

Supplemento a :

EssereTerrestre

bollettino degli scienziati preoccupati

Supplemento a Essere Terrestre n. 3 del Giugno 1984
Aut. Trib. Bologna n. 5119 del 4.11.83. Spedizione in abb. postale gr. IV/70.
Redazione Amministrazione via S. Leonardo 20/2, Bologna.

Vincenzo De Santis
DANNI DA RADIAZIONI
Parte I: Le radiazioni e i loro effetti



C.E.R.C.S.E.
Comitato Emilia Romagna per il Controllo delle Scelte Energetiche

MATERIALI DI DOCUMENTAZIONE

C.E.R.C.S.E.

Comitato Emilia-Romagna per il Controllo delle Scelte Energetiche

Vincenzo De Santis

DANNI DA RADIAZIONI

Parte I: Le radiazioni e i loro effetti

Materiali di documentazione

N. 3 - 1984

Questo materiale raccoglie e riorganizza elementi del discorso sulle radiazioni già presentati in più riprese in varie sedi, tra cui il Liceo Sabin di Bologna, l'Università popolare di Lugo e la rivista "Quale Energia".

Nasce a questo punto l'esigenza di rendere più organica, completa ed accessibile l'informazione su un argomento scottante che è determinante e, a nostro parere, prioritario in tema di scelte energetiche e sul quale molta disinformazione, per non parlare di informazione deliberatamente falsata, è stata propalata da fonti non certo disinteressate.

Data l'ampiezza dell'argomento il Materiale è stato suddiviso in due parti.

In questa prima parte, "Le radiazioni e i loro effetti", passiamo in rassegna le conoscenze sul modo in cui le radiazioni vengono prodotte e diffuse e sui meccanismi con cui esse producono i loro nefasti effetti.

Nella seconda parte, "I rischi del nucleare", di prossima pubblicazione, affronteremo il delicato argomento di come e perchè quanto si sa sulle radiazioni è stato distorto fino alla più palese falsificazione dall'establishment filonucleare. La conclusione, possiamo anticiparvelo, è netta quanto scontata: nucleare è peggio.

Pensiamo di aver fatto cosa utile. Cari saluti.

La Redazione

LE RADIAZIONI E I LORO EFFETTI

Nel discutere i danni sanitari connessi con la produzione di energia elettrica per via nucleare è necessario anzitutto precisare che - contrariamente a quel che una buona parte dell'opinione pubblica viene ancora oggi indotta a credere - in sede scientifica non vi è nessun dubbio sull'esistenza di tali danni.

L'esercizio delle centrali nucleari e le molteplici attività di quel "ciclo dell'Uranio" che è l'indispensabile supporto per il funzionamento delle centrali stesse, dà origine ad una enorme quantità di sostanze radioattive, una parte delle quali inevitabilmente, diffusa nell'ambiente, viene assorbita dai lavoratori addetti e dalla popolazione in generale.

E le radiazioni così assorbite generano gravissimi danni: cancro, leucemie, cataratte, aborti, danni alle cellule genitali che a loro volta daranno origine a malformazioni e ad altri danni nei figli e nei discendenti.

Non vi è dubbio che ciò avvenga: si tratta solo di valutare in che misura possa avvenire. Non "se", dunque, ma "quanto".

E' quello che cercheremo di precisare nei paragrafi che seguono.

1 - STRUTTURA DELL'ATOMO E RADIOATTIVITA'

Cominciamo col descrivere, in modo necessariamente schematico, cosa sono le radiazioni e come hanno origine.

Cosa intendiamo per radiazioni? Di solito, quando si parla di Radiazioni, si pensa alle onde elettromagnetiche, alle onde radio, alla luce, ai raggi X.

Queste sono radiazioni, ma noi per radiazioni intendiamo qualcosa di più: oltre a queste che hanno come caratteristica fondamentale quella di essere onde elettromagnetiche, radiazioni ondulatorie, noi chiamiamo radiazioni tutti quei vettori, quelle entità invisibili a occhio nudo, che sono in grado di trasportare energia e quindi di tra

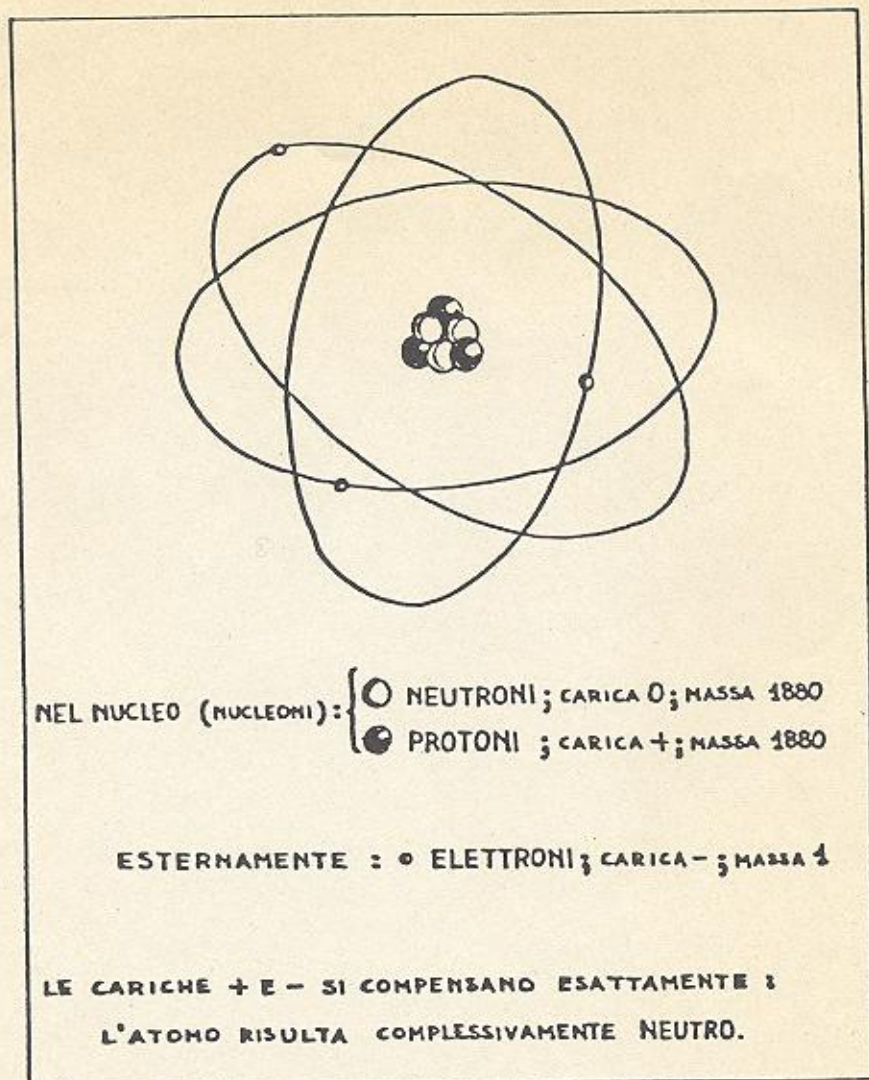


Fig. 1

sferire energia da un punto all'altro, qualcosa come dei microscopici proiettili, tanto per averne un'idea, piccoli come un atomo di idrogeno o anche molto più piccoli. Quindi saranno protoni, saranno elettroni, saranno neutroni (Fig. 1).

