

50 anni di energia nucleare al Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA

Interventi di Fabrizio Pisacane¹, Giovanni Paoloni², Mauro Cappelli¹, Agostino Mathis³, Massimo Sepielli¹, Stefano Monti⁴, Pietro Agostini⁵, Stefania Baccaro⁶, Giovanni Lelli⁷, con due schede curate da Rocco Bove¹. Le visite agli impianti TAPIRO e TRIGA sono state curate dai responsabili Orlando Fiorani¹ ed Emilio Santoro¹

1. ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione e la Gestione del Materiale Nucleare
2. Università di Roma La Sapienza
3. Già Dirigente ENEA
4. ENEA, Unità Tecnica Metodi per la Sicurezza dei Reattori e del Ciclo del Combustibile
5. ENEA, Unità Tecnica Ingegneria Sperimentale
6. ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali
7. Commissario dell'ENEA

Il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA ha compiuto 50 anni. Nonostante le diverse trasformazioni intercorse negli ultimi decenni, il Centro non ha mai abbandonato la sua iniziale vocazione di luogo di eccellenza scientifica e tecnologica in ambito nucleare. In tutti questi anni ricercatori e tecnici hanno continuato a lavorare all'interno di infrastrutture di ricerca e impianti di qualificazione industriale, mantenendo quell'insieme di conoscenze e competenze che rappresentano oggi un patrimonio di invidiabile valore

Celebrating 50 Years of Nuclear Energy at the ENEA Casaccia Research Centre

The ENEA Casaccia Research Centre is celebrating 50 years since its very foundation. Despite its several transformations in the last few decades, the Centre never abandoned its initial role as a place of technical and scientific excellence in the nuclear field. During all of these years researchers and technicians kept on working within research facilities and industrial qualification plants holding its precious asset of know-how and expertise together

Il Centro Ricerche Casaccia, il più grande complesso di laboratori e impianti dell'ENEA, ha compiuto i suoi primi cinquanta anni. Le vicende storiche del centro sono strettamente legate all'intreccio di eventi di natura scientifica e politica che hanno coinvolto l'Ente. Nel 1952 nasce, presso il CNR, il CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) il cui scopo è acquisire e diffondere conoscenze scientifiche sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare alle scienze biologiche, agricole, alla fisica dei materiali e all'elettronica.

Nel 1960 il Governo italiano cede all'Euratom il Centro Ricerche di Ispra del CNRN e, sull'onda del grande entusiasmo seguito alla prima Conferenza sull'uso pacifico dell'energia nucleare organizzata a Ginevra nel 1955 dall'ONU, il Parlamento trasforma il CNRN in CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare). Il CNEN si organizza come struttura di sviluppo tecnologico in stretto collegamento con l'industria, per la progettazione e realizzazione di impianti nucleari e del ciclo del combustibile. Gran parte della ricerca tecnologica sviluppata presso il Centro di Ispra viene trasferita nel Centro della Casaccia, che diventa il cuore della ricerca nucleare applicata in Italia, nonché il luogo nel quale formare i tecnici italiani nel campo dei reattori nucleari.

Negli anni 70 la crisi energetica accelera la realizzazione di nuove centrali per la produzione di energia elettrica. Il CNEN ha il compito di sviluppare la ricerca e la promozione industriale. La "Casaccia" conosce in questi anni un grande sviluppo con la nascita di laboratori e impianti di livello internazionale.

Nei primi anni 80, l'interesse per le energie da fonte rinnovabile porta alla trasformazione del CNEN in ENEA (Comitato per la ricerca e lo sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative), con lo scopo di affiancare alla ricerca nucleare anche quella sulle fonti rinnovabili, l'uso razionale dell'energia e il suo impatto ambientale.

L'incidente di Chernobyl nel 1986 porta a riconsiderare la politica energetica nucleare italiana e per tutti gli anni 90 le attività di ricerca della Casaccia si concentrano prevalentemente nei settori dell'energia da fonte rinnovabile, dell'ambiente e delle nuove tecnologie.

Ma anche dopo l'uscita dell'Italia dal programma nucleare e le ulteriori riforme dell'Ente avvenute nel 1999, 2003 e nel 2009 (anno in cui l'Ente viene soppresso e trasformato in Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) il Centro non ha mai abbandonato la sua iniziale vocazione. Ricercatori e tecnici hanno continuato a lavorare all'interno di infrastrutture di ricerca e impianti sperimentali, mantenendo quell'insieme di conoscenze e competenze che rappresentano oggi per il Paese un patrimonio di invidiabile valore.

Nel corso dell'evento del 20 ottobre scorso, con il quale si sono festeggiati i 50 anni del Centro, si sono susseguiti i numerosi interventi che si riportano nel seguito, insieme alle schede dei due reattori nucleari di ricerca TAPIRO e TRIGA RC-1 che, per celebrare nel modo migliore il mezzo secolo di attività, sono stati riavviati ufficialmente e portati alla criticità, pronti per nuove attività di ricerca e sviluppo.

L'eredità di Fermi e la nascita del programma nucleare in Italia

Dialogo sulle origini del nucleare

Fabrizio Pisacane incontra Giovanni Paoloni

Fabrizio Pisacane

Il ruolo che nel secolo scorso Enrico Fermi ha giocato nello sviluppo delle scienze fisiche e della tecnologia – tra cui voglio, a titolo di esempio, ricordare l'approccio computazionale allo studio dei fenomeni fisici e all'ingegneria (strumento oggi in possesso della stragrande maggioranza dei gruppi di ricerca) – è stato notevole. Ma il contributo all'uso pacifico dell'energia nucleare, e non penso solo alla produzione di energia ma a tutte quelle attività indotte legate alla medicina, all'agricoltura, alla ricerca di base, è stato determinante. Tutto ciò è successo tramite la scoperta e la comprensione di tre fenomeni fisici fondamentali. Gli anni in cui ciò è avvenuto sono il 1934 ed il 1942.

Siamo nel 1934, primi mesi dell'anno. Partendo dalle esperienze delle due Curie, Maria ed Irene (nell'ordine radioattività naturale e radioattività artificiale indotta dal bombardamento di nuclei atomici con particelle alfa), molti gruppi di ricerca in tutta Europa iniziavano ad occuparsi della *nuova scienza*. Il gruppo dei ragazzi di via Panisperna (qui li ricordiamo: E. Fermi, E. Segré, F. Rasetti, E. Amaldi, ai quali si aggiunsero B. Pontecorvo, E. Maiorana e O. D'agostino) a partire dal 1932 iniziarono a pianificare prima (con la progettazione e realizzazione di specifici apparati di misura) e realizzare dopo, una campagna sperimentale di bombardamento di nuclei per produrre radioattività artificiale. Nel perfetto stile di Fermi la campagna sperimentale si svolgeva, "a tappeto", su tutti gli elementi della Tabella Periodica: essi infatti utilizzarono circa 60 elementi ottenendo radioattività artificiale da circa 40 elementi diversi. Ma la grande intuizione fu quella di utilizzare proiettili elettricamente neutri (neutroni appunto), caratteristica questa che consentiva al proiettile di non risentire della carica elettrica opposta relativa al bersaglio (il nucleo atomico). Il primo mattone fu posto. In fisica, non sono rari i casi in cui scoperte e invenzioni sono il frutto del "caso fortuito". Questo è uno dei più eclatanti anche se, trovandoci di fronte a Fermi, la possibilità che l'intuizione abbia giocato un ruolo preponderante (quello che gli anglosassoni chiamano serendipity: appunto, caso e sagacia) è tutt'altro che remota.

È la mattina del 20 ottobre 1934 (esattamente 76 anni fa) ed Enrico Fermi durante le sue ricerche sulla radioattività artificiale indotta da neutroni si trovava da solo nel laboratorio mentre i suoi collaboratori ed allievi erano impegnati in lezioni e sessioni d'esame. Impaziente ed irrequieto com'era, decise di avviare subito le procedure previste, ma un istante prima di iniziare ebbe un'intuizione e sostituì il cuneo di piombo con un pezzo di paraffina. I risultati, e cioè l'induzione di radioattività artificiale, furono straordinari, ben oltre ogni più rosea previsione, del tutto inattesi e, al momento, incomprensibili. Fu chiaro in seguito che il successo dell'esperimento si doveva proprio alla paraffina, sostanza ricca di idrogeno, che rallentava i neutroni incidenti amplificando la loro efficacia nel determinare la radioattività artificiale.

Emilio Segré ricorda: *"In principio io credevo che un contatore si fosse semplicemente guastato e desse indicazioni arbitrarie, come ogni tanto accadeva. Andammo a casa a colazione e per la solita siesta ancora sorpresi e confusi dalle osservazioni della mattinata. Quando tornammo Fermi, aveva già formulato un'ipotesi per spiegare l'azione della paraffina."*

La sera stessa Fermi ed i suoi colleghi scrissero un breve articolo per la rivista del CNR Ricerca Scientifica. L'articolo venne intitolato *Azione di sostanze idrogenate sulla radioattività provocata da neutroni*, in cui gli autori avanzarono come possibile spiegazione: *"I neutroni per urti multipli contro nuclei di idrogeno perdono rapidamente la propria energia. È plausibile che la sezione d'urto neutrone-protone cresca al calare dell'energia e può quindi pensarsi che dopo alcuni urti i neutroni vengano a muoversi in modo analogo alle molecole diffondentesi in un gas, eventualmente riducendosi fino ad avere solo l'energia cinetica"*

competente all'agitazione termica. Si formerebbe così intorno alla sorgente qualcosa di simile a una soluzione di neutroni nell'acqua o nella paraffina."

Avendo compreso immediatamente il ruolo fondamentale degli elementi leggeri, due giorni dopo, il 22 ottobre, effettuarono l'ormai leggendario esperimento della fontana con i pesci rossi, utilizzando l'acqua come moderatore, ossia la sostanza in grado di diminuire l'energia dei neutroni incidenti e ponendo il secondo caposaldo verso la realizzazione del primo reattore nucleare.

E si arriva al dicembre del 1942. Tutto è pronto per tentare la prima reazione nucleare a catena controllata: portare cioè il reattore in condizioni di sicurezza in grado di autosostenersi, o criticità in termini più tecnici, e quindi spegnerlo.

Nella trasmissione *See-It-Now* del 1952, condotta da Ed Murrow (un famoso anchorman statunitense di quegli anni), si vede un Fermi protagonista; è ancora la figura propulsiva, ed infatti così sarebbe stato se, di lì a due anni, la malattia non l'avesse portato alla morte. Infatti a Varenna, due anni dopo, ancora ignaro della terribile diagnosi che lo aspettava al rientro negli Stati Uniti, affermava: *"Ho ancora tanto da fare; direi che ho fatto un terzo delle cose che ho in mente"*.

