

MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963

ISS 71/16

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'

Laboratori di Fisica

U. AMALDI, Jr., G. CAMPOS VENUTI, S. FRULLANI

L. MAIANI ed E. TABET

Criteria di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari

Roma, 18 luglio 1971

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'  
Laboratori di Fisica

ISS 71/16

U. AMALDI, Jr., G. CAMPOS VENUTI, S. FRULLANI, L. MAIANI ed E. TABET -  
Criteri di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari. (18 luglio 1971)

In questo rapporto vengono illustrate e discusse le procedure ed i criteri seguiti dagli organi di controllo per l'approvazione dell'ubicazione di un reattore nucleare in Italia ed in alcuni dei più importanti paesi nucleari del mondo (Stati Uniti, Canada, Giappone, Repubblica Federale Tedesca, Inghilterra). Particolare attenzione è rivolta a mettere in luce l'importanza che viene attribuita nei diversi paesi ai vari fattori che concorrono a determinare l'idoneità o la non idoneità di un particolare sito per un dato reattore, quali le caratteristiche naturali, ecologiche, socioeconomiche, etc. Restringendo il discorso all'Italia, si cerca di analizzare criticamente i punti più deboli della procedura di approvazione del sito di un reattore. Viene inoltre sottolineata l'importanza di una programmazione, a livello nazionale e regionale, dei siti nucleari, da inquadrarsi in una programmazione generale dell'ubicazione delle fonti di energia. Si discutono infine le possibili estensioni della metodologia nucleare al campo dell'industria convenzionale.

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'  
Laboratori di Fisica

ISS 71/16

U. AMALDI, Jr., G. CAMPOS VENUTI, S. FRULLANI, L. MAIANI and E. TABET -  
Siting Criteria for Nuclear Plants. (July 18, 1971)

In this report we illustrate and discuss the licensing procedure for nuclear reactor sites adopted in Italy and in various foreign countries. The relative importance given in each different country to the various aspects which determine the quality of a particular site, such as physical, geophysical, ecological and sociological characteristics is brought into focus. Restricting the attention to Italy, we try to analyze critically the possible faults of the procedure here followed. The importance of long-range programming for nuclear as well as for fossil fueled power plants, both at a national and a regional level, is pointed out. Finally we discuss possible extensions of nuclear methods for site analysis to conventional plants.

U. AMALDI, Jr. , G. CAMPOS VENUTI, S. FRULLANI,  
L. MAIANI ed E. TABET

Criteri di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari<sup>(\*)</sup>

## 1. Introduzione

Agli occhi dell'opinione pubblica l'impiego dell'energia nucleare a scopi pacifici è stato associato ai terribili eventi bellici distruttivi con i quali questa nuova forma di energia si è inizialmente presentata. Principalmente per questo motivo, prima negli Stati Uniti e poi negli altri paesi, l'industria nucleare pacifica ha dovuto distinguersi dalle industrie convenzionali per la particolare attenzione posta ai problemi di sicurezza degli impianti e alla riduzione dei rischi connessi con l'esercizio di questa nuova attività.

E' opportuno ricordare che, recentemente, da alcune parti è stata messa in dubbio l'efficacia dei metodi adottati per il raggiungi-

---

(\*) Relazione presentata al Convegno organizzato dalla FAST sugli "Aspetti comuni degli inquinamenti convenzionale e radioattivo". Milano, 24-26 giugno 1971.

mento di questi scopi. Non vogliamo qui entrare nei termini di questo dibattito. E' importante tuttavia sottolineare il fatto che l'azione svolta dall'industria nucleare in queste direzioni è stata facilitata da almeno tre circostanze, le quali non si verificano per gli impianti convenzionali; ciò può limitare l'applicazione al campo convenzionale di criteri simili a quelli sviluppati per l'industria nucleare. Elenchiamo brevemente queste tre circostanze. Innanzitutto, lo sviluppo di una nuova attività permette una maggiore incisività degli interventi sia pubblici che privati. In secondo luogo, gli impianti nucleari appartengono a poche classi omogenee. Infine, i fattori economici possono giocare un ruolo completamente diverso nella fase di crescita di una industria recente e largamente incentivata e nello sviluppo di industrie che hanno oramai una propria caratterizzazione socio-economica.

Queste tre circostanze sono state citate senza pretesa di approfondimento; comunque sul problema del trasferimento dei metodi di scelta dei siti nucleari all'industria convenzionale si tornerà al termine della relazione.

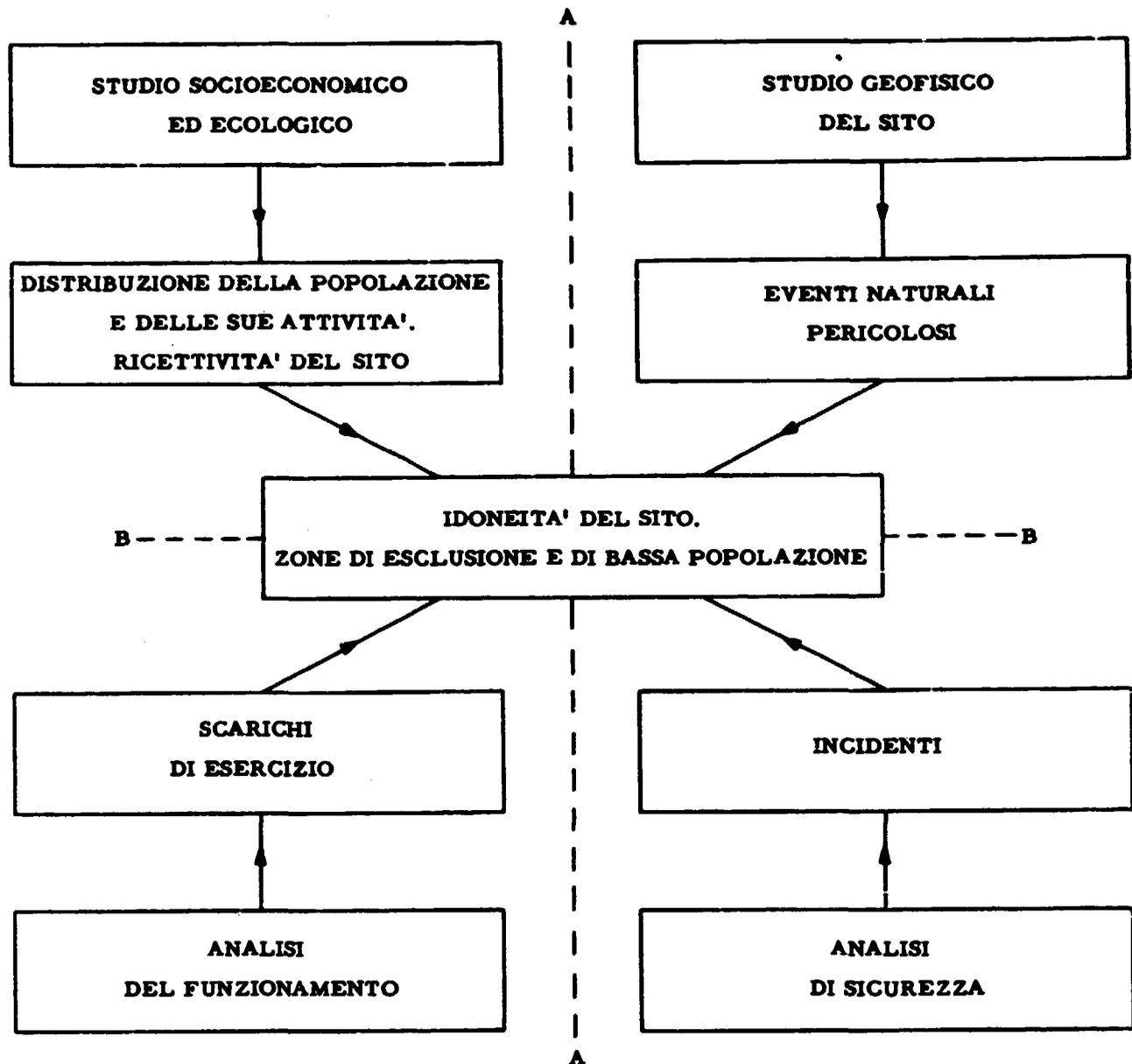
In Italia, e negli altri paesi occidentali, lo strumento principale impiegato per l'analisi dei problemi di sicurezza e di protezione posti dall'installazione di un nuovo impianto nucleare è il cosiddetto "rapporto di sicurezza". E' questo un documento, steso dall'esercente, che cresce con l'impianto e che quindi passa dalla forma di un rapporto "preliminare" di sicurezza, all'atto della richiesta di autorizzazione a costruire l'impianto, alla forma di un rapporto "finale", allorché l'esercente, eseguite le prove, richiede la licenza di

esercizio. Naturalmente le procedure cambiano da paese a paese ma, volendo schematizzare la natura del rapporto di sicurezza allo scopo di confrontare l'uso fattone nei vari paesi ai fini della scelta dell'ubicazione degli impianti, sembra ragionevole individuare nel rapporto stesso quattro parti principali, il contenuto delle quali è riassunto nella figura.

