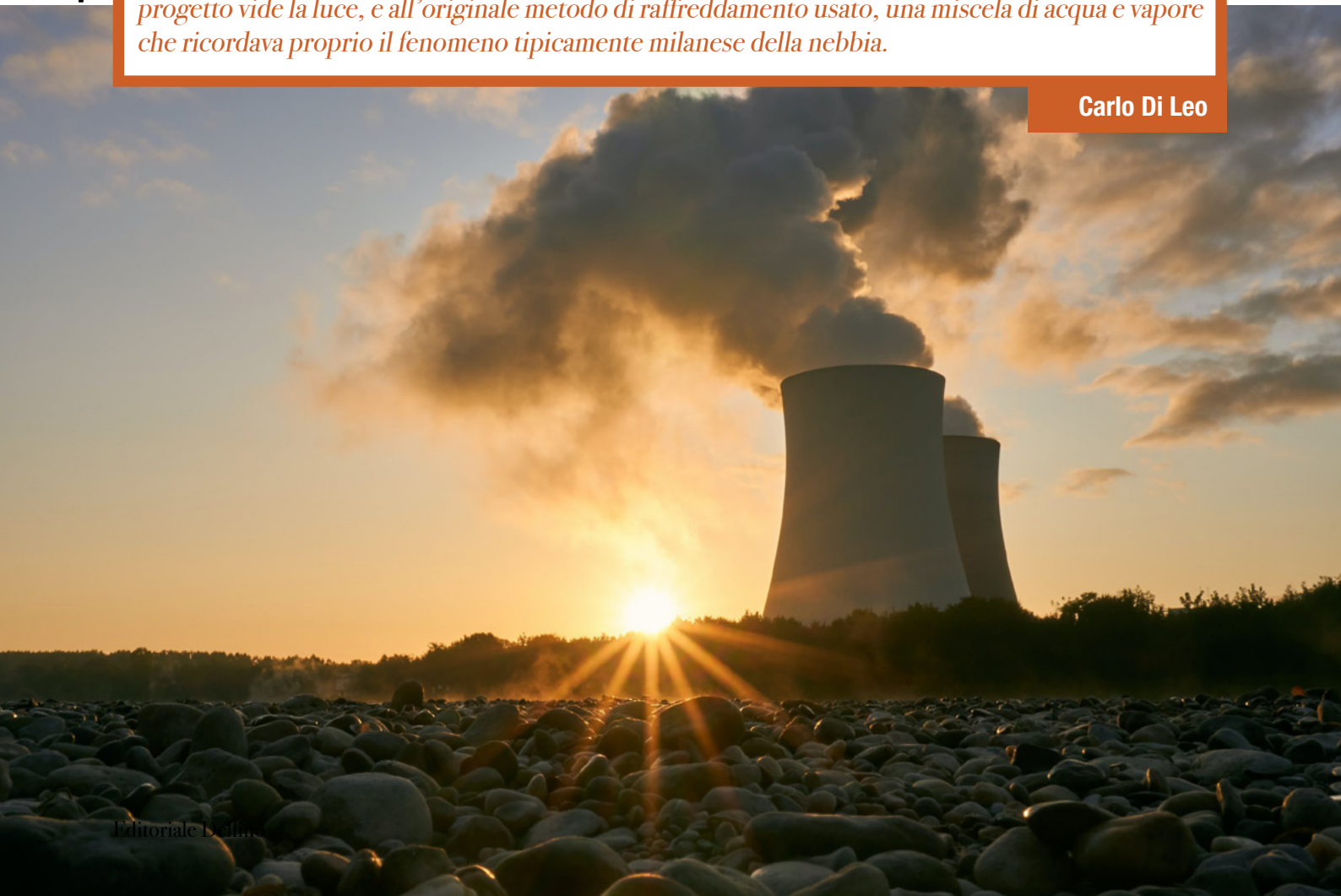


CIRENE, una storia (tutta) italiana

Vicino Latina, a non molti chilometri da Roma, sorge il prototipo del reattore nucleare CIRENE. La sua storia che si articola in un arco di oltre cinquanta anni, riguarda un'ambiziosa sfida tecnologica: la realizzazione di un reattore tutto italiano. Completamente costruito e collaudato per gran parte dei suoi componenti, CIRENE non venne mai avviato, a seguito della moratoria sul nucleare che fece seguito al referendum del 1987, ma testimonia come l'Italia fu in grado di concepire, progettare e costruire, un impianto nucleare in modo del tutto autonomo. Il nome CIRENE è l'acronimo di CISE REattore a NEbbia, e si riferisce al CISE di Milano, che era il centro di ricerca dove l'ambizioso progetto vide la luce, e all'originale metodo di raffreddamento usato, una miscela di acqua e vapore che ricordava proprio il fenomeno tipicamente milanese della nebbia.

32 |

Carlo Di Leo



Nascita di un grande progetto.

Terminato il secondo conflitto mondiale, un gruppo di giovani ricercatori decise di sviluppare una tecnologia tutta italiana per la costruzione delle centrali nucleari. Il progetto partì nel 1946 con l'apertura a Milano del CISE, un centro studi a cui parteciparono vari soggetti industriali del nostro paese e l'obiettivo era la costruzione di un prototipo chiamato CIRENE. Dopo vari problemi politici e tecnici, nel 1986 la costruzione del prototipo si concluse. Quell'anno però l'incidente di Chernobyl e il seguente referendum sul nucleare, misero la parola "fine" al programma CIRENE, che aveva portato alla nascita di numerosi brevetti ed allo sviluppo di importanti processi industriali.

L'idea di costruire un reattore di brevetto interamente italiano, nacque proprio a Milano, nel 1945, ma la strada si rivelò presto irta di difficoltà e lungaggini burocratiche, con diverse sfumature: burocratiche, appunto, ma anche tecniche e politiche. La seconda guerra mondiale terminò tristemente con le ecatombi di Hiroshima e Nagasaki, che indussero il Giappone alla resa. Quelle esplosioni dall'eccezionale impatto emotivo in tutto il mondo, ebbero l'effetto di indurre alcuni giovani scienziati milanesi ad indagare su quale straordinaria forma di energia le avesse rese possibili e se non fosse possibile impiegarla a scopo civile per produrre elettricità. Questi straordinari "ragazzi" erano Mario Silvestri, ingegnere appena assunto dalla Edison, Carlo Salvetti e Giorgio Salvini, all'epoca giovani ricercatori dell'Università degli Studi di Milano. I tre ebbero la fortuna di essere appoggiati da Vittorio de Biasi, consigliere delegato della Edison, e da Giuseppe Bolla, professore ordinario alla Facoltà di fisica dell'ateneo milanese. In quei mesi gli americani, per dare esempio di trasparenza e sfoggiare la propria superiorità tecnologica, divulgarono il cosiddetto "Rapporto Smyth"