Vediamo da dove vengono fuori questi oggetti. La struttura dell'atomo può essere descritta, in maniera elementare, dicendo che l'atomo è costituito da un nucleo

pesante composto da protoni (carica elettrica positiva) e da neutroni (carica elettrica zero) circondato da elettroni (carica elettrica negativa) in numero uguale al numero di protoni nel nucleo in modo che, in condizioni normali, l'atomo ha nel suo complesso carica totale zero (il numero delle cariche positive è uguale al numero delle cariche negative). I protoni e i neutroni hanno massa circa uguale tra loro e questa massa è circa 1880 volte più grande della massa di un elettrone, per cui si può tranquillamente dire che tutta la massa dell'atomo è praticamente concentrata nel suo nucleo.

Sappiamo anche che esistono in natura 92 elementi diversi: Idrogeno (H), Elio (He), Litio (Li) e così via fino all'Uranio (U) che è l'ultimo. Quando si vuol descrivere completamente l'atomo di un elemento, si indica in alto a sinistra della sigla il numero A di nucleoni (protoni e neutroni: quando non si fa distinzione di carica vengono chiamati così) che compongono il nucleo e in basso a sinistra il numero Z di protoni. Quindi A indica la massa e Z la carica di un dato nucleo atomico.

L'elemento più leggero, l'Idrogeno, ha il nucleo costituito da 1 solo protone e quindi il suo simbolo sarà $\frac{1}{1}\text{H}$. L'elemento successivo è l'Elio, che ha il nucleo formato da 2 protoni e 2 neutroni, quindi lo indicheremo con $\frac{4}{2}\text{He}$ (4 nucleoni, di cui 2 protoni): il nucleo di Elio è un oggetto molto importante, perchè i quattro nucleoni che lo compongono sono strettamente legati tra di loro, cosicchè avviene di frequente che un nucleo pesante decada emettendo proprio un nucleo di Elio; a questi nuclei di Elio, sparati ad alta velocità, viene dato il nome di particelle α o di radiazioni α .

NOMENCLATURA. Per ragioni storiche, alle principali radiazioni vengono dati i seguenti nomi convenzionali:

Le radiazioni α sono nuclei di Elio
" β " elettroni
" γ " le radiazioni elettromagnetiche (più in particolare si usa lasciare il nome γ alle radiazioni elettromagnetiche di alta energia; per energie un po' inferiori si usa il nome X, sono i ben noti raggi X).

Dopo l'Elio vengono man mano tutti gli altri elementi: il Litio ($\frac{6}{3}\text{Li}$), il Berillio ($\frac{9}{4}\text{Be}$) e così via fino all'Uranio, che ha 238 nucleoni, di cui 92 sono protoni ($\frac{238}{92}\text{U}$).

Aggiungiamo che il numero Z , che è il numero di protoni nel nucleo, è anche il numero di elettroni che circondano il nucleo, a completamento dell'atomo in condizioni normali; e poichè le proprietà chimiche di un elemento dipendono solo da questi elettroni, Z definisce l'elemento di cui si sta parlando. Ad esempio, per il Carbonio (C) $Z = 6$. Ripeto, per un dato elemento, Z resta fissato; il numero di neutroni invece non è fisso e si trovano in natura, oltre alla specie più abbondante (per il C è quella con 6 neutroni e quindi in tutto $6 + 6 = 12$ nucleoni) altre varietà con 1 o 2 neutroni in più o in meno (Tab. 1). Queste varietà vengono chiamate isotopi. Ad es. per il Carbonio oltre all'isotopo più abbondante $^{12}_6C$ (abbondanza 98.89%), esiste in natura l'isotopo con 7 neutroni, $^{13}_6C$ (abbondanza 1.11%).

Altri isotopi possono essere "fabbricati" artificialmente, ad es. bombardando gli atomi con neutroni, ma questi isotopi artificiali non sono stabili e tendono a disintegrarsi emettendo una radiazione e trasformandosi in una specie atomica stabile.

I nuclei degli elementi esistenti in natura sono in generale stabili. Però quando diventano troppo pesanti, i nuclei degli elementi cominciano a diventare instabili, tendono a decadere emettendo radiazioni α , β o γ : è questo fenomeno che viene chiamato radioattività. Bisogna sottolineare che, quando si parla dei decadimenti, quello che decade ed emette radiazioni è il nucleo: gli elettroni delle orbite periferiche che completano l'atomo non partecipano al decadimento; solo dopo che il decadimento è avvenuto e a seconda della carica che è rimasta nel nucleo, l'atomo nel suo complesso si riorganizza, perdendo o catturando uno o più elettroni orbitali per tornare ad avere carica totale nulla.

Prendiamo per esempio il nucleo dell'atomo più pesante esistente in natura, l'Uranio 238. Questo nucleo (92 protoni e 146 neutroni, in totale appunto 238 nucleoni) è instabile e tende a decadere, dopo un certo tempo, emettendo una particella α (cioè un nucleo di Elio, due protoni più 2 neutroni) e trasformandosi in un isotopo di un altro elemento, il Torio, che avrà 90 protoni ($92 - 2 = 90$) e 234 nucleoni in tutto ($238 - 4 = 234$): lo indichiamo appunto con $^{234}_{90}Th$. Questo nucleo è a sua volta instabile e decade emettendo questa volta un β (elettrone) e trasformandosi in un nuovo nucleo che avrà ancora $A = 234$ (non viene perso nessun nucleone), ma avrà Z aumentato di 1 unità, $Z = 91$

ISOTOPI DEL CARBONIO

Simb.	Z	N	A	ABBONDANZA	Decadimento	T $\frac{1}{2}$
$^{10}_6\text{C}$	6	4	10	artificiale	β^+	19 sec.
$^{11}_6\text{C}$	6	5	11	artificiale	β^+	20.5 min.
$^{12}_6\text{C}$	6	6	12	98.89 %	-	
$^{13}_6\text{C}$	6	7	13	1.11 %	-	
$^{14}_6\text{C}$	6	8	14	artificiale	β^-	5568 anni
$^{15}_6\text{C}$	6	9	15	artificiale	β^-	2.3 sec.

