

Andrea Salvini

## Il Reattore Nucleare di ricerca TRIGA - Mark II: storia e peculiarità

LENA - Laboratory of Applied Nuclear Energy, University of Pavia, Via Aselli 41, 27100, Pavia, Italy

**RIASSUNTO.** Meno di cinque anni dopo il dicembre del 1953, data in cui risale il discorso Atoms for Peace del presidente degli Stati Uniti Dwight D. Eisenhower presentato all'assemblea generale delle Nazioni Unite, fu concepito, costruito e messo in condizioni operative, presso la Divisione della General Atomic a San Diego, il TRIGA® (acronimo di Training, Research, Isotope production, General Atomic), un nuovo tipo reattore intrinsecamente sicuro sviluppato per la ricerca nucleare, il training e la produzione di isotopi. Nel corso degli anni, la filiera TRIGA si è evoluta diventando in breve tempo il reattore di ricerca più diffuso al mondo, con livelli di potenza di esercizio fino a 14 MW, e progetti fino a 25 MW. Il Laboratorio di Energia Nucleare Applicata (LENA) dell'Università di Pavia gestisce dal 1965 un Reattore di ricerca della filiera TRIGA con 250 KW di potenza termica. L'impianto è utilizzato per supportare programmi di istruzione e formazione, attività di analisi per attivazione neutronica, ricerca medica, applicazioni industriali ed in generale è dedicato alla scienza nucleare applicata in generale. Queste attività saranno presentate unitamente agli aspetti storici e tecnici del Reattore Nucleare di Ricerca.

**Parole chiave:** reattore nucleare, ricerca, produzione isotopi.

**ABSTRACT.** *Less than five years after the "Atoms for Peace" speech by US President Dwight D. Eisenhower to the United Nations General Assembly in December 1953, TRIGA® (acronym for Training, Research, Isotopes, General Atomics), a new inherently safe type reactor developed for nuclear research, training and isotope production, was conceived, built and operated at the General Atomic Division in San Diego. Over the years, the TRIGA industry has soon evolved into the most widely used research reactor in the world with operating power levels up to 14 MW and designs up to 25 MW. Since 1965 the Laboratory of Applied Nuclear Energy (LENA) of the University of Pavia has been operating a TRIGA research reactor with thermal power levels of 250 kW. The installation is used to support education and training programs, neutron activation analysis activities, medical research, industrial applications, and is mainly dedicated to applied nuclear science in general. These activities will be presented together with the historical and technical aspects of the Nuclear Research Reactor.*

**Key words:** nuclear reactor, research, isotope production.

### Introduzione

Il LENA è un "Centro Servizi Interdipartimentale" dell'Università degli Studi di Pavia che gestisce le due principali apparecchiature, il reattore nucleare di ricerca TRIGA® MARK II (Training Research Isotopes General Atomics) di 250 kW di potenza ed il ciclotrone per la produzione di radioisotopi  $\beta^+$  emettitori modello IBA CYCLONE® 18/9. Il Laboratorio è dotato, inoltre, di altre sorgenti di radiazioni, tra cui un irraggiatore RX ad uso industriale e un irraggiatore con Co-60, e di laboratori per la manipolazione di materiali radioattivi prodotti per attivazione neutronica nel reattore.

Gli impianti sono a disposizione di ricercatori dell'Ateneo pavese e di altri utenti, pubblici e privati, per lo svolgimento di attività di ricerca applicata, di didattica e di servizio. Il Centro svolge direttamente attività di ricerca e di formazione ed eroga servizi ai privati incoraggiando il trasferimento dei risultati della ricerca nel campo delle tecnologie nucleari al sistema produttivo.

Il Centro LENA è inserito nel Polo Nucleare Cravino a cui afferiscono l'area di Radiochimica ed il Laboratorio di Monitoraggio Ambientale.

### Il Reattore TRIGA

Nel corso degli anni, la filiera TRIGA (1) si è evoluta diventando in breve tempo il reattore di ricerca più diffuso al mondo (Figura 1), con livelli di potenza di esercizio fino a 14 MW, e progetti fino a 25 MW.

Alla fine del 2014 il database IAEA (International Atomic Energy Agency) dei reattori di ricerca contava nel mondo una rete diffusa di 66 reattori costruiti, di cui 37 in esercizio e 29 in fermo macchina o in smantellamento. La Tabella I mostra la lista dei reattori TRIGA in esercizio aggiornata al 2014.