Lo studio socio-economico ed ecologico del territorio che circonda il sito prescelto permette di acquisire informazioni sulla distribuzione della popolazione nell'intorno dell'impianto e sulla natura ed estensione degli allevamenti, delle culture e dell'attività industriale, anche al fine di determinare la "ricettività" del sito. Nella terminologia usuale di coloro che si occupano di impianti nucleari, la "ricettività" è definita come le attività dei diversi radionuclidi che possono essere immesse dall'impianto nell'ambiente circostante senza che alcun gruppo di popolazione sia soggetto a esposizioni indebite e, più in generale, senza che sia perturbato l'equilibrio ecologico.

Lo studio geofisico che compare nel rapporto di sicurezza non è limitato alla raccolta dei dati necessari alla risoluzione dei problemi di ingegneria civile. Esso infatti si propone anche la definizione dei massimi eventi naturali (quali sismi, inondazioni, frane, ecc.), i quali potrebbero danneggiare l'impianto e causare un rilascio incontrollato di isotopi radioattivi. Di regola in questo studio non sono presi in considerazione gli eventi causati da circostanze non usuali, quali gli eventi bellici e il sabotaggio.

Dall'analisi dettagliata del funzionamento del futuro impianto, eventualmente corroborata da dati ricavati da impianti similari, si ricavano informazioni sugli scarichi radioattivi e non radioattivi che si avranno nel corso dell'esercizio. Queste informazioni si fanno



Schema generale di un rapporto di sicurezza con particolare riguardo alla scelta del sito.

sempre più dettagliate mano a mano che procede la progettazione, la costruzione e la prova dell'impianto. Perciò nella fase di approvazione dell'ubicazione dell'impianto, specie per impianti non provati, la valutazione degli scarichi d'esercizio può essere difficile e soggetta a notevole indeterminazione. Di ciò è necessario tener conto allorché queste informazioni sono utilizzate nel giudicare l'idoneità del sito.

L'analisi di sicurezza, infine, si propone di mettere in luce, con lo studio dei malfunzionamenti sia dei componenti che dei sistemi, le parti che sono più critiche ai fini di possibili conseguenze pericolose per il funzionamento dell'impianto e quindi per i lavoratori e la popolazione. Questa analisi ha lo scopo primario di ricavare informazioni che guidino il progettista nella ricerca delle soluzioni che offrono un grado di sicurezza adeguato e più uniforme possibile tra tutti i sistemi dell'impianto. Dall'analisi di sicurezza si ricavano però anche informazioni sui possibili incidenti e, talvolta, anche sulle loro probabilità relative.

Le quattro parti che, nella nostra schematizzazione, costituiscono la sostanza di un rapporto di sicurezza ideale e completo, possono essere suddivise in due classi. Al di sopra della linea BB della figura, infatti, si trovano argomenti che riguardano il sito, mentre al di sotto compaiono analisi che si riferiscono all'impianto che si vuole ubicare nel sito prescelto. Si può anche osservare che la linea AA separa argomenti che riguardano le condizioni "normali" sia del sito che dell'impianto (a sinistra) dalle possibili situazioni accidentali (a destra).

Naturalmente il rapporto di sicurezza è un documento complesso nel quale le argomentazioni si intrecciano e la presentazione che ne

è stata data ha i difetti di ogni schema che voglia abbracciare molte situazioni diverse; la figura sarà tuttavia utile nel confrontare le procedure adottate in vari paesi per giungere all'approvazione di un sito. Sottolineiamo ancora una volta che in questa relazione il rapporto di sicurezza è considerato soltanto dal punto di vista della scelta del sito. Lo stesso documento è però utilizzato per molti altri scopi; oltre alla già ricordata determinazione del grado di affidabilità dei componenti ai fini di una adeguata sicurezza dell'impianto, si possono citare l'imposizione da parte dell'autorità di una "formula di scarico" conforme alla ricettività del sito, la predisposizione di piani di emergenza interna ed esterna da utilizzare in caso di incidente, e così via. Sono questi, però, argomenti che esulano dal tema di questa relazione.

In quasi tutti i paesi è richiesto che le quattro parti del rapporto di sicurezza siano a uno stadio sufficiente di elaborazione all'atto dell'approvazione, da parte dell'autorità competenti, della scelta del sito fatta dall'esercente. Differisce però grandemente, nei diversi paesi, il peso che, in questa decisione, è assegnato agli argomenti e alle informazioni schematicamente riassunti nella figura. Nel prossimo paragrafo saranno presentati i criteri adottati per la scelta del sito in diversi paesi confrontandoli con lo schema generale della figura in modo da fare risaltare il peso dato, di volta in volta, alle informazioni contenute nelle quattro parti del rapporto di sicurezza; particolare attenzione sarà, naturalmente, rivolta alle procedure italiane.

Nel terzo paragrafo si trarranno conclusioni e saranno fatte alcune proposte circa i metodi di scelta dei siti degli impianti nucleari in Italia e, infine, nel quarto paragrafo si tratteranno alcune linee

di possibile estensione delle metodologie usate per gli impianti nucleari alla scelta dell'ubicazione di impianti convenzionali.

Prima di entrare in argomento, è opportuno ricordare alcuni concetti fondamentali delle tecniche di protezione dagli effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti. La grandezza fisica che misura l'effetto di un campo di radiazione qualunque sugli esseri viventi, e in particolare sull'uomo, è la "dose equivalente", la cui unità di misura è il rem. La International Commission on Radiological Protection (ICRP) ha suggerito, e praticamente tutte le legislazioni nazionali hanno accettato, 5 rem all'anno come dose massima ammissibile per i lavoratori professionalmente esposti ai rischi delle radiazioni ionizzanti. Per i singoli individui della popolazione la dose massima è un decimo di quella ora citata per lavoratori professionalmente esposti, vale cioè 0,5 rem all'anno. Tuttavia, qualora tutta la popolazione fosse esposta a una dose equivalente di 0,5 rem all'anno, gli effetti genetici dannosi per le progenie future non sarebbero affatto trascurabili. Per questo motivo la legislazione italiana, d'accordo con le raccomandazioni della ICRP, stabilisce una dose limite geneticamente "significativa", la quale corrisponde a una dose equivalente di 0,17 rem all'anno mediata su tutti gli individui della popolazione.

Nel considerare i valori di queste dosi, è necessario sottolineare il fatto che si tratta di dosi massime accettabili soltanto quando la loro somministrazione sia conseguenza di una attività nucleare che porti un effettivo beneficio o all'individuo o alla comunità e che, comunque, tutti i mezzi della tecnologia devono essere impiegati per la riduzione al minimo delle dosi. Per completezza inoltre è necessario ricor

dare che recentemente sono state rivolte critiche ai valori numerici delle dosi massime ammissibili raccomandate dall'ICRP, perché considerate non sufficientemente cautelative<sup>(1)</sup>.

I numeri citati riguardano dosi da irradiazione sia esterna che interna uniformi su tutto il corpo, oppure irradiazione degli organi critici che sono essenzialmente i tessuti ematopoietici e le gonadi. Essi non si riferiscono invece a condizioni accidentali non volute. Nel caso, infatti, di avvenimenti estremamente rari e molto improbabili le autorità competenti sono disposte ad accettare che le dosi individuali siano anche sensibilmente maggiori delle dosi massime annuali<sup>(2)</sup>.

Nel caso di irradiazione accidentale di una popolazione, è necessario prendere in esame anche il prodotto della dose media individuale per il numero di individui interessati. Le dosi integrate sulla popolazione sono considerate gravi dalle autorità italiane competenti allorché esse superano i  $2 \times 10^7$  rem x uomo<sup>(2)</sup>.

