

Danno biologico per irraggiamento acuto

In caso di dose assorbita su tutto il corpo in qualche ora:

Dose (Sv):

< 0.25

0.25 - 1

1 - 2

2 - 3

4 - 7

> 8

Effetto:

nessuno

lievi alterazioni sangue, raddoppio rischio leucemia e anomalie genetiche

notevoli alterazioni sangue, nausea, emorragie intestinali, forte rischio leucemia e anomalie genetiche

gravi emorragie, shock, stato di prostrazione
morte nel 30-60% dei casi
morte nel 100% dei casi



160000 volte la dose limite dei lavoratori professionalmente esposti!

Principi di Radioprotezione

MODALITA' DI IRRADIAZIONE

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti può avvenire secondo diverse modalità:

- **IRRADIAZIONE ACUTA A DOSE ELEVATA CIRCOSCRITTA**
- **IRRADIAZIONE ACUTA A DOSE ELEVATA GENERALE**
- **IRRADIAZIONE RIPETUTA A PICCOLE DOSI**

Principi di Radioprotezione

IRRADIAZIONE ACUTA A DOSE ELEVATA CIRCOSCRITTA

Si verifica in radioterapia oncologica, quando i tessuti ricevono, in breve tempo, elevate quantità di radiazioni, oppure è causata da incidenti che implicano l'esposizione di un piccolo volume corporeo.

Principi di Radioprotezione

IRRADIAZIONE ACUTA A DOSE ELEVATA GENERALE

E' conosciuta storicamente come "malattia da esplosioni atomiche".

Le lesioni oltre che dalla radioattività, sono causate dal calore e dall'energia meccanica.

Principi di Radioprotezione

TIPI DI ESPOSIZIONE

Per esposizione si intende qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti.

Distinguiamo due modalità di esposizione:

- ESPOSIZIONE INTERNA
- ESPOSIZIONE ESTERNA

RADIOBIOLOGIA

- L'acqua, per motivi di rappresentazione quantitativa, costituisce la molecola con la quale ha luogo, pressoché costantemente, la interazione della particella ionizzante.
- Radiolisi ionizzativa:
 - $h\nu + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + e^-$
 - $e^- + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{O}^-$
 - $\text{H}_2\text{O}^+ \Rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^\circ$
 - $\text{H}_2\text{O}^- \Rightarrow \text{H}^\circ + \text{OH}^-$

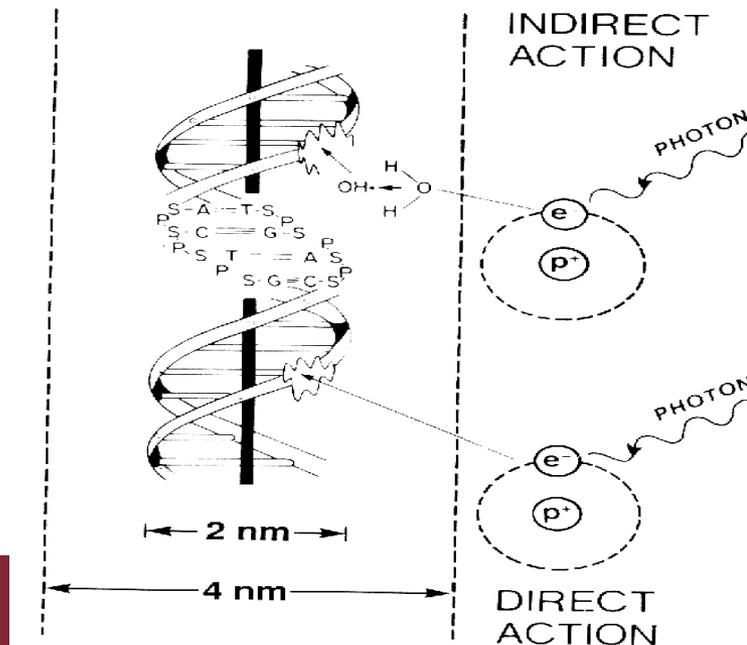
- In assenza di O_2 e di biomolecole (es. irradiazione di acqua pura), i radicali interagiranno tra loro secondo tutte le possibili combinazioni producendo “prodotti molecolari”: H_2O , H_2 e H_2O_2 , questo ultimo fortemente ossidante. Se nel mezzo irradiato è presente, in sufficiente concentrazione, O_2 , questo, per l’elevata elettroaffinità, catturerà radicali H dando luogo alla formazione del radicale HO_2 (ad alto potere ossidante):