Tab. 1

(tutto avviene come se un neutrone del nucleo, sparando fuori un elettrone negativo, si trasformasse in un protone). Il nuovo nucleo è un isotopo del Protoattinio (${}_{91}^{234}\text{Pa}$) che a sua volta decade in un nucleo instabile e così via con una successione di una quindicina di decadimenti in nuclei diversi (tra cui il Radio) fino a quando, alla fine, si arriva ad un isotopo del Piombo (${}_{82}^{206}\text{Pb}$) che è stabile e non decade ulteriormente (Tab. 2). A questo punto la storia di quell'atomo di Uranio termina, non ci sono più radiazioni, ma intanto ne ha sparate parecchie.

Riassumendo, abbiamo radiazioni di tipo elettromagnetico, γ e X, che noi possiamo produrre con particolari apparecchiature, oppure che vengono prodotte in natura in particolari decadimenti, e abbiamo radiazioni di tipo particellare, α e β , che troviamo in natura prodotte da quelli che vengono chiamati elementi radioattivi, elementi pesanti e instabili che cercano la stabilità sparando fuori α , β , γ .

2 - RADIAZIONI IONIZZANTI: USO MEDICO E ALTRI USI

Ora vediamo cosa fanno queste radiazioni quando urtano contro un atomo di una sostanza che si trovi sul loro percorso. Sappiamo che gli elettroni orbitali dell'atomo possono essere strappati fuori dall'atomo stesso; allora l'atomo che ha perso un elettrone si dice ionizzato. Perché ciò avvenga bisogna che la radiazione incidente fornisca all'elettrone una quantità di energia tale da superare l'energia di legame, cioè l'energia con cui l'elettrone è "legato" al nucleo. Il valore minimo di questa energia è, per gli elettroni meno legati, dell'ordine di una decina di elettronvolt (l'elettronvolt è un'unità di misura dell'energia).

Questo ci permette di dividere le radiazioni in due categorie, quelle chiamate ionizzanti e quelle non-ionizzanti. Le prime sono quelle in grado di ionizzare gli atomi, cioè sono quelle che trasportano e possono trasferire tanta energia (o di più, naturalmente) quanta ne occorre per strappare degli elettroni da un atomo originariamente neutro. Noi ci occuperemo essenzialmente di questo tipo di radiazioni. Quanto alle radiazioni non-ionizzanti, è abbastanza facile intuire che, siccome trasportano quantità

LA SERIE RADIOATTIVA DELL'URANIO 238

	numero atomico Z	Isotopo A	radiazioni emesse	Tempo di dimezzamento
Uranio	92	238	α	4.5 miliardi di anni
Torio	90	234	β	24.5 giorni
Protoattinio	91	234	β	1.14 minuti
Uranio	92	234	α	250.000 anni
Torio	90	230	α	80.000 anni
Radio	88	226	α	1.622 anni
Radon	86	222	α	3.8 giorni
Polonio	84	218	α	3.05 minuti
Piombo	82	214	β	26.8 minuti
Bismuto	83	214	β	19.7 minuti
Polonio	84	214	α	150 microsecondi
Piombo	82	210	β	22 anni
Bismuto	83	210	β	5 giorni
Polonio	84	210	α	140 giorni
Piombo	82	206	—	STABILE

Tab. 2

minori di energia e non ionizzano, hanno minori possibilità di produrre danni: possono essere anche loro dannose, possono dare effetti biologici, ma possiamo assumere che questi effetti siano in ogni caso molto minori degli effetti prodotti dalle radiazioni ionizzanti.

Da quanto tempo sappiamo che esistono radiazioni ionizzanti? I raggi X sono noti dalla fine del secolo scorso e più o meno all'inizio di questo secolo risale la scoperta del Radio. Fin dall'inizio, ci si comincia a rendere conto che queste radiazioni hanno degli effetti piuttosto rilevanti sulla salute della gente.

Storicamente la prima cosa per cui le radiazioni sono state usate è stata benefica per l'umanità. I raggi X hanno una capacità di penetrazione nel corpo umano che varia a seconda del tessuto che incontrano. Quindi vengono arrestati più nell'osso che nel tessuto molle. Il risultato è che in una lastra radiografica le ossa appaiono più chiare e gli altri tessuti tanto più scuri quanto minore è la densità, quanto più sono simili all'acqua (il corpo umano è fatto per 4/5 di acqua e 1/5 di molecole complesse). Ci si è accorti subito di questa capacità dei raggi X di fotografare l'interno del corpo umano e praticamente da subito sono stati usati per cercare di fare delle diagnosi: se una determinata malattia produce alterazioni dei tessuti, i raggi X permettono di localizzare le alterazioni, di individuare la malattia e quindi di curarla.

Inoltre, il fatto che le radiazioni sono in grado di distruggere -letteralmente- gruppi di cellule o interi tessuti biologici è stato usato per distruggere tessuti malati (cura radiologica del cancro).

In seguito coloro che usavano radiazioni, e in particolare i radiologi, hanno cominciato a accorgersi che le radiazioni producevano anche danni. Questi inizialmente sembravano non troppo gravi: ustioni alle mani, bruciature. Poi col passare del tempo ci si è resi conto invece che i danni prodotti dalle radiazioni sono molto più complessi e possono essere molto più gravi.

Un punto da fissare è che dall'inizio del secolo fino al 1945 le radiazioni, e quindi il loro uso, la loro utilità, e i danni che producevano, erano limitate essenzialmente al campo medico. Si potrebbe ricordare che sono stati usati, per es., in altri campi, sali di Radio per rendere fosforescenti le lancette degli orologi. Un altro caso era quello di ado-

perare sali di Uranio o di Radio come coloranti per i famosi lampadari di Boemia. Ma si tratta di usi molto limitati, fino alla 2^a Guerra Mondiale l'uso è soprattutto medico. Le persone che subivano danni da radiazioni erano dunque gli operatori medici, i radiologi, oltre naturalmente ai pazienti irradiati.

