizzazione nuovi rilevatori neutronici

I rivelatori a diamante e, in particolare, il diamante sintetico a singolo cristallo (SCD, "Single Crystal Diamond") prodotto per deposizione chimica da fase vapore (CVD, "Chemical Vapor Deposition"), presentano una estrema resistenza alla radiazione ("radiation hardness"). Per le sue caratteristiche meccaniche, ottiche, termiche ed elettriche combinate con la sua resistenza

alle radiazioni lo rendono il candidato ideale a operare in ambienti ostili e il materiale più adatto a sostituire efficacemente il silicio per la realizzazione di sistemi operanti in tali ambienti. Recenti studi effettuati su tali tipi di rivelatori hanno dimostrato chiaramente la capacità dei detectors di poter operare stabilmente, senza alcuna degradazione delle prestazioni spettroscopiche, e in modo riproducibile, per la diagnostica neutronica. Utilizzando questo nuovo tipo di rivelatori si vuole realizzare un sistema di monitoraggio della fluensa neutronica presso gli impianti TRIGA e TAPIRO da utilizzare nei processi di qualificazione di componenti irraggiati. L'attività può essere divisa in due fasi la prima consiste nella caratterizzazione della risposta di questo tipo di rivelatore quando sono sottoposti al flusso neutronico del reattore e la seconda nella valutazione della loro applicazione come possibile monitore di fluensa neutronica.

I rivelatori "Single Crystal Diamond" a diamante sintetico SCD sono dei rivelatori a semiconduttori che sono in grado di rivelare i neutroni veloci grazie alla reazione  $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$  (Q-value = 5.7 MeV) e quindi alla produzione di una particella  $\alpha$ . Questo tipo di rivelatori sono di per sé in grado di rivelare i neutroni veloci e per ottenere sensibilità anche ai neutroni lenti vengono ricoperti con un sottile strato di materiale convertitore come ad esempio il LiF arricchito in  $^6\text{Li}$  al 95%. Il materiale convertitore risulta trasparente ai neutroni veloci mentre con i neutroni lenti si ha la reazione  $^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$  e la conseguente rivelazione delle particelle  $\alpha$  secondarie. Le misure di caratterizzazione effettuate con particelle  $\alpha$  da 5.5 MeV emesse dal  $^{241}\text{Am}$  hanno evidenziate delle ottime qualità in termini sia di prestazioni spettroscopiche che di stabilità temporale della risposta. Infine diverse prove effettuate con sorgenti di diverso tipo (Am-Be, Co-60, Cs-137 e Cf-242) hanno dimostrato che questo tipo di rivelatore riescono a separare molto bene i contributi provenienti dalle radiazioni gamma da quelli dei neutroni.

Le esperienze sperimentali che si intendono realizzare consistono nel posizionare il rivelatore a diamante all'interno dei diversi canali di irraggiamento dei reattori e in diverse posizioni allo scopo di caratterizzare un rivelatore a diamante sia in relazione all'intensità del flusso neutronico che dello spettro neutronico. Le misure ottenute verranno confrontate con i risultati sperimentali ottenuti con metodi standard quali la misura dell'attivazione neutronica di foglioline metalliche e con le simulazioni Monte Carlo realizzate con il codice MCNPX (versione 2.6.0). A tale scopo, oltre all'acquisto di due rivelatori a diamante, si è provveduto

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	9	35

all'acquisto di moduli elettronici dello standard NIM, standard tipicamente utilizzato in campo nucleare, per la realizzare di una catena di misura che permetta una acquisizione dei dati adeguata.


La caratterizzazione ci permetterà di avere sia indicazioni sulla posizione più vantaggiosa per il monitoraggio della fluena neutronica dei reattori che la verifica della linearità della risposta a potenze e quindi a flussi neutronici diversi.

## **6 Analisi danneggiamento strumentazione elettronica da flussi neutronici**

L'impianto TAPIRO è stato utilizzato per caratterizzare il comportamento di componenti elettronici in seguito al danneggiamento neutronico indotto da neutroni. Lo scopo è quello di valutare la resistenza alle radiazioni di un set di componenti elettronici in termini di stabilità di funzionamento e stabilire la loro possibile applicazione in campo aerospaziale. A tal fine si è esaminata la possibilità di utilizzare il canale radiale 1 (CR1) del TAPIRO per l'irraggiamento di schede contenenti fino a 8 componenti elettronici non alimentati per il raggiungimento delle fluenze significative per tali tipo di test. Sono state effettuate delle simulazioni Monte Carlo con il codice MCNPX (versione 2.6.0) della fluena necessaria a indurre un danneggiamento neutronico sui componenti equivalente a quella di un fascio di neutroni mono-energetico da 1 MeV su silicio. I risultati hanno indicato la fattibilità di questo tipo di esperienze utilizzando il canale radiale 1 e da test di irraggiamento su alcuni campioni si è constatato che le fluenze richieste vengono raggiunte, alla massima potenza attualmente disponibile di 1 kW, in tempi compatibili con le disponibilità del personale dell'impianto ( $\leq 3$  ore/irraggiamento).

La stima della fluena equivalente a 1 MeV si è ottenuta integrando lo spettro neutronico avuto da MCNPX e la funzione di danneggiamento  $FD_{Si}(E)$  come riportato nello standard ASTM E 722.

Per avere una adeguata certificazione della fluena raggiunta è stata seguita una procedura che prevede, per ogni irraggiamento, l'utilizzo di foglioline d'oro posizionate nelle vicinanze dei componenti elettronici. La misura della emissione gamma dovuta all'attivazione neutronica delle foglioline ci ha permesso di risalire alla fluena neutronica fornita e da questa, mediante dei coefficienti di proporzionalità ricavati dalle simulazione Monte Carlo, la fluena equivalente a 1 MeV su silicio.


 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	10	35

L'impianto è attualmente utilizzato per questo tipo di irraggiamenti che prevedono, al termine degli irraggiamenti, una serie di test elettronici sulle caratteristiche elettroniche al fine di verificarne la deviazione dalle caratteristiche di buon funzionamento in seguito al danneggiamento neutronico indotto.

## **7 Sistema di acquisizione e monitoraggio dati di processo e sperimentali**

Le attività descritte nella presente sezione si collocano nel contesto delle innovazioni tecnologiche volte alla realizzazione di sistemi di monitoraggio digitali per impianti nucleari. Gli impianti nucleari in questione sono il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 ed il reattore TAPIRO RSV, entrambi siti nel Centro Ricerche ENEA della Casaccia. Il principale obiettivo da perseguire quando si parla di impianti nucleari è la sicurezza, intesa come protezione da eventuali incidenti e malfunzionamenti. E' chiaro, quindi, che i sistemi di monitoraggio ed analisi di un impianto svolgono una funzione importantissima. La digitalizzazione degli strumenti di controllo e monitor è sicuramente il passo decisivo verso un sistema integrato di gestione dell'impianto nucleare, caratterizzato da una più facile interpretazione dei dati reali da parte dell'utente. La scelta di adottare una visualizzazione digitale dei segnali predispone il sistema al raggiungimento di un elevato grado di interazione con l'utente. La console classica di gestione, costituita da strumentazione analogica deve essere progressivamente sostituita con strumentazione di tipi digitale, in grado, fra l'altro, di fornire la registrazione automatica dei dati. La necessità pratica di tale evoluzione tecnologica si deve però coniugare con la realtà di dover mantenere un elevato standard di sicurezza e soprattutto non apportare variazioni a quella che è la versione della console prevista nella licenza di esercizio dell'impianto. Nel nostro progetto si è tenuto in conto di tutti questi fattori decidendo di implementare un sistema digitale di monitor che lavori in parallelo con la consolle di gestione tradizionale. Sostanzialmente il nuovo sistema non è in grado di controllare il reattore, ma attua solo funzioni di monitoraggio e registrazione delle grandezze che caratterizzano l'impianto nei suoi possibili stati di funzionamento. Il nuovo sistema di monitoraggio non altera le funzionalità della console di gestione, garantendo così la conformità dell'impianto alla licenza di esercizio.

L'architettura del sistema di monitoraggio digitale (SMD) è costituita da due parti ben distinte: una prima che consente l'acquisizione dei dati, la seconda che ne gestisce la trasmissione e visualizzazione. L'identificazione di queste due tipologie di reti tiene conto di

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	11	35


uno degli scopi dell'implementazione del SMD: la fruizione dei dati relativi all'attività dell'impianto anche lontano dalla sala controllo. Questo ovviamente sempre nel rispetto della normativa relativa al tipo di dati trattati.

La rete di acquisizione dei dati sperimentali è costituita da circuiti derivati direttamente dalla strumentazione in console. Tutti i segnali sperimentali vengono campionati rispettando il vincolo stretto di non perturbare la console di gestione. Il circuito permette semplicemente di avere una duplicazione di tutti i segnali presenti. Ovviamente i segnali elettrici, debitamente trattati, devono essere elaborati da un opportuno strato software che ne cura anche la presentazione finale per l'utente.

I dati acquisiti possono essere trasferiti utilizzando una rete ethernet. La caratteristica principale di un sistema così fatto è quella comune a tutti i sistemi distribuiti: i dati possono essere fruiti da sistemi e software delocalizzati rispetto all'impianto e che si accreditino presso quest'ultimo per garantire un elevato livello di sicurezza e riservatezza.