nel quale, per la prima volta venivano illustrate la reazione nucleare a catena, e le ricerche-chiave sulla bomba atomica. Dal rapporto emerse che quello militare non era l'unico impiego possibile dell'energia nucleare e che, con tecnologie più semplici rispetto a quelle usate per costruire le bombe si potevano realizzare centrali di generazione elettrica la cui potenzialità sarebbe stata molto superiore a quella delle centrali tradizionali. Ma se negli Stati Uniti gli studi sull'energia nucleare erano sostenuti dalle istituzioni governative, che avevano già fatto corposi investimenti per i suoi usi militari, in Italia la situazione era molto diversa. La modesta industria italiana, sopravvissuta alla guerra era ancora piuttosto debole, ed il paese era più attento alla ricostruzione che non all'avvio di indagini in nuovi campi scientifici. L'iniziativa nacque dal fronte privato, ed il gruppo del Prof. Bolla coinvolse Cogne e Fiat, mentre Edison prese contatti con altri produttori di elettricità, come Montecatini e SADE. Nel novembre 1946 queste industrie diedero vita al Centro Informazioni Studi Esperienze, ovvero CISE, a cui in seguito aderirono anche Pirelli, Falck, Terni e Comune di Milano. Vennero inoltre acquisite le consulenze di alcuni ottimi docenti quali Edoardo Amaldi, Gilberto Bernardini e Bruno Ferretti, fisici dell'Università "La Sapienza" di Roma che avevano lavorato con Fermi e quella del geologo pisano Trevisan. In figura 1 è mostrato l'interno di un laboratorio degli anni Cinquanta. In primo piano si può vedere un impianto di distillazione a bassa temperatura sotto vuoto per la preparazione di campioni di acqua pesante nei laboratori del CISE.

I primi laboratori trovarono spazio in un seminterrato della Edison a Milano, in via Procaccini, e ben presto al CISE giunsero come allievi giovani ricercatori, come Ugo Facchini, Emilio Gatti, Elio Germagnoli, Alberto Bracci ed Enrico Cerrai. Si trattava di anni "eroici" considerato il segreto che coprivano la fisica e la tecnologia nucleare. Le prime ricerche si concentrarono sulla fisica dei reattori nucleari, sull'elettronica strumentale, e sullo studio sperimentale delle caratteristiche dei materiali da impiegare nelle realizzazioni di un reattore, senza ricorrere a tecnologie di cui l'Italia non poteva disporre. Tra le prime scelte vi fu quella di usare il binomio acqua pesante e uranio naturale (la stessa combinazione usata nei reattori CANDU). A questo punto è bene aprire una piccola parentesi per spiegare il perché di una tale scelta.

Bisogna ricordare che dell'uranio presente in natura, solo lo 0,72% è uranio 235, cioè l'isotopo che

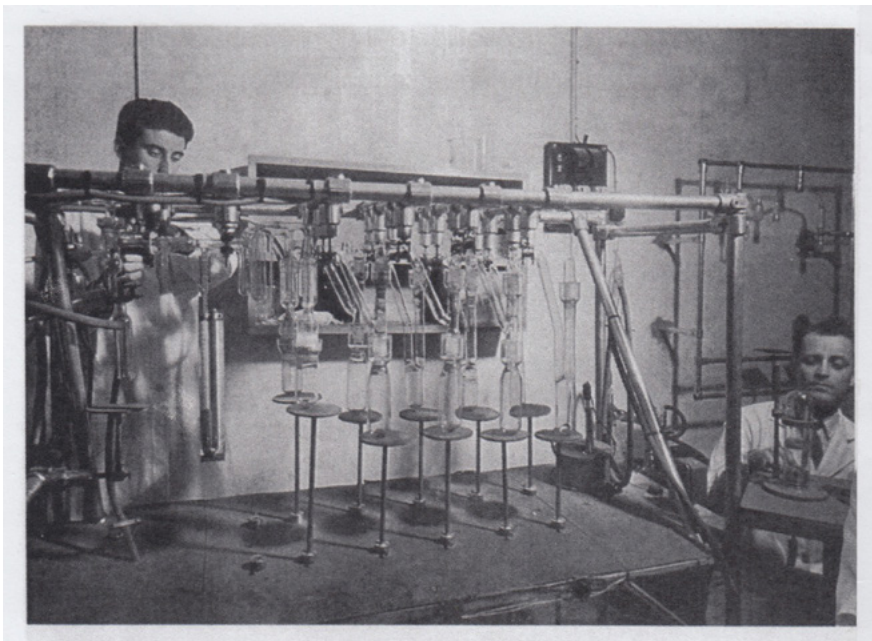


Fig. 1

Impianto di distillazione per acqua pesante.

Energia nucleare

si può adoperare per la reazione di fissione nucleare a catena. Per la realizzazione di una bomba è necessario separare l'isotopo 235, che poi verrà usato come combustibile, quasi totalmente dal resto dell'uranio. Questo obiettivo, come noto si ottiene con il "processo di arricchimento". Ma in un reattore per la produzione di energia elettrica è sufficiente impiegare concentrazioni anche basse di uranio 235 (così ad esempio si può avere un arricchimento del 3%). Infatti, oltre al combustibile, nel reattore è presente un altro materiale, chiamato "moderatore", come acqua, o grafite. Il moderatore rallenta i neutroni generati dalle disintegrazioni dei nuclei di uranio, portandoli alla velocità ottimale per colpire altri nuclei e facilitare la reazione a catena. In particolare l'acqua pesante ha la caratteristica di essere un eccellente moderatore, e consente di ottenere la reazione a catena anche con uranio naturale, senza ricorrere al processo di arricchimento che richiede impianti molto costosi e complessi e che possono costituire una strada di accesso alle armi atomiche. La strada dell'arricchimento era ovviamente preclusa all'Italia, che era uscita sconfitta dalla seconda guerra mondiale. Sulla possibilità offerta dall'acqua pesante la cui estrazione non era così difficile come lo era invece la produzione di uranio arricchito, si basava il principio di funzionamento del reattore CIRENE.

34 | A partire dal 1955, dopo la morte di Stalin, il presidente americano Dwight Eisenhower incominciò ad inviare



Fig. 2

Un pezzo di pechblenda.

all'Unione Sovietica dei segnali di distensione. Seguendo questa linea politica, le Nazioni Unite promossero la prima conferenza internazionale sugli usi pacifici dell'energia atomica, che si tenne a Ginevra nell'agosto 1955 che aveva come titolo "Atomi per la Pace". Tra gli obiettivi della conferenza vi era la nascita dell'agenzia internazionale per l'energia atomica (IAEA), con sede a Vienna che avrebbe avuto il compito di controllare che i materiali nucleari scambiati tra i paesi non fossero impiegati per scopi bellici. La cooperazione lanciata dagli americani aveva un chiaro obiettivo: non potendo impedire le ricerche nucleari sulle nazioni considerate nemiche, o in quelle che avrebbero potuto sviluppare un'indipendenza industriale e militare, gli Stati Uniti puntavano ad avere un forte controllo tecnologico. E la via dell'acqua pesante come moderatore, prospettata dai ricercatori di molti paesi, tra i quali l'Italia, mediante gli scienziati del CISE, si scontrava con gli interessi politici e commerciali che stavano prendendo corpo nella nascente industria nucleare. Infatti le nazioni che avevano intrapreso per prime la via dell'atomo per la produzione di armamenti avevano già fatto cospicui investimenti in laboratori e impianti e le tecnologie che intendevano esportare si basavano sull'uso di uranio arricchito, del quale detenevano un monopolio pressoché inviolabile. In figura 3 è mostrato uno schema di massima del contenitore e del dispositivo di caricamento dal basso del reattore CIRENE.

