MAURIZIO CUMO (*)

Possibili attività italiane nel settore nucleare (**)

Negli ultimi anni vi è stato un sostanziale ristagno delle nuove costruzioni elettronucleari negli Stati Uniti e in Europa, un moltiplicarsi di iniziative nei paesi dell'estremo oriente, un lento sviluppo nei principali paesi ex URSS. Per il ristagno in Stati Uniti ed Europa si può indicare come causa il margine di riserva della potenza elettrica installata, tuttora adeguato, ed il basso costo del petrolio e del carbone che non spinge alla ricerca di una sostituzione di tali fonti primarie. In Giappone invece la potenza elettrica cresce marcatamente e la scelta nucleare continua a rivestire una quota importante ed in Cina una certa apertura al libero mercato ha favorito un «boom» delle costruzioni elettronucleari, con una attenzione particolare per le unità di piccola taglia da diffondersi sul territorio.

La Tabella 1 riporta un quadro recente sulle centrali installate e in fase di costruzione nei vari paesi.

Meritano un particolare cenno le attività condotte, in sede internazionale, per la sicurezza nucleare nei paesi del centro ed EST Europa. In sede G7 sono stati stabiliti quattro principali tipi di intervento:

— arrivare alla chiusura anticipata delle centrali più critiche dal punto di vista della sicurezza (RMBK e VVER 440/230) e incrementare il più possibile la sicurezza delle altre;
— favorire, attraverso il dialogo e l'assistenza, la formazione di una «cultura della sicurezza» simile a quella dei paesi occidentali;
— promuovere l'adesione alle convenzioni relative alla «responsabilità nucleare», fondamentale per la definizione di collaborazioni tra paesi dell'EST e ditte occidentali;
— revisionare i sistemi energetici nel loro complesso.

(*) Socio dell'Accademia. Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

(**) Prolusione al 51° Congresso dell'Associazione Termotecnica Italiana ATI, Università di Udine, 17 settembre 1996.

TABELLA 1 - *Unità elettronucleari di potenza* ≥ 30 MWe *nel mondo per aree geografiche alla metà del 1995* [1].

	In esercizio commerciale		In costruzione o avviamento	
	Unità	MWe	Unità	MWe
America del Nord				
Canada	22	15.442	—	—
USA	109	99.238	1	1.165
America Latina				
Argentina	2	935	1	692
Brasile	1	626	1	1.245
Cuba	—	—	2	834
Messico	2	1.308	—	—
Europa Occidentale				
Belgio	7	5.527	—	—
Finlandia	4	2.310	—	—
Francia	55	57.373	—	6.410
Germania	21	22.715	—	—
Italia	—	—	—	—
Olanda	2	507	—	—
Regno Unito	35	12.728	—	158
Spagna	9	7.085	—	—
Svezia	12	10.002	—	—
Svizzera	5	2.985	—	—
Europa Orientale				
Bulgaria	6	3.420	—	—
Lituania	2	2.760	—	—
Repubblica Ceca	4	1.632	2	1.780
Romania	—	—	2	1.240
Russia	25	19.799	4	3.375
Slovacchia	4	1.632	4	1.552
Slovenia	1	620	—	—
Ucraina	14	12.095	6	5.700
Ungheria	4	1.729	—	—
Medio Oriente e Asia del Sud				
India	9	1.620	7	2.040
Kazakhstan	1	135	—	—
Pakistan	1	125	1	300
Asia di Sud Est e Pacifico	—	—	—	—
Estremo Oriente				
Cina	3	2.100	2	1.200
Corea del Nord	—	—	—	—
Corea del Sud	10	8.220	6	4.863
Giappone	50	39.645	4	5.697
Taiwan	6	4.884	—	—
Africa				
Sud Africa	2	1.840	—	—

Tra i meccanismi di finanziamento il G7 contribuisce, insieme ad altri, al Nuclear Safety Account, fondo multilaterale gestito dalla Banca Europea per la Ricostruzione e lo Sviluppo (BERS) e destinato a finanziare interventi per il miglioramento a breve termine della sicurezza delle centrali. La Tab. 2 fornisce un quadro degli interventi effettuati fino al maggio 1995. La partecipazione italiana a tali attività internazionali, che si protrarranno per alcuni anni, potrebbe essere sostanzialmente incrementata.

Sul piano nazionale, si rende necessaria una importante opera di sistemazione di tutti i rifiuti nucleari derivati dalle precedenti attività industriali, di ricerca e di applicazioni mediche, razionalizzando meglio le procedure e le modalità di raccolta e soprattutto individuando un adatto sito ove concentrare in deposito definitivo nazionale i rifiuti di prima e seconda categoria e ove costruire un deposito temporaneo, adeguatamente attrezzato, per quelli millenari di terza categoria, in attesa della determinazione di una formazione geologica adeguata alla loro consegna definitiva. Una pregevole analisi dell'ANPA [3] fornisce un quadro esauriente dei quantitativi e delle tipologie radioattive dei rifiuti giacenti in varie località italiane. Le Tabb. 3 e 4 e le figg. 1÷3, tratte da tale

TABELLA 2 - *Ripartizione dei fondi per l'assistenza ai Paesi del Centro ed Est Europa sulla sicurezza nucleare* (dati aggiornati al maggio 1995) [2].

Paese beneficiario		Spesa (MECU)
Bulgaria		82,02
Lituania		74,04
Rep. Ceca		32,40
Rep. Slovacca		32,77
Russia		273,32
Ucraina		168,66
Ungheria		27,20
Totale		690,41
Progetti	**N. progetti**	**Spesa (MECU)**
«Multiple recipient»	124	186,06
Regionali	74	79,98
Totale		266,04
Totale generale		956,45

TABELLA 3 - *Classificazione dei rifiuti radioattivi secondo la normativa italiana* (Guida Tecnica ANPA, n. 26) [3].

Categoria	Definizione	Esempi di tipologie	Smaltimento definitivo
I	Rifiuti la cui radioattività decade in tempi dell'ordine di mesi o al massimo di qualche anno	Rifiuti da impieghi medici o di ricerca, con tempi di dimezzamento pari ad alcuni mesi	Come i rifiuti convenzionali (DPR 915/82)
II	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle centinaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività inferiori a 370 Bq/g nel prodotto condizionato	Rifiuti da reattori di ricerca e di potenza, rifiuti da centri di ricerca, rifiuti da decontaminazione e smantellamento di impianti	In superficie o a bassa profondità con strutture ingegneristiche
III	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle migliaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività superiori a 3700 Bq/g nel prodotto condizionato	Rifiuti vetrificati e cementati prodotti dal riprocessamento che dovranno rientrare in Italia; combustibile irraggiato se non riprocessato; rifiuti contenenti plutonio da attività di ricerca; rifiuti EUREX-ENEA	In formazioni geologiche a grande profondità

TABELLA 4 - *Inventario dei rifiuti radioattivi italiani* [3].

Categoria	Descrizione	Quantità	Note
I e II	Rifiuti accumulati nei siti di produzione	21000 m^3 180 TBq	In massima parte ancora da trattare e condizionare
II	Rifiuti a bassa attività che ritorneranno dall'Inghilterra (BNFL)	6000 m^3 100 TBq	Già condizionati (cementati, in cassoni da 1500 litri)
III	Rifiuti accumulati nei siti di produzione	2000 m^3 (di cui 140 liquidi) 9700 TBq	Da trattare e condizionare
III	Rifiuti ad alta e media attività che ritorneranno dall'Inghilterra (BNFL)	1020 m^3 2000000 TBq	Già condizionati (vetrificati, in contenitori da 150 litri, cementati in contenitori da 500 litri)
III	Combustibile irraggiato non riprocessato	330 t	Da sistemare

N.B. Sono esclusi i rifiuti prodotti dallo smantellamento degli impianti nucleari. (*Energia Nucleare*, anno 12, n. 3, settembre-dicembre 1995).

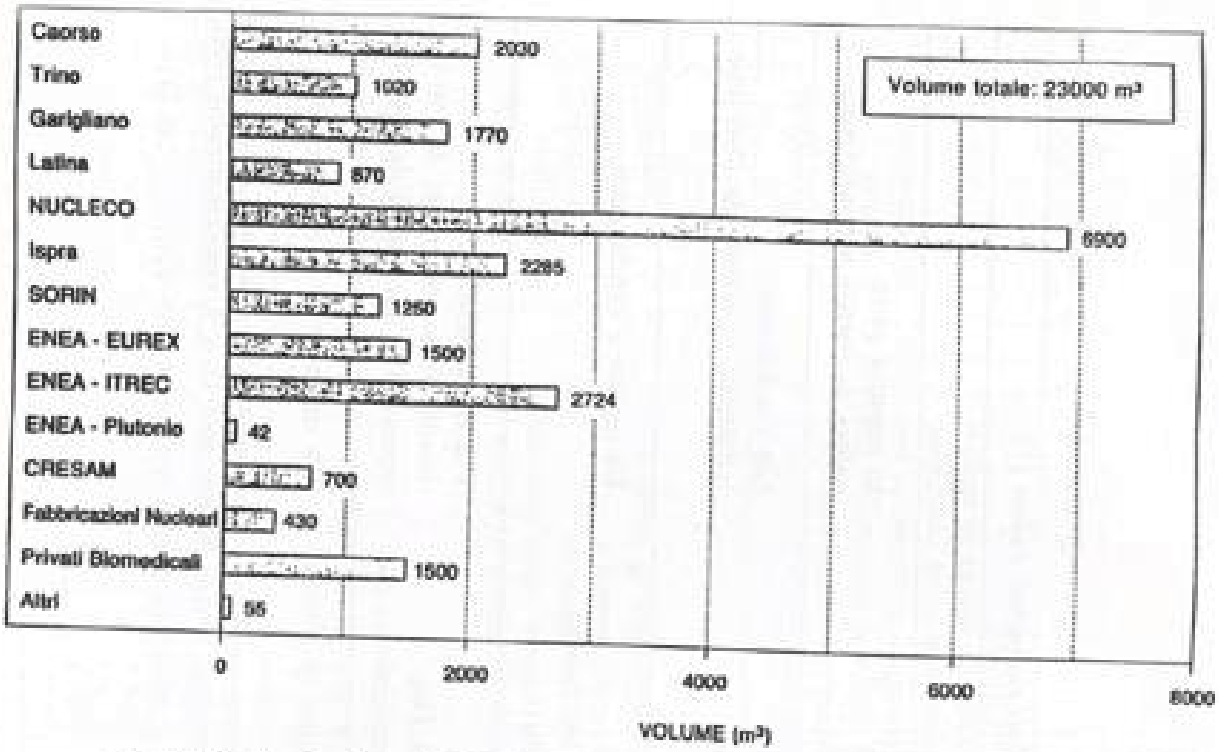


Fig. 1 - Distribuzione dei volumi di rifiuti radioattivi nelle varie località di immagazzinamento (rifiuti accumulati in attesa di trattamento e condizionamento, esclusi il combustibile irraggiato e i prodotti condizionati di ritorno dall'estero) [3]. (*Energia Nucleare*, anno 12, n. 3, settembre-dicembre 1995).

lavoro, forniscono una idea sintetica della situazione italiana. ENEA ed ENEL sono da tempo all'opera per queste sistemazioni nei propri centri, ma non vi è dubbio che ora è necessario soprattutto trovare un sito adeguato per compiervi le opportune opere di accoglimento, evitando costose duplicazioni di servizi.

La razionalizzazione e normalizzazione delle opere di raccolta, condizionamento e sistemazione in un apposito e qualificato sito sul piano nazionale avrebbe anche un riflesso indiretto sull'opinione pubblica di rassicurazione sulla completa chiusura del ciclo delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. In altri paesi queste operazioni sono compiute da società nazionali create «ad hoc» (v. Tab. 5).