In Tabella II due sono elencate le specifiche del combustibile a basso arricchimento per i reattori tipo TRIGA.

La diffusione dei reattori tipo TRIGA nel mondo è da ricercarsi prendendo in considerazione le sue caratteristiche di progetto che si traducono in una lista di considerazioni positive di seguito elencate:

- **Economicità di installazione.** Se comparata a reattori di stessa potenza ma con differente combustibile.



Figura 1. Mappa dei reattori di ricerca tipo TRIGA nel mondo (IAEA-GA)

Tabella I. Reattori TRIGA in esercizio (fonte IAEA)

	Country	Facility Name	TRIGA Type	Power		First criticality
				Steady State (kW)	Pulsing (MW)	
1	AUSTRIA	TRIGA II VIENNA	MARK II	250	250	1962-03-07
2	BANGLADESH	TRIGA MARK II	MARK II	3 000	3,900	1986-09-14
3	BRAZIL	IPR-RI	MARK I	100	-	1960-11-06
4	COLOMBIA	IAN-R1	CONVERSION	30		1997-08-29
5	FINLAND	FIR-1	MARK II	250	250	1962-03-27
6	GERMANY	FRMZ	MARK II	100	250	1965-08-03
7	INDONESIA	TRIGA MARK II, BANDUNG	MARK II	2 000	-	1964-10-19
8	INDONESIA	KARTINI-PTAPB	MARK II	100	-	1979-01-25
9	ITALY	LENA, TRIGA II PAVIA	MARK II	250	250	1965-11-15
10	ITALY	TRIGA RC-1	MARK II	1 000	-	1960-06-11
11	JAPAN	NSRR	ACPR	300	22,000	1975-06-30
12	MOROCCO	MA-R1	MARK II	2 000	-	2007-05-02
13	MEXICO	TRIGA MARK III	MARK III	1 000	2,000	1968-11-08
14	MALAYSIA	TRIGA PUSPATI (RTP)	MARK II	1 000	1,200	1982-06-28
15	ROMANIA	TRIGA II PITESTI - SS CORE	MPR	14 000		1980-02-02
16	ROMANIA	TRIGA II PITESTI - PULSED	ACPR	500	22,000	1980-02-02
17	SLOVENIA	TRIGA- MARK II LJUBLJANA	MARK II	250	-	1966-05-31
18	THAILAND	TRR-1/M1	CONVERSION	2 000	1,200	1977-11-07
19	TURKEY	ITU-TRR, TECH UNIV	MARK II	250	250	1979-03-11
20	USA	MUTR UNIV. MARYLAND	CONVERSION	250	-	1974-12-01
21	USA	OSTR, OREGON STATE UNIV.	MARK II	1 100	3,200	1967-03-08
22	USA	UC DAVIS/MCCLELLAN N. RESEARCH CENTER	MARK II	2 000	1,200	1990-01-20
23	USA	TRIGA II UNIV. TEXAS	A MARK II	1 100	1,600	1992-03-12
24	USA	TRIGA UNIV. UTAH	MARK I	100	-	1975-10-25
25	USA	NRAD	CONVERSION	250	-	1977-10-12
26	USA	KANSAS STATE TRIGA MK II	MARK II	250	250	1962-10-16
27	USA	GSTR USGS GEOLOGICAL SURVEY	MARK I	1 000	1,200	1969-02-26
28	USA	UNIVERSITY OF CALIFORNIA, IRVINE	MARK I	250	250	1969-11-25
29	USA	AFRRI TRIGA	MARK F	1 000	3,300	1962-01-01
30	USA	DOW TRIGA	MARK I	300	-	1967-07-06
31	USA	RRF REED COLLEGE	MARK I	250	-	1968-07-02
32	USA	UWNR UNIV. WISCONSIN	CONVERSION	1 000	2,000	1967-03-26
33	USA	WSUR WASHINGTON ST. UNIV.	CONVERSION	1 000	2,000	1967-03-13
34	USA	PSBR PENN ST. UNIV.	CONVERSION	1 000	2,000	1965-08-15
35	USA	ANN. CORE RES. REACTOR (ACRR)	ACPR	4 000	22,000	1967-06-01
36	USA	AEROTEST OPERATIONS	CONVERSION	250	-	1965-07-09
37	USA	NCSR TEXAS A&M UNIV.	CONVERSION	1 000	2,000	1968-01-01