In Italia, nel 1952 l'organizzazione delle ricerche nucleari

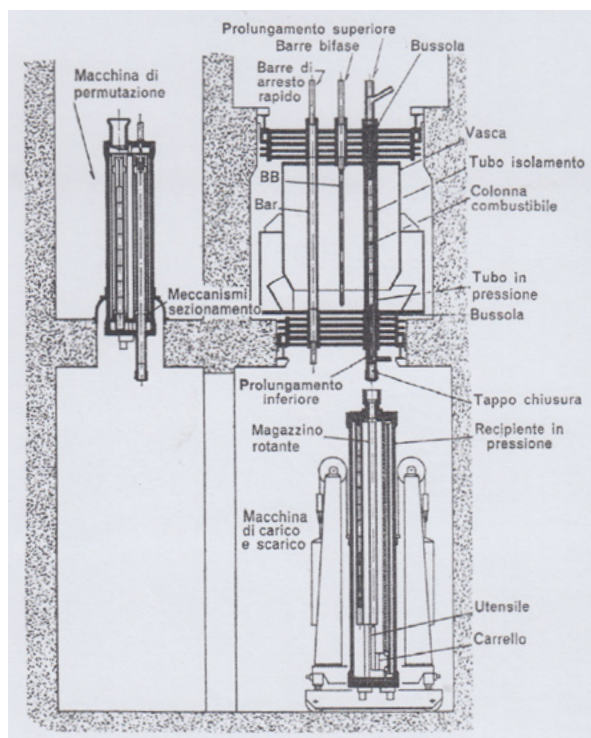


Fig. 3

Schema del contenitore e del dispositivo di caricamento.

italiane venne affidata ad un apposito ramo del Consiglio nazionale delle ricerche: il Comitato nazionale per le ricerche nucleari (CNRN) che, in accordo con la politica statunitense delineata alla conferenza “Atomi per la Pace” promuoveva trattative e impegni internazionali. Nel 1956 il comitato decise l’acquisto di un reattore da ricerca americano sviluppato nel Centro nucleare dell’Argonne (USA) per la nuova sede del CISE in costruzione a Ispra, presso Varese. Il reattore, in seguito denominato Ispra-1, implicava una dipendenza dall’uranio arricchito, per cui andava contro la politica del CISE, che invece puntava allo sviluppo di capacità industriali autonome. Nel 1959, poco dopo essere stato ultimato, il centro di Ispra venne ceduto alla Comunità atomica europea (CEA), mentre il fulcro delle ricerche del Comitato nazionale per l’energia nucleare (CNEN), che da quell’anno aveva preso il posto del CNRN, venne spostato alla Casaccia, un nuovo centro vicino Roma. Il CISE ed i suoi ambiziosi progetti subirono dunque un forte ridimensionamento. Negli anni Cinquanta l’energia nucleare non era ancora competitiva con le altre fonti e si puntava ad abbassare il costo del chilowattora, accelerando il passaggio dalla fase di ricerca a quella di industrializzazione. Così nel gennaio 1956, la Edison prese accordi con la Westinghouse per la centrale di Trino Vercellese, da dotare di un reattore ad acqua naturale (H₂O o acqua leggera) in pressione ed uranio arricchito. Qualche mese dopo i due enti statali ENI e IRI annunciarono la costruzione della centrale di Latina, che avrebbe ospitato un reattore a grafite di concezione inglese. Infine, nel 1958, la SENN, un’emanazione dell’IRI, per la centrale che intendeva costruire nel Garigliano, chiese la fornitura di un reattore ad acqua naturale bollente all’americana General Electric. Le tre centrali entrarono in funzione tra il 1962 ed il 1964, portando l’Italia ad essere il terzo paese occidentale per produzione nucleare dopo gli Stati Uniti e la Gran Bretagna. Negli anni Sessanta non vi erano ancora opposizioni ambientaliste e l’incidente di Chernobyl e il successivo referendum sarebbero venuti molti anni dopo. Nonostante ciò, la strada italiana per lo sfruttamento dell’atomo era irta di ostacoli. Con l’apertura alla sinistra operata nella Terza Legislatura parlamentare, nel 1962 venne costituito l’ENEL (Ente nazionale per l’energia elettrica). In tal modo, non solo la ricerca, ma anche il nucleare per la produzione di energia elettrica, e lo stesso CISE, vennero posti nelle mani dello stato. Ma nel giro di pochi mesi ENI ed ENEL, al centro di forti interessi legati al mercato energetico subirono un forte trauma per l’improvvisa uscita di scena di due personaggi di spicco quali erano Enrico Mattei (morto in circostanze mai del tutto chiarite) e Felice Ippolito (messo ingiustamente agli arresti e solo dopo molti anni assolto con formula ampia e completamente riabilitato). Questi ultimi due erano stati i più fervidi fautori di una politica di difesa degli interessi statali. In contraddizione con gli scopi della nazionalizzazione del settore elettrico,

lo spazio per la produzione elettronucleare divenne molto piccolo, mentre avvenne un forte sviluppo del settore petrolchimico: dopo l’avvio della centrale di Trino Vercellese, voluta dalla Edison, l’ENEL mise in esercizio solo il reattore di Caorso, mentre la potenza termoelettrica generata con gli idrocarburi aumentò al ritmo di circa 1 000 megawatt all’anno.

Fu in questo scenario non certo favorevole allo sviluppo del nucleare, che venne realizzato il prototipo di CIRENE. I primi studi vennero condotti grazie a finanziamenti Euratom, in collaborazione con l’Ansaldo, per la parte impiantistica e dell’americana Nuclear Development Corporation per la progettazione del reattore. In quegli anni venne sviluppato l’originale sistema di raffreddamento dei reattori mediante miscele bifase, volto a migliorare la sicurezza intrinseca del reattore. Si trattava di un settore di studio completamente nuovo e nel quale gli ingegneri del CISE avrebbero conseguito risultati importanti a livello internazionale. Dal 1967 si avviò un’importante convenzione tra CNEN ed ENEL, che aveva come obiettivi progettazione, realizzazione ed esercizio di un prototipo CIRENE, da circa 40 megawatt elettrici che sarebbe sorto nei pressi della preesistente centrale elettronucleare di Latina. La progettazione e la realizzazione del reattore vennero affidate ad un’organizzazione chiamata Unità CIRENE, sita in Roma, a cui partecipava personale del CNEN, dell’ENEL, del CISE e della sezione “Progettazioni meccaniche e nucleari” del gruppo IRI-Finmeccanica. Le attività di ricerca e sviluppo erano curate direttamente dal CNEN nei propri laboratori. Al CISE vennero affidate commesse dedicate in particolare alla termoidraulica, alla sicurezza e alle tecnologie costruttive. In figura 4 è schematizzato un elemento di combustibile di un reattore CIRENE.

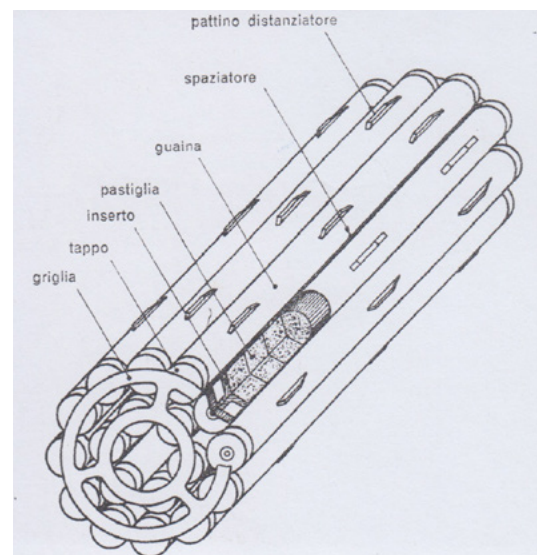


Fig. 4

Elemento di combustibile del CIRENE.