- Ciò spiega come nei substrati biologici l'effetto indotto a parità di radiazione, è circa 2-3 volte maggiore in presenza di O₂ (**EFFETTO OSSIGENO**). Nel progressivo accrescimento di un focolaio tumorale la produzione di una rete vasale neoformata è sempre più o meno insufficiente rispetto all'entità di neoproduzione di cellule tumorali. La distanza alla quale molte di queste cellule vengono a trovarsi dalla parete capillare fa sì che sia loro insufficiente l'apporto di O₂ per diffusione. Queste cellule ipossiche o anossiche sono poco radiosensibili

INTERAZIONI DELLE RADIAZIONI CON LA MOLECOLA BIOLOGICA

La macromolecola il cui danno è biologicamente più significativo è la molecola del DNA, che può essere danneggiata sia per azione diretta della radiazione che interrompe un legame, o indirettamente, attraverso i radicali liberi



Effetti delle RI a livello cellulare

Tutte le cellule possiedono meccanismi enzimatici di riparazione del DNA. Questi meccanismi possono essere diversi nella cellula a riposo e in quella in mitosi.

Cellula a riposo:

- riparazione diretta di legami anomali tra basi adiacenti (fotoattivazione)
- rimozione e sostituzione diretta di una base danneggiata
- rimozione di un intero tratto della catena di DNA danneggiata e sua sostituzione attraverso l'intervento sequenziale di enzimi.

RADIOSENSIBILITA' CELLULARE

*La capacità delle radiazioni ionizzanti di provocare alterazioni biologiche significative
(morte cellulare o arresto della proliferazione)
nelle cellule di una neoplasia o in quelle di un tessuto normale*

RADIORESPONSIVITA' CELLULARE

La velocità con cui si manifestano clinicamente le alterazioni biologiche radioindotte

RICORDA CHE:

- la risposta di un tumore alle Radiazioni ionizzanti dipende dalla % di cellule capaci di riprodursi*
- l'effetto delle Radiazioni ionizzanti sulle cellule dipende dalla differenziazione morfologica e funzionale delle stesse*

Principi di Radioprotezione

Dopo la seconda guerra mondiale, con le esplosioni di Hiroshima e Nagasaki e la sperimentazione sugli animali da laboratorio, si rilevò come non esistesse una dose soglia per gli effetti mutageni e oncogeni.

Venne abbandonato il concetto di dose di tolleranza al di sotto della quale non erano possibili effetti, e venne ricercata una “dose con piccolo rischio biologico”.

Principio ALARA

Acronimo di “As low as Reasonably Achievable”

Le stime di rischi non erano univoche e pertanto nel 1972 si arrivò alla formulazione, da parte dell'I.C.R.P., del principio per cui le dosi devono essere “tanto basse quanto è concretamente ottenibile”.

Principi di Radioprotezione

Le attività che comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere preventivamente giustificate e periodicamente riconsiderate alla luce dei benefici che da esse derivano, secondo tre principi:

Giustificazione

Non sarebbe accettabile una indagine diagnostica radiologica quando gli stessi risultati potrebbero essere conseguiti con l'uso di energia acustica (ecografia) o con campi magnetici (RM), ambedue di minore pericolosità.

Giustificazione di un esame radiologico che apporta al paziente un beneficio reale significa per esempio la diagnosi precoce di una malattia curabile, rispetto al rischio ipotetico del danno da radiazioni ionizzanti.

Ottimizzazione

Le esposizioni alle radiazioni ionizzanti debbono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali.

Limitazione delle dosi

La somma delle dosi ricevute non deve superare i limiti prescritti per gruppo di popolazione

Principi di Radioprotezione

RAPPORTO TRA RISCHIO ED EVENTUALE BENEFICIO

Nell'impiego medico delle radiazioni ionizzanti occorre affrontare serenamente un esame radiografico, *orientandosi più al vantaggio che ne risulterà, rispetto al potenziale danno*, pur chiedendo che vengano applicate tutte le possibili misure di radioprotezione.

EFFETTI SULL'UOMO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

danni prodotti dalle radiazioni ionizzanti sull'uomo possono essere distinti in tre categorie principali:

a) danni somatici deterministici;

b) danni somatici stocastici;

c) danni genetici stocastici.

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

Danni somatici deterministici

Per danni deterministici s'intendono quelli in cui la frequenza e la gravità variano con la dose e per i quali è individuabile una dose-soglia. In particolare, i danni deterministici hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- a) compaiono soltanto al superamento di una dose-soglia caratteristica di ogni effetto;
- b) il superamento della dose-soglia comporta l'insorgenza dell'effetto in tutti gli irradiati, sia pure nell'ambito della variabilità individuale; il valore della dose-soglia è anche in funzione della distribuzione temporale della dose (in caso di esposizioni protratte la soglia si eleva secondo un "fattore di protrazione");
- c) il periodo di latenza è solitamente breve (qualche giorno o qualche settimana); in alcuni casi l'insorgenza è tardiva (qualche mese, alcuni anni);
- d) la gravità delle manifestazioni cliniche aumenta con l'aumentare della dose.