## 2. Criteri di scelta dei siti nucleari in alcuni paesi

L'esame comparativo tra le procedure adottate in diversi paesi è preliminare alla discussione della situazione italiana e quindi all'esame dei passi che sarà opportuno muovere in futuro. Purtroppo in questo campo la raccolta di informazioni è piuttosto difficile per-

che, molto spesso, mentre le procedure formali di approvazione dei siti nucleari sono stabilite per legge, i criteri adottati dalle autorità competenti non sono raccolte in alcun documento e possono essere ricavate soltanto per via induttiva dall'esame dei rapporti di sicurezza o di riassunti di questi documenti relativi a impianti che sono stati approvati. Ciò giustifica la mancanza di informazioni relative ad alcune nazioni a elevato sviluppo nucleare e anche il fatto che, in alcuni casi, le fonti bibliografiche si arrestano agli anni '68-69. Nonostante questi limiti, si è ritenuto utile una ricerca e un confronto fra le diverse soluzioni adottate. Sottolineiamo il fatto che nel seguito si farà essenzialmente riferimento alla scelta dei siti dei reattori nucleari di potenza per la produzione di energia elettrica; sono infatti questi gli impianti più numerosi e per i quali sono state quindi elaborate metodologie più definite.

Negli Stati Uniti l'Atomic Energy Commission (AEC) svolge funzioni sia di stimolo e di ricerca nel campo dell'energia nucleare che di controllo per ciò che riguarda la sicurezza nucleare e la protezione sanitaria; su questa duplice funzione è in corso un dibattito e da molte parti si auspica che i due compiti siano affidati a due Agenzie federali diverse<sup>(3)</sup>.

L'AEC ha un regolamento molto dettagliato che riguarda le informazioni richieste all' esercente di un impianto nucleare sia in fase di approvazione del sito che nel prosieguo delle procedure di costruzione e concessione di licenza per l'impianto stesso.

Con riferimento alla figura si può dire che, mentre nel rapporto preliminare di sicurezza sono richiesti dati socio-economici sulla zona circostante l'impianto, lo studio ecologico era sino a qualche

tempo fa rimandato ad una fase successiva, e cioè alla stesura del rap-  
porto finale di sicurezza<sup>(4)</sup>. Va notato tuttavia che da numerose fon-  
ti ufficiali si deduce che l'atteggiamento verso questi problemi è in  
rapida evoluzione, e sempre più si va affermando l'esigenza di ri-  
chiedere approfonditi studi ecologici prima dell'approvazione del  
sito<sup>(5)</sup>.

Il rapporto preliminare di sicurezza deve contenere informazio-  
ni sulle caratteristiche fisiche del sito, sulla sismologia, metereo-  
logia, geologia e idrologia.

Per ciò che riguarda la sismicità sono presi in esame due ter-  
remoti di progetto: il "terremoto base di esercizio" (operating basis  
earthquake) e il "terremoto base di progetto" (design basis earth-  
quake)<sup>(6)</sup>. Nel terremoto base di esercizio l'accelerazione è assunta  
uguale a quella del peggiore terremoto registrato nella zona e le  
strutture devono essere tali da garantire che l'impianto continui a  
funzionare. Per il terremoto base di progetto si assume un'accele-  
razione circa doppia di quella del terremoto di esercizio; nell'even-  
tualità del verificarsi di questo evento i sistemi principali dell'im-  
pianto non devono subire danni rilevanti.

Il problema dei terremoti è attualmente molto dibattuto negli  
Stati Uniti con ricerca di soluzioni nelle più diverse direzioni; si par-  
la per esempio dell'installazione di impianti su piattaforme galleg-  
gianti in mare<sup>(7)</sup>.

Per ciò che riguarda gli scarichi di esercizio, nella richiesta  
per l'autorizzazione alla costruzione va inclusa una descrizione de-  
gli apparati che saranno utilizzati per il controllo degli scarichi, una  
stima delle attività da scaricare sotto forma liquida e gassosa e un

progetto di allocazione dei rifiuti solidi. I limiti posti alle irradiazioni della popolazione causata dall'impianto sono i limiti dell'ICRP citati al termine dell'introduzione.

Nell'analisi del funzionamento e nell'analisi di sicurezza una parte importante è costituita dal programma di verifica della qualità degli elementi dell'impianto; per la determinazione di questo programma è stato steso dall'AEC un insieme di "criteri di verifica della qualità per impianti nucleari di potenza".

Negli Stati Uniti l'approvazione del sito e la determinazione delle aree "di esclusione" e "di bassa popolazione" segue dallo studio delle conseguenze dei rilasci associati con un "incidente base di progetto", che per i reattori ad acqua è un incidente nel quale si ipotizza, secondo le raccomandazioni dell'AEC, il rilascio nell'interno del contenitore del 25% dello iodio radioattivo contenuto nel combustibile; questo iodio è rilasciato all'esterno attraverso le fughe normali del contenitore<sup>(8)</sup>. Da molte parti è stato osservato che, dal punto di vista tecnico, è molto difficile immaginare come possa aversi la liberazione del 25% dello iodio se non come conseguenza della fusione massiccia del nocciolo, fusione che d'altra parte dà sicuramente luogo alla perdita del contenimento.

Sono stabiliti metodi standard come riferimento per il calcolo della diffusione atmosferica e quindi delle dosi. In base all'entità del rilascio è possibile esprimere un giudizio su un sito e determinare l'area di esclusione e la zona di bassa popolazione. L'area di esclusione è definita come quell'area che ha centro nell'impianto e ha un raggio tale che un individuo posto in qualsiasi punto del confine riceve in due ore dall'inizio dell'incidente una dose equivalente a tutto il corpo di 25 rem e una dose alla tiroide (dovuta agli isotopi radio-

attivi dello iodio) di 300 rem. Di regola nell'area di esclusione non vi devono essere abitanti; coloro che eventualmente vi vivessero devono poter essere trasferiti dall'autorità in breve tempo e senza difficoltà.

Nella zona di bassa popolazione devono vivere abbastanza pochi individui da rendere possibile contromisure in caso di incidente. Il raggio esterno di questa zona è tale che un individuo posto sul confine esterno riceva, durante tutto l'incidente, non più di 25 rem a tutto il corpo e non più di 300 rem alla tiroide.

Si osservi che una dose di 300 rem alla tiroide è molto grande rispetto alle dosi massime ammissibili annuali per individui della popolazione, tenuto anche conto del fatto che esso corrisponde a dosi alla tiroide dei bambini che sono dell'ordine di 1000-1500 rem.

Il raggio della zona di bassa popolazione determina anche la minima distanza di un reattore da un centro abitato (con popolazione maggiore di 25.000 abitanti). Tale distanza minima è fissata a 1.33 volte il raggio esterno della zona di bassa popolazione.

In Giappone l'Advisory Committee on Reactor Safeguards giudica la proposta di sito di un reattore nucleare con criteri simili a quelli americani, a parte ciò che riguarda la scelta degli incidenti e i problemi sismici. Infatti la determinazione dei raggi dell'area di esclusione e della zona di bassa popolazione sono legati a due incidenti diversi che sono detti, rispettivamente, "più grave incidente prevedibile" e "incidente ipotetico"<sup>(9)</sup>. Il più grave incidente prevedibile è un incidente che può essere considerato credibile da un punto di vista tecnico, prendendo in considerazione, nelle peggiori ipotesi, i fenomeni naturali nei dintorni del sito, le caratteristiche del

reattore, le salvaguardie tecniche, ecc. Di solito si fa l'ipotesi che questo incidente porti alla fusione di una piccola frazione (1% circa) del nocciolo del reattore. L'estensione dell'area di esclusione deve essere tale che, nel corso di questo incidente, le dosi sul confine dell'area non superino i 25 rem al corpo intero e i 150 rem alla tiroide dei bambini.

L'incidente ipotetico è un incidente considerato inverosimile dal punto di vista tecnico e corrisponde all'incidente base di progetto americano, in quanto si assume che esso dia luogo alla liberazione di una rilevante frazione dello iodio ma che il contenitore perda a un tasso normale. Come negli Stati Uniti, l'estensione della zona a bassa densità di popolazione deve essere tale che gli individui adulti al limite dell'area non ricevano una dose superiore a 25 rem al corpo intero e a 300 rem alla tiroide nel corso di tutto l'incidente.

A differenza di quanto avviene negli Stati Uniti, la minima distanza dai centri abitati è determinata dagli effetti genetici che potrebbero essere causati dall'irradiazione della popolazione; è infatti richiesto che tale distanza deve garantire, in caso di incidente ipotetico, una dose collettiva alla popolazione non superiore a quella accettabile da un punto di vista genetico, che dalle autorità giapponesi è considerata essere uguale a  $2 \times 10^6$  rem x uomo.

Per ciò che riguarda gli scarichi continui, la massima concentrazione di attività, mediata su tre mesi, negli effluenti liquidi e gassosi deve essere non superiore a un decimo delle concentrazioni massime consentite per lavoratori professionalmente esposti, ricavate dalle norme ICRP <sup>(9bis)</sup>.