Il lavoro svolto si è articolato in due fasi: nella prima è stato sviluppato un prototipo di acquisizione e gestione dei dati sperimentali provenienti dalla sala controllo del reattore TRIGA RC-1; nella seconda è stata implementata una infrastruttura di monitor per tutte le grandezze presenti in consolle e sviluppata una piattaforma applicativa per la presentazione dei dati stessi utilizzando hardware e software dotati di un elevato grado di sicurezza e stabilità, quali sono quelli proposti dalla National Instruments.


Il prototipo sviluppato nella prima parte è stato presentato alla conferenza RRFM 2011 tenutasi a Roma. L'articolo ha mostrato la possibilità di implementare un sistema digitale basato sul framework Labview, che fosse in grado di gestire con un'interfaccia utente ben definita, i dati provenienti sotto diversa forma dall'impianto. Con tale affermazione di vuol sottolineare l'adattabilità dell'applicazione di lavorare con : a) dati derivanti direttamente dal sistema di acquisizione collegato con la strumentazione presente in console; b) dati letti da file prodotti dagli strumenti già digitalizzati presenti in console; c) dati derivanti da andamenti simulati per le grandezze elettriche presenti in console (correnti e tensioni). Il punto b) è un'implementazione tipica dei sistemi di gestione che viene identificata con il termine di analisi del file di Log. La scelta di implementare queste tre diverse funzionalità di interfaccia del software risiede nella finalità di utilizzo dell'impianto stesso. I reattori di tipo TRIGA sono utilizzati, tra l'altro, per training di personale tecnico preposto alla conduzione di

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	12	35

impianti. In questo senso, la possibilità di acquisire dati e trasmetterli a stazioni remote di visualizzazione ed analisi rappresenta una potenzialità in più dal punto di vista della fruizione dell'impianto. La presenza in sala console non rappresenta più un vincolo per visualizzare la strumentazione di misura. Ovviamente, come è stato sottolineato in precedenza, tale sistema remoto non ha alcuna funzionalità attuatrice o di controllo. Si tratta di semplici client in grado di visualizzare interfacce per la strumentazione di misura. La scelta di Labview quale piattaforma di sviluppo per l'interfaccia applicativa si basa sulla sua versatilità sia di programmazione che di interfaccia con la strumentazione di laboratorio. Il prototipo è stato utilizzato per la visualizzazione di dati di temperatura provenienti da file di log di salite a potenza, nello specifico ad 1MW. La possibilità di scegliere il tipo di dati in ingresso facilita i diversi utilizzi dello strumento. Leggere un file di log, per esempio, può essere utile nel caso si voglia studiare in dettaglio l'evoluzione temporale di variabili (ad esempio la temperatura del pozzo reattore) durante una fase del reattore. Nell'ottica del training sull'impianto, la possibilità di "rivedere" applicativamente una situazione che ha portato ad uno "scram", ovvero una salita a potenza senza problemi, può essere utile per approfondire particolari azioni o procedure finalizzate alla conoscenza ed al funzionamento dell'impianto.

Successivamente, alla luce dell'interesse suscitato per l'applicazione (anche altri gruppi di lavoro hanno presentato progetti simili) e spinti dalla necessità di far evolvere il monitoring dell'impianto verso tecnologie digitalizzate avanzate, si è proceduto con l'acquisto di un sistema di acquisizione dati più importante. In tal senso si colloca l'acquisto del Compact RIO della National Instruments. Si tratta di un sistema embedded riconfigurabile per il controllo e l'acquisizione dati. L'architettura robusta di Compact RIO include moduli I/O, uno chassis FPGA (Field-Programmable Gate Array) riconfigurabile e un controller real-time. Inoltre, Compact RIO è programmato con gli strumenti di programmazione grafica di LabVIEW e può essere utilizzato in un'ampia gamma di applicazioni di monitoraggio e controllo embedded. L'acquisto di moduli a 32 canali sia analogici che digitali ci ha permesso di progettare un sistema per l'acquisizione di tutti i segnali presenti in console. A differenza del prototipo, ora si campionano tutti i segnali, compresi gli allarmi. L'interfaccia applicativa, realizzata con Labview, è una riproduzione fedele della console di gestione.

L'applicazione, basata, come detto, su piattaforma Labview, permette di avere un'elevata versatilità rispetto alle modifiche di interfaccia e di implementazione della logica di analisi dei segnali. E' immediato, avendo un insieme di n segnali, costruire dei grafici per la

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	13	35

visualizzazione contemporanea, magari mettendo in relazione determinati aspetti al fine di stilare un'analisi statistica .

Il progetto finale consta di tre parti fondamentali: la prima di realizzazione del circuito elettrico per l'acquisizione dei segnali; la seconda di creazione dell'interfaccia applicativa con Labview e la terza di gestione della trasmissione dei dati. Il secondo punto prevede un accurato studio della piattaforma Labview ed in particolare del linguaggio G, Graphic, per implementare le interfacce strumentali. Tale studio si rende utile per tutte le successive implementazioni applicative. La versione del software è la 10, l'ultima disponibile e che permette un elevato grado di integrazione con tutti i linguaggi di sviluppo ad oggi presenti ed accreditati per lo sviluppo di procedure di monitor e controllo di strumentazione di laboratorio. I segnali acquisiti e trattati attraverso componenti hardware (nella fattispecie si tratta di connettori National Instrument) possono essere visualizzati tramite semplici PC sui quali è in esecuzione il semplice browser per le applicazioni web standard. L'applicazione che acquisisce ed analizza i dati è installata sul processore del compact RIO: i client sono semplici visualizzatori. In questo modo, è evidente la possibilità che lo stesso segnale possa essere visualizzato da più client in contemporanea: tutto ciò si traduce nella possibilità che più persone possano lavorare contemporaneamente su client diversi.

Il sistema di monitoraggio, prototipato utilizzando i dati del reattore TRIGA, può essere integrato facilmente con l'impianto TAPIRO.

Altro motivazione forte alla base dell'acquisto del sistema di acquisizione ed elaborazione dati della National è il progetto di gestione delle facilities nucleari presenti sugli impianti TRIGA e TAPIRO. Nel caso specifico si tratta di postazioni per la radiografia e tomografia neutronica. Le applicazioni per gestire gli esperimenti saranno sviluppate sulla piattaforma Labview ed installate sul Compact RIO. In questo caso, a differenza dell'implementazione del sistema di monitoraggio, avremo dei sistemi attuatori, in grado di gestire la movimentazione dei motori che permettono l'irraggiamento del campione. Anche in questo caso, la tecnologia permette di gestire le applicazioni da remoto: il core applicativo, il run time, verrà installato sul Compact RIO, che ancora una volta sarà l'unico componente hardware a contenere e gestire tutta la logica. Ogni utente potrà usufruire delle misure semplicemente collegandosi tramite cavo ethernet al Compact RIO e visualizzando i dati tramite apposite interfacce grafiche, sviluppate con Labview .



## 8 Radiografia e tomografia neutronica

### Radiografia Neutronica

La radiografia neutronica rappresenta un efficace metodo d'indagine non distruttivo in grado di fornire immagini e quindi evidenziare le caratteristiche strutturali interne di un campione (oggetto da analizzare), investito da un fascio di neutroni.

Negli ultimi anni tale tecnica ha ricevuto un notevole sviluppo e diffusione, ciò dovuto in pratica alle intrinseche caratteristiche che la fanno preferire, in determinate situazioni, alle classiche tecniche a raggi X o  $\gamma$ .

In particolare la differente attenuazione che presentano i neutroni rispetto alla radiazione X da parte della materia, produce informazioni differenti e spesso complementari; infatti, mentre nella radiazione X l'attenuazione del fascio è legata esclusivamente ad effetti dovuti agli orbitali a livello atomico, (e quindi funzione di  $Z$ ), nel caso dei neutroni invece, l'attenuazione della radiazione è legata esclusivamente all'interazione dei neutroni con il nucleo e quindi dipendente dal nucleo bersaglio e dall'energia del neutrone incidente.

La radiazione quindi attraversa la materia dell'oggetto in esame e ne risulta attenuata, in particolare, materiali leggeri (basso numero di massa) presentano un'attenuazione maggiore rispetto ad elementi più pesanti (figura 8.1): i materiali idrogenati in particolar modo, presentano un elevato coefficiente d'attenuazione, e tale caratteristica consente di rivelare oggetti ad alto contenuto d'idrogeno all'interno di contenitori metallici spessi, i quali (più pesanti), risultano essere quasi trasparenti nei confronti della radiazione.