C'è da dire che, se una persona viene irradiata per ragioni mediche, per cure, ad es., è possibile impostare una specie di bilancio, perchè in quel caso quella persona subisce un danno, ma riceve anche un vantaggio dello stesso genere. Si tratterà di valutare se il danno sanitario subito è maggiore o minore del vantaggio sanitario ottenuto. E naturalmente il presupposto dell'uso medico delle radiazioni è che il vantaggio dovrebbe essere enormemente più grande del danno. Nel caso dei radiologi il problema non si pone evidentemente in questi termini, perchè essi subiscono solo il danno.

3 - RADIAZIONI IONIZZANTI: BOMBE E CENTRALI

Dal 1945 entra in scena un diverso uso delle radiazioni: le bombe atomiche da un lato, le centrali nucleari dall'altro.

Il principio fisico che porta a questi due usi, strettamente connessi tra di loro, è lo stesso: l'isotopo ^{235}U dell'Uranio, fissionandosi, libera enormi quantità di energia. Partendo da un certo quantitativo di ^{235}U si può lasciare avvenire la reazione a catena senza controllarla, e allora tutta l'energia viene liberata in pratica istantaneamente e si ha l'esplosione atomica; oppure si può far avvenire la reazione in modo controllato e allora l'energia fluisce gradualmente: è ciò che avviene nelle centrali nucleari. In entrambi i casi vengono prodotte quantità enormi di radiazioni: da questo punto di vista la differenza sta nel fatto che, nel caso delle centrali, si cerca -con vari accorgimenti- di far sì che almeno il grosso delle radiazioni prodotte resti confinato e non entri nell'ambiente.

Ma non basta. Per far funzionare le centrali, come per produrre le bombe, è necessaria tutta una serie di procedimenti, di lavorazioni, che nel loro insieme prendono il nome di "ciclo dell'Uranio" (Tab.3), che sono responsabili dell'immissione di radiazioni nella biosfera. Si comincia con la fase estrattiva. Il minerale uranifero, che contiene tipicamen

CICLO DELL' URANIO

- 1 Estrazione del minerale uranifero
- 2 Polverizzazione e trattamento per ottenere U_3O_8
- 3 Conversione $U_3O_8 \rightarrow UO_2$
- 4 " $UO_2 \rightarrow UF_4$
- 5 " $UF_4 \rightarrow UF_6$
- 6 Arricchimento UF_6
- 7 Riconversione UF_6 impoverito $\rightarrow UO_2$ - condizionam.
- 8 " UF_6 arricchito $\rightarrow UO_2$
- 9 Fabbricazione pastiglie
- 10 Costruzione centrali
- 11 Manutenzione centrali - Produzione energia
- 12 Estrazione e raffreddamento combustibile esaurito
- 13 Ritattamento
- 14 Eliminazione scorie bassa attività
- 15 Condizionamento scorie medio-alta attività
- 16 Condizionamento centrali
- 17 Trasporti
- 18 Ricerca

Tab. 3

te l'1 per mille di Uranio naturale (1 grammo di Unat per ogni Kg. di minerale) viene estratto dalle miniere e portato in superficie; con complessi procedimenti chimici l'Uranio viene isolato; tutto il resto del minerale, che contiene tutti gli altri elementi della serie radioattiva dell'U (vedi Tab.2) viene abbandonato nelle cosiddette "discariche" da cui materiali radioattivi e radiazioni continueranno ad entrare in circolazione per decine di migliaia di anni.

L'uranio così estratto deve poi venire arricchito. L'uranio naturale contiene il 99.3% di ^{238}U che non serve per la fissione e solo lo 0.7% di ^{235}U (sette grammi per Kg). Per poterlo usare nelle centrali quest'ultimo deve essere portato, in speciali impianti detti appunto "di arricchimento" a percentuali più alte (tipicamente il 3.5% o 35 grammi di 235 ogni Kg. di 238): per ogni 7 Kg. di uranio naturale ne risultano 6 Kg. di uranio impoverito che non serve più a niente e resta abbandonato in "depositi" da cui continua a irradare, e 1 Kg. di uranio arricchito. Speciali impianti chimici di "conversione" e di "ri-conversione" sono necessari a monte e a valle dell'impianto di arricchimento (Fig. 2).

L'uranio arricchito va poi alle fabbriche del combustibile, da cui esce per andare alle centrali.

Durante il funzionamento di queste ultime, vengono prodotte nuove e pericolosissime sostanze radioattive (plutonio, transuranici, prodotti di fissione, prodotti di attivazione) parte delle quali vengono scaricate nella biosfera sotto forma gassosa e liquida, mentre si cerca di accantonare le sostanze radioattive solide in depositi temporanei. Il combustibile esaurito viene depositato in "vasche di stoccaggio" in attesa di subire il "ritrattamento" (che serve per estrarre il plutonio e per separare le sostanze radioattive più pericolose) in altri speciali impianti. Infine, mentre il plutonio parte per altre destinazioni (di nuovo: bombe e centrali) le altre sostanze radioattive restano depositate da qualche parte in attesa che, almeno per le più pericolose tra esse (scorie ad alta attività) qualcuno risolva il problema di dove metterle per evitare che rientrino in circolazione. Problema che schiere di ricercatori con ingentissimi mezzi hanno cercato accanitamente di risolvere per ben quaranta anni, senza peraltro riuscirci. In definitiva in tutte le fasi di questo complicato ciclo si ha produzione, dispersione, abbandono, accantona-