Sottolineiamo il fatto che in Giappone si sono incontrate serie resistenze nell'opinione pubblica allo sviluppo dell'industria nu-

cleare come conseguenza dei gravissimi danni subiti dalla popolazione in seguito al lancio delle bombe su Nagasaki e Hirrhoshima. Di queste resistenze le autorità competenti debbono tener conto nella scelta dei siti nucleari.

L'accento posto in queste prescrizioni sulla natura del sito è legato alla particolare natura geologica del Giappone<sup>(10)</sup>. La storia sismica del paese è particolarmente ben conosciuta: si hanno infatti dati abbastanza dettagliati sui terremoti che hanno causato danni negli ultimi 1300 anni. La scelta dei siti è quindi basata su una conoscenza approfondita della sismicità della zona. Per gli edifici e le strutture ordinarie esistono in Giappone leggi che specificano i valori da assumere per le accelerazioni nelle diverse zone e le tecniche da impiegare. Le strutture e gli edifici degli impianti nucleari sono suddivise in tre classi a seconda del rischio insito in un loro danneggiamento; ad esempio il contenitore è di classe A, i depositi dei rifiuti radioattivi sono di classe B mentre gli uffici sono di classe C. Per la classe C si usano le regole per le costruzioni antisismiche convenzionali; per la classe B si usano i valori di accelerazioni aumentati di un fattore 1,5 rispetto alle accelerazioni impiegate per la classe C. Per la classe A, oltre ad usare il convenzionale metodo statico di progettazione antisismica (benché con valori di accelerazione aumentati di circa un fattore 3 rispetto a quelli usati per la classe C) si prendono in considerazione anche le accelerazioni verticali e si tende a introdurre un dettagliato studio dinamico delle strutture<sup>(11)</sup>.

Nella Repubblica Federale Tedesca le autorità regionali concedono la licenza di esercizio di un impianto nucleare su parere della Commissione federale di sicurezza dei reattori la quale, nell'esaminare i rapporti di sicurezza, si serve di enti di consulenza privati,

le "Associazioni di Supervisione Tecnica", sia a livello federale che regionale<sup>(12)</sup>.

Mentre esiste una regolamentazione precisa per gli scarichi di esercizio mancano disposizioni codificate per quanto concerne gli incidenti. E' stabilito che gli effluenti liquidi o gassosi possono essere scaricati nelle acque pubbliche (canali e fiumi) o nell'aria soltanto se la concentrazione media giornaliera di attività non supera limiti tali che, se una persona bevesse i liquidi o respirasse gli scarichi aereiformi nelle quantità che le sono normalmente necessarie, riceverebbe la dose annua massima consentita per lavoratori professionalmente esposti<sup>(13)</sup>.

Se l'utente dimostra che potrà mantenere gli scarichi entro tali limiti la licenza in pratica non può essere negata anche se non è fornita alcuna informazione sull'ambiente. Se, invece, per ragioni tecniche o economiche è necessario scaricare in concentrazioni maggiori, l'esercente deve dimostrare, in base a studi e rilevamenti ecologici, idrologici, meteorologici e all'esame della distribuzione della popolazione, che le persone al di fuori dell'area controllata non possono ricevere comunque una dose maggiore di 0,5 rem all'anno. Se l'esercente vuole evitare di dover predisporre ed attrezzare una zona sorvegliata intorno all'area di esclusione la dose individuale deve essere inferiore alla dose limite geneticamente significativa, che è presa uguale a 0,15 rem all'anno<sup>(14)</sup>. Le autorità stanno considerando l'opportunità di riservare 2/5 di questa dose all'irradiazione dovuta all'industria nucleare e più in particolare di permettere una dose limite di 0,03 rem l'anno da effluenti gassosi e di 0,02 rem l'anno da ingestione di acqua e di cibo<sup>(14)</sup>.

Per quel che riguarda gli incidenti si può dire che, pur mancan-

do una regolamentazione precisa, le considerazioni che si fanno ricalcano il modello americano. Le dosi consentite per gli individui all'esterno della zona di esclusione in caso di rilascio accidentale sono anche qui 25 rem al corpo intero a 300 rem alla tiroide. Nelle altre valutazioni che l'analisi di sicurezza comporta, di solito l'autorità tende ad essere più liberale nei confronti dell'utente di quanto non lo sia l'autorità americana<sup>(15)</sup>. Sembra, inoltre, che sia ormai stata decisa la costruzione sistematica di impianti vicino alle città, giudicandosi non necessario accumulare ulteriori esperienze<sup>(14-15)</sup>.

In Canada<sup>(16)</sup>, diversamente da ciò che accade negli Stati Uniti, l'organismo federale che concede le autorizzazioni alla costruzione e all'esercizio degli impianti è separato dall'Atomic Energy of Canada Limited, che promuove lo sviluppo dell'energia nucleare. I criteri adottati dall'Atomic Energy Control Board per ciò che riguarda lo studio socio-economico e geofisico del sito sono simili a quelli americani. Ne differiscono invece per la richiesta di uno studio abbastanza approfondito dell'ecologia del luogo con lo scopo di stabilire le dosi ricevute dalla popolazione. E' stabilito infatti che per il calcolo delle dosi alla popolazione nel corso dell'esercizio si deve tener conto anche dell'eventuale riconcentrazione attraverso la catena alimentare. Oltre al limite individuale di dose di

0,5 rem all'anno all'intero organismo e di 3 rem all'anno alla tiroide dei bambini, è stabilito un limite annuale di  $10^4$  rem x uomo per la dose collettiva alla popolazione.

Per ciò che riguarda gli eventi naturali pericolosi non si hanno informazioni sull'esistenza di criteri precisi; è però noto che in diversi casi le strutture di contenimento sono state progettate per una accelerazione orizzontale pari a un decimo dell'accelerazione di gravità.

Lo studio degli incidenti è basato sulla suddivisione dei sistemi dell'impianto in tre classi: a) sistemi di processo; b) sistemi di protezione; c) sistemi di contenimento. E' definito "guasto pericoloso" un guasto a un sistema di processo il quale, in assenza dei sistemi di protezione e di contenimento, potrebbe causare un danno alla popolazione. Incidenti di questo tipo non devono avvenire con frequenza media maggiore di uno ogni tre anni. Si dice "incidente di progetto" un incidente nel quale un guasto ai sistemi di processo coincide con un malfunzionamento o un guasto o ai sistemi di protezione o ai sistemi di contenimento. L'incidente di progetto determina l'area della zona di esclusione: al limite di questa zona le dosi devono essere inferiori a 25 rem al corpo intero e 250 rem alla tiroide dei bambini e la dose collettiva deve essere minore di  $10^6$  rem x uomo.

Per il malfunzionamento e i guasti ai sistemi di protezione e di contenimento, diversamente da quanto stabilito nei paesi sinora esaminati, l'Atomic Energy Control Board impone un limite di "non affidabilità". Definendo "non affidabilità" la frazione di tempo durante il quale una certa apparecchiatura non funziona come dovrebbe, si stabilisce infatti che la non affidabilità dei sistemi di protezione e di contenimento non deve superare, per ciascuno, lo 0,3%. L'analisi

del funzionamento e l'analisi di sicurezza devono pertanto dimostrare che questi limiti non sono superati.

Si osservi che l'introduzione di questo criterio probabilistico permette di valutare quale è la probabilità di un incidente nucleare che le autorità pubbliche sono disposte ad accettare come rischio, tenuto conto dei vantaggi che derivano alla comunità dall'impiego pacifico dell'energia nucleare. La probabilità dell'incidente canadese risulta così essere circa  $10^{-3}$  incidenti/reattore anno. In media, quindi, ogni mille anni le autorità canadesi sono disposte ad accettare, per ogni reattore installato nel proprio territorio, un incidente che comporti una dose collettiva di  $10^6$  rem x uomo.

I criteri adottati in Gran Bretagna nel 1962 sono sostanzialmente diversi da quelli sinora descritti. Essi portano a una classificazione dei siti indipendente dal tipo di reattore nucleare che deve esservi installato. Questa procedura è giustificata dalla convinzione che la definizione di un incidente è soggetta a una grande arbitrarietà e che tutti i reattori ben costruiti sono sostanzialmente equivalenti dal punto di vista della sicurezza. Questo secondo fatto è tanto più vero quando si considerano reattori di una stessa "famiglia" e di una stessa "generazione", come è accaduto e accade in Gran Bretagna ove sono stati sviluppati essenzialmente i reattori raffreddati a gas.