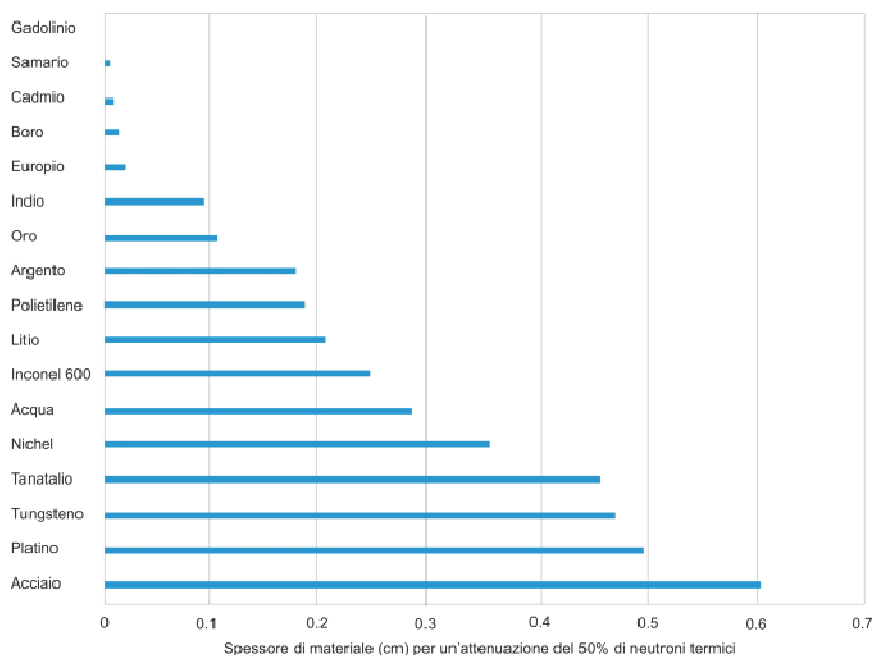


Figura 8.1

Una rappresentazione elementare di una radiografia neutronica è riportata in figura 8.2:

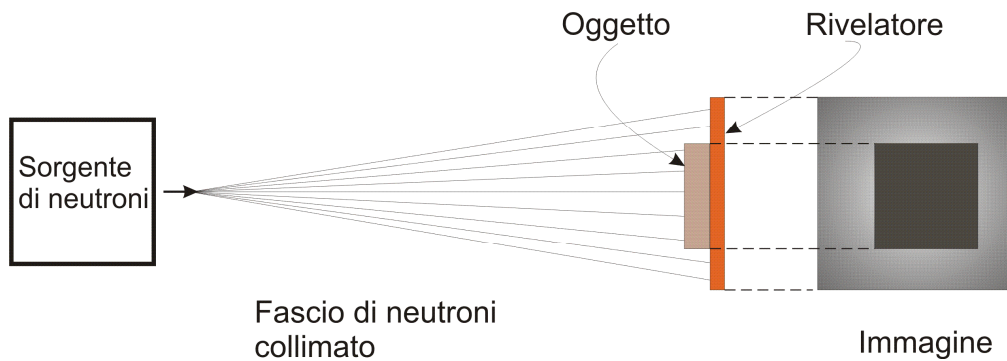
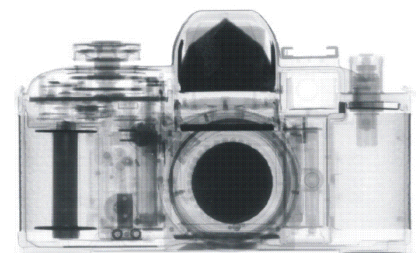


Figura 8.2

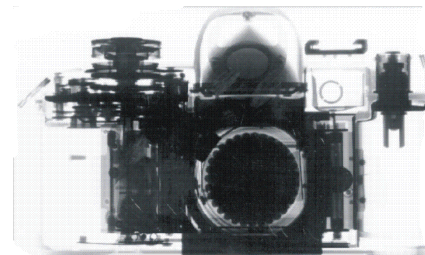
Quindi riassumendo, i punti importanti che caratterizzano il coefficiente d'attenuazione del fascio di neutroni, sono:

- Valori elevati per elementi leggeri;
- Non variare progressivamente con la densità ed il peso atomico (ciò avviene invece per i raggi X e  $\gamma$ ).

Nella figura 8.5 è riportato un esempio di radiografia neutronica paragonata anche ad una immagine ottenuta mediante radiografia X.



Radiografia neutronica



Radiografia X

Figura 8.5

### Tomografia Neutronica

La tomografia neutronica è una particolare tipo di radiografia a neutroni caratterizzata dal fatto che l’oggetto d’indagine è posto su di un piano ruotante, per mezzo del quale è possibile ottenere più immagini radiografiche, ognuna per ciascun angolo di rotazione del piano.

In questo modo è possibile ricostruire in tre dimensione la struttura interna ed esterna dell’oggetto, mediante appositi algoritmi.

Nella figura 8.7 sono riportati alcuni esempi di ricostruzione tridimensionale utilizzando tecniche di tomografia neutronica.

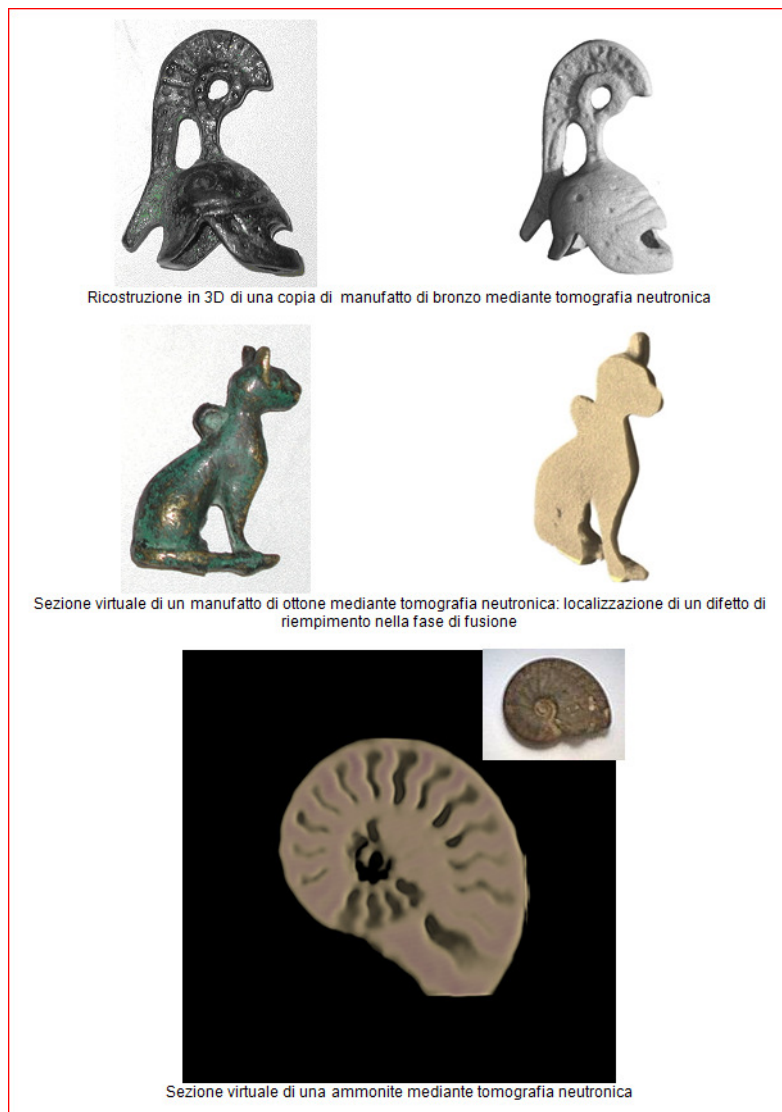



Figura 8.7

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	17	35

### Sorgente Neutronica

L'utilizzo del reattore Triga RC-1 come sorgente di neutroni, rappresenta una soluzione migliore rispetto all'utilizzo ai radioisotopi e agli acceleratori, in quanto è possibile ottenere eccellenti fasci di neutroni, vantaggiosi per le applicazioni neutronigrafiche.

I punti di forza del reattore sono:

- La possibilità di ottenere intensi valori di flusso neutronico;
- La produzione di neutroni con energie che vanno dalla zona fredda alla zona veloce, consente di ottenere differenti facilities neutronigrafiche;

### Collimatore


I neutroni a differenza delle particelle cariche (elettroni, ioni) non possono essere focalizzati per via elettromagnetica, risulta quindi necessario realizzare uno specifico collimatore per neutroni, che permette di collimare il fascio sull'oggetto da analizzare.

Per consentire solo ai neutroni che entrano dall'apertura d'ingresso di poter uscire dal collimatore, è necessario che le pareti interne siano rivestite da un materiale tale da:

- Impedire l'ingresso dei neutroni dalle pareti stesse del collimatore;
- Ridurre lo scattering di basso angolo dei neutroni del fascio che interagiscono con le facce interne delle pareti stesse (angolo critico di riflessione);
- Rendere la radiazione secondaria tale da non pregiudicare la qualità del sistema radiografico.

Il collimatore realizzato nella facility neutronigrafica del Triga di Casaccia, durante la fase di caratterizzazione, ha subito opportune modifiche ed ottimizzazioni, dato che i risultati sperimentali hanno messo in luce una distribuzione spaziale del fascio non omogenea, ed un rapporto cadmio ridotto.

Il collimatore è stato realizzato all'interno del canale tangenziale passante del reattore (figure 8.8, 8.9). Il canale è ricavato dallo schermo biologico di calcestruzzo del reattore nucleare e realizzato con alluminio del diametro di 152 mm, nella parte in prossimità del nocciolo, e in acciaio inossidabile del diametro di 203 mm, per la parte restante (verso la finestra di uscita figura 3.6).