Rischio di proliferazione, costruzione e funzionamento di CIRENE

Al fine di ottenere delle alte concentrazioni di uranio-235, uno degli isotopi dell'uranio, richieste per realizzare una bomba atomica, sono necessari impianti di dimensioni industriali ragguardevoli, che per esempio usano diffusori con setti porosi molto fini o un gran numero di speciali centrifughe. Per costruire un ordigno nucleare esiste però anche un'altra strada, che non passa dall'arricchimento dell'uranio ma si basa sulla produzione di plutonio-239 con reattori nucleari. Nella reazione a catena che avviene nel nocciolo di una centrale nucleare, infatti, non tutti i neutroni emessi dalle scissioni dei nuclei, provocano altre scissioni. Una parte di questi neutroni viene assorbita dai nuclei di uranio-238, l'isotopo che è il maggiore costituente dell'uranio nucleare. Grazie a successive reazioni una parte dell'uranio si trasforma in plutonio. Estrahendo dal reattore il combustibile che è stato parzialmente "bruciato" è poi possibile separare il plutonio prodotto con processi chimici più semplici rispetto alla separazione dell'uranio-235. Per ottenere l'isotopo plutonio-239 con il grado di purezza adatto alla fabbricazione di una bomba occorre che nel reattore non vi sia il tempo necessario a generare isotopi del plutonio non fissili in concentrazione eccessiva. Per tale scopo è necessario estrarre il combustibile dal reattore dopo un periodo opportunamente breve.

36 | I reattori che hanno goduto del maggior appoggio politico e commerciale, nel mondo occidentale sono stati progettati proprio per impedire questa manovra: l'estrazione del combustibile richiede l'arresto dell'impianto ed una serie di operazioni che non sfuggono facilmente ai controlli dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica. Il discorso però cambia con l'architettura impiantistica a tubi in pressione scelta per CIRENE, in cui l'operazione di ricarica del combustibile è teoricamente attuabile senza spegnere il reattore. Con un prototipo di piccola potenza, la produzione di plutonio per fare una bomba richiede un certo impegno ma non è impossibile. In effetti, quando CIRENE era ancora allo stadio di progetto, la possibilità di ricarica con il reattore di potenza era una questione aperta e, nei contesti scientifici internazionali, suscitava interrogativi e perplessità.

Nel maggio 1974 si verificò un colpo di scena: nel deserto di Rajasthan, l'India sperimentò il suo primo ordigno atomico. La bomba era stata realizzata con il plutonio prodotto in un reattore ad acqua pesante di tecnologia canadese, con molte caratteristiche simili a CIRENE. L'esplosione, denominata "Smiling Buddha", determinò con tutta probabilità una svolta politica in tema di energia nucleare. Due anni dopo l'allora presidente americano Carter esercitò forti pressioni internazionali per vietare il riciclo del plutonio. Tra le precauzioni prese, la filiera dei reattori veloci autofertilizzanti, potenziale fonte di grandi quantità di plutonio, divenne un bersaglio della politica

di Carter. In figura 5 si può vedere la sala di manovra del piccolo reattore.

Non è facile in questa sede esprimere un giudizio sulla



Fig. 5

Sala di manovra.

validità delle decisioni di Carter. Sta di fatto che se un qualsiasi paese in via di sviluppo come nella fattispecie l'India avesse voluto fabbricare una bomba, non avrebbe avuto per forza bisogno di reattori autofertilizzanti. Il fatto che se ne sia servita è dunque per molti aspetti casuale. Il danno che Carter apportò alla scienza e allo sviluppo dell'industria nucleare pacifica fu ed è molto più grave dell'esplosione "Smiling Buddha", tanto più che ai tempi di quest'ultima, gli arsenali nucleari bellici (in primo luogo quelli statunitensi che Carter difendeva tanto) erano così stracolmi di ordigni nucleari che sarebbe bastata una minima percentuale di essi per distruggere per sempre il nostro pianeta. E per fare tutto ciò non vi era certo bisogno di CIRENE.

Prima di passare alla descrizione tecnica del reattore, riassumiamo brevemente le principali tappe che hanno segnato la vita di questo progetto.

- Il 19 novembre 1946 venne costituito il CISE.
- Nel 1949 al CISE si avviavano i laboratori per ottenere l'acqua pesante e per lavorare l'uranio.
- Nel 1952 al CISE nacque il Progetto Pila, per la costruzione di un reattore nucleare.
- Tra il 1959 ed il 1962 il reattore CIRENE conquistò una propria identità e partirono i contratti con l'Euratom per la realizzazione di un prototipo.
- Tra il 1965 ed il 1967 partì il programma per un reattore da 500 megawatt elettrici. Si decise di costruire

un prototipo da 35 megawatt elettrici a Latina, e a Roma si formò l'Unità CIRENE per la costruzione del prototipo.

- Nel 1972, Ansaldo Meccanico Nucleare si aggiudicò l'appalto a Latina (sito ENEL di Borgo Sabotino);
- Nel 1973 dopo lo scoppio della prima crisi energetica, legata alla guerra del Kippur tra Israele ed Egitto, il ministero concesse il nulla osta per la realizzazione dell' "isola nucleare" di CIRENE.
- Tra il 1977 ed il 1978 vennero stipulati degli accordi per esportare CIRENE all'estero.
- Il 26 aprile 1986 si verificò l'incidente di Chernobyl e tre anni dopo, nel luglio 1989 fu presa la decisione di annullare definitivamente il collaudo del reattore CIRENE.

Ciò che avvenne dopo la tristemente nota crisi energetica del 1973, per ridurre la dipendenza italiana dal petrolio, è ormai storia dei nostri giorni. L'Italia, infatti sembrò tornare al nucleare e nel 1974 il Ministro dell'Industria Carlo Donat Cattin, presentò un piano molto corposo che prevedeva la costruzione di 20 centrali nucleari in tempi stretti. In questo clima di rinnovato entusiasmo, il ministero concesse il nulla osta per la realizzazione dell' "isola nucleare" del CIRENE e nel 1978 iniziò la costruzione dell'impianto prototipo. Nel 1979 il programma delle 20 centrali nucleari non era stato ancora approvato. Il CNEN si trovò ad affrontare una situazione di crisi che

provocò l'arresto di molte attività e rischiò di creare molti problemi tecnici e contrattuali a molti dei progetti in corso, CIRENE compreso. Come molti progetti nucleari, l'impresa CIRENE subì un rallentamento ma non venne abbandonata. Si aprì la possibilità di vendere all'estero la tecnologia del reattore ad acqua pesante perché CIRENE aveva attratto le nazioni che non volevano e non potevano dipendere dal vincolo dell'arricchimento dell'uranio.

