volerelaluna LA POLITICA PUNTOACAPO

Dispersione delle radiazioni ed effetti sulla salute della popolazione

Autore: Fiorella Belpoggi

Focus- Il grande inganno del nucleare

Dopo due referendum perduti (nel 1987 e nel 2011), il fronte del nucleare ritorna alla carica con la legge delega approvata a fine settembre. È una scelta irresponsabile, più costosa di ogni altra opzione, di incerta realizzabilità, nociva per l'ambiente e la salute, inutile per la soluzione dei problemi attuali, che va contro la volontà popolare e che giova solo ai grandi poteri economici. Occorre, dunque, contrastarla a tutti i livelli, anche, se necessario, con un nuovo referendum. A una crescita di informazione e consapevolezza la riguardo è finalizzato il focus qui proposto, con articoli di Angelo Tartaglia, Mario Agostinelli, Federico Maria Butera, Fiorella Belpoggi, Gian Piero Godio, Alfiero Grandi.

La cancerogenicità delle radiazioni ionizzanti, sia per i tumori solidi che per le leucemie, è conosciuta da decenni. Si conosce ancora poco a riguardo dell'esposizione acuta o cronica a basse dosi, al di sotto di 1Gy (Gray, unità di misura della dose di radioattività assorbita): se esistano effetti correlati all'esposizione dei genitori prima del concepimento o durante la gravidanza, se esistano gruppi della popolazione più suscettibili agli effetti avversi delle radiazioni.

La maggior parte delle ricerche epidemiologiche sulla relazione tra radiazioni ionizzanti e cancro hanno riguardato l'esposizione di tutto il corpo a dosi moderate (0,5-1 Gy). Tuttavia, poiché dosi basse o un'esposizione prolungata sono di grande interesse quando si tratta di proteggere la popolazione dalle radiazioni ionizzanti, **la ricerca ha iniziato a concentrarsi maggiormente sulle coorti professionali, in particolare sui lavoratori degli impianti nucleari o sulle persone/pazienti esposti a molteplici esami radiologici diagnostici**. Studi epidemiologici hanno dimostrato che **l'esposizione a dosi >0,1 Gy ha aumentato il rischio di sviluppare sia tumori solidi che leucemie** tra i sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki [1], così come tra radiologi e medici specializzati in medicina interventistica [2], lavoratori dell'industria nucleare [3]. Alcune questioni irrisolte includono: *(a)* le differenze di rischio tra esposizione acuta e cronica [4]; *(b)* gli effetti a basse dosi e l'adeguatezza del modello lineare senza soglia [5,6]; *(c)* quali effetti del cancro, se presenti, possono essere il risultato dell'esposizione preconcezionale o dell'esposizione in utero [7,8]; *(d)* l'identificazione di possibili sottogruppi radiosensibili nella popolazione e come questi sottogruppi possono essere identificati [9]; *(e)* la possibile interazione tra radiazioni ionizzanti e altri agenti cancerogeni ben noti o potenziali rischi cancerogeni diffusi (ad esempio, agenti chimici, campi magnetici a frequenza

estremamente bassa di energia elettrica, o campi elettromagnetici a radiofrequenza provenienti dai telefoni cellulari).

Comprendere le **potenziali implicazioni per la salute derivanti dalla vita vicino alle centrali nucleari** è importante dato il rinnovato interesse per l'energia nucleare come fonte di energia a basse emissioni di carbonio. In un recente studio [10] gli Autori hanno rilevato che **le contee degli Stati Uniti situate più vicine alle centrali nucleari operative hanno tassi di mortalità per cancro più elevati rispetto a quelle più lontane**. Utilizzando i dati sulla mortalità a livello nazionale dal 2000 al 2018, sono stati valutati i modelli spaziali a lungo termine della mortalità per cancro in relazione alla vicinanza agli impianti nucleari, tenendo conto di fattori socioeconomici, demografici, comportamentali, ambientali e sanitari. La mortalità per cancro è risultata più elevata in più fasce di età sia negli uomini che nelle donne, con le associazioni più forti tra gli anziani, i maschi di età compresa tra 65 e 74 anni e le femmine di età compresa tra 55 e 64 anni. Sebbene questi risultati non possano stabilire una causalità precisa, evidenziano la **necessità di ulteriori ricerche sui potenziali percorsi di esposizione, sugli effetti di latenza e sui rischi specifici del cancro**, sottolineando l'importanza di affrontare questi rischi potenzialmente sostanziali, ma trascurati per la salute pubblica. Questi risultati richiamano l'attenzione sul fatto che vadano **minimizzate tutte le esposizioni, seppure basse e fino ad oggi considerate sicure**. Non va infatti sottostimato che le basse dosi studiate fra 0,1 e 1 Gy sono paragonabili alla dose assorbita con una o più TAC *total body*, che tipicamente va da 0,05 a 0,1 Gy [11]. **L'avvento del nucleare come fonte di energia costituisce quindi un rischio diffuso che va evitato**.