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	18	35

Le due parti del canale, quella in alluminio e quella in acciaio sono unite mediante flangia.

Il collimatore del diametro attivo di 140 mm è alloggiato all'interno di un tubo di alluminio, (materiale con la proprietà d'essere trasparente ai neutroni) il quale ha uno spessore di 5 mm ed una densità di 2 g/cm<sup>3</sup>. La sua lunghezza è pari a quella del canale.


Il fascio di neutroni è estratto dal nocciolo del reattore tramite un apposito scateratore, realizzato in grafite (buono scattering, e basso assorbimento), ed inviato all'ingresso del canale.

Il flusso disponibile all'ingresso del collimatore, anche se prevalentemente termico, possiede comunque neutroni veloci e gamma. Per tale ragione è stata effettuata una ottimizzazione al fine di eliminare il più possibile tali radiazioni indesiderate.

Il collimatore è costituito da una parte collimante del tipo divergente vuota per tutta la sua lunghezza, circondata da materiali diversi ognuno con specifica funzione (figure 8.9-8.14), e da una zona precollimatore la cui funzione è quella di “modellare” opportunamente il fascio.

Gli elementi costituenti il collimatore sono:

- Il piombo, la cui funzione è quella di ridurre la componente gamma del fascio; tale funzione è esplicata anche dal bismuto;
- Filtro di bismuto (prima opzione) utilizzato come filtro per i gamma;
- Anelli di polietilene borato, i quali hanno la funzione di assorbire, e quindi eliminare i neutroni con traiettoria esterna a quella del fascio;
- Il polietilene, la cui funzione è quella di termalizzare i neutroni epitermici e veloci presenti nel fascio; in particolare il polietilene è un polimero costituito da una lunga catena d'atomi di carbonio con due atomi d'idrogeno (legati a ciascun atomo di carbonio), il processo di termalizzazione viene quindi “realizzato” per lo più dall'interazione dei neutroni con i nuclei d'idrogeno (nell'interazione con l'idrogeno, il neutrone può con un solo urto diventare termico, nel caso del carbonio invece per la termalizzazione del neutrone sono necessarie in media più interazioni);

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	19	35

- La presenza dell'acciaio nel collimatore risulta necessaria per realizzare un'opportuna schermatura dai gamma secondari prodotti dalle reazioni di cattura che avvengono con il boro presente nel polietilene borato;
- Blocco di grafite (seconda opzione) utilizzato per termalizzare ulteriormente i neutroni, e omogeneizzare la distribuzione spaziale del fascio sulla finestra d'uscita (illuminatore).

Descritti i diversi materiali, consideriamo ora come questi sono disposti e come agiscono sul fascio di neutroni (figura 8.10, 8.11, e 8.12): all'ingresso del collimatore (precollimatore) i neutroni incontrano il primo anello di polietilene borato dello spessore di 17 mm ed una densità di 2.64 g/cm<sup>3</sup> il quale elimina i neutroni esterni alla traiettoria d'ingresso del collimatore; a seguire è presente uno strato d'acciaio in cui è annegato un cilindro di bismuto (configurazione alternativa), l'acciaio permette di attenuare la radiazione gamma secondaria generata da reazioni di cattura radiativa con il boro presente nel primo strato di polietilene borato.

Il cilindro di bismuto, utilizzato nella configurazione alternativa, e poi sostituito dalla grafite, permette di attenuare la radiazione gamma senza influenzare ulteriormente i neutroni; il bismuto nel collimatore è disposto in particolare in corrispondenza di variazioni della forma geometrica della struttura interna del collimatore, quindi in questo modo risulta possibile ridurre lo streaming dei gamma.

Dall'analisi dei risultati ottenuti durante le campagne di caratterizzazione, è emersa la necessità di uniformare la distribuzione spaziale del fascio di neutroni, e di aumentare il rapporto cadmio, inoltre l'entità dei gamma, senza bismuto nel collimatore, è risultata trascurabile, quindi la presenza del filtro non risulta necessaria.

Il blocco grafite, di forma cilindrica, della densità 1.670 g/cm<sup>3</sup> e di purezza nucleare ( $\sigma_c=0.003$  barns) è stato ottenuto, mediante lavorazione meccanica, da un parallelepipedo. Di seguito alla grafite è presente uno strato di polietilene della lunghezza di 290 mm ed una densità di 0.92 g/cm<sup>3</sup>, il quale permette di termalizzare la componente epitermica e veloce dello spettro.

Tale strato di polietilene presenta per tutta la sua lunghezza una zona vuota cilindrica, in asse con il canale, del diametro di 50 mm in modo da non attenuare eccessivamente il flusso di neutroni.

A seguire il polietilene è presente l'apertura d'ingresso del canale divergente del collimatore che si estende per 224 mm; l'apertura d'ingresso ha un diametro di 20 mm.

La finestra d'ingresso è realizzata con un anello di polietilene borato, in modo da eliminare i neutroni provenienti dallo strato precedente di polietilene, con traiettoria differente da quella assiale del collimatore.

A seguire sono disposti strati di piombo e polietilene borato, in modo da filtrare il fascio dai gamma ed eliminare i neutroni con traiettoria estranea a quella principale.

La finestra d'uscita, (disposta sulla parete esterna di calcestruzzo del reattore) rappresentata in figura 8.13, è stata realizzata in alluminio, ed ha un diametro attivo di 190 mm.

