

Reattori Atomici e Salute

I reattori nucleari, nei loro 60 anni di esistenza, hanno registrato una lunga serie di incidenti: oltre agli incidenti più noti di Three Mile Island del 28 marzo 1979, di Chernobyl del 26 aprile 1986 fino all'ultimo tragico dell'11 marzo 2011 ai reattori di Fukushima non ancora risolto, sono stati riscontrati diversi altri incidenti, di varia intensità, avvenuti nel tempo a carico di reattori atomici e non solo ⁽¹⁾ tra cui alcuni incidenti sono molto recenti ^(2, 3, 4). Tuttavia, dato che la criticità e la pericolosità degli impianti non è eliminabile, i gestori hanno sempre cercato di minimizzare la gravità e di evitare pubblicità negative ed allarmismi. Premesso che una sicurezza assoluta nell'esercizio di un reattore nucleare è un'utopia, avvicinarsi o assicurare livelli di sicurezza sempre maggiori è fattibile solo incrementando in maniera esponenziale i costi di costruzione e di esercizio, quindi aumentando di molto il costo al kWh prodotto dalle centrali atomiche, che già oggi non è conveniente, essendo superiore a quello dell'eolico, oltre che del gas e delle altre fonti fossili ^(5, 6).

Le radiazioni emesse durante gli incidenti più o meno gravi causano evidenti danni alla salute umana, che possono sopraggiungere sia nell'immediato, come le varie sindromi da radiazioni spesso fatali (neurologici, cardiovascolari e gastrointestinali, secondo la dose assorbita) che dopo diversi decenni (tumori e difetti genetici trasmissibili). In questa breve nota non mi voglio soffermare su tali danni ma soltanto sui rischi sanitari presenti in condizioni di funzionamento normale dei reattori atomici, i quali emettono sempre e comunque minime dosi di radiazioni, che vengono normalmente accettate perché dichiarate innocue. **Infatti i reattori atomici, sia in condizioni di normale "routine" che accidentalmente, emettono piccole dosi di elementi radioattivi che, rilasciati nell'ambiente, permangono molto a lungo, vengono inalati e ingeriti con il cibo e l'acqua e si accumulano nell'organismo.**

In particolare gli impianti nucleari emettono Trizio sia nell'aria, sotto forma di gas, che nell'acqua ⁽⁷⁾. Rilasci accidentali di Trizio si sono verificati anche recentemente in Francia ⁽⁹⁾ e in Canada ⁽⁴⁾. Tuttavia, le dosi di Trizio rilasciate sono considerate talmente basse e i costi per filtrarlo talmente elevati, che la Commissione Nucleare degli U.S. non ne richiede l'eliminazione ^(10, 11). Il Trizio è un isotopo radiattivo dell'Idrogeno e, sostituendolo nella molecola di acqua, può entrare nella catena alimentare e essere incorporato nell'organismo, continuando ad emettere radiazioni beta per almeno 10 anni ⁽¹²⁾.

Ognuno di noi è sottoposto ogni giorno a piccole dosi di radiazioni naturali presenti nell'ambiente che ci circonda: la dose media ricevuta dalle radiazioni naturali (radiazioni cosmiche e terrestri) dipende dalle condizioni geologiche e dall'altitudine e la dose assorbita dall'uomo può variare da 1 a 10 milliSievert/anno (mSv/a). Queste radiazioni naturali non sarebbero tuttavia completamente innocue. Infatti si stima che le radiazioni cosmiche sarebbero responsabili dell'1% del rischio totale di contrarre il cancro ⁽¹³⁾. Mentre, nel caso del Radon, gas presente nelle miniere di uranio, ma anche un po' ovunque nel terreno e anche nel 5% delle case americane, esiste una stretta correlazione con l'aumento del rischio di tumori al polmone. In particolare si stima che il Radon casalingo sarebbe il responsabile di 20.000 casi di morti per tumore polmonare all'anno ⁽¹³⁾. Nel caso invece degli effetti del Radon sulla salute dei lavoratori dell'Uranio, ricordo uno studio commissionato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro e pubblicato nel 2007, che ha valutato più di 400.000 lavoratori nell'industria dell'Uranio in 15 paesi e che ha dimostrato un elevato rischio di cancro correlato con la dose di radiazioni assorbite. Soprattutto un elevato rischio di mieloma e di tumori al polmone ⁽¹⁴⁾.