**Tabella II. Specifiche per il combustibile TRIGA LEU U-ZrH-Er**

Uranium content	8.5, 12, 20, 30 or 45 wt%		
Uranium enrichment	19.7±0.2 wt%		
Uranium homogeneity	Manufacturing process produces a homogenous distribution of uranium		
Burnable poison	Erbium: Nominal range is 0.5-1.6 wt%, depending on uranium content, core reactivity and burn-up requirements. The low uranium density fuels, i.e. fuel with 8.5 wt% and 12 wt% has no erbium		
Erbium homogeneity	Manufacturing process produces a homogenous distribution of erbium		
H/Zr ratio	Nominal value is 1.60 (range 1.57-1.65)		
Cladding material	304 Stainless steel or Incoloy 800 with a $B_{eq} < 8$ .		
Cladding thickness	Nominal element OD	(cm)	Nominal thickness (mm)
	3.81		0.51
	1.27		0.41

- Economicità di esercizio.
- Basso consumo di combustibile. Combustibile arricchito fino a quasi il 20% su reattori con potenza medio bassa. La vita media del combustibile risulta superiore a molte altre filiere di reattori anche in considerazione del massimo burnup permesso.
- Di semplice esercizio. La sicurezza intrinseca di questa filiera di reattori, li rende semplici nell'utilizzo. Essi sono infatti impiegati come strumenti di training per i futuri operatori di facilities più complesse.
- Sicuro. I reattori tipo TRIGA sono intrinsecamente sicuri per eventi di inserzione incontrollata di reattività. Considerando la bassa densità di potenza e le caratteristiche del combustibile TRIGA si può considerare sicuro anche per l'incidente di riferimento di perdita del vettore di raffreddamento.
- Bassa severità dei requisiti di sito. Basso inventario dei materiali fissile.
- Versatilità. Il reattore può seguire cicli di funzionamento molto flessibili. Risulta minimo, se comparato con altri impianti, il tempo necessario ad effettuare variazioni di potenza, startup o spegnimento. La sua versatilità trova riscontro nei molteplici campi di applicazione possibili quali:
  - Formazione sia accademica che specialistica
  - Applicazioni in campo biologico
  - Applicazioni in campo chimico
  - Scienza della terra
  - Scienza dei materiali
  - Mediche
  - Metallurgiche
  - Applicazioni industriali
  - Applicazioni forense
  - Rivelazione delle radiazioni
  - Radiobiologia
  - Sicurezza radiologica e nucleare
    - (a) Waste management
    - (b) Nuclear safeguards

#### Attività di Servizio, Ricerca e collaborazioni del centro LENA

Fra le varie applicazioni possibili, l'utilizzo del reattore del Centro LENA consiste principalmente nella forniture

di servizi di irraggiamento e di misure nucleari, e nel supporto ad attività di ricerca di base e applicata, nonché nel campo dell'education & training specialistico.

Le tipologie di utenti del LENA possono essere raggruppati nelle seguenti categorie: Dipartimenti dell'Università degli Studi di Pavia, altre Università ed istituzioni nazionali ed internazionali, soggetti privati. I principali campi di Ricerca nei quali è coinvolto il reattore di Pavia, sia direttamente che come supporto tecnico, è di seguito riportato:

- Analisi per Attivazione Neutronica (NAA)
- Boron neutron capture therapy (BNCT)
- Attività nel campo della Metrologica
- Produzione di radioisotopi
- Fisica del Reattore ed Ingegneria Nucleare
- Risposta alle radiazioni di dispositivi elettronici
- Danni da radiazioni
- Analisi Ambientali

