

Titolo: Energia nucleare e salute

Autore: Giorgio Trenta

Tra le motivazioni dell'avversione al "nucleare" (al di là degli interessi strumentali e di tornaconto personale e politico) vi sono: la paura degli incidenti, lo spavento per i rifiuti radioattivi, il timore della diversione per fini bellici del materiale fissile. Tutte queste motivazioni in modo diretto o indiretto chiamano in causa la preoccupazione per le sorti della propria salute e di quella dei propri discendenti; pertanto la paura per la salute diviene determinante nell'orientare verso il rifiuto l'"attitudine", ovvero il modo di percepire, di sentire e di atteggiarsi nei confronti dell'impiego energetico delle radiazioni, impiego ritenuto, aprioristicamente e per sua natura, malefico. E' pertanto un argomento di indubbio interesse esaminare la correlazione radiazioni-salute al fine di indirizzare in modo più razionale e scientificamente motivato questa attitudine che in modo prevalente è guidata dalla non conoscenza della realtà del mondo nel quale viviamo e da suggestioni di natura psicologica.

Per entrare nel merito dell'argomento vanno messi in evidenza due temi di fondo: la grande variazione nell'esposizione alle radiazioni naturali e le nozioni sulle patologie che possono conseguire all'esposizione alle radiazioni ionizzanti.

Il fondo naturale di radiazioni

Fin dal suo primo manifestarsi la vita sulla terra è iniziata e si è sviluppata immersa in un mare di radiazioni ionizzanti provenienti da "sorgenti naturali". Queste radiazioni in relazione alla loro natura e alla loro provenienza si distinguono in:

- radiazione cosmica (galattica e solare),
- radiazione cosmogenica,
- radiazione primordiale.

La prima proviene attraverso gli spazi galattici dalle stelle della via Lattea, da stelle più lontane appartenenti ad altre galassie e soprattutto dal nostro Sole.

La seconda è costituita dalla cascata a valanga di particelle prodotte nell'alta atmosfera dall'urto della radiazione cosmica sulle molecole di aria; tra queste particelle vi sono anche i neutroni, che interagendo con vari elementi presenti nell'aria e nel suolo producono radionuclidi, quali: trizio, carbonio 14, sodio 22, ecc, radionuclidi che, attraverso la catena alimentare, entrano nel metabolismo umano ed irraggiano l'organismo dall'interno.

La terza proviene dai nuclidi radioattivi presenti sulla terra fin dalla sua formazione, quali principalmente: potassio 40, uranio, torio (radionuclidi caratterizzati da un periodo di dimezzamento confrontabile con l'età della terra) e loro figli radioattivi.

Mentre, molto probabilmente, la radiazione cosmica e quella cosmogenica si sono mantenute sostanzialmente costanti nel corso dei millenni, quella primordiale sicuramente era molte volte superiore ai valori attuali quando, circa 4 miliardi di anni fa, è comparsa la vita sulla terra. Va anche considerato il fatto che la maggiore abbondanza di uranio 235 (circa 50 volte quella attuale) può aver dato luogo a "reattori nucleari a cielo aperto" in varie zone di Pangea; come noto l'ultimo reattore di questo tipo si è estinto in Africa in epoca geologica abbastanza recente. E' quindi ragionevole e scientificamente plausibile pensare che già i primitivi organismi viventi abbiano messo in atto sistemi di protezione e di autodifesa contro gli effetti delle radiazioni, sistemi che non solo hanno loro consentito di sopravvivere, ma addirittura di evolvere e di migliorare in senso positivo le loro funzionalità.

Ma il fondo di radiazioni non solo è stato molto diverso nel corso del tempo, ma, come le misure dirette dimostrano, lo è anche nello spazio. Vi è intanto una notevole differenza per quanto riguarda la componente cosmica con riferimento alla quota. Così la popolazione di Città del Messico riceve annualmente una dose da questa fonte pari a circa tre volte quella che riceve la popolazione romana; ma le differenze più vistose in senso geografico sono dovute alla esposizione alla radiazione primordiale. In tabella 1 sono riportati alcuni valori del rateo di esposizione esterna dovuti principalmente a questa fonte.