Riguardo alle radiazioni emesse dalle Centrali Nucleari è stato imposto dalla Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica che il limite massimo che il pubblico possa ricevere da un impianto nucleare sia di 1 mSv/anno al di sopra del background naturale. Questo limite viene comunemente accettato, nonostante che gli standard di protezione radiologica assumano che ogni dose di radiazione, non importa quanto piccola essa sia, possa comportare un rischio possibile per la salute umana e nonostante sia ampiamente riconosciuto che è consigliabile evitare l'esposizione di routine alle radiazioni ionizzanti a bassi dosaggi, considerando che l'esistenza di una dose sicura di radiazioni è

al momento sconosciuta ⁽¹⁵⁾. Gli effetti dei bassi dosaggi emessi dalle centrali possono dipendere oltre che dal tipo di radiazione soprattutto dalla variabilità dell'individuo, relativa all'età, al sesso, allo stato di salute, all'interazione con altri fattori di rischio cancerogeno e soprattutto alla sua capacità naturale geneticamente determinata di instaurare una risposta biologica alle radiazioni.

Radiazioni emesse dai reattori atomici e Tumori

Sono numerosi gli studi fatti in varie parti del mondo (USA, Spagna, Inghilterra, Germania, Canada, Svezia, Francia, Giappone) che hanno considerato la relazione tra insorgenza di vari tipi di tumore e vicinanza a centrali nucleari.

Le prime evidenze di una correlazione tra leucemia e installazioni nucleari risalgono al 1983, quando si osservò che i bambini che abitavano vicino all'impianto di riprocessazione del combustibile nucleare di Sellafield (Inghilterra) sviluppavano leucemie. Dopo di allora ci furono molti altri studi epidemiologici che hanno dimostrato un aumento del rischio di contrarre la leucemia tra i giovani che vivevano vicino alle centrali nucleari. Così, nel 1986 è stato pubblicato uno studio in cui si dimostrava un incremento della leucemia nei bambini che vivevano vicino all'impianto nucleare di Dounreay in Scozia ⁽¹⁶⁾.

Tra il 1987 e il 1989, altri studi inglesi riportarono un aumento significativo di leucemia in bambini sotto i 15 anni che vivevano entro le 10 miglia da impianti nucleari in Inghilterra e in Galles ^(17, 18).

Nel 1992 in Germania si è evidenziato un incremento statisticamente significativo di leucemie infantili in bambini sotto i 5 anni che vivevano vicino ad alcune centrali nucleari ⁽¹⁹⁾. Nel 1993 è stato effettuato uno studio sempre in Germania dove si evidenziava un aumento eccezionale di leucemia in bambini insieme ad un aumento significativo di leucemia negli adulti dopo l'apertura della centrale nucleare di Krimmel ⁽²⁰⁾.

Nel 1995 è stato riscontrato un eccesso di casi di leucemia tra i giovani che vivevano vicino all'impianto di riprocessazione di La Hague ⁽²¹⁾. In tal caso è stata ipotizzata la causa nell'ambiente marino (sabbia con cui giocavano i bambini, pesci e frutti di mare) contaminato da radionuclidi emessi dall'impianto nucleare ⁽²²⁾.

Tutti questi risultati hanno stimolato una lunga serie di studi con risultati molto controversi, tendenti a non riconoscere il fatto che le emissioni ionizzanti durante il funzionamento di centrali nucleari potessero aumentare il rischio di leucemie nei bambini, adducendo motivi di scarso valore statistico. Le dosi emesse dalle centrali sono in effetti molto inferiori a quelle ammesse dalla normativa per la sicurezza nucleare e si è cercato in ogni modo di minimizzare gli effetti delle radiazioni sull'incremento riscontrato delle leucemie, imputando tale incremento ad altri agenti causali (inquinanti, virali etc.).

Per risolvere queste controversie il Governo Federale Tedesco nel 2003 finanziò uno studio caso-controllo commissionandolo all'Università di Mainz. Lo studio è noto come **studio KiKK** (*Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken = Childhood Cancer in the Vicinity of Nuclear Power Plants*).

Lo studio ha analizzato tutti i casi di tumore (1592 casi verso 4.735 controlli) e di leucemie (593 casi verso 1776 controlli) in bambini sotto i 5 anni che vivevano vicino a tutte le 16 centrali tedesche ed è riferito a un arco di tempo di 20 anni (dal 1980 al 2003). I risultati dimostrano in questi bambini per le Leucemie un incremento statisticamente significativo di 2,19 volte a una distanza dalla centrale di 5 km e di 1,33 volte a una distanza di 10 km, con un effetto quindi inversamente proporzionale alla distanza ⁽²³⁾, mentre per altri tumori solidi un incremento statisticamente significativo di 1,61 volte di tumori a una distanza dalla centrale di 5 km e di 1,18 volte a una distanza di 10 km ⁽²⁴⁾. Gli autori tuttavia non spiegano i motivi per cui le radiazioni emesse da un reattore normalmente funzionante, inferiori a quelle naturali (terrestri, cosmiche) potrebbero indurre leucemie o altri tumori nei bambini molto piccoli. La possibile spiegazione dei risultati viene invece fornita da un successivo studio inglese del 2009 che indica come causa dell'incremento di leucemie nei bambini *l'effetto teratogenico dei radionuclidi emessi dai reattori e incorporati dalla madre durante la gestazione*. I tessuti ematopoietici

del feto e dell'embrione sono molto più radiosensibili di quelli dei bambini. La contaminazione progressiva dell'embrione e del feto nel grembo materno diminuisce con la distanza dalla centrale ⁽²⁷⁾.