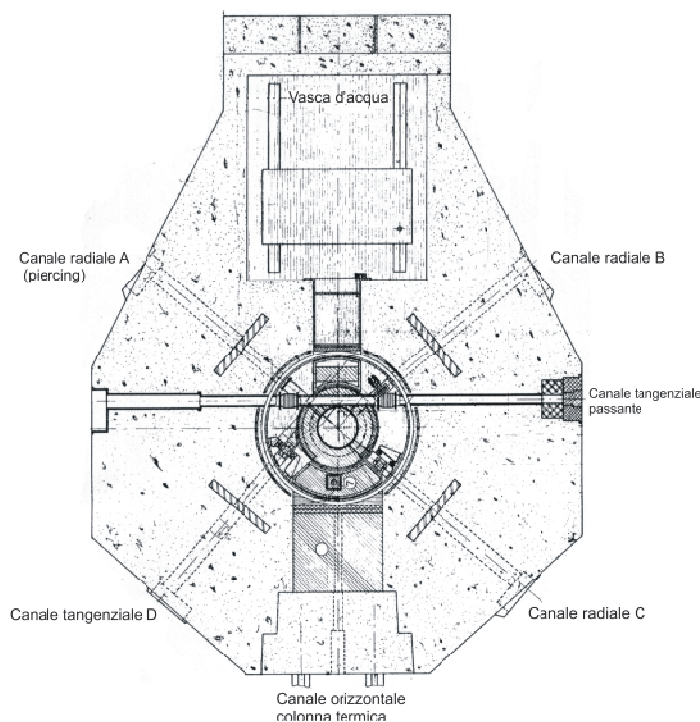


Figura 8.8



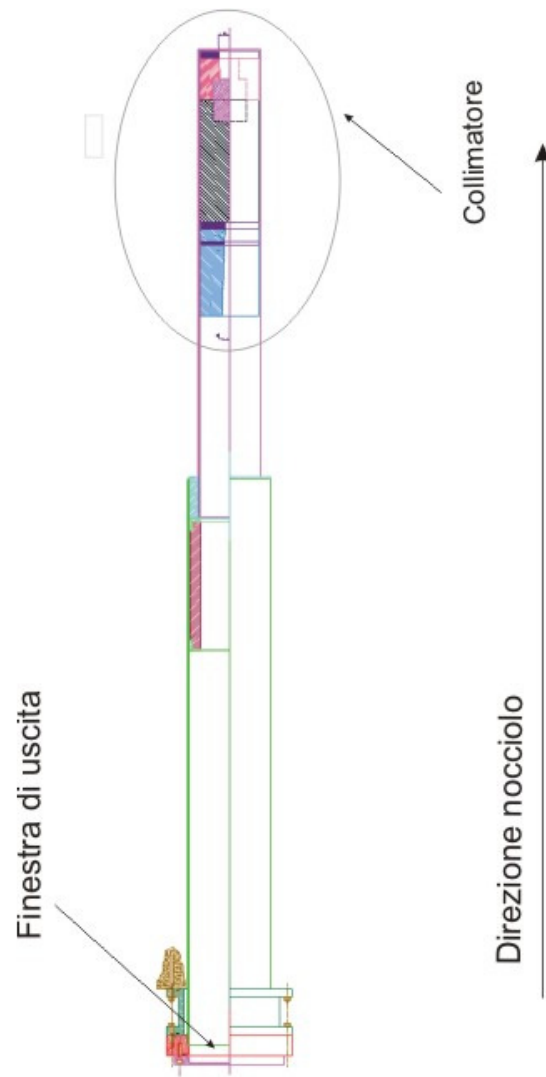


Figura 8.9

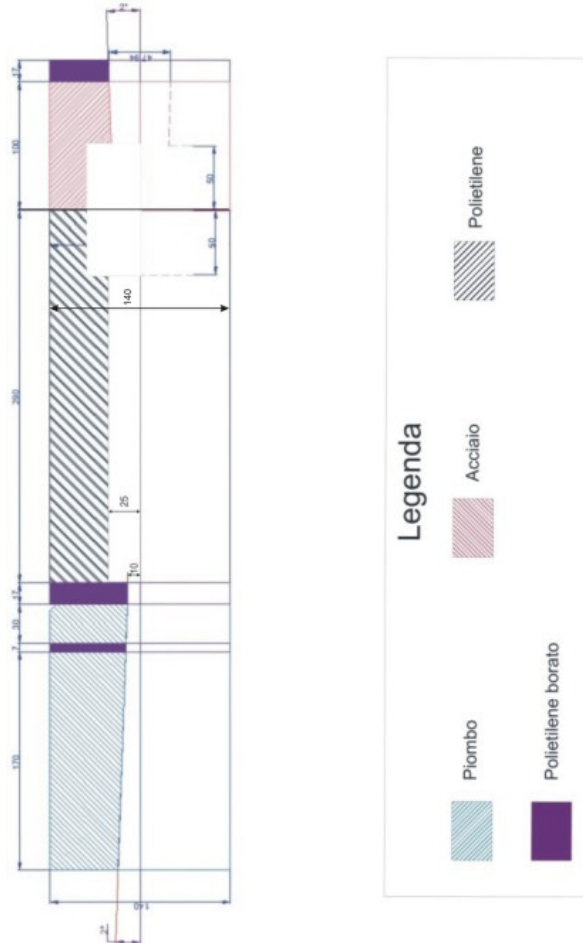


Figura 8.10

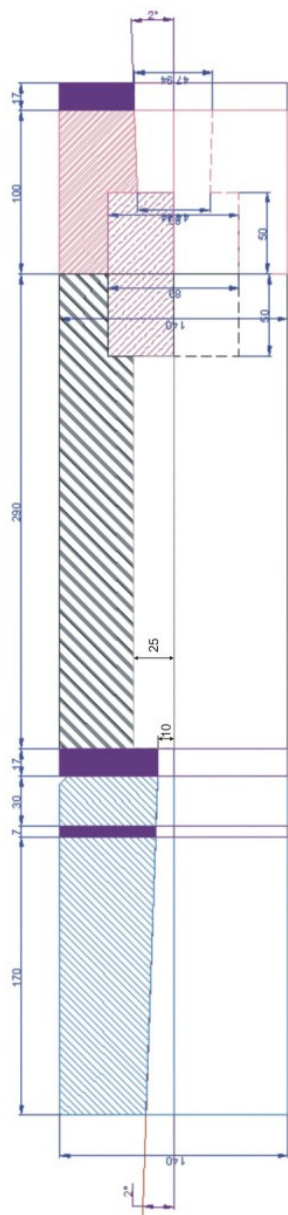


Figura 8.11

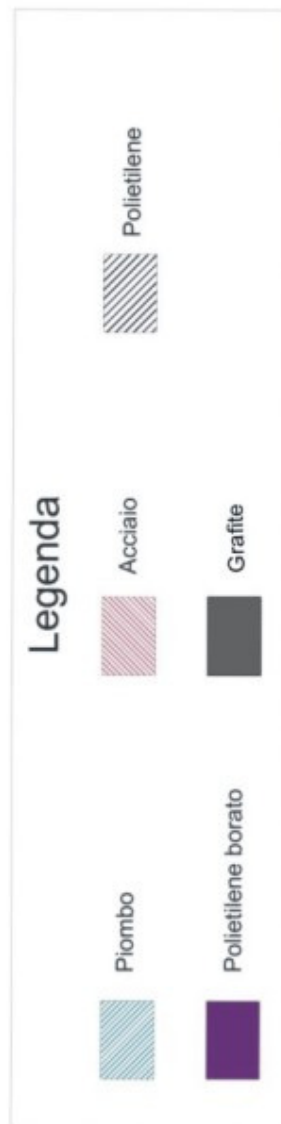
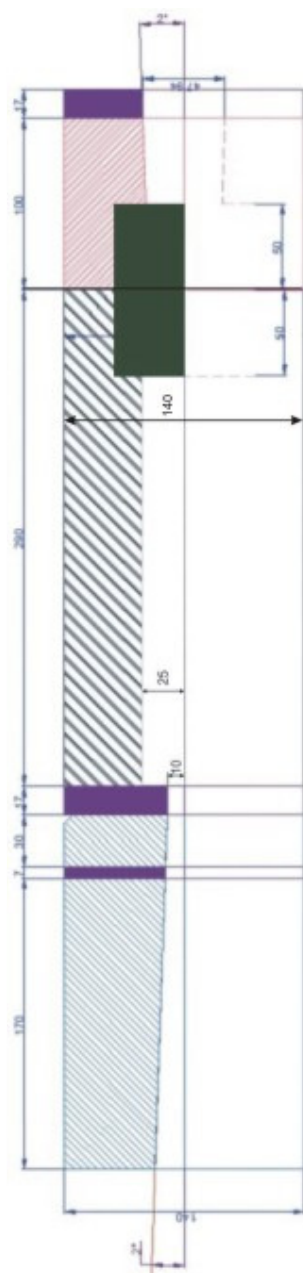