Tab 1

AREE GEOGRAFICHE AD ALTO FONDO ($\text{nGy h}^{-1} = 10^{-6} \text{ mSv h}^{-1}$)

<i>Nazione</i>	<i>Area geografica</i>	<i>Valori</i>
<i>Brasile</i>	<i>Guarapari, Pecos de Caldas</i>	<i>90 - 90000</i>
<i>Cina</i>	<i>Yangjiang, Quandong</i>	<i>370</i>
<i>Egitto</i>	<i>Delta del Nilo</i>	<i>20 - 400</i>
<i>Francia</i>	<i>Regione centrale e sudovest</i>	<i>20 - 10000</i>
<i>India</i>	<i>Kerala, Madras</i>	<i>200 - 4000</i>
<i>Iran</i>	<i>Ramsar</i>	<i>70 - 17000</i>
<i>Italia</i>	<i>Lazio</i>	<i>180 media</i>
	<i>Campania</i>	<i>200 media</i>
	<i>Orvieto</i>	<i>560 media</i>
	<i>Sud Toscana</i>	<i>150 - 200</i>
<i>Isole Niue</i>	<i>Pacifico</i>	<i>1100 media</i>
<i>Svizzera</i>	<i>Tessin, Jura</i>	<i>100 - 200</i>
	<i>Media mondiale</i>	<i>60</i>

Tuttavia le più alte differenze geografiche nelle dosi annue da fondo naturale sono da attribuire ai figli di decadimento di alcuni radionuclidi primordiali e, in particolare, alla diversa concentrazione in aria del Radon 222, figlio dell'Uranio 238. Nella tabella che segue (Tab. 2), sono riportate le concentrazioni medie e massime di radon riscontrate all'interno delle abitazioni (indoor) di alcuni paesi.

Tab. 2

CONCENTRAZIONI DI Rn NELLE ABITAZIONI DI ALCUNI PAESI (Bq m^{-3})

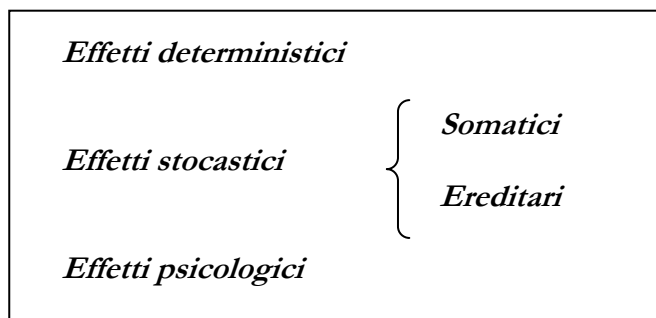
	<i>Valore medio</i>	<i>Valore massimo</i>
<i>Canada</i>	<i>34</i>	<i>1720</i>
<i>Kazakistan</i>	<i>10</i>	<i>6000</i>
<i>Iran</i>	<i>82</i>	<i>3070</i>
<i>Estonia</i>	<i>120</i>	<i>1390</i>
<i>Finlandia</i>	<i>120</i>	<i>20000</i>
<i>Norvegia</i>	<i>73</i>	<i>50000</i>
<i>Svezia</i>	<i>108</i>	<i>85000</i>
<i>Belgio</i>	<i>48</i>	<i>12000</i>
<i>Francia</i>	<i>62</i>	<i>4690</i>
<i>Svizzera</i>	<i>70</i>	<i>10000</i>
<i>Regno Unito</i>	<i>20</i>	<i>10000</i>
<i>Repubblica Ceca</i>	<i>140</i>	<i>20000</i>
<i>Slovacchia</i>	<i>87</i>	<i>3750</i>
<i>Italia</i>	<i>75</i>	<i>1040</i>
<i>Spagna</i>	<i>86</i>	<i>15400</i>
<i>Portogallo</i>	<i>62</i>	<i>2700</i>
<i>Media</i>	<i>46</i>	

Da essa è possibile rilevare una differenza notevole di dosi tra gruppi diversi di popolazione in relazione alla loro locazione geografica. In particolare indicazioni più puntuali indicano un intervallo di dose annua che va da 1 mSv/a a oltre 50 mSv/a. Si tratta di valori che vanno considerati come punti di

riferimento con cui, per dominare la paura, si possono fare dei raffronti nelle situazioni in cui si siano ricevute o ci sia il timore di ricevere delle dosi dell'entità indicata: infatti nessun essere vivente, vivendo in questo ambiente, manifesta segni di sofferenza.