Di grande importanza radioprotezionistica sono al riguardo i valori-soglia per i danni deterministici a carico di testicoli, ovaie, cristallino e midollo osseo, per l'esposizione singola di breve durata e per l'esposizione protratta e frazionata, sia annuale che totale (Tab. 10).

Danni somatici deterministici

TAB. 10 - Stima nell'individuo adulto della soglia di dose per danni non stocastici a carico dei testicoli, delle ovaie, del cristallino e del midollo osseo.

	Soglia di dose		
Tessuto ed effetto	Equivalente di dose totale ricevuto in una singola breve esposizione (Sv)	Equivalente di dose totale ricevuto per esposizioni fortemente frazionato o protratte (Sv)	Dose annuale se ricevuta per esposizioni fortemente frazionato o protratte per molti anni (Sv)
Testicoli			
Sterilità temporanea	0,15	NA (a)	0,4
Sterilità permanente	3,5	NA	2,0
Ovaie			
Sterilità	2,5-6,0	6,0	> 0,2
Cristallino	0,5-2,0	5,0	> 0,1
Opacità osservabili (b) 0,5-2,0 5,0 > 0,1	5,0	> 8,0	> 0,15
Deficit visivo (cataratta) 5,0 > 8,0 > 0,15			
Midollo osseo			
Depressione dell'emopoiesi	0,5	NA	> 0,4
Aplasia mortale	1,5	NA	> 1

Danni somatici deterministici

(a) NA indica "Non applicabile", in quanto la soglia dipende dall'intensità di dose più che dalla dose totale.

(b) Opacità lenticolari appena osservabili.

Oltre alle sedi indicate nella Tabella II, anche per le radiolesioni cutanee causate da esposizione acuta alle radiazioni ionizzanti è possibile descrivere un quadro clinico che comprenda i vari tipi di alterazione cutanea radioindotta con le relative dosi-soglia e gli andamenti evolutivi. Per quanto riguarda l'irradiazione frazionata della cute, merita precisare in via indicativa che le dosi-soglia per ulcerazioni e fibrosi cutanee a 5 anni dal trattamento radioterapico con raggi X o radiazioni g (campo 100 cm²) sono state stimate come segue:

- dose che causa l'effetto in 1-5% dei pazienti: 55 Gy;

- dose che causa l'effetto in 25-50% dei pazienti: 70 Gy.

Nell'irradiazione cronica della pelle (soprattutto in corrispondenza delle mani) l'esperienza clinica, acquisita soprattutto nella "fase eroica" della radiologia, ha dimostrato che sono necessarie dosi di qualche decimo di Gy alla settimana e per lunghi periodi (molti mesi, anni) per causare una radiodermite cronica ("cute del radiologo").

Questa radiolesione cutanea è caratterizzata da cute secca e sottile, con verruche, ispessimenti irregolari dello strato corneo (ipercheratosi), dilatazione dei capillari venosi (telangiectasie), alterazioni delle unghie (onicopatia), stentata riparazione delle piccole ferite cutanee. In una frazione dei casi dopo molti anni può comparire un tumore (epitelioma) nell'ambito delle suddette alterazioni cutanee.

Un ulteriore riferimento a livello cutaneo è rappresentato dal fatto che alterazioni delle arteriole e venule dello strato inferiore della pelle (vasi dermici), sono svelabili, in assenza di segni clinici a carico della cute, con metodi diagnostici microscopici (capillaroscopia) soltanto per esposizioni a dosi dell'ordine di 10 - 30 Gy di radiazioni di basso LET (fotoni, elettroni) accumulate in un periodo di 8 - 25 anni.

Qualora l'irradiazione acuta avvenga al corpo intero o a larga parte di esso (irradiazione globale), viene a determinarsi, per dosi sufficientemente elevate, la cosiddetta sindrome acuta da irradiazione.

Questa sindrome è caratterizzata da tre forme cliniche (ematologica, gastrointestinale e neurologica) progressivamente ingravescenti che sopravvengono in funzione delle rispettive dosi-soglia (Tab. 11).

Tab. 11 - Sindrome acuta da irradiazione: forme cliniche ai vari livelli di dose assorbita (espressa in Gy).

	0,25	Sopravvivenza virtualmente certa
	1	Soglia della sindrome ematologica (ospedalizzazione)
Forma ematologica	1, 2	Sopravvivenza probabile
	2, 5	Sopravvivenza possibile
	5, 6	Sopravvivenza virtualmente impossibile
Forma gastrointestinale	6, 7	Soglia della sindrome gastrointestinale
Forma neurologica	10	Soglia della sindrome neurologica

Nella prima fase della sindrome acuta da irradiazione, particolare attenzione va rivolta all'insorgenza di sintomi, quali nausea e vomito: la brevità della latenza, l'intensità e la persistenza dei sintomi sono indicative della gravità della prognosi. Il vomito dovuto ad irradiazione compare in genere tra i 20 minuti e le 3 ore dopo l'esposizione. Qualora i sintomi dovessero insorgere oltre le prime 5-6 ore dall'esposizione è poco probabile che siano di natura radiopatologica.