Siamo ora al decennale della prima criticità. CP-1 (Chicago Pile-1) ha mantenuto le sue promesse ed ha consentito uno sviluppo tecnologico enorme su quell'idea. Infatti, quasi un anno dopo (l'8 dicembre del 1953) Eisenhower propone davanti all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite la creazione di una organizzazione per promuovere l'uso pacifico dell'energia nucleare...

Giovanni Paoloni

Grazie! C'è da dire innanzitutto che, dopo la tragedia della guerra, l'Italia aveva delle forti motivazioni legate alla ricostruzione del Paese e al desiderio di promuoverne la crescita in modi più moderni e più sostenuti di come questo fosse avvenuto in precedenza. Le capacità e le motivazioni non mancarono e il primo passo, alla fine del 1946, fu la costituzione del CISE, Centro Informazioni Studi Esperienze, un nome nel quale l'energia nucleare e le ricerche nucleari, anzi le ricerche, puramente e semplicemente, non comparivano neppure... Si trattava di un consorzio, una società di ricerche, a cui partecipavano aziende sia private che a partecipazione pubblica, interessate allo sviluppo dell'energia e in particolare a questa nuova fonte di energia.

Il compito era molto difficile, perché sulle esperienze che erano state fatte negli Stati Uniti non si disponeva di alcun tipo di informazione veramente utilizzabile dal punto di vista tecnologico. Il programma di lavoro del CISE, dunque, che come obiettivo massimo aveva la realizzazione di un reattore nucleare di concezione e di fabbricazione totalmente nazionale, era estremamente ambizioso, richiedeva investimenti enormi e presentava problemi non banali quali, ad esempio, quello della disponibilità dell'uranio, o quello della fabbricazione dell'acqua pesante, o addirittura quello di poter disporre della poca letteratura scientifica utilizzabile per queste attività... Il CISE sembrava arrivato ad un punto dal quale poteva essere difficile andare ulteriormente avanti ed era necessario a questo punto un sostegno esplicito istituzionale; è in questa fase della storia che, cinque anni dopo, nel 1951, fu costituito il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, che raccoglie intorno a un tavolo tutti i protagonisti, tecnici, politici ed economisti, portandoli a confrontarsi per mettere in piedi un programma nazionale. Ed è proprio in questa fase di elaborazione del programma nazionale che ci fu il discorso di Eisenhower del dicembre del 1953...

L'8 dicembre 1953 gli Stati Uniti presero una grande iniziativa. Parlando all'ONU, il Presidente Eisenhower disse: *"Molti provvedimenti dovranno essere presi e molti mesi passeranno prima che il mondo possa guardarsi in faccia e rendersi conto che un nuovo clima di reciproca e pacifica fiducia è apparso sulla terra, ma soprattutto dobbiamo cominciare fin da ora a prendere questi provvedimenti"*.

Eisenhower propose la fondazione di un Ente internazionale per l'energia nucleare con il compito di acquistare prodotti nucleari dalle varie nazioni aderenti e di mobilitare ovunque scienziati, al fine di migliorare il benessere dell'umanità, sfruttando la forza dell'atomo.

Nel 1954 gli scienziati di 16 nazioni, riuniti all'Università del Michigan, tennero la prima Conferenza internazionale sull'energia atomica. Nel novembre dello stesso anno, la prima biblioteca atomica composta di migliaia di libri e documenti fu presentata dagli Stati Uniti al Giappone. Biblioteche simili furono offerte in seguito a più di 40 nazioni.

Per gli studiosi nucleari di tutto il mondo questi trattati aprivano un nuovo e vasto campo di studio. Durante la successiva riunione dell'Assemblea Generale dell'ONU nel 1954 i delegati di molti paesi risposero con entusiasmo alla proposta di Eisenhower. Gli Stati Uniti e la Gran Bretagna si offrirono di fornire materiale fissile ad altri paesi a scopo di ricerca e per incrementare la costruzione di nuovi reattori sperimentali in questi paesi. La Francia e il Canada si dichiararono pronti ad accettare studenti stranieri nei loro istituti nazionali, condividendo così con altri paesi il risultato della loro esperienza.

Nel settembre 1956, lavorando appunto in questo senso, i delegati di 82 nazioni si riunirono alle Nazioni Unite per discutere e approvare la Carta del nuovo Ente internazionale atomico.

Era giunto il momento di coronare tre anni di arduo lavoro e di difficili negoziati. I rappresentanti delle nazioni del mondo posero la loro firma sulla carta del nuovo Ente.

Fu un momento storico nella lotta dell'umanità per mettere l'atomo al servizio della pace.

Il 25 marzo 1957, a Roma, sei paesi firmarono il Trattato per la Comunità Europea dell'Energia Atomica, noto come EURATOM, in base al quale i vari paesi si impegnavano a sviluppare un programma comune di ricerche per lo sviluppo dell'energia nucleare in Europa a scopo di pace.

Questi sviluppi internazionali cambiarono completamente la scena nella quale il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari si trovava ad operare, perché improvvisamente molti problemi tecnologici, che avrebbero richiesto anni di lavoro e ingenti investimenti, potevano essere facilmente superati attraverso la condivisione di tecnologie e di materiali; e l'Italia fu il primo paese nel 1955 a stabilire un accordo di collaborazione con gli Stati Uniti nel campo delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare.

Questo fu l'innesco di una serie di attività molto importanti per la ricerca e lo sviluppo nel nostro Paese. Innanzitutto il progetto di costruire delle centrali nucleari. Ne furono programmate e avviate tre negli anni tra il 1955 e il 1958: la centrale di Latina, quella del Garigliano e la centrale di Trino, basate ciascuna su tecnologie diverse. E si pose il problema di gestire questa attività in una maniera "attiva": questo prevedeva, cioè, di non limitarsi ad acquistare licenze, proprietà e progetti chiavi in mano, ma di formare tecnici, introdurre innovazioni, fare ricerca nella prospettiva di acquisire capacità tecnologiche autonome che avrebbero potuto svilupparsi molto meglio ora che una serie di problemi di base si potevano condividere attraverso delle collaborazioni.

In secondo luogo, al di là dei progetti industriali di avvio delle centrali, il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari si dedicò soprattutto a progettare e realizzare un Centro di ricerche nucleari nel quale formare tecnici e avviare progetti. La costruzione di questo centro venne decisa nell'Italia settentrionale, presso il Lago Maggiore; la località si chiamava Ispra. E nell'ottobre del 1957 i bulldozer entrano in azione e cominciano a lavorare sui 150 ettari che saranno occupati dal Centro.

Attraverso il grande portale, costruito per consentire l'entrata delle apparecchiature, che verrà successivamente chiuso, il pesante cilindro preparato con vernici anticorrosive fa il suo ingresso nell'edificio del reattore. Sollevato come un fuscillo, nonostante le sue 22 tonnellate...

Sopra la soletta si è provveduto intanto a costruire un apposito binario. Consentirà il trascinamento dello schermo appoggiato su un carrello scorrevole fino alla sua posizione definitiva nel centro della sala.

Lo schermo termico è costituito da due lamiere d'acciaio concentriche distanti fra loro circa 4 centimetri; nell'intercapedine creata per permettere il passaggio di due serpentine di raffreddamento, verrà poi colato del piombo. Messa in bolla e fissato nel suo alloggiamento, lo schermo termico, destinato ad assorbire il 90% dell'energia dei raggi gamma, verrà rivestito internamente di uno strato di borax allo scopo di ridurre a zero il flusso dei neutroni.

Il primo dei laboratori dei quali si inizia la costruzione è quello dei servomeccanismi, dove verranno studia-

ti tutti i problemi di controllo, regolazione e comando a distanza che possono presentarsi durante l'esercizio del reattore e degli altri laboratori del Centro.

40 mila metri quadrati di superficie saranno occupati da edifici; di questi, 8 sono i laboratori dei servomeccanismi, fisica e calcolo del reattore; di ingegneria del reattore; di elettronica; di fisica sanitaria; di chimica generale; di fisica dello stato solido; di biologia; di fisica nucleare.

Sui vari piani, il cilindro, in depressione, è collegato con l'edificio annesso attraverso 3 sistemi di porte automatiche a tenuta stagna. Accanto ad ogni porta è uno speciale apparecchio, detto "monitore mani e piedi", costruito dai tecnici del Centro per poter controllare la radioattività degli operatori.

Quando si apre la seconda parte che dal *air lock* immette nel reattore, nessuno degli uomini che lavorano ad Ispra saprà trattenere un sorriso. Ci sono ammirazione e orgoglio per aver partecipato alla creazione di questo meraviglioso complesso!

(Nel filmato sul centro di Ispra che scorre sullo sfondo la colonna sonora è di Luciano Berio, ndr). Avete notato che la colonna sonora del filmato è stata creata da Luciano Berio...

Molti artisti italiani, in vari campi, dal disegno industriale alla pittura, alla musica, all'arte, hanno avuto dagli anni 50 fino alla seconda metà degli anni 60 delle interazioni molto forti con le aziende pubbliche e private, con ottimi risultati dal punto di vista della comunicazione e spesso dal punto di vista dei prodotti. È inutile ricordare che quella è stata la grande stagione della produzione industriale italiana e del design.

Tornando al nostro campo, si può notare che il settore di ricerca nucleare è importante non solo per quanto riguarda le tecnologie più strettamente collegate alla realizzazione dei reattori e alla produzione di energia; in realtà il nucleare è uno straordinario volano di sviluppo di tutta una serie di campi di ricerca che investono tecnologie e produzioni senza le quali, al di là della realizzazione dei reattori, tutto questo settore non può essere gestito. Dunque si sono avuti straordinari sviluppi collegati, guidati e spinti dalle ricerche nucleari in campi diversi, che vanno dall'elettronica alla biologia... Nel Centro di Ispra tutto ruotava intorno alla necessità di ottenere dei risultati e di acquisire anche in questi settori delle capacità scientifiche e industriali...

Abbiamo anche visto che nel 1957 nasce EURATOM... EURATOM prevede la realizzazione di Centri comuni di ricerca in diversi paesi. L'Italia aveva il Centro di Ispra, che venne dato dal nostro Paese a EURATOM come Centro comune di ricerca. Era dunque necessario realizzare un altro Centro di Ricerca in cui spostare le attività esistenti ad Ispra ed incrementarle.

Era l'anno 1958....