Gli effetti delle radiazioni

Il capitolo della radiopatologia, nel vasto libro della patologia umana, ha ormai raggiunto una sua definitiva collocazione attraverso l'individuazione e la dettagliata definizione dei quadri nosologici che vengono raggruppati nei seguenti paragrafi:



Gli effetti somatici deterministici conseguono all'individuo entro "breve tempo" a seguito di esposizione di entità rilevante (>1 Sv), la cui incidenza è caratterizzata da una relazione dose-effetto con soglia e la cui gravità sul piano sintomatologico, clinico e prognostico è correlata con la dose.

Va esplicitamente rilevato che effetti di questo tipo non si sono mai verificati tra la popolazione, neanche nei casi degli incidenti più gravi che sono occorsi nei reattori nucleari.

Gli effetti stocastici raggruppano gli effetti che conseguono all'individuo (effetti somatici, cioè tumori e leucemia) o alla sua progenie (effetti ereditari) e che sono caratterizzati dai seguenti elementi:

- compaiono "a caso" tra gli esposti,
- si manifestano in tempi lunghi (anni, decenni) dopo l'esposizione,
- la loro incidenza è caratterizzata da una relazione dose-probabilità, il cui andamento è interpolabile per lo più con una retta,
- si suppone che possano manifestarsi anche a seguito di esposizioni di bassa entità,
- si suppone che non vi sia la presenza di una soglia.

L'ipotesi dell'assenza di soglia riguarda sia gli effetti ereditari, che non sono mai stati osservati nella specie umana neanche tra le popolazioni più esposte a radiazioni come i sopravvissuti alle esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki, sia quelli somatici consistenti nella induzione di tumori sui tessuti o sugli organi dell'individuo esposto.

A questi due paragrafi canonici, anche a seguito delle reazioni riscontrate in situazioni incidentali, va aggiunto un ulteriore paragrafo, dal titolo: "effetti psicologici". Tali effetti sono caratterizzati dal fatto di essere immediati, di conseguire anche in assenza di un assorbimento di dose e di risultare correlati con le caratteristiche psicologiche, nonché con il livello di conoscenza specifica dell'esposto.

Poiché il tema degli effetti stocastici è il tema dominante per gli interessi della collettività, merita precisare alcuni elementi di basilare importanza per la comprensione di questi effetti, che compaiono con incidenza casuale e per i quali, convenzionalmente e per i fini della radioprotezione, si assume una probabilità non nulla di comparsa anche per dosi molto piccole e prossime allo zero, e cioè si assume l'assenza di una soglia. E questo è il punto nodale.

I tumori radioindotti sono aspecifici, nel senso che presentano caratteristiche del tutto eguali a quelli "naturali" o a quelli indotti da altri agenti cancerogeni. Per valutare, in una popolazione esposta, quanta responsabilità è attribuibile alle radiazioni e quanto invece è frutto di altri fattori, si fa ricorso al

concetto di rischio relativo, definito come rapporto tra tasso oncogeno (T_O) nella popolazione esposta e tasso oncogeno (T_E) in una popolazione del tutto raffrontabile con la prima ad eccezione dell'esposizione a radiazioni:

$$R = \frac{T_O}{T_E}$$

Gli studi epidemiologici condotti su varie coorti di individui esposti hanno consentito di dedurre delle stime di rischio oncogeno per dosi medio-alte (maggiori di 100-200 mSv e inferiori a 3-4 Sv); in questo intervallo di valori l'andamento del rischio è ben interpolabile con una retta.