Figura 8.12

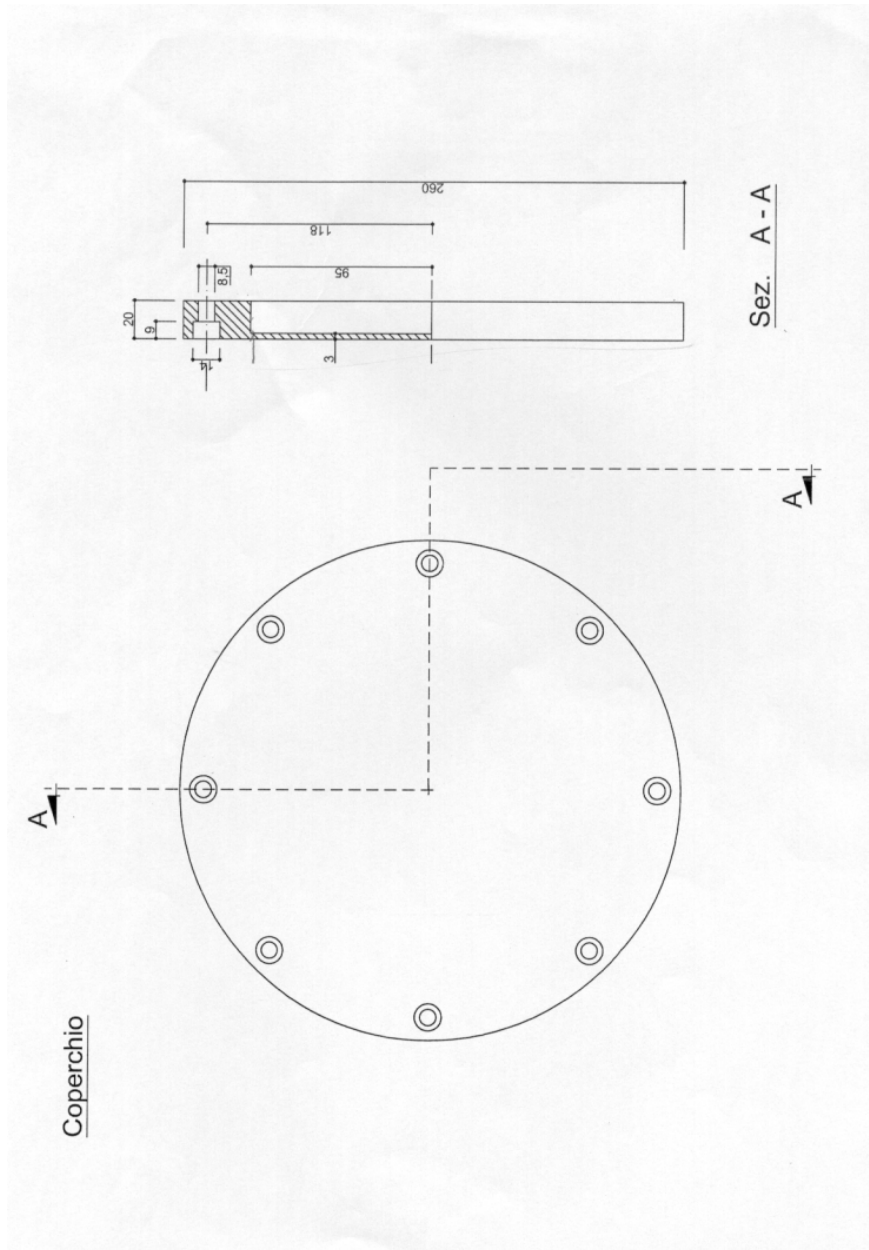


Figura 8.13

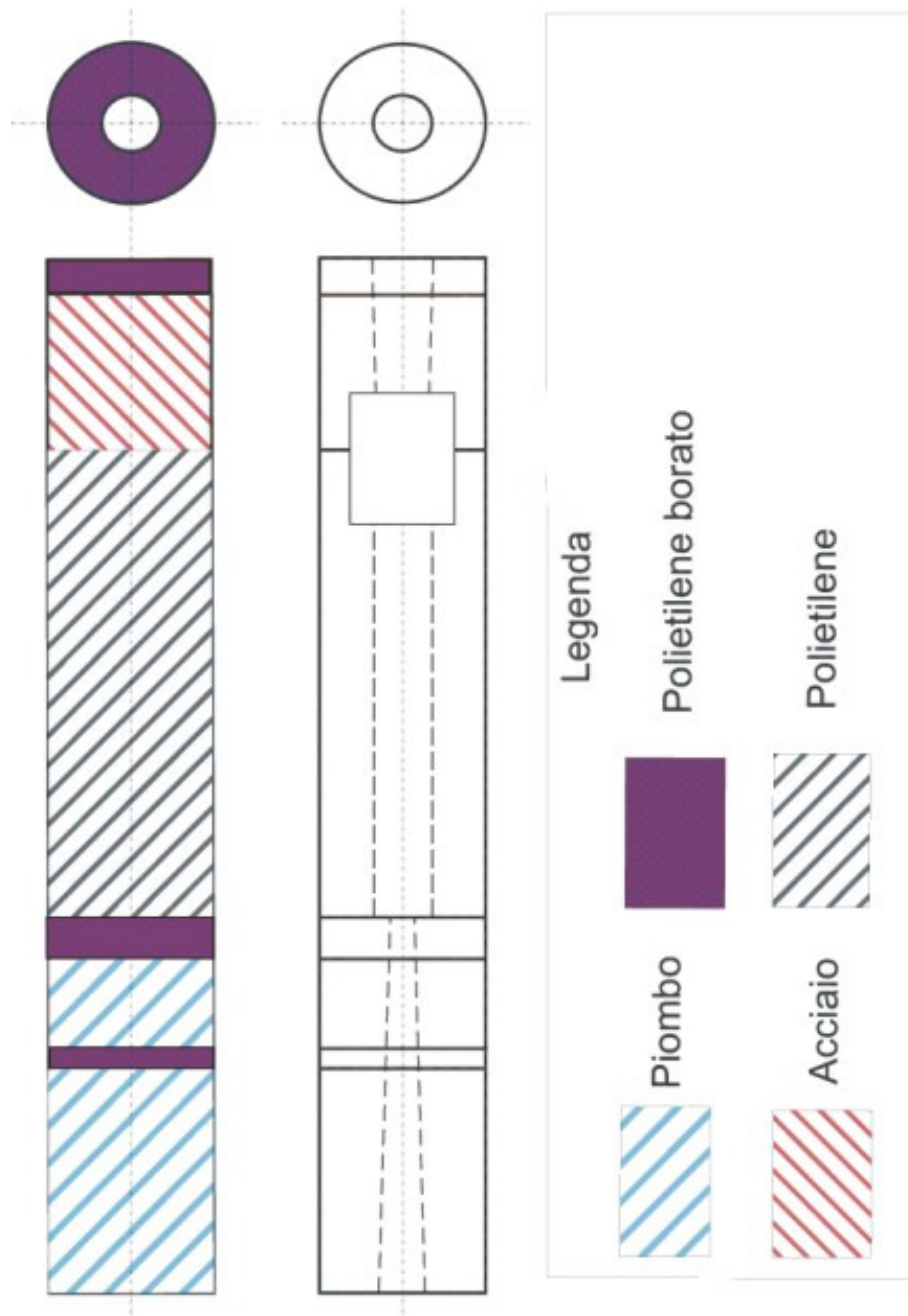


Figura 8.14

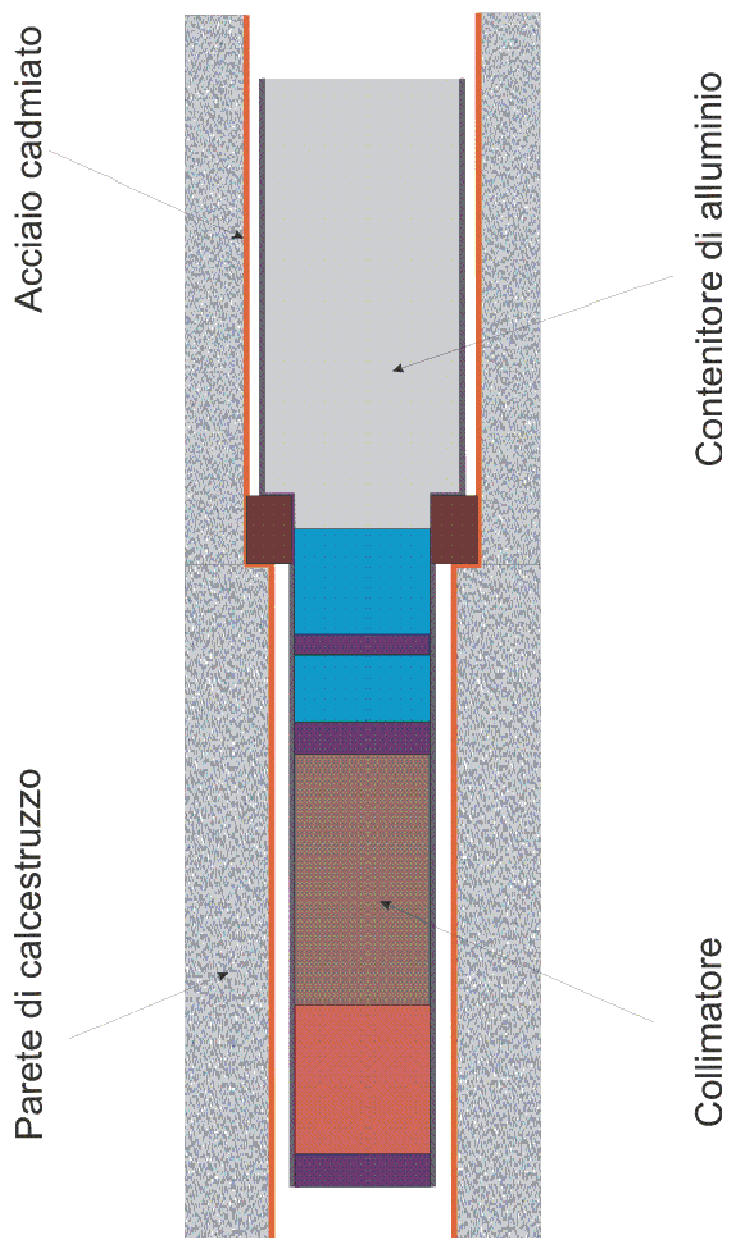


Figura 8.15



## Shutter

Lo shutter ha la funzione di schermare completamente l'ambiente circostante dalla radiazione neutronica e gamma presente all'uscita del canale e del collimatore, nel caso in cui il tomografo non è in funzione.

Per ottenere tale risultato occorrerebbe realizzare una struttura composta di diversi materiali, racchiusi all'interno di un contenitore d'alluminio, quali polietilene per la termalizzazione della componente veloce del fascio, il boro e cadmio per l'attenuazione dei neutroni, e del piombo per l'attenuazione dei gamma. Il tutto dovrebbe poi essere carrellato in guisa tale da poter essere agevolmente movimentato (figura 8.16).

Uno studio preliminare di massima ha dimostrato che lo spessore necessario ad una tale tipologia di otturatore per schermare in maniera adeguata il canale, sarebbe molto elevato (dell'ordine dei 50/60 cm) e quindi renderebbe inutilizzabile il canale stesso in quanto l'oggetto da radiografare dovrebbe essere posto ad una distanza inaccettabile dalla sua finestra di uscita.

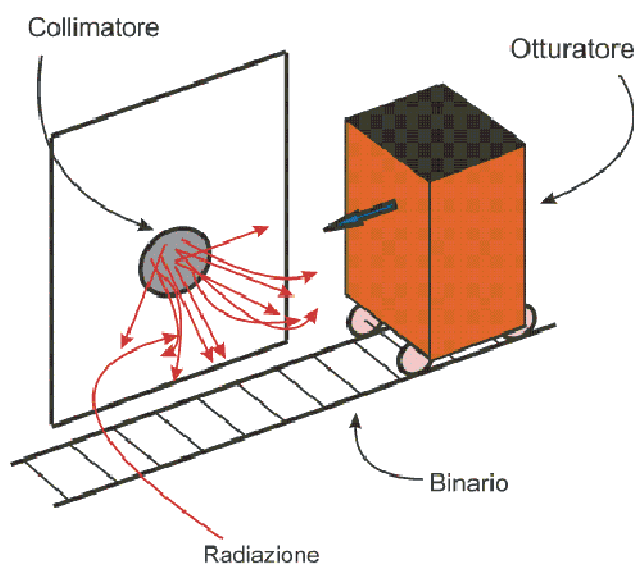


Figura 8.16

Azioni di adeguamento della facility neutronigrafica Triga

Lo sviluppo del progetto relativo alla utilizzazione del canale tangenziale per effettuare radiografie e tomografie neutroniche passa attraverso il completamento e l'ottimizzazione delle apparecchiature necessarie ad allestire la stazione di acquisizione.

La prima fase è stata quella di progettare uno shutter che oltre a raggiungere lo scopo di schermare adeguatamente il flusso neutronico e gamma, fosse anche geometricamente compatibile con il resto del sistema.