#### Istruzione e formazione presso il Centro LENA

Il settore nucleare (industria, autorità governative, organizzazioni di Ricerca e Sviluppo e le istituzioni educative) ha la costante necessità di personale altamente qualificato. Elevati standard di prestazione sono attesi per la forza lavoro impiegata in questo settore e la loro specializzazione è una questione fondamentale per garantire e mantenere livelli di efficienza e di sicurezza elevata. L'Università di Pavia, grazie alla profonda esperienza maturata ed al contesto accademico in cui opera, offre una vasta gamma di programmi di istruzione e formazione, a livello nazionale ed internazionale, che coprono la maggior parte dei temi legati al settore nucleare: dalla cultura della sicurezza e radioprotezione alla manutenzione di un reattore di ricerca, alla gestione qualità. I corsi di formazione sono tenuti da tecnici altamente qualificati del LENA, o da docenti dell'Università di Pavia, o sono una parte del percorso formativo di altre Università o istituzioni che contribuiscono a corsi di Ingegneria Nucleare, Fisica, Master internazionali con tematiche quali la fisica dei reattori, radiochimica, la radioprotezione e strumentazione e misure nucleari. La Figura 2 mostra lo schema delle attività presenti.

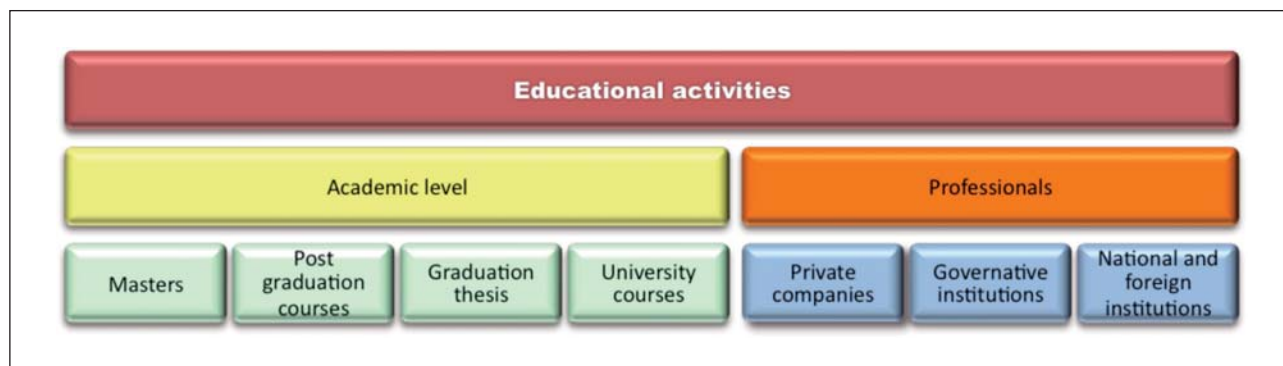


Figura 2. Istruzione e formazione (schema)

Nel campo della formazione è inclusa anche la preparazione ( tirocinio) per i candidati all'esame per l'abilitazione professionale di Esperto Qualificato.

Oltre alle attività sopra descritte rivolte a studenti universitari e professionisti, da molti anni, il LENA offre visite guidate al reattore. Questa attività si rivolge in particolare agli studenti delle scuole superiori, al fine di promuovere la cultura nucleare e di fornire informazioni tecnico-scientifiche a coloro che andranno a scegliere una istruzione superiore nel settore nucleare. Il numero medio di visitatori all'anno è di circa 1500 studenti con attività didattiche per circa 200 ore/anno.

## Conclusioni

In conclusione si può affermare che il reattore TRIGA MKII installato presso il Centro LENA dell'Università degli Studi di Pavia è, dal punto di vista di progetto, da considerarsi ancora attuale e corrispondente alle esigenze

di Ricerca Applicata ed a quelle Formative. Tali considerazioni, largamente condivise in ambito internazionale, ne fanno uno strumento ideale ed indispensabile per il mantenimento di una cultura nucleare. Queste affermazioni trovano riscontro nel rinnovamento effettuato da impianti analoghi per età e caratteristiche, vedasi l'Università di Vienna e Mainz e le dichiarazioni del *Department of Energy* (DOE) Statunitense, che sta considerando di farsi promotore e finanziatore di un ripristino della produzione del combustibile TRIGA. Conferma di quanto affermato è la dimostrazione di interesse a livello mondiale per una fornitura globale di circa 600 nuovi elementi di combustibile.

## Bibliografia

- 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, TECHNICAL REPORT SERIES No. 482, History, Development and Future of TRIGA Research Reactors, IAEA, Vienna (2016).

**Corrispondenza:** Andrea Salvini, LENA - Laboratory of Applied Nuclear Energy, University of Pavia, Via Aselli 41, 27100 Pavia, Italy, [asalvini@unipv.it](mailto:asalvini@unipv.it)