Lo studio KIKK con la sua autorevolezza, con la sua significatività statistica e con l'ampiezza dei casi trattati, conferma che esiste una correlazione tra la distanza dalle centrali nucleari e il rischio di sviluppare un cancro (in particolare leucemia) nei bambini con meno di 5 anni, avvalorando così tutti i risultati ottenuti nei venti anni precedenti. Quindi, considerato che quando l'ipotesi è confermata da risultati sperimentali certi diventa teoria (come dice anche Umberto Veronesi), si può ormai assumere il dato come teoria.

Ad ulteriore conferma ricordo un lavoro di meta-analisi dove si analizzano dati di 17 lavori di ricerca su 136 siti nucleari in UK, Canada, Francia, USA, Giappone, Spagna e Germania. I risultati statisticamente significativi mostrano anche qui un elevato rischio di leucemia e di casi mortali di leucemia in bambini che vivono vicino a centrali nucleari ⁽²⁵⁾. Lo stesso dato è stato evidenziato anche vicino alla centrale nucleare di Amburgo ⁽²⁶⁾.

Ricordo infine la recente lettera (febbraio 2009) che *Ernest Sternglass*, prof. Di Fisica Radiologica alla Scuola di Medicina dell'Università di Pittsburgh, e Direttore del *Radiation and Public Health Project*, ha inviato al Segretario all'Energia degli Stati Uniti, Steven Chu, e a tutto il Governo. In tale lettera ammette che *gli scienziati hanno sempre sbagliato* ritenendo che *gli effetti sulla popolazione dell'esposizione alle radiazioni, conseguente anche al funzionamento dei reattori nucleari, non avessero effetti negativi sulla salute umana*. Sternglass, pur essendo stato, negli ultimi trent'anni, un convinto sostenitore dell'uso dell'energia nucleare, ammette pubblicamente il tragico errore e riconosce che le particelle e i gas prodotti nel processo di fissione e rilasciati nell'ambiente nei pressi delle centrali, *sono inalati e ingeriti con il latte, l'acqua potabile e il resto della dieta*, e si concentrano progressivamente in organi critici del corpo provocando danni evidenti da radiazioni ⁽²⁸⁾.

Considerazioni sugli effetti delle radiazioni nell'organismo

I radionuclidi introdotti nel corpo umano irraggiano i tessuti per periodi di tempo determinati dalla loro emivita fisica e dalla loro ritenzione biologica all'interno del corpo. In questo modo essi possono rilasciare dosi di radiazioni ai tessuti del corpo per molti mesi o anni dopo il momento dell'assunzione ⁽²⁹⁾.

Le radiazioni rilasciate possono provocare la rottura del doppio filamento del DNA. In condizioni normali le cellule hanno dei sistemi enzimatici di riparazione del DNA che portano a neutralizzare gli effetti negativi delle radiazioni. A seguito di esposizione a basse dosi di radiazioni, come quelle naturali o delle centrali nucleari, i meccanismi di riparazione del DNA sono generalmente sufficienti a non creare danni permanenti. Tuttavia in taluni individui, variabilmente con l'età o il sesso, può esistere una predisposizione all'errore nella riparazione delle rotture del doppio filamento del DNA, il che diviene la causa delle risposte radiobiologiche cellulari come l'induzione di aberrazioni cromosomiche, di mutazioni geniche, di alterazioni del ciclo cellulare e di morte cellulare (apoptosi). Queste alterazioni della riparazione del danno del DNA sono spesso strettamente associate con lo sviluppo del cancro. Alterazioni indotte dalle radiazioni a livello delle cellule staminali presenti nelle gonadi sono invece associate a malattie ereditarie.

Le differenze genetiche degli individui nella predisposizione al cancro indotto da radiazioni e nell'induzione di malattie ereditarie a seguito di irradiazione delle gonadi comportano che non si possa conoscere quale livello di rischio sia associato con l'esposizione a dosi molto basse di radiazioni. Ancora ad oggi non è chiaro se esiste una dose sicura che non comporti nessun fenomeno biologico avverso.