L'argomento merita un breve approfondimento. Le società industriali producono enormi quantità di rifiuti non radioattivi. I paesi dell'OCSE generano 9 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi (l'equivalente di circa 10 t. a persona) e miliardi di metri cubi di effluenti, più o meno nocivi per l'ambiente, liquidi e gassosi. Dei 9 miliardi, i rifiuti urbani rappresentano 420 milioni di tonnellate,

1500 milioni sono i rifiuti dell'industria manufatturiera (di cui 300 tossici e nocivi) ed i 7 miliardi restanti sono attribuibili alla produzione di energia, all'agricoltura, all'industria mineraria, a demolizioni, dragaggi, ecc. I rifiuti radioattivi sono una piccola percentuale, molto piccola, di quelli tossici ed hanno una durata di pericolosità, per quanto talora molto lunga, certamente non indeterminata come quella di molti veleni (Fig. 4). Essi si dividono in tre categorie, a bassa, media ed alta radioattività. Riguardo alla loro durata, per «periodo radioattivo» si intende il tempo di decadimento a metà della loro radioattività: in due periodi la radioattività diminuisce a un quarto del valore iniziale, in dieci periodi a circa un millesimo e a venti periodi a circa un milionesimo. Ogni elemento radioattivo, o radionuclide, ha un proprio periodo radioattivo ed emette radiazioni di tipo ed energie specifici, che lo caratterizzano pienamente. Nei criteri di classificazione dei rifiuti è determinante la concentrazione dei radionuclidi (e quindi l'intensità delle radiazioni) ed il loro periodo radioattivo che può espandersi a milioni di anni. I rifiuti di bassa attività non necessitano di alcuna

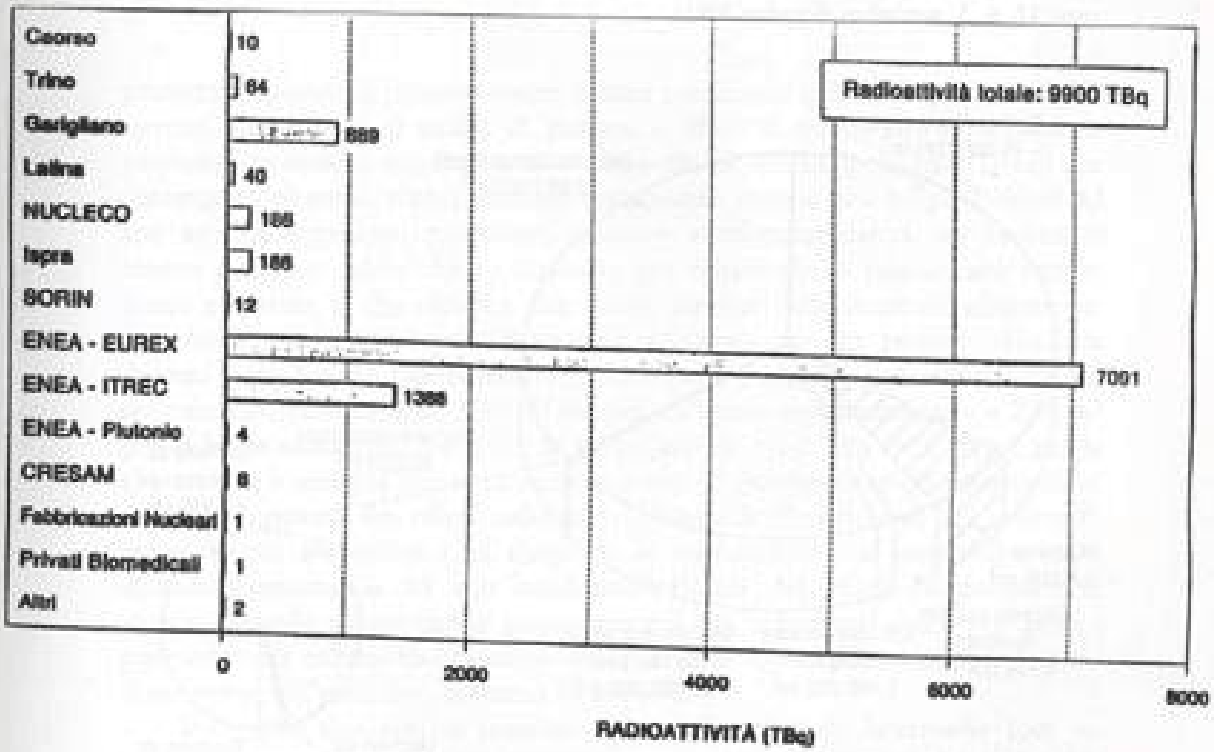


Fig. 2 - Distribuzione della radioattività nelle varie località di immagazzinamento (radioattività riferita ai rifiuti accumulati in attesa di trattamento e condizionamento, esclusi il combustibile irraggiato e i prodotti condizionati di ritorno dall'estero) [3]. (*Energia Nucleare*, anno 12, n. 3, settembre-dicembre 1995).

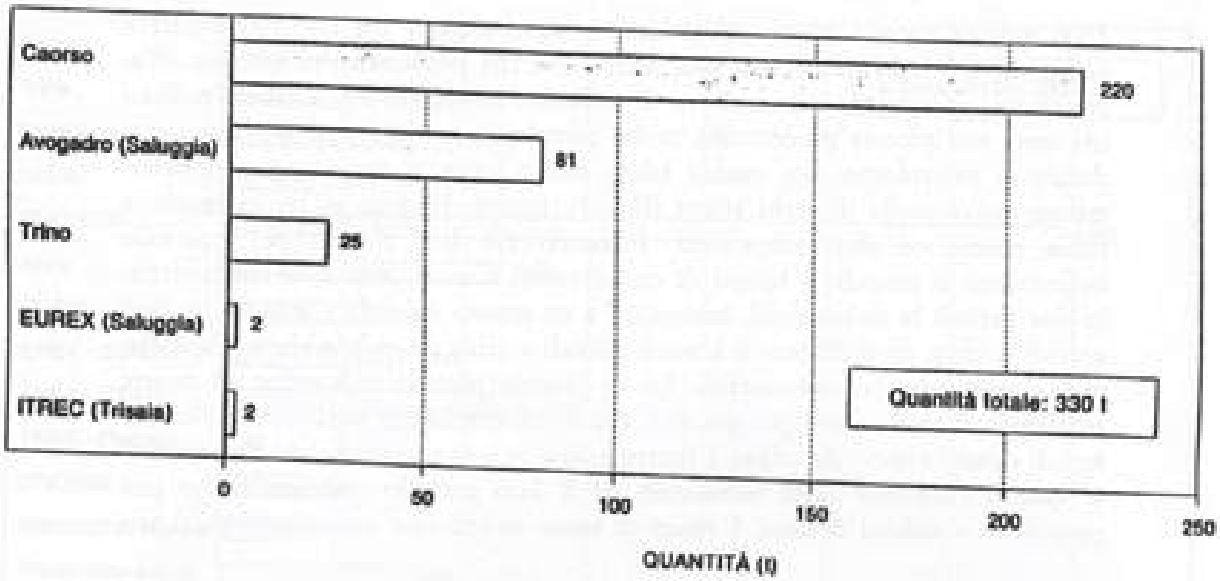


Fig. 3 - Quantità di combustibile irraggiato per luogo di stoccaggio [3]. (*Energia Nucleare*, anno 12, n. 3, settembre-dicembre 1995).

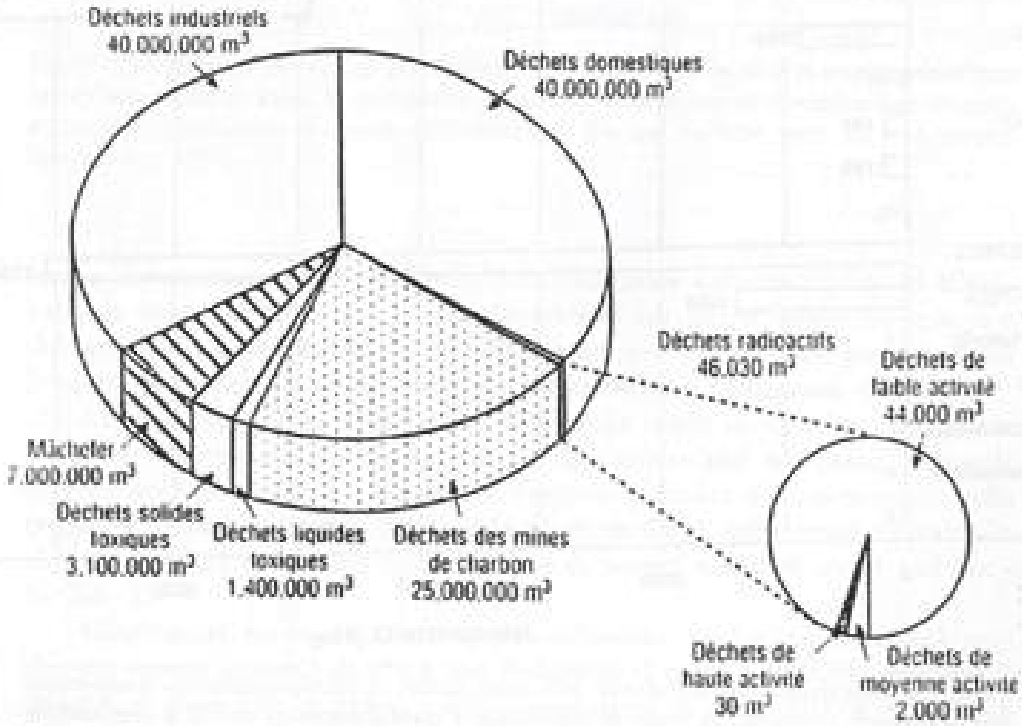


Fig. 4 - Ripartizione delle tipologie di vari rifiuti nel Regno Unito, da cui si evince l'esiguo volume di quelli radioattivi [4]. (*Source*: U.K. Department of the Environment).

TABELLA 5 - *Agenzie per la gestione dei rifiuti nucleari di diversi Paesi* [3].

Nome dell'Agenzia	Nazione	Anno di creazione
ANDRA	Francia	1979
PTB, poi BfS	Germania	1976
NIREX	Regno Unito	1982
SKB	Svezia	1972
ENRESA	Spagna	1984
ONDRAF/NIRAS	Belgio	1980
NAGRA	Svizzera	1972
YJT	Finlandia	1980
COVRA	Olanda	1982

Energia Nucleare, anno 12, n. 3, settembre-dicembre 1995.

protezione speciale e possono essere trattati prendendo misure di protezione elementari, come l'uso di guanti di gomma. I rifiuti di media attività richiedono protezioni in metallo o calcestruzzo e dispositivi di telemanipolazione. Quelli che contengono plutonio e altri elementi transuranici sono a vita lunga. I rifiuti ad alta attività richiedono protezioni massicce e telemanipolatori. Le radiazioni intense generano calore che va asportato per evitare che si raggiungano temperature eccessive, il che significa che vanno previste delle strutture adeguate in cui circoli aria per convezione naturale e forzata per un periodo di alcuni decenni (ved. Fig. 5). Considerando i rifiuti che provengono dall'esercizio di una centrale elettronucleare da 1000 MWe per un anno, essi ammontano a 200 m^3 per la bassa attività, a 70 m^3 per la media attività e a 2.5 m^3 o a 10 m^3 per la alta attività, a seconda che si proceda, o meno, al ritrattamento del combustibile.

Per «gestione dei rifiuti radioattivi» si intende il complesso dei provvedimenti relativi alla raccolta, al trasporto, al trattamento o al condizionamento, all'immagazzinamento ed allo smaltimento finale dei rifiuti radioattivi. Per quanto riguarda questo ultimo punto, che è il più importante dell'intero ciclo, i provvedimenti estremi che possono venire adottati sono evidentemente: massima dispersione nell'ambiente, massimo isolamento.

Tra questi due poli si possono avere delle soluzioni intermedie (per es. immagazzinamento provvisorio seguito da uno scarico all'esterno). La scelta dell'uno o dell'altro tipo di smaltimento dipende soprattutto dal livello di contaminazione dei rifiuti e dalle caratteristiche dell'ambiente. Per esempio, i residui ad attività molto bassa possono venire immessi nell'ambiente nei limiti della ricetti-

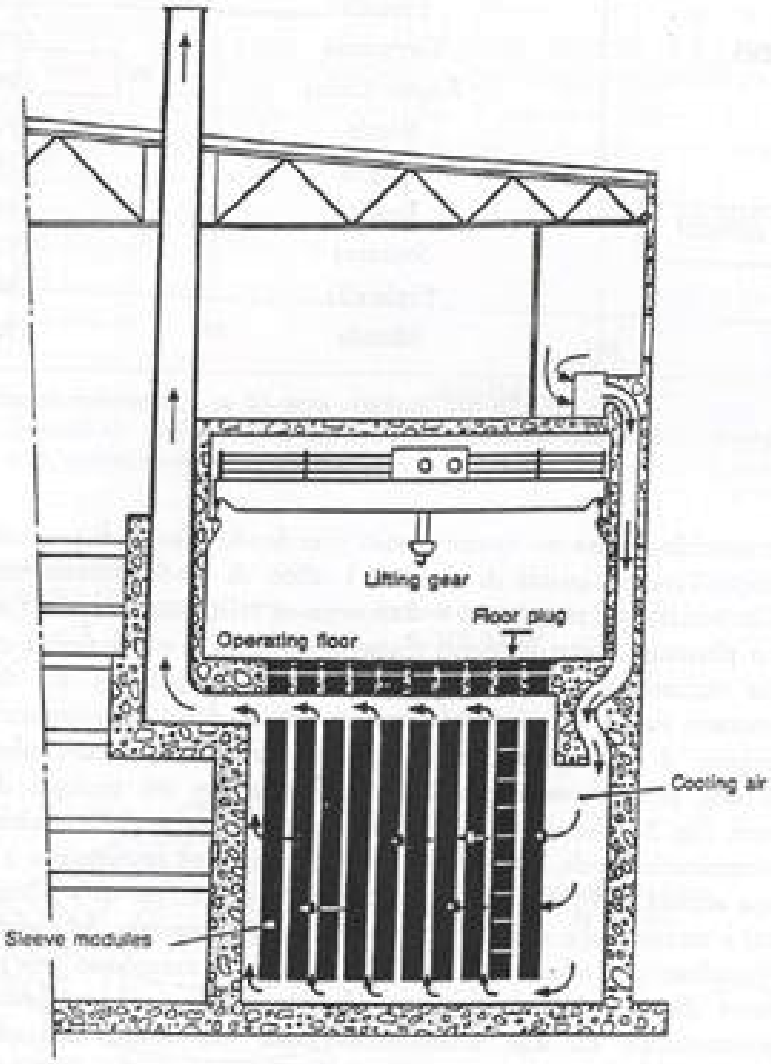


Fig. 5 - Deposito di rifiuti vetrificati ad alta attività raffreddato ad aria in convenzione naturale. Il periodo di permanenza dei vetri, prima dello smaltimento definitivo, può arrivare a 50 anni [5].

vità di quest'ultimo, mentre i rifiuti altamente contaminati, come quelli provenienti dal ritrattamento del combustibile irraggiato, non possono che venire sottoposti ad un contenimento totale.