Dal campo gamma ai giorni nostri: le attività nucleari della Casaccia

Due generazioni di ricercatori ENEA a confronto

Agostino Mathis (AM) a colloquio con Mauro Cappelli (MC)

(Scorrono le immagini del filmato "PQ2 Anno Terzo". A nord di Roma, nella zona del Lago di Bracciano, un complesso di edifici dalla linea funzionale si stacca nel verde paesaggio della campagna romana: è il Centro di Studi Nucleari della Casaccia, il maggiore dei centri di ricerca del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, l'Ente che sovrintende alle attività scientifiche e tecniche nel settore delle applicazioni pacifiche dell'energia atomica. Esteso su un'area di 65 ettari, questo Centro si è sviluppato nel giro di pochi anni fino a raggiungere le dimensioni attuali che lo pongono anche in campo europeo tra le più



Figure 1-2
Fasi di costruzione del Centro della Casaccia
Fonte: archivio ENEA



importanti sedi di un'attività generalmente considerata come uno dei maggiori fattori del progresso economico e tecnologico. Nel centro lavorano 1.300 persone con un'altissima percentuale di ricercatori e di tecnici. Quattro reattori nucleari sperimentali sono in attività, un quinto è in fase di realizzazione. Nell'area del Centro vi è anche un Campo Gamma per le esperienze di genetica vegetale).

MC: È l'inizio degli anni Sessanta: la scelta di puntare su un grande centro nazionale, situato proprio qui, nell'area della Casaccia, e in grado di addensare le principali attività legate allo sviluppo delle tecnologie nucleari, è ormai presa. Alla Casaccia si andranno poi affiancando altre sedi impegnate in specifiche attività di avanguardia (Bologna, Saluggia, Trisaia). Ormai la classe dirigente del Paese ha infatti ben compreso come le grandi scoperte della fisica atomica dei decenni precedenti non siano destinate soltanto alle applicazioni militari, ma possano essere opportunamente sfruttate per dare avvio alla rivoluzione che porterà l'energia da fonte nucleare anche nel nostro Paese. Era stata la Conferenza di Ginevra del 1955 ad aprire la strada al nucleare civile al mondo intero. In quell'occasione gli Stati Uniti decidono infatti di pubblicare una grande quantità di dati e informazioni relativi alle tecnologie nucleari, al fine di rendere possibile una ampia diffusione del loro utilizzo a scopi pacifici. L'Italia intuisce che per questa strada può passare un'importante fetta della modernizzazione del Paese. Sempre più persone si convincono della necessità di costruire centri scientifici multidisciplinari di grandi dimensioni, dove possano operare ricercatori a pieno tempo, su impianti e apparati anche molto impegnativi, per la messa a punto di nuovi tipi di reattori nucleari per la produzione di energia, o per lo studio degli effetti delle radiazioni nucleari.

Come è stato ricordato, inizialmente il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, costituito nel 1952, scelse Ispra, sulla riva lombarda del Lago Maggiore, come sede del centro di ricerca e sviluppo per le tecnologie nucleari. La costruzione e la gestione del centro e degli impianti venne affidata alla controllata Nucleit. L'impianto più qualificante del nuovo centro fu il reattore denominato Ispra-1.

(Scorrono le immagini del filmato girato al Centro di Ispra, ndr)

MC: In questo filmato abbiamo visto un giovane ingegnere che insieme all'Ing. Franco, responsabile dell'impianto, porta a criticità Ispra-1. Questo giovane si chiamava Agostino Mathis, e così continua a chia-

marsi, vero Prof. Mathis? Allora, Prof. Mathis, ci racconta come ha iniziato a lavorare ad Ispra e come è arrivato fino alla Casaccia?

AM: Mi ero laureato in Ingegneria Elettrotecnica, anche perché non esisteva ancora la laurea in Ingegneria Nucleare... L'anno successivo frequentai un Corso di Perfezionamento in Ingegneria Nucleare, e verso la fine del Corso inviai alcune lettere alle numerose nuove aziende che si formavano nel settore nucleare (FIAT Nucleare, AGIP Nucleare, SENN, SELNI, CISE, e Nuclit). Quest'ultima mi rispose con un telegramma, invitandomi al più presto a Milano. Mi diplomai in Ingegneria Nucleare un venerdì sera del novembre 1958 e mi presentai il lunedì seguente alla sede Nuclit di Milano, dove mi ricevette il Presidente, Prof. Salvetti: breve esame del curriculum, negoziazione dello stipendio, e venni assunto per andare a Ispra nel cantiere di costruzione di quel reattore, dove si era deciso di lavorare su tre turni per battere sul tempo altri reattori in corso di costruzione in Italia.

Nella prima notte di lavoro misuravo la densità del "calcestruzzo pesantissimo" (magnetite al posto della sabbia e punzonatura di ferro al posto della ghiaia), che veniva colato nello "schermo termico" del reattore. Dopo pochi mesi, già nella primavera del 1959, il reattore Ispra-1 venne portato alla criticità, e poi a piena potenza, sotto la mia responsabilità in quanto ingegnere capo-turno. La gara alla criticità era motivata da un premio posto in palio dalla Commissione Atomica degli Stati Uniti (se ben ricordo, di 300 milioni di lire), che noi conseguimmo battendo sul tempo il reattore a piscina della Sorin di Saluggia.

Nel 1960 il centro di Ispra venne ceduto all'Euratom e gran parte del personale e delle attrezzature rimaste all'Italia vennero trasferite nel centro della Casaccia, che divenne quindi il principale centro italiano di ricerca e sviluppo per le tecnologie nucleari.

MC: Il trasloco mi pare non fu peraltro facile... Le cronache raccontano che la decisione del trasferimento a Roma non fu presa molto bene...

AM: In effetti, a Ispra si lavorava ormai da diversi anni, e molti laboratori, oltre al reattore, erano già operativi. Inoltre Ispra si trova nel baricentro di una delle aree già allora tra le più tecnologicamente evolute d'Europa (Piemonte, Lombardia, Svizzera: previa telefonata, in poche ore arrivavano componenti speciali dal Canton Ticino): si tratta della stessa area dove si sviluppò la aeronautica italiana d'avanguardia tra le due guerre mondiali. Un problema fu ad esempio il trasporto da Ispra a Casaccia, via Autostrada del Sole solo fino a Firenze, e poi sulla Cassia Antica (compreso Radicofani), delle grandi "calcolatrici analogiche", da noi progettate e costruite a Ispra per l'analisi dinamica ed il progetto dei sistemi di controllo degli impianti nucleari. Il problema fu risolto soltanto quando si trovò un trasportatore disposto a rivestire di una adeguata imbottitura l'interno di un grande autotreno. Forte di quella esperienza, tuttavia, quel trasportatore divenne negli anni successivi uno dei più importanti vettori di macchine elettroniche, ed anche di materiale radioattivo.

MC: Comunque alla Casaccia ben presto, nell'arco di pochi anni, furono attivi molti laboratori. La grande intuizione fu quella di affiancare personale esperto, della generazione di Fermi e dei suoi epigoni Amaldi, Ippolito, Salvetti, con una nuova generazione di ricercatori e tecnici in grado di introdurre nel mondo del nucleare le nuove tecnologie che si andavano sempre più rapidamente sviluppando (macchine di calcolo, apparecchiature di telecomando e di controllo a distanza, tecniche avanzate per la preparazione e il ritrattamento dei combustibili nucleari...). Tutti laboratori di primo ordine guidati da personaggi di livello internazionale... Vogliamo ricordare qualche nome?

AM: Possiamo ricordare il laboratorio di Fisica e Calcolo guidato prima da Alberto Bracci e poi da Ugo Farinelli. Oppure la Divisione Tecnologica con a capo Sergio Barabaschi e comprendente tra l'altro il la-

laboratorio di Ingegneria Nucleare da me guidato e il Laboratorio Servomeccanismi guidato da Carlo Mancini. Poi il Laboratorio di Fisica Nucleare Applicata guidato da Sebastiano Sciuti, e comprendente il reattore TRIGA. Il laboratorio per il Trattamento Elementi di Combustibile guidato da Maurizio Zifferero e quello dei Gas ionizzanti guidato da Bruno Brunelli. Senza contare i laboratori rivolti alle bioscienze, come quelli di Biologia e Protezione Sanitaria di Carlo Polvani, o quello di Agrobiotecnologie di Gian Tommaso Scarascia Mugnozza...

MC: Ogni settore che poteva in qualche modo intersecare il mondo del nucleare era coinvolto nel Programma... un approccio al nucleare che potremmo definire "a tutto tondo" e che mirava a coinvolgere l'intero sistema-paese...

AM: Esattamente. Pensiamo al Campo Gamma. È stato all'origine di una delle storie di maggior successo della scienza agronomica italiana. Il suo promotore, il Prof. Scarascia Mugnozza, avendo partecipato alla Conferenza di Ginevra del 1955, individuò fin d'allora le opportunità offerte dalle tecnologie nucleari in agricoltura: irraggiamento delle sementi per la generazione di nuove varietà vegetali; sterilizzazione di insetti dannosi per la difesa delle colture; tracciamento con radioisotopi per le analisi fisiologiche.

Dal primo di questi filoni fu originata la nuova varietà di grano duro denominata Cresò, molto produttiva e resistente, che si diffuse largamente in Italia ed in altri paesi e che, solo in Italia, già negli anni 80, si stima abbia prodotto un incremento di produzione del valore di 100 miliardi di lire all'anno (questa ricaduta positiva, da sola, potrebbe giustificare gran parte degli investimenti fatti negli anni per il Centro della Casaccia).

MC: Certo, mettere insieme tutti questi ricercatori e tecnici con competenze tra loro molto diverse, peraltro provenienti da tutta Italia, immagino non sia stato facile...

AM: Per alcuni versi sì; la cosa più difficile fu semmai attivare, in un contesto sostanzialmente agricolo e preindustriale come la Campagna Romana, una rete di rapporti che permettessero di proseguire efficacemente le linee di sviluppo avviate a Ispra. Alla lunga ciò fu almeno in parte realizzato, anche grazie a più o meno spontanei rapporti con gli Istituti Tecnici e l'Università. D'altra parte il fatto di aver realizzato un unico centro multidisciplinare fu alla base di sviluppi inattesi in molti campi: ricordo ad esempio che negli anni 90 proprio da contatti informali, anche in mensa, si originò la collaborazione tra esperti di supercalcolo e biologi operanti nella genomica, avviando così un proficuo filone di bioinformatica. Anzi, a partire da questo filone è stata poi costituita una società spin-off dell'ENEA, la Ylichron, presieduta da Vittorio Rosato.

MC: Ad ogni buon conto, come è stato l'inserimento nei nuovi laboratori della Casaccia? Non credo ci fosse molto tempo per l'ambientamento... In pochi anni furono attivati moltissimi programmi di ricerca e progetto. Penso al Reattore Tecnologico e Metallurgico (RTM), la cui progettazione iniziò nel 1962 sotto la guida di Mario Ovazza, o alle ricerche con i reattori RANA e ROSPO guidate da Alberto Bracci...