In fase precoce possono comparire anche arrossamento degli occhi (iperemia congiuntivale) per dosi di 1,5 Gy ed oltre, e arrossamento cutaneo (eritema cutaneo), spesso fugace, per dosi di 5 Gy ed oltre.

La diminuzione delle cellule linfocitarie nel sangue circolante (linfopenia) rappresenta un indicatore particolarmente significativo della gravità dell'irradiazione.

L'improvviso e breve aumento delle cellule granulocitarie nel sangue circolante (punta ipergranulocitaria) osservabile nelle prime 24-36 ore, per quanto utile sul piano diagnostico, non riveste la stessa importanza clinico-dosimetrica della linfopenia.

Nel periodo di stato della forma ematologica (cioè nella fase conclamata della malattia) il quadro clinico è dominato da stato febbrile, infezioni (per riduzione nel sangue dei globuli bianchi neutrofili o neutropenia) ed emorragie (per riduzione nel sangue delle piastrine o piastrinopenia).

Nella forma gastrointestinale prevalgono vomito, diarrea, squilibrio elettrolitico, febbre ed emorragie digestive. Nella forma neurologica sono presenti offuscamento della coscienza (obnubilamento del sensorio), disorientamento, convulsioni.

Le opacità del cristallino dell'occhio indotte dalle radiazioni ionizzanti rappresentano un tipico effetto deterministico tardivo (la latenza è in genere di alcuni anni per dosi non elevate). Merita precisare al riguardo che viene chiamata cataratta una qualsiasi opacità del cristallino sufficiente a provocare una diminuzione della vista.

La cataratta situata nella porzione posteriore del cristallino (varietà corticale subcapsulare posteriore), oltre ad essere radioindotta, può essere causata da molti altri fattori quali radiazioni infrarosse, radiofrequenze, ultrasuoni, sorgenti luminose di alta intensità, elettrocuzione, fattori chimici e farmacologici (per es. dinitrofenolo, naftalene, cortisonici, etc.). Le stesse caratteristiche anatomico-cliniche possono essere assunte dalla cosiddetta cataratta complicata, che accompagna alcune malattie oculari (cheratite suppurativa, iridociclite, miopia elevata, glaucoma, retinite pigmentosa, etc.) o che viene ad associarsi a malattie extraoculari (sindrome di Marfan, ittiosi, psoriasi, diabete, etc.).

Si consideri inoltre che in una non trascurabile percentuale della comune popolazione sono presenti a carico del cristallino opacità puntiformi non progressive che non disturbano la funzione visiva.

Queste opacità, localizzate nell'area centrale o periferica del cristallino, sono in genere multiple, molto piccole e di forma irregolare. In particolare, le opacità puntiformi cosiddette "malformative" possono essere distinte in congenite (embrionarie), situate in prevalenza nel nucleo centrale del cristallino, ed in post-natali (adolescenziali) localizzate alla sua periferia (localizzazione corticale periferica). Queste ultime, osservabili dilatando la pupilla (midriasi) con farmaci, presentano una incidenza intorno al 25% nella popolazione nel suo insieme. La frequenza delle opacità del cristallino nella comune popolazione (non esposta) aumenta con l'età.

Danni somatici stocastici

I danni somatici stocastici comprendono le leucemie e i tumori solidi. In questa patologia soltanto la probabilità d'accadimento, e non la gravità, è in funzione della dose ed è cautelativamente esclusa l'esistenza di una dose-soglia. Danni di questo tipo hanno in particolare le seguenti caratteristiche:

- a) non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (ipotesi cautelativa ammessa per gli scopi preventivi della radioprotezione);
- b) sono a carattere probabilistico;
- c) sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta;
- d) sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica (associazione causale statistica);
- e) la frequenza di comparsa è maggiore se le dosi sono elevate;
- f) si manifestano dopo anni, talora decenni, dall'irradiazione;
- g) non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose;
- h) sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni.

Per i danni stocastici è ammessa in radioprotezione in via cautelativa una relazione dose-effetto di tipo lineare con estrapolazione passante per l'origine delle coordinate (assenza di 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 si rendono intelligibili sul piano epidemiologico perché compresi nelle fluttuazioni statistiche dell'incidenza "naturale" o "spontanea" dei tumori. Pertanto, la stima del rischio di ammalare di leucemia o di tumore radioindotti viene abitualmente effettuata estrapolando alle basse dosi i dati delle alte dosi.