Per i depositi dei rifiuti si distingue fra depositi temporanei (storage), con spazi attrezzati per il loro recupero, e depositi definitivi (disposal). Il più delle volte, tuttavia, i rifiuti presentano una attività troppo elevata perché li si possa scaricare, ed un volume troppo grande perché li si possa immagazzinare. In questi casi è necessario sottoporli a trattamenti capaci di concentrare la maggiore parte possibile delle sostanze radioattive entro volumi minori di quelli di partenza (fase di accresciuta attività) e quindi più economicamente immagazzinabili o comunque isolabili in località remote, così da poter disperdere il resto (fase di diminuita attività) liberamente nell'ambiente (ved. Fig. 6).

Ogni operazione che si compie sui rifiuti comporta dei rischi ed un costo. Una buona gestione dei rifiuti è evidentemente quella che permette di ridurre i rischi a un livello ragionevole. Per esempio, nel caso della gestione dei rifiuti ad alta attività prodotti dal ritrattamento del combustibile irraggiato, una certa «sosta» presso l'impianto di ritrattamento viene generalmente considerata opportuna, poiché permette il decadimento dei nuclidi a vita breve e quindi riduce la produzione di calore nei rifiuti. Ciò semplifica notevolmente le successive fasi di smaltimento definitivo dei rifiuti stessi (Figg. 7, 8).

Un elemento della gestione dei rifiuti che può assumere particolare rilevanza è il trasporto, dato che, a parte situazioni favorevoli, i produttori di rifiuti raramente sono situati nelle immediate prossimità del luogo di eliminazione finale.

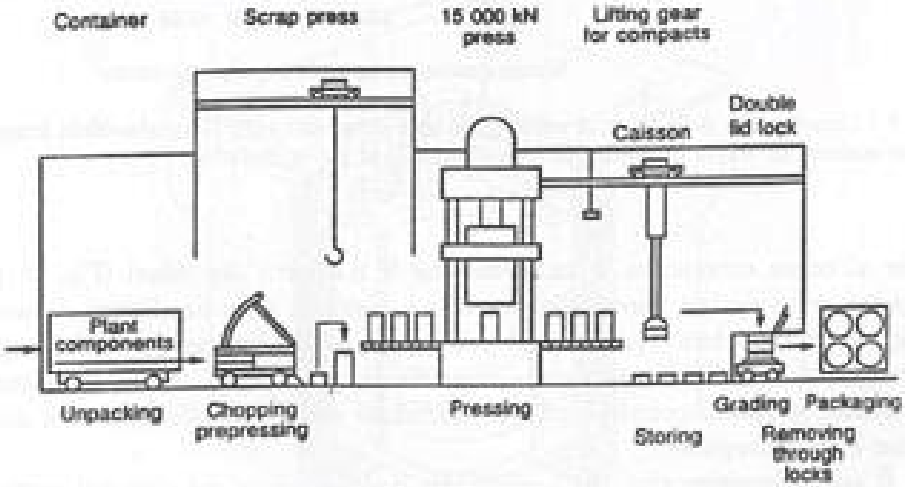


Fig. 6 - Compattazione mediante pressa di rifiuti solidi a debole attività per ridurre i volumi necessari nei depositi [6].

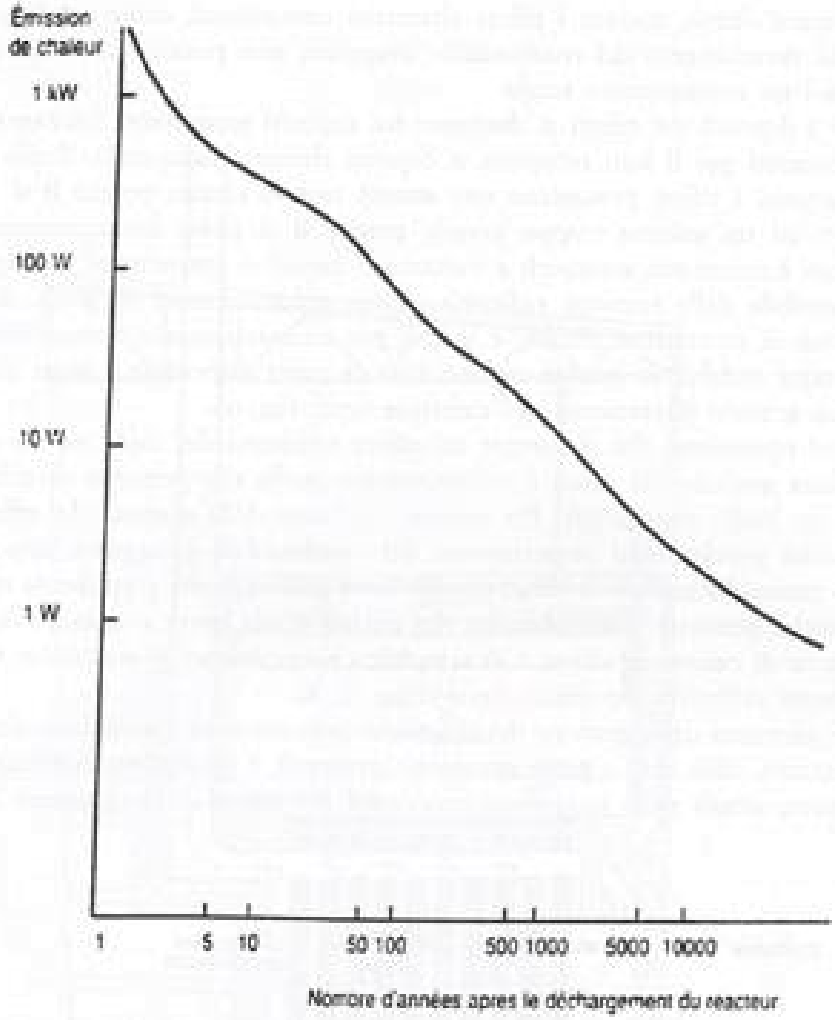


Fig. 7 - Decadimento della potenza termica generata in un elemento di combustibile irraggiato in un reattore ad acqua pressurizzata, dopo l'estrazione dal reattore [4].

Oltre all'onere economico, è indubbio che il trasporto dei rifiuti (Fig. 9) presenta un certo rischio potenziale, per cui, a parità di altre condizioni, è vantaggioso minimizzare tale trasporto; ciò però non deve tradursi in una indebita proliferazione di «cimiteri superficiali» o profondi. In tal caso, infatti, il vantaggio del minore trasporto verrebbe più che annullato dalla moltiplicazione dei siti da gestire e da sorvegliare.

È anche intuitivo che, per i rifiuti che devono subire dei trasporti piuttosto lunghi, esiste una forte motivazione a ridurre il volume per quanto possibile. Il tipo di rifiuti che è maggiormente suscettibile di riduzione di volume è quello

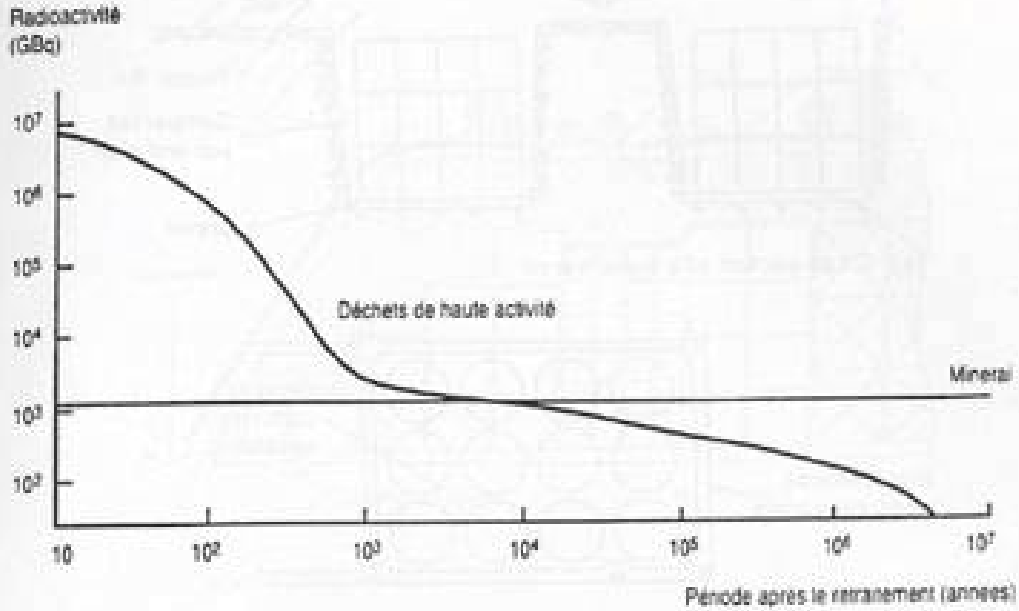


Fig. 8 - Decadimento radioattivo dei rifiuti ad alta attività derivati dal ritrattamento di una tonnellata di combustibile [4].

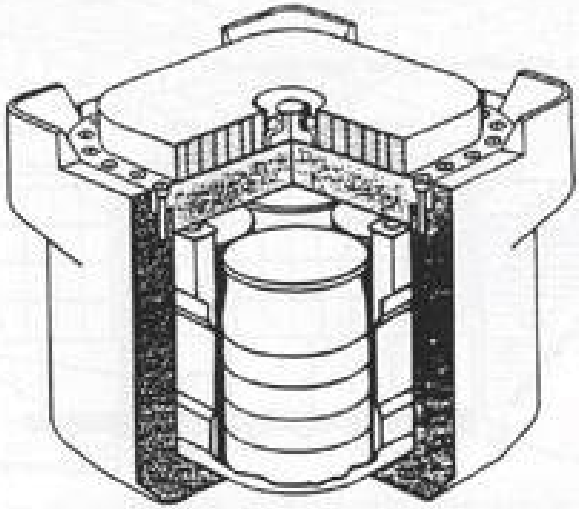


Fig. 9 - Contenitore per il trasporto di rifiuti radioattivi di media attività in 4 fusti da 500 litri [4]. (Source: U.K. Nirex Ltd).

