

GEOGRAFIA DELL'ENERGIA NUCLEARE (*)

Il giorno 2 dicembre 1942 entrava in funzione a Chicago il primo reattore nucleare in cui si riuscì a produrre, per la prima volta, una reazione a catena controllata dall'uomo. Con questo apparecchio chiamato da Enrico Fermi, che lo costruì, *pila atomica*, si poté dimostrare che la fissione dell'uranio poteva essere adoperata come una nuova fonte di energia. Essa fu usata in quegli anni di guerra per la creazione di ordigni di straordinaria potenza distruttiva, che nell'agosto del 1945 rasero al suolo le due città di Hiroshima e Nagasaki. Ma si pensò subito alla possibilità di applicazioni pacifiche e, passato un periodo di comprensibile riserbo, nel 1953 gli Stati Uniti offrirono di far conoscere a tutte le nazioni e di condividere con loro i risultati conseguiti dagli Stati Uniti nelle ricerche e negli studi sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. A tale scopo nell'agosto del 1955 si tenne a Ginevra, sotto gli auspici dell'*ONU*, la prima conferenza internazionale per la utilizzazione dell'energia nucleare che rivelò al mondo le immense possibilità che l'atomo racchiude e nel settembre dell'anno scorso si è tenuta, pure a Ginevra, la seconda conferenza, dove sono stati esposti i più recenti risultati dello sviluppo degli studi e delle tecniche escogitate.

Da queste due rassegne internazionali è apparso chiaramente che una nuova industria è sorta e che progredisce rapidamente, aprendo orizzonti nuovi tali da far prevedere dei mutamenti importanti nella vita quotidiana, nell'insorgenza e nella ripartizione della potenza industriale e nelle nuove possibilità che offrirà all'uomo. L'aspetto preminente, se pure non esclusivo, della conquista dell'utilizzazione dell'atomo, è quello energetico, in quanto ci troviamo in un'epoca in cui la domanda di energia cresce a dismisura e in cui le sorgenti di energia classica non basteranno

(*) Testo ampliato e aggiornato di una lezione tenuta il 19 gennaio 1959 a Firenze per l'Associazione degli insegnanti di geografia della Toscana.

più ad assicurare il fabbisogno in un prossimo futuro, specie in alcune parti del mondo, in cui si trovano in quantità troppo esigua.

Una valutazione eseguita nel 1952 da Palmer Putnam per la Commissione per l'energia atomica degli Stati Uniti, prendendo come base l'unità di misura Q pari a 10 volte l'energia consumata nel mondo nel 1947, ha stabilito che dall'inizio dell'era volgare al 1947 l'umanità avrebbe consumato da 10 a 13 Q , e ha previsto per i prossimi 50 anni un consumo di 20 Q , di cui 6 sarebbero dati dal carbone, neanche 1 dal petrolio e altrettanto dall'energia idroelettrica. Si avrebbe così un deficit di oltre 10 Q , che potrebbe essere fornito solo dall'energia atomica. Infatti le riserve di materiale atomico attualmente conosciute, avrebbero un equivalente energetico pari a 100 Q , che coprirebbe il fabbisogno per un lungo periodo di tempo.

Effettivamente negli ultimi decenni il fabbisogno energetico mondiale si è accresciuto straordinariamente e sono profondamente mutate le proporzioni con cui le diverse sorgenti di energia partecipano al suo soddisfacimento, e ciò da un lato per le nuove necessità della tecnica e dall'altro per i cambiamenti verificatisi nel reperimento delle fonti energetiche tradizionali.

Questi mutamenti sono espressi dalle variazioni della formula energetica mondiale, le quali risultano dalla seguente tabella:

FONTE DI ENERGIA	1910	1930	1956
	% del fabbis. mond.	% del fabbis. mond.	% del fabbis. mond.
Carbone	88,0	68,0	40,0
Petrolio	8,0	22,3	37,0
Gas naturale	2,4	6,1	15,0
Energia idroelettrica . .	1,6	3,6	8,0
	10,4	28,4	52,0

Da questi dati appare che la proporzione del carbone si è più che dimezzata, mentre si è quintuplicata quella degli idrocarburi liquidi e solidi e quella dell'energia idroelettrica, il cui consumo, com'è noto, si raddoppia ogni dieci anni circa. Si consideri inoltre che la produzione del carbone diviene sempre più costosa e difficile, specie in Europa, tanto che è aumentata di appena il 30% in 40 anni, anche per la concorrenza del petrolio,

il cui consumo si estende sempre più (1); ma d'altra parte le riserve di idrocarburi sono relativamente limitate e distribuite assai disformemente. Si calcola perciò che nei prossimi decenni il fabbisogno potrà essere coperto solo per metà dalle fonti energetiche tradizionali e si avrà dunque, fatalmente, un deficit energetico particolarmente grave per i paesi poveri di combustibili, che potrà essere colmato solo con l'impiego di nuove fonti di energia e soprattutto di quella nucleare.

Caratteri dell'energia nucleare. — Com'è noto, la base dell'energia nucleare è costituita dall'uranio metallico estratto da diversi minerali e che è composto dai due isotopi U 238 e U 235. E' proprio l'U 235 che, mediante fissione dei suoi atomi, da un lato fornisce energia e dall'altro trasforma l'U 238 non fissile in un'altra sostanza fissile, il plutonio. Di recente si è trovato il modo di utilizzare un altro metallo, il torio, che può essere trasformato anch'esso in un isotopo fissile dell'uranio.

Uno dei caratteri originali dell'energia nucleare è l'eccezionale potenza energetica dei combustibili atomici. I rapporti tra il potenziale termico del carbone e dell'uranio variano secondo il tipo di materiale fissionabile impiegato, ma in media 1 kg di uranio naturale fornisce l'energia di 2500 tonn di carbone. Teoricamente dovrebbe sprigionare 72.000 kWh, ma la trasmissione e l'utilizzazione dell'energia termica corrispondente è difficile, sicché oggi se ne ricavano solo 20.000 kWh, e quindi il rapporto uranio-carbone è solo di 10-15 mila a 1, in quanto l'uranio naturale contiene solo lo 0,75% di U 235 fissile e rende così solo 1/100 di quello che dà quest'ultimo.

La soluzione migliore è l'impiego di U 235 puro, che fornisce grandi quantità di energia in impianti molto più piccoli di quelli a U 238. Ma la preparazione dell'U 235 mediante separazione isotopica per diffusione gassosa richiede impianti costosi e forte consumo di elettricità, sicché è assai onerosa. Pertanto l'U 235 puro viene usato solo per gli armamenti, mentre le in-

(1) La preferenza crescente accordata alla nafta, specie per il riscaldamento, spiega l'attuale crisi di superproduzione del carbone nella Germania occidentale, che si cerca di superare chiudendo o razionalizzando le miniere non redditizie e tassando la nafta.

dustrie adoperano più vantaggiosamente il cosiddetto *uranio arricchito*, contenente cioè una proporzione maggiore di U 235, variabile secondo gli usi che se ne devono fare. Per installazioni mobili (per navi, sommergibili, ecc.) con spazio limitato e quindi con alta autonomia, e per cui è necessaria una forte produzione di energia in piccolo volume, si usa uranio arricchito con 60-80% di U 235; per le installazioni fisse (come le centrali nucleoelettriche) uranio arricchito solo al 20%. Perciò il prezzo di questi materiali varia assai (da L. 25.000 per *tonn* per l'uranio naturale a 15.625 al *kg* per uranio arricchito al 20%, e circa 15 milioni al *kg* per U 235), ma il costante miglioramento delle tecniche potrà far ridurre progressivamente i costi. Oggi poi si tende a creare un reattore *autofertilizzante*, in cui la fissione dell'U 235 trasforma l'U 238 in plutonio che verrebbe ripreso automaticamente in una seconda fissione e così di seguito, in modo da utilizzare razionalmente e totalmente l'energia contenuta nel combustibile, sicché il costo del *kWh* diverrebbe assai conveniente. Comunque, in rapporto all'energia erogata i combustibili fissili sono enormemente più leggeri di quelli tradizionali.

L'energia nucleare, che è la quarta forma di energia, è destinata dunque a prendere un posto sempre maggiore sul mercato mondiale nel corso dei prossimi 25 anni. Già oggi l'energia nucleoelettrica si produce in quantità consistente in vari paesi e la costruzione degli impianti procede con ritmo accelerato, tanto che entro il 1965 sono previsti nel mondo reattori di una potenza totale di 10 milioni di *kW*, che daranno 80 miliardi di *kWh*, pari al 3% del consumo totale di allora.