AM: Negli anni seguenti al trasferimento in Casaccia, con il mio laboratorio ebbi infatti modo di svolgere sin da subito attività di ricerca e progetto nel campo dei sistemi di controllo e sicurezza degli impianti nucleari, collaborando ai principali progetti allora in corso in Italia: reattore a liquido organico PRO e sua *critical facility* ROSPO, reattore per la nave nucleare Enrico Fermi, reattore ad acqua pesante CIRENE, reattori a neutroni veloci TAPIRO e RAPTUS. Ad esempio, per il reattore TAPIRO, tuttora funzionante qui in Casaccia, ho fatto l'analisi di sicurezza, utilizzando "calcolatrici analogiche" da noi progettate e costruite.

MC: Il TAPIRO, che è oggi uno dei due festeggiati, risulta essere l'unico reattore veloce esistente nell'Europa a 27. Comunque tutto questo entusiasmo durò ancora a lungo, le attività nucleari continuarono



Figura 3
Reattore nucleare di ricerca TAPIRO: sala controllo
Fonte: archivio ENEA

ad andare avanti ancora diversi anni, nuovi progetti vennero avviati anche se non sempre conclusi in modo pienamente soddisfacente...

AM: Esatto. Nei decenni successivi, fino al referendum che di fatto interruppe i programmi nucleari in Italia, i laboratori della Casaccia continuarono a collaborare ai principali progetti in corso nel Paese. In particolare, al progetto ed alla costruzione del reattore prototipo CIRENE (Clise REattore a NEbbia), che poneva ardui problemi di stabilità e regolazione, e per il quale le attività di simulazione e progetto dei sistemi di controllo si svolgevano in Casaccia, mentre quelle relative alla neutronica ed alla termofluidodinamica si svolgevano al CISE di Milano. Anche per il reattore a neutroni veloci PEC (Prova Elementi di Combustibile), in costruzione al Brasimone, le attività di simulazione e progetto dei sistemi di controllo si svol-



Figura 4
Simulatore di ingegneria ES-1000
Fonte: archivio ENEA

riflettore su

gevano in Casaccia, e le altre a Bologna. Infine per il Progetto Unificato Nucleare (PUN), e cioè lo standard prescelto per la serie di centrali che avrebbero dovuto essere costruite in Italia negli anni 80 e 90 dopo Montalto di Castro, cominciando da Trino 2, in Casaccia venne costruito un grande simulatore con una realistica Sala Controllo.

MC: Poi ci fu la nota pausa ventennale a seguito del referendum, con una interruzione seppur parziale delle attività di ricerca e con un forte iato generazionale... Ecco, secondo la sua esperienza, ora che ci apprestiamo a ripartire, quali sono gli aspetti chiave che occorre affrontare sin da subito?

AM: Beh, sicuramente i due problemi principali che dovranno essere affrontati sono quelli della sicurezza degli impianti e della formazione del personale.

MC: Ecco partiamo dalla sicurezza, un problema molto sentito oggi e a cui Lei si è già dedicato sin dai primi anni 60.

AM: Su questo punto sarà bene porre in evidenza le profonde differenze di condizioni al contorno tra la situazione pionieristica in cui si trovava la tecnologia nucleare or sono 50 anni, e la situazione di oggi. Allora, anche per un paese come l'Italia poteva forse avere senso tentare molte linee di sviluppo, benché eterogenee (sia pure con alto rischio di fallimento); oggi invece, se si vuole riequilibrare al più presto il mix energetico dell'Italia, la tecnologia da considerare non può che essere quella dei reattori di III generazione, più sicuri, affidabili ed economici rispetto a quelli in servizio dagli anni 1970-1980, e che costituiranno le macchine di riferimento della produzione elettroniculare per gran parte del XXI secolo. Questi reattori si trovano ormai "a catalogo" di ditte come Areva, Toshiba-Westinghouse, General Electric ecc.

MC: Un altro degli aspetti solitamente indicati come più critici per l'avvio di un organico programma di costruzione e gestione di impianti nucleari in Italia è la disponibilità di risorse umane adeguate in numero e qualità. Forse bisognerebbe invece coglierne gli aspetti positivi, e cioè la grande opportunità di attivare un rilevante numero di posizioni di lavoro stabili e di alta qualificazione, preziosi quanto mai in questo momento in Italia. Anche se, occorre ammetterlo, a seguito dell'abbandono dell'opzione nucleare, malgrado alcune lodevoli eccezioni, gli specialisti nel campo nucleare non sono stati molti negli ultimi decenni...

AM: Senza alcun dubbio. Infatti, nel caso delle fonti fossili, il costo del kWh è per gran parte dovuto all'acquisto all'estero dei combustibili, mentre nel caso dell'opzione elettroniculare quel costo è per la maggior parte dovuto all'investimento nella costruzione dell'impianto, e cioè ad attività progettuali e manifatturiere di altissima qualificazione: ciò permetterebbe oggi in Italia di valorizzare una rilevante quantità di qualificate risorse giovanili, che attualmente come noto sono largamente sotto-occupate, e darebbe loro prospettive di impiego anche per l'intera durata della vita lavorativa. A fronte di questo impegno qualificante dell'attuale generazione di giovani tecnologi e ingegneri, il sistema-paese porrebbe a disposizione delle prossime generazioni una infrastruttura energetica ad alto livello di affidabilità ed a costi stabili nel tempo. In tal modo, finalmente, l'attuale generazione opererebbe anche nell'interesse delle future generazioni (diversamente da quanto è avvenuto nel recente passato...).

MC: Anche perché, malgrado la percezione che generalmente se ne ha, forse non esageriamo dicendo che, mediamente, l'attuale generazione giovanile possiede una preparazione scolastica migliore rispetto a quella di cinquant'anni fa. Basti pensare all'alfabetizzazione informatica che da caratteristica specialistica rappresenta oggi un fenomeno di massa e una base professionale su cui contare...

AM: Certo, anche se per affrontare una sfida tecnologica ed industriale come quella sopra descritta occorre al più presto attivare, o potenziare, iniziative di formazione strettamente mirate all'impiantistica nucleare, proprio per sopperire alla lunga fase di letargo verificatasi in questo settore nel nostro Paese durante gli scorsi decenni...

MC: E magari, come cinquant'anni fa si andavano affiancando la generazione degli "anziani", i contemporanei di Fermi, e dei "giovani", cioè la Sua, così adesso sarebbe il caso di affiancare la generazione di quanti hanno portato avanti il nucleare negli anni 60 e 70 a quella delle nuove leve, di "noi giovani"... Lei Professore c'è sempre ovviamente, anche se stavolta non più "in quota giovani"...

AM: Eh sì, ma ancora a disposizione per fornire un possibile mio supporto!

Viaggio nei laboratori e negli impianti della Casaccia

Diego Gavagnin (DG) intervista Massimo Sepielli (MS), Stefano Monti (SM), Pietro Agostini (PA) e Stefania Baccaro (SB), responsabili ENEA delle attività di ricerca e qualificazione nucleare

DG: Allora, Sepielli, come si sta riorganizzando il settore? E come l'ENEA può contribuirvi?

MS: Vengo subito alla domanda, però lasciami un attimo ringraziare, come Unità Tecnica dell'ENEA che ha ideato e proposto questa giornata celebrativa dei 50 anni, tutti coloro che hanno contribuito alla sua riuscita; noi celebriamo i 50 anni della Casaccia, i 50 anni del nucleare alla Casaccia. Celebriamo i nostri due reattori, i nostri due gioielli di famiglia: il Triga e il Tapiro che hanno sempre funzionato, hanno sempre permesso di portare avanti attività scientifiche, ma che ultimamente avevano bisogno di un po' di *lifting*. Questo *lifting* è stato fatto e adesso, orgogliosamente, li abbiamo riavviati e portati alla criticità. E a questo proposito vorrei ringraziare tutto il personale del Laboratorio dei reattori di ricerca, quello del Triga e del Tapiro, i due Responsabili di impianto, perché in questo momento in cui noi festeggiamo, loro sono al reattore. E quindi un grazie di cuore, perché in pochi mesi è stato fatto un miracolo! Devo ringraziare anche l'Ingegnere Lelli, il Commissario dell'ENEA che, dopo un periodo, lasciatemelo dire, di oscurantismo *middle age*, non so come chiamarlo, ha permesso di poter riparlare di nucleare da fissione dentro questo Ente, ora Agenzia, cosa non molto facile negli ultimi dieci anni e anche più...

Come ci stiamo riorganizzando? Intanto io vorrei parlare di "italianità", concetto che è emerso in tutta la retrospettiva di questa mattina. Italiano è Enrico Fermi, italiano è il gruppo che ha portato avanti e scoperto la fissione nucleare e che ha realizzato il primo reattore con il Chicago Power One; italiano, lasciatemi dire, è Felice Ippolito che ha portato avanti la ricerca negli anni 60-70, italiano era Enrico Mattei, un propulsore della parte, diciamo, più petrolifera, petrolchimica, come vogliamo chiamarla... Quindi, con questi riferimenti importanti, stiamo provando a ripartire. Dobbiamo ringraziare anche il Governo Italiano perché finalmente ha potuto, ha voluto, rilanciare il discorso del nucleare: anche questo che non era particolarmente scontato...

Noi siamo stati dunque un riferimento. Adesso i paesi si dividono fra quelli che hanno il nucleare e quelli che entrano nel nucleare; noi siamo una realtà un po' particolare, perché siamo dei *new comer* ma anche degli *old comer*, quindi potremmo definirci degli *old new comer*. Siamo in una situazione molto speciale: abbiamo insegnato il nucleare all'estero e adesso dobbiamo andare un po' ad impararlo dall'estero. Mi riferisco in particolare al modello francese, al quale ci stiamo ispirando e con il quale ci stiamo collegando, devo dire giustamente, attraverso tutta una serie di accordi internazionali, dei quali poi ci parlerà an-

cor meglio il collega, l'Ingegnere Stefano Monti. Quindi, con accordi a livello di governo, accordi a livello industriale, ENEL-EDF, accordi a livello ENEA, con CEA e con CRSN. Abbiamo poi ricostituito quel quadro normativo che fa da cornice al rilancio del nucleare in Italia. Quali sono queste leggi? In particolare la Legge Sviluppo, la 99 del 2009, nella quale sono previste varie cose molto importanti, tra le quali la ristrutturazione di SOGIN, di ENEA come Agenzia, la scelta delle tecnologie, i rapporti con le popolazioni e quindi poi la scelta delle aree idonee e dei siti. Questo quadro legislativo permette anche con il Decreto più recente, n. 31 del 15 febbraio 2010, di rilanciare tutto il programma nucleare italiano che, ricordo, prevede un 25% di energia elettrica da nucleare, entro il 2030, e la partenza dei primi reattori italiani, endogeni, entro il 2020.

