

Contatti:

Maria Grazia Iorio
ENEA
C.R. CASACCIA - FSN- FISS-RNR - S.P. 040
via Anguillarese 301
00123 S. MARIA DI GALERIA (ROMA)
mariagrazia.iorio@enea.it

Connessione a IAEA Research Reactors Data Base: [TRIGA](#)

1 Informazioni generali e dati tecnici del reattore di ricerca TRIGA RC-1

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 (Training Research Isotopes General Atomics - Reattore Casaccia 1) è una sorgente di neutroni termici.

TRIGA RC-1 (Fig. 1) è stato costruito nel 1960 nella sua prima versione a 100 kW di potenza nell'ambito dell'iniziativa USA Atoms for Peace e successivamente, nel 1967, è stato portato alla potenza di 1 MW su progetto ENEA.

Il nocciolo del TRIGA RC-1 consiste in una struttura anulare immersa in acqua, avendo quest'ultima la funzione di refrigerante primario (Fig. 2). Gli elementi di combustibile del nocciolo sono geometricamente disposti su sette cilindri coassiali.

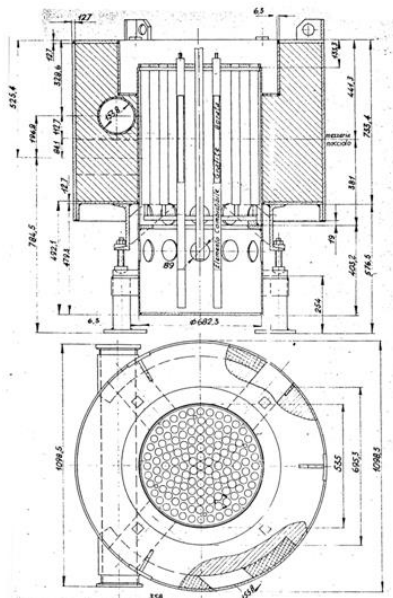


Fig. 2

Rappresentazione schematica del reattore.



Fig. 1 – Il reattore TRIGA RC-1.

Una visione complessiva del nocciolo TRIGA RC-1 è riportata in Fig. 3. Le principali caratteristiche del reattore sono:

- Potenza massima: 1 MW
- Massimo flusso neutronico: $2.7 \cdot 10^{13} \text{ n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
- Raffreddamento del nocciolo per convezione naturale
- Dispositivi di irraggiamento:
 - 1 Canale centrale
 - 40 Posizioni in una rastrelliera girevole
 - 1 Sistema di trasferimento pneumatico ("Rabbit")
 - 1 Circuito per irraggiamento di liquidi
 - 1 Colonna Termica
 - 1 Colonna Termalizzante

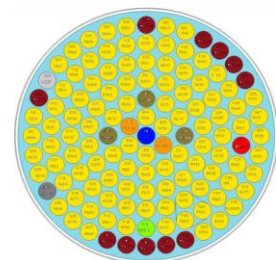


Fig. 3 – Nocciolo del TRIGA RC-1.

- 6 Canali orizzontali
- 1 Cavità di irraggiamento nel nocciolo (volume disponibile equivalente a 3 elementi di combustibile)
- 1 Cavità di irraggiamento nella colonna termalizzante all'interno della piscina reattore

In Tab. 1 sono riportate le principali caratteristiche del nocciolo.

Nocciolo	Diametro	535mm
	Altezza	670mm
Elementi	Composizione	lega Uranio– ZrH (8.5% in peso U)
	Arricchimento	20 % ^{235}U
	Moderatore	H ₂ O, ZrH
	Refrigerante	Acqua demineralizzata in convezione naturale
Barre di Controllo	Tipologia	3 barre di sicurezza (B ₄ C con follower di combustibile) 1 barra di regolazione (B ₄ C)
Riflettore	Diametro interno	543 mm
	Diametro esterno	1098 mm
	Altezza complessiva	733 mm
	Spessore radiale	214 mm
	Materiale	Grafite

Tab. 1 – Caratteristiche TRIGA RC-1.

2 Strutture sperimentali

Una visione globale del TRIGA RC-1 e delle facilities sperimentali è mostrata nelle Figs. 4 e 5, mentre una panoramica delle loro principali caratteristiche è riportata in Tab. 2.