Certo, lo sfruttamento dell'energia atomica su vasta scala si presenta relativamente lento, ma ciò è dovuto piuttosto all'incertezza ancora esistente nelle tecniche, tuttora in piena evoluzione, alla scarsità di tecnici e alla straordinaria entità degli investimenti necessari, dato che una centrale atomica costa da 2 a 4 volte più di quelle tradizionali.

Si deve ricordare anche che l'energia atomica non viene sprigionata solo dalla fissione degli atomi pesanti e complessi dell'uranio, ma anche dalla *fusione* degli atomi leggeri e semplici dell'idrogeno e dei suoi isotopi, come l'idrogeno pesante o deuterio. Anzi quest'ultimo processo libera una quantità di energia

enormemente maggiore, il che è assai importante, perché, mentre l'uranio e il torio sono disponibili in quantità limitata, l'idrogeno pesante è contenuto nell'acqua dolce e marina, che è inesauribile. Si spiega così che gli studi per la utilizzazione di questo deuterio mediante fusione si stiano conducendo attivamente.

Senonché nella seconda Conferenza di Ginevra sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare, svoltasi un anno fa, è risultato che, a meno di nuove scoperte o nuovi indirizzi della tecnica, entro questo secolo non si potrà arrivare alla utilizzazione economica dell'energia di fusione.

Questa è dunque di là da venire, mentre la fissione è in pieno sviluppo e sta alla base di attività nuove con caratteri già ben definiti. Se ne possono pertanto fino da ora studiare i caratteri geografici e cioè la distribuzione dei minerali degli elementi fissili (uranio e torio), gli aspetti della loro lavorazione e trasformazione, del loro trasporto e del loro commercio, gli aspetti geografici dell'industria nucleare, nonché i rapporti dell'energia nucleare con le varie forme di attività umana e la sua prevedibile influenza sulle strutture sociali e politiche e sulla trasformazione dell'ambiente.

I reattori nucleari. — Com'è noto, il processo di fissione, cioè la reazione a catena che sviluppa calore, avviene in speciali apparecchi, i *reattori* nucleari, che sono composti di varie parti, e precisamente dalla *massa attiva*, cioè dal combustibile atomico in sbarre (U 235) che si disintegra, da un *moderatore* che abbassa la velocità dei neutroni, da un *regolatore* che controlla la velocità di reazione, da un *refrigerante* o *scambiatore di calore*, gassoso o liquido, che sottrae e trasporta il calore generato e dalla *schermatura*, consistente in materiali adatti, come il cemento, il piombo e l'acqua.

E' importante notare che la quantità di energia prodotta non dipende dalla grandezza dell'impianto, ma dalla rapidità con cui il calore viene rimosso dal nucleo del reattore. Il calore sviluppato dalla fissione viene utilizzato per lo più per la produzione di vapore, il quale, come in una normale centrale termoelettrica, mette in movimento le turbine e gli alternatori che generano elettricità.

Sono già stati costruiti parecchi tipi di reattori che si distinguono per i diversi materiali usati, per la moderazione, la regolazione e il raffreddamento, nonché per il diverso sistema di scambio del calore.

Comunque i reattori attuali utilizzano solo una parte assai piccola della energia sprigionata dai nuclei, in quanto l'energia nucleare passando a energia termica si degrada, per migliorare di nuovo trasformandosi in elettricità. Ecco perché si cerca di aumentare il rendimento sopprimendo la fase intermedia costituita dalla turbina a vapore e quindi abbandonando questi procedimenti di utilizzazione indiretta della fissione per adottarne altri diretti (2).

Tenuto conto dei caratteri strutturali e costruttivi degli apparecchi nucleari, appare chiaro che per l'industria atomica occorrono, oltre alle sostanze fissili, anche i materiali necessari per la costruzione dei reattori; la cui produzione, perciò, ha avuto un grande sviluppo. Per il rivestimento dei reattori si sono usati fino ad ora degli acciai speciali, che però si tende a sostituire oggi con zirconio, finora poco usato, e che è fornito dall'India, dall'Australia e dagli Stati Uniti. Il moderatore più economico, perché più abbondante, è la grafite, ma assai migliore è l'acqua pesante, prodotta in Europa, specialmente dalla Norvegia, per elettrolisi e che potrebbe essere ricavata, con metodi appropriati, anche dai vapori endogeni in corrispondenza delle località di emissione, presso le quali, infatti, sono stati progettati appositi impianti, come a Wainaki nella Nuova Zelanda.

Come regolatori del processo di fissione, il boro e il cadmio sono i più usati, ma è anche adoperato il berillio, abbondante in Brasile, Africa settentrionale e Madagàscar. Come refrigerante scambiatore di calore si può usare l'acqua (anche sotto pressione o bollente), ma si adoperano pure metalli a punto di ebollizione elevato, come il sodio e il potassio; tuttavia quello più

(2) E' dello scorso aprile la notizia che scienziati dei laboratori di Los Alamos sarebbero riusciti a trasformare direttamente l'energia della fissione nucleare in elettricità sfruttando il principio della coppia bimetallica termoelettrica, in cui uno dei metalli è rappresentato dall'uranio e l'altro da cesio allo stato gassoso di *plasma* (cioè con atomi privi degli elettroni periferici) e opportunamente raffreddato per ottenere quel salto di temperatura cui è legata la produzione di energia elettrica.

usato è l'acqua, di cui pertanto i reattori hanno bisogno in gran quantità. Infine le pareti del reattore sono in acciaio, calcestruzzo e piombo, il cui consumo pertanto è assai aumentato, come del resto è avvenuto per tutte le sostanze suddette, il che ha influito sul loro commercio.

Prodotti dell'industria nucleare. — Gli impianti atomici hanno enorme importanza non solo per la produzione di calore, ma anche per la preparazione di isotopi radioattivi. Il calore emanato dai materiali fissili si può trasformare in energia elettrica in impianti fissi, oppure serve come mezzo di propulsione in impianti mobili, e di questo aspetto energetico, che è per ora quello più importante, ci occuperemo appunto diffusamente.

Gli isotopi radioattivi, rarissimi in natura, si ottengono facilmente sia come sottoprodotti della fissione, sia introducendo nel reattore le sostanze da rendere radioattive. I radio-isotopi hanno acquistato importanza via via crescente perché hanno un doppio impiego: anzitutto come *sorgenti di radiazioni* per il trattamento di tessuti viventi e perciò in biologia, medicina, agricoltura, nelle industrie alimentari, per la produzione di vernici fosforescenti, ecc.; in secondo luogo come *indicatori* o *traccianti*, nella ricerca scientifica e nell'industria (radiografia industriale, misure di spessori, di usure, di livello, controlli di flusso, ecc.), consentendo forti economie, valutate nei soli Stati Uniti a 500 milioni di dollari l'anno. Di questi radio-isotopi ne sono stati prodotti artificialmente circa 700, di cui un centinaio è già disponibile in quantità commerciale. Il maggior centro per la loro produzione è divenuto il grande complesso di Oak Ridge, nel Tennessee (Stati Uniti), che era prima adibito alla fabbricazione delle bombe atomiche e che ora lavora quasi esclusivamente per scopi pacifici.

Per quanto riguarda la produzione di energia, si deve dir subito che anche per essa, come per ogni altra attività economica, si pone pregiudizialmente il problema del costo. Ora, mentre ancora una quindicina di anni fa il costo dell'energia nucleo-elettrica era assai elevato, già nel 1946 si era ridotto negli Stati Uniti del 90% e si è venuto via via avvicinando al costo del *kWh* prodotto dalle centrali classiche, tanto che oggi, per certi paesi, è già competitivo; ma si prevede che potrà diminuire ancora sensibilmente, da

un lato per i perfezionamenti tecnici degli impianti o centrali nucleari e dall'altro per il progressivo aumento del prezzo delle fonti energetiche convenzionali (carbone, petrolio, energia idroelettrica). Anche in Italia nei primi tempi l'energia nucleare avrà un costo alquanto superiore a quello dell'energia termoelettrica (da 8 a 10 lire a *kWh* secondo il tipo di centrale nucleare, contro 6-7 lire), ma entro 4-5 anni esso dovrebbe scendere a livelli dello stesso ordine di grandezza e successivamente è prevista un'inversione della situazione attuale (3).