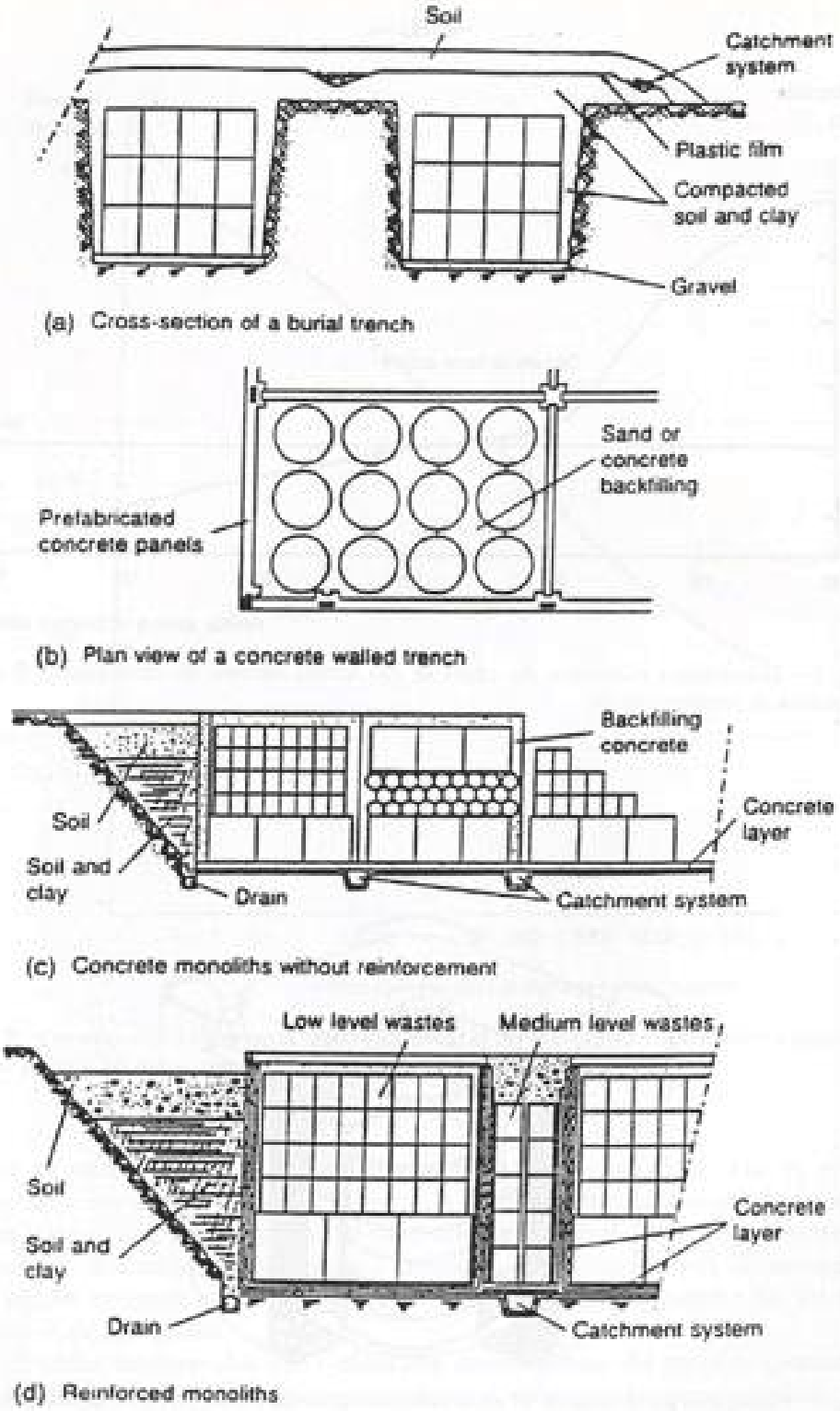
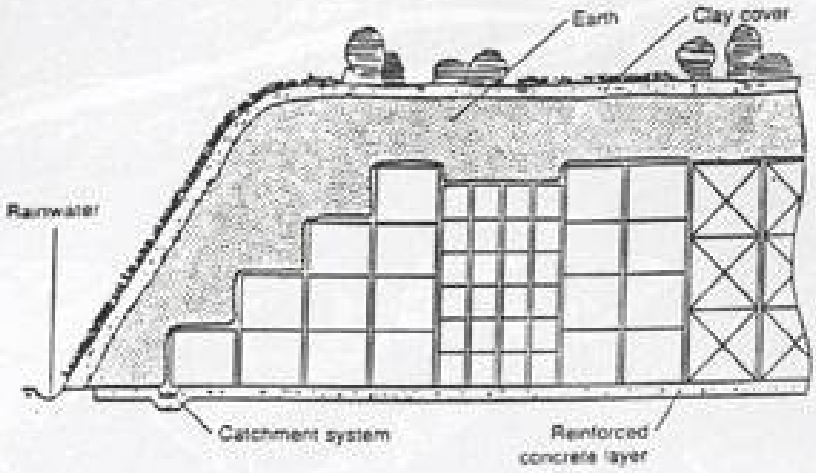
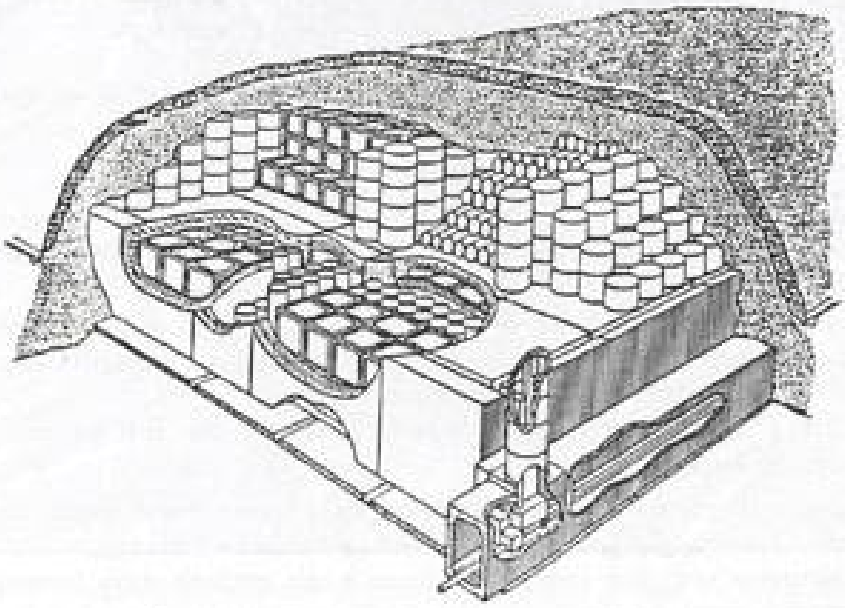


Fig. 10 - Depositi superficiali di rifiuti radioattivi di bassa-media attività [7].



(a) A disposal mound



(b) General view of a disposal unit composed of a concrete monolith overlain by a mound

Fig. 11 - Depositi superficiali di rifiuti radioattivi di bassa-media attività [7].

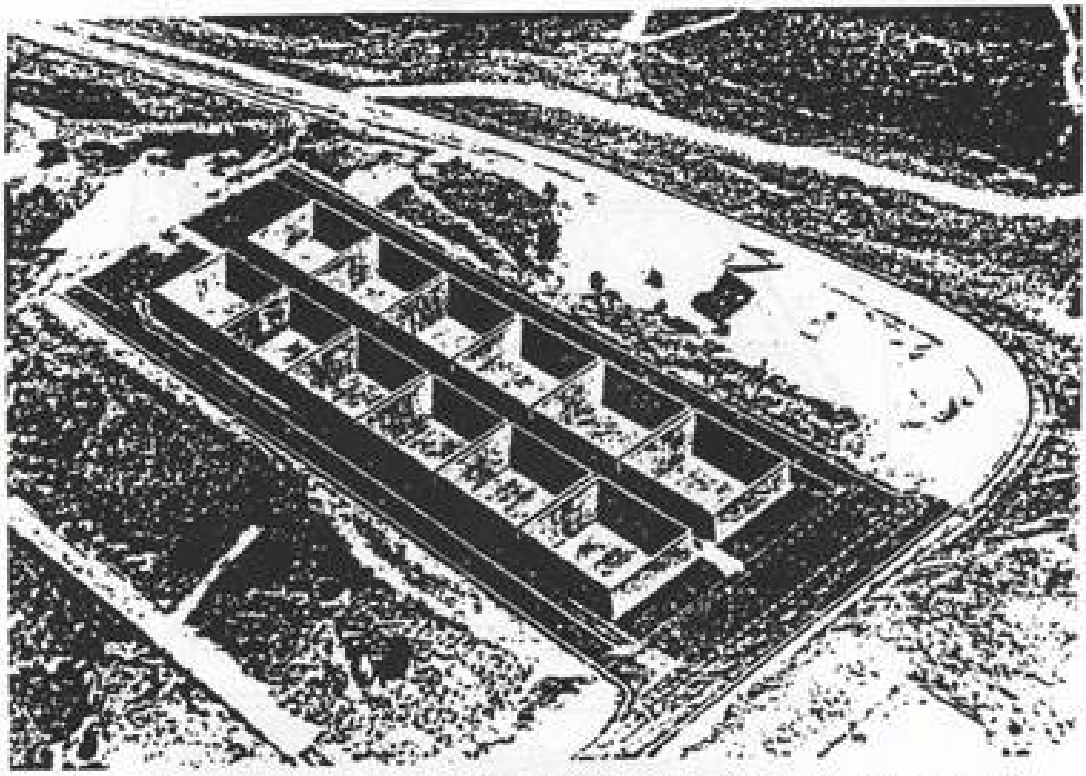


Fig. 12 - Depositi superficiali di rifiuti radioattivi di bassa-media attività [4]. (*Source*: ENRESA, Espagne).

dei solidi a bassa attività. Per quanto riguarda il tipo di rischi associati alla gestione dei rifiuti radioattivi, il problema più immediato è costituito dal pericolo delle radiazioni, che riguarda sia i lavoratori dell'industria nucleare, sia le popolazioni. Le considerazioni di protezione dalle radiazioni sono quindi di importanza fondamentale; esse sono basate su principi e «standard» di radioprotezione ben stabiliti ed internazionalmente accettati.

Oltre a tali principi generali di radioprotezione, due altri principi sono generalmente condivisi:

— il livello di protezione delle generazioni future deve essere almeno equivalente a quello della generazione presente che sistema i rifiuti;
— la sicurezza non deve essere subordinata a una gestione attiva (presenza di custodi o altro) dei depositi da parte delle generazioni future al di là di un lasso di tempo generalmente stimato dell'ordine dei 300 anni.

I depositi dei rifiuti a bassa attività sono perlopiù superficiali o sub-superficiali (v. Figg. 10, 11, 12) (dopo decine di anni molti rifiuti sono decaduti a livello di rifiuti comuni e non presentano più rischi, mentre quelli a media e ad

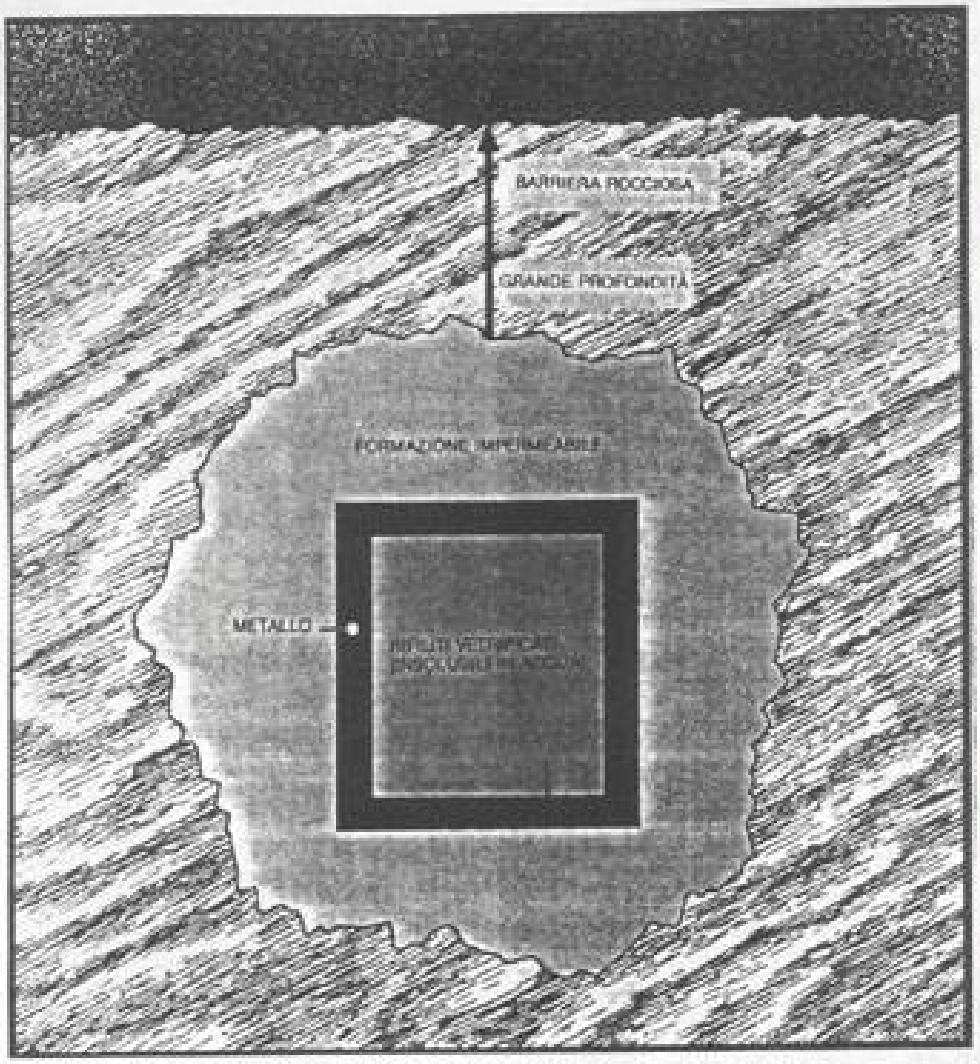


Fig. 13 - Barriere artificiali e naturali concepite per i rifiuti di lunga vita e alta attività.