La situazione non è invece altrettanto soddisfacente per le basse dosi per le quali le indagini e gli studi effettuati non sono riusciti, per mancanza di effetti chiaramente ed univocamente correlabili alle radiazioni, a fornirci indicazioni statisticamente significative di un aumento del rischio oncogeno tra gli esposti. L'andamento dei punti indicativi di rischio nella regione delle basse dosi si sovrappone infatti alle fluttuazioni statistiche del "fondo naturale di tumori". Inoltre in corrispondenza a detti valori di dose vi sono dati epidemiologici e di radiobiologia che depongono per l'assenza di rischio ($R = 1$) o addirittura per un rischio inferiore ad 1. Allora, ed è questo un punto molto importante perché sta alla base della impostazione filosofica della radioprotezione, ci si pone in una prospettiva di cautela e si introduce l'ipotesi che quel rapporto di linearità possa esser estrapolato anche alle piccole dosi fino a dose zero, senza quindi una soglia al di sotto della quale considerare assenti gli effetti neoplastici. Prospettiva di cautela, in quanto è ben evidente, come appena accennato più sopra, che l'organismo ha delle risorse reattive alla noxa con le quali cerca di opporsi al danno o di ripristinare le condizioni "quo ante", risorse rappresentate da vari meccanismi di protezione, di riparazione e di eliminazione degli effetti elementari indotti dalla radiazione. La Radiobiologia, l'Immunologia e l'Oncologia medica indicano infatti la presenza di almeno 4 livelli di intervento da parte di vari meccanismi biologici, il cui scopo è quello di salvaguardare l'omeostasi dell'organismo e di proteggere la specificità individuale.

A sostegno della presenza di un sistema di difesa dell'organismo dalle radiazioni vi sono numerose indicazioni. Queste costituiscono l'equivalente un fenomeno già noto nei confronti di noxae "convenzionali", come: il mitridatismo nei riguardi di specifici veleni, l'abbronzatura nei confronti delle radiazioni solari o la vaccinazione nei confronti di molte malattie infettive.

Per quanto riguarda le radiazioni ionizzanti si parla di "risposta adattativa". Si tratta di un modo di reagire degli esseri viventi evidenziato per la prima volta nel 1984 da Olivieri e coll. che hanno rilevato un numero ridotto di aberrazioni su colture di linfociti umani "pretrattate" con timidina triziata nel terreno di coltura e quindi irradiate con dosi medio-alte, rispetto a colture linfocitarie nel cui terreno di coltura non era presente timidina triziata. Questo primo esperimento è stato seguito da altre ricerche, regolarmente riproducibili, condotte con altri diversi indicatori ("end points") biologici e con altri tipi di cellule dando credito all'evidenza di una scoperta di grande interesse intrinseco e di grande importanza pratica nella comprensione di cosa può verificarsi a dosi molto basse e di come questo possa quindi influenzare le stime di rischio.

La risposta adattativa non è un fenomeno limitato solamente alle cellule in coltura, ma è stata riscontrata anche su animali irradiati "in vivo" esaminando soprattutto il comportamento delle cellule linfatiche, ma non solo. Gli effetti delle basse dosi sul sistema immunitario sono importanti in quanto un sistema immunitario potenziato può intervenire più efficacemente a distruggere le cellule mutate, che vengono riconosciute come non proprie da parte dell'organismo.

Riguardo a tale fenomeno, numerosi sono anche i dati che derivano da studi epidemiologici umani dimostranti un effetto di adattamento alle basse dosi. Tra i più rilevanti e discussi si può citare quello di B. Cohen che mostra una correlazione inversa del tumore del polmone in funzione della concentrazione di radon indoor negli Stati Uniti, al contrario di quanto porterebbe a prevedere l'ipotesi lineare senza soglia. Un'altra indagine emblematica, per spiegare i risultati della quale è stato invocato l'"Healthy worker effect" però con scarso convincimento trattandosi di confronti tra lavoratori dello stesso cantiere, è quello dei lavoratori del cantiere navale nucleare di Portsmouth. La ricerca, commissionata dal Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti, ha posto a raffronto i tassi standardizzati di mortalità per la leucemia ed altri tumori (linfoma, ca. polmonare, mesotelioma) tra esposti al di sopra

di 5 mSv ed esposti a dosi inferiori a 5 mSv. Il tasso di mortalità negli esposti a più di 5 mSv è risultato dell'85% inferiore, ad un livello statisticamente significativo, rispetto a quello degli altri lavoratori.

Un altro studio epidemiologico è quello riportato da Kondo relativo al raffronto tra due popolazioni cinesi geograficamente isolate e soggette a dose da fondo naturale, l'una doppia rispetto all'altra. La mortalità oncogena per diversi tumori nella popolazione esposta a fondo più alto è risultata più bassa (ad eccezione del tumore dell'utero) della mortalità nella popolazione a fondo di radiazioni più basso. Sono questi solo due dei numerosi raffronti fatti tra popolazioni interessate da dosi da fondo naturale anche notevolmente diverse che, come i citati, non hanno mostrato effetti negativi in eccesso nelle popolazioni a fondo più alto (sono un esempio anche i raffronti tra le popolazioni delle varie regioni italiane rispetto al fondo di radiazioni).