Si consideri peraltro che negli Stati poveri di combustibili e lontani dai paesi esportatori, come il Brasile e l'Argentina, il costo dell'elettricità prodotta con combustibili importati è fino da ora pressoché uguale a quello dell'elettricità nucleare, perché, anche per quelli che dovrebbero rifornirsi all'estero di materiali fissili, l'importazione dell'uranio e del torio è enormemente meno costosa di quella del carbone e del petrolio.

In complesso, dunque, le possibilità economiche dell'energia nucleo-elettrica dipendono principalmente dalle condizioni geografiche.

Geografia dell'uranio e del torio. — Per quanto la prospezione geo-mineraria sistematica abbia avuto inizio da poco tempo e quindi sia assai incompleta e vada continuamente estendendosi, le riserve probabili di minerali uraniferi rappresentano già un potenziale energetico enorme, parecchie volte superiore (anzi decine di volte, considerando la fissione totale) a quello di tutto il carbone e il petrolio esistenti sulla Terra.

L'uranio non si trova mai puro, ma esiste soprattutto sotto forma di ossidi (come la pechblenda col 75% circa di uranio),

(3) Più precisamente nel Convegno sulla produzione dell'energia elettrica a mezzo di centrali termonucleari, organizzato dalla Federazione Nazionale Aziende Elettriche Municipali, e svoltosi a Roma nel febbraio scorso, sono stati dati i seguenti valori indicativi del costo del *kWh*: L. 6,50, per centrali convenzionali; 7,60 per centrali nucleari ad acqua bollente; 7,90, per centrali a gas e grafite; 9,30, per centrali ad acqua pressurizzata; ma quest'ultimo valore si potrebbe già abbassare al livello dei precedenti in seguito ai perfezionamenti più recenti apportati ai relativi impianti. All'atto della correzione delle bozze, giunge notizia che una Compagnia americana ha progettato un nuovo tipo di reattore capace di produrre energia elettrica a un costo paragonabile a quello delle centrali termiche più convenienti: 7,6 millesimi di dollaro, pari a L. 4,56. Ciò significa che gli impianti nucleo-elettrici della prima generazione starebbero già per essere superati.

fosfati complessi (autunite), vanadati (la ben nota carnotite), tantalati, arseniati, ecc.; il torio si trova soprattutto sotto forma di fosfato nella monazite. Questi minerali dell'uranio e del torio sono relativamente abbondanti. Si calcola infatti che la Terra contenga in media 4 *gr* di uranio per tonnellata di roccia e quindi l'uranio sarebbe 100 volte più abbondante dell'oro e più abbondante anche dello zinco e del piombo. Il torio si trova in quantità ancora maggiori: 15 *gr* in media per tonnellata ed è così quattro volte più abbondante dell'uranio.

Tuttavia non bisogna credere che uranio e torio si trovino ovunque in quantità sfruttabile. I loro minerali invece hanno tenore di metallo sufficientemente elevato (non inferiore allo 0,1 per cento) solo in determinati giacimenti, di cui si fa oggi appunto ricerca affannosa. Come per molti giacimenti di vari altri minerali, anche quelli di uranio e torio possono essere *primari*, vale a dire nella roccia in posto sotto forma di ammassi o filoni, oppure *secondari*, cioè in depositi detritici alloctoni nelle rocce suddette.

I *giacimenti primari* sono costituiti da filoni uraniferi e toriferi in rocce pegmatitiche, specie nei massicci antichi (scudo canadese, scandinavo, brasiliano; massiccio centro e sud-africano, India, Australia, massicci ercinici europei, Madagàscar), oppure aventi origine per impregnazione idrotermale, come si verifica nei conglomerati auriferi del Witwatersrand, nell'Africa australe.

I *giacimenti secondari* si sono raccolti in formazioni continentali di bacini interni (arenarie, conglomerati, scisti, asfalti e carbone, fosfati) e, in minor quantità, nei calcari, soprattutto nei bacini interni delle Montagne Rocciose e nel Ferghana. Si trovano pure in formazioni detritiche di disgregazione dei graniti (sabbie a monazite), contenenti torio e abbondanti sulla costa orientale del Brasile, sul litorale delle Caroline (Stati Uniti), nel Trevancore, in India, e nella parte settentrionale di Formosa.

Le intense ricerche effettuate in questi ultimi anni hanno già permesso di riconoscere sette province uranifere principali, che sono: l'Africa centrale e australe, lo Scudo canadese, i bacini e gli altopiani interni delle Rocciose, il Brasile orientale, lo Scudo siberiano col Kirghisistan e l'Usbekistan, l'India e l'Australia (fig. 1).

Mentre l'arricchimento e la concentrazione dei minerali si

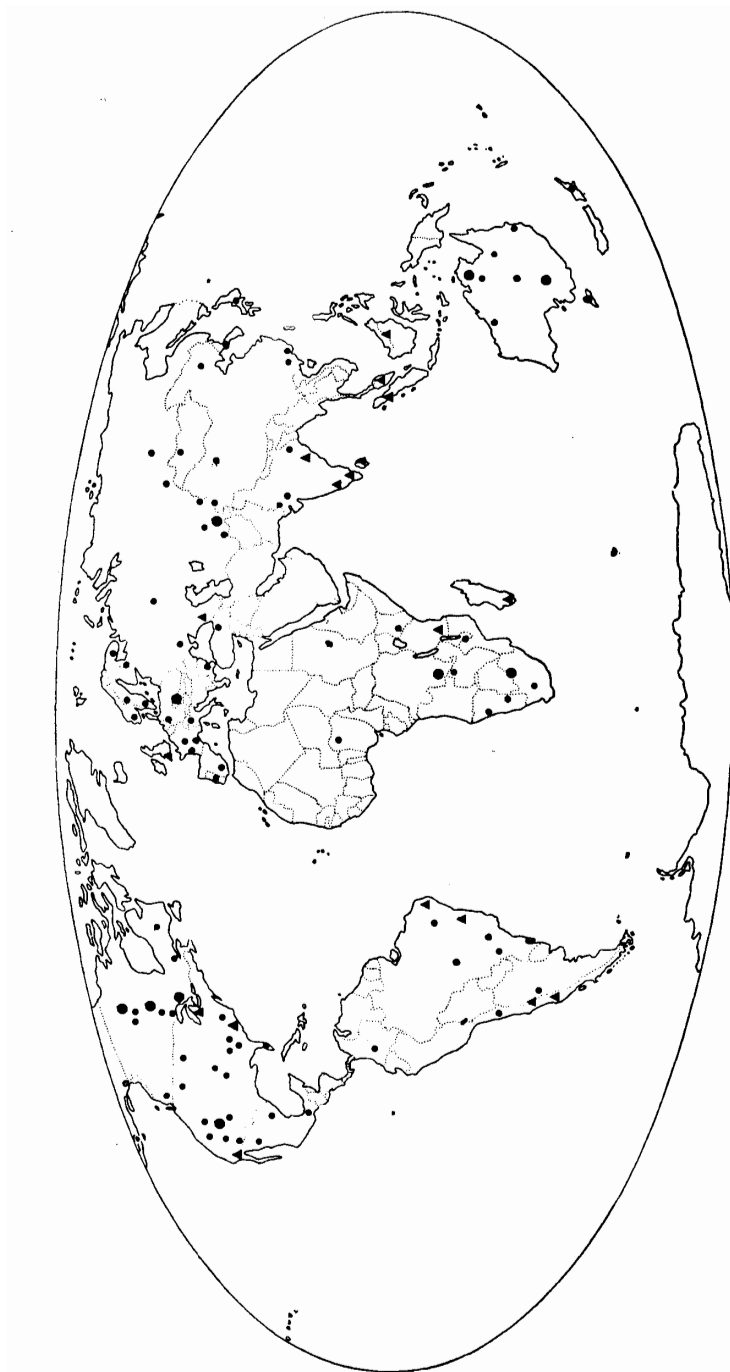


FIG. 1. - I PRINCIPALI GIACIMENTI DI URANIO E DI TORIO.

(Quelli di uranio sono indicati con punti, più grandi per i giacimenti più importanti in corso di sfruttamento; quelli di torio, con triangoli).

effettua per lo più in corrispondenza o in vicinanza delle miniere, l'estrazione del metallo avviene spesso in paesi diversi e lontani e in particolare la raffinazione e la separazione isotopica dell' U^{235} può praticarsi solo in località che hanno grande abbondanza di energia elettrica. Si pensi che i soli Stati Uniti consumano a questo scopo circa 50 miliardi di *kWh* all'anno, pari ad oltre il 7% della loro produzione di energia elettrica e quasi all'intera produzione italiana!