Secondo il Governo [12] invece, i futuribili piccoli reattori modulari (SMR) ridurrebbero i costi dello scenario di decarbonizzazione rispetto a un'ipotesi esclusivamente basata sulle rinnovabili. Ma la documentazione disponibile indica il contrario: ad oggi nessun SMR è operativo in Occidente, e diversi progetti internazionali sono stati sospesi o abbandonati dopo importanti aumenti di costo. A questo si aggiunge l'evidenza scientifica secondo cui **gli SMR produrrebbero da due a trenta volte più rifiuti radioattivi rispetto ai reattori tradizionali**, aggravando un problema irrisolto per l'Italia, che non ha ancora individuato il deposito nazionale, aumentando nel contempo l'esposizione diffusa della popolazione. **Le centrali nucleari a fissione, anche se aggiornate** e meno grandi, sono vecchie e in declino perché molto costose e perché **generano rifiuti altamente radioattivi e pericolosi per molte migliaia di anni**. È possibile, più ecologico ed economicamente conveniente decarbonizzare l'elettricità puntando solo sulle rinnovabili, come sta facendo la maggioranza dei Paesi europei. Mentre dopo 13 anni di procedure in Italia non è ancora stato localizzato un deposito per rifiuti radioattivi, mentre cittadini e imprese sono preoccupati per le bollette, Governo e Parlamento approvano una legge che, in modo antistorico e ideologico, avvia la normativa per tornare a costruire in Italia centrali nucleari a fissione. L'operazione di *greenwashing* con la quale si cerca di far passare come innovativa e sostenibile, solo per la dimensione degli impianti e qualche aggiustamento costruttivo, una tecnologia nucleare obsoleta che resta basata sulla

fissione dell'uranio, non reggerà se non sarà consentito, come sta accadendo, un confronto tecnico competente e informato [13]. Purtroppo **la scienza indipendente viene spesso ignorata dalle istituzioni**.

Per rispondere a queste domande, legate in particolare agli effetti delle basse dosi, sono ancora necessari studi più adeguati. Per affrontare questa sfida, i ricercatori si avvalgono sia di studi epidemiologici che sperimentali. Tuttavia, è del tutto comprensibile che quando si ha a che fare con scenari di bassa esposizione (come quelli di 0,1 Gy o meno) con molteplici fattori confondenti, gli studi epidemiologici possano non avere un potere statistico sufficiente per rilevare i rischi di cancro. In questi casi gli studi meccanicistici e in vivo sugli animali possono aiutare l'epidemiologia a valutare meglio il rischio cancerogeno di un'esposizione a basse dosi.

Infatti, anche **studi sperimentali condotti su topi e ratti hanno dimostrato che le radiazioni ionizzanti possono causare diversi tipi di tumore in entrambe le specie**. In una serie di studi sui topi [14,15] condotti utilizzando un gran numero di animali per gruppo e sesso esposti a raggi X o raggi (gamma) a diversi livelli di dose, è stata osservata un'aumentata incidenza di diversi tipi di neoplasie, tra cui in particolare leucemia mieloide e linfoma timico, tumori ovarici, ipofisari e della ghiandola di Harder, carcinomi polmonari e mammari. In effetti, i saggi sperimentali di cancerogenicità a lungo termine sui roditori, se ben pianificati e condotti utilizzando modelli animali adeguati (il più vicino possibile all'incidenza del tipo di tumore equivalente nell'uomo) possono fornire indicazioni migliori sugli effetti cancerogeni che possono essere estrapolati all'uomo per la valutazione del rischio [16,17,18,19].