A tal fine si è scelto di scinderlo in due sottosistemi:

- Un sistema idraulico (shutter idraulico) che riempie di acqua demineralizzata un contenitore posto all'interno del collimatore (SCHERMO NEUTRONICO);
- Uno schermaggio mobile di piombo dello spessore di 10 cm posto davanti alla finestra di uscita del collimatore e movimentato con un sistema oleopneumatico (SCHERMO RADIAZIONE GAMMA);

Nella figura 8.17 si può vedere una schematizzazione del canale e del sistema di schermaggio costituito dal cosiddetto shutter idraulico (schematizzato con un serbatoio, una tubazione e il canale riempito) e dallo schermo mobile verticale in piombo.

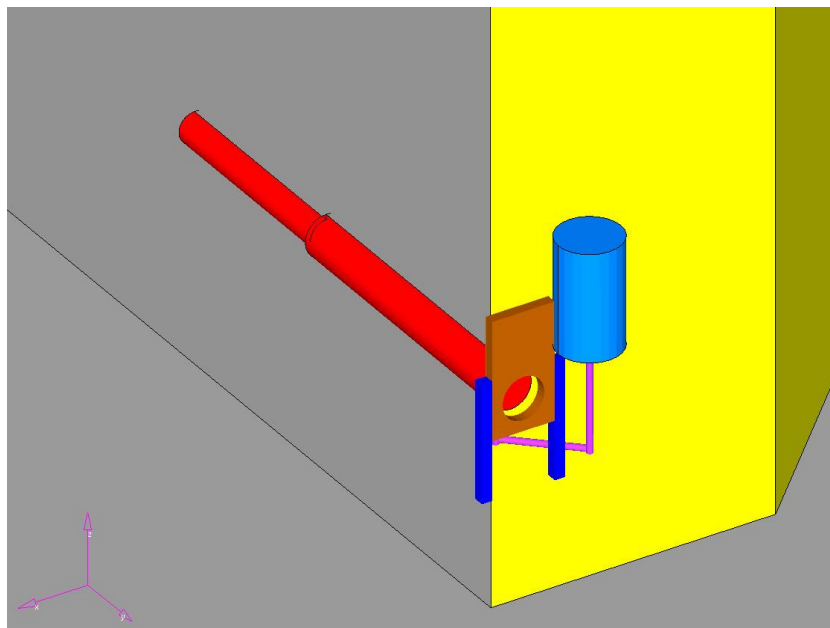


Figura 8.17

La configurazione finale completa della stazione di radiografia neutronica è visualizzata invece nella figura 8.18. In tale schema si può notare il tavolo tomografico e i sistemi di acquisizione dell'immagine. In questa configurazione è ipotizzata anche la presenza di un sistema di radio/tomografia a raggi x.

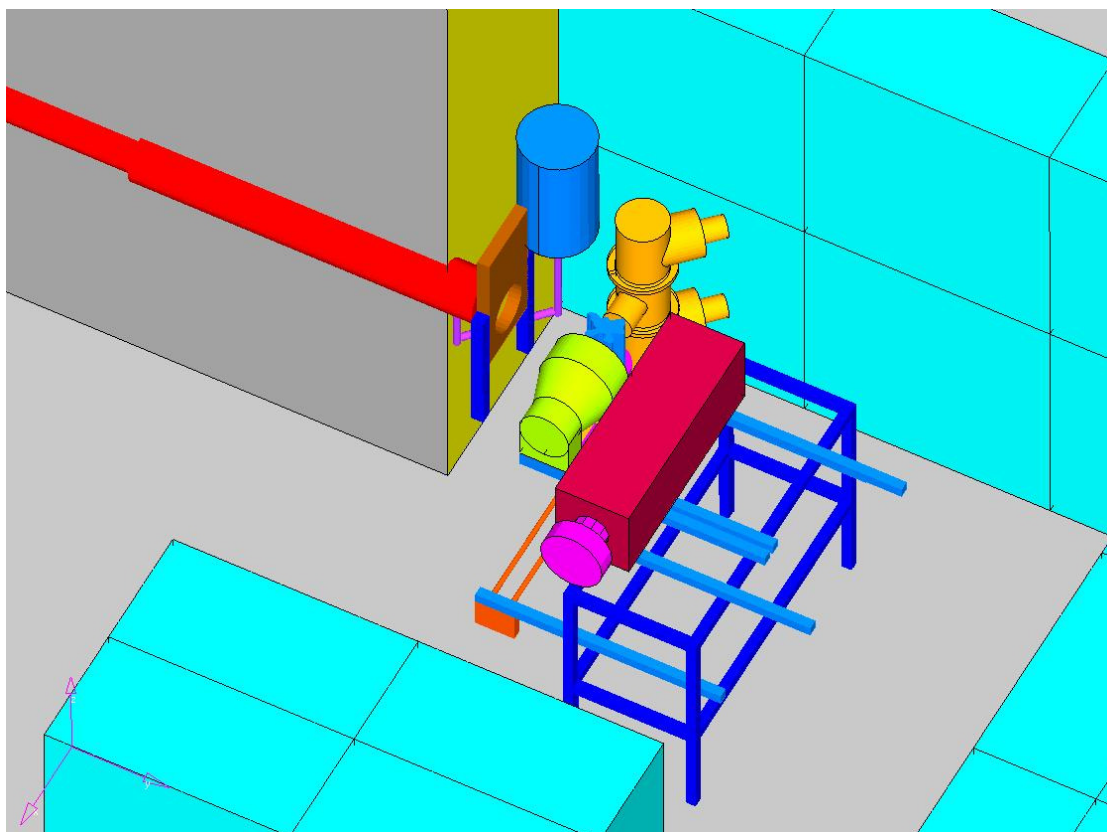


Figura 8.18

#### Shutter idraulico

Lo shutter idraulico è stato completato nella sua fase di progettazione esecutiva. In parte è stato realizzato (contenitore interno al collimatore) ed è stata anche acquistata la maggior parte dei componenti necessari al completamento del circuito idraulico.

Il disegno esecutivo del contenitore interno al canale è riportato nella figura 8.19.

E' costituito da un cilindro di 970 mm di lunghezza e 180 mm di diametro interno. La lunghezza del cilindro è stata determinata scegliendo di occupare tutto lo spazio a disposizione all'interno del collimatore.

La sua efficacia schermante è stata dapprima valutata mediante calcoli teorici quindi è stata verificata sperimentalmente operando il reattore a potenze crescenti fino a 1 MW e misurando il rateo di dose a contatto della superficie esterna del coperchio.

Il cilindro è corredato di un coperchio flangiato sul quale sono praticati due fori filettati dove si innestano le tubazioni da ½ pollice di mandata/ritorno acqua. Nella figura è anche evidenziata in blu la flangia del collimatore su cui il contenitore va ad innestarsi in luogo del coperchio riportato in precedenza in figura 8.13

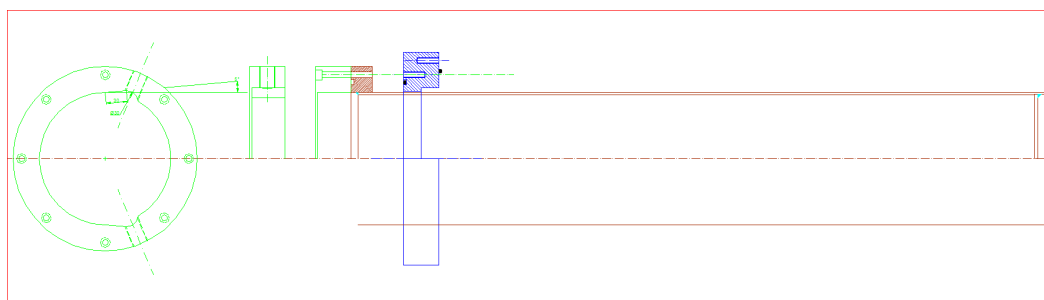


Figura 8.19

Il progetto esecutivo di tutto il sistema è riportato in figura 8.20.