Per dare un'idea dell'aumento della produzione di uranio, basta pensare che mentre nel 1940 ne furono prodotte solo 1700 *tonn*, di cui 1052 dal Congo e 600 dal Canada (con produzioni esigue della Cecoslovacchia, Portogallo, Stati Uniti, Gran Bretagna e Norvegia), oggi se ne ricavano forse una trentina di migliaia di tonnellate! Ma la fisionomia dei produttori non è stata ancora fissata e d'altra parte la puntualizzazione statistica è difficile, sia perché molti paesi la mantengono segreta per ragioni strategiche, come avviene per l'Unione Sovietica e paesi satelliti, sia perché i dati a disposizione non sono omogenei, riguardando talvolta la produzione di uranio metallico, tal'altra l'ossido di uranio e in altri casi semplici concentrati dei minerali.

Il più grande giacimento uranifero del mondo è stato ritenuto fino ad oggi quello di Shinkolobwe, nella ben nota zona mineraria del Catanga (Congo Belga) e contiene uranio in pechblenda con 60-70% di ossido di uranio associato a cobalto, nichel, rame. Tuttavia le riserve, che sembravano ammontare ad oltre un miliardo di *tonn*, sono oggi valutate con maggior prudenza e comunque sono stati scoperti di recente giacimenti di consistenza maggiore. La produzione annua di concentrato sembra si aggiri sulle 15-20 mila *tonn*, lavorate in parte in un grande impianto che è tra i migliori del mondo e in parte nel Belgio.

Nell'Africa del Sud, la zona aurifera del Rand e dell'Orange produce notevole quantità di uranio in 14 stabilimenti, che lavorano minerali auriferi estratti da varie località e il cui valore potrebbe superare, tra non molto, quello dell'oro stesso (4). Nel

(4) E' interessante notare che l'intensificazione della lavorazione dei minerali auro-uraniferi ha provocato già un aumento della produzione dell'oro, che ha contribuito ad abbassarne il prezzo. Se questo aumento della produzione dovesse accentuarsi e l'uranio divenisse il prodotto principale delle miniere sud-africane,

1957 vi furono prodotte 5700 *tonn* di uranio metallico, quantità questa che fa dell'Unione Sudafricana il maggior produttore del mondo occidentale.

Altri giacimenti uraniferi africani si trovano in Nigeria (Kano), nel Mozambico, in Egitto (Kosseir), nel Camerun, nella Costa d'Avorio e nel Madagascar, ove esiste un grande giacimento di urano-torianite ad Antsirabé.

Secondo produttore di uranio è il Canada (oltre 4300 *tonn* nel 1957), che ha giacimenti lungo il bordo occidentale dello Scudo canadese, tra il Gran Lago degli Orsi, ove è sorto già da tempo il centro di Port Radium, ed il Lago Athabaska (Eldorado) dove è sorta Uranium City, e a Blind River nell'Ontario meridionale. La miniera di Beaverlodge avrebbe riserve superiori a quelle del Catanga. Importanti sono pure le miniere di Gunnar, a settentrione del Lago Athabaska e di Atlem nella Colombia, nonché la zona del Lago Nipissing (Ontario), e quella nel territorio di Montreal, che sembra la più ricca dell'America. Dato ciò il Canada potrebbe diventare tra qualche anno il maggior produttore mondiale e fornire la metà del fabbisogno occidentale. I concentrati di minerale uranifero sono inviati per la raffinazione a Port Hope, nell'Ontario.

Negli Stati Uniti il principale giacimento filoniano è a Manyswhale (Utah), ma la maggior parte dell'uranio si ricava dai depositi degli altipiani occidentali sparsi dal confine col Messico al Wyoming; predominano su tutti i giacimenti del Colorado, che forniscono la maggior parte della produzione statunitense, ma notevoli sono pure quelli del Nuovo Messico e dell'Utah e i depositi di fosfati uraniferi della Florida. Verso le regioni occidentali si è diretta negli ultimi anni una folla di cercatori improvvisati e si è sviluppata così una vera corsa all'uranio (*uranium rush*), analoga a quella provocata nel secolo scorso dai giacimenti auriferi. Esistono 13 stabilimenti di concentrazione, il maggiore dei quali si trova a Bluewater (Nuovo Messico). La produzione totale di uranio metallico si aggirerebbe sulle 4000 *tonn* annue, ma le riserve sembrano limitate.

L'oro diverrebbe addirittura un loro sottoprodotto, e il suo prezzo scenderebbe ancora, con ripercussioni sensibili su tutti gli altri prezzi, la cui possibilità desta già la preoccupazione degli economisti.

Anche i massicci arcaici dell'America del Sud sembrano ricchi di minerali uraniferi. Ne sono stati trovati depositi cospicui nelle Guiane e nell'altopiano brasiliano a Divino (nel Minas Gerais), a Poços de Caldas, a Jacobina (Bahia); ma il Brasile è ricco soprattutto di sabbie monazitiche, minerali di torio che si trovano lungo le coste di Bahia e d'Espirito Santo e di cui il Brasile è il secondo produttore mondiale. Segnalazioni positive si hanno già per tutti gli altri Stati dell'America del Sud, specie per l'Argentina, nelle province di Mendoza e Jujuy.

Dal canto suo l'Unione Sovietica ha varie importanti provincie uranifere ed è autosufficiente, tanto più che alla sua produzione si deve aggiungere quella dei paesi satelliti. Ma nessun dato si possiede sulle sue riserve e sulla sua produzione di uranio e torio. Sembra che i principali giacimenti si trovino tra Samarcanda e Osh (nel Kirghisistan), specie a Tuya Muyu, a Kara Kagir (Fergana meridionale), Agadik (Samarcanda), Kara Ciaghin (Andigian). Altri depositi si trovano nel Caucaso, nella Carelia e nella penisola di Cola, a Gandža nella Transbaikalia (Tannutuva, Estremo Oriente) e nella parte nord-occidentale degli Urali. Inoltre l'Unione Sovietica sfrutta le miniere importanti e classiche di Jáchimov (ex Joachimstal) in Boemia e altre minori in Sassonia, in Ungheria e in Estonia. Nulla si sa della posizione della Polonia, Romania e Bulgaria.

Anche altri paesi asiatici posseggono importanti giacimenti uraniferi e toriferi. Tra i più ricchi sono la Cina, dove si trovano due serie di depositi, l'uno a sud nel Kuang-si e l'altro nel Sinkiang; e l'India, che è il primo paese produttore di torio (con circa 7000 *tonn*) tratto dalle sabbie monazitiche delle coste meridionali (Trevancore), del Bihar e dell'Orissa e che si trovano anche a Ceylon e nel Malabar. Depositati di torio esistono pure in Corea.

Anche in Australia sono state già accertate risorse considerevoli di minerali uraniferi. Riconosciuti prima nel M. Painter (nei Monti Flinders), dove sono di ottima qualità, ne sono stati poi trovati importanti giacimenti in due punti della parte sud-orientale, nella Nuova Galles del Sud e a Radium Hill (a NE di Adelaide). Ultimamente altri vasti depositi sono stati scoperti nella Australia orientale a Mary Kathleen e nella parte settentrionale intorno al Golfo di Carpentaria, nella località di Rum Jungle, dove

sembra esistere uno dei maggiori giacimenti mondiali, e nei pressi di Yenberry.

L'Europa ha giacimenti numerosi, ma d'importanza minore rispetto a quelli delle altre parti del mondo e localizzati in corrispondenza o in vicinanza dei massicci ercinici. Predominano senz'altro quelli dell'Europa centrale, e cioè in Boemia, in Sassonia e nello Harz, cui si possono aggiungere quelli della Foresta Nera. Nell'Europa occidentale la Francia occupa il posto principale, con i giacimenti di autunite posti intorno al Massiccio centrale (La Crouzille, Grury, S. Sylvestre, La Chaux presso Vichy, dintorni di Limoges), cui se ne aggiungono altri in Vandea e in Alsazia presso Sélestat. Le riserve francesi conosciute sono valutate a 150 mila *tonn*, sufficienti per i bisogni attuali, ma non bastanti per la grande potenza nucleare che la Francia intenderebbe divenire.