IL CICLO DELL' URANIO

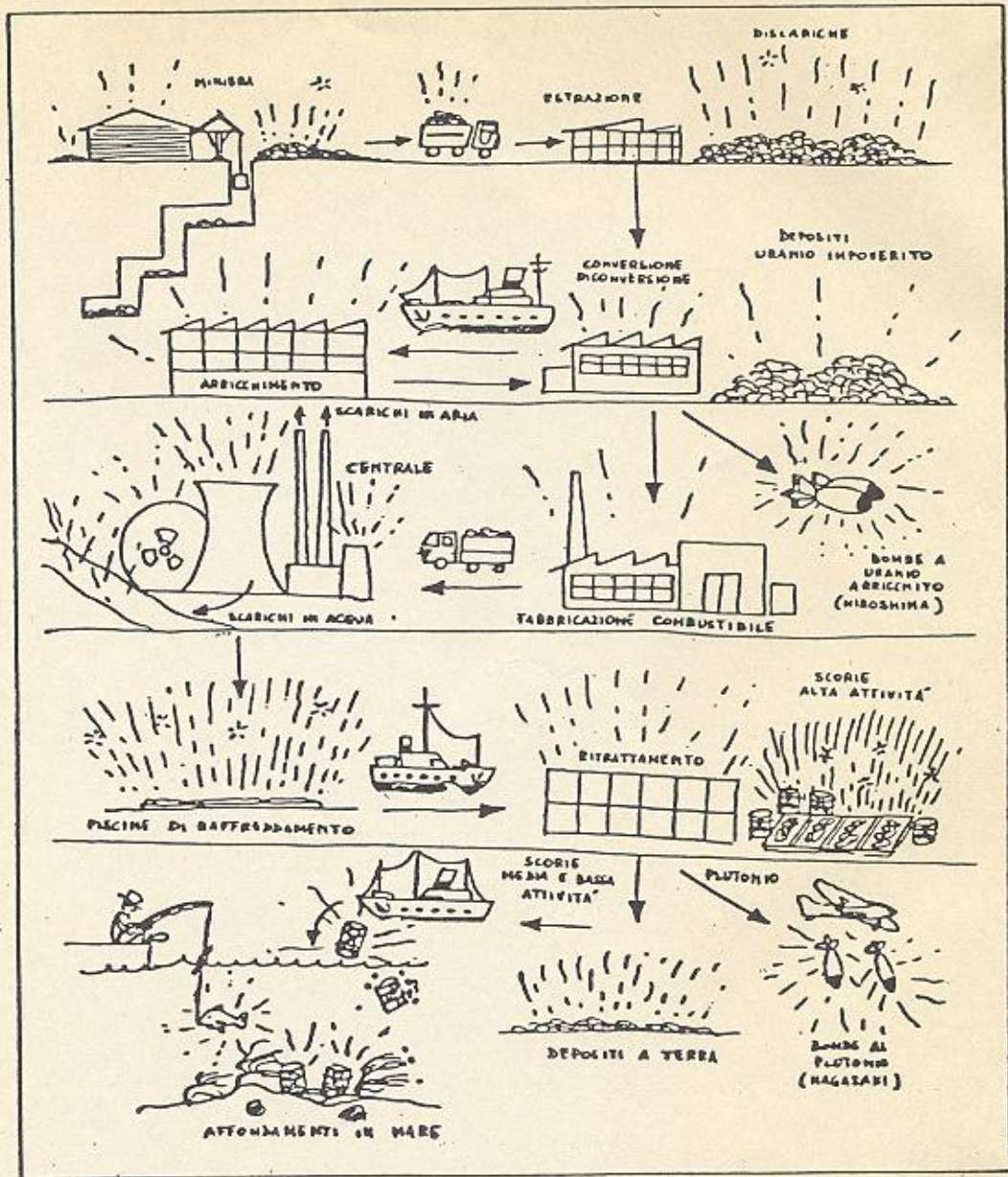


Fig. 2

mento delle più disparate sostanze radioattive.

E non bisogna dimenticare che tutte queste attività implicano continui trasporti da un punto all'altro della terra, con possibilità difficilmente immaginabili di incidenti su cui si stende il velo del più stretto "black out". Nel recente caso della Mont Louis, la nave affondata mentre trasportava esafluoruro di uranio e chissà che cos'altro dalla Francia all'Unione Sovietica, qualcosa si è potuto sapere solo grazie alla tempestiva entrata in scena degli ecologi di "Greenpeace" che hanno diffuso la notizia e impedito che su di essa di facesse silenzio.

Sparizioni di plutonio dai depositi, ritrovamenti di fusti disfatti contenenti materiali radioattivi, inquinamenti di falde acquifere, abbandono in mare di scorie, e così via, sono all'ordine del giorno, anche se molto raramente qualcosa trapela sulla grande stampa. Fanno da contorno agli incidenti piccoli e grandi che capitano nelle centrali e che, senza il bisogno di scomodare l'improbabile - ma non poi tanto - incidente grave, contribuiscono ad aumentare le quantità di radiazioni che, a causa del business nucleare, l'umanità è costretta ad assorbire suo malgrado.

4 - EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Vediamo di dire qualcosa sugli effetti locali di queste radiazioni. Abbiamo detto che ionizzano.

Una radiazione che colpisce, per es., una molecola di acqua (H_2O), la ionizza e il risultato è una molecola (H_2O)⁺ e un elettrone che va per conto suo. Questa è la forma di ionizzazione più elementare.

Quando una molecola di una sostanza viene ionizzata, si crea tutta una serie di scompensi all'interno di quella sostanza: la molecola che ha perso un elettrone cerca di catturarne uno da qualche altra molecola e così la ionizzazione può trasferirsi da una molecola all'altra, in particolare da una molecola d'acqua ad una molecola più complessa, qualche molecola si scinde e perde qualche componente (atomo). Si formano i cosiddetti radicali liberi (sono definiti radicali liberi quei sistemi atomici o molecolari che sono neutri, ma pos

seggono un numero dispari di elettroni; l'atomo di idrogeno, per es., è il radicale libero più elementare) che, pur essendo neutri dal punto di vista della carica elettrica, sono superattivi, tendono a produrre reazioni di tipo chimico con le molecole o con gli altri atomi che incontrano.

Ora vediamo che cosa può succedere se tutto ciò avviene, in particolare, in una cellula del corpo umano. Abbiamo detto che il corpo umano è costituito essenzialmente d'acqua; poi ovviamente ci sono delle molecole molto complesse, molecole organiche che sono le depositarie, diciamo, del contenuto biologico, sono le responsabili del fatto che viviamo. Il costituente elementare dei vari tessuti che compongono il nostro corpo è la cellula. Le cellule hanno dimensioni medie che vanno da qualche micron (qualche decimillesimo di cm. o milionesimo di metro) all'ordine del centinaio di micron; oppure in 1 cm^3 ci possono stare 100 milioni di cellule, tanto per avere un'idea di quanto siano piccole. Le cellule sono essenzialmente composte da un nucleolo, che è la parte biologicamente più importante, circondato dal citoplasma che è in pratica la riserva di nutrimento del nucleolo. In quest'ultimo è situata una molecola particolarmente complessa, che forma nello spazio una lunga spirale e di cui tutti hanno sentito parlare: si tratta del DNA, acido deossiribonucleico. Questo DNA è in qualche modo la banca di informazioni della cellula e allo stesso tempo è il suo centro direzionale: la fa funzionare, in particolare dirige e controlla la riproduzione delle cellule. Allora, se delle radiazioni, direttamente o attraverso la formazione dei radicali, danneggiano questo DNA, i danni possono essere assai rilevanti.