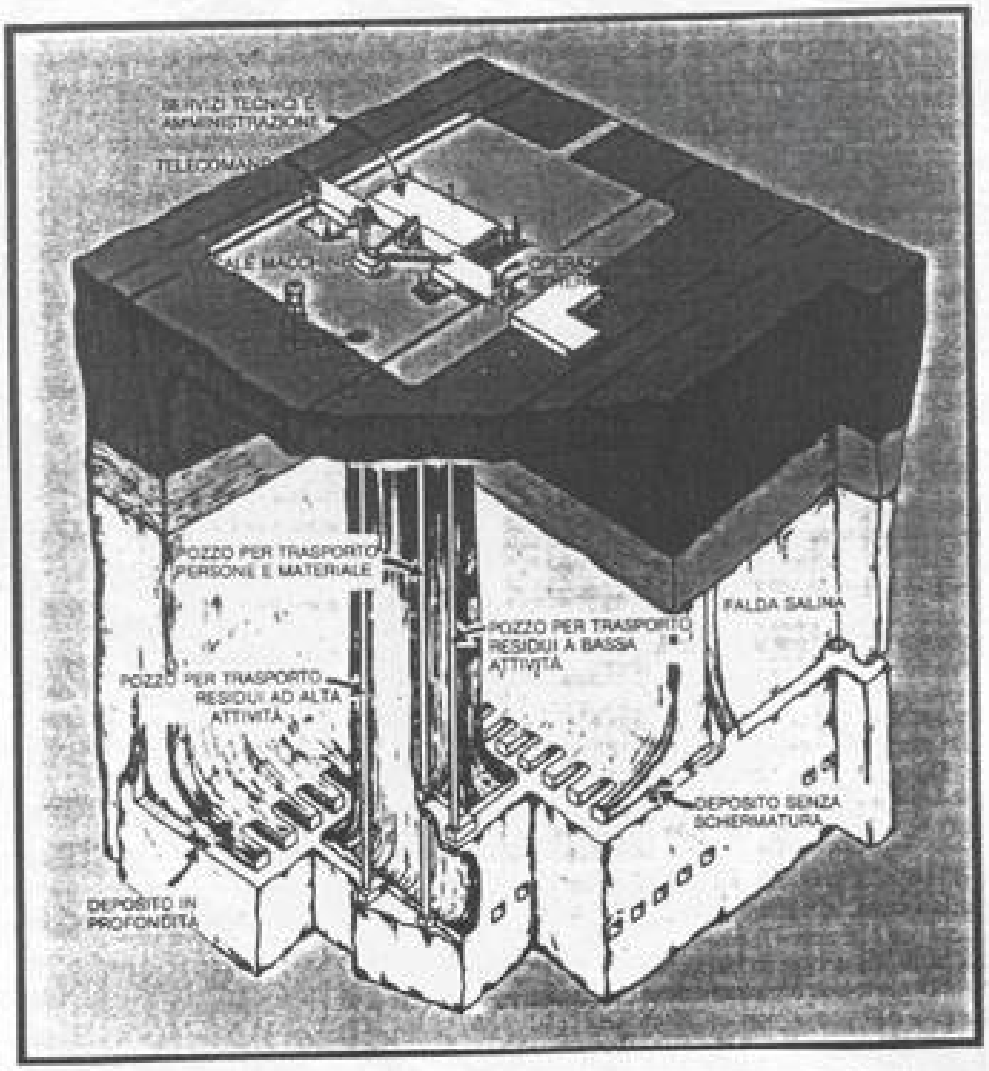


Fig. 14 - Gallerie e caverne per depositi a grandi profondità (300÷1000 m). La figura mostra, in forma semplificata, lo spaccato di un deposito in una formazione salina o rocciosa geologicamente stabile.

alta attività sono realizzati (i primi) e previsti (i secondi) a profondità maggiori entro formazioni argillose, saline o granitiche (ved. Figg. 13,14,15). Un esempio dei primi è costituito dal deposito svedese di Forsmark e da quello tedesco della miniera di Morsleben (5 milioni di metri cubi) (Tab. 6). I depositi ad alta attività (a lunga vita) sono a profondità maggiori (da 500 a 1000 m), per tener conto anche dell'effetto erosivo delle glaciazioni, e sono costituti da barriere artificiali e naturali tali da garantire l'isolamento per milioni di anni, come si dice «a perdita di memoria». Per la situazione italiana la scelta ottimale sarebbe quella di un deposito superficiale, per i rifiuti di bassa attività, nello stesso sito in cui si potesse realizzare un deposito attrezzato (storage) provvisorio per i rifiuti vetrificati e per gli elementi di combustibile in contenitori a secco e in cui si potesse, con buona prospettiva di successo, compiere delle ispezioni e delle esperienze sotterranee (in formazioni argillose particolarmente adatte) al fine di creare il deposito definitivo (disposal) a futura perdita di memoria.

Tutto questo se nel frattempo le tecniche di separazione dei radioisotopi e di trasmutazione nucleare degli attinidi non renderanno inutile il deposito più impegnativo per l'alta attività.

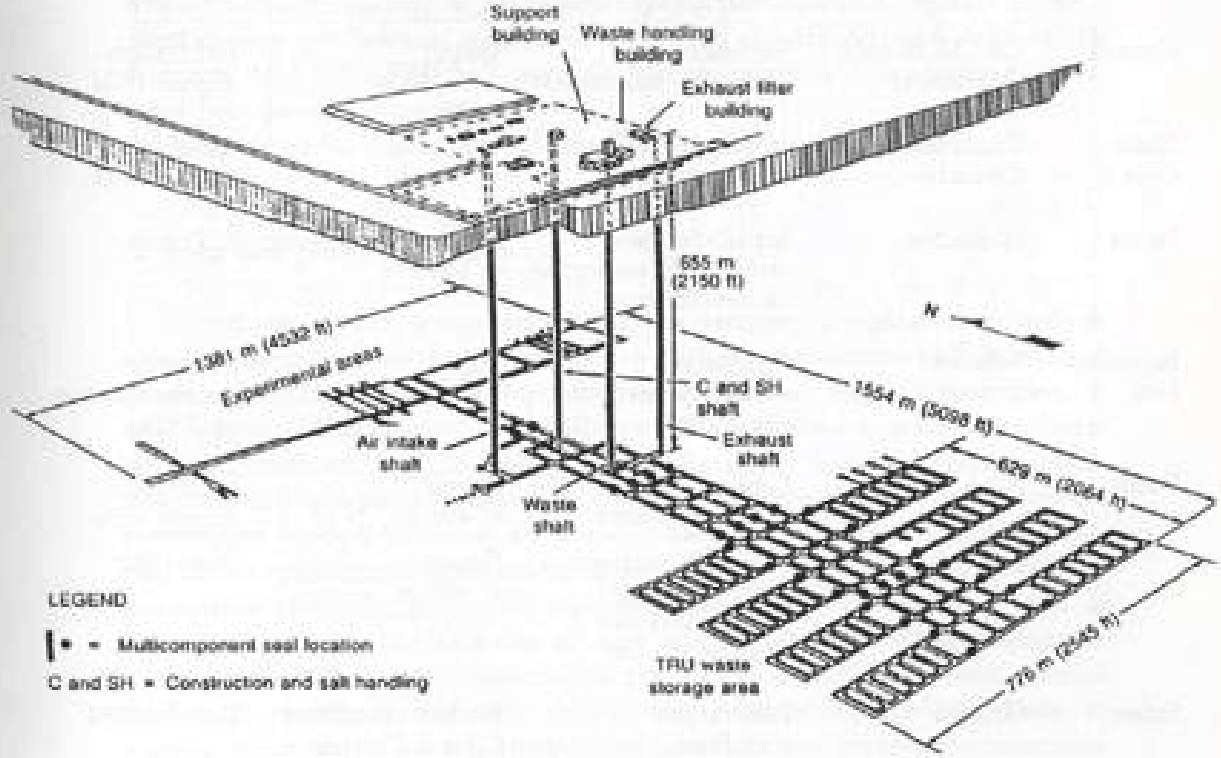


Fig. 15 - Deposito WIPP realizzato nel New Mexico, Stati Uniti [8].

TABELLA 6 - *Laboratori di ricerca sotterranei per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi* [4].

Pays	Endroit	Installation	Géologie et profonder	Dates
Allemagne	Konrad	Recherche dans une ex-mine de fer	Couches jurassiques recouvertes d'argile 800-1300 m	Recherches depuis 1976
	Asse	Recherche dans une ex-mine de sel	Dôme de sel < 1000 m	Dépôt en exploitation 1967-1978
	Gorleben	Recherche dans des formations salines	Dôme de sel recouvert de gypse < 900 m	Creusage de puits depuis 1986
	Morsleben	Recherche dans une ex-mine de sel	Dôme de sel < 525 m	Recherches liées à la sûreté dans les années 60
Belgique	Mol/Dessel	Laboratoire de recherche souterrain HADES	Argile 230 m	Depuis 1983
Canada	Lac du Bonnet (Manitoba)	Laboratoire de recherche souterraine	Granit 240-420 m	Excavation depuis 1984
États-Unis	Yucca Mountain (Nevada)	Installation d'études exploratoires	Tuf ± 300 m	Excavation depuis 1993
Japon	Horonobe	Installation souterraine de recherche en profondeur	Roche sédimentaire < 1000 m	À l'étude
Royaume-Uni	Sellafield	Installation de caractérisation des roches	Tuf 920 m	Demande de planification en 1994
Suède	Äspö	Laboratoires de roches dures	Granit < 460 m	Excavation depuis 1990
	Stripa	Projet de recherches souterraines de l'AEN dans une ex-mine de fer	Granit < 400 m	1980-1992
Suisse	Grimsel	Laboratoire souterrain	Roches cristallines 1 km a l'intérieur d'une montagne	Depuis 1984

All'atto della privatizzazione dell'ENEL, in qualunque forma essa avvenga, dal suo patrimonio (Ministero del Tesoro) devono essere scorporate, per la quotazione in borsa del rimanente patrimonio, le quattro centrali elettronucleari di Latina, del Garigliano, di Trino Vercellese e di Caorso.

Si dovrà verosimilmente formare una società finanziaria del Ministero del Tesoro, destinata alla «gestione del nucleare», con il compito di controllare e finanziare le attività di gestione per il progressivo smantellamento delle suddette quattro centrali. L'ENEL ha già provveduto a raggruppare il personale necessario per tale compito (secondo le precise prescrizioni di legge) e consistente in circa 700 persone in una «area attività nucleari». Tale area costituirà prevedibilmente la «società di gestione» dell'ENEL che presenterà il conto preventivo e consuntivo ogni anno alla «società finanziaria» affinché quest'ultima, dopo i controlli di opportunità e correttezza, provveda alla liquidazione e alla rituale iscrizione in una apposita voce passiva che dovrà inserirsi ogni anno nella legge finanziaria per molti, molti anni a venire. Lo smantellamento deve necessariamente procedere con lentezza per impegnare ridotte dosi di radioattività al personale, che fra l'altro deve possedere una serie di particolari qualifiche e specializzazioni e non può essere ridotto che molto gradualmente. L'impegno finanziario annuo poi dovrà necessariamente crescere perchè i residui radioattivi dovranno essere collocati in un deposito nazionale capace di ospitare anche i rifiuti di altre provenienze, quali quelli ospedalieri e quelli derivanti dalle attività di ricerca del CNEN-ENEA. È possibile operare in modo da trasformare questo onere fisso passivo in un attivo?

La risposta va ricercata a valle di alcune considerazioni generali.

La particolare situazione italiana

Negli anni passati, prima della cosiddetta «moratoria nucleare», in Italia si è molto lavorato, a vari livelli, nel settore nucleare. Soprattutto nell'ambito del Progetto Unificato Nucleare, impostato sui reattori ad acqua pressurizzata, si sono acquisiti diffusamente i «know-how» e «know-why» e si sono interiorizzate profondamente tutte le relative licenze. Le nostre industrie hanno addirittura costruito componenti essenziali come i «pressure-vessels», recipienti dei reattori, per venderli all'estero. Le ampie collaborazioni internazionali e le ricerche, anche sperimentali, condotte in Italia hanno procurato tutte le necessarie competenze tanto che in ben sei università italiane si sono strutturati corsi di laurea in Ingegneria Nucleare che ad oggi hanno laureato più di un migliaio di ingegneri nucleari. I centri nazionali di ricerca dell'ENEA, ove hanno operato migliaia di ricercatori con vaste dotazioni sperimentali, hanno contribuito in maniera determinante a interiorizzare e ad arricchire una miniera di conoscenze teorico-pratiche che costituiscono la base essenziale per una attività nel settore.

Le continue informazioni sul funzionamento dei reattori nucleari nel mondo (tramite soprattutto l'ENEL) e l'esperienza conseguita con l'esercizio delle centrali elettronucleari italiane hanno formato una classe di esperti che sarebbe stupido disperdere.

Si è arrivati a progettare e a licenziare il Progetto Unificato Nucleare di un reattore ad acqua pressurizzata di quasi 1000 MWe, nel 1986, che nulla ha da invidiare per le caratteristiche prestazionali e di sicurezza alla centrale inglese di Sizewell che, partita dopo, è ora entrata in produzione. Le note vicende del referendum del 1987 e della moratoria hanno interrotto questo corso con le conseguenze che l'unico paese del G7 a compiere una rinuncia unilaterale è stato il nostro, anche comprendendo l'ex URSS ove si è verificata, per le ben note cause, la tragedia di Chernobyl.

