

I danni per la salute

1. Premessa

Vengono di seguito descritti i principali danni per la salute e per la progenie derivanti dalla esposizione dell'essere umano a radiazioni ionizzanti.

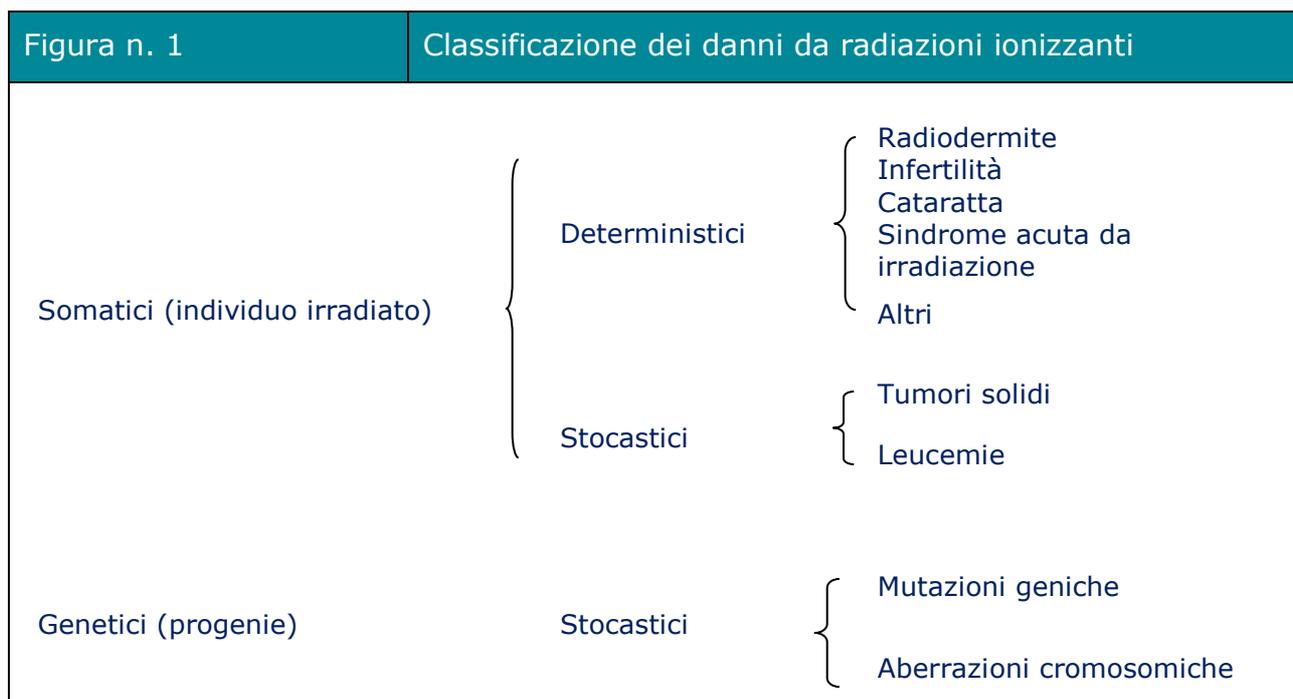
2. Classificazione degli effetti sull'uomo delle radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti, potenti strumenti di diagnostica e cura medica e di diagnostica tecnica, presentano alcuni aspetti collaterali negativi perché possono determinare l'insorgenza di varie patologie acute e/o croniche, dipendenti o meno dalla dose, dalla tipologia di radiazioni e di esposizione. L'esposizione alle radiazioni ionizzanti comporta per il lavoratore un rischio che è rappresentato come probabilità del verificarsi del danno biologico.

I danni fisici prodotti dalle radiazioni ionizzanti sull'uomo possono essere distinti in tre categorie principali (vedi figura 1):

- danni somatici deterministici;
- danni somatici stocastici (probabilistici);
- danni genetici stocastici.

Si dicono somatici i danni che si manifestano nell'individuo irradiato, genetici quelli che si manifestano nella sua progenie.