La Gran Bretagna ha un solo modesto deposito in Cornovaglia, e quindi per le sue industrie atomiche, già ben sviluppate, è costretta a importare materiali fissili dal Congo Belga e dal Canada. In Spagna si trovano due giacimenti principali nella zona di Cordova, sfruttata dagli Stati Uniti, e in quella di Lérida; il Portogallo ha i promettenti giacimenti di Ugeirica. Nell'Europa settentrionale spicca la penisola scandinava, ove si trovano scisti uraniferi nella Svezia centrale (Skorde) e in Norvegia, a Helgeljund.

In Italia anomalie radioattive intense sono state trovate in Piemonte, nel Trentino, in Calabria e in Sardegna: gli accertamenti più promettenti sembrano quelli effettuati nella zona del Preit (Cuneo) e nei pressi di Lurisia (Mondovì), dove sono stati trovati buoni minerali di uranio, sicché si prevede che a partire dal 1960 questi giacimenti potranno dare 65 *tonn* all'anno di uranio metallico. Anche nel Trentino si stanno conducendo interessanti sondaggi nelle valli Giudicarie (Val Daone e Val Rendena), dove, se la consistenza dei giacimenti lo permetterà, si dovrebbe costruire uno stabilimento per la lavorazione e il lavaggio del materiale e per la produzione dell'uranio. In complesso il Comitato Nazionale Ricerche Nucleari ritiene che a partire dalla metà del 1961 si potranno produrre in Italia 160 *tonn* annue di uranio metallico, suscettibili di aumentare negli anni successivi.

Commercio dei combustibili nucleari. — Essendo i giacimenti di uranio e torio distribuiti in modo così disforme, si sono già stabilite delle correnti commerciali dai principali paesi di produzione a quelli di lavorazione e di consumo e ha avuto inizio una gara per il controllo delle risorse. Si è costituito così un mercato dell'uranio che è controllato dalle tre maggiori potenze (i Tre Grandi) che cercano di accaparrarsi i prodotti dei maggiori giacimenti e investono nel loro sfruttamento masse ingenti di capitali. L'Unione Sovietica utilizza, oltre ai minerali che si trovano nei propri territori, quelli della Cecoslovacchia e della Germania orientale e dal 1950 ha contratti con la Cina per le ricerche nel Sinkiang. A parte ciò, Stati Uniti e Gran Bretagna controllano praticamente quasi tutta la produzione mondiale.

Gli Stati Uniti si riforniscono in Africa dalle miniere del Catanga e del Witwatersrand e nel Canada e si sono riservati inoltre i 2/3 della produzione dei nuovi giacimenti australiani. La Gran Bretagna si rifornisce pure nel Congo belga e nel Canada e dispone poi di tutta la produzione portoghese e di buona parte di quella australiana.

Si svolgono inoltre alcuni scambi minori: la Francia fornisce materiali uraniferi alla Svezia e alla Norvegia, ma ne deve pure importare per i propri impianti, come del resto ha cominciato a fare anche l'Italia.

Ma influenza essenziale sul commercio dei combustibili nucleari ha la loro diversa natura — uranio naturale oppure uranio arricchito in varia proporzione — non solo per la grande diversità del loro costo, ma anche perché per l'arricchimento occorrono costosissimi impianti e perché, inoltre, a ciascun tipo di combustibile corrispondono reattori con caratteristiche tecniche differenti e fabbricati solo in alcuni paesi: è ben noto, per es., che mentre la Gran Bretagna si è orientata essenzialmente verso reattori a uranio naturale, gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica hanno dato maggior sviluppo a quelli a uranio arricchito. Ne deriva che gli Stati Uniti sono oggi gli unici paesi occidentali produttori su scala industriale di uranio arricchito, che quindi possono vendere in notevole quantità e ad un prezzo (16 dollari al *kg*) assai più basso del costo effettivo e ciò sia per istituire un vero monopolio, sia per mantenere il controllo dell'uso di questo combustibile nucleare

e la relativa produzione di plutonio, usato per ora solo a scopi militari (bombe atomiche, esplosivi nucleari). Infatti una volta compiutosi il processo di fissione, le sbarre di uranio trasformatosi in gran parte in plutonio debbono essere restituite agli Stati Uniti.

Il commercio dell'uranio arricchito proveniente dagli Stati Uniti ha dunque questo aspetto particolare: che i paesi che lo acquistano non ne divengono proprietari, ma hanno solo il diritto di usarlo come combustibile, di usufruire cioè solo dell'energia in esso contenuta. Qualcosa di simile avviene anche per l'uranio naturale, sicché la maggior parte del commercio dei combustibili nucleari si distingue nettamente da quello dei combustibili tradizionali perché riguarda la pura energia in essi contenuta.

Geografia dell'industria nucleare. — I materiali fissili, prodotti in quantità crescente, sono già da qualche tempo razionalmente utilizzati in numerosi e svariati impianti e si è già venuta configurando così una vera industria nucleare con particolari aspetti geoeconomici. Pur essendo le notizie al riguardo incomplete per le persistenti preoccupazioni di ordine militare si sa che esiste già un insieme di impianti atomici con caratteri tecnici e potenza diversa, la maggior parte dei quali è raccolta in pochi paesi tecnicamente evoluti e con grandi risorse finanziarie. Infatti per questa nuova forma di attività, assai complessa e costosa, occorrono enormi investimenti di capitali e disponibilità di tecnici numerosi e ben preparati. Dal punto di vista strettamente economico influisce non solo l'entità del reddito complessivo dello Stato, ma anche l'ammontare del reddito individuale. E' stato stabilito che un ruolo preminente nel campo della energia nucleare è riservato ai paesi che hanno nello stesso tempo redditi nazionali superiori a 15-20 miliardi di dollari e redditi medi individuali di almeno 500 dollari: se una di queste due condizioni non è soddisfatta, uno Stato potrà avere importanza per aspetti particolari di attrezzatura nucleare, ma non avrà possibilità di sostenere da solo il peso di tutta un'industria nucleare.

Solo cinque paesi si trovano nelle condizioni predette o possono neutralizzare l'insufficienza del reddito pro capite per effetto della loro particolare struttura politica: Stati Uniti, Gran Bre-

tagna, Unione Sovietica, Canada e Francia, e sono appunto questi paesi che, in parte per motivi economici, ma anche per ragioni politiche e di prestigio, hanno oggi l'industria nucleare più sviluppata.

Dato l'ingente sforzo finanziario occorrente, in un primo periodo solo lo Stato ha potuto sopportare il peso dell'organizzazione dell'industria, ma da qualche anno si affiancano ad esso in misura crescente le industrie private, il che è avvenuto soprattutto negli Stati Uniti.

Si è poi rivelata indispensabile la collaborazione scientifica e tecnica internazionale che, a partire dal 1953, ha già fatto molti progressi ed ha portato alla creazione di alcuni grandi organismi plurinazionali: l'*Agenzia internazionale dell'energia atomica*, il *Centro Europeo delle ricerche nucleari*, l'*JENER (Joint Establishment for Nuclear Energy Research)*, formato congiuntamente dalla Norvegia e dall'Olanda, e infine l'*EURATOM*, istituito dai sei paesi della Comunità Europea e del Mercato Comune allo scopo di creare i presupposti istituzionali, giuridici ed economici della collaborazione per la utilizzazione esclusivamente pacifica dell'energia atomica.

La localizzazione geografica degli impianti atomici ha aspetti tutti particolari perché, stante l'alto potere energetico dei materiali fissili, è indipendente dai mezzi di trasporto e dai consueti fattori geografici, e cioè ubicazione delle materie prime, presenza di vie di comunicazione e disponibilità di mano d'opera. E' sufficiente invece avere a disposizione, oltre agli ingenti capitali già ricordati e a un adeguato numero di tecnici, acqua abbondante per il raffreddamento dei reattori e un terreno sufficientemente solido per sostenere l'enorme peso degli schermi di protezione, nonché la possibilità di smaltire le scorie radioattive. Si spiega così il fatto che tutti gli impianti industriali oggi in funzione siano sorti sulle rive di fiumi o di laghi e spesso anche in vicinanza del mare, come chiaramente risulta dalla distribuzione degli impianti nucleari della Gran Bretagna (fig. 3).

La prima importante conseguenza degli speciali fattori di localizzazione degli impianti atomici è la possibilità di produzione abbondante di energia in qualunque punto della Terra, il che consente lo svincolamento totale delle industrie dalle fonti di energia

convenzionali e quindi una loro insorgenza ed un loro particolare decentramento in località a piacere, premessa essenziale questa per il progresso dei paesi sottosviluppati.