Una decisione governativa sul che fare con il nucleare non è ormai più rinviabile. Il rinvio significherebbe decidere di rinunciare a questo settore industriale di punta e di isolarsi dal mondo avanzato, perché le residue competenze e i piccoli nuclei sopravvissuti a stento finirebbero per disperdersi definitivamente. I corsi di laurea universitari chiuderebbero per mancanza di studenti e trentacinque anni di attività e la miniera di informazioni e di abilità accumulate si disperderebbero irreversibilmente. Una situazione ancor peggiore si verificherebbe presso le nostre industrie, ove si perderebbe la memoria dei «know-how» e «know-why» accumulati faticosamente in tanto tempo.

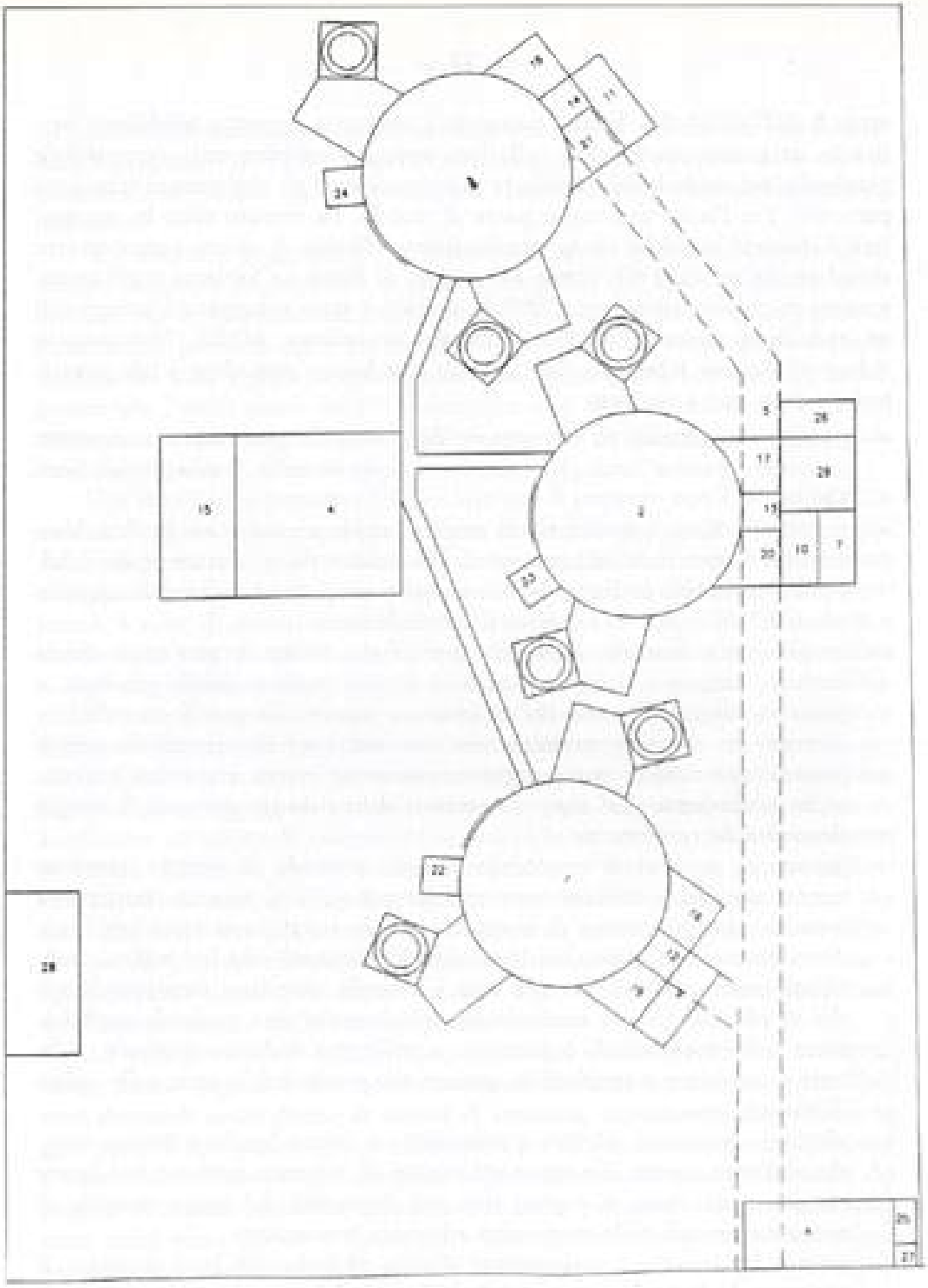
Progettare e costruire dei reattori nucleari è un'attività scientifica e tecnologica di punta che ha un notevole effetto di «spin-off» o trascinamento su un amplissimo comparto di innovazioni tecnologiche in molti e diversificati settori industriali. Oltre alle attività nucleari propriamente dette basti pensare all'elettronica, all'informatica, alla robotica, alla termofluidodinamica, alla scienza dei materiali, ai calcolatori e simulatori, all'ingegneria strutturale, alle svariate tecniche per la sicurezza dei sistemi complessi. Rinunciare al nucleare «tout court» significherebbe privarsi di ampie ricadute, così come se ci chiamassimo fuori dalle biotecnologie o dalle attività spaziali.

Le centrali nucleari della prima generazione, quelle che tuttora si costruiscono, hanno raggiunto (nel mondo occidentale) elevati gradi di sicurezza. Esse sono dotate di molte decine di sistemi di sicurezza, ridondanti e diversificati, in gran parte di tipo «attivo», cioè necessitanti per il loro funzionamento di motori e sensori che devono essere energizzati. Gradualmente si vanno affermando dei progetti di reattori cosiddetti «avanzati», in cui la percentuale di sistemi di sicurezza attivi viene ridotta a favore di sistemi passivi, che per intervenire non necessitano di energia né dell'operatore dell'impianto.

Nei paesi avanzati in cui tali progetti sono proposti si punta così a una transizione *graduale* dai sistemi attivi a quelli passivi. Non si compie il passo della passivizzazione totale dei sistemi di sicurezza perché tali paesi hanno in esercizio molte centrali della prima generazione che completeranno la loro vita

verso il 2020÷2030. Un brusco passaggio a reattori a sicurezza totalmente passiva (o intrinseca) susciterebbe nella loro opinione pubblica una comprensibile perplessità nei riguardi del mantenere in funzione tutti gli altri reattori (che sono parecchi). Per l'Italia che, unico paese al mondo, ha fermato tutte le sue centrali il discorso potrebbe essere manifestamente diverso. A questo punto occorre ricordare che sin dal 1983, presso l'Università di Roma La Sapienza e più recentemente in collaborazione con l'ENEA, in Italia è stato sviluppato il progetto di un reattore a sicurezza totalmente passiva denominato MARS, Multipurpose Advanced Reactor inherently Safe. I criteri che hanno presieduto a tale progettazione sono stati i seguenti:

— puntare decisamente su un reattore della seconda generazione a sicurezza totalmente passiva (analoghe iniziative si sono avute in Svezia e negli Stati Uniti);
— scegliere la filiera più diffusa nel mondo (acqua pressurizzata) per cui fosse massima l'esperienza italiana, con la condizione che il reattore fosse totalmente costruibile in Italia, sulla scia delle competenze industriali acquisite con il P.U.N. e con le forniture fatte per l'estero;
— semplificare al massimo il progetto per ridurre i costi, tenuto conto che la sicurezza intrinseca richiede reattori di piccola taglia e quindi penalizza, a parità di progetto, il costo del chilovattora rispetto alle grandi centrali;
— adottare un concetto modulare per cui, nel caso di centrali di grande potenza, più moduli possano convenientemente essere assemblati insieme, anche gradualmente nel tempo, a seconda delle richieste crescenti di energia elettrica sulla rete esterna;
— puntare su un reattore smontabile in pezzi in modo da poterlo completamente costruire in officina e assemblarlo poi sul sito. Questa caratteristica consente più brevi tempi di costruzione e più ridotti costi totali per l'incidenza notevole degli interessi intercalari. Si eliminano così le lunghe e complicate costruzioni sul sito, ove tutti i controlli sono fra l'altro più difficili che in officina. Questa caratteristica introdurrebbe una profonda modificazione nelle modalità di costruzione e nell'intera industria nucleare, dalle lente e complesse costruzioni in cantiere alle produzioni in serie nelle catene di montaggio;
— adottare componenti già noti e collaudati per evitare lunghe e costose ricerche dall'esito incerto. Le stesse valutazioni di sicurezza possono così essere compiute sulla base di copiosi dati resi disponibili dal lungo esercizio di numerose centrali dello stesso tipo ad acqua pressurizzata;
— essendo la sicurezza completamente affidata ad ineludibili leggi di natura, il più grave degli incidenti concepibili, la fusione del nocciolo del reattore, non può accadere. Per questi, come per altri incidenti che fisicamente non possono accadere, sono comunque introdotti sistemi passivi atti a neutralizzare le conseguenze, senza fuoriuscita di prodotti radioattivi;



1-2-3: Unità reattore
4: edificio turbina
5: tunnell combustibile
6: edificio combustibile
7: laboratori
9-10-11: edifici ausiliari reattore
12-13-14: sale controllo
15: stazione elettrica
16-17-18: batterie, elettronica, quadri
19-20-21: impianti trattamento rifiuti
22-23-24: spogliatoio caldo, decontaminazioni
25: diesel emergenza
26: officina calda
27: camino
28: guardianeria ed uffici
29: officina ordinaria

Fig. 16 - Disposizione dei moduli in una centrale a 3 reattori.

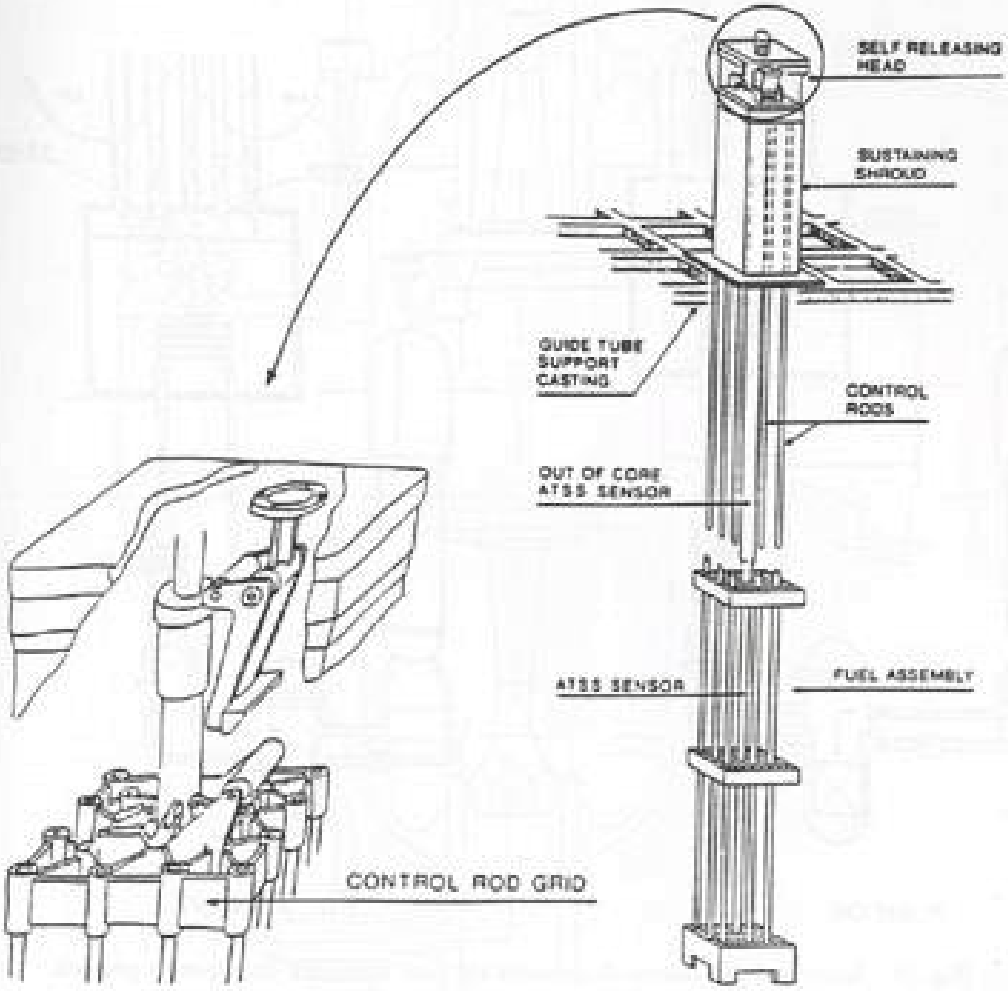


Fig. 17 - Dispositivo di scram automatico per dilatazione differenziale di due guide metalliche.