Il sistema nucleare italiano non si è mai fermato come non si è mai fermata la ricerca. Abbiamo qui Ansaldo Nucleare, Sogin, ENEL, tantissimi rappresentanti dell'industria che non nomino per non fare torto a qualcuno... Mangiarotti, Techint..., non voglio dimenticare nessuno... Tutte queste realtà hanno continuato a lavorare nel settore; non potendolo fare in Italia, ovviamente l'hanno fatto all'estero. In particolare ENEL che, lo sappiamo tutti, è all'interno di collaborazioni con la Slovacchia, la Francia, la Spagna. L'Ansaldo è andata a costruire in Romania e adesso in Cina. Quindi il settore industriale italiano è sempre rimasto molto attivo.

Il ruolo dell'ENEA? Noi non abbiamo mai smesso di fare ricerca. I due reattori che dicevamo precedentemente hanno sempre operato. E non solo questo. Nei nostri dieci Centri, nelle nostre Unità Tecniche, esistono una serie molto numerosa di laboratori, impianti sperimentali, oltre alle tre Unità Nucleari che sono rappresentate qui dai Responsabili, l'Unità di Casaccia, l'Unità di Bologna e l'Unità del Brasimone, abbiamo anche il programma di qualificazione industriale di cui ci parlerà successivamente Stefania Baccaro, abbiamo tutta un'altra serie di laboratori, penso per esempio alle tavole sismiche, come pure ai laboratori di termofluidodinamica, all'ICT... Tutte queste strutture, sinergicamente, possono aiutarci a rilanciare questo programma. L'ENEA è ricerca, l'ENEA è ricerca applicata, è supporto industriale, siamo intenzionati a dare il massimo apporto all'Agenzia per la Sicurezza che si sta costituendo, stiamo già lavorando su progetti avanzati per la "famosa" chiusura del Ciclo del Combustibile, in modo da risolvere i problemi di sostenibilità.

Concluderei sottolineando l'importanza dell'ENEA anche nel settore formazione e comunicazione.

Formazione, perché l'ENEA, come tecnostuttura pubblica, ha gli impianti, ha i laboratori per poter ospitare e formare i giovani; abbiamo in piedi collaborazioni internazionali con altri Governi, altri Stati per lo scambio di conoscenze e di personale qualificato, questo anche insieme al Cirten, alle Università che hanno portato avanti con gli anni programmi di ingegneria nucleare, insieme a società di formazione di tipo privato.

Comunicazione, perché l'ENEA può dare alla popolazione - al popolo italiano in generale ma alle popolazioni locali in particolare, interessate dall'eventuale prossima installazione di siti nucleari - tutta la comunicazione tecnico-scientifica di cui ha bisogno. È necessario in primo luogo spiegare che energia nucleare vuol dire elettricità. Quando Ippolito andava a parlare in qualunque consesso diceva: "Prima che io arrivi lì, togliete la luce elettrica per mezz'ora.". Perché forse la gente non sa che il 20% dell'energia elettrica in questa sala è di provenienza nucleare; l'altro 80%, escluso il 15% dell'idroelettrico, è gas ed olio combustibile. C'è quindi da scegliere: o immettitori di gas serra o il nucleare. Bisogna che lo sappiano con chiarezza anche i movimenti che fanno opposizione...

E non si tratta poi solo di una questione di energia elettrica: è anche questione di tecnologia. Tutta la tecnologia che noi oggi utilizziamo - i cellulari, la macchina, gli elettrodomestici - ha bisogno di energia. E di questo la gente deve rendersi conto fino in fondo.

Concludo parlando di formazione. Con i nostri due reattori, il Triga e il Tapiro, faremo formazione sulle giovani generazioni. Ed è importante che questa formazione non si faccia solo al Liceo o all'Università: si dovrebbe cominciare dalla scuola elementare. Nel cortometraggio iniziale, c'era mio figlio che recitava...

Se si comincia dalle elementari a dare una corretta informazione sull'utilizzo dell'energia, è più facile in seguito essere formati più correttamente. E magari si arriverebbe ad avere anche avere meno contestazioni...



DG: Monti, io ho un timore: posto che un paese voglia partecipare alla competizione mondiale, senza una ricerca nucleare importante è come se andasse con un braccio legato dietro la schiena... È una mia preoccupazione, ma c'è modo di radicare una nuova ricerca nell'era della globalizzazione, una nuova industria nucleare che possa sopravvivere anche ad eventuali ulteriori problemi che in Italia non possiamo escludere, sul piano della realizzazione degli impianti? Una cintura di sicurezza possono essere le relazioni internazionali? Come si incardina il vostro lavoro attuale a livello mondiale?

SM: A livello internazionale il primo contesto di riferimento per l'Italia, e in particolare per l'ENEA, è ovviamente l'Europa. Anche negli anni bui del dopo referendum che prima ricordava il collega Sepielli, l'ENEA, ma anche altri soggetti italiani, ha ampiamente partecipato ad un numero notevole di progetti dei vari programmi quadro EURATOM nei settori classici della sicurezza nucleare, della gestione e stoccaggio dei rifiuti radioattivi e dello sviluppo dei sistemi innovativi. Ovviamente negli anni 90 ciò è voluto dire R&S nel campo della sicurezza dei reattori di III generazione che sono ora in fase di commercializzazione. E qui vorrei ricordare che l'Italia ha fornito contributi importanti per la certificazione dei reattori attuali: basti pensare alla sperimentazione a supporto del reattore AP600. Il sistema Italia ha partecipato al licensing di questo reattore con la prova integrale di AP600 presso la SIET di Piacenza, e se a quel tempo facevamo attività di ricerca, sviluppo e anche di qualifica di componenti per i sistemi di III generazione, oggi, *mutatis mutandis*, lo facciamo per quelli di IV generazione, per i quali le caratteristiche di sicurezza possono venire rimesse in discussione da nuovi ambiziosi obiettivi progettuali, quale ad esempio la capacità di "bruciare" gli attinidi minori. Altro grande tema è quello della gestione e riduzione dei rifiuti radioattivi. Ovviamente anche qui il nostro impegno è stato soprattutto rivolto alle tecnologie innovative, quali i metodi di separazione degli attinidi e la loro trasmutazione. Negli ultimi 10-15 anni siamo stati impegnati in parecchi progetti europei e internazionali nel campo della trasmutazione mediante sistemi critici e sottocritici (qui forse si ricorderà che qualche anno fa era stata lanciata l'idea di utilizzare il Triga per un esperimento in questo campo). Infine, parlando sempre del contesto europeo, l'impegno dell'ENEA è anche rivolto allo sviluppo concettuale dei reattori innovativi: stiamo parlando di quelli di IV generazione, con particolare riferimento ai reattori veloci in grado di minimizzare i rifiuti radioattivi e sfruttare molto meglio il combustibile nucleare. Ovviamente, l'intervento dell'ENEA non può, come dire, rimpiazzare quello dell'industria: lo sviluppo concettuale del sistema nel suo complesso è effettuato dalle aziende, quindi in Italia in primis dall'Ansaldo Nucleare, ma noi siamo in grado di fornire un supporto fondamentale in termini di sviluppo metodi e sperimentazione. Mi riferisco soprattutto alle attività teoriche e sperimentali riguardanti l'utilizzo dei metalli liquidi pesanti come refrigeranti dei reattori veloci, un settore in cui siamo considerati uno dei riferimenti internazionali.

C'è poi tutta l'attività di simulazione e sviluppo modelli: per la progettazione dei sistemi nucleari innovativi c'è la necessità di sviluppare modelli di calcolo avanzati che vanno poi qualificati sperimentalmente. Ciò vuol dire accoppiamento dell'attività sperimentale con quella di modellistica.

Ma in Europa non partecipiamo soltanto ad attività di ricerca e sviluppo; diamo il nostro – direi importante – contributo anche alla definizione delle strategie europee per il nucleare cosiddetto sostenibile:

- siamo membri, insieme ad altri *stakeholder* italiani, della piattaforma tecnologica europea sul nucleare sostenibile;

- abbiamo partecipato alla definizione della *road map* del nucleare sostenibile, ovvero di quello che dovrebbe essere il nucleare in Europa nei prossimi 50-100 anni;
- supportiamo l'industria italiana per quanto riguarda l'iniziativa industriale denominata *European Sustainable Nuclear Industrial Initiative* (ESNII), che dovrebbe portare alla realizzazione, all'orizzonte del 2020-2030, di un primo dimostrativo di reattore veloce di IV generazione in Europa;
- partecipiamo alla progettazione di un impianto a spettro neutronico veloce in Belgio, in grado di dotare l'Europa di una facility di irraggiamento per lo sviluppo e la qualificazione dei materiali e dei nuovi combustibili da utilizzare nei reattori veloci di IV generazione.

Per quanto riguarda i materiali, che sono poi il punto chiave attorno a cui ruota la possibilità di sviluppare in tempi ragionevoli i reattori di IV generazione, siamo i coordinatori italiani della *European Energy Research Alliance* sui materiali innovativi, ovvero dell'altra gamba, insieme alla sopracitata ESNII, del cosiddetto Set-Plan, il piano energetico europeo delle tecnologie innovative a bassa emissione di CO₂.

Abbiamo mantenuto una significativa presenza anche a livello internazionale sia per alcune attività progettuali (a tale proposito ricordo le varie attività che abbiamo condotto negli ultimi 10-15 anni in particolare con l'americana Westinghouse), sia per la partecipazione a comitati e gruppi di lavoro nelle grandi Agenzie Internazionali:

- l'Agenzia di Vienna (IAEA), dove ad esempio abbiamo sempre assicurato la partecipazione ai vari *Technical Working Groups* sui LWR, sui FR, sul combustibile ecc.;
- l'Agenzia nucleare di Parigi (NEA), una presenza importantissima perché è questa l'agenzia internazionale che produce i rapporti più autorevoli sui vari aspetti dell'energia nucleare: dagli studi economici a quelli per la gestione dei rifiuti radioattivi e del ciclo del combustibile, dagli aspetti regolamentatori a quelli della sicurezza ecc. Moltissimi colleghi hanno partecipato e partecipano a questi studi, oltre che alle attività di carattere più teorico, di modellistica e di benchmarking dei codici di calcolo.