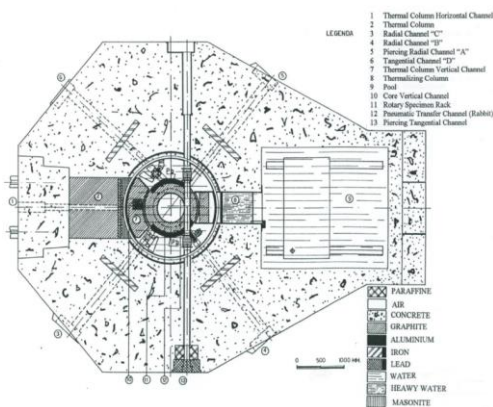


Fig . 4 - Canali sperimentali.

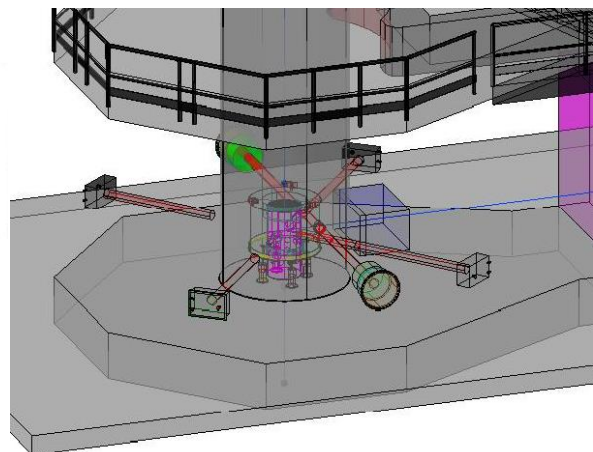


Fig . 5 – Canali radiali.

STRUTTURA SPERIMENTALE	FLUSSO TERMICO n/(cm ² ·s)	R _{cd} ¹	FORMA	DIMENSIONE (mm)
A – Canale Radiale	4.8 · 10 ¹² (*)	~ 2.2	CILINDRICO	Ø INT. = 152
B - Canale Radiale	4.3 · 10 ¹⁰ (*)	~ 3	CILINDRICO	Ø INT. = 152
C - Canale Radiale	4.3 · 10 ¹⁰ (*)	~ 3	CILINDRICO	Ø INT. = 152
D – Canale Tangenziale	5.4 · 10 ¹⁰ (*)	10.4	CILINDRICO	Ø INT. = 152
Canale Passante Tangenziale	1.1 · 10 ⁶ (**)	1.8	CILINDRICO	Ø INT. = 180
Canale Orizzontale Colonna Termica	2.2 · 10 ⁶ (**)	3.8	CILINDRICO	Ø INT. = 40
Canale Verticale Colonna Termica (con tappo di grafite)	1.9 · 10 ¹⁰	4.3	QUADRATO	SIDE = 100
Canale Verticale Colonna Termica (senza tappo di grafite)	4.2 · 10 ⁹	~ 4	QUADRATO	SIDE = 100
Canale centrale	2.68 · 10 ¹³	1.7	TUBO CILINDRICO AD “S”	Ø INT. = 34
Colonna Termalizzante	1.3 · 10 ⁸ (**)	> 100	PARALLELEPIPEDO	608 x 608 x 155
Rastrelliera girevole	2.0 · 10 ¹²	2.7	TUBO CILINDRICO AD “S”	Ø INT. = 32
Griglia rimovibile	1.25 · 10 ¹³	2.2	PRISMA TRIANGOLARE	L = 75 H = 650
RABBIT (Trasferitore pneumatico)	5.1 · 10 ¹²	2.0	CILINDRICO	Ø INT. = 14 Ø INT. TUBO = 27
Circuito per irraggiamento liquidi	~5.0 · 10 ¹²		CILINDRICO	V ~ 150 ml

Tab. 2 - TRIGA RC-1: caratteristiche principali degli alloggiamenti sperimentali.

(*) – Misurato all’interno del canale orizzontale

(**) – Misurato all’uscita del canale orizzontale

¹ R_{CD} = rapporto cadmio. E’ un indice del grado di termalizzazione del flusso neutronico. R_{CD} varia da 1 (flusso non termalizzato) a valori >>1, in proporzione al grado di termalizzazione del flusso.

3 Il TRIGA RC-1 nel campo della ricerca applicata

3.1 Irraggiamento di materiali in spettro termico

Un particolare apparato sperimentale può essere utilizzato per irraggiamento con neutroni termici. Si tratta di una cavità impermeabile cilindrica in plexiglas (diametro 170 mm, lunghezza 330 mm) (Figs. 6-7) che può essere spostata in acqua e posta davanti al fascio neutronico della colonna termalizzante, all'interno della Vasca Esperienze. Il dispositivo è equipaggiato con un tubo che consente il collegamento della cavità, mediante fili o cavi, con l'esterno della piscina. Il dispositivo è in grado di accogliere una vasta tipologia di oggetti: da foglioline d'oro ad ampolle, o altri contenitori di dimensione sufficiente per lo studio degli effetti dell'irraggiamento neutronico sui materiali più disparati. Il sistema è provvisto di un sistema di posizionamento per facilitare le operazioni.