Anche se i lavori procedevano con una lentezza esasperante, nel 1986 la costruzione del prototipo era praticamente ultimata. Mancava solo l'installazione della macchina per il carico e scarico del combustibile, ma il 26 aprile di quell'anno, il gravissimo incidente di Chernobyl, nell'allora Unione Sovietica finì per creare allarmismi ingiustificati che fecero il gioco di spinte economiche e politiche avverse all'uso dell'atomo. L'Italia abbracciò definitivamente la scelta degli idrocarburi divenendo l'unica nazione dotata di tecnologia nucleare a rinunciare all'uso di questa fonte energetica dopo aver dimostrato di avere competenze e capacità realizzative di prim'ordine. Per quanto concerne il modo in cui questo reattore avrebbe dovuto funzionare, è bene dire che esso avrebbe dovuto possedere una serie di originali ed interessanti caratteristiche. In figura 6 è mostrata una veduta di insieme dell'impianto.

All'interno di appositi tubi di isolamento termico (per



Fig. 6

Veduta di insieme dell'impianto.

non riscaldare l'acqua pesante a pressione atmosferica della calandria) e centrati rispetto a questi da opportuni distanziatori, erano disposti i tubi di Zircalloy in pressione in cui sarebbe dovuto scorrere il refrigerante ed era contenuto il combustibile. Ciascun tubo in pressione era collegato a due prolungamenti in acciaio; il prolungamento inferiore era chiuso sul fondo da un tappo a tenuta che veniva rimosso durante le operazioni di ricambio del combustibile. Attraverso le bussole dello schermo superiore penetravano anche i tubi piegati ad U delle barre di controllo bifase (BB), speciali barre di controllo costituite da tubi, immersi nella vasca del moderatore percorsi da una miscela assorbitrice acqua borata-ossigeno in moto disperso. La densità della miscela sarebbe stata variata da una valvola che modulava la portata del liquido. Il CIRENE era dotato di due sistemi indipendenti di arresto; il primo avrebbe fatto uso di barrette liquide, il secondo consisteva nello scarico rapido del moderatore. Entrambi i sistemi avrebbero funzionato sotto l'azione della gravità ed erano in grado ciascuno di far fronte al massimo incidente di riferimento. I tubi in pressione erano di Zircalloy 2 e venivano collegati ai rispettivi terminali in acciaio mediante speciali giunti di transizione. Ogni canale del reattore conteneva otto "spezzoni" di combustibile. In figura 7 è riportata un'altra immagine dell'impianto (si noti sullo sfondo alla sua destra la centrale di Latina).

38 | Gli spezzoni, della lunghezza di 500 millimetri ciascuno, consistevano in un fascio di 18 barrette, saldate alle estremità a due griglie flessibili; il contatto delle barrette fra di loro e verso il tubo a pressione era impedito da distanziatori applicati sulla superficie delle guaine; al

centro del fascio era disposto un tubo di Zircalloy 2 che costituiva l'organo di collegamento e di centraggio reciproco dei diversi spezzoni. Per alcune operazioni di ricambio del combustibile, eseguite con reattore spento, alla temperatura e alla pressione di esercizio, venivano utilizzate una macchina di carico e scarico (MCS) che estraeva dal canale di potenza prescelto la colonna di combustibile contenente i fasci esauriti e la sostituiva con una colonna contenente i fasci freschi, ed una macchina di permutazione (MP), che operava in "tandem" con la MCS, in cui i fasci della colonna estratta venivano disposti in un nuovo ordine assiale ed al contempo i fasci esauriti (in numero di due per ogni ciclo di ricambio) venivano sostituiti con altrettanti fasci freschi.

La MCS era costituita da un recipiente in pressione, pieno di acqua alla temperatura di circa 100°C, all'interno del quale erano disposti un magazzino rotante che ospitava la colonna di combustibile estratta dal reattore e quella pronta per esservi introdotta, carrello per la traslazione verticale delle due colonne ed un utensile per l'azionamento dei meccanismi del tappo. La macchina di permutazione operava sommersa in acqua a bassa pressione e conteneva anch'essa un magazzino rotante che ospitava tre contenitori (rispettivamente per i fasci freschi, i fasci esausti e la colonna dei fasci da permutare) equipaggiati all'estremità inferiore con i meccanismi di sezionamento necessari per separare tra di loro i fasci della colonna durante la manovra della permutazione. In figura 8 è riportato lo spaccato dell'impianto nucleare prototipo CIRENE tratto da un disegno originale.

Il progetto si basava su un sistema il cui moderatore



Fig. 7

CIRENE e la centrale di Latina.

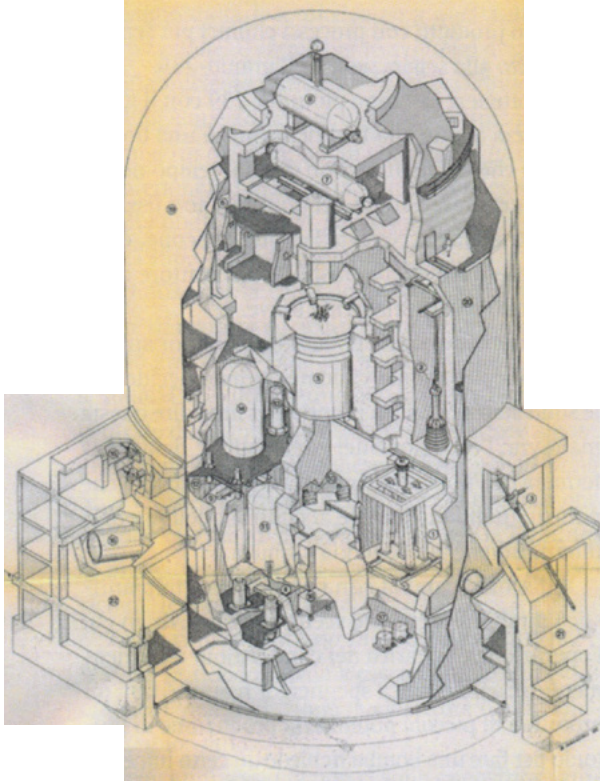


Fig. 8

Spaccato del prototipo.

sarebbe dovuto essere l'acqua pesante, mentre il ruolo di fluido termovettore sarebbe stato demandato all'acqua naturale in regime bifase. Il reattore nucleare era costituito da una vasca che conteneva il moderatore, al cui interno erano alloggiati, posti verticalmente, i canali di potenza contenenti il combustibile. L'impiego di acqua pesante come moderatore avrebbe consentito, come già detto, di evitare l'arricchimento isotopico dell'uranio, mentre la soluzione "a canali di potenza" non avrebbe richiesto la costruzione di componenti ad alta pressione di grandi dimensioni. L'acqua naturale che avrebbe dovuto percorrere i canali dal basso verso l'alto sarebbe stata parzialmente convertita in vapore, mantenendo sempre un sottile strato di liquido sulla superficie dell'elemento di combustibile. La miscela acqua-vapore sarebbe stata quindi convogliata nel corpo cilindrico, ove il vapore sarebbe stato separato ed inviato alla turbina, collegata con un opportuno alternatore avente il compito di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica.