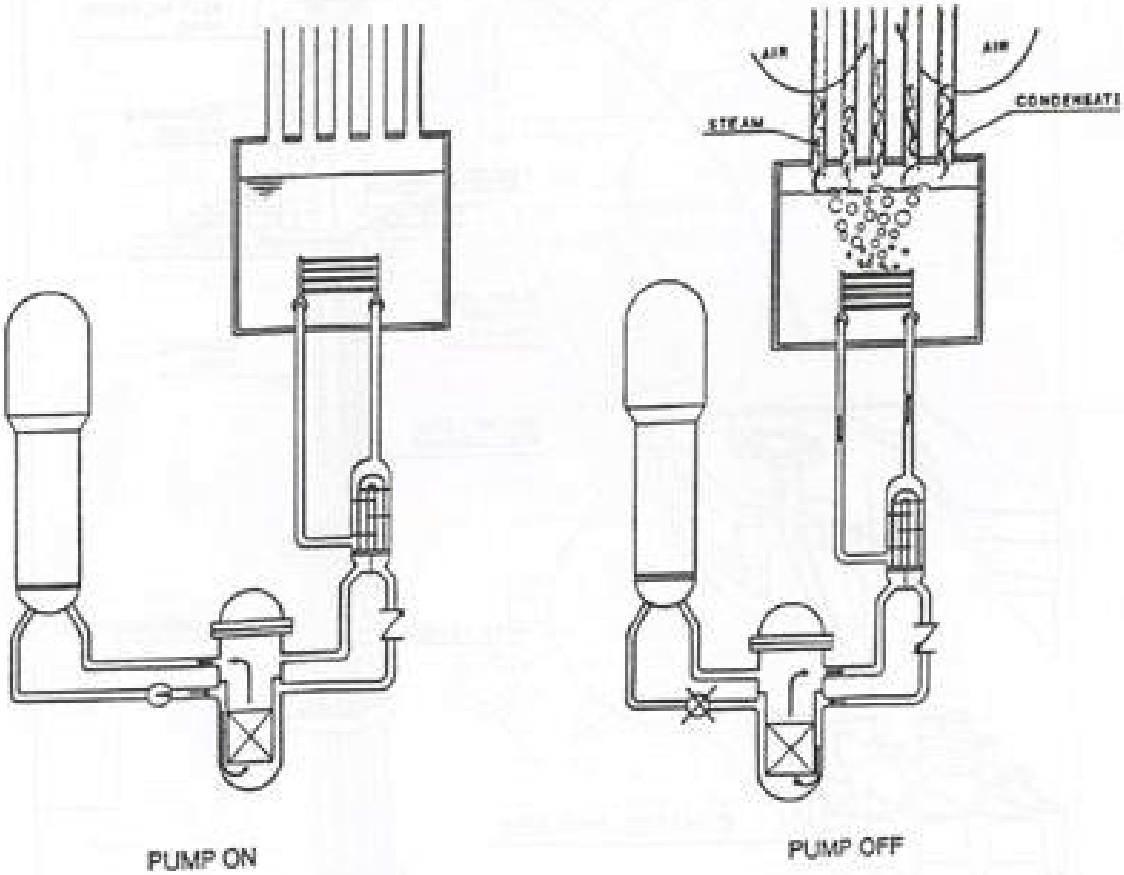


Fig. 18 - Intervento del sistema di sicurezza nel caso di perdita della pompa primaria.

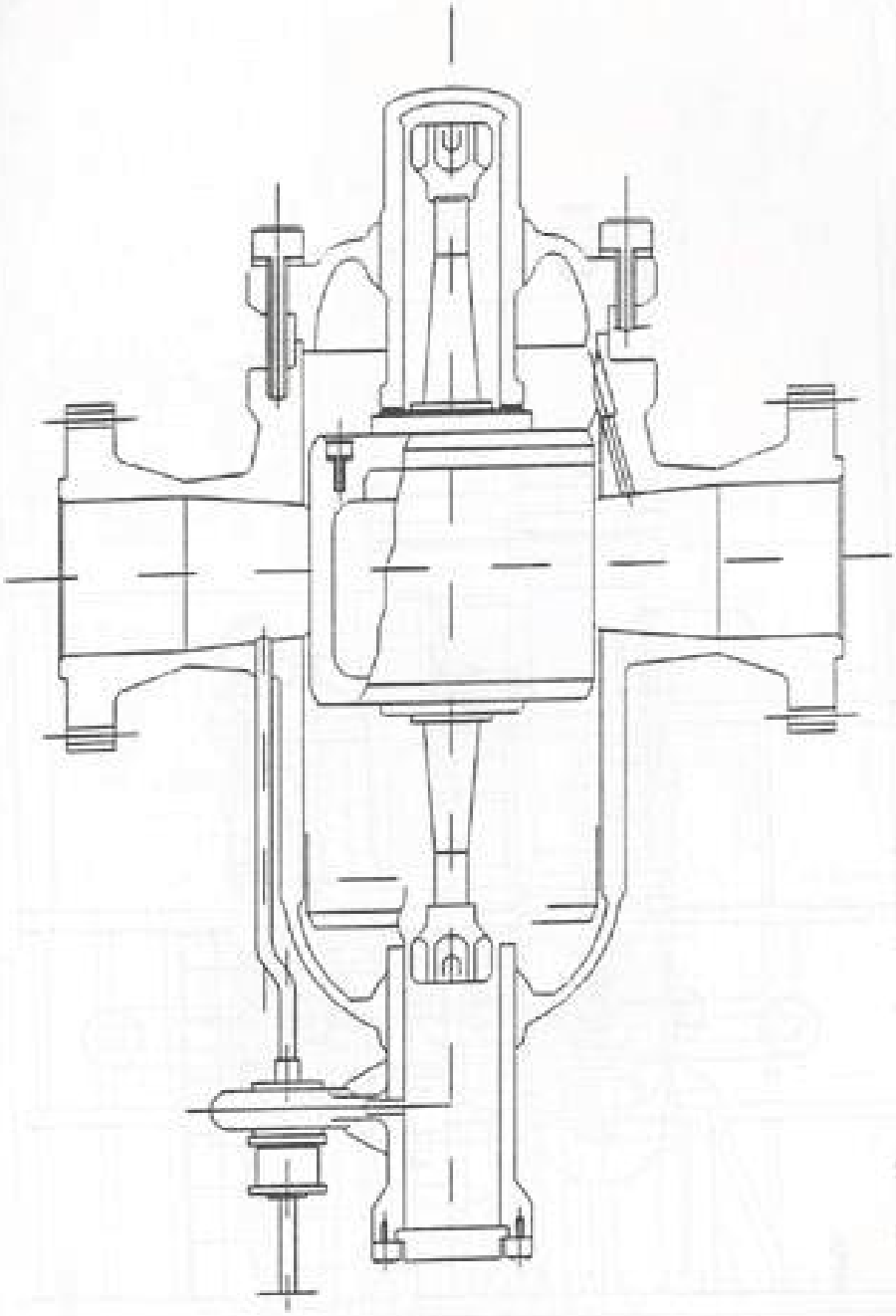


Fig. 19 - Valvola speciale di non-ritorno a gravità.

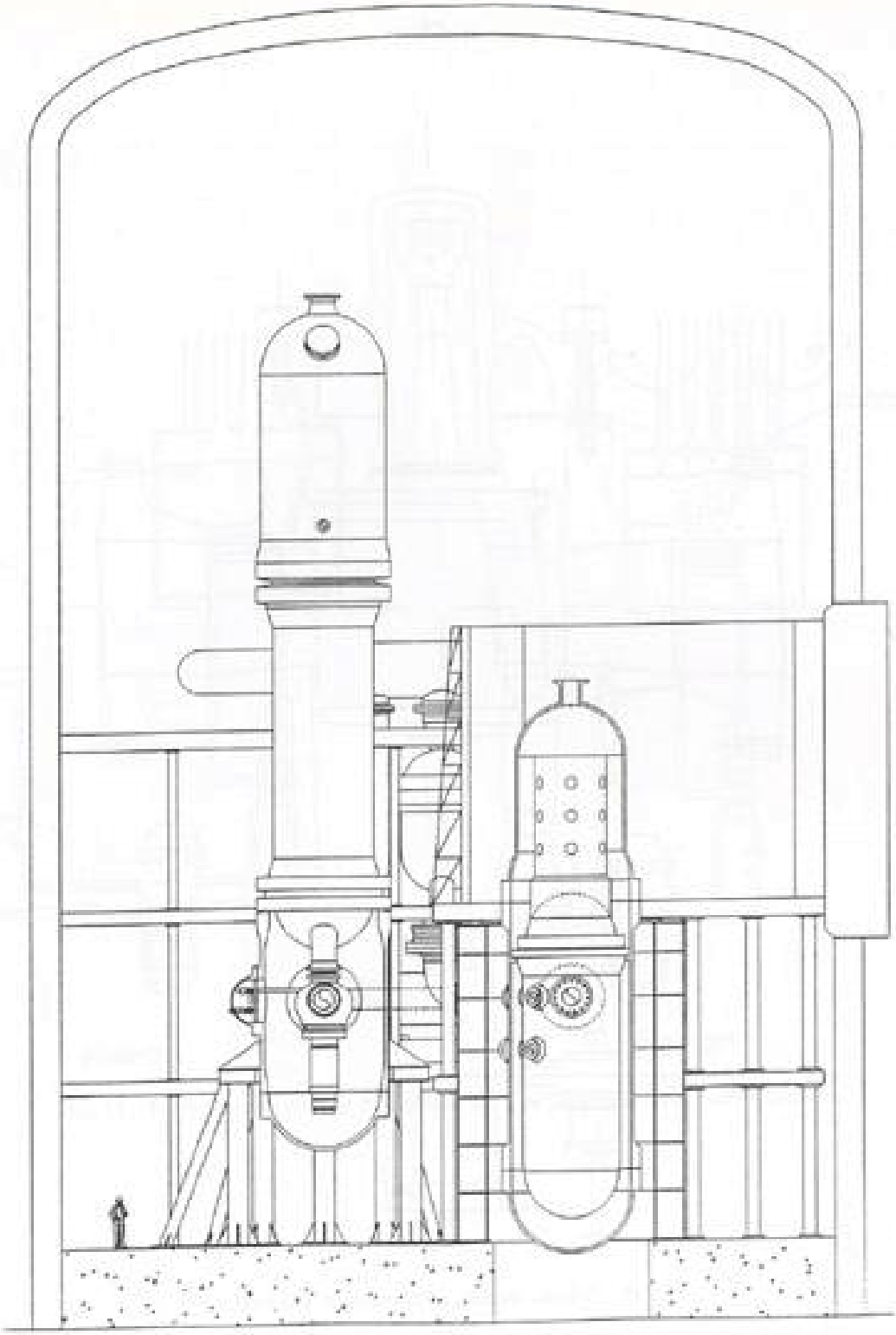


Fig. 20 - Vista d'assieme del generatore di vapore e del reattore con il doppio contenimento e con i collegamenti flangiati.

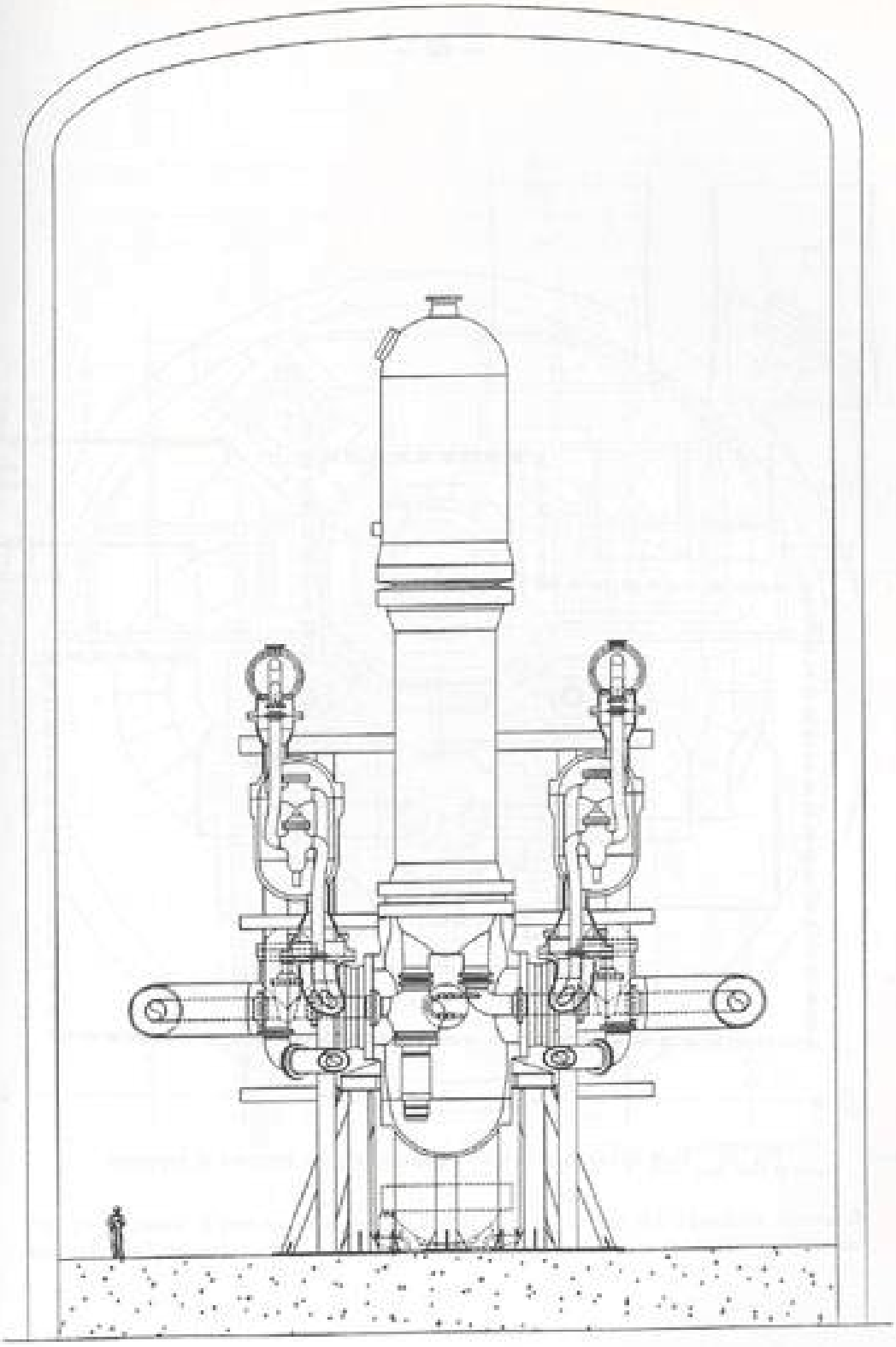


Fig. 21 - Vista di insieme del generatore di vapore con la pompa primaria e i due gruppi ridondanti delle valvole di non ritorno.