E' stato rilevato altresì che un pretrattamento con basse dosi di radiazioni, aumenta l'efficacia sia della radioterapia che della chemioterapia.

Una indicazione non congruente con l'ipotesi lineare deriva anche dagli esposti all'esplosione atomica di Nagasaki. La mortalità della popolazione di Nagasaki non esposta risulta più alta rispetto alla mortalità tra i sopravvissuti esposti all'esplosione.

Le indicazioni riportate non sono le uniche a dare indicazioni contrarie all'ipotesi lineare senza soglia: la letteratura scientifica è ricca di dati indicativi di una inconsistenza dell'ipotesi stessa sia con riferimento ad esperimenti in vitro, che a evidenze radiobiologiche su animali, che, infine, a risultanze di indagini epidemiologiche su popolazioni esposte a basse dosi.

Di fronte a quanto esposto, la cosa che suona strana è che chi sostiene l'alta pericolosità delle basse dosi, sostiene molto spesso anche l'alta efficacia delle terapie omeopatiche.

La cautela

L'ipotesi lineare senza soglia è pertanto fortemente e a volte anche aspramente contestata in ambito scientifico, mentre trova la sua piena giustificazione in un contesto di precauzione. Ma nell'ambito dell'impiego delle radiazioni ionizzanti, ed in particolare nell'impiego energetico, la precauzione non può essere intesa in modo integralista. Essa fin dalle sue origini negli anni '50 è basata su tre discipline che iniziano con la p:

- previsione,
- prevenzione e
- protezione

se queste falliscono, segue un'altra disciplina con la p: la patologia da radiazioni e quindi i successivi trattamenti terapeutici.

Senza entrare nel merito del "principio di precauzione", da tempo in vigore come raffronto rischi-benefici nel settore che ci interessa, si vuole qui soffermare l'attenzione sulla protezione e sulla cautela che ha spinto questa disciplina ad adottare l'ipotesi lineare senza soglia. Essa è maturata in modo graduale a partire dagli anni '50 quando la letteratura scientifica ha cominciato ad evidenziare l'incremento degli effetti oncogeni (in particolare leucemia) negli esposti alle esplosioni nucleari. La cautela che detto incremento ha indotto negli organismi di protezione ha portato alla formulazione del "principio ALARA", secondo il quale l'"esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere mantenuta al livello più basso possibile, tenendo conto degli aspetti economici e sociali". Quindi, non bando dell'impiego delle radiazioni, ma commisurazione di un effetto negativo "in ipotesi", rispetto ai vantaggi (e svantaggi) di carattere economico e sociale. Questo principio è andato ulteriormente consolidandosi e precisandosi in modo più concreto negli anni successivi, quando si è cercato di quantificare il rischio sanitario dovuto all'esposizione a radiazioni: l'ipotesi lineare senza soglia è divenuto lo strumento cardine della radioprotezione. In particolare la cautela e la giustificazione dell'impiego delle radiazioni devono essere congiunte assieme attraverso lo strumento dell'ipotesi della linearità, sia per facilitare le valutazioni socio-economiche, sia per consentire in modo semplice la trattazione matematica delle valutazioni dosimetriche.

Merita anche precisare come viene effettuata in pratica la valutazione numerica del rischio. Questa, come si può intuire da quanto detto, non è solo frutto dell'approccio statistico epidemiologico alle dosi medio-alte, ma è anche il risultato di ipotesi suggerite dall'andamento dei dati, da esigenze di