E' opportuno quindi considerare come una valutazione prudente di politica pubblica, volta ad evitare un rischio non necessario, l'utilizzo di un modello lineare-senzasoglia (LNT) per la proiezione del rischio di cancro a basse dosi di radiazioni. La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP) nelle sue Raccomandazioni del 2007 ⁽²⁹⁾ indica infatti che il modello LNT rimanga, per le basse dosi, come un presupposto prudente per gli scopi pratici della radioprotezione.

Ma perché dobbiamo correre così tanti rischi per la salute nostra e delle generazioni che verranno, per utilizzare una tecnologia che è del tutto inutile? Quale sarebbe il “beneficio netto” dell’esposizione al nucleare, per gli individui e per la società, tale da permettere l’applicazione del principio di Giustificazione, così come raccomandato dall’ICRP? Se consideriamo che il nucleare a oggi copre nel mondo appena il 2,3% dei consumi totali di energia ma davvero ci illudiamo di poter risolvere con il nucleare, che dà un contributo così minimo, i problemi energetici del nostro pianeta??

Cristina Rinaldi
Prof. Ass. Immunologia ed Immunopatologia
Fac. Medicina – Univ. La Sapienza Roma
e-mail: rinaldi_cristina@libero.it

Bibliografia

- 1) http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_civilian_nuclear_accidents
- 2) <http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Actualites/2011/Incident-de-niveau-2-sur-les-groupes-electrogenes-de-la-centrale-du-Tricastin>
- 3) <http://www.qualenergia.it/articoli/20110215-la-francia-scopre-34-reattori-rischio>,
- 4) <http://www.rabble.ca/rabbletv/program-guide/2011/03/best-net/canada-nuclear-plant-accident-turns-drinking-water-radioacti>
- 5) <http://qualenergia.it/articoli/20110223>,
- 6) http://qualenergia.it/sites/default/files/articolo-doc/15-17_QE_n1-2011_ronchi.pdf,
- 7) <http://www.nirs.org/radiation/tritium/tritiumhome.htm>.
- 9) <http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Actualites/2011/Operations-de-depollution-contamination-au-tritium-Saint-Maur-des-Fosses>
- 10) <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/grndwtr-contam-tritium.html>
- 11) <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/tritium-radiation-fs.html>
- 12) <http://www.nirs.org/factsheets/tritiumbasicinfo.pdf>
- 13) Cancer and Environment. NIH Publication n.03-2039 – Aug.2003 – pag 10
- 14) Cardis E, et al. The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiat Res* 2007;167:396-416
- 15) Harrison-Principi di Medicina Interna, cap 394 – ed Mc.Graw Hill 2002
- 16) Heasman MA et al. Childhood leukaemia in Northern Scotland. *Lancet* 1986;i:266 and 355
- 17) Forman D, Cook-Mozaffari P, Darby S, Davey G, Stratton I, Doll R, Pike M. Cancer near nuclear installations. *Nature* 1987;329:499–505.
- 18) Cook-Mozaffari PJ, Darby SC, Doll R, Forman D, Hermon C, Pike MC, Vincent T. Geographical variation in mortality from leukaemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installation, 1969–78. *Br J Cancer* 1989;59:476–85.
- 19) Michaelis J, Keller B, Haaf G, Kaatsch P. Incidence of childhood malignancies in the vicinity of west German nuclear power plants. *Cancer Causes Control* 1992;3:255–63.16.
- 20) Leukemia in the Proximity of a German Boiling-water Nuclear Reactor: Evidence of Population Exposure by Chromosome Studies and Environmental Radioactivity, Inge Schmitz-Feuerhake et al: *Environ Health Perspect* 105(Suppl 6):1499-1 504 (1997)
- 21) Carre A. Incidence of leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant: a sensitivity analysis. *Stat Med* 1995; 14:2459–72

- 22) Viel JF, Pobel D . Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *BMJ* 314 : 101 January 1997
- 23) Kaatsch P, Spix C, Schulze-Rath R, Schmiedel S, Blettner M: Leukemias in young children living in the vicinity of German nuclear power plants. *Int J Cancer* 2008, 122:721-726.)
- 24) Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M. Casecontrolstudy on childhood cancer in the vicinity of nuclear powerplants in Germany 1980–2003. *Eur J Cancer*, 44 (2008) 275 – 284
- 25) Baker PJ, Hoel D: Meta-analysis of standardized incidence and mortality rates of childhood leukemias in proximity to nuclear facilities. *Eur J Cancer Care* 2007, 16:355-363)
- 26) Hofmann W, Terschueren C, Richardson DB. Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishments near Hamburg, Germany. *Environ Health Perspect* 2007,115:947–52
- 27) Ian Fairlie. Commentary: childhood cancer near nuclear power stations, *Environmental Health* 2009, 8:43)
- 28) <http://www.radiation.org/reading/ejsternglasspubs.html>
- 29) IRC Recommendation 2007, versione italiana