

# Basse dosi di radiazioni ionizzanti possono avere effetti benefici?

*Giroletti Elio*

Dip. Fisica nucleare e teorica, Università di Pavia e INFN sez. di Pavia - elio.giroletti@pv.infn.it

*pubblicato su*  
**FISICA IN MEDICINA**  
*n.2 del aprile-giugno 2004 – pp: 174-177*

*...si è talora così coinvolti in dispute relative a sfumature tecniche  
che soltanto una persona poco competente  
è in qualche modo capace di prendere una qualsivoglia decisione.  
Il rischio tecnologico, H.W.Lewis, 1995*

Come noto gli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti sono suddivisi in due categorie: deterministici e stocastici. Mentre non sussistono dubbi sui primi, che sono insorgono ad alte dosi, per i secondi –*leucemie, tumori solidi e mutazioni geniche, aberrazioni cromosomiche e malattie ereditarie*- molto rimane da chiarire, soprattutto alle bassissime dosi, <1 mSv, che sono quelle assorbite da un elevato numero di persone.

## **Quantificazione dei danni stocastici**

L'incidenza dei danni stocastici in radioprotezione è universalmente espressa attraverso i coefficienti di rischio proposti nella pubblicazione 60 della ICRP -ICRP 1990-. La loro verifica richiede studi epidemiologici complessi basati su enormi coorti e, secondo alcuni, impossibili a realizzarsi con sufficiente attendibilità. Infatti, considerazioni statistiche impongono che il numero di persone del campione da sottoporre ad indagine epidemiologica sia inversamente proporzionale al quadrato della dose che si intende caratterizzare (Gonzalez A.J, 2004), in accordo con la seguente relazione:  $N=k/D^2$ , dove N rappresenta il numero di individui del campione, k è una costante di proporzionalità che dipende dall'effetto oggetto di indagine e D la dose. Ad es., uno studio epidemiologico relativo ai tumori solidi radioindotti è significativo purché il campione sia di almeno 1.000.000.000 di individui e >1.000, per dosi efficaci di 1 mSv e di 1 Sv, rispettivamente.

La validità dei coefficienti di rischio e la dipendenza lineare senza soglia (LNT) tra effetti stocastici e dose sono messi in discussione sempre più frequentemente. Si veda per esempio, il dibattito in corso da tempo su Radiation Protection Dosimetry nelle argomentazioni di Brenner e Raabe (Brenner, Raabe 2001). A rendere più complesso il quadro, gli studi radiobiologici hanno messo in luce l'esistenza, sempre alle basse dosi, di comportamenti apparentemente contrastanti e prodotti dalla *comunicazione cellulare* (Ballarini et al, 2002):

- *effetto bystander*: cellule non irraggiate possono essere danneggiate da quelle vicine (non in contatto) che siano, invece, state colpite dalla radiazione ionizzante;
- *risposta adattativa*: una dose precedente di bassa entità sarebbe in grado di incrementare la radioresistenza della cellula (e del tessuto) a successive esposizioni ben più elevate.

Le conseguenze di questi due effetti non sono affatto trascurabili. Per es., l'effetto bystander secondo il modello proposto da Brenner e Sacks, comporterebbe che, in accordo con BEIR VI (NRC 1999), l'esposizione cronica al radon negli ambienti chiusi nell'indurre il carcinoma polmonare sia più efficace (più pericolosa) di un fattore ~4 di quanto indichino i coefficienti proposti da ICRP (Brenner, Sacks, 2003).

### Risposta adattativa

L'azione positiva della risposta adattativa, invece, sarebbe connessa con l'ormesi, definito come un effetto stimolatorio della esposizione a basse dosi di agenti tossici ed il cui risultato è quello di aumentare la radioresistenza di tessuti esposti in fasi successive. La sua dinamica è funzione del rateo di dose, ma sembra non essere significativa per dosi superiori a 0,5 Gy.