modellazione dei medesimi, dalla introduzione di ipotesi che, anche se non ritenute da tutti verosimili, sono in ogni caso improntate al principio di prudenza. L'organismo di vertice che valuta e propone formalmente il modello valutativo è l'International Commission on Radiological Protection (ICRP). Questa Commissione nel valutare il rischio parte dalla constatazione di una correlazione lineare tra esposizione a dosi medio-alte e mortalità oncogena, suppone l'assenza di una soglia, introduce un fattore di riduzione dagli alti ai bassi ratei di dose, adotta un criterio di proiezione nel tempo, formula il modello per il trasferimento da una popolazione all'altra, effettua le mediazioni tra popolazioni selezionate, dà una interpretazione analitica tra l'esposizione acuta e quella prolungata nel tempo, ecc. Appare pertanto chiaro che il modello lineare senza soglia diviene uno strumento valutativo del rischio che risulta solo in parte legato alle evidenze epidemiologiche e molto alle ipotesi, ai modelli ed ai criteri di cautela, il che ne riserva chiaramente un impiego limitato alle sole esigenze di protezione. Desta pertanto sconcerto e meraviglia il suo impiego in situazioni post-incidentali da parte di persone di cultura che se ne servono per predire il numero di morti che verranno riscontati nelle popolazioni esposte negli anni futuri: eseguire una semplice moltiplicazione, senza pensare a quello che ci sta dietro, non è infatti una operazione per la quale si richiede grande cultura.

La modellazione del rischio stocastico secondo le modalità, le ipotesi e le assunzioni sopra indicate riguarda valutazioni di tipo proiettivo fatte "a priori" cioè prima dell'esposizione. Esse hanno certamente lo scopo di stimare la probabilità di incorrere in un tumore radioindotto nel corso della vita futura, ma sono valutazioni lecite per i fini della radioprotezione. In particolare sono le valutazioni condotte nell'applicazione dei criteri di giustificazione e di ottimizzazione adottati nelle analisi previsionali di rischio in vista della realizzazione di una nuova "pratica". Va detto pertanto in maniera esplicita ed enfatica che questo stesso strumento non può venir applicato in maniera acritica e semplicistica nelle situazioni "a posteriori" per stimare i morti per tumore in conseguenza di situazioni incidentali, senza incorrere nel sospetto di far dell'allarmismo o addirittura del terrorismo psicologico, magari per fini strumentali. Le situazioni post-incidentali sono infatti materia dell'altra disciplina alla quale si è fatto cenno più sopra: la patologia da radiazioni, che ha ben altri strumenti di valutazione prognostici.

La radioprotezione, se presta i suoi strumenti ad altre discipline, può divenire essa stessa un rischio per la salute, producendo "più male che bene" contrariamente al suo obiettivo.

Gli effetti psicologici

Il Comitato UNSCEAR a proposito dell'incidente di Chernobyl così commenta: "Se si esclude l'aumento del cancro tiroideo a seguito dell'esposizione dei bambini, non è stato osservato complessivamente nessun altro incremento di incidenza o di mortalità oncogena attribuibile alle radiazioni ionizzanti. Il rischio di leucemia, uno dei principali riferimenti (la leucemia è il primo tumore a comparire dopo l'esposizione alle radiazioni in conseguenza del suo breve periodo di latenza di 2-10 anni) non è risultato elevato, neanche tra i lavoratori impegnati negli interventi di recupero. Né esiste altresì alcuna altra prova di altre malattie non oncologiche che siano da correlare con le R.I. Tuttavia ci sono state delle diffuse reazioni psicologiche all'incidente, dovute alla paura delle radiazioni e non alle reali dosi da radiazione."

Le principali caratteristiche degli effetti psicologici che interessano il singolo individuo sono rappresentati dal fatto che:

- sono immediati,
- conseguono anche a dosi nulla,
- sono correlati alla personalità dell'esposto
- dipendono dal grado di conoscenza che l'esposto ha sulle radiazioni.

Il termine "irradiazione" unito poi al termine "cancro" è capace di stimolare una forte componente emotiva, che genera di per sé stessa una sintomatologia a volte evidenziabile anche sul piano clinico. È questo il tipo di effetti che condiziona in maniera determinante la risposta collettiva alla proposta di installazione di attività nucleari nel territorio. Mentre è ragionevole pensare che in alcuni individui questa avversione risieda in buona parte in interessi di tipo economico, sociologico e politico, a livello dell'uomo della strada la diffidenza ed il timore con la quale questi avverte il rischio da radiazioni,

hanno una giustificazione essenzialmente su base psicologica. Tale atteggiamento potrebbe essere attribuibile a una o più delle seguenti motivazioni:

- associazione mentale conscia o inconscia con la tragedia di Hiroshima e Nagasaki.
- incapacità, per mancanza di un organo di senso specifico, di percepire la presenza della noxa radiogena assimilata per questo a "spirito del male";
- difficoltà obiettiva di comprensione di un linguaggio esoterico come quello fisico e tecnologico;
- adozione, nella impostazione della filosofia di radioprotezione, di una cautela eccessivamente discriminante rispetto ad altre noxae.