Il terzo ambito, e concludo, è quello degli accordi bilaterali, che sono altrettanto importanti quanto il contesto internazionale. In particolare, nell'ultimo anno abbiamo riannodato i rapporti, peraltro mai interrotti, col sistema di ricerca francese. Quindi, in primis, grazie al Commissario Lelli, abbiamo dato nuovo impulso all'accordo con il CEA francese su una serie di tematiche, che vanno dalla modellistica alle tecnologie di quarta generazione, alle tecnologie di punta per la qualifica di componenti e sistemi degli attuali reattori. Stiamo cominciando anche a valutare in maniera approfondita la possibilità, per il sistema italiano, di partecipare alla realizzazione ed utilizzo del più grande reattore sperimentale in Europa, lo Jules Horowitz Reactor, attualmente in costruzione a Cadarache in Francia... Un'occasione da non perdere.

Concludo con l'altro accordo francese altrettanto importante che dovrebbe costituire la base della possibilità per ENEA di svolgere il ruolo di supporto tecnico-scientifico all'Agenzia di sicurezza nucleare: ultimamente abbiamo infatti siglato l'accordo con l'Istituto di Radioprotezione e Sicurezza Nucleare francese. Si tratta di un accordo estremamente importante, nell'ambito del quale abbiamo già lanciato alcuni progetti. Uno dei più importanti riguarda la nostra partecipazione allo sviluppo presso IRSN del simulatore ingegneristico dell'EPR. Due nostri giovani, uno di questi stamattina era tra i presentatori, andranno a congiungersi ai gruppi di lavoro dell'IRSN a partire da quest'altro anno proprio per partecipare allo sviluppo di questo simulatore, sia per quanto riguarda gli aspetti informatici della macchina, sia per quanto riguarda lo studio dei transitori mediante i modelli di calcolo che già conosciamo. E tutto ciò con l'obiettivo di dotarci delle necessarie competenze e capacità per acquisire e gestire nel prossimo futuro un simulatore analogo presso il Centro della Casaccia.

Ci sarebbero tantissime altre cose, perché ripeto in questi anni di cose a livello internazionale ne abbiamo fatte tantissime... Ho cercato brevemente di raccontare quelle più importanti...



DG: E allora, Agostini, Ingegneria Sperimentale, Brasimone. Per la grande incompiuta della storia nucleare entriamo un pochino di più nel dettaglio di cosa possiamo fare per il futuro.

PA: Sì, vorrei dire che ciò che stiamo facendo, come nel passato, è ancora ricerca e sviluppo; ricerca e sviluppo nel campo tecnologico.

Stamattina si è parlato molto di fisica, la storia della fisica; però vorrei ricordare che senza l'ingegneria, senza la tecnologia, senza la scienza dei materiali, la fisica arriva, ma fino ad un certo punto... Ha bisogno della fatica quotidiana, del sudore delle persone che lavorano sugli impianti, nei laboratori, dove si fanno tentativi e si trovano soluzioni che spesso non sono a portata di mano...

Questo lo dico anche a proposito dei reattori di quarta generazione che rappresentano un po' l'ultima frontiera del nucleare da fissione, quelli di cui si parla oggi che d'altra parte sono anche inseriti in una programmazione europea. Come diceva Stefano Monti esiste anche un piano europeo che prevede la realizzazione di questi reattori, di cui vengono studiate almeno tre tipologie.

Questi reattori sono molto promettenti perché sono quelli sostenibili e non proliferanti. Sostenibili, perché promettono di produrre 50 volte più energia di quella che viene prodotta per kg di uranio rispetto a quelli di terza generazione. Non proliferanti, perché siccome bruciano, utilizzano, smaltiscono il plutonio, lo tolgono, lo eliminano, e quindi questo non è più disponibile per gli ordigni nucleari. E questo, in termini di geopolitica e di sopravvivenza del genere umano, è un aspetto molto importante...

Questi reattori sono molto promettenti, ma hanno grosse difficoltà tecnologiche, perché i materiali con cui verranno costruiti devono incontrare tutta una serie di severe condizioni di funzionamento. Prima di tutto la corrosione da metalli liquidi, perché questi reattori, a differenza dell'80% dei reattori esistenti ad acqua, avranno per refrigerante dei metalli liquidi: sodio, piombo, lega di piombo, bismuto, addirittura, è anche possibile, sali fusi... In ogni caso refrigeranti non convenzionali: questo è dunque un primo aspetto che crea delle novità tecnologiche da risolvere.

Il secondo aspetto è quello delle temperature. Le temperature d'impiego di queste macchine sono tutte di circa 200 gradi più alte di quelle dei reattori attualmente funzionanti. E poi esiste il danneggiamento neutronico: dato che si tratta di progetti basati sui neutroni veloci, il danneggiamento che questi esercitano sui materiali strutturali è di circa dieci volte maggiore di quello dei reattori tradizionali.

Questo tipo di ricerche hanno anche una continuità perché, ad esempio, noi sappiamo che anche per la fusione nucleare i materiali rappresentano il punto da risolvere, e nella fusione queste caratteristiche sono ancora più esaltate: le temperature salgono ancora, il danneggiamento neutronico sale ancora e anche i fluidi con cui si trovano a contatto sono abbastanza complessi, come quelli dei reattori di quarta generazione. Siamo quindi nel campo della ricerca e sviluppo, non siamo nel campo della commercializzazione, come per i reattori di terza generazione che sono un po' il perfezionamento finale dei reattori ad acqua. Per questo motivo esistono dei programmi internazionali, appunto, in cui si cerca di concentrare gli sforzi di tutti i paesi europei.

L'Europa sta facendo grossi investimenti per sostenere questo tipo di ricerca. In Italia, in particolare, esiste un Sistema Italia che è orientato sulla filiera dei reattori refrigerati a piombo per i reattori di quarta generazione. In questo sono impegnati sicuramente l'ENEA, ma anche gruppi industriali come l'Ansaldo, ed aziende più piccole che comunque sono estremamente aggressive dal punto di vista progettuale. E poi naturalmente l'Università: l'Università di Pisa e di Roma sono impegnate in questo tipo di ricerche.

Questo è un sistema che porterà di qui a dieci anni alla costruzione dei primi reattori: le strade sono ancora abbastanza difficili da percorrere, ma questa è tuttavia una prospettiva molto interessante. Oggi il sistema italiano è leader sulla linea dei reattori di quarta generazione a piombo in Europa, in cui esistono le tre linee del piombo, del sodio e del gas. Sul piombo, appunto, siamo i primi e siamo anche quelli che, insieme ad altri attori internazionali, belgi, tedeschi, svedesi, olandesi, spagnoli, cominciano a produrre dei brevetti, a progettare dei componenti, a provarli.

Al Brasimone facciamo questo tipo di sperimentazioni sui metalli liquidi, su eventi incidentali che si manifestano per rotture del generatore di vapore, vediamo quali sono le conseguenze, cerchiamo di tenerle sotto controllo, facciamo sperimentazione sulla fluidodinamica, sullo scambio termico, sulla qualifica di componenti.

Quest'inverno è stato sperimentato uno scambiatore di calore di concezione italiana da un Megawatt. È stato un esperimento rilevante, che ci ha insegnato molto sulla trasmissione del calore dentro i metalli liquidi, che hanno un comportamento completamente diverso dall'acqua. Anche i codici di calcolo che menzionava l'Ingegnere Monti sono un qualcosa che deve essere completamente revisionato, sono liquidi a bassissimo numero di Prandtl: cambia tutto nello scambio termico e quindi anche i codici e gli approcci numerici devono essere rivisti. Questo crea delle prospettive a lungo termine, ma valide per l'industria italiana. E questo è molto importante perché noi oggi veniamo da un periodo, qualcuno l'ha detto, di oscurantismo nucleare. Da un periodo in cui non si è riusciti ad essere presenti nel campo dei reattori di terza generazione. Potremmo fornire alla nostra industria molte commesse, ma sempre come subfornitori; qui invece siamo progettisti ed esiste quindi questo coordinamento italiano, esistono anche degli accordi bilaterali con la Francia in cui noi collaboriamo sia sui reattori a sodio che su quelli a gas. Non tralasciamo nessuna di queste linee tecnologiche.

DG: Mi ricordo, dopo Chernobyl, un colloquio con Umberto Colombo e altri. Si diceva all'epoca: il futuro del nucleare sarà autofertilizzante, sicurezza intrinseca e dimensioni. La Babcock, negli Stati Uniti, sta studiando un reattore da 300 MW. Su questo c'è qualche filone di ricerca?

PA: Ho mandato in questi giorni una persona negli Stati Uniti perché c'era la presentazione di un reattore a piombo di 100 MW, piccolino, di cui loro stanno avviando il *licensing*; i russi, che stanno facendo qualcosa del genere sempre a piombo e sempre ordine di grandezza 100 MW, ci hanno contattato per una collaborazione sullo sviluppo delle pompe di circolazione, per utilizzare i nostri impianti che sono i più grandi d'Europa. Siamo in trattative, perché ci chiedono delle condizioni abbastanza complesse. Però questa taglia di 100 MW con cui si può fare un reattore completamente stagno che loro immaginano di poter portare in zone desertiche come se fosse un generatore, un diesel d'emergenza, e farlo funzionare per nove, dieci anni senza interventi, senza ricariche, è sicuramente una strada da considerare anche da parte nostra.

DG: Anche perché chiaramente il mondo occidentale si va sempre più densamente popolando. Insomma un piccolo nucleare è possibile; ed è anche più facile godere dell'accettazione sociale...



DG: Baccaro, funzione di promozione industriale, aiuto alle imprese, assistenza... C'è movimento, si danno da fare queste imprese?

SB: Sì, molto...

DG: Sono disposte anche a rischiare dei soldi loro?

SB: Devono farlo, ma vorrei dire soprattutto che quello della qualificazione nucleare è un problema che si inserisce in quello della sicurezza nucleare e che quindi è molto sentito, molto importante, su cui non si possono trovare alternative. Il processo della qualificazione rientra nelle normative internazionali e quindi è costituito da una serie di prove molto complesse a cui vengono sottoposti i sistemi, i componenti

che devono funzionare ovviamente anche in condizione di rischio di incidente per un tempo di vita molto lungo. Ricordo che nelle vecchie centrali si parlava di 20 anni di tempo di vita, oggi siamo a 60. Per cui la prova di qualifica è anche onerosa per le aziende. In questo senso c'è da dire che l'ENEA si candida anche a supportarle in quello che è il processo precedente a quello di qualifica, che è una procedura molto stringente, rigorosa e costosa, con delle lunghe tempistiche. Da questo punto di vista, avete trovato nella vostra cartellina una brochure in cui viene indicato il processo della qualificazione nucleare e quello che l'ENEA può fare, che si candida a fare, anche a supporto dell'Agenzia di sicurezza nucleare recentemente costituita, perché c'è una serie di competenze che spaziano su moltissime attività. Voglio dire che noi stiamo parlando della terza generazione: quello che riusciamo a fare dal punto di vista della qualificazione copre sia i reattori EDF, che quelli del tipo AP-1000 Westinghouse, perché i cardini delle normative internazionali sono costituiti dai principi della qualificazione che trovano essenzialmente, in particolare presso la Casaccia, la possibilità di essere coperti per il grosso della loro richiesta. Vale a dire: prove ambientali, prove sismiche, prove elettromagnetiche, prove di irraggiamento gamma che hanno continuato ad operare, costituite come impianti negli anni 80. Io stessa ho fatto le ultime qualifiche delle centrali nucleari presso l'impianto Calliope, che ha trovato dopo Chernobyl altre attività e altre possibilità per continuare ad operare.