3. Danni somatici deterministici (o reazioni tissutali avverse)

Per danni deterministici (in passato denominati non stocastici/graduati) s'intendono quelli in cui la frequenza e la gravità variano con la dose e per i quali è individuabile una dose-soglia, ossia un livello di dose al di sotto del quale l'effetto non si manifesta (fino a tale livello sono sufficienti le capacità di riparazione del danno da parte dell'organismo). Sono stati recentemente ridefiniti dall'ICRP (International commission on radiological protection) nel 2007 come "reazioni tissutali", da suddividere in "precoci" (di tipo infiammatorio o da "perdita di cellule") e "tardive" (suddivise in "generiche" e "conseguenziali").

In particolare, i danni deterministici hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- si manifestano soltanto al superamento di una dose-soglia¹ caratteristica di ogni effetto; in generale, dosi frazionate ed esposizioni croniche a basso rateo di dose sono meno nocive di quanto lo siano le dosi acute (l'effetto si manifesterà oltre una dose - soglia più alta);
- il periodo di latenza è solitamente breve (qualche giorno o qualche settimana): per questo tali effetti vengono anche definiti "effetti precoci". Solo in alcuni casi l'insorgenza è tardiva (la cataratta ad esempio può avere periodi di latenza di anni);
- sono generalmente attribuibili direttamente² all'irraggiamento (relazione diretta

¹ La dose-soglia per gli effetti deterministici è la dose stimata che determina un'incidenza di reazioni tissutali dell'1%.

² Le cosiddette "reazioni tissutali tardive consequenziali" avvengono come conseguenza di reazioni immediate dovute all'irraggiamento, per esempio la necrosi cutanea a seguito di grave ulcerazione della cute e di infezione cronica, e occlusioni intestinali causate da ulcerazione grave della mucosa.

causa - effetto);

- la gravità degli effetti aumenta al crescere della dose assorbita (da cui la definizione di effetti graduati), espressa in Gy.

I danni deterministici sono effetti conseguenti a esposizioni a dosi elevate. Indicativamente la soglia di sensibilità dell'organismo "in toto" è, per un irraggiamento acuto, dell'ordine di 0,25 Gy (25 rad), valore intorno al quale cominciano a manifestarsi le prime alterazioni ematologiche (un modesto, precoce e transitorio calo linfocitario), mentre la comparsa di qualche aberrazione cromosomica si verifica già per l'assorbimento di una dose di un fattore 2-3 volte più bassa.

Si sottolinea che il valore della dose-soglia dipende oltre che dal tipo di tessuto e di effetto, anche dal tipo di radiazione e dalla distribuzione temporale dell'esposizione; si riporta a questo proposito la tabella 1.

Tabella n. 1		Stime delle soglie per effetti tissutali su testicoli, ovaie, cristallino, e midollo osseo in individui umani adulti per esposizioni acute, frazionate e per rateo di dose		
Tessuto ed effetto	Soglia	Dose totale ricevuta in una singola esposizione acuta (Gy)	Dose totale ricevuta in esposizioni fortemente frazionate o protratte nel tempo (Gy)	Rateo di dose annua se ricevuta annualmente in esposizioni fortemente frazionate o croniche per molti anni (Gy anno ⁻¹)
	Testicoli:			
	Sterilità temporanea	0,15	NA ^o	0,4
	Sterilità permanente	3,5 - 6	NA	2,0
Ovaie (Sterilità)				
		2,5 - 6	6,0	> 0,2
Cristallino:				
	Opacità visibili	0,5 - 2,0	5	> 0,1
	Riduzione del visus (cataratta)	5,0 ^{oo}	> 8	> 0,15
Midollo osseo (Depressione dell'ematopoiesi)				
		0,5	NA	> 0,4
Note: ^o NA significa non applicabile, poiché la soglia dipende più dal rateo di dose che dalla dose totale ^{oo} Soglia nell'intervallo tra 2 -10 Sv nel caso di irradiazione acuta				

È comunque da rilevare che la recente pubblicazione ICRP 118 ha trattato in modo particolare gli effetti sul cristallino e sul sistema cardiovascolare, in quanto recenti studi hanno evidenziato sia effetti per dosi inferiori a quelle in precedenza riportate, sia un aumento dell'incidenza di casi di cataratta in corrispondenza dell'aumento del periodo di osservazione. La ICRP, ritenendo le evidenze scientifiche "sufficienti" per stimare una più bassa soglia di induzione dell'effetto, ha ritenuto opportuno proporre un nuovo limite di esposizione per il cristallino.