E' piuttosto difficile fare il punto sulla consistenza attuale dell'industria nucleare non solo per le ragioni di segretezza accennate, ma anche per la diversità degli oggetti indicati col nome generico di reattori nucleari. Con esso infatti si comprendono sia i modesti apparecchi da addestramento sia quelli destinati allo studio e alle ricerche in vari campi della scienza; tanto quelli per la produzione di isotopi radioattivi o di plutonio quanto infine i cosiddetti *reattori di potenza*, il cui scopo è la produzione di calore successivamente impiegato per produzione di elettricità o per riscaldamento o per propulsione navale.

Una recente statistica ha elencato 176 reattori di vario tipo entrati in funzione a tutto il 1958 e 211 in costruzione o in progetto. I reattori di potenza, che sono i più importanti dal punto di vista industriale, risultavano alla stessa data in numero di 21, di cui 11 negli Stati Uniti, 5 in Gran Bretagna, 3 nell'Unione Sovietica e 2 in Francia. Altri 8 dovrebbero entrare in funzione quest'anno, di cui 1 in Norvegia, e altri ancora negli anni venturi, in modo che nel 1964 dovrebbero esistere 58 centrali nucleari.

Appare dunque che Stati Uniti, Gran Bretagna e Unione Sovietica sono nettamente in testa sia per le ricerche che per le applicazioni pratiche, mentre quasi tutti gli altri Stati si dedicano per ora quasi esclusivamente alla ricerca scientifica.

La Conferenza di Ginevra del 1955 ha mostrato che se i Tre Grandi si trovano press'a poco allo stesso livello tecnico, hanno però esigenze e scopi diversi, che hanno provocato uno sviluppo dell'industria nucleare in direzioni alquanto differenti. Negli Stati Uniti, ove le fonti di energia abbondano, non vi sono problemi urgenti da risolvere e non c'è premura di arrivare allo stadio industriale, ma si preferisce sperimentare accuratamente le tecniche per l'utilizzazione più razionale dei materiali fissili, onde metterne a punto una più conveniente. Invece nell'Unione Sovietica, e più in Gran Bretagna, la necessità di energia dà preoccupazioni pratiche e si ha urgenza di soluzioni rapide che riguardino l'intera economia nazionale in Gran Bretagna, ove la produzione del carbone non potrà aumentare di molto, e la situazione energetica di singole regioni nell'Unione Sovietica.

Gli Stati Uniti dispongono dell'infrastruttura nucleare maggiore con 104 reattori esistenti, dei quali 11 reattori di potenza, di cui però solo tre hanno potenza installata superiore a 10.000 kW, e varie decine in costruzione o in progetto (fig. 2). I principali complessi atomici sorgono a Oak Ridge (Tennessee), Upton (nello Stato di New York ove si trova il Laboratorio Nazionale di Brookhaven), Lemont (presso Chicago dov'è il centro nucleare di Argonne), Arco (Idaho), Los Alamos (Nuovo Messico) e Hanford (Washington). Oak Ridge è divenuto oggi il principale centro di produzione dei radio-isotopi, mentre Hanford e Aiken County (Georgia) hanno i maggiori impianti per la produzione di plutonio per scopi militari. Di recente (1957) è stata inaugurata la centrale di Shippingport in Pennsylvania (della potenza elettrica di 60.000 kW), che è il primo impianto nucleo-elettrico statunitense per la

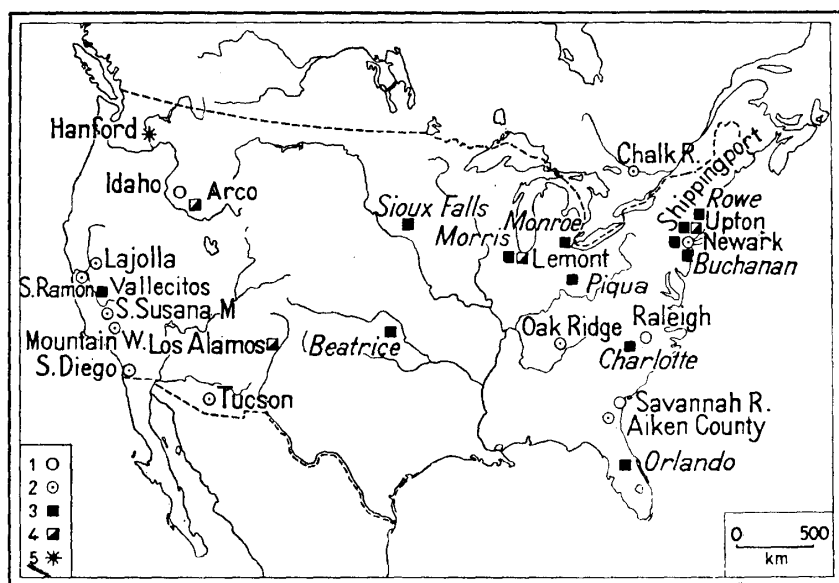


FIG. 2. - DISTRIBUZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI
NEGLI STATI UNITI D'AMERICA.

Sono indicati i reattori in funzione fino al 31 dicembre 1958 e quelli in costruzione (toponimi in corsivo). — 1, stabilimenti di ricerca; 2, impianti radiochimici; 3, centrali elettronucleari; 4, impianti elettronucleari; 5, impianti militari (produzione di plutonio).

produzione di energia commerciale ma numerose altre sono in costruzione. Una centrale nucleo-elettrica accoppiata a un'altra termo-elettrica sta per entrare in funzione a Buchanan (New York) e altre ancora a Morris (Illinois), a Sioux Falls (Dakota merid.) ecc., come appare dalla cartina, nonché in Alasca a Fort Greeley, nel territorio di Fairbanks. Si deve ricordare che nell'agosto 1954 il Governo statunitense ha abbandonato il monopolio degli impianti nucleari e ad esso è subentrata l'iniziativa privata da parte di una trentina di aziende.

La localizzazione degli impianti è caratteristica in quanto i maggiori laboratori di ricerca e radiochimici sono sorti in località con abbondante energia elettrica e spesso appartate, mentre le centrali elettronucleari tendono ad affollarsi in corrispondenza della zona industriale del Nord-Est.

Dell'Unione Sovietica poco si sa: vi si troverebbero in tutto 12 reattori e 3 centrali nucleo-elettriche, di cui una da 100 mila *kW* e il piano di costruzione prevederebbe in funzione per il 1960 impianti produttori 2-2,5 milioni di *kW* così distribuiti: 2 a Leningrado, 2 a Voronesh, 2 a Sverdlovsk, altre 4 nella Russia e 5 in Siberia.

I maggiori centri atomici, oltre quello di Dubna, presso Mosca, destinato alla ricerca scientifica, si troverebbero oggi in Armenia vicino ad Erivan, nell'Usbekistan, nel Turkestan dov'è sorta Atomgrad, nei pressi del Lago Baikal e ad occidente di Tobolsk, sul versante orientale degli Urali.

La Gran Bretagna possiede una ventina di reattori, ma ha avviato prima che altrove un vasto piano nel campo delle applicazioni pratiche nucleari secondo le direttive dell'*Atomic Energy Authority*, indirizzato soprattutto verso la produzione di energia elettrica di cui la Gran Bretagna difetta. Ma, oltre che per assicurarsi il fabbisogno di energia per il prossimo futuro, sulla formulazione del programma britannico e sulla sua rapida realizzazione hanno agito ed agiscono l'esigenza politica di rimanere la terza potenza mondiale, il miglioramento della bilancia delle esportazioni e l'alleggerimento dei rapporti con l'industria carbonifera. La maggiore centrale nucleare è quella di Calder Hall, nel Cumberland (fig. 3) con tre reattori della potenza di 46.000 *kW* ciascuno, inaugurata nel 1956, che è stato il primo impianto del

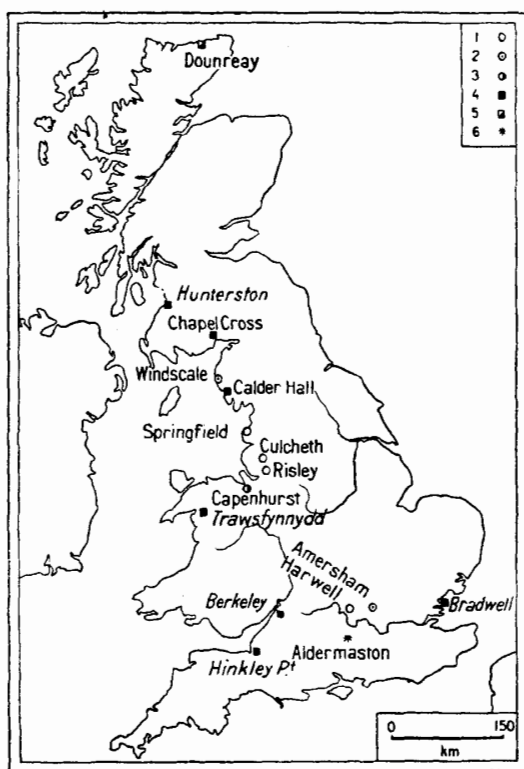


FIG. 3. - DISTRIBUZIONE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI IN GRAN BRETAGNA.