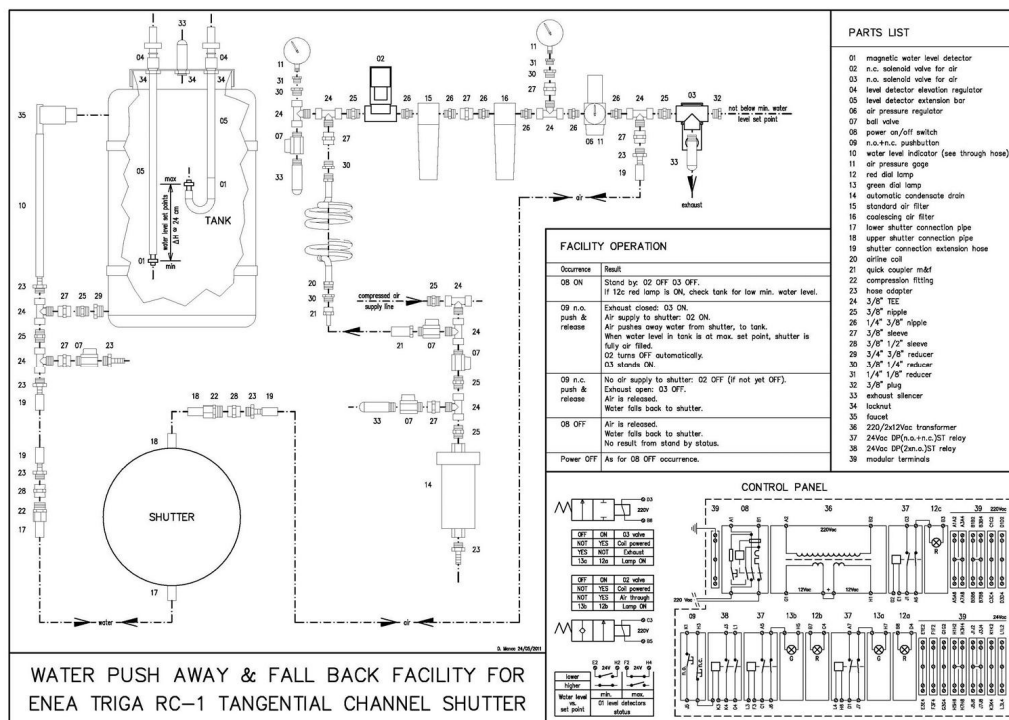


Figura 8.20

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	32	35

## 1 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO È IL SEGUENTE:

- **Shutter chiuso:** Nella condizione iniziale (shutter chiuso) il contenitore cilindrico (shutter) è riempito completamente con acqua demineralizzata che, con i suoi 970 mm di lunghezza, offre uno schermaggio adeguato al fascio neutronico proveniente dal collimatore;
- **Apertura dello shutter :** Mediante l'apertura dell'elettrovalvola 02 viene immessa aria compressa all'interno dello shutter attraverso l'ingresso superiore del coperchio. La pressione (basta qualche frazione di atmosfera) spinge l'acqua attraverso l'apertura inferiore del coperchio inviandola nel serbatoio di accumulo (Tank);
- **Chiusura dello shutter:** Mediante l'apertura della valvola 03 il circuito viene depressurizzato e l'acqua, per gravità, essendo il serbatoio di accumulo posizionato in alto rispetto allo shutter, riempie il contenitore cilindrico (shutter).


**2 TUTTO IL CIRCUITO, LE ELETTROVALVOLE ED I COMANDI ELETTRICI SONO STATI PROGETTATI SECONDO CRITERI "FAIL SAFE" OVVERO LA MANCANZA DI ALIMENTAZIONE, LA PERDITA DI PRESSIONE, IL MANCATO COMANDO DI UNA ELETTROVALVOLA, FANNO SÌ CHE VENGA RAGGIUNTA IN AUTOMATICO LA CONDIZIONE DI "SHUTTER CHIUSO" MEDIANTE IL RIEMPIMENTO, PER GRAVITÀ, DEL CONTENITORE CILINDRICO.**

**3 TUTTA LA COMPONENTISTICA IDRAULICA ED ELETTRICA DEL SISTEMA È STATA ACQUISITA E SI STA AVVIANDO LA FASE DI MONTAGGIO E COLLAUDO. ATTUALMENTE LO SHUTTER È MANTENUTO IN CONDIZIONI DI SICUREZZA OVVERO COMPLETAMENTE RIEMPITO D'ACQUA.**

Schermaggio mobile

Lo schermaggio mobile è in avanzato stato di realizzazione. Nella figura 8.21 è mostrata una foto del sistema.

All'interno di un contenitore di alluminio di forma opportuna sono stati collocati dei mattoni di piombo sagomati in maniera tale da riempirlo completamente. Lo spessore dello strato di piombo (100 mm) è stato preliminarmente determinato con calcoli teorici e quindi, al pari di

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	33	35

quanto fatto con lo shutter idraulico, è stata verificata la sua efficacia con il reattore a potenze crescenti fino ad 1 MW. Il peso dello schermo supera i 200 kg.

Il contenitore è ancorato lateralmente a due barre di acciaio verticali mediante cuscinetti assiali a circolazione di sfere ed appoggia, in fase di chiusura, su di una struttura di supporto in acciaio (in fase di realizzazione) tramite due tasselli ammortizzanti in gomma neoprenica .

All'interno di tale struttura è anche alloggiato il pistone idraulico che effettua il sollevamento dello schermo. Nel contenitore, nella parte bassa, è praticato un foro di diametro uguale alla bocca di uscita del collimatore (190 mm).

Nella figura 8.22 è riportata la foto del pistone idraulico che verrà utilizzato per la movimentazione dello schermo.

Il principio di funzionamento è il seguente:

- Schermo in posizione di chiusura: Lo schermo mobile è appoggiato al suo supporto e il pistone idraulico è in posizione di minima elongazione;
- Apertura dello schermo: Si aziona, mediante apposita centralina elettrica, il sistema idraulico di sollevamento. Il pistone raggiunge la sua massima elongazione di progetto e l'asse del foro praticato sullo schermo viene allineato all'asse del canale;
- Chiusura dello schermo: Il sistema idraulico viene disalimentato, il pistone, sotto il peso dello schermo, si porta nella posizione di minima elongazione e lo schermo va ad appoggiarsi sui supporti portandosi in posizione di chiusura.

Anche in questo caso, come per lo shutter idraulico, il sistema è stato progettato con il criterio "fail safe".

Il sistema di comando dello schermo gamma, pur essendo completamente indipendente rispetto allo schermaggio neutronico (shutter idraulico), verrà probabilmente sincronizzato con quest'ultimo in maniera tale che con un unico comando di apertura/chiusura si azioneranno entrambe i sistemi.



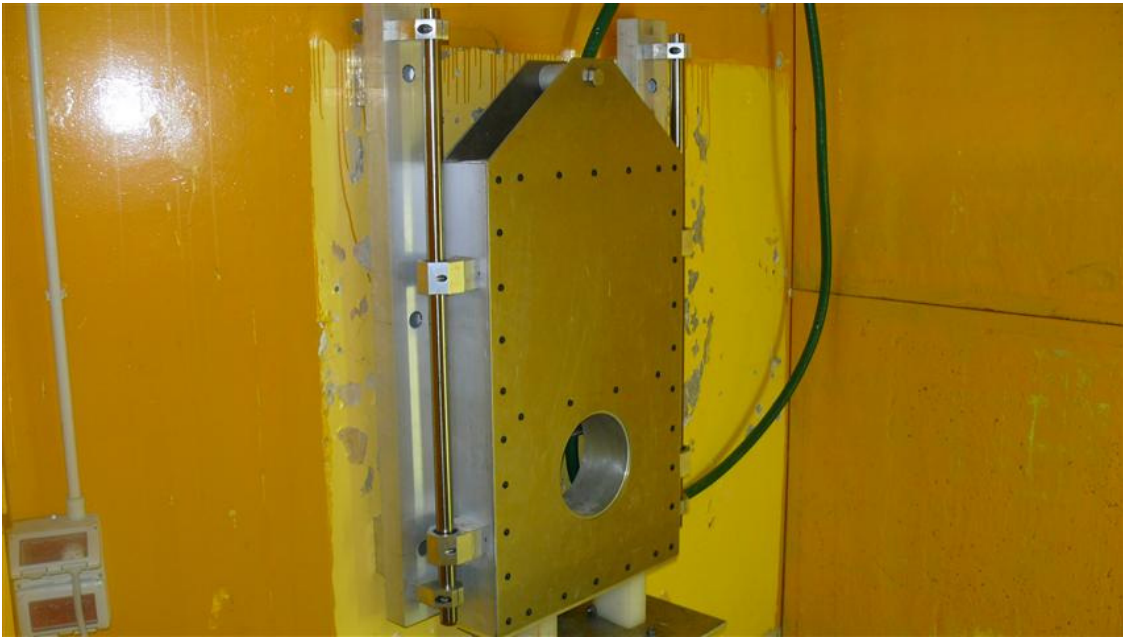



Figura 8.21



Figura 8.22



 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
	NNFISS – LP5 - 027	0	L	35	35

## 9 COLLABORAZIONI UNIVERSITARIE

### UNIVPM

Sono state effettuate sperimentazioni fotografiche presso gli impianti TRIGA e TAPIRO con sistemi originali di rivelazione dei neutroni utilizzando acido borico in polvere e normali pellicole fotografiche commerciali. Il passo successivo consisterà nel realizzare un filtro con acido borico per permettere a telecamere elettroniche di fornire immagini filmate dei neutroni. Le prove presso gli impianti, che hanno ottenuto ottimi risultati, sono state effettuate presso il Canale radiale 2 del Tapiro, presso la Colonna termica del TRIGA e utilizzando una sorgente di AmBe allocata nella sala reattore del TRIGA. L'università Politecniche delle Marche ha analizzato l'acido borico prima e dopo l'irraggiamento: i risultati sono riportati nel documento NNFISS-LP5-026.

### UNIROMA1

Nell'ambito del contratto ENEA-CIRTEN l'Università di Roma "La Sapienza" ha caratterizzato il flusso neutronico della sezione di uscita del collimatore posto all'interno del canale tangenziale passante del reattore TRIGA RC-1, mediante delle simulazioni con codice MCNP- Monte Carlo N-Particle. Obiettivo era l'ottenimento di un modello utile al supporto dei test sperimentali di irraggiamento neutronico all'uscita del collimatore stesso. Risultati dell'attività sono riportati nel documento NNFISS-LP5-028.