In seguito all'irradiazione è necessario considerare un periodo minimo di risposta clinicamente silente (latenza), seguito da un periodo a rischio, in cui è attesa la comparsa (a livello diagnostico) dei tumori dovuti alla radioinduzione.

Per tutte le forme di **leucemia** (esclusa la leucemia linfatica cronica per la quale manca la dimostrazione radioepidemiologica) e per il cancro osseo (da a del radio-224) i dati epidemiologici indicano un andamento temporale ad onda con inizio **dopo circa 2 anni** dall'esposizione e con un picco dopo 5 - 8 anni, seguito da un lento decremento fino al ritorno verso i valori dell'incidenza "naturale" entro 30 anni o meno dall'irradiazione.

Per le **restanti "sedi" tumorali è stato stabilito un tempo minimo di risposta (latenza) di 5 anni** seguito da un graduale e lento incremento della probabilità di comparsa fino a 10 anni e da un incremento costante, sempre in termini probabilistici, nel periodo successivo. Il periodo a rischio deve essere cautelativamente considerato esteso a tutta la comune durata della vita.

Non è stato possibile sinora rilevare con metodi epidemiologici un eccesso di malattie ereditarie nella progenie di soggetti esposti alle radiazioni ionizzanti rispetto alla progenie di soggetti non esposti. Lo studio radioepidemiologico più importante è stato quello sui discendenti dei sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, nel corso del quale è stato effettuato un confronto tra 30000 bambini di cui almeno uno dei genitori era stato irradiato e 40000 bambini i cui genitori non erano stati irradiati. **Nessuna differenza** statisticamente significativa è apparsa tra i due gruppi per quanto concerne lo sviluppo psicofisico, le malformazioni di origine genetica ed alcuni indicatori di natura citogenetica e biochimica.

Altre indagini condotte su popolazioni umane, per quanto di minore rilevanza, non hanno fatto evidenziare effetti genetici alla prima generazione. Sebbene non sia stato dimostrato a tutt'oggi nella specie umana che le radiazioni ionizzanti possono produrre danni ereditari, studi sperimentali su piante ed animali indicano che tali danni possono di fatto insorgere. Il rischio genetico nell'uomo viene pertanto calcolato per estrapolazione partendo dalle sperimentazioni sugli animali da laboratorio.

Irradiazione in utero (embrione e feto)

L'embrione e il feto sono sensibili alle radiazioni ionizzanti e, come avviene anche nell'esposizione agli altri agenti fisici e ad agenti chimici, questa sensibilità è variabile in funzione dello stadio di sviluppo.

Prima dell'impianto dell'embrione (nella specie umana al 9° giorno dalla fecondazione) gli effetti di una irradiazione sono del tipo "tutto-o-nulla". Questi effetti possono determinare infatti la morte dell'embrione (l'evento può passare inosservato perché la donna non sa ancora di essere incinta) o, in alternativa, non avere conseguenze sullo sviluppo e sulla sopravvivenza post-natale che possono quindi risultare del tutto normali (nello stadio di pre-impianto la morte di una o di alcune cellule, non ancora differenziate, può non essere grave).

Nel periodo di morfogenesi, compreso tra il 9° giorno e la fine del 2° mese di gravidanza, si fanno gli abbozzi dei vari organi e tessuti. In corrispondenza della fase di differenziazione e di organizzazione di ciascun tessuto è presente un'elevata radiosensibilità e in questa fase l'irradiazione può indurre più facilmente la comparsa di malformazioni.

Durante la fase fetale (dall'inizio del 3° mese fino al termine della gravidanza) la frequenza e la gravità delle malformazioni diminuiscono, mentre risulta rilevante il rischio di uno sviluppo difettoso del sistema nervoso centrale che resta radiosensibile per una buona parte di questo periodo. L'insieme delle osservazioni sull'uomo, e precisamente i dati di Hiroshima e Nagasaki, dimostrano che la sensibilità alle radiazioni ionizzanti del cervello del feto è massima tra l'8a e la 15a settimana dal concepimento. Durante questo periodo, i neuroblasti (elementi cellulari precursori dei neuroni) si moltiplicano in maniera esponenziale e migrano nella sede definitiva che è la corteccia cerebrale. Una irradiazione può interferire con questi complessi meccanismi evolutivi e quindi determinare un ritardo mentale. La sensibilità del sistema nervoso è minore di circa 4 volte tra la 16a e la 25a settimana dal concepimento ed è trascurabile o assente prima dell'8a settimana e dopo la 25a settimana.

In breve, malgrado che la sensibilità dell'embrione e del feto all'irradiazione sia presente in gradi molto variabili durante tutto il periodo di gestazione, lavori scientifici recenti confermano che il danno principale è il ritardo mentale. Non dovrebbe tuttavia essere apprezzabile alcun effetto sul quoziente di intelligenza fino a dosi dell'ordine di 0,1 Sv.