Fig. 6 - Cavità posizionata nella piscina in corrispondenza della Colonna termalizzante.



Fig. 7 - Particolare della cavità.

3.2 Neutronigrafia e tomografia

I fasci neutronici in uscita dal canale radiale della colonna termica e dal canale tangenziale passante permettono di ottenere immagini radiografiche e ricostruzioni tomografiche attraverso speciali tecniche di acquisizione ed elaborazione. L'apparato sperimentale è composto essenzialmente da :

- Un supporto porta-campioni in grado di ruotare e traslare in maniera opportuna l'oggetto dell'indagine;
- Una lastra di materiale scintillatore, sensibile ai neutroni, perfettamente caratterizzato dal punto di vista dell'efficienza;
- Un banco ottico per focalizzare l'immagine creata sulla superficie dello scintillatore;
- Una telecamera CCD collegata con un sistema di acquisizione costituito da un personal computer e altri componenti hardware;
- Una suite dedicata di programmi software per la gestione del sistema e per la ricostruzione tomografica.

3.3 Isotopi per la medicina

Il reattore TRIGA RC-1 è stato utilizzato per la preparazione di isotopi per medicina nucleare. Il radioisotopo ^{18}F è stato prodotto irraggiando LiNO_3 attraverso la doppia reazione in cascata $^6\text{Li}(n,t)^4\text{He}$, $^{16}\text{O}(t,n)^{18}\text{F}$. Il ^{18}F prodotto è stato poi purificato e utilizzato per la sintesi di ^{18}F -FGD "medical grade", in un apparato di sintesi semiautomatico.

Il reattore è stato utilizzato anche per la preparazione dell'isotopo ^{166}Ho , partendo da ^{165}Ho ; il ^{166}Ho ottenuto, è stato impiegato per la sintesi di differenti vettori terapeutici e utilizzato nella terapia sperimentale in pazienti umani con tumori solidi. Sulla tecnica è stato depositato un brevetto internazionale.

Attualmente è in fase di installazione un nuovo impianto sperimentale d'irraggiamento in continuo dedicato alla preparazione di isotopi di interesse clinico nella terapia e diagnostica (^{131}I , ^{133}Xe , ^{99}Mo).

3.4 Isotopi per l'industria

Il reattore TRIGA RC-1 è stato utilizzato per la caratterizzazione e diagnostica dei processi industriali. In un'applicazione l'isotopo ^{198}Au è stato preparato mediante irraggiamento neutronico e disciolto in alluminio fuso in celle elettrolitiche industriali.

La valutazione quantitativa della diluizione isotopica del ^{198}Au ha permesso uno studio completo sul bilanciamento della massa e l'ottimizzazione dell'efficienza dei parametri elettrolitici delle celle industriali.

In una seconda applicazione, lo ^{133}Xe ottenuto dall'irraggiamento neutronico di Xe naturale è stato usato come tracciante gassoso nel processo di preparazione del Carbon coke. Il sistema è stato applicato in una fornace per la preparazione industriale del coke e ha consentito un preciso monitoraggio della temperatura prefissata per la preparazione industriale del coke. È stato concesso un brevetto internazionale sulla tecnica descritta.

3.5 Analisi per attivazione

La tecnica dell'Analisi per Attivazione Neutronica è stata utilizzata presso il TRIGA RC-1 del Centro Ricerche Casaccia fin dal 1963.

L'irraggiamento in pila, preliminare all'Analisi per Attivazione Neutronica, viene eseguito principalmente utilizzando un canale verticale mediante il quale è possibile collocare il campione al centro del nocciolo (Canale Centrale), oppure mediante un trasferitore pneumatico che permette di collocare il campione in una posizione periferica del nocciolo (Rabbit), o anche per mezzo di una rastrelliera girevole che consente l'irraggiamento contemporaneo di 40 campioni in una zona anulare situata in prossimità della superficie superiore del nocciolo (Lazy Susan), e infine in un contenitore stagno all'interno della Vasca Esperienze e a ridosso della colonna termalizzante. Per le misure di Spettrometria γ vengono utilizzati sistemi di conteggio dotati di rivelatori HPGe sia Canberra sia ORTEC, con relativa strumentazione e software aggiornati. Il laboratorio è inoltre dotato di un sistema di misura in anticoincidenza che utilizza, tra l'altro, un rivelatore NaI Bicron anulare di 12 pollici di diametro x 12 pollici di lunghezza, caratterizzato quindi da una rilevante diminuzione del fondo spettrale, e da un rivelatore HPGe planare impiegabile con elevata efficienza per la misura di raggi x e γ di energia < 100 keV, nonché per misure XRF (Fig. 8).