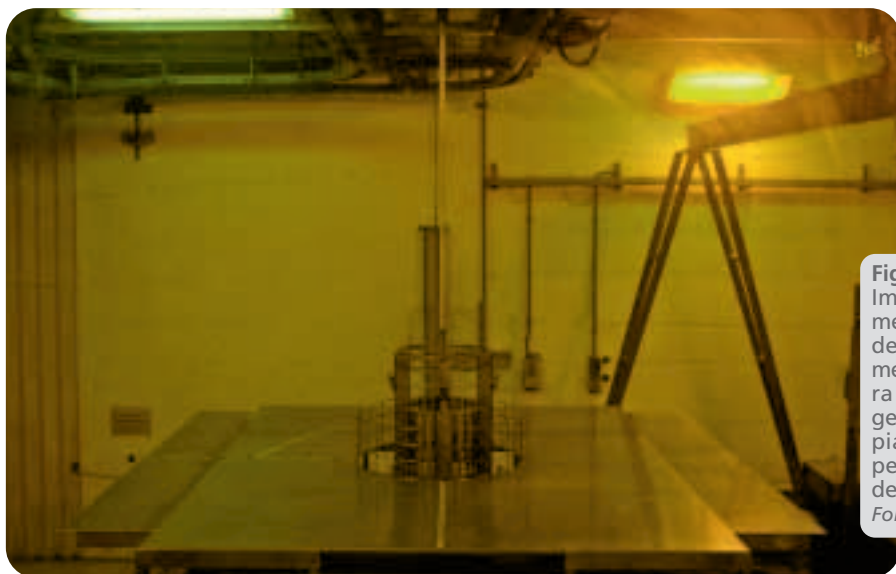


Figura 5
Impianto di irraggiamento γ Calliope: vista della cella di irraggiamento e della rastrelliera contenente le sorgenti di ^{60}Co ; in primo piano la piattaforma per il posizionamento dei campioni
Fonte: archivio ENEA

Questi impianti sono pienamente funzionanti e si inseriscono in un discorso più generale che va dalla qualificazione per gli acceleratori di Ginevra, alle prove sismiche anche per usi civili, che sono operazioni tutte molto complesse.

Tornando alla domanda iniziale, l'ENEA ha stipulato un accordo con Confindustria, nel quale rientra anche la qualificazione per le imprese, che sono fortemente interessate ad essere presenti, perché l'ambito non è solo quello italiano, è anche un ambito europeo, dove noi siamo presenti anche grazie alle nostre partecipate. Alla fine del mio intervento vedrete un filmato sulla SIET, in cui è possibile fare delle prove di qualifica LOCA (*loss-of-coolant accident*, ndr), che è l'ultimo stadio della qualificazione nucleare. Quindi siamo in grado di coprire veramente tutte la possibilità. Le aziende sono poi molto interessate anche alla formazione. Anche in questo senso stiamo già facendo degli accordi: il problema è quello della rico-

struzione di una cultura nucleare, che spazia dagli aspetti tecnologici a quelli della sicurezza e le industrie sono intenzionate a riposizionarsi, se già non lo sono, in un contesto internazionale di alto livello. Devo dire che in questo l'ENEL sta portando avanti un processo di qualifica dei fornitori che va dalle aziende ai singoli componenti e sistemi.

Da questo punto di vista noi abbiamo già predisposto – lo potete trovare sul sito web e scaricare gratuitamente – un dossier sulla qualificazione di sistemi e componenti dove troverete anche tutti i laboratori che possono dare un contributo a vario livello per le industrie, dalla messa a punto per esempio di materiali particolari, di test, tutta la parte dell'Istituto di radioprotezione, l'Istituto di metrologia delle radiazioni ionizzanti... Mi piace a questo punto riprendere il discorso del Professor Paoloni: l'ENEA è presente, dall'innovazione alla qualifica, che è un aspetto determinante per posizionare i componenti, ma in generale nella formazione che va da quella universitaria a quella di personale tecnico presso le imprese, a stage per tecnici interessati ad operare sugli impianti...

DG: Bene, grazie. Diciamo che quello che è avvenuto in questi ultimi due, tre anni se non altro è il diritto alla parola; se penso all'ANSALDO che lavorava in Romania di nascosto per il terrore che qualcuno la fermasse... Raccomando a chi non avesse visto il Triga di andare a visitarlo. Mi piace ricordare l'attività dei colleghi ENEA che ricavavano i neutroni per la medicina per l'Ospedale dell'Isola Tiberina, tutta quella parte di attività...

SB: La parte radiofarmaci è ancora presente...

DG: Sì, ma quando io dico che è come stare con un braccio legato dietro la schiena è proprio questo; certo l'ENEA ha poi provato a diffondere, qualcuno all'epoca diceva, a dissipare... Però il problema è la continuità. Ma come garantirla? Il referendum chiuse le centrali, non chiuse la ricerca; fu il progressivo depauperamento anno dopo anno... Quello che è sopravvissuto, è stato salvato con le unghie e con i denti, diciamo così. Adesso finalmente si è riconquistato il diritto alla parola...

Il nuovo corso dell'Agenzia ENEA ***Intervento del Commissario ENEA Giovanni Lelli***

L'ing. Lelli apre il suo intervento leggendo la lettera inviata dal Sottosegretario al Ministero dello Sviluppo Economico con delega all'Energia, On. Stefano Saglia.

«Caro Gianni, sono spiacente di non poter intervenire come avrei vivamente desiderato oggi al 50° anniversario del Centro di Ricerche ENEA. Sopraggiunti impegni istituzionali non differibili, mi impediranno di testimoniare personalmente la grande attenzione e il particolare interesse con cui il Governo segue queste tematiche e iniziative che verranno presentate e approfondite nel corso dell'evento. Il problema energetico, come quello climatico e ambientale, è globale. Il Governo italiano si è dato la sua formula: 50, 25, 25. Intende raggiungere il livello della domanda energetica interna con un razionale 50% da combustibili fossili, un necessario 25% da fonti rinnovabili e un concreto 25% da nucleare. L'energia nucleare sta vivendo una rinascita a livello globale. Oggi nel mondo ci sono 436 impianti in esercizio in 30 paesi di 4 continenti, con una capacità di produzione elettrica pari ad oltre 70 GW. Per quanto riguarda il futuro, ci sono 56 reattori in costruzione in 14 paesi per oltre 118 GW e circa 250 reattori sono in fase di proposta e considerazione per circa altrettanti GW. Oggi poi due reattori, Triga e Tapiro saranno "riaccesi" per di-

ventare il punto di riferimento delle prove sperimentali che accompagneranno il ritorno del nucleare in Italia.

Mi sembra quindi che il trend di crescita sia evidente, anzi stiamo tornando ai livelli della prima corsa al nucleare.

Il Governo italiano, con l'approvazione del Decreto Legislativo n. 31 del 15 febbraio 2010, ha inteso tra le altre cose, portare l'Italia nel club del nucleare dal quale era uscita nel 1987. Si tratta di un club sempre più numeroso e che garantirebbe al sistema Italia di accrescere il proprio rango, ruolo e prestigio a livello internazionale, oltre naturalmente a mantenere gli impegni presi a livello ambientale e migliorare e rendere più efficiente il mix energetico del Paese.

La cosa che vorrei sottolineare è che non ci stiamo lanciando in un'avventura pionieristica ma in una tecnologia collaudata da decenni in cui l'Italia ha avuto il primato fino alla fine degli anni 80. La filiera nucleare civile nel suo complesso può contare su oltre 13.100 anni reattore di esperienza in tutto il mondo. La tecnologia nucleare si basa sulla conoscenza accumulata nel tempo e sul presidio della catena del valore dalla ricerca allo studio dei materiali, dalla componentistica al ciclo del combustibile, dalla sicurezza allo smantellamento e gestione dei rifiuti. Sotto il profilo strettamente tecnologico è importante sottolineare che a breve entreranno in esercizio commerciale reattori di terza generazione. Gli obiettivi che dobbiamo raggiungere sono: il miglioramento della sicurezza, la riduzione delle conseguenze di un eventuale malfunzionamento, la maggiore economicità d'impianto, la standardizzazione dei requisiti dei reattori e la diminuzione dei tempi di realizzazione. Inoltre sono in fase avanzata di studio i reattori di quarta generazione che dovrebbero essere realizzati non prima del 2050.

Il nostro Paese è membro del Generation Forum International Forum come paese EURATOM ed ha maturato una notevole esperienza e competenza su due dei progetti della quarta generazione. Reattori veloci al sodio, reattore veloce al piombo grazie al lavoro svolto in questi anni da Ansaldo Nucleare ed ENEA. L'atomo è riconosciuto come un pilastro della Low Carbon Society, perché l'energia nucleare è una tecnologia carbon free durante l'intero ciclo produttivo, che ha già dato prova della sua fattibilità nel fornire prove su larga scala.

La storia dell'energia nucleare dimostra come l'atomo sia competitivo e sostenibile in presenza di una forte e snella regolamentazione. Il governo, con la legge 99/2009 e con il decreto sopra citato, quello del febbraio, ha definito un'architettura stabile ed efficiente della normativa, ricoprendo l'opzione nucleare in Italia.

Il percorso normativo dunque è quasi completo; resta ancora da definire la composizione dell'Agenzia per la sicurezza nucleare il cui Presidente è stato individuato nei giorni dai ministri Romano e Prestigiacomo in Umberto Veronesi. Nei prossimi giorni anche quest'ultimo passo verrà completato e l'Agenzia potrà iniziare ad operare. La scelta di Umberto Veronesi ad un Organo così importante, rappresenta un fiore all'occhiello per il nostro Governo e per l'intero Paese per due differenti motivi: il primo, è la particolare esperienza che è garanzia di sicurezza per tutti i cittadini e per tutte le popolazioni in cui le centrali verranno individuate; il secondo è che la scelta è ricaduta su un esponente non espressione della maggioranza che sostiene il Governo, a rappresentare la struttura massima che si vuole dare ad un progetto così ambizioso. Il ritorno al nucleare è dunque una scelta coraggiosa che abbiamo voluto fortemente intraprendere creando tutte le condizioni di sicurezza. Non resta ora che continuare su questa strada.»

riflettore su

Questo era il messaggio che il Sottosegretario Saglia, non potendo intervenire per motivi istituzionali, mi ha chiesto di leggere e che io accolgo con un applauso.