Sono indicati i reattori in funzione fino al 31 dicembre 1958 e quelli in costruzione (toponimi in corsivo). — 1, stabilimenti di ricerca; 2, impianti radiochimici; 3, impianti di arricchimento; 4, centrali elettronucleari; 5, impianti elettronucleari e per scopi vari; 6, impianti militari (produzione di plutonio).

mondo a fornire energia elettrica al settore pubblico, e si è arricchito di recente di un quarto complesso analogo. Una seconda centrale è entrata in funzione nel maggio scorso a Chapel Cross in Scozia e raggiungerà la potenza di 184.000 kW e altre stanno per essere approntate a Dounreay nella Scozia, a Bradwell on Sea nell'Essex e a Berkeley on Severn. Varie altre centrali sorgeranno tra il 1960 e il 1964 in Scozia (Hunterston, Ayrshire), nel Galles (Trawsfynydd), nell'Inghilterra (Hinkley Point, Bridgewater) e nell'Irlanda del Nord, sicché esse tendono a addensarsi dal lato

centro-occidentale del paese, ricco di industrie e con carbone non abbondante e costoso. In complesso per il 1965 le centrali nucleari inglesi dovrebbero avere una potenza di 4 milioni di *kW*. La Gran Bretagna ha anche vari impianti per la produzione dell'uranio (Solvich, Risley nel Lancashire), due grandi impianti per la preparazione del plutonio (a Windscale e soprattutto a Aldermaston) e il cospicuo centro di studi nucleari di Harwell, in cui si trovano ben 12 reattori che servono anche per la produzione di isotopi.

Il Canada, essendo ricco di fonti di energia tradizionali, ha 4 soli reattori nell'Ontario a Chalk River, per le ricerche e la produzione di isotopi ed una raffineria di uranio a Port Hope nell'Ontario, dove sta sorgendo pure, a Sault St. Marie, una centrale elettronucleare.

Negli altri Stati, come s'è detto, l'industria nucleare ha sviluppo assai minore per le grandi difficoltà di vario ordine che loro si presentano e che sono superabili solo mediante una ben organizzata collaborazione.

Uno di questi organismi supernazionali è il cosiddetto *JENER*, costituitosi, come già detto, tra la Norvegia e l'Olanda per le ricerche e le costruzioni nucleari.

Ma più ampio ed efficiente organismo supernazionale è l'*EURATOM*, che proseguendo l'integrazione nucleare dei sei paesi del Mercato Comune ha già affrontato e impostato i problemi relativi alla costituzione in essi, secondo le necessità e le possibilità di ciascuno, di un'industria nucleare, alla istituzione di centri comuni di ricerca, al reperimento dell'uranio occorrente e alla preparazione e utilizzazione degli isotopi, alla stipulazione di accordi con altri paesi per il reperimento dei mezzi finanziari. Nell'ambito dell'*EURATOM* la Francia occupa una posizione preminente, perché, oltre a possedere notevoli risorse uranifere, ha già 7 reattori a Fort Chatillon, Saclay, Marcoule, Chinon e, di essi, i due che si trovano nel complesso semindustriale di Marcoule hanno la potenza elettrica di 35.000 *kW*. A Chinon sta per essere ultimata una centrale da 60.000 *kW*.

Gli Stati scandinavi, possedendo capitali, tecnici e gran quantità di elettricità, hanno programmi e impianti notevoli: la Svezia ha 12 reattori costruiti e altri in costruzione ed è interessante notare che due dei reattori di potenza già in funzione servono per

il riscaldamento delle cittadine di Farsta e Västeras e altri di quelli in costruzione serviranno per lo stesso scopo. Anche la Svizzera occupa un buon posto, possedendo sei reattori per ricerca e preparazione di isotopi.

La Germania occidentale, data l'abbondanza di carbone di cui gode, ha solo 3 reattori per la ricerca scientifica, ma nessuno ancora a carattere industriale.

Numerosi altri reattori sono poi in costruzione o in progetto in molti paesi del mondo, tra cui la Jugoslavia, la Cecoslovacchia, l'India, il Giappone, l'Australia e l'Argentina.

Per quanto riguarda l'Italia, è purtroppo ben noto che il nostro paese è uno dei più poveri di risorse energetiche, in quanto manca di buon carbone fossile, ha modesti depositi petroliferi e ha già sfruttato la massima parte delle sue risorse idrauliche. Si pensi che nel 1958 le fonti di energia nazionali hanno coperto solo il 49% del fabbisogno, che in totale corrisponde a 50 milioni di *tonn* di carbone (5). Tali condizioni, dato il continuo aumento della richiesta, si andranno aggravando continuamente, sicché si calcola che nel 1975 le risorse interne copriranno solo 1/3 del totale. Questa carenza di energia è sentita soprattutto nelle regioni meridionali, in cui costituisce una delle principali cause di arretratezza economica. Da ciò il deciso orientamento a utilizzare al più presto l'energia nucleare con la costruzione di tre impianti: il primo a Foce Verde, vicino a Latina, di proprietà della *SIMEA* (del gruppo *ENI-AGIP* nucleare) e della potenza di 200.000 *kW*, che si sta costruendo con la collaborazione di una compagnia inglese e che sarà dello stesso tipo della centrale nucleo-elettrica inglese di Calder Hall; un secondo da 150.000 *kW* sorgerà alle foci del Garigliano, a Punta Fiume, in provincia di Caserta, per opera della Società *SENN*, con capitale fornito per il 40% dall'*IRI* e per il resto dagli Stati Uniti. Queste due centrali entreranno in funzione entro il 1962, e ad esse se ne aggiungerà un'altra da 134.000 *kW*, che verrà costruita in una località ancora non fissata dell'Italia settentrionale dalla Società *SELNI (EDISON-VOLTA)* con la col-

(5) La produzione nazionale delle fonti d'energia si ripartisce come segue: gas naturale, 32,8%; energia idrica e geotermica, 26,1%; legna da ardere, 24,75%; petrolio, 11,45%; carbone Sulcis, 3,10%; ligniti, 1,8% (V. « Universo », Firenze, n. 5, 1959, pag. 1060).

laborazione e il contributo statunitense, sicché in complesso le centrali elettronucleari italiane dovrebbero avere, a partire dal 1963, una potenza istallata di oltre 700.000 kW.

Per la ricerca scientifica, oltre al sincrotrone di Frascati, sono entrati ultimamente in funzione, per iniziativa del Comitato Nazionale Ricerche Nucleari, ad Ispra sul Lago Maggiore, un centro atomico sperimentale ove si trova un reattore nucleare simile a quello in servizio a Lemont e per cui gli Stati Uniti hanno fornito l'uranio e l'acqua pesante e nei pressi di Roma un reattore per addestramento e produzione di isotopi. Una Società privata, la *SORIN*, ha poi impiantato a Saluggia (Vercelli) un reattore per ricerche tecnologiche. Altri impianti per l'addestramento sono in costruzione a Milano, Pisa e Palermo e dovrebbero entrare in funzione entro il 1960. Il fatto che i primi due impianti elettronucleari industriali sorgeranno nell'Italia meridionale non è casuale, ma sta a dimostrare gli stretti legami intercorrenti tra l'impiego dell'energia nucleare e lo sviluppo delle regioni economicamente arretrate e povere di fonti d'energia.

Riflessi economici e politico-sociali delle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. — Da tutto quanto si è detto appare che le applicazioni pacifiche dell'energia nucleare stanno già producendo, e più produrranno in un prossimo futuro, molteplici e profonde conseguenze sui fatti economici, sociali e politici.

Anzitutto le nuove attività connesse con l'estrazione dei minerali uraniferi e con la loro lavorazione hanno già provocato delle interessanti modificazioni locali sull'insediamento umano, con formazione di nuovi centri minerari nel Canada, nell'Australia (Mary Kathleen nel Queensland) e nella stessa Francia, con costruzione di nuove strade, ecc.

