

# Automazione e controllo di un impianto nucleare

**Alcune osservazioni sui principi guida utilizzati per le nuove generazioni di reattori**

**Gualtiero Bestetti**

La situazione economica, politica ed ambientale che si è presentata all'inizio di questo nuovo secolo ha risollevalo la cosiddetta *questione nucleare*. Come tutte le tecnologie, anche quella nucleare deve affrontare e risolvere tre diverse tipologie di problemi: sicurezza operativa, impatto ambientale e valutazione economica. Procedendo a ritroso, analizziamo in dettaglio i problemi appena citati.

## Le sfide dell'industria nucleare

In ambito economico il nucleare offre lo svantaggio di richiedere un forte investimento iniziale, a causa soprattutto delle elevate spese di progettazione e costruzione degli impianti di sicurezza; questo implica, nel primo periodo (il periodo di ammortamento), un costo al kWh confrontabile con le fonti energetiche più economiche, quali il carbone. Superato questo periodo, però, il kWh nucleare diviene decisamente competitivo, grazie al suo bassissimo costo operativo, non dovendo acquistare materie prime molto care (quali il petrolio) e potendo contare su una lunga vita operativa (oltre i 40 anni, fino a 60 e forse più). Inoltre, si può garantire un prezzo costante, indipendente dalle situazioni economiche e politiche, diversamente dal caso del petrolio. Infine, una progettazione modulare, con impianti standardizzati e a minore potenza può ridurre anche l'investimento iniziale e quindi la durata del periodo di ammortamento. Più complesso risulta essere il problema ambientale, che possiamo dividere in due questioni principali: emissione di agenti inquinanti e produzione di scorie. Nel primo caso l'industria nucleare offre il vantaggio di non produrre *gas serra*, con importanti benefici per il protocollo di Kyoto, e di liberare nell'ambiente una quantità di radiazione trascurabile (le radiazioni assorbite in media dai cittadini a causa dell'industria nucleare è 10 volte inferiore a quella assorbita in media per l'uso di televisori e

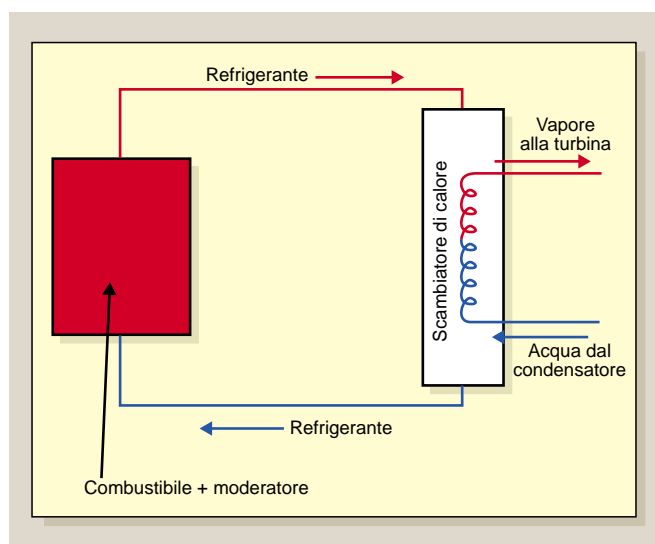


Fig. 1. Componenti principali di un reattore nucleare

Lo schema seguente rappresenta una tipica configurazione di una centrale nucleare, con le opportune semplificazioni e generalizzazioni. Attraverso l'opportuna configurazione di combustibile e moderatore (unitamente all'azione di barre di controllo) viene prodotto in modo stabile calore all'interno del reattore (zona rossa). Il refrigerante, circolando nel circuito primario, riceve calore dal nocciolo; tramite uno scambiatore di calore, tale calore verrà poi ceduto a un altro vettore, l'acqua che scorre nel circuito secondario e grazie alla quale si produrrà corrente con tradizionale accoppiamento di turbina e generatore.