Consentitemi adesso due battute, due... È stata una giornata molto interessante ma anche lunga. Faticosa per gli attori che hanno parlato da qui, ma faticosa per tutte le persone interessate, che hanno seguito senza interruzione per tutto questo tempo...

Io vorrei dire che questa è stata una giornata molto, molto significativa, molto bella! Raramente in Italia si può assistere a eventi come questo...

50 anni fa è stato creato questo Centro su alcune centinaia di ettari, interamente dedicato al nucleare. Il nostro Paese di lì a qualche anno diventò il terzo paese al mondo per la produzione di energia elettrica da nucleare. Si pensava di coprire tutti i vari aspetti del ciclo di vita del combustibile, tutti i vari aspetti della filiera. Nel CNEN di allora, nella Casaccia in particolare, ci si occupava di ciclo a monte del combustibile. Come si fa il combustibile? Come si fanno i reattori? Abbiamo sentito parlare anche del ciclo a valle, cioè di come si chiude il ciclo del combustibile...

Bene, poi c'è stato Chernobyl, andiamo velocemente... Da un certo punto di vista per l'ENEA – il CNEN nel frattempo era diventato ENEA – è stato un fatto positivo, perché noi, in questi 25 anni, abbiamo avuto la possibilità di dimostrare che le tecnologie nucleari non servono solo alla produzione del Kilowattora, ma servono per il vivere civile di tutti i cittadini; abbiamo avuto la possibilità di diversificare, applicandole ai settori più vari. Ne è stato fatto un cenno prima e voglio riparlare: dal campo gamma per lo studio delle mutazioni genetiche sul grano che ha dato quel bel risultato che conosciamo tutti e frutta ancora delle royalties all'ENEA, è nato il settore delle ricerche in campo agro-industriale, che vede l'ENEA competitivo nel contesto degli enti di ricerca del Paese. Dallo studio degli effetti delle radiazioni ionizzanti sono nate macchine per la diagnosi medica e per la cura delle malattie dei tessuti molli. Ricordo che è di pochi giorni fa l'accordo che abbiamo firmato con l'Istituto Superiore di Sanità, con l'IFO e con la Regione Lazio per la realizzazione dell'acceleratore Top Implart per la cura di tumori superficiali.

Per non citare i sistemi di calcolo, le tecnologie dei materiali, quelle della componente convenzionale dell'impianto e così via... Noi abbiamo vissuto questi 25 anni dopo Chernobyl con finanziamenti sempre calanti, cercando progetti, finanziamenti nel mercato pubblico della ricerca in settori diversi e questo va a merito di tutti quelli che hanno lavorato in questo Centro. Che hanno fatto sì che la Casaccia sia oggi quello stesso Centro di prima, con lo stesso tipo di motivazione, ma diventato in aggiunta un Centro integrato di competenze diverse per applicazioni diversificate.

La Casaccia, da questo punto di vista, è un pezzo di patrimonio del Paese, è uno dei Centri europei più grandi, una cosa della quale il Paese deve essere giustamente orgoglioso.

Guardiamo ai successivi 40 anni. Nella legge n. 99 a cui si è fatto cenno, nell'art. 37, si colloca la riforma dell'ENEA da Ente ad Agenzia. Questo è significativo; io faccio sempre riferimento a questo aspetto perché per la prima volta la riforma dell'Ente ENEA viene presa non di per sé, ma inserita in un contesto più ampio che è quello dello sviluppo economico sostenibile, che è la ratio di quella legge.

Bene, noi siamo diventati Agenzia, abbiamo davanti un futuro che è fatto di sviluppi nel settore dell'energia, una fetta della quale è energia nucleare, dell'innovazione tecnologica e dello sviluppo economico sostenibile. Quindi il nucleare è una fetta delle molte attività che si fanno in questo Centro e tutte insieme queste attività, e chiudo, sono il core, per usare un termine di casa nostra, dell'innovazione tecnologica, della competitività del Paese, che rappresenta l'unico modo per uscire definitivamente dalla crisi economica che stiamo vivendo tutti. Io sono certo che con l'approssimarsi del momento in cui i finanziamenti aumenteranno le cose andranno ancora meglio, ma fino ad ora sono andate benissimo grazie alle competenze sviluppate qui dentro in 50 anni, che sono state trapassate, passate a generazioni più giovani.

Vi ringrazio tutti di questa bellissima giornata, grazie!

Si ringrazia Marina Fortuna dell'Unità Informazione e Promozione dei Progetti ENEA per il delicato ed oneroso lavoro di trascrizione di tutti gli interventi.

SCHEDA 1

Reattore nucleare di ricerca TAPIRO

A cura di Rocco Bove



Figura 6
Colonna epidermica del reattore nucleare di ricerca TAPIRO: portello schermante rimosso per accesso al vano di irraggiamento
Fonte: archivio ENEA

Caratteristiche principali

- potenza massima: 5 kW
- flusso neutronico max: $4 \cdot 10^{12}$ n $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ @ 5 kW
- riflettore in rame
- raffreddamento mediante He
- facilities di irraggiamento:
 - 2 canali radiali orizzontali
 - 2 canali verticali
 - 1 canale diametrale
 - 1 canale tangenziale
 - 1 colonna termica (volume max: $1,6 \text{ m}^3$).

Il reattore nucleare di ricerca TAPIRO (TAratura Pila Rapida a potenza zero) è una sorgente di neutroni veloci. Può fornire una vasta gamma di spettri neutronici e può, pertanto, essere utilizzato in molti settori per: la validazione dei codici di calcolo di nocciolo impiegati nella progettazione dei reattori di IV Generazione; lo studio del danneggiamento dovuto a neutroni veloci; la sperimentazione per la produzione di dati nucleari; la valutazione del danno indotto da neutroni su componentistica esposta a campi neutronici; la qualificazione di catene di rivelazione innovative; supporto didattico nei corsi di Ingegneria Nucleare. Potenziali utenti: università ed enti di ricerca del settore nucleare e medico, industrie coinvolte nella realizzazione di componenti nel settore nucleare. Il progetto del reattore è stato realizzato dall'ENEA ed è basato, come concezione generale, sull'AFRS (Argonne Fast Source Reactor - Idaho Falls). Il reattore ha raggiunto la sua prima criticità nel 1971 ed è stato utilizzato per l'analisi in attivazione neutronica, il danneggiamento da neutroni veloci, lo studio degli effetti biologici dei neutroni veloci, epitermici e termici ecc.

Tra le attività realizzate di recente, si ricordano:

- lo studio del danneggiamento indotto da neutroni veloci su alcuni dispositivi del *Large Hadron Collider* (CERN LHC) come i rivelatori *Monitored Drift Tubes* (MDT) dello spettrometro di muoni di ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*) e gli *Avalanche Photodiodes* (APD) del calorimetro elettromagnetico CSM (*Compact Muon Solenoid*);
- lo studio dell'influenza di campo neutronico veloce su dispositivi elettronici utilizzati per l'aerospazio;
- BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) e, in generale, lo studio degli effetti delle radiazioni neutroniche su cellule cancerogene.

Il reattore sarà impegnato in futuro in:

- test per la determinazione della suscettività dei dispositivi a semiconduttori in seguito alla degradazione dovuta a neutroni veloci (qualificazione di dispositivi elettronici);
- esperienze per la validazione dei codici neutronici per lo studio di sistemi nucleari caratterizzati da un elevato grado di eterogeneità come nel caso dei sistemi HTGR (*High Temperature Gas-cooled Reactor*);
- attività didattiche nel campo delle tecnologie e dell'ingegneria nucleare;
- test e irraggiamento di materiali.

SCHEDA 2

Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1

A cura di Rocco Bove



Figura 7
Reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1
Fonte: archivio ENEA

Caratteristiche principali

- potenza massima: 1 MW
- flusso neutronico max: $2,7 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ @ 1 MW
- raffreddamento ad acqua in circolazione naturale
- facilities di irraggiamento:
 - 1 canale centrale
 - 40 postazioni in rastrelliera girevole
 - 1 colonna termica
 - 1 fascio di neutroni collimati
 - 5 canali orizzontali di estrazione di neutroni

Il reattore nucleare di ricerca TRIGA RC-1 (*Training, Research, Isotopes, General Atomics - Reattore Casaccia 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 dei corsi di Ingegneria Nucleare.

Potenziali utenti: 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 U-235 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.

Il reattore TRIGA trova applicazioni in tutti quei settori della ricerca applicata nei quali si renda necessario l'utilizzo di una sorgente intensa di neutroni. In particolare:

- analisi per attivazione neutronica per la determinazione di elementi in tracce e in ultratracce in campioni provenienti dal mondo della ricerca, dell'industria, della medicina, dell'arte, nel settore forense (perizie) ecc.;
- radiografia e tomografia a neutroni per lo studio in vari settori dell'industria (aerospaziale, automobilistica, petrolifera ecc.) nel campo delle analisi non distruttive (corrosione, analisi strutturale ecc.), associata e complementare alla radiografia x;
- indagini nel campo della conservazione del patrimonio artistico (indagini su dipinti e reperti archeologici, analisi strutturale di statue e manufatti ecc.);
- studi di diffrazione e di spettrometria a neutroni (ricerca di base nel campo della struttura della materia);
- produzione di radioisotopi per la diagnostica industriale;
- produzione di radioisotopi per la diagnostica (Fluoro 18 per la PET) e la terapia medica con studi su radiofarmaci non commerciali e di nuova generazione e sviluppo di protocolli innovativi di cura (alcuni già brevettati e in uso);
- calibrazione di rivelatori per neutroni;
- *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT);
- valutazione del danno da radiazione su componenti elettronici nel campo della protezione di apparati in ambienti ostili;
- dosimetria;
- studi di ricerca di base nel campo delle reazioni nucleari a bassa energia nella materia condensata;
- autoradiografia per conto dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (rigenerazione fotografie antiche);
- training e attività didattica in collaborazione con università (tesi, corsi, master e formazione); lezioni di complemento e approfondimento per i corsi di laurea in ingegneria e in fisica (esercitazioni in prove nucleari, attività storicamente svolta sul TRIGA);
- produzione di Tecnezio 99 per il mercato europeo, fortemente limitata dalla prossima messa in manutenzione del principale impianto che attualmente lo produce;
- prove in appoggio ai sistemi *Accelerator-Driven Systems* (ADS).