Uno **studio sperimentale dell'Istituto Ramazzini** [20], nei cui laboratori sono stata impegnata per più di 40 anni, gli ultimi 15 dei quali come Direttrice scientifica, ha dimostrato che le radiazioni gamma, alla dose di 1 Gy (Gray) somministrata una sola volta nell'età giovanile, oppure 0,1 Gy somministrati sempre nell'età giovanile per 10 volte a distanza di 1 mese l'una dall'altra, inducono un **aumento delle lesioni precancerose della mammella, dei tumori delle ghiandole ceruminose, degli emangiosarcomi dei tessuti molli, e dei tumori del pancreas.** Nel contempo, un esperimento parallelo nello stesso laboratorio e nelle stesse condizioni, ha dimostrato che i campi magnetici a bassa frequenza (quelli generati dal flusso della corrente elettrica) (ELFMF) possiedono effetti cancerogeni quando l'esposizione a campi magnetici sinusoidali a 50 Hz (S-50 Hz) è stata combinata a radiazioni a bassa dose una volta nella vita, nei ratti [21]. Nell'esperimento sono stati studiati gruppi di ratti Sprague-Dawley maschi e femmine esposti dalla vita prenatale (esposizione delle madri in gravidanza) fino alla morte naturale a 20 o 1000 ?T o micro Tesla (unità di misura dell'intensità dei campi magnetici), S-50 Hz MF e anche a 0,1 Gy di radiazioni somministrate come singola esposizione acuta a 6 settimane di età. I risultati dello studio hanno mostrato significativi effetti cancerogeni per la ghiandola mammaria nei maschi e nelle femmine e un aumento significativo dell'incidenza di schwannomi maligni del cuore, nonché un aumento dell'incidenza di

linfomi/leucemie nei maschi, mentre tali effetti non erano stati osservati in maniera significativa quando ELFMF e radiazioni erano stati somministrati singolarmente. Questi risultati richiedono una rivalutazione della sicurezza delle radiazioni non ionizzanti e ionizzanti, soprattutto nell'attuale scenario espositivo della popolazione umana, dove contemporaneamente gli individui, fin dalla gestazione, sono esposti a migliaia di agenti chimici e fisici che come dimostrato hanno effetti sinergici fra loro. L'intero studio fu finanziato dalla Provincia di Bologna a partire dal 1991, facendo seguito al disastro nucleare di Chernobyl, su richiesta dei cittadini stessi che contribuirono alla conduzione dello studio con 1.000 vecchie lire ciascuno, preoccupati per i rischi che correvano nella situazione espositiva che avevano subito. Si tratta quindi di una ricerca indipendente. I risultati dell'Istituto Ramazzini sono, come si è già citato, corroborati da innumerevoli studi epidemiologici e sperimentali.

Di fronte allo stato attuale delle conoscenze e alla consapevolezza che anche basse/bassissime dosi di radiazioni comportano gravi rischi per la salute della popolazione, **prima di riproporre l'uso del nucleare come fonte energetica e addirittura incentivarlo, sarebbe necessario e doveroso approfondire la ricerca a garanzia della salute dei cittadini che vivranno nelle aree limitrofe alle nuove centrali.**