Nel periodo compreso tra la terza settimana dal concepimento e la fine della gestazione appare probabile che l'esposizione alle radiazioni possa determinare effetti stocastici che si esprimono come aumento della probabilità di neoplasie (soprattutto leucemie) in epoca post-natale. I dati disponibili, provenienti soprattutto da studi sulle madri sottoposte ad esami radiodiagnostici in gravidanza, non sono univoci e sussistono notevoli incertezze interpretative.

I PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA RADIOPROTEZIONE

La circostanza che nessuna esposizione alle radiazioni ionizzanti, per quanto modesta, possa essere considerata completamente sicura, ha spinto l'ICRP a raccomandare un sistema di protezione radiologica basato su tre fondamentali principi: giustificazione della pratica; ottimizzazione della protezione; limitazione delle dosi individuali. Detti principi sono stati pienamente recepiti nella normativa di legge italiana recentemente entrata in vigore, attraverso l'art. 2 del D.Lgs. 230/95, che ne stabilisce il rispetto, nella disciplina delle attività con rischio da radiazioni ionizzanti, nei termini seguenti:

- a) i tipi di attività che comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere preventivamente giustificati e periodicamente riconsiderati alla luce dei benefici che da essi derivano;
 1. le esposizioni alle radiazioni ionizzanti debbono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali;
 2. la somma delle dosi ricevute e impegnate non deve superare i limiti prescritti, in accordo con le disposizioni del presente decreto e dei relativi provvedimenti applicativi

Si richiama in particolare l'attenzione sul secondo basilare principio, detto anche principio ALARA, attraverso il quale vengono di fatto stabiliti gli obiettivi di radioprotezione da osservare nelle varie attività, e con questi gli effettivi valori delle dosi che riceveranno i lavoratori e le persone del pubblico, di norma assai più modesti dei limiti individuali fissati con il terzo principio, che vengono così a rappresentare soltanto un'ulteriore garanzia per gli individui esposti. In una pratica appropriatamente ottimizzata raramente le dosi ricevute dai lavoratori potranno eccedere una modesta frazione dei limiti individuali raccomandati.

Per quanto riguarda questi ultimi, conviene qui riportare soltanto i più significativi di essi, per i lavoratori esposti e per le persone del pubblico.

Per i **lavoratori esposti** detti limiti sono:

- 100 mSv in 5 anni per l'equivalente di dose per esposizione globale e per l'equivalente di dose efficace, ma non più di 50 mSv in un anno solare;
- 13 mSv in un trimestre solare per l'equivalente di dose all'addome nel caso delle lavoratrici in età fertile;

Per i **lavoratori non esposti** e per le persone del pubblico:

- 1 mSv/anno per l'equivalente di dose per esposizione globale e per l'equivalente di dose efficace;

Nel caso dell'esposizione interna, la legge prevede anche limiti annuali di introduzione (ALI) dei vari radionuclidi nell'organismo umano, il cui rispetto garantisce quello dei sopra menzionati limiti primari di dose efficace. Qualora l'esposizione interna sia dovuta a inalazione, detti limiti di introduzione si devono intendere a loro volta rispettati se le concentrazioni in aria risultano inferiori ai pertinenti limiti derivati di concentrazione (DAC).

Il conseguimento degli obiettivi del sistema di protezione radiologica sopra descritto (prevenzione dei danni deterministici e limitazione degli eventi stocastici) sono demandati all'organizzazione della radioprotezione e in particolare alle azioni della sorveglianza fisica e medica della radioprotezione. La sorveglianza fisica viene assicurata tramite la figura dell'esperto qualificato, quella medica tramite il medico addetto alla sorveglianza medica (medico autorizzato, medico competente).

STRUMENTI OPERATIVI DI SORVEGLIANZA FISICA DELLA RADIOPROTEZIONE

L'esperto qualificato è persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari per misurare le radiazioni ionizzanti, per assicurare l'esatto funzionamento dei dispositivi di protezione, per dare le istruzioni e le prescrizioni necessarie a garantire la sorveglianza fisica della radioprotezione.

In questa sua veste fornisce al datore di lavoro, prima dell'inizio di qualsiasi attività con rischio da radiazioni ionizzanti, una consulenza in merito alla valutazione dei rischi che l'attività comporta e ai relativi provvedimenti di radioprotezione da adottare, redigendo apposita relazione.

