

## 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.

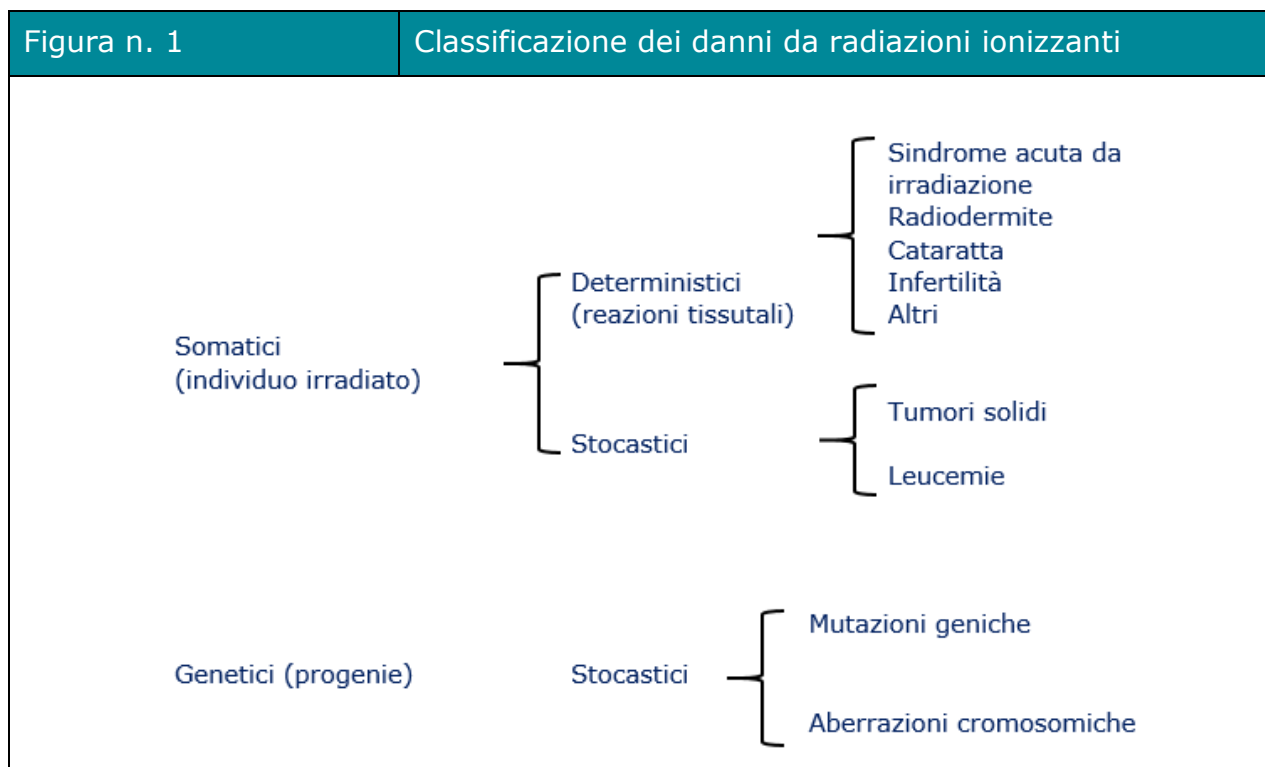
### 2. Classificazione degli effetti sull'uomo delle radiazioni ionizzanti

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 dal tipo di esposizione.

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

- 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 definiti dall'ICRP (International commission on radiological protection) come "reazioni tissutali", da suddividere in "precoci" (da alcune ore a poche settimane dopo l'irradiazione, e che possono essere di tipo infiammatorio o da "perdita di cellule") e "tardive" (suddivise in "generiche", risultato di un danno diretto sul tessuto, e "conseguenziali", esito di reazioni precoci gravi). Reazioni tissutali precoci e tardive non si escludono a vicenda ma spesso coesistono.

In particolare, le reazioni tissutali hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- si manifestano soltanto al superamento di una dose-soglia<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> La dose-soglia per gli effetti deterministici è la dose stimata che determina un'incidenza di reazioni tissutali dell'1%, ovverosia la quantità di radiazione necessaria a causare uno specifico effetto osservabile soltanto nell'1% degli individui esposti alla radiazione.

anni);

- sono generalmente<sup>2</sup> attribuibili direttamente all'irraggiamento (relazione diretta causa - effetto);
- la gravità degli effetti aumenta al crescere della dose assorbita (da cui la precedente 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, 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.

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 (generalmente la dose-soglia è più bassa per esposizioni acute rispetto a esposizioni frazionate o croniche, con qualche eccezione; ad esempio per la fertilità maschile la dose soglia tende a essere inferiore per esposizioni frazionate/protratte rispetto alle esposizioni singole – effetto inverso del frazionamento).

Secondo la valutazione dell'ICRP le dosi acute fino a circa 0,1 Gy non producono alcun danno funzionale dei tessuti. Tuttavia è stato evidenziato il rischio di reazioni tissutali avverse (effetti deterministici), a tempi molto lunghi dopo l'esposizione, principalmente per il cristallino dell'occhio e per il sistema circolatorio, nel caso di dosi accumulate superiori a 0,5 Gy.

#### 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);
- sono a carattere probabilistico;

---

<sup>2</sup> Le cosiddette "reazioni tissutali tardive consequenziali" non sono attribuibili direttamente all'irraggiamento, ma 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.

- 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"; invece è stato verificato che esiste una relazione<sup>3</sup> 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, modello LNT – linear-no-threshold). 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.

La stessa ICRP ritiene che il modello LNT sia una base prudente di riferimento per la radioprotezione a basse dosi (e a bassi ratei di dose), e costituisca al momento il miglior approccio per gestire il rischio derivante dall'esposizione alle radiazioni, adeguato al principio di precauzione.

### **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

---

<sup>3</sup> A dosi inferiori a 100 mSv è plausibile assumere ai fini radioprotezionistici che tale relazione sia lineare (modello dose-risposta LNT "Lineare senza soglia").

linea germinale dei genitori e che possono estrinsecarsi sia in malformazioni sull'embrione e sul feto che in malattie ereditarie.

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.

Inoltre 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.

Il meccanismo di induzione degli effetti genetici stocastici 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 traslazioni) vengono eliminate in poche generazioni.

### Bibliografia

- ICRP, 2012. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context, ICRP Publication 118, Ann. ICRP 41;
- 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

**Febbraio 2022**

## **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](mailto:contarp@inail.it)