Incidente di progetto per reattori tipo CIRENE e cenni sul sistema di iniezione di emergenza

Nel caso di reattori ad acqua pesante, ed in particolare in un reattore tipo CIRENE, le prestazioni richieste al sistema di raffreddamento di emergenza sarebbero dovute essere in generale, meno spinte di quelle necessarie per i reattori ad acqua leggera. Ciò si spiega considerando che il combustibile dei reattori ad acqua pesante possiede una maggiore inerzia termica a parità di prestazioni fornite, dall'elemento di combustibile. Infatti, come è intuitivo, a parità di potenza generata per unità di lunghezza, una barretta di uranio naturale avrebbe dovuto

avere un diametro sensibilmente superiore (in pratica circa doppio) rispetto a quello di una barretta a uranio arricchito, che possiede una maggiore concentrazione di isotopo fissile (uranio-235). La maggiore inerzia termica che ne risulta implica che qualora il combustibile fosse salito di temperatura, per mancanza di un adeguato raffreddamento, l'escursione termica sarebbe stata più lenta per un reattore tipo CIRENE. Ciò imponeva evidentemente requisiti meno stringenti per l'intervento del sistema di raffreddamento di emergenza nella fase più delicata del transitorio successivo al LOCA, in cui occorre riprendere e contenere l'escursione termica del combustibile per poi portarlo a bassa temperatura e sotto battente d'acqua.

Peraltro occorre segnalare che l'incidente di progetto per un reattore di tipo CIRENE (rottura istantanea e completa di uno dei collettori di ingresso di cui sarebbe stato dotato il sistema di ricircolazione del refrigerante (si veda la figura 9) non avrebbe provocato in sé la rapida perdita del moderatore in quanto refrigerante e moderatore sarebbero appartenuti a circuiti fisicamente separati: in altre parole, il LOCA non avrebbe provocato spontaneamente lo spegnimento del reattore mediante l'intervento del sistema scram.

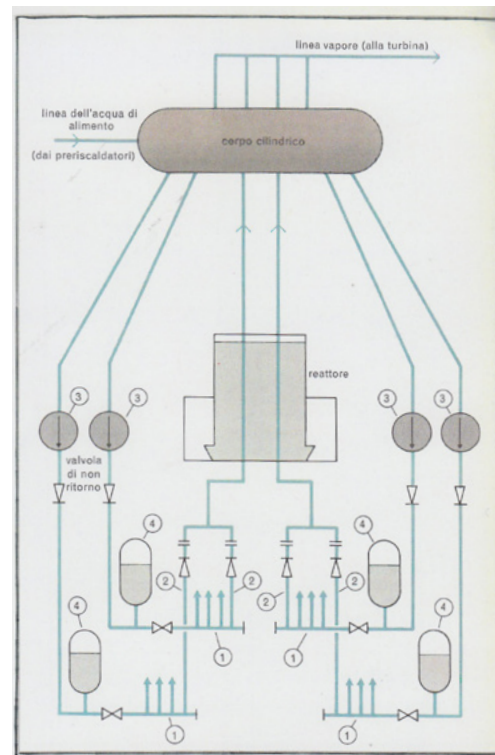


Fig. 9

Sistema di ricircolazione del refrigerante in CIRENE.

Legenda

1. Collettori di ingresso;
2. Tronchetti di adduzione ad un canale di potenza;
3. Pompe di ricircolazione del refrigerante;
4. Serbatoi di iniezione di emergenza.

In un reattore tipo CIRENE all'evoluzione del LOCA avrebbero concorso in modo determinante le prestazioni fornite dal sistema di arresto rapido, la cui efficacia e tempestività di intervento assumono un'importanza vitale agli effetti del LOCA. In accordo con ciò, per il prototipo CIRENE erano previsti due sistemi di scram materialmente indipendenti e addirittura basati su principi fisici differenti: uno di essi avrebbe attuato lo scarico rapido dell'acqua pesante dalla vasca del reattore, l'altro avrebbe iniettato nel nocciolo un assorbitore di neutroni in fase liquida. Tale assorbitore sarebbe andato a riempire alcuni tubi, inizialmente vuoti, che attraversavano il nocciolo: da qui derivava il nome comunemente usato di sistema a barre liquide. Il funzionamento di entrambi i sistemi di scram era affidato alla forza di gravità, e ciò andava a vantaggio della loro affidabilità. La capacità di questi sistemi era tale che anche ipotizzando l'intervento del solo sistema meno efficace (svuotamento rapido del moderatore) l'energia generata nel corso dell'escursione nucleare sarebbe dovuta essere inferiore a quella immagazzinata nell'uranio in funzionamento normale.

Non sarebbe fuor di luogo a questo punto accennare alle scelte di progetto che caratterizzavano il sistema di ricircolazione del refrigerante dal punto di vista della sicurezza, anche perché su tali scelte si basava il progetto del sistema di iniezione di emergenza. Questo sistema, illustrato in fig.9 si avvaleva di due circuiti indipendenti ognuno dei quali alimentava i canali di potenza di un seminocciolo. In tal modo da un lato si riduceva la perdita di refrigerante in una prima fase del transitorio postincidente e dall'altro veniva contenuto l'incremento di reattività associato alla diminuzione del contenuto di acqua leggera nel nocciolo.

Per gli stessi motivi ognuno dei due circuiti veniva ulteriormente suddiviso, adottando due collettori e due pompe per ciascuno di essi. Inoltre, come si vede in fig.9, veniva realizzato uno schema di doppia alimentazione per ogni canale di potenza, con valvole di non ritorno su entrambe i tronchetti di adduzione su questi ultimi. Nel caso di rotture nei circuiti di ricircolazione, questi accorgimenti avrebbero lasciato sempre disponibile una via di alimentazione a ogni canale di potenza del seminocciolo colpito, circostanza che sarebbe stata sfruttata dal sistema di iniezione di emergenza. Inoltre la fuga del refrigerante attraverso il tronchetto di adduzione del sottocircuito rotto sarebbe stata impedita dalla relativa valvola di non ritorno.

Dopo l'incidente il raffreddamento del combustibile sarebbe stato effettuato in un primo tempo dal refrigerante ancora presente nei canali di potenza e da quello fornito dai serbatoi di emergenza di cui era dotato ognuno dei sottocircuiti di ricircolazione del refrigerante. Per quanto detto a proposito della maggiore inerzia termica del combustibile nei reattori ad acqua pesante,

il raffreddamento del nocciolo in queste condizioni non era inadeguato nei confronti delle necessità, pur tenendo conto dell'escursione nucleare. Prima che si fossero esauriti i serbatoi di emergenza sarebbe intervenuto automaticamente il sistema di "depressurizzazione impressa" il quale, mediante le valvole di sfioro del corpo cilindrico, avrebbe ridotto rapidamente la pressione nei canali di potenza: ciò permetteva di accelerare l'entrata in funzionamento del sistema di iniezione di emergenza. Esso poteva così intervenire dopo 100-150 secondi dall'inizio dell'incidente a seconda della pressione di intervento. Il sistema di iniezione di emergenza, come illustrato in figura 10 avrebbe inviato l'acqua proveniente dal serbatoio dell'acqua di emergenza ai quattro collettori del sistema di ricircolazione del refrigerante mediante due gruppi di pompaggio. Ognuno di essi alimentava due collettori, i quali erano scelti in modo che ciascun gruppo di pompaggio potesse inviare il refrigerante ad ambedue i seminoccioli; erano inoltre previste due pompe (di cui una di riserva a capacità del 100%) per ciascun gruppo. In figura 10 è riportato il sistema di iniezione di emergenza del refrigerante nel reattore CIRENE, in cui sono visibili i due circuiti poi suddivisi in quattro sottocircuiti.