Molti sono i lavori pubblicati in favore di questa ipotesi. Tra essi vi è quello di Chen W. L. e collaboratori (Chen W.L., 2004) relativo alla città di Taipei (Taiwan), ove circa 10.000 individui sono stati esposti per un ventennio alla radiazione gamma del <sup>60</sup>Co. Sorgenti di questo radioisotopo vennero fuse incidentalmente nell'acciaio con cui si sono edificati circa 180 edifici negli anni 1980, mentre l'evidenza dell'incidente si è avuta solo nel luglio 1992. Oltre ad una scuola frequentata da ~2000 ragazzi, sono stati coinvolti circa 1600 appartamenti. Le abitazioni e le persone che le hanno occupate sono state suddivise in tre coorti, sulla base del livello di contaminazione dell'appartamento e delle successive misure di protezione adottate (vedasi tabella 1). Le valutazioni di dose effettuate dall'Agenzia nazionale taiwanese (AEC) hanno evidenziato esposizioni affatto trascurabili; le stesse sono state riviste da Chen e coll.. Nonostante siano state ridotte rispetto ai valori iniziali, le dosi rimangono significative. Metà delle persone che vivevano nel primo gruppo di case, con ratei annui di dose dell'ordine di 500 mSv, dopo il luglio 1996 sono state traslocate in altri appartamenti. La dose collettiva complessivamente assorbita a seguito dell'incidente è stimata essere ~4.000 Sv.persona (stima inferiore).

Tabella 1: livelli di dose cui sono coinvolte le persone

Livello di Contaminazione	Popolazione		Dose efficace, mSv		
	%	Nro	media annua	1° anno	1983-2003
Alta	11	1.100	>15	525	4.000
Media	9	900	5 – 15	60	420
Bassa	80	8.000	<5	18	120
Media corretta	100	10.000	--	49	400
Media originale (AEC)	100	10.000	--	74	600

Gli abitanti di questi appartamenti negli anni sono stati sottoposti a controlli medici periodici di differente livello, in funzione del grado di esposizione. Ciò ha permesso di caratterizzare i ratei di insorgenza di aberrazioni cromosomiche, malformazioni congenite, leucemie e tumori solidi e di confrontarli con quelli previsti dai modelli radioprotezionistico accreditati.

I risultati dello studio sono sorprendenti, specialmente se confrontati con i coefficienti di rischio proposti dalla pubblicazione 60 della ICRP (vedasi tabella 2):

- Non si è riscontrato un numero significativo di aberrazioni cromosomiche e nemmeno si sono evidenziate relazioni tra le aberrazioni cromosomiche e livelli di dose;

- La mortalità per tumore risulta essere solo il 3% di quella del resto della popolazione, a fronte dei 70 casi di decesso per leucemia e tumori solidi radioindotti previsti dai modelli;
- Solo 3 bambini sono nati con malformazioni congenite, a fronte dei 21 attesi.

In tabella 2 sono riportati i risultati del confronto tra la popolazione esposta e quella non esposta, calcolati su 20 anni.

Tabella 2: casi di decesso naturali, attesi ed osservati tra la popolazione esposta

Morti per tumore e leucemie			Malformazioni congenite		
Incidenza naturale	Attesi ICRP	osservati	Incidenza naturale	Attese ICRP	osservate
232	302	7	46	67	3
Compresi 4-5 leucemie	di cui 70 causati dalla esposizione	3% del valore atteso	Tutti i difetti congeniti	di cui 21 prodotti dalla esposizione	6,5% dei valori attesi

Gli autori prendono in considerazione alcuni fattori confondenti, tra cui una diversa distribuzione per classi di età dei ragazzi della scuola coinvolta rispetto a quella della popolazione in generale: questo dato sembra non incidere sul risultato finale dello studio. Per quanto riguarda lo stile di vita ed il livello di benessere dei gruppi esposti rispetto alla popolazione di riferimento gli autori affermano non sussistere differenze significative.

I risultati dello studio contraddicono in maniera evidente gli indici proposti da ICRP ed addirittura mostrano che i casi di mortalità per tumori solidi e leucemie nella popolazione esposta si sono ridotti in maniera significativa e costante nel tempo, come se l'esposizione avesse avuto un effetto benefico sugli individui coinvolti nell'incidente. Per spiegare questi risultati Chen e coll. prendono in considerazione l'ormesi, come effetto benefico della esposizione cronica a basse dosi di radiazioni ionizzanti. Sulla base di queste conclusioni gli autori stessi richiedono una completa revisione dell'ipotesi lineare senza soglia (LNT).