Per quanto riguarda gli aspetti economici, l'impiego della energia atomica, oltre alla produzione di energia nucleo-elettrica, prospetta effetti rivoluzionari, alcuni dei quali già realizzati. Si intende accennare ai decisivi progressi già in atto nei trasporti marittimi sia per la navigazione di superficie, che conta già il rompi-ghiaccio nucleare sovietico *Lenin* e tra breve la nave statunitense *Savannah*, pure a propulsione nucleare, con autonomia praticamente illimitata, sia specialmente per la navigazione sotto-

marina, di cui indicano il luminoso avvenire le memorabili imprese dei sommergibili atomici americani *Nautilus* e *Skate*, che tra l'altro hanno attraversato in immersione il Mar Glaciale Artico sottopassando la calotta glaciale che lo ricopre (6) e quindi aprendo nuovi orizzonti all'utilizzazione di questo mare finora pressoché disertato dalla navigazione marittima.

E' anche in stato avanzato di costruzione una locomotiva atomica, che avrà pure effetti importanti in quanto una piccola quantità di combustibile nucleare assicurerà la trazione dei convogli ferroviari per un lungo periodo di tempo, eliminando la necessità di predisporre depositi di combustibili in località remote.

Anche la metallurgia farà senza dubbio progressi notevoli e decisivi mediante l'uso razionale dell'energia termica nucleare, che potrebbe per esempio essere adoperata per la siderurgia con l'uso concomitante dell'idrogeno come riduttore oppure permetterebbe di svincolare la produzione dell'alluminio dall'uso dell'energia idroelettrica, consentendo così l'impianto di stabilimenti metallurgici direttamente nelle regioni ricche di bauxite, come la Guiana Olandese e la Giamaica.

E l'energia nucleare darà all'uomo possibilità enormi nei campi più svariati: escavazione rapida del terreno e su vaste estensioni per la costruzione di grandi bacini, vasti canali, porti ecc..., per cui si parla già di una *ingegneria geografica*, perforazioni a grandi profondità e nuovi sistemi di estrazione del petrolio; riscaldamento di regioni gelate o di centri abitati polari, che permetterà così l'insediamento umano in zone finora desolate (7).

Di questi straordinari vantaggi potranno giovare non solo i paesi economicamente evoluti, ma anche quelli sottosviluppati. Questi ultimi, specialmente in Africa e nell'America del Sud,

(6) La prima navigazione al di sotto della calotta glaciale artica fu compiuta dal *Nautilus*, che entrò nel M. Glaciale Artico dalla parte dell'Alasca il 1° agosto 1958 e riemerse al largo della Groenlandia il 5 agosto; la seconda e la terza furono effettuate dallo *Skate*, rispettivamente dal 10 al 21 agosto 1958 e dal 14 al 26 marzo 1959, emergendo una diecina di volte dopo aver forato la crosta di ghiaccio soprastante anche in corrispondenza del Polo Nord (17 marzo).

(7) Il governo canadese ha già progettato una « comunità » o cittadina polare, che dovrebbe sorgere in corrispondenza dello scalo aereo civile di Frobisher Bay e che dovrebbe ricavare tutta l'energia termica ed elettrica necessaria da un reattore atomico, come è in programma per le stazioni polari dell'aviazione americana.

insieme all'India, poveri o addirittura privi di fonti energetiche convenzionali, potranno risolvere il problema dell'energia con la costruzione di centrali elettro-nucleari che possono sorgere ovunque e che erogheranno energia a buon mercato, la quale favorirà certo la insorgenza in queste regioni di industrie, anche disperse, a stretto contatto con l'agricoltura. D'altra parte i paesi già evoluti, oltre a scongiurare la minaccia incombente della carenza energetica, vedranno ulteriormente sviluppare le proprie industrie con l'aggiunta di attività nuove connesse con la fabbricazione di apparecchiature nucleari e con l'affermazione di nuovi processi produttivi.

Uno sconvolgimento economico di questa portata non potrà non riflettersi a scadenza relativamente breve nel campo umano e cioè da un lato sui fatti sociali e dall'altro su quelli politici.

In campo sociale sarà certo favorito e accelerato il miglioramento progressivo del tenore di vita e un prolungamento della durata media della vita umana connesso con l'aumento della produttività agricola (per es. mediante l'uso di sementi irradiate) e in rapporto con lo sviluppo delle applicazioni sanitarie degli isotopi radioattivi, specie nella lotta contro i tumori. Inoltre l'esigenza di avere a disposizione un numero sempre crescente di scienziati e tecnici specializzati non solo imporrà una riforma dei metodi e dei programmi di insegnamento, ma secondo alcuni sociologi dovrebbe determinare un'evoluzione politico-sociale verso la tecnocrazia.

In campo politico, infine, su piano nazionale i massicci interventi finanziari dello Stato, indispensabili per lo sviluppo assai oneroso dell'energia nucleare, potrebbero facilitare una crescente statizzazione dell'economia, e sul piano internazionale l'impianto di costose centrali nucleari costringerà i paesi di media o piccola potenzialità economica a una collaborazione sempre più stretta, di cui è prova appunto la già avvenuta istituzione di vari organismi internazionali, oppure ad associarsi con le potenze maggiori.

Pertanto non è esagerato affermare che l'umanità vede sorgere in questi anni una nuova grande fase della sua storia: l'era atomica. Le utilizzazioni pacifiche dell'energia nucleare sono appe-

na cominciate, ma bastano per far chiaramente intendere che questa nuovissima sorgente di energia completa la nostra civiltà e ne fa sorgere addirittura un'altra con aspetti profondamente originali.

BIBLIOGRAFIA SOMMARIA

- BARBIER B., *Géographie de l'industrie atomique*, in « Inform. Géogr. », Parigi, n. 5, 1956.
- CARALP R., *Notes pour une géographie de l'uranium*, in « Rev. de Géogr. de Lyon », Lione, n. 2, 1958.
- Convegno sulla produzione di energia elettrica a mezzo di centrali termoelettriche nucleari*. Roma, 26-28 febbraio 1959. Relazione in « Energia elettrica », Milano, n. 5, 1959.
- DI FALCO M., *Integrazione nucleare europea*, in « Mercato Comune », Roma, aprile 1959.
- GANDUSIO G., *Reattori nucleari nel mondo*, in « Energia nucleare », Milano, n. 1-2, 1959.
- GEORGE P., *L'état actuel de la question de l'énergie atomique*, in « Ann. de Géogr. », Parigi, maggio-giugno 1958.
- GOLDRING M., *L'economia dell'industria atomica nell'esperienza della Gran Bretagna*. Trad. di A. Cassuto, edita a cura della Banca Nazionale del Lavoro. Roma, 1957.
- GOTTMANN H., *Die Rohstoffe unserer Erde*. Berlino, 1952.
- HERMANN F., *Les richesses minerales du monde*. Parigi, 1950.
- IPPOLITO F., *Le prospettive italiane sulla disponibilità di uranio*, in « Mondo economico », Milano, n. 44, 1957.
- ID., *Le riserve mondiali di uranio e di torio*, in « Industria mineraria », Roma, febbraio 1959.
- LEARDINI T., *La seconda Conferenza di Ginevra sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare*, in « Energia elettrica », Milano, n. 10, 1958.
- LOZUPONE V., *Il Centro di Ispra ed i principali complessi nucleari francesi ed inglesi*, in « Giorn. del Genio Civile », Roma, n. 9, 1958.
- ROSSI M., *Geografia dell'uranio e dei minerali radioattivi*, in « Universo », Firenze, n. 5, 1951.
- ROUBAULT M., *Géologie de l'uranium*. Parigi, 1958.
- SAVORNIN A., *La Géographie de l'énergie atomique*, in « Rev. de Géogr. Humaine et d'Ethnol. », Parigi, n. 4, 1948-49.

SUMMARY. — The Author, having examined the characteristics of nuclear energy, lays stress on the fundamental contribution which it is destined to give to the world power supply, which may be met in the future only partly by the traditional sources of energy, especially in some countries which possess only few or none of them. A survey of the uranium and thorium layers in the world and of the production of fissile materials, explains the commercial trends, already developed between producing and consuming countries. A second part considers the nuclear industry, and the distribution of its plants in the world, considering especially the United States of America and Great Britain, which are foremost in this industry in the Western World, and Italy, very poor in power sources.

The Author synthetically exposes the economical, political and social consequences which the pacific application of nuclear energy will have in the near future.