Per classificare i siti si fa uso di un "indice di merito relativo" che è calcolato pesando, con una opportuna funzione della distanza dal reattore, la densità di popolazione nel settore di  $30^\circ$  più sfavorevole<sup>(17)</sup>. La funzione peso è proporzionale al quadrato della concentrazione atmosferica dello iodio valutata in seguito a un rilascio

standard di 1 curie e con condizioni metereologiche sfavorevoli alla diluizione. Un sito può essere anche caratterizzato assegnando il valore di quella densità di popolazione (densità equivalente) che, supposta costante, produrrebbe lo stesso indice di merito corrispondente alla densità di popolazione reale. I siti sono classificati in quattro classi corrispondenti a densità equivalenti di popolazione pari al 6%, 12%, 25% e 50% della popolazione media urbana (circa 10.000 abitanti per km<sup>2</sup>).

Complementare alla classificazione dei siti è la decisione che riguarda quale tipo di reattore può venire installato in siti appartenenti ad una data classe. Nella metodologia inglese questa decisione, sulla quale influiscono anche valutazioni politiche ed economiche, è soggetta a una evoluzione nel tempo legata al miglioramento delle tecnologie e al crescere della richiesta di produzione d'energia. Nei siti di classe I sono stati installati i reattori raffreddati a gas della prima generazione, praticamente esaurendo tutti i siti di questa classe. Nel 1967-68 è stata annunciata dal Minister of Power la decisione di considerare generalmente accettabili siti di classe II per reattori avanzati raffreddati a gas (AGR) con recipienti a pressione sia in acciaio sia in cemento pre-compresso. Questa decisione, oltre che giustificata dalla maggiore sicurezza di funzionamento di questa seconda generazione di reattori, è stata anche motivata dalla necessità di costruire nuovi reattori e dalla difficoltà di reperimento di nuovi siti, tenuto conto della elevata densità di popolazione<sup>(18)</sup> e dei vincoli paesaggistici che vigono sul 40% circa del territorio<sup>(19)</sup>. Tuttavia è stato esplicitamente dichiarato che non è considerato ancora possibile l'installazione di centrali nucleari di potenza a meno di due miglia da un centro urbano.

Oltre ai criteri generali ora esposti, prima dell'approvazione del sito sono presi in considerazione anche la posizione rispetto all'impianto di scuole, ospedali, ecc., la variazione della popolazione durante l'anno (specialmente nelle regioni turistiche) e la meteorologia. All'atto dell'approvazione del sito vengono definite tre aree (di circa 1, 2 e 5 miglia di raggio) all'interno delle quali la popolazione è soggetta a controllo, nel senso che ogni variazione di rispettivamente, 1, 50 e 500 persone viene notificata dal Minister of Housing and Local Government al Minister of Power.

I criteri per la scelta del sito sopraesposti, tuttavia, si prestano a numerose critiche, che sarebbe qui troppo lungo elencare<sup>(18)</sup>. In tempi più recenti Farmer<sup>(20)</sup> ed altri hanno tentato di impostare e risolvere la questione in termini probabilistici. Il punto di partenza del metodo probabilistico per determinare il rischio connesso con la presenza di un reattore nucleare in un certo sito è il seguente. Conoscendo l'affidabilità di ogni componente di un reattore (e cioè la probabilità di un certo malfunzionamento, per ogni componente e per ogni tipo di malfunzionamento) ed inoltre conoscendo il comportamento del sistema in condizioni sia normali che anormali, è possibile costruire sulla carta un certo numero (infinito) di "incidenti", ossia di sequenze di malfunzionamento che conducono ad un rilascio di radioattività all'esterno del reattore. Ad ogni incidente si possono associare due numeri:

1) la probabilità  $p$  (per reattore per anno) associata all'incidente ;

2) l'attività rilasciata  $A$  (in curie).

Ogni incidente sarà quindi rappresentato, in un piano  $(p, A)$ , da un punto, e la distribuzione di questi punti al variare dell'incidente dà una

idea quantitativa del comportamento del reattore in questione nei confronti dei rilasci di radioattività. In particolare un reattore "sicuro" presenterà un addensamento dei punti in zone con  $p$  elevato e  $A$  piccolo, ovvero in zone con  $A$  grande e  $p$  piccolo, ma non in zone con  $p$  e  $A$  entrambi grandi.

Come già detto, questo metodo ha il vantaggio, su metodi tipo incidente di riferimento, incidente di progetto etc., di una chiara impostazione di principio, e di essere già stato applicato (in forme analoghe) in altri campi con ottimo successo (metodo di Montecarlo). Resta però ferma l'obiezione se al momento attuale l'esperienza accumulata, sia nell'industria convenzionale che in quella nucleare, permetta di avere delle stime sufficientemente precise dell'affidabilità dei componenti, e di poter estrarre dalle infinite possibilità di incidente un numero finito di sequenze rappresentative, tali cioè da dare una "fotografia" sufficientemente accurata del comportamento del reattore.

Su questo punto vivaci polemiche sono in corso e non si è ancora raggiunto, a quanto ci consta, un soddisfacente consenso. Va notato che questo metodo, applicato ai reattori AGR<sup>(20)</sup>, dà dei rischi per la popolazione estremamente bassi, tendenti a mostrare, se accettati, la possibilità di mettere reattori nucleari in aree anche densamente popolate.

La legislazione italiana per l'approvazione del sito di un nuovo impianto nucleare prevede una istruttoria condotta dal Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, organo tecnico del Ministero per l'Industria e Commercio, il quale prepara un rapporto sulla base della documentazione presentata dal proponente il sito. Su questo rapporto del CNEN si esprimono, in un termine di tempo di 60 giorni, le diverse Amministrazioni interessate e in particolare i Ministeri dell'interno, del lavoro e della previdenza sociale e della sanità. Questa documentazione è successivamente presentata dal CNEN alla Commissione tecnica per la sicurezza nucleare e la protezione sanitaria dalle radiazioni ionizzanti, la quale è un organo consultivo del CNEN stesso ove siedono rappresentanti di tutte le amministrazioni interessate agli impianti nucleari. Il Ministero dell'industria approva il sito e concede l'autorizzazione alla costruzione su parere del CNEN, il quale deve aver sentito la Commissione tecnica.<sup>(21)</sup>

I primi impianti nucleari di una certa rilevanza che seguono la procedura delineata stanno giungendo in Commissione tecnica in questi mesi, pur essendo il DPR 185 che stabilisce la procedura dell'approvazione degli impianti del febbraio 1964. In questi anni numerosi impianti sono stati approvati con una applicazione estensiva delle norme transitorie del DPR 185. Non è possibile pertanto parlare di esperienza fatta in Italia dagli organismi citati secondo la procedura vigente per l'approvazione dei siti: anche per questo motivo non esiste una normativa italiana in questo campo. Il CNEN ha tuttavia predisposto un documento di guida alla stesura della documentazione richiesta per l'approvazione del sito.<sup>(22)</sup>

La Commissione tecnica del CNEN ha lavorato in questi anni

a tutti gli altri problemi che riguardano la vita di un impianto, quali la stesura delle prescrizioni tecniche di funzionamento, la predisposizione di formule di scarico e la stesura dei presupposti del piano di emergenza esterno. Le questioni connesse con le caratteristiche dei siti sono state spesso discusse in relazione a questi problemi, ed è quindi possibile delineare almeno quale è la linea generale seguita dalle competenti autorità.

E' in generale richiesto uno studio socio-economico della zona circostante l'impianto piuttosto dettagliato e aggiornato. In particolare le autorità sanitarie insistono sulla necessità che, nel rapporto preliminare di sicurezza, trovino posto abbondanti informazioni sulla destinazione del territorio circostante e sui suoi prevedibili sviluppi futuri. Per quanto lo studio ecologico sia senz'altro da considerare un elemento essenziale per un'analisi approfondita di un sito, i proponenti l'impianto tendono a rinviarlo a una fase successiva, anche perché la raccolta di dati richiede un intervallo di tempo piuttosto lungo.

Per ciò che riguarda la sismicità sono richieste informazioni più o meno approfondite a seconda della storia sismica e delle caratteristiche del sito. Il problema della determinazione di criteri generali di progettazione antisismica degli impianti nucleari è attualmente allo studio da parte degli organi che si interessano di sicurezza.