Bibliografia

1) Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K. 2007*. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors:1958–1998. Radiat Res 168:1–64.*
2) Linet MS, Kim KP, Miller DL, Kleinerman RA, Simon SL, Berrington de Gonzalez A. 2010*. Historical review of occupational exposures and cancer risks in medical radiation workers. Radiat Res 174:793–808.*
3) Cardis E,Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, Howe G,Kaldor J, Muirhead CR, Schubauer-Berigan M, et al. *2007. The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: Estimates of radiation-related cancer risks. Radiat Res 167:396–416.*
4) Jacob P, Ruhm W, Walsh L, Blettner M, Hammer G, Zeeb H. 2009. *Is cancer risk of radiation workers larger than expected? Occup Environ Med 66:789–796.*
5) Mullenders L, Atkinson M, Paretzke H, Sabatier L, Bouffler S. 2009.*Assessing cancer risks of low-dose radiation. Nat Rev Cancer 9:596–604.*
6) Averbeck D. 2010. *Non-targeted effects as a paradigm breaking evidence. Mutat Res 687:7–12.*
7) Barber RC, Dubrova YE. 2006. *The offspring of irradiated parents, are they stable? Mutat Res 598:50–60.*
8) Abouzeid Ali HE, Barber RC, Dubrova YE. 2012. *The effects of maternal irradiation during adulthood on mutation induction and transgenerational instability in mice. Mutat Res 732:21–25.*
9) Jeggo P. 2010. *The role of the DNA damage response mechanisms after low-dose*

radiation exposure and a consideration of potentially sensitive individuals. Radiat Res 174:825–832.
10) Alwadi Y, Alahmad B, Vieira CLZ, Landrigan PJ, Christiani DC, Garshick E, Kaltofen M, Coull B, Schwartz J, Evans JS, Koutrakis P. *National analysis of cancer mortality and proximity to nuclear power plants in the United States. Nat Commun. 2026 Feb 23;17(1):1560. doi: 10.1038/s41467-026-69285-4. Erratum in: Nat Commun. 2026 Apr 13;17(1):3449. doi: 10.1038/s41467-026-72052-0. PMID: 41730864; PMCID: PMC12929679.*
11) Brenner DJ. 2010. *Slowing the increase in the population dose resulting from CT scans. Radiat Res 174:809–815.*
12) Governo della Repubblica Italiana. 23 settembre 2026. *Delega al Governo in materia di energia nucleare sostenibile.* Legge n. 169/26 del 29 settembre 2026, GU n. 227 del 30 settembre 2026.
13) WWF, 2025. *https://www.wwf.it/pandanews/societa/economia/nucleare-ritorno-centrali-governo-insostenibile/*
14) IARC. 2000. *Monograph—Ionizing radiation, part 1: X- and gammaradiation, and neutrons, Vol. 75. Lyon: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.*
15) IARC. 2012. *Monograph—A review of human carcinogens: Radiation, Vol. 100 (D). Lyon: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.*
16) Huff J. 1999. *Long-term chemical carcinogenesis bioassays predict human cancer hazards. Issues, controversies, and uncertainties. Ann NY Acad Sci 895:56–79.*
17) Maltoni C, Soffritti M, Belpoggi F. 1999. *The scientific and methodological bases of experimental studies for detecting and quantifying carcinogenic risks. Ann NY Acad Sci 895:10–26.*
18) Russo IH, Russo J. 1996. *Mammary gland neoplasia in long-term rodent studies. Environ Health Perspect 104:938–967.*
19) Russo J, Russo IH. 2004. *Molecular basis of breast cancer prevention and treatment. Berlin: Springer-Verlag.*
20) Soffritti M, Tibaldi E, Bua L, Padovani M, Falcioni L, Lauriola M, Manservigi M, Manservisi F, Belpoggi F. *Life-span carcinogenicity studies on Sprague-Dawley rats exposed to ?-radiation: design of the project and report on the tumor occurrence after post-natal radiation exposure (6 weeks of age) delivered in a single acute exposure. Am J Ind Med. 2015 Jan;58(1):46-60. doi: 10.1002/ajim.22391. Epub 2014 Oct 28. PMID: 25351660.*
21) Soffritti M, Tibaldi E, Padovani M, Hoel DG, Giuliani L, Bua L, Lauriola M, Falcioni L, Manservigi M, Manservisi F, Panzacchi S, Belpoggi F. *Life-span exposure to sinusoidal-50 Hz magnetic field and acute low-dose ? radiation induce carcinogenic effects in Sprague-Dawley rats. Int J Radiat Biol. 2016;92(4):202-14. doi: 10.3109/09553002.2016.1144942. Epub 2016 Feb 19. PMID: 26894944.*

vedi tutti gli articoli del Focus