Per mezzo dell'Analisi per Attivazione Neutronica eseguita presso il reattore TRIGA RC-1 del C. R. Casaccia è stata studiata una gamma molto estesa di materiali e di matrici determinando macro-costituenti, costituenti minori ed elementi in traccia ed ultra-traccia, e sono state eseguite molte applicazioni specifiche.

I campioni che possono essere analizzati, e le applicazioni dell'Analisi per Attivazione, spaziano dalle leghe ai minerali, dai sedimenti al solido sospeso e al particolato atmosferico, dai materiali archeologici ai materiali utilizzati in rivelatori nel campo della fisica delle particelle elementari, dai radio traccianti all'esecuzione di studi forensi.



Fig. 8 - Apparato sperimentale di analisi per attivazione neutronica.

3.6 Caratterizzazione radiologica

Negli ultimi anni le attività svolte presso il reattore TRIGA RC-1 dal personale del laboratorio di caratterizzazione materiali nucleari è stato finalizzato alla caratterizzazione radiologica dei fusti contenenti rifiuti prodotti nelle attività di routine.

La caratterizzazione è stata effettuata utilizzando le seguenti apparecchiature mobili:

ISOCS (In Situ Object Counting System): sistema di caratterizzazione radiologica per analizzare oggetti di qualsiasi forma e natura contenenti radionuclidi emettitori γ . Il sistema di misura opera con un rivelatore al Germanio, la cui risposta ad una serie di sorgenti puntiformi o distribuite in matrici predefinite è stata caratterizzata utilizzando codici Monte Carlo.

Portable multi-Channel, dotato di sonda sensibile ai neutroni e un rivelatore di radiazione gamma. Questo strumento è caratterizzato da elevata precisione e velocità di risposta ed è stato utilizzato per le ispezioni preliminari di fusti contenenti rifiuti a bassa attività.

4 Progettazione e realizzazione di dispositivi e sistemi sperimentali

Il TRIGA RC-1 appartiene a un laboratorio in cui è presente una sezione dedicata alla progettazione e realizzazione di dispositivi sperimentali (meccanici, idraulici ed elettronici). Di seguito alcuni esempi di apparecchiature realizzate o potenzialmente realizzabili:

- Collimatori per fasci neutronici;
- Shutters di canali neutronici;
- Dispositivi di irraggiamento;

- Banco ottico per “neutron imaging”;
- Circuiti idraulici dedicati;
- Sistemi ausiliari per esperimenti;
- Pannelli di controllo elettronici;
- Catene di misura per analisi mediante attivazione neutronica.

A seguire un elenco, non esaustivo, di alcune significative esperienze di ricerca portate avanti negli ultimi anni:

- Test e utilizzo di uno speciale elemento di combustibile strumentabile TRIGA;
- Misurazione di fattori di moltiplicazione mediante tubi Deuterio-Trizio;
- Esame di reperti archeologici mediante tomografia neutronica e un display 3D;
- Test di “Neutron Imaging” di reperti archeologici, apparecchiature meccaniche/elettroniche e campioni biologici;
- Prove ambientali (irraggiamenti con neutroni e/o radiazione gamma) di componenti elettronici;
- Progettazione e caratterizzazione di collimatori di neutroni;
- Test e collaborazione allo sviluppo di rivelatori neutronici innovativi;
- Irraggiamento e attivazione neutronica di svariate tipologie di campioni solidi/liquidi per scopi diversi;
- Sviluppo di una console digitale per la supervisione dei parametri di processo.

5 Utilizzo del reattore nel campo dell’istruzione e della formazione del personale

- Didattica per gli studenti universitari:
 - Introduzione all’utilizzo di strumenti di calcolo nucleari (Monte Carlo e codici deterministici);
 - Introduzione all’esecuzione di misure sperimentali.
- Formazione del personale:
 - Addestramento del personale d’impianto ai fini del conseguimento degli attestati per l’operazione dell’impianto stesso;
 - Addestramento permanente alla conduzione e manutenzione dell’impianto;
 - Addestramento di soggetti che operano in ambito nucleare (Esperti Qualificati, Vigili del Fuoco, Militari, ecc.).