L'analisi di funzionamento e l'analisi di sicurezza erano inizialmente di matrice americana, con alcune sensibili differenze, ma attualmente sono in fase di evoluzione. Innanzitutto si tende a dare una notevole importanza, nello studio degli effetti degli scarichi di esercizio, alle vie critiche di irraggiamento per la popolazio-

ne, supplendo eventualmente alle informazioni ecologiche che a questo stadio mancano con ipotesi cautelative. In secondo luogo per la scelta del sito non si considera un "incidente base di progetto" di tipo americano, ma piuttosto un incidente di riferimento che è basato sulle caratteristiche dell'impianto; per la scelta di questo incidente non esistono tuttavia criteri generali uniformi. Per quanto riguarda le dosi, non sono accettati al di fuori dell'area di proprietà del futuro esercente valori così elevati quali quelli che sono accettati in altri paesi. Questa scelta è dovuta al fatto che le autorità che si occupano di protezione dalle radiazioni non ritengono ragionevole compensare la trascurabile (ma non quantificata) probabilità di un incidente con l'accettazione di dosi estremamente onerose dal punto di vista protezionistico, qualora fossero effettivamente somministrate. Questo atteggiamento suggerisce una linea di sviluppo in direzione dell'approccio probabilistico canadese, o forse meglio, inglese, il quale però incontra moltissime difficoltà tecniche. A questo proposito è interessante citare che un nuovo approccio a questo problema è stato suggerito in seno alla Divisione Sicurezza del CNEN e applicato ad alcuni impianti di ricerca.

Infine c'è da osservare che sul problema dei vincoli urbanistici da imporre alle zone circostanti l'impianto nucleare non esiste ancora una politica ufficiale, pur concordando le autorità sanitarie e protezionistiche sulla necessità di impedire che al confine del sito di un impianto nucleare si sviluppino zone residenziali.

Torneremo su questo argomento, che riteniamo di fondamentale importanza per la scelta di un sito, nel prossimo paragrafo.

Volendo confrontare tra loro le metodologie impiegate nei diversi paesi, è necessario tener sempre presente che esse non sono avulse dalla realtà economica e sociale, ma anzi riflettono le caratteristiche tecniche dei principali impianti nucleari installati e da installare, il diverso grado di sviluppo industriale e i rapporti esistenti tra le principali componenti della realtà sociale. Ad esempio, il problema, che ovunque si pone, dell'installazione di impianti nucleari in prossimità di zone urbane è legato essenzialmente a motivi economici; negli Stati Uniti, per esempio, è stata sviluppata la cosiddetta "filosofia della compensazione delle salvaguardie" con lo scopo di compensare l'avvicinamento degli impianti ai centri abitati con un più elevato standard di sicurezza. Altrove, e in particolare in Inghilterra, oltre alle motivazioni di carattere economico gioca un ruolo determinante il rapido esaurimento dei siti lontani dai centri urbani.

Lo sviluppo delle metodologie è anche legato al tipo di impianti presenti in un paese. Questo giustifica parzialmente le diverse trattazioni usate negli USA, ove sono installati reattori di potenza raffreddati ad acqua, e in Gran Bretagna, che ha sviluppato essenzialmente i reattori raffreddati a gas. In Italia, ove purtroppo non esiste un'industria nucleare indipendente, si è cercato di individuare una metodologia applicabile ai diversi tipi di impianti. Sebbene questa metodologia non sia stata ancora compiutamente sviluppata, per ciò che riguarda l'impostazione generale del problema la situazione nel nostro paese può essere considerata favorevole.

### 3. Auspicabili linee di sviluppo dei criteri italiani per i siti nucleari

Mentre in Italia le procedure adottate per legge a livello nazionale per l'approvazione dei siti nucleari possono essere considerate in generale abbastanza soddisfacenti, specie se confrontate con quelle adottate per gli impianti convenzionali, sono senz'altro auspicabili chiarimenti e sviluppi dei criteri impiegati dalle competenti autorità; questi criteri naturalmente influenzano il modo con cui gli utenti affrontano e risolvono i singoli problemi.

In merito agli organi preposti al controllo dell'attività nucleare, attenta considerazione deve essere posta ai problemi connessi con la struttura del CNEN, che svolge contemporaneamente la duplice funzione di organo promotore dell'attività nucleare e, attraverso le sue Divisioni di Sicurezza Nucleare e Protezione Sanitaria, di organo di controllo. Sarebbe opportuno che su questo problema, anche in relazione all'eventuale approvazione della nuova legge sul CNEN, iniziasse un dibattito analogo a quello in corso negli Stati Uniti sull'AEC.

Per ciò che riguarda le metodologie adottate per l'esame dei siti, i principali inconvenienti che si sono manifestati riguardano:

1) la mancanza di criteri prestabiliti per giudicare la sufficienza delle informazioni socio-economiche e, in particolare, ecologiche presentate dall'utente;

2) l'assenza di criteri generali e, quindi, di disposizioni legislative che permettano l'attuazione di una corretta politica per la destinazione urbanistica delle zone attigue agli impianti;

3) la mancanza di una impostazione unica dei problemi degli

eventi naturali pericolosi, e in particolare della sismicità;

4) la mancanza di criteri generali di verifica della qualità dei componenti degli impianti nucleari, la cui esistenza rappresenterebbe una importantissima garanzia di sicurezza;

5) la mancanza di definizione dei criteri di scelta degli incidenti da assumere sia per l'approvazione del sito che per la successiva predisposizione del piano di emergenza.

Prima di illustrare questi cinque punti, sottolineiamo il fatto che il problema della programmazione a lungo termine dei siti nucleari, la cui necessità segue inevitabilmente dalle considerazioni sinora svolte, è, a nostro giudizio, non separabile dal problema più generale della programmazione degli insediamenti industriali, che sarà trattato nel prossimo paragrafo. Per il momento ci soffermeremo pertanto soltanto sui cinque punti sopraelencati, che riguardano in particolare gli impianti nucleari.

Con l'aumentare delle conoscenze sulle conseguenze dell'inquinamento ambientale sull'uomo e la sua specie, e del livello di consapevolezza dell'opinione pubblica, un accurato studio ecologico diviene sempre più condizione pregiudiziale all'approvazione dei siti. E' ben vero che, in linea di principio, è sempre possibile imporre successivamente all' esercente l'installazione di impianti di contenimento e di smaltimento tali da ridurre a livelli accettabili la conseguente contaminazione; in pratica questa possibilità è però condizionata dalle considerazioni economiche dell' esercente al quale, sovente, l'autorità non riesce a imporre soluzioni molto onerose anche perché esse trovano spesso la loro giustificazione in ragionamenti generalmente accettati ma anche difficilmente quantificabili. A questo pro-

posito si pensi alla posizione dell'ICRP e di tutti gli organi che si occupano di protezione dalle radiazioni ionizzanti, i quali considerano che le dosi massime ammissibili sono massimi accettabili soltanto in presenza di "benefici" (e ciò apre una difficile discussione su cosa si intende per "benefici"), ma che giustamente richiedono che tutte le dosi siano mantenute al livello più basso possibile. Avendo ridimensionato a livelli realistici la possibilità di imposizione successiva di limitazioni allo scarico, risulta evidente l'importanza di uno studio ecologico completo all'atto dell'approvazione del sito, il quale permetta di garantirsi dell'accettabilità dei previsti scarichi di esercizio. Si comprende che soddisfare questa richiesta implica alcune difficoltà, perché un accurato studio ecologico necessita di tempo, e d'altra parte non esistono in Italia conoscenze acquisite o studi programmati sistematici. Una parziale soluzione del problema potrebbe essere trovata in una stretta collaborazione con Università e con il Consiglio Nazionale delle Ricerche. Nello studio dell'effetto sull'ambiente della presenza di un impianto non dovrebbe essere dimenticato, nel caso di reattori di potenza, il problema della polluzione termica, che sarà certamente uno dei fattori limitanti in un prossimo futuro e che riguarda anche gli impianti convenzionali.

Passando al secondo punto, in Italia, come si è detto, le autorità sanitarie sono fermamente convinte della necessità di situare gli impianti nucleari in zone industriali confinanti con zone a bassa densità di popolazione. Questa esigenza è legata ai problemi posti sia dagli incidenti nucleari, che dagli scarichi di esercizio. Per ciò che riguarda i vincoli imposti da leggi esistenti, gli impianti nucleari non differiscono dagli impianti convenzionali, per i quali esistono i vinco-

li provenienti dalla disciplina urbanistica del territorio a livello comunale, le servitù militari, le servitù demaniali, le servitù idrogeologiche e le servitù ambientali. Per garantire l'istituzione di una zona a bassa densità di popolazione nell'intorno di un impianto nucleare si deve ricorrere ai vincoli posti dai piani regolatori e dai piani di fabbricazione, il che fa sorgere difficoltà non soltanto perché, come vedremo al punto 5, non esiste un criterio generale per determinare il raggio della zona a bassa densità, ma anche perché nel nostro paese i vincoli urbanistici non sono rispettati. Basti pensare a quanto è accaduto intorno al CSN della Casaccia dove, malgrado le numerose denunce effettuate sia dal CNEN che dalle autorità sanitarie, non è stato possibile evitare la proliferazione di casette di abitazioni e di scuole a pochi metri dal confine del Centro. Il problema delle zone di rispetto intorno agli impianti nucleari non è molto diverso dall'analogo problema per gli impianti convenzionali e troverebbe la sua soluzione nella programmazione dei siti di cui si parlerà nel prossimo paragrafo; sino a che la programmazione non diventerà operante è però perlomeno necessario che le autorità locali siano sensibilizzate al problema e che sistematicamente intorno ai nuovi impianti e, per quanto possibile, intorno ai vecchi, siano istituite zone non residenziali e che le autorità di controllo siano tenute informate, come accade in Gran Bretagna, delle variazioni di densità di popolazione che hanno luogo nel corso del tempo.