Operazioni di smantellamento e note conclusive

La principale difficoltà tecnica di questo progetto

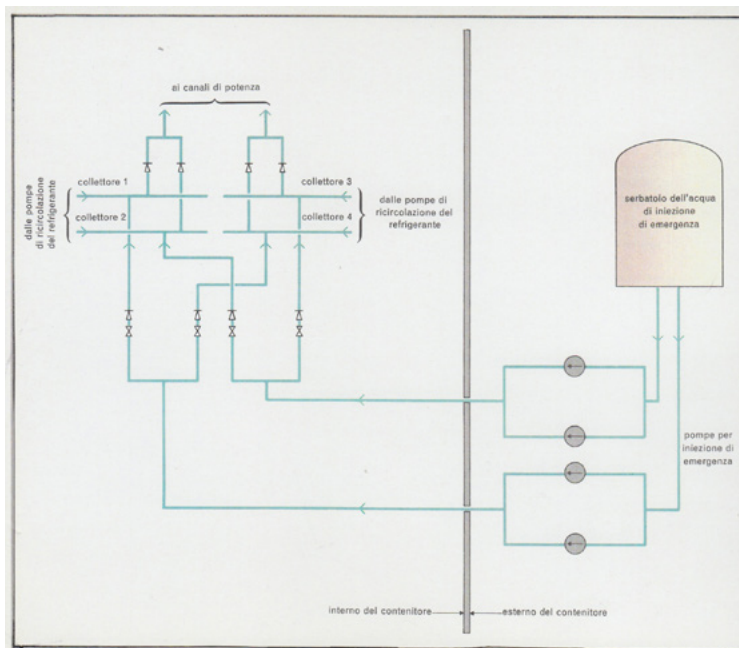


Fig. 10

Sistema di iniezione di emergenza in CIRENE.

consisteva nel fatto che l'acqua di raffreddamento, che era acqua naturale, veniva vista dal nocciolo come un assorbitore di neutroni. Il reattore non aveva quindi la caratteristica di autocompensare un possibile incremento della reazione a catena con un'evaporazione del moderatore. La scelta di operare con miscela bifase avrebbe consentito comunque di attenuare molto questa mancanza di autoregolazione, per la minore densità specifica del fluido termovettore. Attualmente, le difficoltà che possono sorgere a causa dell'impiego di vapore di acqua naturale nei canali di potenza è stata brillantemente superata nella filiera canadese di reattori CANDU, nei quali è impiegata l'acqua anche come fluido termovettore. In futuro, se si decidesse di costruire reattori CANDU, che possono riciclare l'uranio utilizzato nei reattori francesi, l'Italia potrebbe fissionare uranio "quasi esaurito" (al 2,5%), restituendo alla Francia un uranio impoverito (circa l'1,1%) in minori quantità, perché fissionato, evitando così di dover smaltire le scorie nucleari d'uranio nel proprio territorio. Il reattore CANDU produce come sottoprodotto il trizio, che un giorno potrebbe essere utilizzato nei reattori nucleari a fusione, attualmente in fase di studio e sperimentazione. Molto si è parlato del presunto "danno ambientale" che potrebbe scaturire da eventuali emissioni di trizio. A tal proposito è bene precisare che il trizio, il cui pericolo biologico maggiore è l'ingresso nell'organismo (inalazione, ingestione o assorbimento), è generato dai CANDU nel refrigerante e moderatore maggiormente che dalle filiere ad acqua leggera, a causa della cattura neutronica da parte dell'idrogeno pesante. Parte di questo trizio sfugge nell'edificio di contenimento ed è generalmente recuperato; ma una piccola percentuale (circa 1%) sfugge dalle strutture di contenimento e costituisce una emissione radioattiva di routine negli impianti CANDU (oltre tutto più grande che in un LWR di dimensioni simili). L'esercizio di una centrale CANDU comprende il controllo di questo effluente nell'ambiente circostante (e la pubblicazione dei risultati), per assicurare che queste emissioni siano inferiori a quelle permesse dalle normative. In alcuni reattori CANDU la concentrazione di trizio nel moderatore viene periodicamente ridotta con un processo estrattivo, per ridurre questo rischio. Le emissioni tipiche degli impianti CANDU canadesi sono inferiori allo 1% dei limiti normativi nazionali, che sono basati sulle linee guida dello International Commission on Radiological Protection (ICRP) (per esempio, la massima concentrazione di trizio nell'acqua potabile in Canada, 7 MBq/m³, corrisponde a 1/10 del limite di dose al pubblico dell'ICRP). Emissioni di trizio da altre centrali CANDU sono ugualmente basse e non costituiscono quindi un reale pericolo.

Quanto al reattore di CIRENE, il destino di essere smantellato è stato inevitabile. Dopo il fermo della

centrale dovuto ai risultati del referendum del 1987, la prima operazione di decommissioning ha riguardato l'allontanamento, con il sistema di movimentazione e caricamento, del combustibile dall'edificio reattore, successivamente smantellato. Nel 2006 è stato terminato lo smantellamento e la rimozione delle condotte inferiori dell'edificio reattore.

Nel 2007 SOGIN ha realizzato il nuovo laboratorio di dosimetria che si occupa dell'approvvigionamento, preparazione e lettura dei dosimetri assegnati agli operatori degli impianti. Nel 2008 è stata completata la demolizione delle strutture interne degli edifici turbine, diesel e sala soffianti est.

Nel 2009 sono stati conclusi i lavori di adeguamento della stazione rilascio materiali, dove vengono analizzati i materiali prodotti dalle attività di smantellamento prima che vengano rilasciati come rifiuti convenzionali. Nel 2010 sono stati terminati i lavori di adeguamento della linea di circolazione dell'acqua del mare.

Nel 2011 si sono concluse le operazioni di smantellamento delle condotte superiori del circuito primario dell'impianto. Inoltre, nel settembre del 2011, dopo solo 40 giorni dall'avvio, sono terminati i lavori di demolizione del pontile della centrale, con cantiere aperto 24 ore su 24. Queste operazioni hanno riguardato la rimozione delle travi e successivamente il taglio dei pilastri del pontile, una struttura in cemento armato lunga 750 metri. Le tecnologie impiegate nell'operazione hanno consentito di svolgere i lavori senza disperdere in mare e nell'ambiente alcun frammento della struttura.