### **Alcune considerazioni**

Il lavoro è interessante in quanto non è frequente disporre di un consistente campione esposto a livelli bassi di dose per un congruo numero di anni in situazione "controllata". Nonostante il numero di persone coinvolte sia affatto trascurabile, specialmente se confrontato con studi analoghi, si sollevano dubbi sulla significatività dei risultati dello studio. Per questo motivo sarebbe importante che il lavoro venisse rivisto e valutato anche da altri gruppi di ricercatori, con l'obiettivo di verificare le dosi, eventuali ulteriori fattori confondenti oltre quelli (sommariamente) considerati nel lavoro. Ad esempio, il fatto che le persone siano state sottoposte per anni a controlli sanitari, con significativo miglioramento del loro livello di salute rispetto a quello del campione di controllo.

Da tempo oramai si discute sulla validità per gli effetti stocastici dell'ipotesi lineare senza soglia, LNT. In attesa di chiarire il quadro radiobiologico ed epidemiologico, da più parti si sostiene che la LNT possa mantenere la propria validità unicamente per la radioprotezione del singolo lavoratore, mentre si dovrebbe rivedere la definizione di dose collettiva. Si chiede per esempio, di escludere dalla sommatoria con cui si calcola la stessa dose collettiva tutte le pratiche che comportano un livello di esposizione inferiore ad una soglia di dose ritenuta irrilevante (es. 10 o 50  $\mu$ Sv), indipendentemente dal numero di persone esposte a quella medesima dose. Le implicazioni di un diverso calcolo della dose collettiva sono rilevanti. Si

pensi per esempio allo smaltimento dei rifiuti radioattivi (es. smantellamento delle centrali nucleari), il cui costo aumenterà sempre più nei prossimi anni a fronte di rischi irrisori e non provati su base scientifica in popolazioni esposte a dosi così basse, mentre il calcolo della dose collettiva indica valori non trascurabili. La posizione adottata dalla ICRP nel recente congresso di Madrid IRPA-11, in previsione della revisione della pubblicazione n.60 prevista per il 2005, è quello di mantenere invariato il concetto di dose collettiva e di scorporare i valori utilizzati nella sommatoria in matrice.

Probabilmente, in talune situazioni, più che sui formalismi matematici nell'applicazione dei principi di giustificazione e di ottimizzazione, è più produttivo far leva su stime qualitative basate sul buon senso e sulla preparazione degli operatori coinvolti. Nel leggere l'articolo dei colleghi taiwanesi, mi son venute alla memoria le parole che un "fisico ruspante" (come C. Ciancia de Peròn amava definirsi) soleva ripetere provocatoriamente (come suo stile!): "*I raggi X non esistono, ma mi hanno dato da vivere*". Che ci sia un fondo di verità in queste parole?

## Riferimenti

- Ballarini F., et al., *Cellular communication and bystander effects: a critical review for modelling low-dose radiation action*, Mutat. Res., 501, 2002, pp:1-12
- Brenner D.J., Raabe O.G., *Is the linear-no-threshold hypothesis appropriate for the use in radiation protection?*, Rad. Prot. Dosim, 97 (3), 2001, pp: 279-285
- Brenner D.J, Sacks R.K., *Domestic radon risk may be dominated by bystander effect, but the risks are unlikely to be greater than we thought*, Health Phys, 85, 1 pp: 105-109, 2003
- Chen W.L., et al., *Is chronic radiation an effective prophylaxis against cancer?*, J. Am. Phys. and Surg., IX, 1:6-10, 2004
- Gonzalez A.J., *Sievert lecture*, IRPA 11 International Congress, Madrid, maggio 2004
- International Commission on Radiological Protection, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Publication n.60, Annals of ICRP, vol.21 (1-3), Oxford, Pergamon Press 1991
- Lewis H. V., *Il rischio tecnologico*, ed. Sperling & Kupfer, Milano, 1995
- National Research Council, *Health effect to exposure of radon: BEIR VI*, NRC, national Academic Press, 1999
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), *Sources and effects of ionising radiation, 2000 Report to the General Assembly, with Annexes* New York, United Nations 2000