Pertanto, la ICRP indica sia la nuova soglia di dose per l'induzione di cataratta fissata in 0,5 Gy, sia i nuovi limiti professionali raccomandati per il cristallino in 20 mSv/anno mediati su un periodo di 5 anni, con divieto di superare 50 mSv/anno.

I nuovi limiti professionali per il cristallino sopra riportati saranno in vigore solo nel momento in cui sarà recepita la specifica direttiva, attualmente non ancora emanata, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti; per quanto riguarda invece la soglia di induzione di cataratta, le indicazioni dell'ICRP vanno a costituire riferimento per gli aspetti medico-legali.

Come già detto, la gravità dell'effetto dipende dalla dose; le dosi – soglia riportate nella tabella seguente, valide per raggi X di 100 KeV, aumentano nel caso di radiazioni più penetranti (che in questo caso interessano anche i tessuti più profondi). In ogni caso, anche per radiazioni elettromagnetiche più penetranti, le manifestazioni cutanee si verificano in corrispondenza di una dose assorbita dallo strato basale della cute pari a quello riportato³.

Tabella n. 2		Correlazione tra gravità e dose nel caso di esposizione della cute (dose soglia riferita a raggi X di 100 KeV)
Dose soglia (Gy)	Manifestazioni cutanee	
0 - 3	nessuna manifestazione	
~ 3	eritema semplice	
~ 6	eritema bolloso	
~ 12	dermatite ulcerosa	
~ 32	dermatite necrotica	

4. Danni somatici stocastici

Gli effetti stocastici (probabilistici) si dividono in effetti somatici (che interessano l'individuo esposto) ed effetti genetici (che interessano la progenie degli esposti, trattati nel paragrafo successivo). Per gli effetti stocastici, convenzionalmente e per i fini della radioprotezione, si assume una probabilità non nulla di comparsa anche per dosi molto piccole e prossime allo zero.

I danni somatici stocastici comprendono le leucemie e i tumori solidi, su tessuti o organi dell'individuo esposto. In questo tipo di patologie soltanto la **probabilità d'accadimento**, e non la gravità, è funzione della dose. Danni di questo tipo hanno in particolare le seguenti caratteristiche:

- sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni;
- non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (ipotesi cautelativa ammessa per gli scopi preventivi della radioprotezione);

³ Quanto detto è valido se non si cambia "tipo" di radiazione. In particolare, una irradiazione dello strato basale con particelle α con neutroni o con protoni determinerà gli stessi effetti cutanei a livelli più bassi di dose assorbita. Quanto detto è legato al concetto di "efficacia biologica relativa" della radiazione, o del suo "fattore di peso" (in passato "fattore di qualità" della radiazione).

- sono a carattere probabilistico;
- sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta;
- sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica (associazione causale statistica);
- la frequenza di comparsa è proporzionale alla dose equivalente assorbita (espressa in Sv);
- si manifestano dopo anni, talora decenni, dall'irradiazione;
- non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose.

Relativamente all'ultima caratteristica citata degli effetti stocastici, infatti, la gravità dell'effetto non dipende dalla dose assorbita, ma si ritiene valida la cosiddetta "legge del tutto o nulla", ed è stato verificato che esiste una relazione⁴ tra la dose e la probabilità di comparsa dell'effetto. Il rischio correlato a tali patologie non può essere esaminato con gli stessi metodi utilizzati per gli effetti deterministici (confronto dell'esposizione con la dose-soglia); d'altra parte, assumere che una dose estremamente piccola potrebbe comunque determinare la patologia è corretto, ma è necessario discriminare tra vari livelli di rischio.