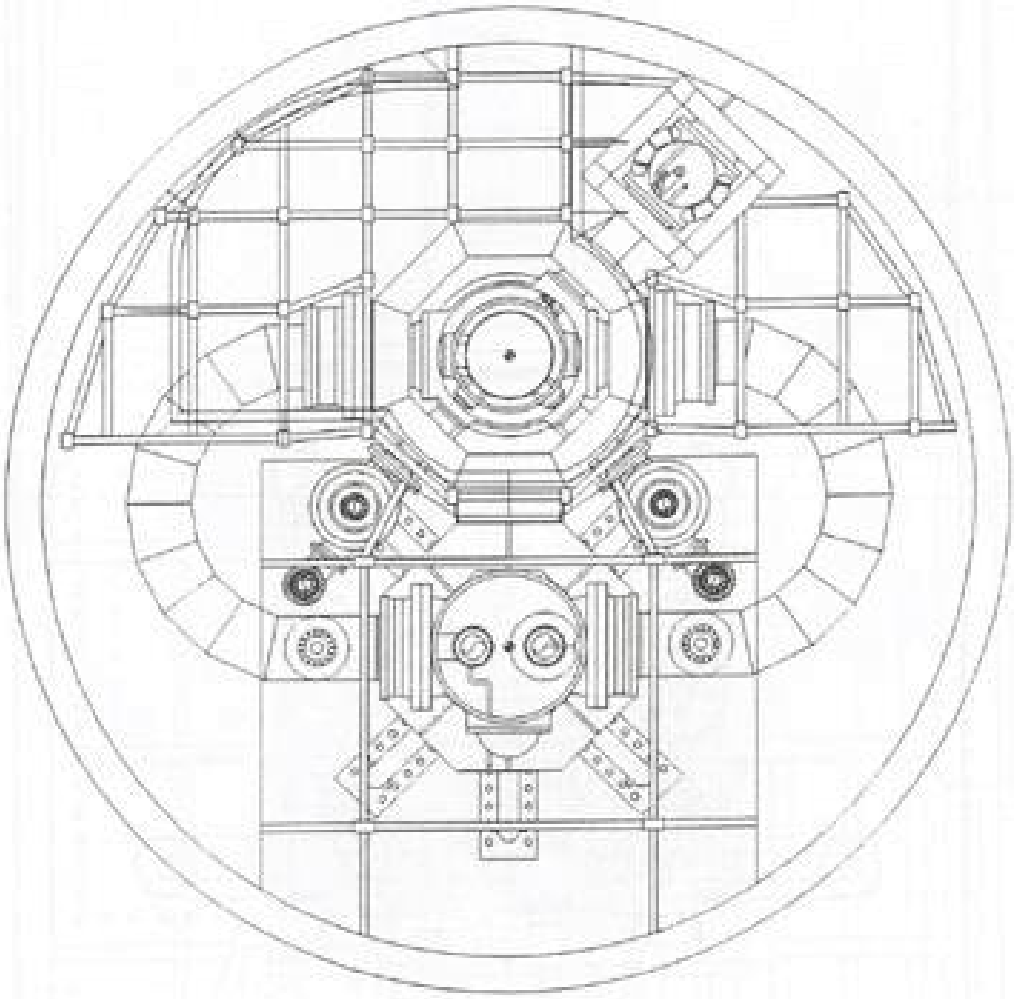


Fig. 22 - Vista in pianta del circuito primario e della struttura di supporto.

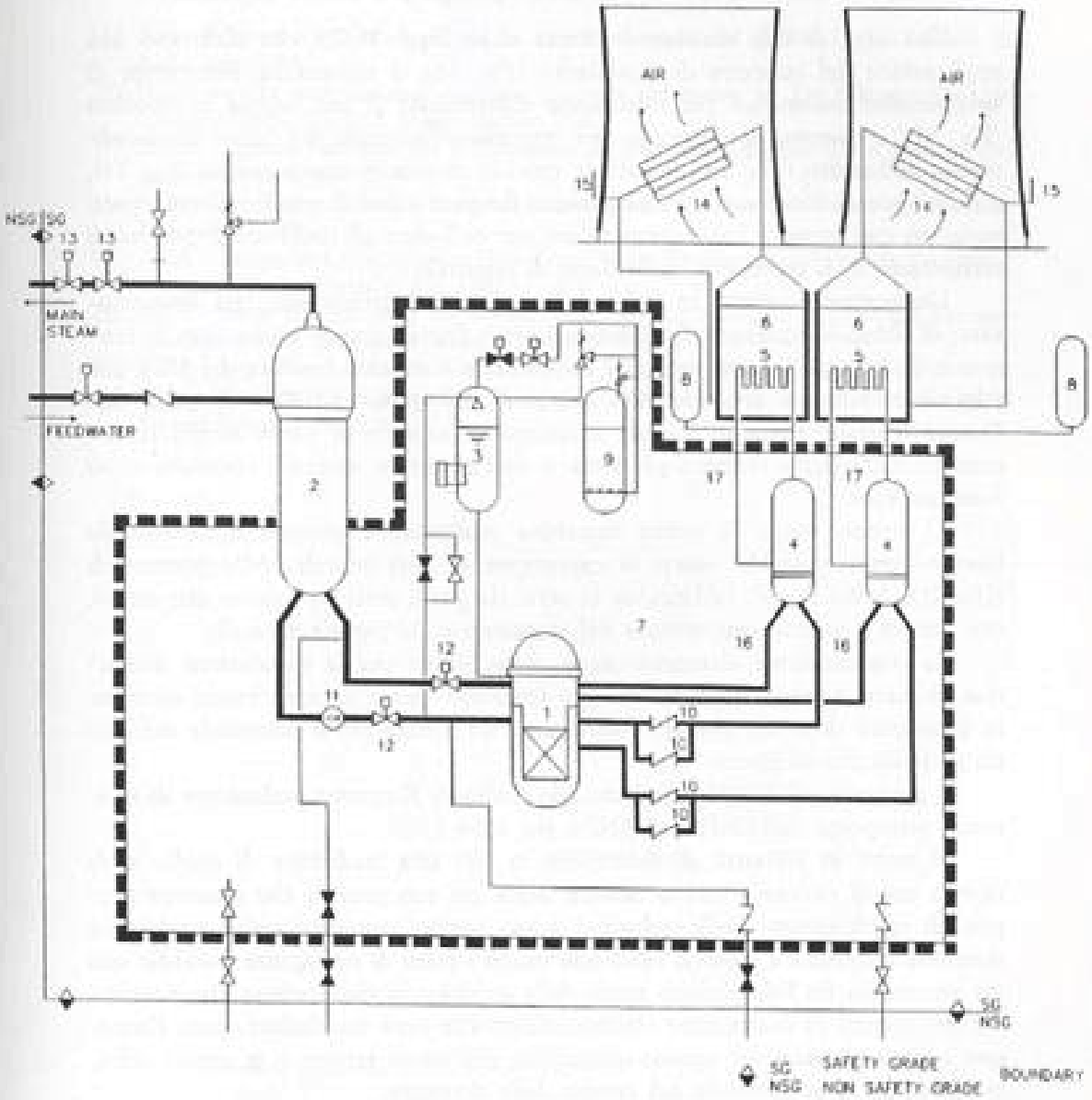


Fig. 23 - Schema di principio del reattore MARS con indicazione del ridondante sistema di sicurezza. La linea tratteggiata delimita la zona sottoposta ai più stringenti requisiti di sicurezza.

— tenere costantemente presenti tutti gli accorgimenti per ridurre i costi di impianto, nel rispetto di tutte le regole di sicurezza maturate in Italia e all'estero sull'esperienza di esercizio della tipologia più diffusa di reattori.

Una idea di tale reattore è offerta dalle Figg. 16÷23 che illustrano una applicazione del concetto di modularità (Fig. 16), il sistema supplementare di spegnimento automatico per dilatazione differenziale di una coppia bi-metallica (Fig. 17), il sistema di rimozione per convezione naturale del calore di decadimento radioattivo (Fig. 18), la valvola speciale di non ritorno a gravità (Fig. 19), e delle viste di insieme con i collegamenti flangiati e con il circuito esterno pressurizzato con acqua a bassa temperatura per escludere gli incidenti di perdita di refrigerante e di espulsione delle barre di controllo.

L'opportunità offerta in Italia dalla centrale elettronucleare, già ammortizzata, di Trino Vercellese 1 (la centrale Enrico Fermi) con lo stesso tipo di reattore e di analoga potenza consente di sostituire il vecchio reattore del 1964 con tale nuovo reattore, con costi vivi che sono dell'ordine del 20% di quelli dell'intera centrale. Pertanto un tale investimento sarebbe in breve tempo ricompensato dall'energia elettrica prodotta, *e non sarebbero necessari stanziamenti di fondi pubblici.*

Al tempo stesso la prima macchina realizzata, e provata nella centrale Enrico Fermi, potrebbe essere la capostipite di altri moduli (della potenza di circa 200 MWe l'uno), fabbricabili in serie sia per il mercato interno che estero, ove non vi è grande concorrenza nel segmento delle piccole centrali.

La cogenerazione elettricità-calore, quest'ultimo per la dissalazione dell'acqua di mare o per il teleriscaldamento (potendo queste centrali essere costruite in prossimità di centri abitati) contribuisce ad aumentare il potenziale mercato sia in Italia che all'estero.

Il progetto del MARS è arrivato allo stadio di Rapporto preliminare di sicurezza, sottoposto dall'ENEA all'ANPA nel 1994.

Si tratta in sostanza di mantenere in vita una tradizione di studio e di ricerca con il ricorso a una occasione unica nel suo genere, che consente proprio di sperimentare quelle soluzioni a suo tempo auspicate per il nucleare a sicurezza intrinseca e passiva, rendendo inutili i piani di emergenza. Sarebbe una via intermedia fra l'abbandono totale delle attività e la riaccensione «tout-court» dei programmi di costruzione elettronucleari, che però massimizza, visto l'impegno italiano, le ricadute tecnico-scientifiche nell'intero settore e in settori affini, con risultati di avanguardia nel campo della sicurezza.

BIBLIOGRAFIA

[1] Paola FIORENTINI: «Il Nucleare per le centrali elettriche del 2000». Società Italiana di Fisica, Sett. 1995.
[2] Diana SAVELLI: «La sicurezza nucleare nei paesi del centro ed Est Europa». Energia Nucleare, Anno 12, N. 2, Maggio-Agosto 1995.
[3] ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente: «Dossier Rifiuti Radioattivi», aggiornamento al Sett. 1995.
[4] AEN-NEA- Energie Nucléaire et Information: Le Point sur la Gestion des Déchets Radioactifs - 1996.
[5] IAEA - Design and Operation of High Level Waste Vitrification and Storage Facilities - Technical Reports Series n. 339, 1992.
[6] IAEA - Status of Technology for Volume Reduction and Treatment of Low and Intermediate Level Solid Radioactive Waste - Technical Reports Serie n. 360, 1994.
[7] IAEA - Report on Radioactive Waste Disposal - Tecnical Reports Series n. 349, 1993.
[8] IAEA - Performance of Engineered Barriers in Deep Geological Repositories - Technical Reports Series n. 342, 1992.