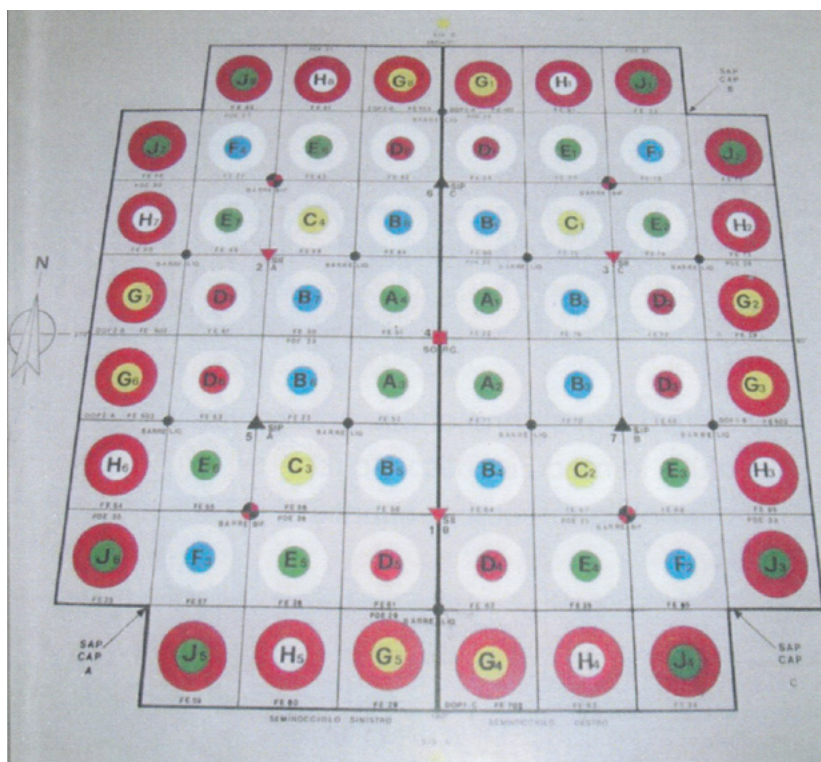
A ottobre 2011 è stato emesso il decreto di Compatibilità Ambientale (VIA) per il decommissioning della centrale, a firma congiunta dei Ministeri dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e dei Beni e le Attività Culturali. Nel dicembre 2012 SOGIN ha concluso i lavori, avviati nell'agosto 2012, di smantellamento dell'edificio turbine della centrale, una struttura in cemento armato, lunga 128,5 metri, larga 35,5 e alta 24, che durante l'esercizio ospitava le turbine dell'impianto. La demolizione della struttura, con un volume di 120.000 metri cubi, ha prodotto 14.400 tonnellate di cemento, circa il peso del ponte di Brooklyn.

In merito alle attività di gestione e messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi, SOGIN sta costruendo un deposito temporaneo in cui custodire in sicurezza i soli rifiuti derivanti dall'esercizio della centrale e dalle attività di smantellamento, in attesa del loro trasferimento al futuro Deposito Nazionale dei rifiuti radioattivi. Sono in corso i lavori di realizzazione dell'edificio dove saranno trattati e cementati i fanghi e gli splitters prodotti durante l'esercizio della centrale. Tutto il combustibile nucleare irraggiato presente nella centrale è stato allontanato e trasferito in Inghilterra per il riprocessamento.

In figura 9 è riportato lo schema dei canali di potenza sul

Energia nucleare

pannello di controllo che era situato nella sala di manovra. A questo punto è d'obbligo trarre qualche conclusione. Per l'Italia, uscita sconfitta e duramente provata dalla seconda guerra mondiale, la strada con meno ostacoli per avviare il settore nucleare sarebbe forse stata quella



42

Fig. 11

Schema dei canali di potenza sul pannello controllo.

di importare tecnologia dall'estero (cosa che di fatto accadde con l'entrata in servizio delle centrali di Latina, del Garigliano, di Trino Vercellese e di Caorso) senza andare alla ricerca di "soluzioni domestiche". Il mondo industriale e della ricerca hanno tuttavia tentato una sfida molto coraggiosa che non si può dire persa se molte scelte tecnologiche legate ai concetti di CIRENE hanno avuto pieno successo e seguito in altre nazioni, come il Canada, dove la classe politica ha garantito appoggi e continuità.

In figura 12 è mostrato un particolare del contenitore di sicurezza.

Con e grazie a CIRENE sono stati sviluppati processi industriali, come la mandrinatura dei tubi di forza in lega di zirconio, e sono stati studiati processi fisici, come lo scambio termico in regime bifase, per cui sono state



Fig. 12

Particolare del contenitore di sicurezza.

Bibliografia essenziale

Per quanto riguarda i libri si segnalano le seguenti opere:

- Ameglio Paolo, Introduzione ai principi di ingegneria nucleare ed all'analisi dei reattori nucleari, E.C.I.G. editore, 1981, Genova.
- Bandini Buti Alberto, Teoria e funzionamento dei reattori nucleari, Sandit, Albino (BG), 2007.
- Boffi Vinicio, Fisica del reattore nucleare, voll.1 e 2, Patron, Bologna, 1974.
- Cumo Maurizio, Impianti nucleari, Casa editrice Università La Sapienza, Roma, 2012.
- Leonardi Renzo, L'ABC dell'energia nucleare, Lantana editore, Pavona (Roma), aprile 2011.
- Loizzo Paolo, Le centrali nucleari, ovvero il diavolo che non c'è, Monteleone, Vibo Valentia, 1994.
- Lombardi Carlo, Impianti nucleari, Polipress, Milano, 2012.
- Mainardi Enrico, Impieghi dell'energia nucleare, Editoriale Delfino, Milano, 2008.
- Maizza Vito, Centrali elettronucleari, macchine ed impianti, Laterza, Bari, 1984.

- Mazzoleni Francesco, Introduzione all'ingegneria nucleare, Liguori, Napoli, 1988.
- Novelli Antonio, Elementi di controllo dei reattori nucleari, Clup, Milano 1988.
- Paci Sandro, Introduzione ai sistemi nucleari, Edizioni Università di Pisa, dicembre 2002.
- Sani Luciano, Centrali elettronucleari, Edizioni Sistema, Roma, 1984.

Per quanto concerne gli articoli, e, più in generale le letture più strettamente riferite a CIRENE, si segnala quanto segue:

- Cerrai Enrico, Lombardi Anna Maria, Parozzi Flavio, Cirene: storia di un progetto atomico italiano, rivista Le Scienze, n.490, giugno 2009.
- Fornaciari P, 21/esimo Secolo, Milano 1998.
- Lombardi Anna Maria, Il reattore nucleare CIRENE, Università degli studi di Milano.
- Silvestri Mario, Il costo della menzogna. Italia nucleare (1945-1968), Einaudi, Torino, 1968.
- Wikipedia, l'enciclopedia libera. (Si veda la voce CIRENE).
- Zanninelli S, Ricerca, innovazione, impresa: storia del CISE 1946-1996, Laterza, Bari, 1996.

Le proposte di Delfino

LA FUSIONE NUCLEARE CONTROLLATA

Il presente volume si prefigge lo scopo di illustrare nel modo più chiaro possibile, l'attuale stato delle ricerche nel campo della fusione nucleare controllata, che consiste nel riprodurre sulla Terra l'energia delle stelle, e si sofferma sulle sue possibili applicazioni. Come è scritto anche nel sottotitolo, vengono presi in considerazione gli attuali tre filoni dominanti della ricerca in questo particolare settore: il confinamento magnetico, che trova la sua massima realizzazione nel tokamak e nello stellarator, il confinamento inerziale con raggi laser o fasci di particelle subatomiche, ed in modo molto più marginale, la fusione fredda.



Autore Carlo Di Leo – Giorgio Lucarelli
Prezzo 29,00 €
Pagine 800

Editoriale Delfino Srl
Tel. 02 9578.4238 • info@editorialedelfino.it

Segui Editoriale Delfino!



Per l'acquisto

<https://libri.editorialedelfino.it/prodotto/la-fusione-nucleare-controllata/>