Vediamo come. Se viene danneggiata una cellula, essendo il corpo umano costituito da qualcosa come 10^{13} cellule, diciamo 10000 miliardi di cellule, non ce ne accorgiamo. Però le cellule sono strutture viventi, che si riproducono, che nel loro ciclo vitale dà origine ad altre cellule assolutamente identiche alla cellula madre. Ogni cellula dà origine a due cellule identiche, ciascuna di queste due darà origine ad altre due: c'è questo raddoppio, con tempi variabili, a seconda del tipo di cellula, da qualche mese a qualche anno. Questo meccanismo di rinnovo dei tessuti può farci capire com'è che un danno inferto a una sola cellula possa diventare a un certo punto un danno molto grave. Arriva la radiazione, danneggia la banca dati, il DNA, la quale, essendo danneggiata, continua a trasmettere un segnale sbagliato, per cui ogni cellula che viene prodotta da quel momento ha quello

stesso danno, quella stessa deformazione di informazione e quindi lo riprodurrà a sua volta.

Di conseguenza, dopo un certo periodo, mettiamo un anno, da una cellula madre si hanno due cellule figlie, dopo un altro periodo sono diventate quattro, poi otto, sedici, trentadue, sessantaquattro ecc. Dopo 10 periodi di raddoppio la cellula iniziale ha dato luogo a un migliaio di cellule. E sono ancora molto poche, non riusciamo ad accorgercene (Fig. 3). Ma se continua questo processo, dopo altri 10 tempi di raddoppio le 1000 cellule sono diventate 1 milione e se continua per altri 10 tempi di raddoppio, il milione è diventato 1 miliardo. Quello che era un puntolino invisibile all'inizio è diventato una macchia visibile, sta esplodendo la malattia, il cancro.

Questo fa capire anche come mai questo tipo di danno, pur così grave, è inavvertibile all'inizio. Una cosa rilevante, che tende a far sottovalutare il rischio, è proprio l'esistenza di questo tipo di latenza. Una persona che viene irradiata oggi, per 5, 10, 20 anni non saprà assolutamente che c'è un danno in atto e in crescita nel suo organismo, perchè è ancora troppo piccolo. Quando diventa esplosivo, è troppo tardi. Sappiamo tutti che i cancri sono una delle principali cause di morte: mentre un tempo si moriva ad es., di tubercolosi o di tifo o di altre malattie, adesso si muore quasi esclusivamente di cancro e di malattie circolatorie. Ma il peso statistico dei cancri sta aumentando.

I danni di cui abbiamo parlato -derivanti da alterazioni indotte dalle radiazioni nel DNA di una qualunque cellula dell'organismo- vengono chiamati danni **SOMATICI**. Sono quelli che si manifestano nella persona irradiata sotto forma di malattie gravissime e quasi sempre mortali, molti anni dopo l'irraggiamento.

Se invece il DNA danneggiato appartiene ad una cellula seminale, si avranno quelli che vengono chiamati danni **GENETICI**. In questo caso il danno può impedire l'impianto della cellula fecondata e quindi lo sviluppo e la nascita del figlio, o provocare un aborto, o far generare un nato morto, o infine dar luogo, nel figlio o in un successivo discendente, ad anomalie che possono andare dalle forme più gravi, come mostruosità o mongolismo o idrocefalia, a forme relativamente più lievi come ritardi mentali o menomazioni dell'integrità fisica del discendente.

Si hanno infine, in ogni caso, quelli che vengono chiamati danni **ASPECIFICI**. La ra-