computer). Nel secondo caso, la produzione di scorie nucleari viene in parte reintegrata nel ciclo dei combustibili ed in parte confinata in appositi depositi; è da osservare che il problema delle scorie non può essere trattato correttamente in questa sede. La sicurezza operativa rappresenta la sfida più impegnativa per tutta l'industria in genere e non solo per quella nucleare: l'automazione e il controllo, unitamente alla manutenzione e alla prevenzione, sviluppati in campo nucleare hanno infatti offerto ed offriranno sicuramente importanti contributi a tutta l'industria in cui la sicurezza svolge un ruolo determinante. Principalmente per affrontare questa sfida, si è giunti allo studio dei reattori di *Generation IV*, un programma avviato nel 1999 e che mira a sviluppare i reattori per gli anni a venire (vedi Tavola 1). Pur dedicandosi allo studio di numerosi sistemi, due sono le proposte che risultano essere particolarmente significative: il PBMR e l'IRIS.

Tavola 1.

## Le generazioni di reattori a confronto

Il programma *Generation IV* fu avviato dal «Department of Energy» degli Stati Uniti nel 1999, ma divenne nel 2000 un consorzio internazionale di nove nazioni, quali Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Sudafrica, Corea del Sud, Regno Unito e Stati Uniti. La tabella seguente mostra l'evoluzione delle diverse generazioni di reattori.

Generazioni	Generation I	Generation II	Generation III	Generation IV
Tipi di reattore	Primi prototipi di reattori	Impianti di potenza a grande stazione centrale	Reattori avanzati attualmente in uso	Reattori della prossima generazione
Costruiti negli anni (periodo indicativo)	1950-1960	1970-1990	2000-2020	oltre il 2020

## I sistemi nucleari del futuro

Il PBMR (*Pebble Bed Modular Reactor*, reattore «a letto di sfere») è un reattore nucleare che usa come moderatore la grafite e come refrigerante un gas, in genere elio; è modulare, a sicurezza intrinseca e a *refuelling* (rifornimento di combustibile nucleare) continuo. La novità proposta da questo nuovo modello, in confronto con gli altri reattori dello stesso tipo, consiste in un elemento molto particolare: una sfera di grafite delle dimensioni di una palla da tennis, che contiene 15.000 particelle di ossido di uranio (di diametro di 0,5 mm). Circa 330.000 sfere di questo tipo vengono inserite nel nocciolo del reattore, a cui vanno aggiunte circa 100.000 sfere di grafite senza combustibile che, separando le sfere con l'uranio, consentono di controllare la distribuzione di potenza e di temperatura. Inoltre, in tutto il nocciolo si usano materiali refrattari ad alta resistenza. L'elio che esce dal nocciolo a 900 °C alimenta direttamente un sistema generatore/turbina a gas che produce elettricità con un'efficienza pari a circa il 40%; è così possibile creare un reattore di piccole dimensioni, semplice ed economicamente conveniente, che sviluppa una potenza in uscita pari a 115 MWe (268 MWt). La semplicità di tutto il sistema (vi sono solo una ventina di sottosistemi principali), la nobiltà dell'elio (che quindi non può reagire con altre sostanze nemmeno alle alte temperature in questione) e la presenza dei materiali refrattari ci permettono di disporre di un ampio margine di sicurezza operativa. Infine, circa una sfera al minuto viene rimossa dal fondo del nocciolo, mentre una sostitutiva è introdotta dall'alto, impiegando circa 6 mesi a compiere tutto il tragitto; questo permette al sistema di disporre sempre della quantità ottimale di combustibile e contemporaneamente di sottoporre le sfere a condizioni operative meno estreme rispetto alle configurazioni tradizionali con combustibile fisso. Il progetto internazionale IRIS (*International Reactor Innovative & Secure*), a cui partecipa anche l'Italia (come industria, grazie all'Ansaldo, e con l'università, grazie al Politecnico di Milano e all'Università di Pisa), mira alla costruzione di un reattore di tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*, raffreddato e moderato ad acqua) con l'obiettivo di semplificare l'impianto e di prevenire tutta quella categoria di incidenti legati alla perdita di liquido di raffreddamento (come avvenne a Three Mile Island, nell'ormai lontano 1979). Poiché l'intero sistema di raffreddamento è contenuto all'interno del recipiente in pressione, il sistema non può subire una perdita significativa di liquido di raffreddamento neppure nel caso in cui una delle condutture principali si rompa: il recipiente in pressione è resistente ai danneggiamenti e quindi non permette al liquido di fuo-