Rientrano tra le competenze dell'esperto qualificato una serie di fondamentali azioni organizzative generali, le principali delle quali riguardano: la classificazione delle aree con rischio da radiazioni ionizzanti; la classificazione del personale ai fini della radioprotezione; la predisposizione delle norme interne di radioprotezione; la segnalazione mediante contrassegni delle sorgenti di radiazione; la predisposizione di un programma di informazione e formazione, finalizzato alla radioprotezione, allo scopo di rendere il personale edotto dei rischi specifici a cui è esposto.

Nell'ambito dell'esercizio dei propri compiti, l'esperto qualificato deve poi:

- esaminare i progetti degli impianti, rilasciando il relativo benestare;
- provvedere ad effettuare il collaudo e la prima verifica degli impianti;
- verificare periodicamente l'efficacia dei dispositivi ovvero delle tecniche di radioprotezione;
- effettuare il controllo periodico del buon funzionamento della strumentazione di radioprotezione;
- effettuare la sorveglianza ambientale;
- valutare le dosi ricevute dai lavoratori e le introduzioni dei radionuclidi;
- procedere alla valutazione sia in fase di progetto che di esercizio delle dosi ricevute o impegnate dai gruppi di riferimento della popolazione, in condizioni normali di lavoro e nel caso di incidenti; etc.

Classificazione delle aree

Nel D.Lgs. 230/95 si parla di zone classificate per gli ambienti di lavoro sottoposti a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate.

E' classificata **zona controllata** ogni area di lavoro ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- 6 mSv/anno per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- 45 mSv/anno per il cristallino;
- 150 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

E' classificata **zona sorvegliata** ogni area di lavoro, che non debba essere classificata zona controllata, ove sussiste per i lavoratori ivi operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

- 1 mSv/anno per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- 15 mSv/anno per il cristallino;
- 50 mSv/anno per la pelle, mani, avambraccia, piedi, caviglie.

Nell'accertamento delle condizioni di cui sopra, l'esperto qualificato deve tener conto anche delle esposizioni conseguenti a eventi anomali e a malfunzionamenti che siano suscettibili di aumentare le dosi derivanti dalla normale attività lavorativa programmata, ma non delle esposizioni accidentali o di emergenza.

L'individuazione e la classificazione delle aree ove sussiste rischio da radiazioni deve essere indicata per mezzo di relazione scritta al datore di lavoro ai sensi dell'art. 80, lettera a).

E' utile ricordare che, in aggiunta alle zone controllate e sorvegliate, nella sorveglianza operativa, si suole delimitare e regolamentare opportunamente anche le cosiddette zone sorvegliate con esposizione minore dei limiti fissati per il pubblico, aree ove non esiste il rischio di superamento dei limiti fissati per il pubblico ma è comunque presente una sorgente radiogena che viene sottoposta a sorveglianza radioprotezionistica.

Le zone controllate e sorvegliate sono segnalate mediante idonei cartelli di segnalazione posti in corrispondenza degli accessi, così come sono segnalate le fonti radiogene.

Classificazione dei lavoratori

Il D.Lgs. 230/95, come peraltro già il D.P.R. 185/64, prevede diversi adempimenti di sorveglianza fisica e medica a seconda della categoria in cui i lavoratori esposti al rischio da radiazioni ionizzanti vengono classificati. La classificazione di radioprotezione è quindi un'operazione preliminare, indispensabile per una corretta programmazione delle azioni di radioprotezione, e come tale deve essere effettuata prima di adibire il personale alle attività con rischio da radiazioni.

La classificazione di radioprotezione deve essere formulata dall'esperto qualificato, tenuto conto di tutte le attività svolte dal lavoratore per conto del datore di lavoro. La classificazione di radioprotezione viene formulata per mezzo della scheda di radioprotezione sulla base delle condizioni di lavoro come definite dal datore di lavoro. La scheda di radioprotezione deve essere quindi compilata prima che il lavoratore sia adibito alle attività lavorative con rischio da radiazioni ionizzanti.

Sulla base del D.Lgs. 230/95, i lavoratori devono essere distinti in lavoratori esposti e lavoratori non esposti.

Sono classificati lavoratori esposti i soggetti che, in ragione dell'attività svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti per le persone del pubblico.

Sono considerati lavoratori non esposti i soggetti sottoposti, in ragione dell'attività svolta per il datore di lavoro, ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei sopra riportati limiti fissati per le persone del pubblico.

I lavoratori esposti devono essere ulteriormente suddivisi in due categorie, A e B.

Appartengono alla **categoria A** i lavoratori suscettibili di un'esposizione **superiore** a uno dei seguenti valori:

- 6 mSv/anno per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- 45 mSv/anno per il cristallino;
- 150 mSv/anno per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie.

I lavoratori esposti non classificati in categoria A sono classificati in categoria B.

Nell'accertamento delle condizioni di appartenenza all'una o all'altra delle due categorie, l'esperto qualificato deve tener conto anche delle esposizioni conseguenti a eventi anomali e a malfunzionamenti che siano suscettibili di aumentare le dosi derivanti dalla normale attività lavorativa programmata, ma non delle esposizioni accidentali o di emergenza.