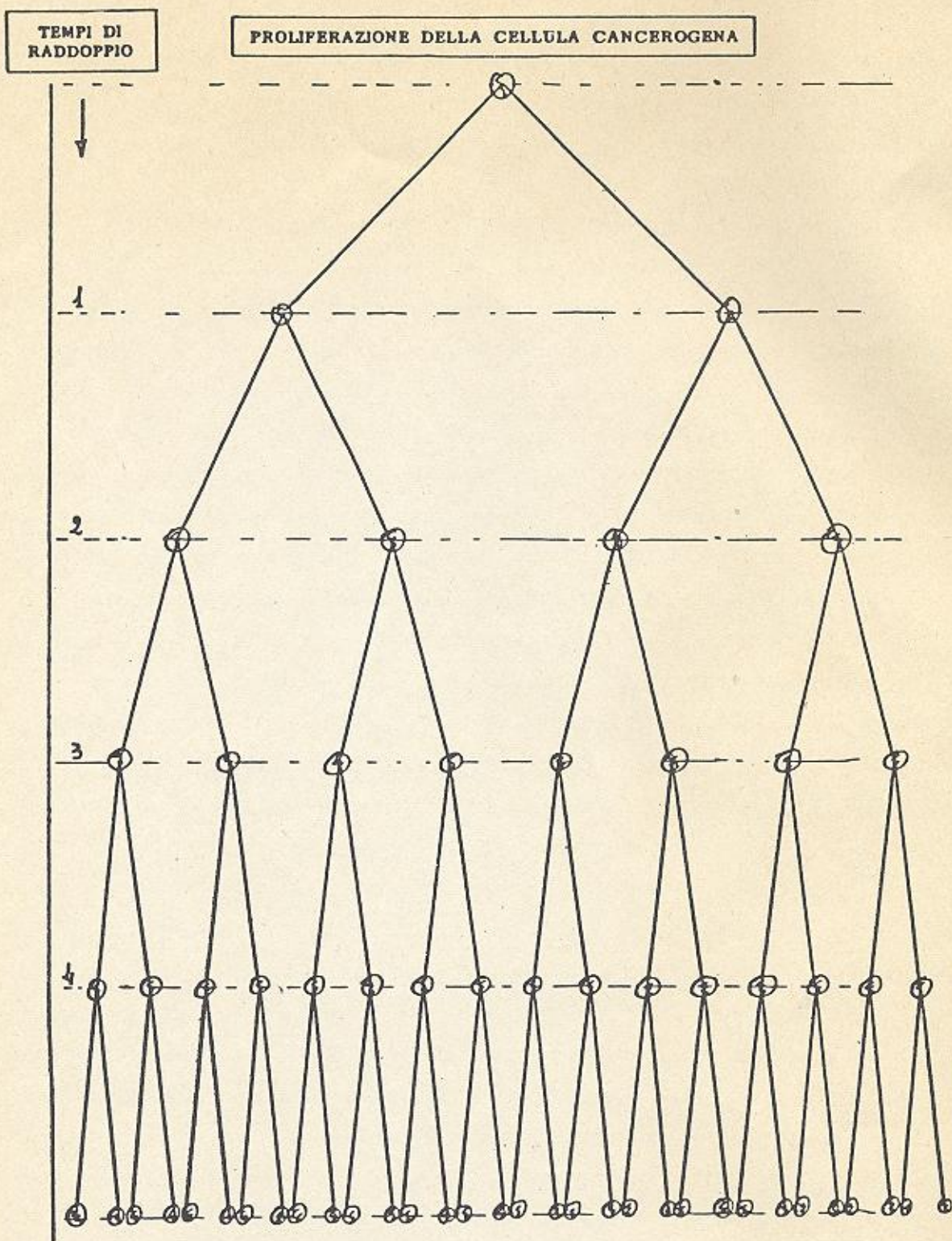


Fig. 3

diuzione provoca, nella persona irradiata, dei danni non chiaramente individuabili che si traducono in un generale indebolimento delle difese dell'organismo e quindi in una maggiore facilità ad ammalarsi, una minore capacità di guarire, un invecchiamento precoce. Il tutto si traduce in definitiva, in un accorciamento della vita delle persone irradiate.

5 - L'ENTITA' DEL DANNO

Cerchiamo ora di valutare l'entità di questi effetti. E' necessario riferirsi ad una unità di misura con cui esprimere le quantità di radiazioni assorbite o, come si dice, la dose assorbita. Noi useremo una unità chiamata REM.

Un REM è già una dose piuttosto rilevante. Con dosi di molti REM (grosse dosi di radiazione) gli effetti sono immediati e devastanti. Non si tratta più di una o qualche cellula danneggiata, è tutto l'organismo che viene letteralmente arrostito. Citiamo alcuni valori di riferimento (Tab. 4): se una persona assorbe 100 REM di radiazioni insorgono da subito malattie della pelle e del sangue; con 250 REM siamo a modificazioni irreversibili nel sangue e la probabilità di morte comincia a diventare elevata; con 400 REM si ha morte nel 50% dei casi; con 600 REM o più la morte sopravviene, entro un massimo di 15 giorni, nel 100 per cento dei casi.

DANNI DA ALTE DOSI

DOSE	DANNO
100 rem	malattie della pelle e del sangue
250 "	modificazioni non reversibili del sangue; rischio elevato di morte
400 "	50% dei casi è mortale entro 30 giorni
> 600 "	morte certa entro 15 giorni

Tab. 4

Questo è il tipo di danni che ci si può aspettare dalle radiazioni liberate dallo scoppio di una bomba atomica o dal caso -per nostra fortuna molto raro- di un grave incidente a un impianto nucleare che faccia fuoriuscire una frazione consistente dell'enorme quantità di sostanze radioattive contenute nell'impianto. Qualcuno forse ricorda quando, nel '79, è successo l'incidente alla centrale nucleare di Three Mile Island negli Stati Uniti, che aveva tutte le premesse per diventare molto grave e che, per nostra fortuna e per puro caso, si è arrestato sul punto di non-ritorno: un attimo più in là e non ci sarebbe stato più niente da fare. Questi sono i casi in cui si può parlare di grosse dosi di radiazioni e quindi di danni immediati talmente gravi -decine e centinaia di migliaia di morti- da sfuggire alle nostre capacità di comprensione. Per questo tipo di eventualità non resta che sperare di continuare ad avere il caso dalla nostra parte.

L'aspetto di cui invece dobbiamo occuparci non riguarda una sia pur remota eventualità futura ma è una realtà del nostro presente: è il fatto che l'esistenza delle tecnologie nucleari, il funzionamento stesso delle centrali e degli impianti nucleari, anche in situazione di assoluta normalità, è responsabile dell'emissione continua di radiazioni e del fatto che noi le assorbiamo.

Stiamo parlando, qui, di dosi di radiazioni molto piccole; non siamo più nell'ordine delle centinaia di REM assorbiti da una persona, ma di meno di un REM, di un millesimo di REM (millirem) e anche meno. Però va anche detto che le radiazioni emesse da una centrale americana o giapponese non sono assorbite solo dagli americani o dai giapponesi, ma anche da noi, anche se è chiaro che chi è più vicino alla centrale assorbe più radiazioni.

Un esempio servirà a chiarire questo punto. Uno degli elementi radioattivi che vengono scaricati da una centrale in funzionamento normale è il Kripto 85, un gas nobile: ora i gas nobili non interagiscono con nessun'altra sostanza, non si combinano, restano gas per tutta la loro esistenza. Quindi, una volta emesso, il Kripto 85 diffonde in atmosfera e, siccome ha un tempo di decadimento medio dell'ordine di una quindicina d'anni, si distribuisce uniformemente in tutta l'atmosfera terrestre prima di decadere. Analogamente succede per altri effluenti radioattivi. A questo aggiungiamo che noi mangiamo tranquillamente pesce pescato nei mari giapponesi o lungo le coste atlantiche dove vanno a finire gli scarichi radioattivi liquidi degli impianti inglesi, o carne di animali allevati, poniamo, non lon

tano dalle centrali americane o argentine. **NON VI SONO CONFINI** per la radioattività, una volta che è entrata nella biosfera. In definitiva, se è possibile e probabile che coloro che vivono - per venire in Italia - nelle vicinanze di Caorso o di Latina o della Trisaia, assorbano più radiazioni, è pur sempre vero che ne assorbono anche gli altri, dovunque si trovino. Anche noi, QUI, ORA.

6 - LE BASSE DOSI DI RADIAZIONI

Torniamo ora al discorso delle dosi basse e bassissime, che sono quelle che assorbiamo a causa del funzionamento di questi impianti. Per cercare di capire come vanno le cose, bisogna tener presente che c'è una differenza fondamentale tra i danni prodotti dalla radioattività e quelli prodotti da un qualsiasi altro inquinante o veleno. Per ognuno di questi, in generale, esiste una soglia, cioè un valore limite della dose, al di sotto della quale quella data sostanza non è più dannosa. Per es., l'arsenico è un potente veleno, ma in piccolissime dosi diventa addirittura una medicina; l'anidride solforosa sulla bocca di un vulcano o all'uscita del camino di una centrale a carbone, soffoca, però ce la ritroviamo come additivo, per es. nell'aranciata, e non dà nessun fastidio, perché appunto è in concentrazioni inferiori al valore di soglia. Per le sostanze radioattive, invece, questa soglia non esiste: qualunque valore di dose, per piccolo che sia, può produrre i danni che abbiamo descritto.