Il modo anomalo di percepire questo rischio è di per sé stesso generatore di stress, di una situazione, cioè, di disadattamento biologico, psichico e sociale che richiede dall'organismo, dal sistema nervoso e dalla psiche uno stato di allerta, di tensione e di consumo energetico e che comporta effetti patologici sia psichici che organici nel caso che la situazione sia intensa e protratta nel tempo. Lo stress, che di per sé è una fisiologica e positiva reazione di allarme di fronte al pericolo, in situazioni di incidente con radiazioni, specialmente se vi è la sapiente e melliflua imbonizione di navigati registi che diffondono informazioni strumentali, che fanno leva sulla paura della gente per scatenare malumori, rancori e furori, comporta un timore, sproporzionato rispetto al reale oggetto; la paura degli effetti della radiazione genera così una reazione patologica di tipo fobico cui è stato assegnato il nome di radiofobia.

Il ciclo fisiologico dell'allarme invece di riprendere la via dell'omeostasi, si trasforma in ansia che, da una parte, dà origine sull'individuo ad effetti somatici, dall'altra si trasforma in panico che coinvolge i vicini in una sorte di contagio psichico, generando nella collettività comportamenti e fenomeni psicosociali deleteri.

Il modo collettivo di "sentire" le minacce incombenti sulla salute, se protratto nel tempo, rappresenta uno "stressore" cronico collettivo che si amplifica nel contatto sociale con gli altri e che diviene il timone che determina l'orientamento dell'agire e che ha indotto:

- aborti,
- suicidi per depressione,
- aggravamento di patologie cardiovascolari,
- rinuncia ad esami di radiodiagnostica, con le conseguenze derivanti da diagnosi tardiva,
- conflittualità sociale,
- accaparramento,
- confinamento dei bambini al chiuso,
- eccesso di richiesta di assistenza sanitaria immotivata, con impedimento del normale funzionamento delle strutture sanitarie,
- riduzione della natalità,
- incetta di prodotti dalle supposte proprietà terapeutiche,
- frodi in commercio,
- contenziosi giuridici strumentali,
- creazione di esperti improvvisati,
- overloading dei mezzi di comunicazione, ecc...

Basta solo il numero di aborti (cosiddetti eugenetici), stimati in 150000 in tutta Europa, per dare un'idea dell'enorme danno sanitario prodotto, non certo dalle radiazioni, ma dalla loro immotivata paura.

Raffronto sanitario

Probabilmente il comportamento nei confronti del nucleare è lo scotto che ogni nuova tecnologia deve pagare fino a che questa non si è ben consolidata, che non è liberamente accettata per una migliore conoscenza sui reali rischi e che non si impone da sé stessa per gli evidenti e tangibili vantaggi che offre. Al di là quindi degli aspetti psicologici, una pacata riflessione ed un raffronto tra i soli effetti sanitari attribuibili alle varie tecnologie energetiche, dovrebbe mostrare chiaramente l'ineluttabilità della scelta più favorevole. Senza successivi commenti si riportano di seguito alcune tabelle e figure di raffronto, indicative dei vantaggi e degli svantaggi associabili alle varie fonti

energetiche, derivanti dalla storia degli ultimi anni e dalle valutazioni del loro impatto sanitario ed ambientale.

Una prima tabella ci riporta il numero di morti acute dovute alle dirette attività di produzione di energia con riferimento alle varie fonti (Tab. 3). L'ultima colonna riporta il numero di morti per kilowattora elettrico prodotto.