Per i danni stocastici è ammessa in radioprotezione in via cautelativa, come principio di prudenza, una relazione dose-effetto di tipo lineare con estrapolazione passante per l'origine delle coordinate (ipotesi dell'extrapolazione lineare senza soglia). L'elaborazione della relazione dose-effetto è avvenuta nel corso degli anni sulla base di osservazioni epidemiologiche che riguardano esposizioni a dosi medio-alte (sopravvissuti giapponesi alle esplosioni atomiche, pazienti sottoposti ad irradiazioni per scopi medici, esposizioni lavorative). I dati epidemiologici sono abbastanza numerosi per le alte dosi, sono piuttosto rari per le dosi medie e mancano per le piccole dosi.

L'assenza di evidenza epidemiologica alle basse dosi può essere correlata alla possibile inesistenza degli effetti radioindotti, oppure al "mascheramento" degli stessi che, pur presenti, non sono evidenziabili sul piano epidemiologico perché compresi nelle fluttuazioni statistiche dell'incidenza "naturale" o "spontanea" dei tumori. Pertanto, la stima del rischio di contrarre una leucemia o un tumore radioindotti viene abitualmente effettuata estrapolando alle basse dosi i dati delle alte dosi.

5. Danni genetici stocastici

Per effetti genetici si intendono le manifestazioni patologiche che si presentano nella discendenza a seguito del danno indotto dalle radiazioni ionizzanti sulle cellule della linea germinale dei genitori e che possono estrinsecarsi sia in aborti spontanei che in malattie ereditarie.

⁴ A dosi inferiori a 100 mSv è plausibile assumere ai fini radioprotezionistici che tale relazione sia lineare (modello dose-risposta LND "Lineare senza soglia").

Anche nel caso degli effetti genetici va evidenziato che quelli radioindotti non hanno una specificità che consenta di distinguerli da quelli che si manifestano in modo apparentemente spontaneo e dovuto ad altre svariate ragioni.

Il meccanismo di induzione di tali effetti è analogo a quello che sta alla base degli effetti stocastici somatici, con la differenza che per questi effetti le aberrazioni cromosomiche o le mutazioni genetiche riguardano le cellule riproduttive anziché somatiche. L'evidenziazione delle alterazioni del patrimonio genetico è visivamente possibile nel caso che l'alterazione consista in una modificazione numerica o morfologica dei cromosomi. Le mutazioni geniche, se dominanti, compaiono in prima generazione; se recessive, nelle successive o mai. Le aberrazioni cromosomiche (in genere traslazione) vengono eliminate in poche generazioni.

L'induzione da parte delle radiazioni ionizzanti di effetti genetici nella discendenza non è stata dimostrata epidemiologicamente: gli studi riportano associazioni negative tra esposizione a radiazioni ionizzanti e danni genetici nella progenie, relativamente ai discendenti delle popolazioni esposte all'incidente di Chernobyl, così come nei discendenti dei sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki.

Esistono tuttavia studi sperimentali su animali da laboratorio, che indicano prove certe di danni genetici sulla progenie di esposti a radiazioni ionizzanti; quindi, in via cautelativa, vengono considerati anche questi rischi sulla specie umana per estrapolazione dalle sperimentazioni su animali, ai fini radioprotezionistici.

Bibliografia

- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37;
- Scienza e ambiente - Conoscenze scientifiche e priorità ambientali, cap.2 "Radiazioni ionizzanti: gli effetti, il rischio, l'informazione e le norme", Comitato Scientifico ANPA, Documenti 1/2002.

Data di chiusura del documento

25/08/2017

Conoscere il rischio

Nella sezione Conoscere il rischio del portale Inail, la Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione (Contarp) mette a disposizione prodotti e approfondimenti normativi e tecnici sul rischio professionale, come primo passo per la prevenzione di infortuni e malattie professionali e la protezione dei lavoratori. La Contarp è la struttura tecnica dell'Inail dedicata alla valutazione del rischio professionale e alla promozione di interventi di sostegno ad aziende e lavoratori in materia di prevenzione.

Per informazioni

contarp@inail.it