Bisogna sottolineare il può, che sintetizza una caratteristica essenziale del danno da radiazioni, cioè il fatto che il fenomeno è statistico. Vediamo di spiegarci. Supponiamo che arrivi una radiazione su una persona e colpisca una cellula. Può anche uccidere la cellula e in questo caso dopo non succede più niente; oppure può colpire il citoplasma, quel liquido che c'è intorno al nucleolo, che è solo un liquido di nutrimento, o altre parti della cellula (che non sono state menzionate), producendo un danno più o meno esteso alla cellula stessa: ma si tratta di un danno che resta confinato nella sola cellula colpita e si estingue con essa. Insomma esistono molte possibilità che la radiazione, pur colpendo una persona, le procuri un danno che non si riproduce. Il caso grave si avrà se

e quando una radiazione provocherà, direttamente o indirettamente, un danno proprio al DNA. In sostanza, se pensiamo alle radiazioni come a proiettili sparati a caso, da un lato basta un solo proiettile per innescare il processo degenerativo, ma da un altro lato solo alcuni proiettili su molti sparati andranno a segno. In altre parole, non tutte le persone che assorbono radiazioni sviluppano successivamente un cancro. Su un certo numero di persone, diciamo su un milione, che assorbissero una certa dose, un certo numero - 1, 100, 100 mila, si tratta di stabilirlo - subirà il danno, gli altri no.

Il meccanismo di produzione del danno ci fa anche capire che il fenomeno è cumulativo. Se io ricevo un millirem oggi, poi ne ricevo uno dopodomani o fra un anno o non importa quando, gli effetti del millirem che ho ricevuto oggi si sommano in termini statistici con gli effetti dei millirem che assorbirò in un altro momento. Quello che posso affermare è che, se raddoppia la dose che ho assorbito, raddoppia per me la possibilità che quel danno si manifesti. Prendiamo il solito milione di persone, supponiamo che abbiano assorbito 1 rem a testa e che si possa predire il numero di persone che subiranno il danno: se la dose assorbita raddoppia, raddoppia anche il numero di persone che subiranno il danno; se la dose dimezza, dimezza anche il numero delle persone che subiranno il danno.

Il problema a questo punto è il seguente: come si fa a stabilire l'entità del danno in relazione alla dose assorbita? Si tratterebbe di prendere un campione, poniamo di un milione di persone, supporre che abbiano assorbito tutte la stessa dose e stabilire quante dopo 20 anni si ritroveranno col cancro.

Come si può fare? Fare statistiche con gli animali può già porre dei problemi e si capisce che questi problemi diventano insuperabili quando si tratta di esseri umani. Non si può prendere un milione di uomini e irradiarli per fare le statistiche. Quindi l'unico modo possibile per ottenere qualche informazione sul problema è di analizzare i casi in cui, per qualunque motivo, delle persone sono state irradiate.

Per cominciare ci sono i radiologi: si può cercare di stimare quanti, percentualmente hanno contratto il cancro a causa della loro professione e cercare di valutare - questo è il punto più difficile - quante radiazioni hanno assorbito. Per valutare il fattore di rischio, cioè il numero di persone che muoiono su un milione di persone che han

no assorbito una dose unitaria, bisogna sapere non solo quante persone sono morte, ma anche quali dosi hanno assorbito. Nel caso dei radiologi si può tentare di fare delle statistiche sul numero di cancro e gli esiti mortali successivamente verificatisi, ma non si può stabilire quali dosi hanno assorbito, perchè un tempo non usavano portare la famosa piastrina che adesso gli addetti che assorbono radiazioni portano invece per misurare la dose assorbita.

Lo stesso discorso si può fare per gli altri casi, meno rilevanti statisticamente; ad es. per gli orologiai svizzeri, che dipingevano le lancette degli orologi con sali di radio per renderle fosforescenti e pare avessero la "bella" abitudine di umettare il pennello con la lingua, per rendere il liquido meno viscoso. Anche lì si può cercare di ricostruire le statistiche degli eccessi di mortalità, ma nessuno si era preoccupato di mettere i dosimetri addosso a queste persone.

Stessa difficoltà per i minatori che tiravano fuori il Radio e l'Uranio per le lampade di Boemia.

Una grossa fonte di informazione, quella che è stata utilizzata in maniera più sistematica fino ad ora, sono i bombardati di Hiroshima e Nagasaki. Dopo che hanno sganciato le due bombe atomiche, gli americani hanno istituito un servizio imponente di controllo degli effetti, che dura tuttora. Hanno messo sotto controllo tutti i sopravvissuti in quell'area e hanno cominciato a fare le statistiche: quanti hanno avuto delle leucemie, quanti dei cancro ecc. In questo caso hanno anche cercato di ricostruire le dosi che avevano assorbito queste persone. Hanno ricostruito dei pezzi delle due città nel deserto del Nuovo Messico con lo stile, con i materiali, con i dettagli reali; al posto degli esseri umani hanno messo dei fantocci dotati di dosimetri e poi hanno sganciato bombe identiche a quelle sganciate su Hiroshima e Nagasaki, in maniera da riprodurre, per così dire, in laboratorio la situazione che avevano creato in vivo. Quindi, avendo messo dosimetri a distanze variabili dal punto zero, hanno potuto costruire delle mappe "dose-posizione" e successivamente chiedendo ai sopravvissuti dove si trovavano approssimativamente al momento dello scoppio, ricostruire approssimativamente la dose assorbita da ciascuno.

In questo modo, per la prima volta, sono riusciti a mettere in rapporto coerente-

mente dosi assorbite e casi di cancro insorti successivamente. Naturalmente una valutazione di questo genere è ancora inevitabilmente grossolana e si presta a numerosissimi possibili errori.

Le valutazioni sui giapponesi sopravvissuti a Hiroshima e Nagasaki risalgono a una ventina di anni fa. Successivamente, in anni più recenti, nuove e più gravi valutazioni sono state pubblicate nella letteratura specializzata.

Ma a questo punto il discorso si amplia di colpo, perchè non è possibile parlare di queste valutazioni del rischio nucleare senza parlare anche di chi le ha fatte.

Chi sono le persone e le organizzazioni che si sono occupate di questi argomenti? Chi le ha finanziate? Che finalità perseguono? Qual'è la vera situazione?

Ne parleremo nella seconda parte di questo Rapporto.