Tab. 3

MORTI IMMEDIATE A SEGUITO DI INCIDENTI (1970-92)

Fonte	eventi	Numero di morti		N. di morti per GWe/a
		intervallo	morti totali	
Carbone*	133	5-434	6418	0,32
Petrolio	295	5-500	10273	0,36
Gas naturale	88	5-425	1200	0,09
Idroelettrica	13	10-2500	4015	0,8
Nucleare	1	31	31	0,01

***Il totale sarebbe circa 10 volte più alto se venissero inclusi eventi con meno di 5 morti**

Un altro aspetto importante per la salute è rappresentato dall'effetto serra. Se questo fosse realmente dovuto all'inquinamento antropico di CO₂, allora la fonte nucleare e quella idroelettrica congiuntamente e quasi in pari misura negli ultimi anni, hanno comportato circa il 18% di riduzione delle emissioni di gas serra.

Anche i volumi, in relazione agli ingombri ed alle masse necessarie per produrre energia, possono rappresentare dei rischi per la salute. A tal fine nella tabella 4, sono riportati i chilowattora prodotti da eguali masse di materiali "combustibili". Da notare che, qualora attraverso il riprocessamento si recuperasse il materiale fissile, l'energia producibile soddisferebbe le esigenze dell'umanità per millenni.

Tab. 4

RELAZIONI TRA MASSE ED ENERGIA PRODOTTA

Per produrre si richiede:

1 kW h	1 kg di legna
3 kW h	1 kg di carbone
4 kW h	1 kg di petrolio
50 000 kW h	1 kg di uranio
(3 500 000 kW h	con riprocessamento)

Anche il trasporto del combustibile rappresenta un rischio per la salute (e per l'ambiente) soprattutto a seguito di incidenti, la cui frequenza aumenta con le masse da trasportare. La tabella 5 dà una indicazione dell'esigenza di movimentazione necessaria per produrre 1000 MW elettrici per anno.

Tab. 5

ESIGENZE DI TRASPRTO DEL COMBUSTIBILE NECESSARIO PER PREODURRE UN'ENERGIA DI 1000 MWe-anno

2 600 000 t carbone
2 000 000 t petrolio
30 t uranio

2000 carri ferroviari
10 superpetroliere
nucleo del reattore (10 m³ 1 carro ferroviario)

Infine anche la disponibilità di spazio ha a che vedere con la salute. Pertanto deve essere messo nel conto che la sottrazione di superfici di territorio, specialmente se utilizzabili per le primarie ed irrinunciabili esigenze umane, è un spreco che paesi come il nostro non possono permettersi. La tabella seguente (Tab. 6), indica la superficie necessaria per realizzare un impianto della potenza di 1000 MW da varie fonti energetiche.

Tab. 6

SUPERFICIE RICHIESTA PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DA 1000 MWe

<i>per "fossile" e nucleare, un sito di:</i>	<i>1-4 km²</i>
<i>per solare termico o fotovoltaico, un parco di:</i>	<i>20-50 km²</i>
<i>per eolico, un campo di:</i>	<i>50-150 km²</i>
<i>per biomassa, una piantagione di:</i>	<i>4000-6000 km²</i>

il Maestrone

Conclusioni

La presente esposizione non vuole certo negare gli effetti negativi che possono derivare dall'esposizione a radiazioni ionizzanti, ciò che vuole invece evidenziare in modo pacato ed onesto è il fatto che è tutt'altro che chiaro l'effetto negativo a dosi basse. Come rileva l'UNSCEAR rischi statisticamente significativi per il tumore negli esposti alle esplosioni giapponesi vengono rivelati per dosi acute superiori a 100 mSv. Al di sotto di tale valore le indagini radiobiologiche ed epidemiologiche sono silenti, anzi, come si è visto, vi sono addirittura risultati che testimoniano per la presenza di effetti positivi per la salute. L'adozione di criteri prudenziali alle basse dosi, come: la sorveglianza fisica, la sorveglianza medica, la limitazione della dose annua, ecc.. hanno solo un significato di cautela per fini di protezione, così come si verifica nei confronti di qualsiasi altra noxa. L'ipotesi lineare senza soglia ha essenzialmente questo significato e come tale non può essere impiegata per finalità diverse dalla protezione: essa rappresenta un insostituibile strumento per giustificare e per ottimizzare tutte quelle attività svolte con l'impiego delle radiazioni ionizzanti. Se questi concetti verranno ben compresi, allora verrà sconfitta la paura e con essa tutti coloro che sulla paura della gente cercano di raggiungere gli obiettivi del loro personale interesse economico e politico a svantaggio degli interessi della collettività.

Giorgio Trenta

il Maestrato