Il terzo punto sollevato riguarda la sismicità. Il CNEN ha iniziato studi sulla sismicità di diversi siti nucleari e sulla risposta delle strutture. E' necessario che in un lasso di tempo non troppo

lungo si giunga a stabilire criteri generali di progettazione delle diverse parti degli impianti legati all'analisi della sismicità del sito, per la quale è essenziale stabilire le informazioni minime richieste. Probabilmente si giungerà alla conclusione che le informazioni generalmente a disposizione in Italia non sono sufficienti e sarà necessario stimolare ulteriori studi. Nello svolgimento di questo programma può essere utile tener conto delle soluzioni adottate in Giappone.

Un efficace controllo di qualità dei componenti, quarto punto della nostra lista, deve essere considerato garanzia essenziale per la sicurezza degli impianti. Si tratta di un argomento molto vasto sul quale non possiamo, in questa sede, soffermarci, ma che deve impegnare gli utenti ad un deciso sforzo tecnico e organizzativo per garantire l'applicazione ai componenti e ai sistemi delle soluzioni più avanzate della tecnologia.

Il quinto e ultimo punto riguarda la scelta degli incidenti. La difficoltà insita nell'operare la scelta degli incidenti di riferimento non deve porre in ombra l'importanza della metodologia basata sullo studio degli incidenti, perché lo studio di una grande gamma di "piccoli" incidenti è essenziale all'analisi di sicurezza dei componenti e dei sistemi e porta un contributo fondamentale alla sicurezza complessiva dell'impianto. In Italia le autorità di controllo e, in particolare, il CNEN, hanno fatto sinora uso di un solo incidente grave, sia per valutare la scelta del sito che per la successiva predisposizione dei piani di emergenza. Si tratta di solito di un "incidente tecnico molto improbabile", di un incidente cioè nel quale la successione degli eventi è tecnicamente possibile, anche se le salvaguardie che sono supposte non funzionanti sono numerose e intrinse-

camente sicure. Non esistono tuttavia criteri scritti, eventualmente evolvibili con il tempo, che guidino l'esercente nella scelta dell'incidente; è questa una lacuna che sarebbe opportuno colmare, anche se il problema è estremamente difficile tenuto conto della diversità degli impianti italiani e, in particolare, delle differenze di concezione dei reattori di potenza installati. Il problema della scelta degli incidenti si lega anche alla questione della trattazione probabilistica degli incidenti stessi, direzione in cui, a nostro giudizio, è necessario muoversi, pur tenendo sempre ben presente la difficoltà di valutare la probabilità di malfunzionamento di sistemi molto complessi. La "via probabilistica" è infatti quasi obbligata allorché le dosi agli individui, che si ricavano dallo sviluppo di un certo incidente, devono essere confrontate con le dosi massime ammissibili oppure con i "livelli di dose" utilizzati per la pianificazione di misure di emergenza. Tutte queste dosi hanno infatti un significato probabilistico, nel senso che si può stimare l'ordine di grandezza del rischio che la loro somministrazione comporta. La trattazione complessiva del problema è quindi coerente, dal punto di vista del "rischio globale", soltanto se può essere valutata anche la probabilità che quel particolare incidente avvenga. Nell'imboccare la "via probabilistica" deve essere però chiaro che le autorità che si preoccupano di protezione delle popolazioni, che pur la auspicano, non sono attualmente disposte a portarla all'estreme conseguenze (quali potrebbero essere la possibilità di installare un grande impianto in area urbana) anche supponendo che il calcolo dimostri che la probabilità di accadere di un incidente grave è inferiore a, per esempio,  $10^{-5}$  anni<sup>-1</sup>. Infatti, accanto e al di là delle valutazioni probabilistiche, è compito delle autorità di controllo mantenere adeguati margini di sicurezza anche per condizioni che non sono, volutamente o meno, considerate tra le ipotesi di partenza.

#### 4. Conclusioni

L'analisi delle procedure e dei metodi adottati all'estero e in Italia per la scelta dei siti degli impianti nucleari porta alla conclusione che è necessario risolvere il problema su scala nazionale impostando una serie programmazione a lunga scadenza dei siti. D'altra parte gli impianti nucleari non differiscono sostanzialmente dagli impianti convenzionali, se non perché le procedure previste dalla legge per l'approvazione delle ubicazioni e per la licenza di esercizio, data molto più recente, sono, spesso, più vincolanti e più dettagliate. In particolare un reattore nucleare di potenza non può dirsi sostanzialmente diverso, dal punto di vista della necessità di una programmazione dei siti, da un impianto termoelettrico e un impianto di trattamento di combustibili irraggiati non è altro che un impianto chimico di tipo particolare. Non sembra quindi possibile evitare la conclusione che una programmazione dei soli siti nucleari sarebbe monca, e che il problema della scelta delle ubicazioni degli impianti nucleari debba essere risolto insieme a quello per gli impianti convenzionali nel quadro di una politica generale di programmazione dei siti. Si tratta evidentemente di un problema di vaste dimensioni, che però ammette un approccio pragmatico iniziando da una pianificazione delle ubicazioni degli impianti che producono energia elettrica. E' ben noto che l'Enel ha, negli ultimi tempi, incontrato gravi difficoltà nella scelta dell'ubicazione di diversi nuovi impianti. Una analisi a livello nazionale delle necessità e uno studio approfondito delle possibilità e delle difficoltà insite nella scelta delle diverse

ubicazioni permetterebbe una visione e una risoluzione globale del problema. Sappiamo bene che l'Enel ha un suo programma di sviluppo ricavato da analisi di questo tipo, ma la nostra proposta riguarda un modo diverso di programmare, che tenga conto delle richieste di energia elettrica e delle esigenze socioeconomiche e di sviluppo delle diverse zone, ma soprattutto ponga in primo piano il rispetto dell'individuo e dell'ambiente. Non è il caso di discutere qui quali soluzioni siano più idonee, ma pensiamo che debbano essere coinvolti sin dall'inizio sia organi centrali, quali ad esempio il CIPE, che organi periferici, come i Comitati Regionali per la Programmazione Economica. Soltanto così una ubicazione potrà essere giudicata sulla base di considerazioni globali che tengano sì conto delle esigenze locali ma a livello più allargato del semplice livello comunale.

A questo proposito è necessario sottolineare il fatto che questo problema è giunto proprio in questi mesi a maturazione nei paesi industrialmente più avanzati, come gli Stati Uniti<sup>(5, 23)</sup>.

Passiamo così alla seconda conclusione che sembra si possa ricavare dalla nostra analisi. La scelta del sito di un qualsiasi impianto industriale dovrebbe essere giudicata sulla base di un "rapporto tecnico" simile all'analisi di sicurezza preliminare degli impianti nucleari. In questo rapporto tecnico dovrebbero trovare posto tutti gli elementi che sono schematicamente illustrati nella figura 1. Naturalmente il peso da dare a ciascuna delle quattro parti è legato alla natura dell'impianto. Per gli impianti a basso indice di pericolosità gli argomenti a destra della linea AA dovrebbero essere meno approfonditi che non per gli impianti nei quali gli incidenti con conseguenze

dannose per i lavoratori e le popolazioni rappresentano un rischio non trascurabile.

Per ciò che riguarda le condizioni normali di funzionamento, che per la maggior parte degli impianti convenzionali devono avere un peso preponderante nel giudizio sull'ubicazione, sembra necessario cominciare ad introdurre sistematicamente il concetto di "ricettività del sito", che è impiegato con successo nel campo nucleare. Lo studio della ricettività "convenzionale" dovrebbe trovare ampio luogo nella stesura del rapporto tecnico preparato dall'esercente all'atto della richiesta dell'approvazione di un sito. Naturalmente diventa determinante il problema dell'addensamento in uno stesso territorio di diversi impianti industriali, problema che è molto meno grave per gli impianti nucleari data la loro relativamente bassa densità. Comunque è utile ricordare che, nel caso dell'addensamento degli impianti nucleari (centri nucleari) il problema è risolto dalle autorità imponendo una "formula limite di scarico" unica per tutto il centro; questa stessa soluzione potrebbe essere adottata per le zone industriali.