riuscire, mantenendo così la perdita di pressione decisamente contenuta. In particolare si sta cercando di progettare impianti che funzionino a temperature e pressioni molto alte, oltre il punto critico dell'acqua, al di là del quale non vi è più distinzione tra liquido e vapore; questo permetterebbe di raggiungere anche il 45% di efficienza. Entrambi i progetti qui descritti mirano anche ad operare a temperature tali da poter rendere conveniente la produzione di idrogeno da utilizzare in celle a combustibile e in motori a combustione pulita (si ricorda che l'idrogeno non è una fonte di energia, ma è un vettore energetico e come tale va prodotto!). Un ulteriore passo del nucleare e della tecnologia verso un'economia sostenibile. ■

## BIBLIOGRAFIA E SITI INTERNET

- 1 - C. Lombardi; «Impianti Nucleari», CLUP, 1999
- 2 - E. Padovani; «Appunti dal corso Fisica dei Reattori a Fissione»; 2002
- 3 - M.E. Ricotti, F. Campi; «Appunti dal corso Impianti Nucleari I e Protezione e sicurezza degli impianti nucleari»; 2002
- 4 - U. Spezia; «Energia Nucleare un futuro da salvare»; Atti della Conferenza Nazionale sul tema «Il ruolo del nucleare nel programma energetico nazionale»; 21<sup>mo</sup> secolo, 1999
- 5 - U. Spezia; «Attualità del Nucleare - energia e tecnologia»; Conferenza a Roma, Sala dei Piceni (23 nov. 1999), 21<sup>mo</sup> secolo, 1999
- 6 - AA.VV.; «MARS: un reattore per la seconda era nucleare»; *Le Scienze*, numero 368, aprile 1999
- 7 - AA.VV.; «L'Energia Nucleare della prossima generazione»; *Le Scienze*, numero 402, febbraio 2002
- 8 - U. Spezia; «Chernobyl dieci anni dopo il disastro»; Editrice Milo, 1996
- 9 - Sito internet del «Department of Energy» degli Stati Uniti dedicato al progetto Generation IV: <http://gen-iv.ne.doe.gov>
- 10 - Sito internet del progetto IRIS: <http://hulk.cesnef.polimi.it>
- 11 - Sito internet del «Department of Energy» degli Stati Uniti, Office of Nuclear Energy, Science & Technology: <http://www.nuclear.gov>
- 12 - S. Terrani, S. Pozzi; «Nuke News»; numero 1, ottobre 1999
- 13 - S. Terrani, F. Giacobbo, S. Pozzi; «Nuke News»; numero 14, febbraio 2002
- 14 - AA.VV.; «Dizionario d'Ingegneria»; UTET, 1968-1979



## L'Autore

**Gualtiero Bestetti**, studente al V anno di Ingegneria Nucleare presso il Politecnico di Milano, indirizzo Matematico e Fisico per le Tecnologie Nucleari. Presso il Ce.S.N.E.F. (Centro Studi Nucleari Enrico Fermi), approfondisce argomenti legati all'impiantistica nucleare e alla medicina nucleare, oltre che a sviluppare una certa passione per la storia della scienza e del nucleare in particolare. Si interessa anche di reti informatiche, sicurezza ed applicazioni per internet, con particolare attenzione al mondo UNIX e Linux. Tra i precedenti scritti si ricorda *Effetti immediati delle armi nucleari* (2002).