Per tale motivo è stato assunto come criterio conservativo quello di assegnare alla categoria dei lavoratori esposti di tipo B anche il lavoratore che impieghi soluzioni non sigillate di radioisotopi tali da non comportare il rischio di superamento dei limiti fissati per il pubblico, ma in quantitativi istantanei superiori agli ALI con frequenza non saltuaria (almeno mensile).

Il D.Lgs. 230/95 ha poi introdotto la categoria degli apprendisti e studenti esposti al rischio da radiazioni ionizzanti, che devono essere suddivisi in relazione all'età e al tipo di attività lavorativa o di studio nei seguenti gruppi:

a) apprendisti e studenti, di età non inferiore a 18 anni, che si avviano a una professione nel corso della quale saranno esposti alle radiazioni ionizzanti, o i cui studi implicano necessariamente l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti;

b) apprendisti e studenti, di età compresa tra 16 e 18 anni, che si trovino nelle condizioni di cui alla precedente lettera a);

c) apprendisti e studenti, di età non inferiore a 16 anni, che non si trovino nelle condizioni, di cui alla precedente lettera a);

d) apprendisti e studenti, di età inferiore a 16 anni.

Agli apprendisti e studenti di cui al precedente punto a) si applicano le stesse modalità di classificazione stabilite per i lavoratori. Possono quindi essere inclusi nelle categorie A e B dei lavoratori esposti o in quella dei lavoratori non esposti.

Per i lavoratori di cat. A sono previste la sorveglianza fisica individuale e la sorveglianza medica, con frequenza semestrale dei controlli, effettuata da parte del medico autorizzato. Per i lavoratori di cat. B, la sorveglianza fisica individuale può essere sostituita con quella ambientale e i controlli medici, effettuati dal medico autorizzato o dal medico competente, hanno frequenza annuale.

Norme interne di radioprotezione

Le norme interne di radioprotezione sono lo strumento per mezzo del quale vengono disciplinate le attività radiologiche intorno a ciascun impianto o sorgente di radiazioni. In esse vengono in particolare specificate le regole da seguire per l'accesso e la permanenza nelle zone classificate ovvero per la manipolazione e l'utilizzo delle sorgenti radioattive. Vi sono inoltre descritti i sistemi di segnalazione, sicurezza ed emergenza, specificate le responsabilità dei dirigenti e dei preposti e illustrate le azioni da assicurare in condizioni di emergenza. Le norme interne sono predisposte dall'esperto qualificato ed emanate dal datore di lavoro. I lavoratori sono tenuti ad osservare le disposizioni in esse contenute.

La dosimetria individuale

Nel caso dell'irradiazione esterna, la valutazione della dose individuale ricevuta dai lavoratori viene di norma effettuata mediante dosimetri individuali, le cui letture vengono integrate con i risultati della dosimetria ambientale. Le norme interne di radioprotezione specificano le circostanze nelle quali detti strumenti sono obbligatori. I controlli di cui trattasi vengono abitualmente effettuati con varie apparecchiature: dosimetri a termoluminescenza (cards, chips, bulbi), dosimetri individuali a lettura diretta, dosimetri individuali elettronici, rivelatori a tracce, dosimetri a film, dosimetri a TLD, etc.

A proposito dell'uso pratico di questi strumenti conviene ricordare che il dosimetro per il corpo intero (film-badge) devono essere indossati all'altezza del petto, salvo diversa indicazione da parte dell'esperto qualificato. E' consigliabile in linea di massima attaccarli al bavero del camice o di altro indumento ovvero tenerli nel taschino della giacca. Nel caso di impiego di camice piombifero il dosimetro deve essere di norma indossato sopra il camice salvo diversa prescrizione dell'Esperto Qualificato. Contrariamente il dosimetro per le estremità (anello TLD) deve essere indossato sotto i guanti di lattice o di gomma piombifera. Si ricorda inoltre che i dosimetri personali non devono mai essere lasciati sui tavoli di lavoro o altrove; non devono mai essere scambiati con quelli di altre persone o essere usati per scopi diversi da quelli per cui sono stati assegnati; al termine del lavoro, devono essere riposti nelle apposite bacheche; il loro eventuale smarrimento deve essere immediatamente segnalato all'esperto qualificato.

Conviene infine osservare che il portare un dosimetro di per sé non serve a prevenire l'esposizione alle radiazioni. Tuttavia la conoscenza del dato dosimetrico consente di programmare opportunamente le successive esposizioni, in modo da mantenere la dose ricevuta da ciascun lavoratore quanto più bassa possibile e comunque al di sotto dei limiti stabiliti dalle vigenti leggi.