Queste osservazioni non hanno pretesa di completezza e necessitano certamente di ulteriori riflessioni ed approfondimenti. Tuttavia ci è parso utile esprimerle allo scopo di avviare un dialogo al quale, con questa relazione, speriamo di aver portato un contributo.

## Bibliografia

- 1) J.W. Gofmen e A.R. Tamplin, *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*, 17, n.1 (feb.1970)
- 2) "Relazione del gruppo di studio istituito dalla Commissione tecnica del CNEN sui livelli di dose da prendere in considerazione per la valutazione di gravi incidenti nucleari". CNEN, Prot. San. /21/66 (dic.1966)
- 3) M. Eisenbud, *Nucl. Safety*, 12, n.1, 1 (gen.-feb. 1971)
- 4) "Code of Federal Regulations", Part 100 e Part 50
- 5) "Considerations Affecting Steam Power Plant Site Selection". Report sponsored by the Energy Policy Staff, Office of Science and Technology, TID-24936 (1969)
- 6) "Nuclear Reactors and Earthquakes". U. S. AEC report TID-7024 (1963)
- 7) T.D. Anderson, *Nucl. Safety*, 12, n.1, 9 (gen.-feb. 1971)
- 8) "Safety Guides for Water-cooled Nuclear Power Plants". Division of reactor standards USAEC (feb.1970)
- 9) H. Osawa e Y. Togo, "Application of "A Guide to Reactor Site Evaluation" in Japan". Symposium on containment and siting of nuclear power plants (Vienna,1967), p.19
- 9 bis) T. Yoshioka, T. Itakura e T. Hashimoto, "Management of Effluents from JAPC's Nuclear Power Stations". Symposium on environmental aspects of nuclear power stations (New York,1970) p.439
- 10) T. Inonye, "Problems in Siting Nuclear Power Plants in Japan and Efforts to Solve Them". Symposium on containment and siting of nuclear power plants (Vienna,1967), p.35
- 11) K. Takeyama, "Earthquake Resistent Design for Nuclear Power Plants in Japan". Symposium on reactor safety and hazards evaluation techniques (Vienna,1962) p.179  
 "Report of Investigations on Earthquake Proof Designing of Atomic Power Station". Sub-Committee for Earthquake-proof Designing, Atomic Power Station Safety Standards Commission, Ministry of International Trade and Industry (April 1968)
- 12) G. Wiesenack, "The Activities of the German Technische Überwachungs-Vereine (Technical Supervision Associations) Relating to the Safety of Reactor Stations". Symposium on reactor safety and hazards evaluation techniques (Vienna,1962) vol.2, p.3

- 13) H.Bresser, C.Dick, K.-H.Lindackers e M.Tscherner, "Site Selection for Nuclear Power Plants".  
Symposium on containment and siting of nuclear power plants (Vienna,1967) p.753
- 14) F.Wachsmann e J.Schwibach, "Considerations for Siting Nuclear Power Plants in Areas with High  
Population Density in the Federal Republic of Germany". Symposium on environmental aspects  
of nuclear power stations (New York, 1970) p.791
- 15) W.K.Ergen, "German Practices with Respect to Reactor Siting". Nucl.Safety, 10, 377 (1969)
- 16) G.C.Laurence, "Reactor Siting Criteria and Practice in Canada". ANS Topical Meeting (Los  
Angeles, 1965)
- F.C.Boyd, "Containment and Siting Requirements in Canada". Symposium on containment and  
siting of nuclear power plants (Vienna,1967) p.67
- G.Hake, "The Relation of Reactor Design to Siting and Containment". Symposium on containment  
and siting of nuclear power plants (Vienna,1967) p.77
- G.Hake, "A Comparison of Canadian and U.S. Siting Policies", AECL-3156 (1968)
- 17) G.D.Bell, F.R.Charlesworth, "The Evaluation of Power-reactor Sites". Proc. IAEA Conf.  
(Bombay, 1963)
- F.R.Charlesworth, T.Griffiths, "Licensing and Inspection of Nuclear Installations in the United  
Kingdom". Proc. IAEA Conf. (Bombay, 1963)
- 18) F.R.Charlesworth, W.S.Gronow, "A Summary of Experience in the Practical Application of  
Siting Policy in the United Kingdom". Proc. IAEA Conf. (Vienna, 1967)
- 19) C.A.Adams, C.N.Stone, "Safety and Siting of Nuclear Power Stations in the United Kingdom".  
Proc. IAEA Conf. (Vienna, 1967)
- 20) F.R.Farmer, Nucl.Safety, 8, 539 (1967)
- J.R.Beakie, Nucl.Safety, 8, 573 (1967)
- 21) "Il regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare" vol.I: normativa nazionale,  
CNEN (sett. 1970)
- 22) "Guida per la raccolta delle informazioni necessarie per l'analisi e la valutazione del sito di un  
reattore nucleare", rapporto di un gruppo di lavoro, CNEN, Prot.San./06/69 Rev (feb. 1969).
- 23) "Electric Power and the Environment". Report sponsored by the Energy Policy Staff, Office of  
Science and Technology (agosto 1970).

Riassunto - Criteri di scelta dell'ubicazione delle installazioni nucleari.

In questo rapporto vengono illustrate e discusse le procedure ed i criteri seguiti dagli organi di controllo per l'approvazione dell'ubicazione di un reattore nucleare in Italia ed in alcuni dei più importanti paesi nucleari del mondo (Stati Uniti, Canada, Giappone, Repubblica Federale Tedesca, Inghilterra). Particolare attenzione è rivolta a mettere in luce l'importanza che viene attribuita nei diversi paesi ai vari fattori che concorrono a determinare l'idoneità o la non idoneità di un particolare sito per un dato reattore, quali caratteristiche naturali, ecologiche, socioeconomiche, etc. Restringendo il discorso all'Italia, si cerca di analizzare criticamente i punti più deboli della procedura di approvazione del sito di un reattore. Viene inoltre sottolineata l'importanza di una programmazione, a livello nazionale e regionale, dei siti nucleari, da inquadrarsi in una programmazione generale dell'ubicazione delle fonti di energia. Si discutono infine le possibili estensioni della metodologia nucleare al campo dell'industria convenzionale.

Abstract - Siting Criteria for Nuclear Plants.

In this report we illustrate and discuss the licensing procedure for nuclear reactor sites adopted in Italy and in various foreign countries. The relative importance given in each different country to the various aspects which determine the quality of a particular site, such as physical, geophysical, ecological and sociological characteristics is brought into focus. Restricting the attention to Italy, we try to analyze critically the possible faults of the procedure here followed. The importance of long-range programming for nuclear as well as for fossil fueled power plants, both at a national and a regional level, is pointed out. Finally we discuss possible extensions of nuclear methods for site analysis to conventional plants.

I "Rapporti dei Laboratori di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità" pubblicano:

notizie su ricerche in corso, i cui risultati anche parziali si abbia interesse a rendere noti immediatamente, senza attendere la loro pubblicazione regolare su riviste specializzate;

resoconti su ricerche eseguite, più estesi e dettagliati di quanto non si possa fare su riviste specializzate;

contributi di carattere tecnico, risultati di calcoli, grafici, tabelle numeriche, ecc., che, per quanto utilissimi al ricercatore, non si possono per ragioni di spazio o di costo o per ragioni tecniche pubblicare a stampa;

corsi di lezioni e seminari, resoconti di attività e simili:

discussioni di problemi di fisica applicata alla Sanità Pubblica, con particolare riguardo ai controlli di Stato, e relativa documentazione.

Il materiale pubblicato si riferisce esclusivamente ad attività svolte nei Laboratori di Fisica: la eventuale collaborazione di altri Laboratori o Istituzioni è in ogni caso chiaramente indicata in nota al titolo, nella prima pagina del testo.

Ogni rapporto può essere citato facendo riferimento alla sigla stampata in alta a destra nella prima pagina di copertina. Per esempio: ISS 61/16 sta per "Ricerche in corso al 31 marzo 1961".

La data stampata in copertina a pie' della prima pagina è quella della consegna alla tipografia del testo pronto per la stampa.

Ogni lavoro, prima della pubblicazione, è di solito oggetto di discussione in seminari o riunioni di laboratorio ed il testo scritto viene preventivamente approvato dal Capo dei Laboratori di Fisica.

La riproduzione parziale o totale dei "Rapporti ISS" deve essere preventivamente autorizzata dal Capo dei Laboratori di Fisica.

A cura del Servizio Documentazione dei Laboratori di Fisica.

